SPF Economie, PME, Classes
Moyennes & Energie
Office de la Propriété intellectuelle

(11) 1031954 B1

(47) Date de délivrance : 08/04/2025

(12) BREVET D'INVENTION BELGE

(47) Date de publication : 08/04/2025

(21) Numéro de demande : BE2023/5747

(22) Date de dépôt : 13/09/2023

(62) Divisé de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : E21B 10/43

(30) Données de priorité :

(73) Titulaire(s) :

DIAMANT DRILLING SERVICES
SA
6041, GOSSELIES
Belgique

(72) Inventeur(s) :

DESMETTE Sébastian
7061 THIEUSIES
Belgique

BOLLE Pierre
4520 ANTHEIT
Belgique

DAI Jinjing
1180 UCCLE
Belgique

LUDER Laurent
6120 NALINNES
Belgique

(54) OUTIL DE FORAGE COMPRENANT DES REDUCTEURS DE CHOCS

(57)La présente invention concerne un outil de forage (1) comprenant un corps (2) sur lequel une pluralité de lames surélevées (3) sont prévues, dans lequel au moins une partie des lames (3) comprend une pluralité de couteaux (4) disposés au bord avant (5) des lames dans le sens de rotation (R) de l'outil de forage (1), chaque couteau (4) étant positionné à une position radiale par rapport à l'axe central (6) de l'outil de forage (1), et dans lequel, selon l'invention, au moins un couteau (4) est associé à un réducteur de chocs antérieur (7) disposé dans la même position radiale que ledit couteau (4), ledit réducteur de chocs antérieur (7) se trouvant sur une autre lame (3) qui précède la lame sur laquelle est pourvu ledit couteau (4), dans le sens de rotation (R) de l'outil de forage.

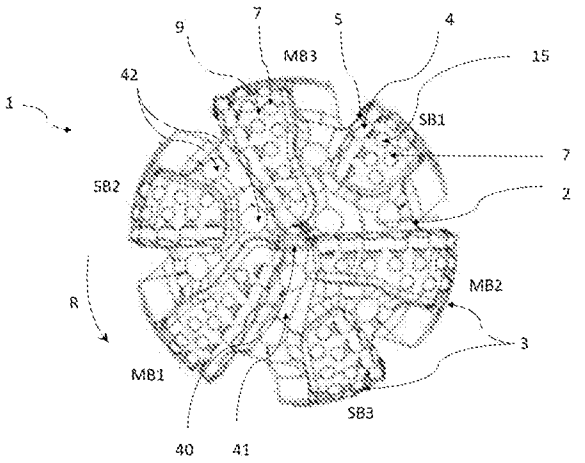


Fig. 5

OUTIL DE FORAGE COMPRENANT DES REDUCTEURS DE CHOCS

Domaine technique

La présente invention concerne un outil de forage de puits. Plus particulièrement, l'outil de forage comprend un corps sur lequel une pluralité de lames surélevées est prévue, dans lequel au moins une partie des lames comprennent une pluralité de couteaux disposés au bord avant de la lame dans le sens de rotation de l'outil de forage, chaque couteau étant positionné à une position radiale par rapport à l'axe central de l'outil forage.

Etat de la technique

Différents types d'outils de forage sont disponibles pour couper une formation dans un puits de forage et incluent par exemple des trépans, des élargisseurs ou des outils de carottage. Les trépans pour le forage de puits incluent les trépans à couteaux fixes, les trépans à rouleaux coniques, les trépans à percussion et les trépans hybrides combinant des couteaux fixes et des rouleaux coniques. Chaque type de trépan a ses propres avantages et inconvénients et les paramètres à prendre en considération pour leur conception sont très spécifiques d'un type de trépan à l'autre.

Les trépans à couteaux fixes comprennent généralement une connexion filetée et un corps d'outil aligné coaxialement avec un axe central. Le trépan comprend un plénum interne s'étendant axialement à travers la connexion et partiellement dans le corps du trépan. La connexion filetée permet de connecter le trépan à un train de tiges de forage. Le corps de l'outil comprend une pluralité de lames qui s'élèvent du corps de l'outil et forment un espace entre elles. Les lames portent une pluralité de couteaux comprenant une face de coupe orientée dans le sens de rotation du trépan. Les couteaux sont généralement disposés en rangée s'étendant radialement au bord avant des lames, définissant ainsi une structure de coupe. La face avant du trépan est définie comme la partie du trépan qui est orientée vers le bas du puits de forage et qui comprend les

lames et la structure de coupe engageant la formation de terre. Le trépan comprend en outre une pluralité de buses incorporées dans le corps de l'outil et s'étendant du plénum du corps de l'outil à travers un emplacement dans l'espace formé entre les lames. Pendant le forage, un fluide de forage ou une boue de forage est pompé à travers le train de tiges sur lequel le trépan est fixé, de manière à projeter le fluide de forage à travers la pluralité de buses. Les buses sont orientées de manière à projeter le fluide de forage pour nettoyer la structure de coupe et évacuer les débris du fond de trou. Le fluide de forage aide en outre à refroidir la structure de coupe.

Les couteaux comprennent généralement un substrat allongé généralement cylindrique et fait de carbure de tungstène portant une couche de coupe en diamant polycristallin ou en matériau superabrasif tel que le nitrure de bore cubique, le diamant thermiquement stable, le nitrure de bore cubique polycristallin, le carbure de tungstène ultra dur ou une combinaison de ces matériaux. De tels couteaux sont bien connus de l'état de l'art. Les couteaux généralement utilisés dans les trépans à couteaux fixes sont des couteaux compacts à diamant polycristallin, communément appelé couteaux PDC de manière abrégée, et peuvent avoir différents types de formes en fonction de l'application de forage. Les couteaux peuvent être soudés, brasés ou pressés à l'intérieur d'alvéoles usinées généralement au bord avant des lames, ou en d'autres termes sur le bord de la lame orientée vers la direction de rotation du trépan. Les couteaux PDC sont des matériaux extrêmement durs et résistants à l'abrasion. Cependant, le problème principal pour les couteaux PDC est qu'ils sont cassants et que des chocs peuvent entraîner des fissures, des casses et des défaillances prématurées.

Afin d'améliorer la durabilité du trépan, les fabricants conçoivent leur trépan avec les objectifs de minimiser le coincement-glissement de l'outil (« stick slip » en anglais), les vibrations de torsion et les oscillations de couple qui endommagent les couteaux PDC. Une approche consiste à limiter la profondeur de coupe maximale (DOC pour « Depth Of Cut » en anglais) des couteaux avec un ou plusieurs inserts en forme de dôme montés sur les lames à l'arrière des couteaux. Les couteaux engagent la formation rocheuse avant les inserts en forme de dôme. Les couteaux coupent la formation avec

une certaine profondeur de coupe qui est limitée à une profondeur de coupe maximale par les inserts en forme de dôme qui s'engagent avec la formation et s'appuient sur la formation.

Le document WO2018/144762 décrit un trépan qui comprend une pluralité d'inserts DOC (« Depth of cut » en anglais). Chaque lame du trépan comprend une rangée de couteaux adjacents les uns aux autres et disposés sur le bord avant de la lame et une pluralité d'inserts DOC disposés en rangée à une position arrière par rapport aux couteaux de la même lame. Les inserts DOC sur chaque lame sont à l'arrière des couteaux sur la même lame par rapport au sens de rotation du trépan. Chaque insert DOC sur chaque lame est positionné immédiatement derrière et suit un couteau sur la même lame. Ainsi, les inserts DOC sont disposés dans la même position radiale que la face de coupe des couteaux. Les inserts DOC sont conçus pour avoir une plus grande surface de contact avec la roche, et sont donc particulièrement adaptés à une utilisation dans des formations peu dure. Les inserts DOC sont destinés à limiter la profondeur maximale de coupe des faces de coupe du couteau au fur et à mesure qu'elles s'engagent dans la formation. La surface de ces inserts DOC est destinée à glisser sur la formation et ces inserts ne sont pas destinée à pénétrer et à cisailler la formation. Malgré leur plus grande surface de contact, les inserts DOC de ce type ont une forme allongée complexe qui augmente le coût du trépan. De plus, un insert de forme allongée étant plus en contact avec la formation, il ne s'use pas beaucoup. Si un couteau commence à se casser ou à s'user et l'insert peut alors réduire l'efficacité de la coupe et diminuer le taux de pénétration en réduisant la profondeur de passe DOC

Le document WO2021126898 aborde le problème de l'érosion des outils, en particulier l'érosion des couteaux, due à certains fluides de forage, en fournissant des trépans dans lesquels une partie du fluide de forage contourne la face avant du trépan. Un tel trépan comprend un orifice ou une buse formée en position de garde et en communication fluidique avec le passage central à travers un chemin de passage orienté dans une direction éloignée de la face du trépan, sensiblement dans la direction opposée à la direction du forage. Une telle ouverture auxiliaire réduit la contrainte et l'érosion sur

la face du trépan ainsi que sur les couteaux qui y sont disposées. En outre, le trépan peut comprendre une pluralité d'inserts sur la pluralité de lames, dans lesquels au moins certains des inserts sont positionnés derrière la pluralité de couteaux PDC entre le bord avant et le bord arrière de la pluralité de lames. Aucune autre précision n'est donnée sur le positionnement de ces inserts.

Le document US2021/270089 divulgue un trépan comprenant un corps d'outil sur lequel est défini une pluralité de lames supportant une première pluralité de couteaux, qui sont des couteaux PDC, et dans lequel au moins une de la pluralité de lames supporte au moins un couteau pointu et un couteau en forme de tore (donut-shaped) de telle sorte que le couteau pointu plus tranchant coupe directement la roche et le couteau en forme de tore broie la formation contre la face de roche qui suit.

Le document US2014/102798 divulgue des trépans à couteaux fixes pourvus d'éléments stabilisants dans le but d'améliorer la stabilité du trépan, le taux de pénétration (ROP, rate of penetration) et la durabilité de l'outil. Le trépan comprend une lame ayant une surface de support de couteaux et s'étendant radialement le long de la face de l'outil, et un élément stabilisant monté sur la surface de support de la lame à une position derrière un couteau d'une même lame, dans lequel l'élément stabilisateur a un axe longitudinal et une extrémité concave distante de la surface de support de la lame, l'extrémité concave comprenant une première surface orientée vers la formation s'étendant jusqu'à une première pointe distante de la surface de support de la lame, et une deuxième surface faisant face à la formation s'étendant jusqu'à une deuxième pointe distante de la surface de support de la lame, dans laquelle la première pointe et la deuxième pointe sont totalement éclipsées par la face de coupe d'un seul couteau dans une vue de profil pivotée autour d'un axe. Alternativement, les éléments stabilisants sont fournis sous la forme d'une paire d'éléments cylindriques ayant un sommet en forme de dôme, et dans lesquels de tels inserts ont un axe central, les éléments stabilisateurs étant disposés par paires adjacents les uns aux autres de sorte que leur axe central forme un angle les uns avec les autres et avec la surface de support du couteau dans une vue de profil rabattu autour d'un axe, la paire de membres

stabilisateurs étant positionnée à une position derrière un couteau sur la même lame et totalement éclipsée par la face de coupe d'un seul couteau auquel ils sont associés dans une vue de profil tourné autour de l'axe.

Le document US2007/0151770 divulgue un trépan rotatif comprenant un corps comprenant une couronne, au moins un couteau sur la couronne et un élément de roulement positionné en rotation derrière au moins un couteau, l'élément de roulement étant configuré pour réduire l'exposition d'au moins un couteau derrière lequel il est positionné sans affecter négativement l'hydraulique du trépan. L'élément de roulement présenté dans le document semble encombrant et n'est positionné que dans une zone de cône de la couronne.

Le brevet US n° 6 883 623 décrit une structure de protection à l'avant et à l'arrière des couteaux de garde qui sont disposées au centre sur une lame dans une région garde. Une telle structure diminuerait l'efficacité du nettoyage des couteaux et l'efficacité de la coupe si elle était appliquée aux autres régions des lames telles que la région du cône, la région de nez et la région d'épaulement.

Le brevet US n° 6 408 958 divulgue deux modes de réalisation de trépans. Dans un premier mode de réalisation, le trépan a une structure de lame comprenant une pluralité de premiers éléments de coupe ayant une face de coupe avec un bord orienté pour engager et couper la formation, et une pluralité de deuxièmes éléments de coupe derrière les premiers éléments de coupe et légèrement inclinés par rapport à une perpendiculaire au profil de la face de l'outil à l'emplacement du deuxième élément de coupe. Ces deuxièmes éléments de coupe servent comme éléments de coupe de secours moins agressifs en cas de rupture d'un premier élément de coupe. Dans le deuxième mode de réalisation, les deuxièmes éléments de coupe sont positionnés à un niveau radialement intermédiaire entre deux premiers éléments de coupe afin de fournir une protection contre l'usure du matériau du corps de l'outil ou des lames, comme la formation d'un anneau d'usure (O-ring an anglais) dans le corps de l'outil ou de rainures sur les lames.

Dans certaines applications de forage, la réalité du terrain incite souvent les foreurs à s'écarter de la conception idéale stabilisée de l'assemblage de fond de trou (« bottom hole assembly » en anglais) et des procédures de forage en conditions stables. Cela affecte généralement la dynamique du train de tiges et crée inévitablement des conditions telles que des chocs et des vibrations verticaux, latéraux et de torsion sur les couteaux qui affectent négativement les trépans à couteaux fixes. Avec les couteaux à haute résistance à l'usure disponibles actuellement, il est essentiel de protéger les couteaux contre la casse. Il est nécessaire de fournir des trépans à couteaux fixes adaptés aux conditions d'utilisation difficiles, dans lesquels la structure de coupe est efficacement protégée contre les impacts axiaux, les chocs latéraux ou de torsion et les vibrations. Il est également nécessaire de fournir un trépan à couteaux fixes ayant un contrôle amélioré de la face de coupe (« tool face » en anglais), en particulier pour des applications avec moteurs coudés.

Résumé de l'invention.

La présente invention vise à fournir un outil de forage de puits (« downhole cutting tool » en anglais) comprenant des couteaux et des réducteurs de chocs, disposés de manière à prévenir ou à minimiser les dommages sur les couteaux. En particulier, la présente invention vise à fournir un outil de forage dans lequel les couteaux sont mieux protégés contre les chocs et vibrations verticaux, latéraux et de torsion.

De manière avantageuse, la présente invention vise à fournir un outil de forage fait de composants relativement conventionnels minimisant son coût de fabrication. Des exemples de composants conventionnels comprennent des inserts en forme de dôme, des inserts en forme de dôme tronqués ou des structures en forme de dôme obtenues en moulant les lames du trépan. Un autre objectif de la présente invention est de fournir un outil de forage qui peut être utilisé dans un assemblage de fond de trou (bottom hole assembly en anglais) mal stabilisé, comme par exemple dans un assemblage de fond de trou dépourvu de stabilisateurs ou dans un assemblage de fond de trou comprenant

un moteur tel qu'un moteur à déplacement positif (moteur moineau). Ces objectifs sont atteints par la présente invention.

