

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 123 912**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **21 06316**

⑤1 Int Cl⁸ : **C 03 B 37/012** (2020.12), **C 03 B 37/027**, **G 02 B 6/036**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

②2 **Date de dépôt** : 15.06.21.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 16.12.22 Bulletin 22/50.

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

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demande(s) d'extension :

⑦1 **Demandeur(s)** : **DRAKA COMTEQ FRANCE SAS** — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : Trinel Jean-Baptiste, Sillard Pierre, Giuliani Alain, Rebreyend Pierre et Kudinova Maryna.

⑦3 **Titulaire(s)** : **DRAKA COMTEQ FRANCE SAS**.

⑦4 **Mandataire(s)** : Vidon Brevets et Stratégie.

⑤4 **Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multi-cœurs et procédé de fabrication de fibres optiques multi-cœurs.**

⑤7 Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multicœur et procédé de fabrication de fibres optiques multi-cœurs.

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur, comprenant : l'empilement (S1) d'une pluralité de barreaux de cœur et d'une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice dans un tube ; l'effondrement (S2) du tube autour de l'empilement de barres de cœur et de barres de remplissage à base de silice, formant un empilement effondré ; le dépôt (S3) d'une couche de silice autour de l'empilement effondré ; le retrait (S4) d'au moins une partie de la couche de silice déposée.

Le procédé préférentiel pour déposer une couche de silice autour de l'empilement effondré et retirer au moins une partie de la couche de silice déposée est le dépôt avancé par plasma et vapeur (APVDTM).

Figure pour l'abrégié : Figure 2

FR 3 123 912 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multi-cœurs et procédé de fabrication de fibres optiques multi-cœurs.

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multicœur et un procédé de fabrication d'une fibre optique multicœur. La présente invention concerne également les fibres optiques multi-cœurs fabriquées selon ces procédés.

Art antérieur

[0002] De nos jours, les fibres optiques se sont imposées comme le support le plus approprié pour la transmission de signaux de communication de données. Elles sont largement utilisées dans la plupart des systèmes de télécommunication et permettent la communication à grande vitesse de signaux de données à large bande passante. À cette fin, les fibres optiques comprennent un cœur, dont la circonférence extérieure est entourée d'une gaine : les informations sont transmises par la propagation d'un signal optique dans le cœur.

[0003] Ces dernières années, il est apparu nécessaire d'augmenter fortement la quantité d'informations à transmettre, ainsi que la vitesse de transmission.

[0004] C'est dans ce but qu'ont été conçues les fibres optiques multi-cœurs, dans lesquelles plusieurs cœurs sont entourés d'une seule gaine : plusieurs signaux peuvent donc être transmis simultanément dans une seule fibre optique, par la lumière se propageant dans les cœurs respectifs.

[0005] Le procédé le plus courant pour fabriquer une fibre multicœur est connu sous le nom de procédé d'empilement et d'étirage (en anglais "stack-and-draw method"). Elle consiste à assembler précisément plusieurs barreaux dans un tube, à savoir plusieurs barreaux de cœur, qui serviront de cœurs dans la fibre finale, et plusieurs barreaux de remplissage, qui formeront la gaine dans la fibre finale. Ces barreaux de deux verres différents sont empilés ensemble en une macrostructure appelée préforme multi-barreaux. Ensuite, à l'aide d'une tour d'étirage de fibres, cette préforme à barreaux multiples est lentement tirée à travers un four à haute température pour en réduire la taille. Cette étape d'étirage doit être contrôlée par la pression afin de fermer les espaces entre les barreaux et d'éviter l'apparition indésirable de bulles, de poches d'air, etc. Tout au long des étapes d'empilage et de fermeture de ce procédé d'empilage et d'étirage, il faut également veiller à garantir la configuration géométrique (positions des noyaux, tailles des noyaux) et la géométrie globale de la préforme (ovalisation,

stabilité du diamètre sur la longueur, battement...).

- [0006] L'inconvénient de cette méthode de fabrication par empilage et étirage est qu'elle produit des fibres présentant une forte non-circularité. De plus, le procédé d'empilement et d'étirage offre des possibilités limitées de contrôler les diamètres des cœurs et la distance entre les cœurs dans la fibre multicœur.
- [0007] En effet, la méthode de fabrication par empilage et étirage induit des contraintes sur la conception de la préforme multi-cœurs :
- [0008] - Les dimensions de l'empilement sont limitées par les dimensions du tube, en particulier le diamètre extérieur de l'empilement est limité par le diamètre intérieur du tube.
- [0009] - Le diamètre du cœur de la fibre finale est défini par le diamètre extérieur du tube.
- [0010] - La distance entre les cœurs est limitée par l'épaisseur du tube. Pour une conception donnée, plus le tube est épais, plus la distance cœur à cœur (maximale réalisable) est