La présente invention concerne un outil de forage comprenant un corps sur lequel une pluralité de lames surélevées sont prévues, dans lequel au moins une partie des lames comprend une pluralité de couteaux disposés au bord avant de la lame dans le sens de rotation de l'outil de forage, chaque couteau étant positionné en position radiale par rapport à l'axe central de l'outil de forage, et dans lequel, selon l'invention, au moins un couteau est associé à un réducteur de chocs antérieur disposé dans la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs antérieur étant sur une autre lame qui précède la lame sur laquelle est pourvu ledit couteau, dans le sens de rotation de l'outil de forage.

De préférence, les couteaux disposés sur le bord avant de chaque lame sont pourvus l'un à côté de l'autre, de préférence avec un espace entre eux, et chacun ayant une position radiale respective. De préférence, les couteaux au bord avant de chaque lame sont pourvus en rangée s'étendant sensiblement dans une direction radiale.

De préférence, le réducteur de chocs antérieur et le couteau qui y est associé sont positionnés sur des lames adjacentes.

De préférence, chaque couteau de la pluralité de couteaux comprend un sommet, et dans un profil rabattu autour de l'axe central de l'outil de forage, une ligne de profil de coupe passant par lesdits sommets desdits couteaux est définie, et chaque réducteur de chocs antérieur a un sommet positionné en retrait par rapport à ladite ligne de profil de coupe.

Le terme « sommet » relatif à un couteau ou a un réducteur de choc, se réfère au sommet d'un couteau ou d'un réducteur de chocs le plus éloigné par rapport à la surface supérieure de la lame sur laquelle le couteau ou réducteur de chocs est positionné.

De préférence, le réducteur de chocs antérieur est en diamant polycristallin.

De préférence, le réducteur de chocs antérieur a une largeur inférieure ou égale à la largeur du couteau.

De préférence, les lames comprennent :

- au moins une lame principale s'étendant d'une région de cône de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs ; et
- au moins une lame secondaire s'étendant au moins d'une région de nez de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs.

Dans le contexte de la présente invention, le terme « antérieur » (« leading » en anglais) fait référence à une position en avant ou à une position qui précède par rapport à un autre élément, dans le sens de rotation de l'outil de forage.

De préférence, l'outil selon l'invention est tel qu'au moins un couteau est associé à un réducteur de chocs antérieur disposé dans la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs antérieur étant sur une autre lame qui précède dans le sens de rotation de l'outil de forage.

De préférence, les réducteurs de chocs antérieurs sont prévus sur les lames sous forme d'inserts cylindriques fixés sur la surface supérieure des lames ou sous forme de structures protubérantes de la surface supérieure des lames et moulées avec les lames.

Dans certains modes de réalisation de l'outil de forage selon cette invention, l'outil de forage comprend en outre un réducteur de chocs postérieur associé à un couteau, disposé sur la même lame que ledit couteau, et disposé à une position arrière et à la même position radiale que ledit couteau.

Le terme « postérieur » (« trailing » en anglais) fait référence à une position vers l'arrière ou à une position suivante par rapport à un autre élément, dans le sens de rotation de l'outil de forage.

Les termes « lame antérieure » et « lame postérieure » et « réducteur de chocs antérieur » et « réducteur de chocs postérieur » font donc référence aux positions relatives des lames et des réducteurs de chocs.

Ainsi, une lame antérieure peut comprendre :

- un réducteur de chocs postérieur associé à un couteau de ladite lame antérieure et;
- un réducteur de chocs antérieur associé à un couteau d'une lame postérieure.

Aussi, une lame postérieure peut comprendre:

- un réducteur de chocs postérieur associé à un couteau de la lame postérieure et un réducteur de chocs antérieur associé à un couteau d'une lame encore plus en arrière dans la direction de rotation de l'outil.

De préférence, au moins un couteau est associée à:

- un réducteur de chocs antérieur qui est disposé dans la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs antérieur étant sur une autre lame qui précède dans le sens de rotation de l'outil de forage, et;
- est également associé à un réducteur de chocs postérieur, disposé à la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs postérieur étant sur la même lame que ledit couteau et disposé à une position derrière ledit couteau.

De préférence, le réducteur de chocs postérieur associé à un couteau a un sommet positionné en retrait par rapport à la ligne de profil de coupe.

De préférence, le réducteur de chocs postérieur a une largeur inférieure ou égale à la largeur du couteau.

De préférence, l'outil de forage comprend :

- au moins une lame principale s'étendant d'une région de cône de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieur et une pluralité de réducteurs de chocs postérieur, dans laquelle chaque réducteur de chocs postérieur est à une position derrière son couteau associé sur la même lame, et dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur est à une position derrière et radialement décalée par rapport aux réducteurs de chocs postérieur; et
- au moins une lame secondaire s'étendant au moins d'une région de nez de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieur et une pluralité de réducteurs de chocs postérieur, dans laquelle chaque réducteur de chocs postérieur est à une position derrière son couteau associé sur la même lame, et dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur est à une position derrière et radialement décalé par rapport aux réducteurs de chocs postérieur.

De préférence, les réducteurs de chocs postérieurs sont prévus sur les lames sous forme d'inserts cylindriques fixés sur la surface supérieure des lames ou sous forme de structures protubérantes de la surface supérieure de la lame et moulées avec les lames.

Dans un mode de réalisation, l'outil de forage comprend :

- au moins deux lames principales, s'étendant radialement d'une région de cône de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, dans laquelle chacun des couteaux a une position radiale unique lorsque l'on considère uniquement les lames principales ; et
- un nombre de lames secondaires étant le même ou un multiple du nombre desdites lames principales, lesdites lames secondaires s'étendant radialement au moins d'une région de nez de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage, dans laquelle chacun des couteaux des lames secondaires a une position radiale redondante avec un couteau d'une lame principale.

Dans le contexte de la présente invention, le terme « redondant » fait référence à des

éléments tels qu'un couteau, un réducteur de chocs antérieur ou un réducteur de chocs postérieur ayant la même position radiale par rapport à l'axe central que respectivement un autre couteau, un autre réducteur de chocs antérieur ou un autre réducteur de chocs postérieur.

Dans un mode de réalisation, l'outil de forage comprend six lames, dont trois lames principales et trois lames secondaires, dans lesquelles les couteaux sont disposés dans une configuration à « redondance» (« track set » en anglais) de sorte que chacun des couteaux et des réducteurs de chocs antérieur d'une lame secondaire ait une position radiale redondante avec respectivement un couteau et un réducteur de chocs antérieur d'une lame principale positionnés à 180° par rapport à l'axe central du trépan.

Dans un mode de réalisation, les lames de l'outil de forage comprennent :

- au moins deux lames principales s'étendant radialement d'une région de cône de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage ; et
- au moins deux lames secondaires s'étendant radialement d'une région de nez de l'outil de forage à une région de garde de l'outil de forage ;

dans lequel chaque couteau des lames principales et des lames secondaires a une position radiale unique lorsque l'on considère toutes les lames.

Dans l'un des modes de réalisation précédents, l'outil de forage a un corps d'outil de forage comprenant une face avant sur laquelle les lames portant des couteaux sont disposées, de préférence le couteau le plus intérieur étant espacé de l'axe central de l'outil de forage de manière à former un espace pour former une carotte de diamètre inférieur ou égal à 15%, préférablement inférieur ou égal à 10% du diamètre du corps de l'outil, l'espace étant situé à l'axe central de l'outil de forage, et une cavité pour évacuer la carotte vers la périphérie de l'outil de forage, la cavité étant délimitée par deux surfaces latérales de deux lames adjacentes et une surface de dégagement en retrait par rapport à la face avant du corps de l'outil.

Dans un autre aspect, la présente invention concerne l'utilisation d'un outil de forage

selon l'un des modes de réalisation décrits dans le présent document dans le forage directionnel ou dans le forage à travers une lithologie interstratifiée ou dans un assemblage de fond de trou mal stabilisé.

Description des dessins.

Les dessins sont présentés uniquement à titre indicatif et ne sont pas destinés à limiter la portée de la présente invention. Les dessins ne sont pas nécessairement à l'échelle, dans certains cas, certaines caractéristiques ont été agrandies ou non représentées dans les dessins pour faciliter la compréhension de certains des concepts de la présente invention.

La figure 1 montre une vue de superposition des couteaux et des réducteurs de chocs d'un trépan selon un mode de réalisation de la présente invention dans un profil rabattu autour de l'axe central du trépan.

Fig. 2A montre une vue en rotation dans un seul plan des positions radiales des couteaux et des réducteurs de chocs de deux lames adjacentes dans un exemple comparatif d'un trépan.

Fig. 2B montre une vue en rotation dans un seul plan des positions radiales des couteaux et des réducteurs de chocs de deux lames adjacentes d'un trépan selon un mode de réalisation de la présente invention.

Fig. 3A montre une vue en perspective d'une portion de formation et un arrangement à redondance (« track set » en anglais) de couteaux de deux lames d'un trépan avec des réducteurs de chocs selon un mode de réalisation de la présente invention dans lequel les couteaux engagent et coupent la formation.

Fig. 3B montre une vue en perspective d'une partie d'une formation et d'un arrangement positions uniques (« single set » en anglais) de couteaux de deux lames

d'un trépan avec des réducteurs de chocs selon un mode de réalisation de la présente invention, dans lequel les couteaux engagent et coupent la formation.

Fig. 4A montre un arrangement à positions uniques de couteaux d'un trépan et une position d'un réducteur de chocs selon un mode de réalisation de la présente invention.

Fig. 4B montre un arrangement à positions uniques alternatif de couteaux d'un trépan et une position d'un réducteur de chocs selon un mode de réalisation de la présente invention.

La figure 5 montre une vue du haut d'un trépan selon un mode de réalisation de la présente invention.

Description détaillée.

Selon un premier aspect, la présente invention se rapporte à un outil de forage pour la coupe de formation dans un puits de forage. L'outil de forage comprend un agencement de réducteurs de chocs comme décrit ci-dessous qui protège les couteaux des chocs et des vibrations verticales, latérales et de torsion, prolongeant ainsi la durée de vie des couteaux et de l'outil de forage.

Dans la description ci-jointe, le terme « outil de forage » (« downhole cutting tool » en anglais) peut être fait référence à un trépan, de préférence un trépan à couteaux fixes, ou à un trépan de carottage ou à un élargisseur ou à tout type de d'outils de forage muni de couteaux fixes.

Dans la description du présent document, le terme « trépan à couteaux fixe » peut être appelé de manière équivalente « trépan » ou « outil ». Dans la présente description, la présente invention sera présentée pour un mode de réalisation sous la forme d'un trépan à couteaux fixes. L'homme du métier appréciera que le concept de la présente

invention puisse également être appliqué à un élargisseur, à un trépan de carottage ou à tout type d'outil de forage muni de couteaux fixes.

Dans le contexte de la présente invention, l'outil de forage est un trépan à couteaux fixes comprenant une connexion filetée et un corps d'outil aligné coaxialement avec un axe central. Le trépan comprend un plénum interne s'étendant axialement à travers la connexion et partiellement dans le corps du trépan. La connexion filetée permet de connecter le trépan à un train de tiges. Le corps de l'outil comprend une pluralité de lames qui s'élèvent du corps de l'outil et forment un espace entre elles. Les lames portent une pluralité de couteaux comprenant une face de coupe orientée avec un certain angle d'inclinaison dans le sens de rotation du trépan. Les couteaux sont de préférence disposés en rangée s'étendant radialement sur le bord avant des lames, définissant ainsi une structure de coupe. La face avant du trépan est définie comme la partie du trépan qui est orientée vers le bas du puits de forage et qui comprend les lames et la structure de coupe engageant la formation de terre. Dans la présente description, le terme « face avant du trepan » ou « face du trépan » fait référence à la face du trépan orientée vers le bas du trou du forage pendant le forage. Le terme « surface supérieure de la lame » fait référence à la surface de la lame orientée vers le fond du trou du puits de forage pendant le forage.

Le trépan comprend en outre une pluralité de buses incorporées dans le corps du trépan et s'étendant du plénum du corps du trépan à travers un emplacement dans l'espace formé entre les lames. Pendant le forage, un fluide de forage ou une boue de forage est pompé à travers le train de tiges sur laquelle le trépan est fixé de manière à projeter le fluide de forage à travers la pluralité de buses. Les buses sont orientées de manière à projeter le fluide de forage pour nettoyer la structure de coupe et évacuer les débris du fond de trou. Le fluide de forage aide en outre à refroidir la structure de coupe.

Le corps de l'outil et les lames peuvent être en acier ou dans un matériau composite en carbure de tungstène, appelé outil matrice par l'homme du métier. Lorsqu'ils sont fabriqués à partir de matériau composite en carbure de tungstène, le corps de l'outil et

les lames sont généralement obtenus par moulage dans un moule en graphite. Dans la présente description, le terme « lames » fait référence à une structure qui s'élève axialement à partir du corps de l'outil et radialement par rapport à l'axe central de l'outil. Les lames peuvent s'étendre radialement de manière droite ou courbée le long du corps de l'outil.

Le trépan selon la présente invention comprend en outre des réducteurs de chocs prévus sur au moins deux lames. Le terme « réducteur de chocs » (shock reducer en anglais) est équivalent à « absorbeur de chocs » (shock aborber en anglais), « amortisseur », « arrêteur d'impacts » (impact arrestor en anglais), « ralentisseur », « contrôleur de profondeur de coupe (DOC) », « basse vibrations » (low vibe en anglais), ou toute autre terminologie de l'homme du métier adaptée à un insert ou à une structure prévue sur une lame pour réduire les chocs sur les couteaux. Les réducteurs de chocs sont des éléments protubérants de la surface supérieure des lames avec une partie supérieure à une hauteur inférieure ou égale, de préférence inférieure, à la hauteur du sommet d'un couteau associé par rapport à la surface supérieure de la lame. Avantageusement, la largeur des réducteurs de chocs est inférieure ou égale au diamètre des couteaux. Plus avantageusement, les réducteurs de chocs ont une surface supérieure ayant la forme d'un dôme, d'un dôme tronqué ou d'un tore. Dans certains modes de réalisation, les réducteurs de chocs sont des inserts ayant une partie longitudinale allongée, par exemple une partie cylindrique ou une partie prismatique, insérée dans des poches usinées sur les lames du trépan. Les réducteurs de chocs peuvent être des éléments d'insertion fabriqués à partir d'un matériau dur tel que le carbure de tungstène. Les réducteurs de chocs peuvent être fixés dans les poches prévues dans les lames par ajustement serré, par soudage ou brasage. La forme des réducteurs de chocs n'est pas limitative pour la présente invention et d'autres formes que celles décrites dans le présent document peuvent être prévues. Alternativement, les réducteurs de chocs peuvent être des structures en forme de dôme ou des structures en forme de dôme tronquées faisant partie des lames et obtenues par moulage des lames, lorsque les lames sont faites d'une matrice de carbure de tungstène.

Dans le contexte de la présente invention, le terme « couteau » peut faire référence à un élément de coupe tel que les couteaux compacts de diamant polycristallins, abrégés ici par « couteaux PDC ».

Les couteaux PDC comprennent un substrat allongé généralement cylindrique et en carbure de tungstène portant une couche de coupe de diamant polycristallin ou de matériau superabrasif tel que le nitrure de bore cubique, le diamant thermiquement stable (thermostable polycrystalline diamond en anglais, abrégé TSP), le nitrure de bore cubique polycristallin, le carbure de tungstène ultra dur ou une combinaison de ces matériaux. De tels couteaux sont bien connus de l'état de la technique. Les couteaux PDC peuvent avoir différents types de formes. Dans un mode de réalisation de la présente invention, les couteaux PDC ont une face de coupe circulaire avec un chanfrein. Les couteaux peuvent être soudés, brasés ou pressés par ajustage serré à l'intérieur de poches usinées généralement au bord avant des lames, ou en d'autres termes au bord de la lame orientée dans le sens de rotation du trépan.

Dans le contexte de la présente invention, les termes « antérieur » (« leading » en anglais) font référence à une position vers l'avant dans la direction de rotation du trépan. Le terme « postérieur » (« trailing » en anglais) fait référence à une position vers l'arrière par rapport à un élément avant dans le sens de rotation du trépan.

Le trépan selon la présente invention peut comprendre de trois à seize lames. Le nombre de lames est limité par le fait qu'il n'y a pas assez d'espace pour les placer. Plus le trépan est de grand diamètre, plus il y a de place pour avoir un nombre de lames plus élevé. Certains trépans peuvent avoir douze lames, par exemple dans une taille de 12 ¼" (311 mm) de diamètre et jusqu'à seize dans une taille de 17 ½" (444 mm) de diamètre. Pour les outils d'un diamètre de 8 ½" (215 mm), le nombre minimum de lames serait de trois, mais inhabituel, de préférence d'au moins quatre à neuf ou dix lames en général. Pour les outils de 6" (152 mm) de diamètre, ces outils comprennent généralement un maximum de huit à neuf lames. Pour un même diamètre, plus le

trépan comprend de lames, plus il nécessite des couteaux et des inserts, ce qui augmente le coût du trépan et la complexité de la conception du trépan. Un trépan nécessite généralement une conception avec des positions optimales des couteaux, des réducteurs de choc, des buses, la forme des lames et l'espace entre les lames afin de fournir un trépan bien équilibré avec une structure de coupe efficace, un refroidissement et un nettoyage efficaces de la structure de coupe et une évacuation des morceaux de roche efficace. Le trépan peut comprendre avantageusement six lames ou sept lames ou huit lames ou neuf lames. Dans un mode de réalisation plus approprié, le trépan comprend six lames.

Les lames peuvent être disposées sur le corps de l'outil de manière à former un espace pour former une carotte, préférablement de diamètre inférieur ou égal à 15%, plus préférablement inférieur ou égal à 10% du diamètre de corps de l'outil, l'espace pour former la carotte passant par l'axe central de l'outil, et une cavité pour évacuer la carotte vers la périphérie de l'outil, la cavité étant délimitée par deux surfaces latérales de deux lames adjacentes et une surface de dégagement en retrait par rapport à la face avant du trépan. Une telle disposition des lames est décrite dans le brevet US 8 960 335. Dans la présente description, une telle disposition des lames peut être appelée caractéristique de « microcarottage » (« microcoring » en anglais). Le terme « surface latérale de la lame » fait référence à une surface de la lame s'élevant du corps de l'outil.

Alternativement, les lames peuvent être disposées sur le corps de l'outil de manière à ce qu'une première lame s'étend radialement à partir de l'axe central ou à partir d'une position proche de l'axe central du corps de l'outil avec un premier couteau positionné avec sa partie de coupe à l'intersection de l'axe central de l'outil ou très proche de l'axe central de l'outil, préférablement à moins de 5 mm de l'axe.

Dans la présente description, le terme « proche de l'axe central » fait référence à une position radiale autour de l'axe central à une distance radiale de l'axe central inférieure à 2 fois le diamètre du couteau radialement le plus interne de l'outil, de préférence inférieure à 1,5 fois le diamètre du couteau radialement le plus interne de l'outil.

La figure 1 montre un exemple non limitant d'un profil d'un outil comme il apparaîtrait avec toutes les lames, les couteaux 4 et les réducteurs de chocs 7, 15 associés, tournés dans seul plan autour d'un axe central 6. Le profil tourné autour de l'axe permet de définir différentes zones du profil de la face de l'outil:

- une région de cône 11 qui est la région la plus centrale de la face de l'outil, la région de cône 11 s'étendant radialement à partir de l'axe central 6 de l'outil à une première position axiale 31 par rapport à l'axe central 6 vers une deuxième position radiale à une deuxième position axiale 32 plus à l'avant dans la direction de la face de l'outil afin de former un cône inversé;
- une région de nez 12 ayant un premier rayon de courbure 33, formant une partie circulaire s'étendant radialement à partir d'un point le plus intérieur tangent avec la région de cône à la deuxième position axiale 32, vers un point radialement plus externe 34 formant un angle compris entre 35° à 55°, de préférence 40° à 50°, par exemple 45° avec l'axe central dans la direction avant de l'outil;
- une région d'épaulement 13 s'étendant radialement à partir du point le plus externe 34 de la région de nez 12 jusqu'à un point de garde 35 formant un angle de 90° avec l'axe central dans la direction avant de l'outil ;
- une région de garde 14 qui s'étend sensiblement parallèlement à l'axe central de l'outil à partir de la région d'épaulement 13 au point de garde 35 jusqu'à une extrémité 36.

Dans certains modes de réalisation, la région du cône 11 peut être remplacée par une région plate s'étendant sensiblement perpendiculairement à l'axe central. Dans certains modes de réalisation, comme pour les trépans comprenant une caractéristique de microcarottage, le couteau le plus intérieur peut être à une certaine distance de l'axe central, par exemple une distance de 5 mm à 20 mm.

Les couteaux 4 disposés dans la région d'épaulement 13 et la région de garde 14 sont plus susceptibles de s'user et de se briser dû aux vibrations et aux chocs pendant la

rotation du trépan, en raison de leur vitesse circonférentielle plus élevée par rapport à la vitesse circonférentielle des couteaux disposés dans la région de cône 11. Les couteaux disposés dans la région de nez 12 sont plus sujets à l'usure des chocs axiaux car ils sont axialement à la position la plus avant de la face du trépan. Les couteaux 4 dans la région du cône 11 sont confrontées à des chocs vibrationnels ou à des chocs axiaux moins importants et ne nécessitent donc pas autant de réducteurs de chocs 7, 15 dans la région du cône que dans la région de nez, de la région d'épaulement et de la région de la garde.

La fig. 2A représente une vue schématique simplifiée de :

- portion de lame antérieure (non représentée) transportant des couteaux 4' et un réducteur de chocs postérieur 15 radialement derrière un couteau 4' et ;
- portion de lame postérieure (non représentée) transportant des couteaux 4" radialement décalés des couteaux 4' de la lame antérieure ;

dans lequel les deux portions de la lame antérieure et de la lame postérieure sont présentées dans un profil tourné autour de l'axe central 6 de l'outil.

La fig. 2B représente une vue schématique simplifiée de :

- portion de lame antérieure (non représentée) transportant des couteaux 4' et un réducteur de chocs antérieur 7 décalé radialement des couteaux 4' et ;
- portion de lame postérieure (non représentée) transportant des couteaux 4" radialement décalés des couteaux 4' de la lame antérieure ;

dans lequel les deux portions de la lame antérieure et de la lame postérieure sont présentées dans un profil tourné autour de l'axe central 6 du trépan et dans lequel le réducteur de chocs antérieur 7 a la même position radiale qu'un couteau 4" de la lame postérieure.

Comme le montre la fig. 2A et 2B, chaque couteau 4', 4" présent sur une lame a un sommet 10', 10" le plus éloigné de la surface supérieure 9 de la lame. Pour plus de facilité, dans la présente description, un sommet d'un couteau ou d'un réducteur de chocs le plus éloigné de la surface supérieure 9 d'une lame sera désigné ici comme «

sommet ». Un réducteur de chocs 7, 15 a également un sommet 8, 18. Les sommets 10', 10" de chaque couteau 4', 4" permettent de définir dans un profil rabattu autour de l'axe central, une ligne de profil de coupe 50 qui est une ligne passant à travers chaque sommet 10', 10" des couteaux 4', 4" comprenant une portion droite et une portion courbée comme celle vue sur la figure. 1. Il est entendu que la fig. 2A et 2B sont des figures conceptuelles.

La position radiale d'un couteau 4 est définie comme la position radiale du sommet 10 du couteau 4 par rapport à l'axe central 6 de l'outil, et la position radiale d'un réducteur de chocs 7, 15 est définie comme la position radiale du sommet 8, 18 du réducteur de chocs 7, 15 par rapport à l'axe central 6 de l'outil.

Les réducteurs de chocs empêchent les couteaux d'engager la formation trop profondément. Si un choc soudain se produit, la force réactive n'est pas seulement prise par les couteaux, mais le réducteur de chocs aide également et prévient un choc excessif sur les couteaux. En protégeant les couteaux par l'arrière, comme dans les trépans de l'état de l'art, la protection des couteaux est limitée. Les réducteurs de chocs situés derrière les couteaux appliquent une force de réaction sur la formation rocheuse qui vient d'être coupée. La valeur de la profondeur de coupe n'a pas beaucoup d'influence sur l'efficacité des réducteurs de choc. Mais plus la profondeur de coupe est élevée, plus les forces sur les couteaux sont élevées et plus le risque qu'un choc induise une fissure ou le brise est élevé. La profondeur de coupe indique à quelle profondeur les couteaux engagent la formation.

Pendant le forage, les couteaux creusent des rainures hélicoïdales 16 et des crêtes 17 dans la roche avec un pas égal à la profondeur de coupe. Les crêtes 17 peuvent avoir un profil avec une partie supérieure concave résultant du passage antérieur des couteaux. Pour limiter la profondeur de coupe, la pratique était de placer les réducteurs de chocs dans une position telle qu'ils s'appuieraient sur la rainure des roches créée par le couteau telle que représentée conceptuellement sur la fig. 2A. Plus proche le réducteur de chocs 15 se situe derrière le couteau, plus le décalage entre le sommet10'

du couteau 4' et le sommet 18 du réducteur de chocs 15 doit être faible pour permettre le glissement du réducteur de chocs sur la rainure de la roche. Pour rendre un réducteur de chocs plus efficace à l'arrière d'un couteau, son exposition par rapport au couteau pourrait être minimisée, de sorte que le sommet 18 du réducteur de chocs 15 soit proche ou au même niveau que le sommet 10' du couteau 4'. Comme le réducteur de chocs 15 est placé derrière le couteau, le décalage du sommet18 des réducteurs de chocs 15 doit être très petit. Par exemple, si la profondeur de coupe est de 1 mm effectuée sur une rotation complète du trépan, ou à 360°, alors un réducteur de chocs placé derrière le couteau, par exemple à 10° derrière le sommet du couteau par rapport à l'axe central du trépan, alors le décalage doit être égal à 1 mm*10/360, c'est-à-dire 0,02 mm. Mais cela causerait un autre problème à mesure que le couteau s'use. Lorsque le couteau s'use, le réducteur de chocs glisse sur la formation rocheuse et limite la profondeur de coupe, ce qui ralentit le trépan et peut aller jusqu'à l'empêcher éventuellement de forer. Un tel petit décalage de 0,02 mm soulève également le problème de difficulté de fabrication de tolérances aussi serrées.

Les inventeurs ont étonnamment constaté qu'un couteau 4 positionnée en position radiale sur une première lame, peut être efficacement protégée par un réducteur de chocs 7 positionné dans la même position radiale que la couteau 4, mais sur une autre lame, de préférence une lame antérieure dans le sens de rotation de l'outil, de préférence une lame adjacente antérieure à la première lame dans la direction de rotation R de l'outil. L'un des avantages de placer le réducteur de chocs 7 sur la lame principale par rapport à un couteau 4" sur une lame postérieure, est que le réducteur de chocs peut maintenant être positionné par exemple à 50° par rapport à l'axe central du trépan devant le couteau 4", ce qui équivaut à 310° derrière ce même couteau 4". Le décalage peut maintenant être de 1 mm*310/360, c'est-à-dire 0,86 mm pour une profondeur de coupe de 1 mm. Avec ce décalage plus élevé, une petite usure du PDC n'a pas un impact aussi négatif sur la profondeur de coupe. Il facilite également le processus de fabrication en évitant les tolérances serrées.

Pour plus de commodité, dans la présente description, un élément « antérieur » ou «

avant » (« leading » en anglais) tel qu'un réducteur de chocs ou une lame se réfère à un élément étant en position avant ou en position de tête par rapport à un autre élément, dans le sens de rotation R de l'outil. Également dans la présente description, un élément « postérieur » ou « arrière » (« trailing » en anglais) se réfère à un élément étant en position arrière ou en position de trainée par rapport à un autre élément dans le sens de rotation R de l'outil.

Au moins un couteau 4 est associé à un réducteur de chocs antérieur 7, le terme « associé » signifiant dans le contexte du présent document que le couteau 4 et le réducteur de chocs antérieur 7 qui y est associé ont la même position radiale par rapport à l'axe central 6 de l'outil 1. Dans le contexte ci-après, le terme « réducteur de chocs antérieur » fait référence à un réducteur de chocs disposé sur une lame antérieure et associé à un couteau 4 d'une lame postérieure. Plus particulièrement, un réducteur de chocs antérieur 7 associé à un couteau 4 se trouve sur une autre lame que le couteau qui lui est associé, dans une position à l'avant par rapport au couteau 4 associé, à un angle inférieur à 180° par rapport à l'axe central 6 de l'outil 1.

Comme le montre la fig. 2B, afin de protéger suffisamment un couteau 4" sur une lame postérieure, tout en conservant une profondeur de coupe suffisante et un bon taux de pénétration, un réducteur de chocs antérieur 7 sur une lame antérieure, associé au couteau 4" de la lame postérieure a un sommet 8 en retrait par rapport à la ligne de profil de coupe 50 à la même position radiale du couteau 4". La distance entre le sommet du réducteur de chocs antérieur 7 et la ligne de profil de coupe 50 peut être sélectionnée de 1 % à 99 %, de préférence de 5 % à 90 %, de préférence de 5 % à 70 %, ou plus de préférence de 5 % à 30 % de la hauteur entre la ligne de profil de coupe 50 et la surface supérieure 9 de la lame dans la même position radiale.

Le réducteur de chocs antérieur est avantageusement fabriqué dans un matériau dur tel que le carbure de tungstène ou le diamant polycristallin, afin d'éviter l'usure de ce réducteur de chocs antérieur.

De préférence, le réducteur de chocs antérieur a une largeur inférieure ou égale à la largeur des couteaux.

De préférence, l'outil de forage comprend :

- au moins une lame principale MB s'étendant d'une région de cône 11 de l'outil à une région de garde 14 de l'outil, et sur laquelle s'étend une pluralité de couteaux 4 et de réducteurs de chocs antérieurs 7 ; et
- au moins une lame secondaire SB s'étendant au moins d'une région de nez 12 de l'outil à une région de garde 14 de l'outil, et sur laquelle s'étend une pluralité de couteaux 4 et de réducteurs de chocs antérieur 7.

Dans la présente description, le terme « lame principale » fait référence à une lame 3 s'étendant radialement à partir d'une position à l'axe central 6 ou à proximité de l'axe central 6 dans la région du cône 11 à travers une région de nez 12, une région d'épaulement 13, jusqu'à la garde 14 de l'outil. Le terme « lame secondaire » fait référence à une lame 3 s'étendant radialement à partir d'une position dans la région du cône 11 à proximité de la région de nez 12 ou de la région de nez 12 jusqu'à la garde 14 du trépan. Typiquement, les lames secondaires SB s'étendent jusqu'à la région de garde 14 à partir d'une région radiale plus vers l'extérieur que la région la plus intérieure des lames principales MB. Les lames secondaires SB sont plus courtes que les lames principales MB et comprennent moins de couteaux 4 et moins de réducteurs des chocs 7 que sur les lames principales MB.

Les réducteurs de chocs ont été décrits ci-dessus. Dans certains modes de réalisation, les réducteurs de chocs antérieurs 7 peuvent être fournis sur les lames 3 sous forme d'inserts cylindriques fixés sur les lames 3 et protubérant de la surface supérieure 9 des lames 3, ou sous forme de structures protubérantes de la surface supérieure 9 des lames et moulées avec les lames comme décrit ci-dessus.

La structure de coupe du trépan comprend des couteaux 4 qui sont positionnées sur le

bord avant 5 de chaque lame 3. Chaque lame comprend en outre au moins un réducteur de chocs antérieur associé à un couteau respectif d'une autre lame, de préférence la lame postérieure adjacente.

De préférence, au moins une lame principale MB comprend une rangée de réducteurs de chocs antérieurs 7, dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur 7 est associé à un couteau 4 d'une lame postérieure, de sorte que la position radiale de chaque réducteur de chocs antérieur 7 soit la même que la position radiale de son couteau 4 associé sur la lame postérieure. Étant donné que le couple sur les couteaux est plus faible dans la région la plus intérieure du trépan, les réducteurs de chocs antérieurs peuvent être omis dans la région proche de l'axe central 6 du trépan, comme le montrent par exemple les figures 1 et 5, alors qu'il est préférable de protéger chacun des couteaux 4 de la lame antérieure au moins dans la région d'épaulement 13 et dans la région de garde 14 par des réducteurs de chocs antérieurs 7.

De préférence, au moins une lame secondaire SB comprend une rangée de réducteurs de chocs antérieurs 7, dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur 7 est associé à un couteau 4 d'une lame postérieure, de sorte que la position radiale de chaque réducteur de chocs antérieur soit la même que la position radiale de son couteau associé sur la lame postérieure. Un ou deux réducteurs de chocs antérieurs peuvent être omis dans la région radiale la plus interne de la lame secondaire, alors qu'il est préférable de protéger chacun des couteaux 4 de la lame postérieure au moins dans la région d'épaulement 13 et dans la région de garde 14 par des réducteurs de chocs antérieur 7.

Avantageusement, les caractéristiques liées aux réducteurs de chocs décrits ci-dessus peuvent être combinées à un arrangement particulier de lames et de couteaux dans lequel le trépan comprend:

- au moins deux lames principales MB, s'étendant radialement d'une région de cône 11 du trépan à une région de garde 14 du trépan, dans laquelle chaque couteau 4 a une position radiale unique lorsque l'on considère les lames principales MB uniquement ; et

- un nombre de lames secondaires SB étant le même ou un multiple du nombre desdites lames principales MB, lesdites lames secondaires SB s'étendant radialement d'une région de nez 11 du trépan à une région de garde 14 du trépan, dans lequel chaque couteau 4 des lames secondaires a une position radiale redondante avec un couteau 4 d'une lame principale MB.

Un tel arrangement est appelé ici « à redondance » (« track set » en anglais). En d'autres termes, dans un arrangement à redondance des couteaux, les couteaux 4 des lames secondaires SB ont une position radiale redondante avec certains des couteaux 4 des lames principales MB. En conséquence, chaque réducteur de chocs antérieur 7 d'une lame secondaire SB a une position radiale redondante avec la position radiale d'un réducteur de chocs antérieur 7 d'une lame principale MB.

Les figures 2A et 2B montrent une vue conceptuelle des couteaux d'une lame antérieure et d'une lame postérieure engageant la formation rocheuse 20 (la zone hachurée).

La fig. 2A montre une vue schématique d'une partie d'une structure de coupe d'un trépan de l'art antérieur dans laquelle les couteaux 4' d'une lame antérieure et les couteaux 4" d'une lame postérieure sont superposés dans un profil rabattu. La lame antérieure (non représentée) est la première lame dans le sens de rotation R de l'outil engageant et coupant la formation, et la lame postérieure (non représentée) est la deuxième lame dans le sens de rotation de l'outil engageant et coupant la formation après la lame antérieure. Chacun des couteaux a une surface de coupe arrondie. Les couteaux de chaque lame sont positionnés radialement les uns à côté des autres et ont généralement un peu d'espace entre eux. Dans le profil rabattu, les couteaux 4" de la lame postérieure chevauchent partiellement les couteaux 4' de la lame antérieure. Sur une même lame antérieure, un réducteur de chocs postérieur 15 (un seul étant représenté sur la fig. 2A) est associé à un couteau 4' et positionné radialement derrière le couteau 4'. Pendant le forage, les couteaux 4' de la lame principale engagent la formation avec une certaine profondeur de coupe et forment une pluralité de rainures

16 et de crêtes 17 dans la formation. Les crêtes 17 ont généralement un profil avec une partie concave supérieure résultant du passage antérieur des couteaux. Comme le montre la fig. 2A, les extrémités les plus éloignées 10" des couteaux 4" de la lame postérieure sont radialement décalées à partir des extrémités les plus éloignées 10' des couteaux 4' de la lame antérieure. Les couteaux 4" de la lame postérieure coupent au moins une partie de la formation non coupée, c'est-à-dire la crête 17 laissée après le passage des couteaux 4' de la lame antérieure.

La fig. 2B montre une vue schématique d'une portion d'une structure de coupe d'un trépan selon un mode de réalisation de la présente invention dans lequel les couteaux 4' d'une lame antérieure et les couteaux 4" d'une lame postérieure sont superposés en un seul profil rabattu. La lame antérieure est la première lame dans le sens de rotation R du trépan engageant et coupant la formation, et la lame postérieure est la deuxième lame dans le sens de rotation du trépan engageant et coupant la formation après la lame antérieure. Chacun des couteaux a une surface de coupe arrondie. Les couteaux de chaque lame sont positionnés radialement l'un à côté de l'autre, de préférence avec un espace entre les deux. Dans le profil rabattu, les couteaux 4" de la lame postérieure chevauchent partiellement les couteaux 4' de la lame antérieure. Sur une même lame antérieure, un réducteur de chocs antérieur 7 (un seul représenté sur la fig. 2B pour plus de commodité) est positionné radialement décalé entre deux couteaux 4' et a la même position radiale qu'un couteau 4" d'une lame postérieure. Pendant le forage, les couteaux 4' de la lame principale engagent la formation avec une certaine profondeur de coupe et forment une pluralité de rainures 16 et de crêtes 17 dans la formation. Les crêtes 17 ont généralement un profil avec une partie concave supérieure résultant du passage antérieur des couteaux. Comme le montre la fig. 2B, les extrémités les plus éloignées 10" des couteaux 4" de la lame postérieure sont décalées radialement à partir des extrémités les plus éloignées 10' des couteaux 4' de la lame antérieure. Les couteaux 4" de la lame postérieure coupent au moins une partie de la formation non coupée après le passage des couteaux 4' de la lame antérieure. Le réducteur de chocs antérieur 7 associé à un couteau 4" de la lame postérieure peut s'appuyer contre la crête 17, avantageusement contre la concavité de la crête 17.

La fig. 3A montre une vue en perspective d'une partie d'une formation 20 pendant le forage et un agencement à redondance de couteaux de deux lames d'un trépan à six lames avec des réducteurs de chocs, dans lequel les couteaux s'engagent et coupent la formation 20. Pour plus de clarté, les lames ne sont pas représentées. Une première lame antérieure (non représentée) comprend des couteaux 4', des réducteurs de chocs antérieurs 7' et en option, des réducteurs de chocs postérieurs 15' en position derrière les couteaux 4' et devant les réducteurs de chocs antérieurs 7'.

Une deuxième lame postérieure (non représentée) comprend des couteaux 4", des réducteurs de chocs antérieurs 7" et en option, des réducteurs de chocs postérieurs 15" en position derrière les couteaux 4" et devant les réducteurs de chocs antérieurs 7". Pendant le forage, les couteaux 4' de la lame antérieure creusent dans la formation 20 une pluralité de rainures 16 avec des crêtes 17 entre elles, dans laquelle les rainures 16 et les crêtes 17 ont une trajectoire hélicoïdale. Dans le contexte ici, une crête 17 se réfère à la formation non coupée laissée après le passage de deux couteaux adjacents 4' d'une lame antérieure. Les crêtes 17 ont généralement un profil avec une partie supérieure comprenant une concavité résultant du passage antérieur de couteaux. Les crêtes 17 fournissent une surface de contact hélicoïdale sur laquelle peuvent s'appuyer les réducteurs de chocs antérieurs 7' de la lame antérieure, protégeant ainsi les couteaux 4" de la lame postérieure engageant la formation non coupée et qui sont dans le même chemin hélicoïdal que leur réducteur de chocs antérieur associé 7', en fournissant une force réactive pour limiter la profondeur de coupe du couteau 4" de la lame postérieure. Les surfaces de contact hélicoïdales des crêtes sont également rainurées en raison du passage précédent d'autres couteaux de premier plan (plus antérieurs) dans la formation. Comme le montre la fig. 3A les surfaces de contact hélicoïdales des crêtes 17 sont relativement larges et les rainures 16 formées par deux couteaux adjacents 4' d'une lame antérieure sont peu profondes.

Dans un mode de réalisation, lorsque les couteaux sont disposés dans une configuration à redondance et que l'outil comprend six lames incluant des lames

principales et des lames secondaires, il est possible de positionner les couteaux et les réducteurs de chocs antérieurs d'une lame secondaire à 180° par rapport à l'axe central du trépan des couteaux et des réducteurs de chocs antérieurs d'une lame principale. Dans un autre mode de réalisation, lorsque les couteaux sont disposées dans une configuration à redondance et que l'outil comprend quatre lames, dont deux lames principales et deux lames secondaires, les deux lames principales doivent être à 180° l'une de l'autre par rapport à l'axe central du trépan et les couteaux et les réducteurs de chocs antérieurs d'une lame principale peuvent être positionnés à une position radiale redondante avec les couteaux et les réducteurs de chocs principaux d'une lame secondaire positionnées à 90° ou 270° d'une lame principale.

De préférence, chaque couteau 4 associé à un réducteur de chocs antérieur 7 comme décrit ci-dessus est en outre associé à un réducteur de chocs postérieur 15 comme le montre la figure. 3A. Le terme « associé » signifie dans le contexte du présent document que le couteau 4 et le réducteur de chocs postérieur 15 qui y est associé ont la même position radiale par rapport à l'axe central 6 de l'outil. Dans le contexte ci-après, le terme « réducteur de chocs postérieur » fait référence à un réducteur de chocs disposé sur une lame 3, le réducteur de chocs postérieur 15 étant associé à un couteau 4 et disposé à une position arrière par rapport au couteau 4 de la même lame 3. Par conséquent, dans un tel mode de réalisation, chaque lame 3 comprend au moins un couteau 4 disposé au bord avant 5 de la lame 3, un réducteur de chocs postérieur 15 associé au couteau 4 de la même lame 3 et un réducteur de chocs antérieur 7 associé à un autre couteau d'une autre lame postérieure, dans lequel le réducteur de chocs antérieur est radialement décalé à partir du couteau de la même lame et du réducteur de chocs postérieur de la même lame. Le réducteur de chocs antérieur est de préférence à l'arrière et décalé par rapport au réducteur de chocs postérieur sur la même lame. Comme représenté sur la fig. 3A, un couteau 4'' est associé à une paire de réducteurs de chocs 15'', 7' dans lequel :

- un réducteur de chocs postérieur de 15'' est positionné à une position à l'arrière dudit couteau 4'' sur la même lame et à la même position radiale ; et

- un réducteur de chocs antérieur de 7' est positionné à une position antérieure relative audit couteau 4" sur une autre lame antérieure et à la même position radiale.

L'association des couteaux 4 avec les réducteurs de chocs antérieurs 7 et les réducteurs de chocs postérieurs 15 fournit une meilleure stabilisation du trépan pendant le forage, réduit les chocs sur les couteaux et prolonge la durée de vie du trépan, en particulier lorsque le trépan est utilisé dans des conditions difficiles telles que l'utilisation dans un assemblage de fond de trou mal stabilisé ou en combinaison avec un moteur à déplacement positif, par exemple dans les applications de forage directionnel.

Les réducteurs de chocs postérieurs 15 peuvent être fabriqués à partir d'un matériau dur tel que le diamant polycristallin ou le carbure de tungstène. Comme l'usure des réducteurs de chocs postérieurs est moins critique que pour les réducteurs de chocs antérieurs 7, les réducteurs de chocs postérieurs 15 sont de préférence en carbure de tungstène.

De préférence, les réducteurs de chocs arrière ont une largeur égale ou inférieure à la largeur des couteaux.

De préférence, une pluralité de réducteurs de chocs postérieurs 15 s'étend radialement le long des lames principales MB d'une région de cône 11 de l'outil à une région de garde 14 de l'outil et une pluralité de réducteurs de chocs postérieurs 15 s'étend radialement le long des lames secondaires SB d'au moins d'une région de nez 12 de l'outil à une région de garde 14 de l'outil. De préférence, chaque lame comprend :

- une première rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15 associés aux couteaux 4 de la même lame et à une position à l'arrière desdits couteaux 4 ; et
- une deuxième rangée de réducteurs de chocs antérieurs 7 de préférence disposés derrière les réducteurs de chocs postérieurs 15 et décalés radialement à partir des réducteurs de chocs postérieurs 15 sur la même lame et associés aux couteaux 4 d'une autre lame postérieure.

Au moins une lame principale MB comprend une rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15, dans lesquels chaque réducteur de chocs postérieur 15 est associé à un couteau 4 d'une même lame, de sorte que la position radiale de chaque réducteur de chocs postérieur est la même que la position radiale de son couteau associé. Cependant, en raison du manque d'espace dans la région centrale de l'outil, à proximité de l'axe central 6, tous les couteaux ne sont pas associés à un réducteur de chocs postérieur 15. Au moins un des couteaux radialement internes de la région de cône 11 n'est pas associé à un réducteur de chocs postérieur 15. Pendant le forage, le couple appliqué sur les couteaux les plus radialement internes du trépan est plus petit que le couple appliqué sur les couteaux les plus radialement externes. Par conséquent, les réducteurs de chocs postérieurs peuvent être omis à proximité de l'axe central, tandis qu'il est préférable de protéger chacun des couteaux au moins dans la région de l'épaulement 13 et dans la région de garde 14 par des réducteurs de chocs postérieurs 15.

Au moins une lame secondaire SB comprend une rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15, dans lesquels chaque réducteur de chocs postérieur 15 est associé à un couteau 4 d'une même lame, de sorte que la position radiale de chaque réducteur de chocs postérieur est la même que la position radiale de son couteau associé. Certains des couteaux les plus radialement internes d'une lame secondaire peuvent ne pas être associées à un réducteur de chocs postérieur. Cependant, la majorité des couteaux 4 des lames secondaires SB étant situés au moins dans la région d'épaulement 13 et dans la région de garde 14, chacun de ces couteaux 4 dans la région d'épaulement 13 et la région de garde 14 est protégé par des réducteurs de chocs postérieur 15.

Dans un trépan ayant une structure de coupe arrangée en configuration à redondance, ayant des lames principales MB et des lames secondaires SB, et comprenant des réducteurs de chocs postérieurs 15 et des réducteurs de chocs antérieurs 7, chaque couteau 4 sur une lame secondaire SB a une position radiale redondante avec celle d'une couteau sur une lame principale MB, chaque réducteur de chocs postérieur 15 d'une lame secondaire SB a une position radiale redondante avec la position radiale d'un réducteur de chocs postérieur 15 d'une lame principale MB et chaque réducteur

de chocs antérieur 7 d'une lame secondaire SB a une position radiale redondante avec la position radiale d'un réducteur de chocs antérieur 7 d'une lame principale MB.

Dans un autre mode de réalisation, un trépan peut avoir une structure de coupe disposée selon une configuration « à positions uniques » (« single set » en anglais), au lieu d'une configuration à redondance. Le terme « positions uniques » fait référence à un arrangement de couteaux sur les lames incluant les lames principales et les lames secondaires, dans lequel chaque couteau des lames principales et des lames secondaires a une position radiale unique lorsqu'on considère toutes les lames. Dans un trépan avec un arrangement de couteaux à positions uniques comprenant des réducteurs de chocs antérieurs, chaque réducteur de chocs antérieur a également une position radiale unique lorsqu'on considère toutes les lames. Dans une configuration à positions uniques, un réducteur de chocs antérieur associé à un couteau d'une première lame peut être positionné sur une lame antérieure qui n'est pas nécessairement adjacente à la première lame dans le sens de rotation de l'outil. La fig. 3B montre une vue en perspective d'une portion d'une formation 20 pendant le forage et un arrangement de couteaux de deux lames (non représentées) d'un trépan dans lequel les couteaux sont disposées dans une configuration unique avec des réducteurs de chocs selon un mode de réalisation de la présente invention, et dans laquelle les couteaux s'engagent et coupent la formation 20. Pour les trépans selon ce mode de réalisation alternatif, la structure de coupe est telle que dans un profil rabattu de toutes les lames, le chevauchement radial entre les couteaux des lames adjacentes est généralement plus important, ce qui se traduit par une surface de contact plus avantageuse entre la formation rocheuse et le couteau et un meilleur taux de pénétration. Comme on peut le voir sur la fig. 3B, les couteaux de chaque lame creusent des rainures hélicoïdales 16 et forment des crêtes 17 entre elles, dans lesquelles la largeur de la rainure et des crêtes semble plus étroite comparée à pour une formation coupée par des couteaux avec un arrangement à redondance. Dans le présent contexte, les crêtes 17 sont une formation non coupée laissée par le passage de deux couteaux adjacents d'une lame antérieure. Les crêtes formées par les couteaux d'une première lame antérieure fournissent une surface de contact hélicoïdale étroite sur laquelle les réducteurs de

chocs antérieurs d'une lame postérieure non adjacente peuvent s'appuyer. Par conséquent, avec un arrangement de couteaux à positions uniques, les réducteurs de chocs antérieurs peuvent avoir une surface de contact plus étroite avec des parties de formation non coupées précédemment formées par les couteaux pendant le forage, mais la structure de coupe est plus efficace. Les rainures 16 creusées par les couteaux sont généralement plus profondes et les crêtes 17 formées entre elles sont généralement plus étroites et plus élevées, comme on le voit sur la fig. 3B. Le sommet des réducteurs de chocs peut être en retrait à une plus grande distance par rapport à la ligne de profil de coupe 50. Les trépans selon ce mode de réalisation alternatif peuvent également comprendre des réducteurs de chocs postérieurs, chacun d'eux ayant également une position radiale unique lorsque l'on considère toutes les lames.

La fig. 4A montre une vue de dessus des positions des couteaux d'un trépan à six lames comprenant trois lames principales MB1, MB2, MB3 et trois lames secondaires SB1, SB2, SB3 et dans laquelle les couteaux sont disposées dans une configuration à positions uniques en spirale inversée. Le terme « configuration à positions uniques en spirale inversée » fait référence à un arrangement de couteaux dans lequel, à partir du couteau le plus intérieur de l'outil, chaque couteau suivant dans le sens de rotation de l'outil est positionné radialement à une distance incrémentée de l'axe central 6 du bit. Les couteaux peuvent alternativement être disposées dans une configuration en spirale directe, dans laquelle à partir du couteau le plus intérieur du trépan, chaque couteau suivant dans la direction opposée à la direction de rotation du trépan est positionné radialement à une distance incrémentée de l'axe central 6 du trépan. Sur la fig. 4A, pour plus de commodité, seuls les couteaux et un seul réducteur de chocs antérieur sont représentés, et les 25 premiers couteaux du trépan sont numérotés en fonction de leur position radiale par rapport à l'axe central. À partir du couteau la plus interne du trépan, chacun des couteaux suivants dans le sens de rotation du trépan est décalé radialement l'un de l'autre. Lorsque l'on regarde par exemple le quinzième couteau de la lame secondaire SB1 et le seizième couteau de la lame principale MB3, leurs positions radiales respectives sont décalées mais relativement proches les unes par rapport aux autres. Par conséquent, la position radiale du réducteur de chocs antérieur

sur la lame principale MB3 associée au quinzième couteau de la lame secondaire SB1 et la position radiale du seizième couteau de la lame principale MB3 sont également décalés et relativement proches les unes par rapport aux autres, ce qui entraîne une moins bonne surface de contact entre le réducteur de chocs antérieur et la formation non coupée. Afin de fournir une meilleure surface de contact entre le réducteur de chocs antérieur et la formation non coupée, le réducteur de chocs antérieur 7 peut être prévu sur une autre lame plus à l'avant dans le sens de rotation, mais à un angle inférieur à 180° par rapport à son couteau associé.

La fig. 4B montre une vue de dessus des positions des couteaux d'un outil à six lames comprenant trois lames principales MB1, MB2, MB3 et trois lames secondaires SB1, SB2, SB3 et dans lequel les couteaux sont disposés dans une configuration à positions uniques permutées. Le terme "configuration à positions uniques permutées" fait référence à une configuration à positions uniques de couteaux dans laquelle, après avoir conçu un premier modèle selon un arrangement à positions uniques en spirale inversée de couteaux comme décrit ci-dessus, un deuxième modèle d'un outil a été généré en permutant par rotation les lames secondaires les unes avec les autres, ainsi que leurs couteaux. La fig. 4B montre un exemple d'arrangement à positions uniques permutées de couteaux sur un outil, dans lequel les lames secondaires SB1, SB2 et SB3 ainsi que leurs couteaux ont été permutés par rotation d'un angle de 120° autour de l'axe central de l'outil. Sur la fig. 4B, pour plus de facilité, seuls les couteaux et un seul réducteur de chocs sont représentés et les positions radiales des 25 premiers couteaux sont numérotées en fonction de leur position radiale par rapport à l'axe central. Dans cette configuration de la fig. 4B, le quinzième couteau est à une position avant par rapport au seizième couteau dans le sens de rotation de l'outil et est à une position arrière par rapport au douzième et au dix-huitième couteaux. Le quinzième couteau et son réducteur de chocs antérieur associé sont à une position radiale intermédiaire entre le douzième et le dix-huitième couteau. Par conséquent, dans cette configuration, le réducteur de chocs antérieur associé au quinzième couteau a une meilleure surface de contact avec la formation non coupée laissée par le douzième et

le dix-huitième couteau, sur lequel il peut s'appuyer, offrant ainsi une meilleure protection du quinzième couteau.

La figure 5 montre une vue de dessus d'un trépan 1 selon un mode de réalisation de la présente invention. Le trépan comprend des lames 3, dont trois lames principales MB1, MB2, MB3 et trois lames secondaires SB1, SB2, SB3. Le trépan 1 de ce mode de réalisation comprend une cavité centrale 40 pour former une carotte et une surface de dégagement 41 sur le corps de trépan 2 pour évacuer la carotte vers la périphérie du trépan, la surface de dégagement étant formée entre une lame principale MB1 et une lame secondaire SB3. Une telle "fonction de microcarottage" n'est montrée qu'à titre d'illustration, est facultative et non limitante pour la présente invention.

Les trois lames principales MB1, MB2, MB3 s'étendent radialement le long du corps du trépan 2 à partir d'une région centrale proche de l'axe central 1 du trépan à travers une région du cône 11, une région de nez 12, une région d'épaulement 13 et une région de garde 14 du trépan.

Les trois lames secondaires SB1, SB2, SB3 s'étendent radialement le long du corps 2 de l'outil à partir d'une région proche de la région de nez 12 à travers une région d'épaulement 13 et une région de garde 14 de l'outil. Les lames secondaires sont plus courtes que les lames principales et comprennent moins de couteaux 4 et moins de réducteurs de chocs 7, 15 que sur les lames principales.

Le trépan comprend en outre des buses 42 disposées dans l'espace entre les lames 3. De manière avantageuse, la forme des lames et les positions des buses sont optimisées de manière à fournir un trépan bien équilibré. Les buses s'étendent du plénum du trépan à la face du trépan de manière à projeter un fluide de forage pour évacuer les boutures formées pendant le perçage et nettoyer et refroidir avantageusement la structure de coupe.

Chaque lame 3 comprend une rangée de couteaux 4, avantageusement des couteaux PDC de forme cylindrique et chacun positionné au bord avant 5 de chaque lame 3. Chacun des couteaux des trois lames principales MB1, MB2, MB3 a une position radiale unique lorsque l'on considère les couteaux des trois lames principales uniquement. Par exemple, une première lame principale MB1 comprend un premier couteau étant le couteau le plus intérieur unique de l'outil. Une deuxième lame principale MB2 comprend une deuxième lame placée radialement plus loin que la première et le long du profil de coupe. Une troisième lame principale MB3 comprend une troisième lame placée radialement plus loin de la première et de la deuxième. La première lame principale MB1 comprend en outre un quatrième couteau placé radialement plus loin du deuxième couteau et du troisième couteau, et ainsi de suite.

Chacune des lames secondaires SB1, SB2, SB3 est positionnée à 180° à partir d'une lame principale MB1, MB2, MB3 par rapport à l'axe central, de sorte que trois paires de lames opposées (MB1, SB1 ; MB2, SB2 ; MB3, SB3) peuvent être définies, chaque paire de lames opposées comprenant une lame principale et une lame secondaire. Pour chaque paire de lames opposées, la position radiale de chaque lames 4 des lames secondaires est la même que la position radiale des lames 4 des lames principales. Les lames secondaires sont plus courtes que les lames principales et comprennent donc moins de couteaux que les lames principales. Chaque couteau des lames secondaires a une position unique lorsque l'on considère les couteaux des lames secondaires uniquement, mais est redondant avec un couteau d'une lame principale opposée. La disposition des couteaux du trépan selon ce mode de réalisation est se réfère à un arrangement à redondance.

Chaque lame principale MB1, MB2, MB3 comprend une première rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15 s'étendant de la région du cône à la région de garde du trépan et disposés à l'arrière des couteaux 4. En raison du manque d'espace sur les lames principales à proximité de l'axe central 6 de l'outil, les couteaux les plus internes de ces lames principales ne sont associées à aucun réducteur de chocs postérieur.

Chaque lame principale MB1, MB2, MB3 comprend en outre une deuxième rangée de réducteurs de chocs antérieurs 7 s'étendant de la région du cône à la région de garde de l'outil et disposée à l'arrière de la première rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15, à la même position radiale que les couteaux 4 de leur lame secondaire postérieure respective SB2, SB1, SB3. En raison du manque d'espace sur les lames principales à proximité de l'axe central du trépan, les couteaux les plus intérieurs de ces lames principales peuvent ne pas être associées à un réducteur de chocs antérieur.

Chaque lame secondaire SB1, SB2, SB3 comprend une première rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15 s'étendant de la région de nez à la région de garde du trépan et disposés à l'arrière des couteaux 4. En raison du manque d'espace sur les lames secondaires à proximité du couteau le plus intérieur des lames secondaires, certains de ces couteaux les plus intérieurs de ces lames secondaires peuvent ne pas être associés à un réducteur de chocs postérieur. Par exemple, dans le présent mode de réalisation montré sur la figure 4, le couteau le plus intérieur 4 de la lame secondaire SB3 n'est protégé que par un réducteur de chocs postérieur 15. Cet arrangement ne constitue pas une limitation de la présente invention.

Chaque lame secondaire SB1, SB2, SB3 comprend en outre une deuxième rangée de réducteurs de chocs antérieurs 7 s'étendant de la région de nez à la région de garde du trépan et disposés derrière la première rangée de réducteurs de chocs postérieurs 15, à la même position radiale que les couteaux 4 de leur lame principale postérieure respective MB2, MB3, MB1. En raison du manque d'espace sur les lames secondaires à proximité du couteau le plus intérieur des lames secondaires, certains de ces couteaux les plus internes de ces lames secondaires peuvent ne pas être associés à un réducteur de chocs antérieur 7.

Dans un autre mode de réalisation, des paires de lames secondaires et de lames principales ayant des couteaux et des réducteurs de chocs redondants peuvent avoir été

positionnées à un angle de 60° ou 120° par rapport à l'axe central. Dans ce cas, il y a deux lames principales MB et quatre lames secondaires SB sur un outil à 6 lames.

Dans un mode de réalisation, le trépan peut comprendre trois lames principales MB et trois lames secondaires SB et dans lequel la structure de coupe est disposée de telle sorte qu'un premier couteau d'une première lame principale croise ou touche ou soit proche de moins de 5 mm de l'axe central du trépan, et de telle sorte que la première lame principale s'étend d'une zone centrale du trépan à travers une région de cône, une région de nez, une région d'épaulement et une région de garde. Dans ce mode de réalisation, la cavité pour former un noyau et une surface de dégagement pour évacuer un noyau vers la périphérie du trépan, c'est-à-dire la caractéristique de « microcarottage », ne sont donc pas présentes. La disposition à redondance des couteaux et la disposition des réducteurs de chocs postérieurs et des réducteurs de chocs antérieurs sur les lames principales et sur les lames secondaires suivent le même principe que celui décrit pour le mode de réalisation de la fig. 4A.

Dans d'autres modes de réalisation, le trépan peut comprendre huit lames, dont quatre lames principales et quatre lames secondaires ou deux lames principales MB et six lames secondaires SB. Alternativement, le trépan peut comprendre neuf lames, dont trois lames principales et six lames secondaires. Alternativement, le trépan peut comprendre douze lames, dont trois lames principales et neuf lames secondaires ou quatre lames principales et huit lames secondaires. La disposition des à redondance des couteaux et la disposition des réducteurs de chocs postérieurs et des réducteurs de chocs antérieurs sur les lames principales et sur les lames secondaires suivent le même principe que celui décrit ci-dessus. Alternativement, le trépan comprend sept lames, dont trois lames principales MB et quatre lames secondaires SB.

Dans un mode de réalisation, le trépan peut comprendre un nombre premier de lames, par exemple cinq lames ou sept lames, avec un arrangement à positions uniques de couteaux. Dans un tel mode de réalisation, chaque lame comprend une rangée de couteaux ayant une position radiale unique et positionnées au bord avant des lames,

une première rangée de réducteurs de chocs postérieurs et une deuxième rangée de réducteurs de chocs antérieurs, dans lequel chaque couteau est associée à un réducteur de chocs postérieur sur une même lame et à un réducteur de chocs antérieur sur une lame antérieure adjacente. La forme des lames et les positions des buses sont avantageusement optimisées pour fournir un bon équilibre de l'outil. En raison de la contrainte de place, certains couteaux à proximité de l'axe central ou certains des couteaux les plus intérieurs des lames peuvent ne pas être associés à un réducteur de chocs postérieur et/ou à un réducteur de chocs antérieur.

D'autres modes de réalisation de trépans dans lesquels les couteaux sont associées à un réducteur de chocs antérieur et optionnellement à un réducteur de chocs postérieur peuvent être conçus par l'homme du métier, par exemple en faisant varier le nombre de lames principales et de lames secondaires, la forme des lames, la forme des couteaux, la forme des réducteurs de chocs, la disposition souhaitée des couteaux, c'est-à-dire un à positions uniques ou à redondance, le diamètre et/ou la forme des couteaux, l'angle d'inclinaison des couteaux, le diamètre et/ou la forme des réducteurs de chocs, le nombre et la forme des buses, la présence ou l'absence d'une fonctionnalité de microcarottage, etc.

Exemples

Un trépan comparatif comprenant six lames et une caractéristique de microcarottage a été testé dans un terrain dans lequel des conditions importantes de fractures de fond de puits et une lithologie hautement interstratifiée ont entraîné beaucoup de vibrations de fond. Le trépan comparatif avait une structure de coupe dans laquelle les couteaux PDC étaient disposés au bord des lames avec une configuration à positions uniques et protégés par des réducteurs de choc arrière associés à la plupart des couteaux. Les conditions du fond du puits ont induit des vibrations sur le trépan qui ont causé de nombreux dommages sur le trépan PDC.

Le trépan selon le mode de réalisation décrit en relation avec la figure 5 a été testé dans

le même terrain et a étonnamment atteint la profondeur cible avec de bonnes performances et des conditions d'usure minimales. Le trépan était toujours utilisable après ce test.

Le trépan selon le mode de réalisation décrit en relation avec la figure 5 a ensuite été testé dans une application géothermique dans laquelle le contrôle exceptionnel de la face d'outil a permis des corrections de trajectoire plus efficaces et donc moins nombreuses, ce qui s'est traduit par forage de la section planifiée avec un taux de pénétration record de manière systématique.

Dans la présente description, l'outil de forage a été décrit pour un mode de réalisation en tant que trépan, mais la disposition des couteaux, par exemple dans une configuration à redondance ou dans une configuration à positions uniques, le positionnement des réducteurs de chocs antérieurs et, éventuellement, le positionnement des réducteurs de chocs postérieurs, les caractéristiques liées aux réducteurs de chocs comme décrits ci-dessus, peuvent être appliquées à d'autres modes de réalisation d'outils de forage tels qu'un élargisseur, ou une couronne de carottage.

Liste des références dans les figures.

1 trépan
2 corps de l'outil (corps de trépan)
3 lame
4 couteau
4' Couteaux de la lame antérieure
4'' Couteaux de la lame postérieure
5 bord avant des lames
6 axe central de l'outil (trapan)
7 réducteur de chocs antérieur
8 sommet de réducteur de chocs antérieur
9 surface supérieure des lames

10 sommet de couteau

10’ sommet de couteau d'une lame d’antérieure

10’’ sommet de couteau d'une lame postérieure

11 région de cône

12 Région de nez

13 région d’épaulement

14 région de garde

15 réducteur de choc postérieur

15’ réducteur de chocs postérieur de la lame antérieure

15’’ réducteur de chocs postérieur de la lame postérieure

16 rainures

17 crêtes

18 sommet de réducteur des chocs postérieur

31 premier point en première position axiale dans la région de cône

32 second point en deuxième position axiale plus en avant dans la région du cône

33 rayon de courbure de la région de nez

34 point le plus externe de la région de nez

35 point de garde

36 point d’extrémité de garde

40 cavité centrale

41 surface de dégagement

42 buse

50 ligne de profil de coupe

REVENDICATIONS

1. Outil de forage (1) comprenant un corps (2) sur lequel une pluralité de lames surélevées (3) sont prévues, dans lequel au moins une partie des lames (3) comprend une pluralité de couteaux (4) disposés au bord avant (5) des lames dans le sens de rotation (R) de l'outil de forage (1), chaque couteau (4) étant positionné à une position radiale par rapport à l'axe central (6) de l'outil de forage (1), caractérisé en ce qu'au moins un couteau (4) est associé à un réducteur de chocs antérieur (7) disposé dans la même position radiale que ledit couteau (4), ledit réducteur de chocs antérieur (7) se trouvant sur une autre lame (3) qui précède la lame sur laquelle le couteau (4) est pourvu dans le sens de rotation (R) de l'outil de forage.

2. Outil de forage selon la revendication 1 dans lequel chaque couteau de la pluralité de couteaux (4) comprend un sommet (10), et où dans un profil rabattu autour de l'axe central (6) de l'outil de forage (1), une ligne de profil de coupe (50) passant par lesdits sommets (10) des couteaux est définie, et dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur (7) a un sommet (8) positionné en retrait par rapport à ladite ligne de profil de coupe (50).

3. Outil de forage selon la revendication 1 ou 2 dans lequel le réducteur de chocs antérieur (7) est fait de diamant polycristallin.

4. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le réducteur de chocs antérieur (7) a une largeur inférieure ou égale à la largeur du couteau (4).

5. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les lames (3) comprennent :

- au moins une lame principale (MB) s'étendant d'une région de cône (11) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs (7) ; et
- au moins une lame secondaire (SB) s'étendant au moins d'une région de nez (12) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs (7).

6. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les réducteurs de chocs antérieurs (7) sont pourvus sur les lames sous forme d'inserts cylindriques fixés sur la surface supérieure (9) des lames (3) ou sous forme de structures protubérantes de la surface supérieure (9) des lames (3) et moulées avec les lames (3).

7. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant en outre au moins un réducteur de chocs postérieur (15) associé à un couteau (4) et disposé sur la même lame que ledit couteau (4), à une position arrière par rapport audit couteau (4) et à la même position radiale que ledit couteau (4).

8. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant en outre au moins un couteau qui est associé à un réducteur de chocs antérieur disposé dans la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs antérieur étant sur une autre lame qui précède la lame sur laquelle le couteau (4) est pourvu dans le sens de rotation de l'outil de forage, et ledit couteau (4) étant également associé à un réducteur de chocs postérieur (15) disposé à la même position radiale que ledit couteau (4), ledit réducteur de chocs postérieur étant sur la même lame que ledit couteau et disposé à une position arrière par rapport audit couteau (4).

9. Outil de forage selon la revendication 7 ou 8 dans lequel le réducteur de chocs postérieur (15) associé à un couteau (4) a un sommet (18) positionné en retrait par rapport à la ligne de profil de coupe (50).

10. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel le réducteur de chocs postérieur (15) a une largeur inférieure ou égale à la largeur du couteau.

11. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, dans lequel:

- au moins une lame principale (MB) s'étendant d'une région de cône (11) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs (7) et une pluralité de réducteurs de chocs postérieurs (15), dans laquelle chaque réducteur de chocs postérieur (15) est à une position derrière son couteau associé (4) sur la même lame, et dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur (7) est à une position derrière et radialement décalée par rapport aux réducteurs de chocs postérieurs (15) ; et
- au moins une lame secondaire (SB) s'étendant au moins d'une région de nez (12) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, et sur laquelle s'étend une pluralité de réducteurs de chocs antérieurs (7) et une pluralité de réducteurs de chocs postérieurs (15), dans laquelle chaque réducteur de chocs postérieur (15) est à une position derrière son couteau associé (4) sur la même lame, et dans laquelle chaque réducteur de chocs antérieur (7) est à une position derrière et radialement décalée par rapport aux réducteurs de chocs postérieurs (15).

12. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, dans lequel les réducteurs de chocs postérieur (15) sont prévus sur les lames (3) sous forme d'inserts cylindriques fixés sur la surface supérieure (9) des lames (3) ou sous forme de structures protubérantes de la surface supérieure (9) de la lame (3) et moulés avec les lames (3).

13. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant :

- au moins deux lames principales (MB), s'étendant radialement d'une région de cône (11) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, dans laquelle chacun des couteaux (4) a une position radiale unique lorsque l'on considère uniquement les lames principales ; et
- un nombre de lames secondaires (SB) étant le même ou un multiple du nombre desdites lames principales (MB), lesdites lames secondaires (SB) s'étendant radialement au moins d'une région de nez (12) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage, dans laquelle chacun des couteaux (4) des lames secondaires (SB) a une position radiale redondante avec un couteau (4) d'une lame principale (MB).

14. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'outil de forage comprend six lames (3) comprenant trois lames principales (MB) et trois lames secondaires (SB) dans lesquelles les couteaux (4) sont disposés dans une configuration à « redondance » (« track set » en anglais) de sorte que chacun des couteaux et des réducteurs de chocs antérieurs d'une lame secondaire (SB) ait une position radiale redondante avec respectivement un couteau et un réducteur de chocs antérieur d'une lame principale (MB) positionnés à 180° par rapport à l'axe central (6) de l'outil de forage.

15. Outil de forage selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel les lames (3) comprennent :

  - au moins deux lames principales (MB) s'étendant radialement d'une région de cône (11) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage ; et

- au moins deux lames secondaires (SB) s'étendant radialement d'une région de nez (11) de l'outil de forage à une région de garde (14) de l'outil de forage ;

dans lequel chaque couteau (4) des lames principales (MB) et des lames secondaires (SB) a une position radiale unique lorsque l'on considère toutes les lames (3).

16. Outil de forage selon l'une des revendications précédentes dans lequel le corps de l'outil de forage (2) comprend une face avant sur laquelle les lames (3) portant des couteaux (4) sont disposées, le couteau le plus intérieur étant espacé de l'axe central (6) de l'outil de forage de manière à former un espace (40) pour former une carotte de diamètre inférieur ou égal à 15%, préférablement inférieur ou égal à 10% du diamètre du corps (2) de l'outil, l'espace (40) étant situé à l'axe central (6) de l'outil de forage, et une cavité pour évacuer la carotte vers la périphérie de l'outil de forage, la cavité étant délimitée par deux surfaces latérales de deux lames adjacentes (MB1, SB3) et une surface de dégagement (41) en retrait par rapport à la face avant du corps (2) de l'outil.

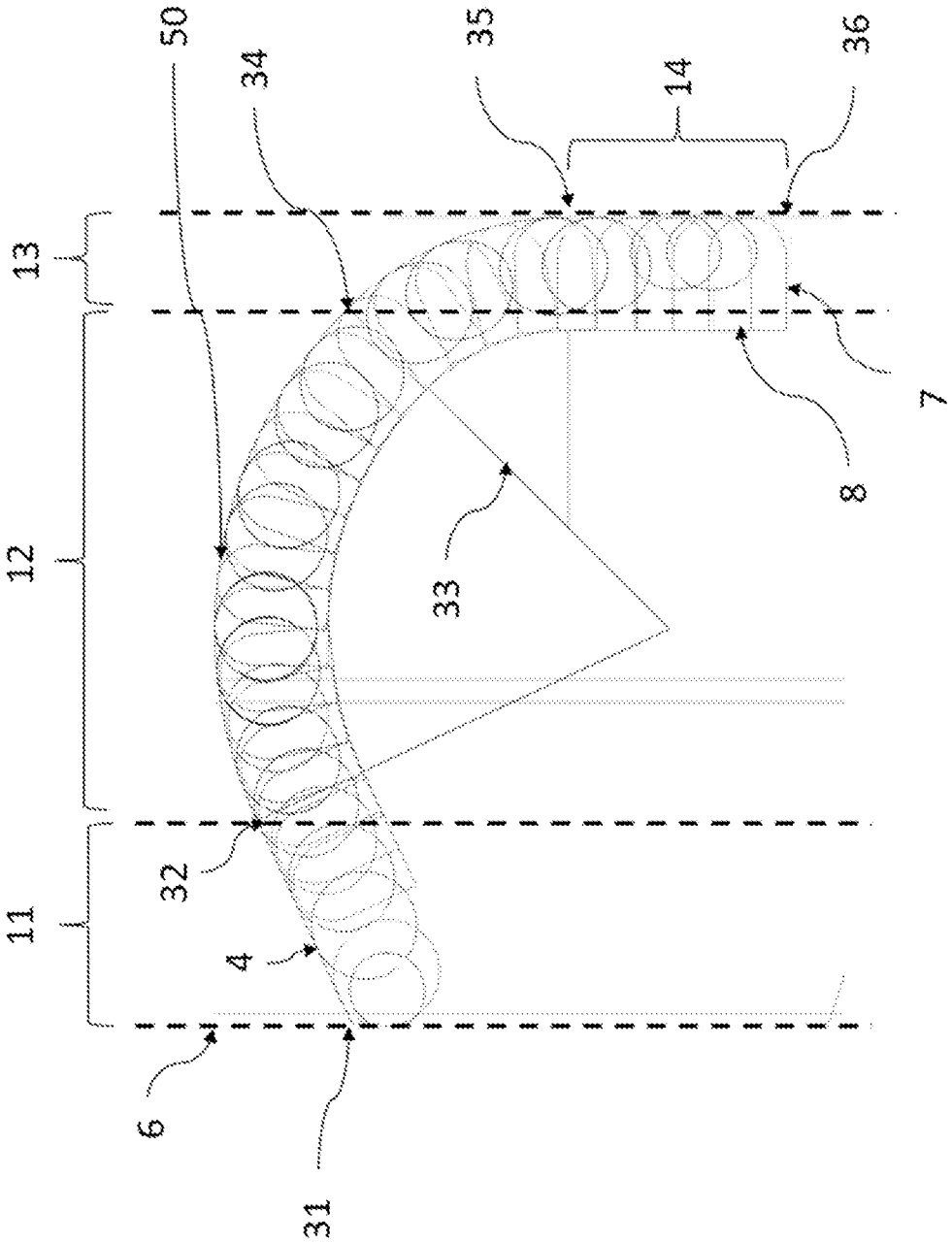


Fig. 1

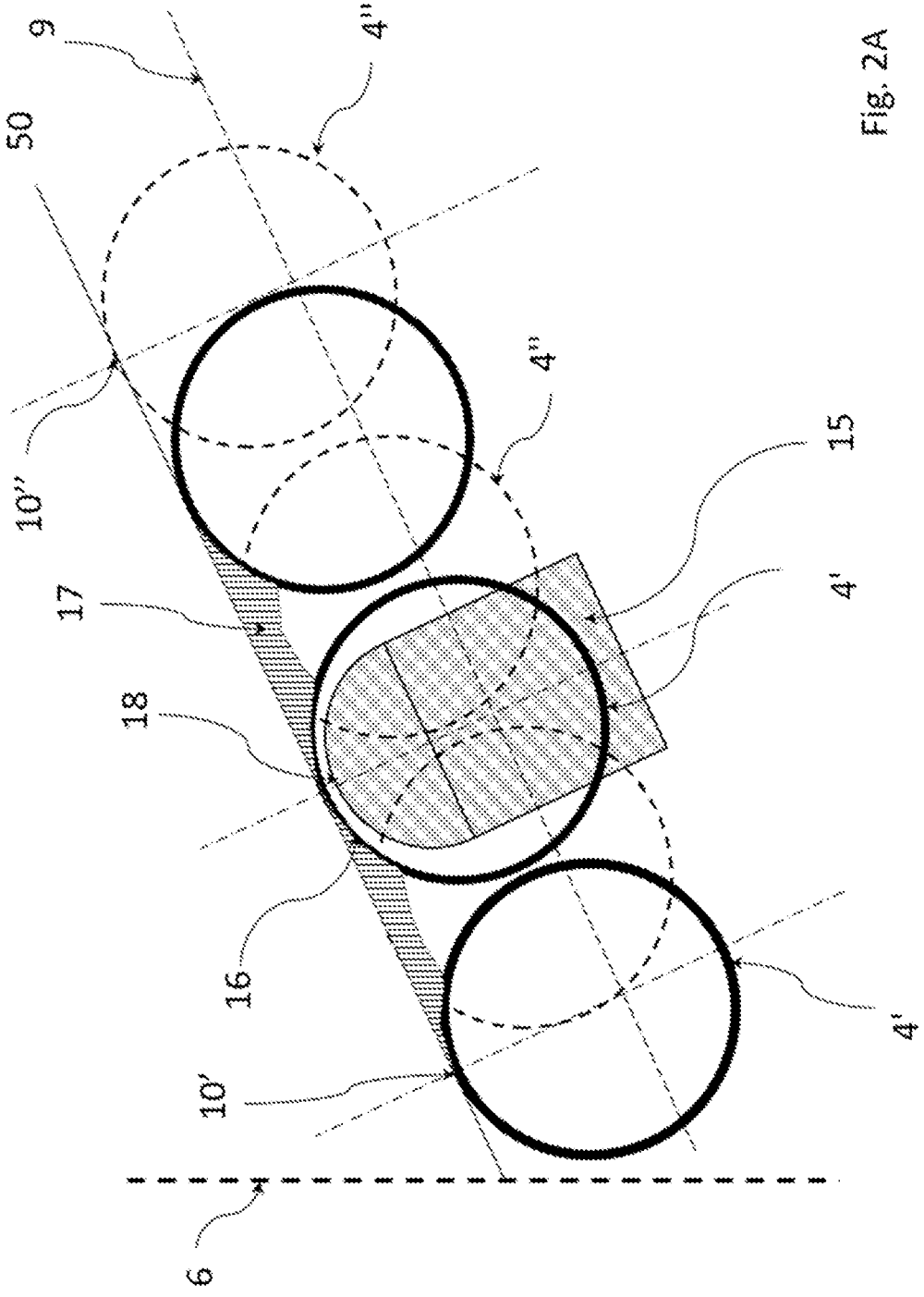


Fig. 2A

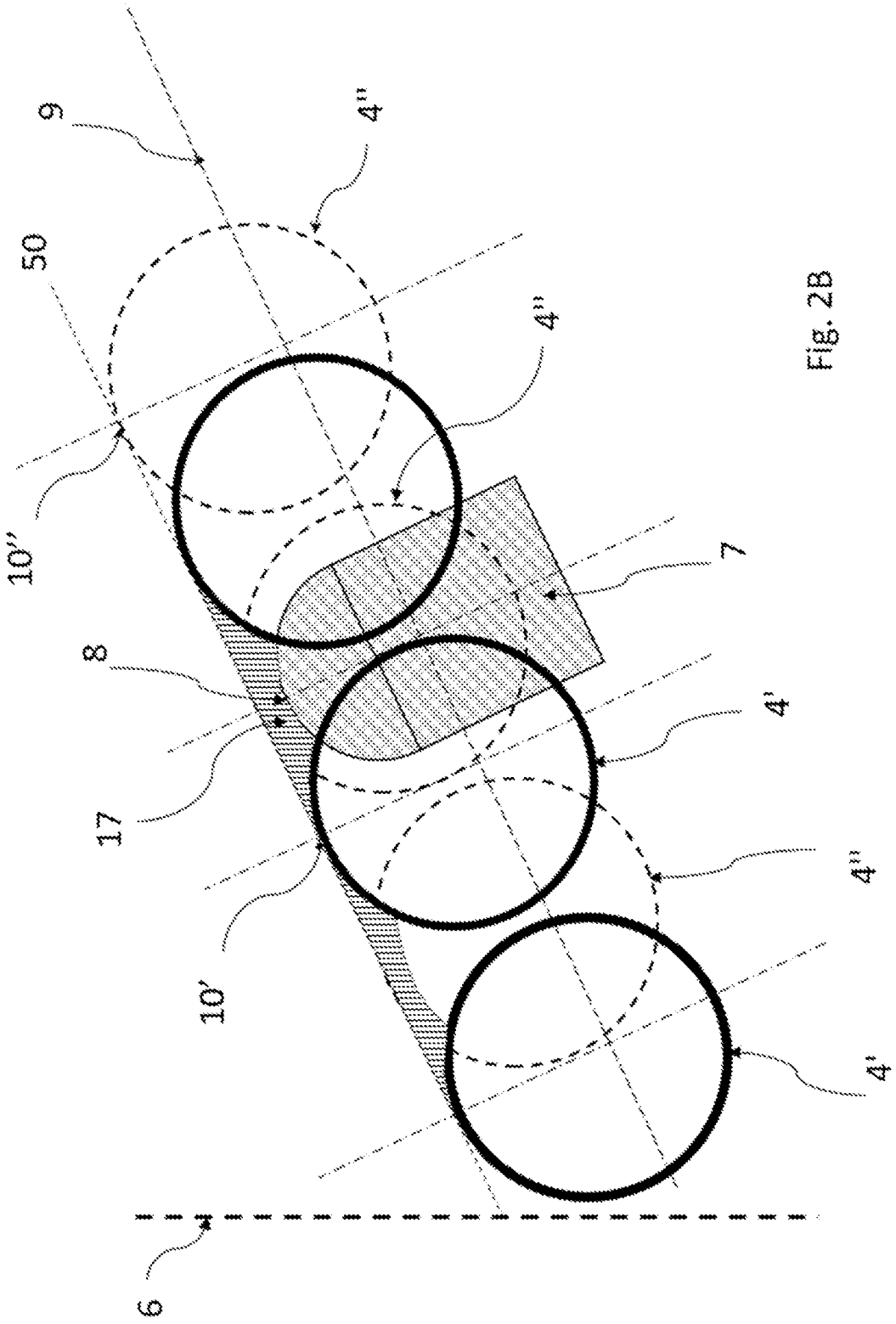
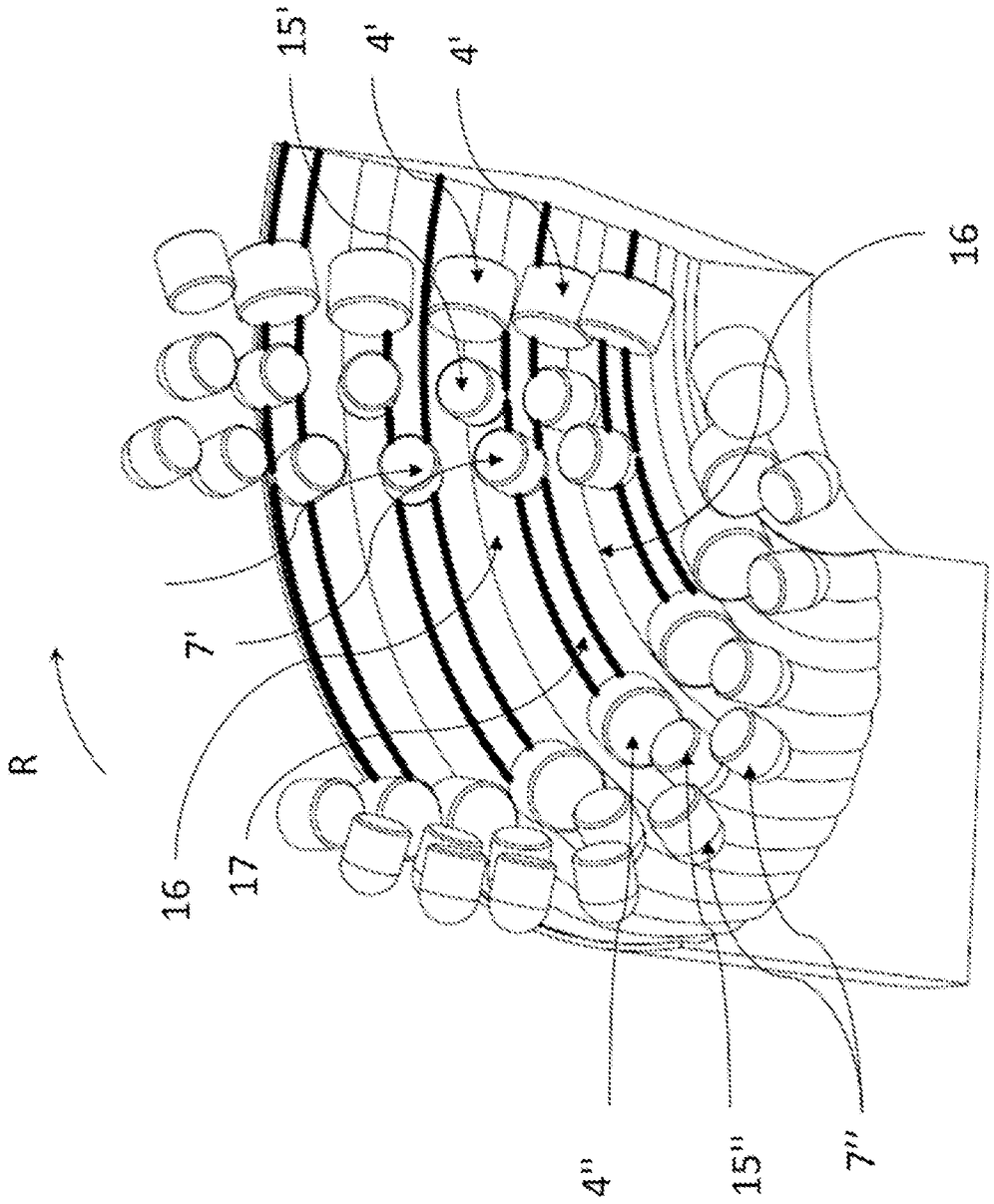


Fig. 2B

Fig. 3



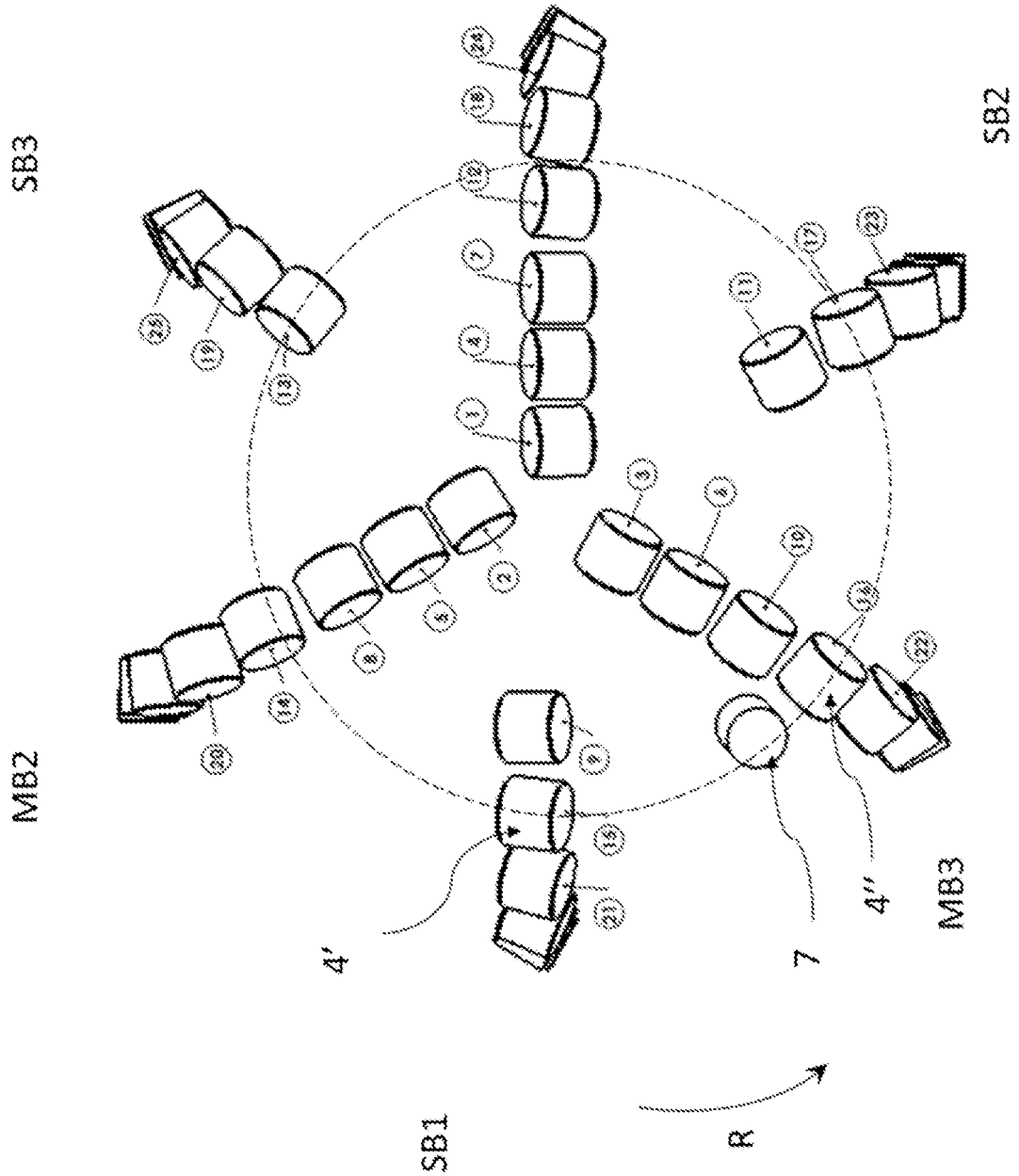


Fig. 4A

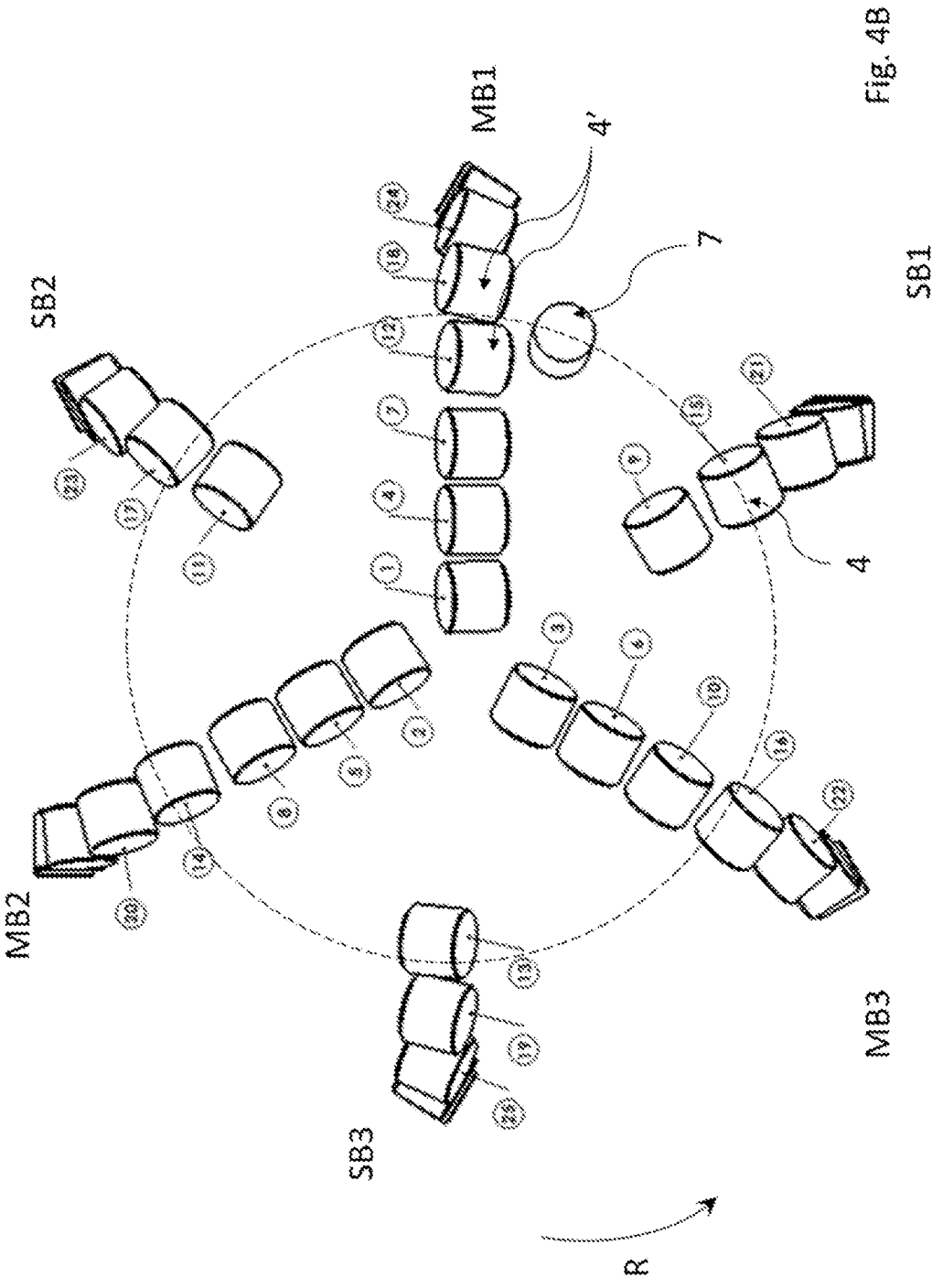


Fig. 4B

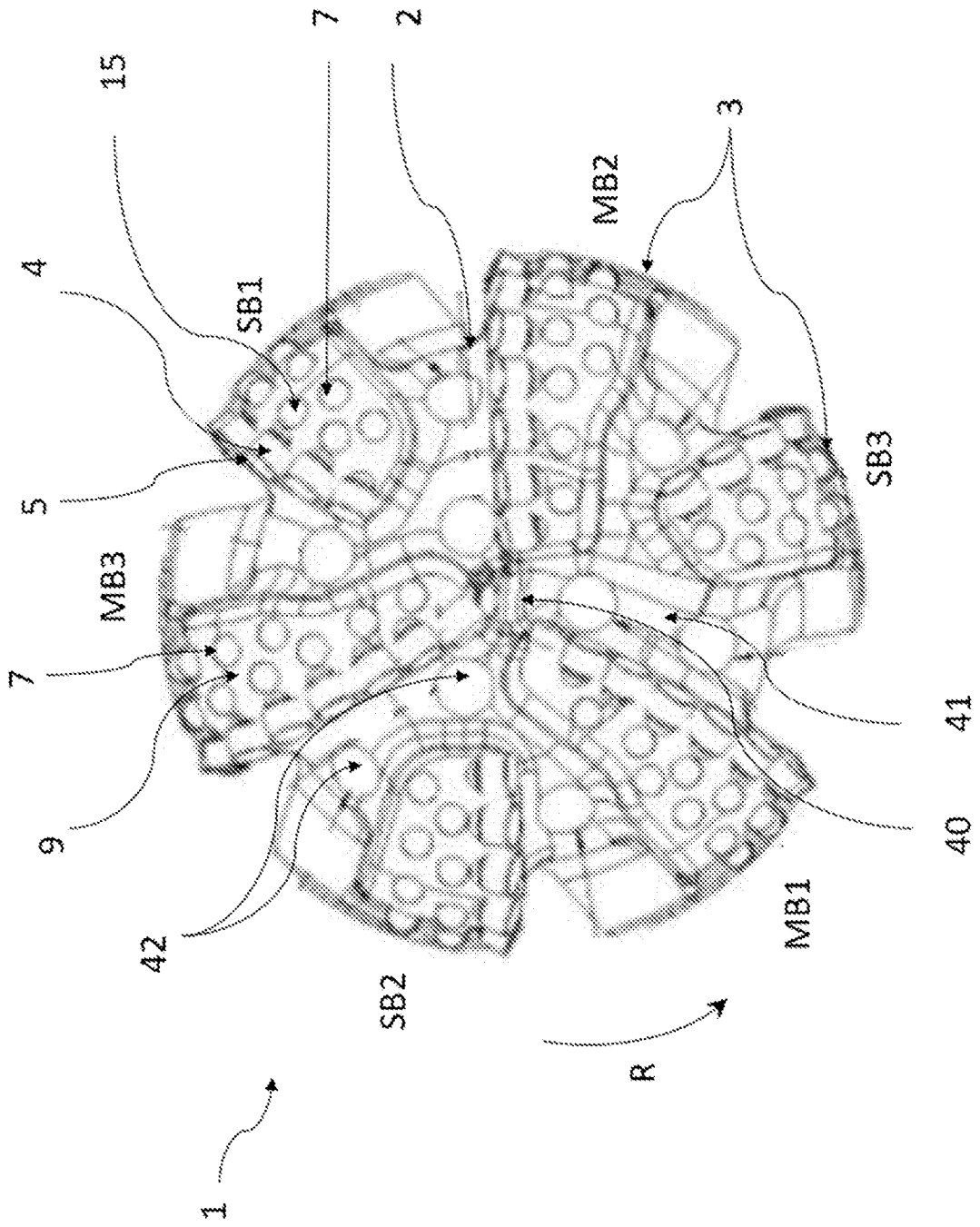


Fig. 5

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE	REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE
	P12624BE00 FRO/LFO
Demande nationale belge n° **202305747**	Date du dépôt **13-09-2023**
	Date de priorité revendiquée
Déposant (Nom) **DIAMANT DRILLING SERVICES S.A.**	
Date de la requête d'une recherche de type international **23-09-2023**	Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international **SN84757**

I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

Voir rapport de recherche

II. DOMAINES RECHERCHES

Documentation minimale consultée

Système de classification	Symboles de la classification
IPC	**Voir rapport de recherche**

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents fort partie des domaines consultés

III. ☐ **IL A ETE ESTIME QUE CERTAINES REVENDICATIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE** (Observations sur la feuille supplémentaire)

IV. ☐ **ABSENCE D'UNITE DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE A L'ETENDUE DE LA RECHERCHE** (Observations sur la feuille supplémentaire)

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No
BE 202305747

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. E21B10/43
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
E21B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A,D	US 2020/087993 A1 (NGUYEN DON QUY [US] ET AL) 19 mars 2020 (2020-03-19) cité dans la demande * le document en entier *	1-16
A	US 2020/399961 A1 (PLUNKETT KELLEY LEIGH [US] ET AL) 24 décembre 2020 (2020-12-24) * le document en entier *	1-16
A	US 2019/100967 A1 (RUSSELL STEVEN CRAIG [US] ET AL) 4 avril 2019 (2019-04-04) * le document en entier *	1-16
A	WO 2018/144762 A1 (NAT OILWELL DHT LP [US]) 9 août 2018 (2018-08-09) * le document en entier *	1-16

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée	Date d'expédition du rapport de recherche de type international
6 mars 2024	

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	**Ott, Stéphane**

1

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

BE 202305747

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	**US 4 991 670 A (FULLER JOHN [GB] ET AL)** **12 février 1991 (1991-02-12)** *** le document en entier *** **-----**	**1-16**

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n

BE 202305747

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2020087993 A1	19-03-2020	US 2017130534 A1	11-05-2017
		US 2020087993 A1	19-03-2020
US 2020399961 A1	24-12-2020	AUCUN	
US 2019100967 A1	04-04-2019	AU 2018345769 A1	07-05-2020
		CA 3077182 A1	11-04-2019
		CN 111315955 A	19-06-2020
		CO 2020004908 A2	05-05-2020
		GB 2581452 A	19-08-2020
		SA 520411681 B1	30-08-2022
		US 2019100967 A1	04-04-2019
		WO 2019070705 A1	11-04-2019
		WO 2019070738 A1	11-04-2019
WO 2018144762 A1	09-08-2018	CA 3051594 A1	09-08-2018
		GB 2573236 A	30-10-2019
		US 2021131189 A1	06-05-2021
		US 2022081975 A1	17-03-2022
		WO 2018144762 A1	09-08-2018
US 4991670 A	12-02-1991	AUCUN	

OPINION ÉCRITE

Dossier N°	Date du dépot *(jour/mois/année)*	Date de priorité *(jour/mois/année)*	Demande n°
SN84757	13.09.2023		BE202305747

Classification internationale des brevets (CIB)
INV. E21B10/43

Déposant
DIAMANT DRILLING SERVICES S.A.

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- ☒ Cadre n° I Base de l'opinion
- ☐ Cadre n° II Priorité
- ☐ Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- ☐ Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- ☒ Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- ☐ Cadre n° VI Certains documents cités
- ☒ Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- ☐ Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Examinateur
Ott, Stéphane

Demande n°

OPINION ÉCRITE

BE202305747

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.

2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée sur la base d'un listage des séquences

   a. ☐ faisant partie de la demande telle que déposée.

   b. ☐ remis postérieurement à la date du dépôt aux fins de la recherche,

      ☐ accompagné d'une déclaration selon laquelle le listage des séquences ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée.

3. ☐ En ce qui concerne la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés divulguées dans la demande, la présente opinion a été effectuée dans la mesure où une opinion valable pouvait être formulée en l'absence d'un listage des séquences conforme à la norme ST.26 de l'OMPI.

4. Commentaires complémentaires :

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui :	Revendications	1-16
	Non :	Revendications	
Activité inventive	Oui :	Revendications	1-16
	Non :	Revendications	
Possibilité d'application industrielle	Oui :	Revendications	1-16
	Non :	Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VII Irrégularités dans la demande

Les irrégularités suivantes, concernant la forme ou le contenu de la demande, ont été constatées :

voir feuille séparée

1 **Ad point V**

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1.1 Il est fait référence aux documents suivants :

D1	US 2020/087993 A1 (NGUYEN DON QUY [US] ET AL) 19 mars 2020 (2020-03-19)cité dans la demande
D2	US 2020/399961 A1 (PLUNKETT KELLEY LEIGH [US] ET AL) 24 décembre 2020 (2020-12-24)
D3	US 2019/100967 A1 (RUSSELL STEVEN CRAIG [US] ET AL) 4 avril 2019 (2019-04-04)
D4	WO 2018/144762 A1 (NAT OILWELL DHT LP [US]) 9 août 2018 (2018-08-09)
D5	US 4 991 670 A (FULLER JOHN [GB] ET AL) 12 février 1991 (1991-02-12)

1.2 D1, qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, décrit un outil de forage (100) comprenant un corps sur lequel une pluralité de lames (141, 142) surélevées sont prévues, dans lequel au moins une partie des lames comprend une pluralité de couteaux (145) disposés au bord avant des lames dans le sens de rotation (106) de l'outil de forage, chaque couteau étant positionné à une position radiale par rapport à l'axe central de l'outil de forage,.

1.3 Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de cet outil connu en ce qu'au moins un couteau est associé à un réducteur de chocs antérieur disposé dans la même position radiale que ledit couteau, ledit réducteur de chocs antérieur se trouvant sur une autre lame qui précède la lame sur laquelle le couteau est pourvu dans le sens de rotation de l'outil de forage..

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 est nouveau.

1.4 Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme faciliter le processus de fabrication de l'outil en évitant les tolérances serrées et réduire l'impact négatif de l'usure du couteau sur la profondeur de coupe.

1.5 La solution à ce problème, proposée dans la revendication 1 de la présente demande, est considérée comme impliquant une activité inventive pour les motifs suivants : aucun document de l'art antérieur ne divulgue ou ne suggère une telle solution.

1.6 Les revendications dépendent de la revendication 1 satisfont également aux exigences d'activité inventive.

2 **Ad point VII**

Certaines irrégularités relevées dans la demande

2.1 La description mentionne une figure 3a et une figure 3b. p12, l.25 et 30, p.31, l. 15. Seule une figure 3 a été fournie avec le jeu de figures.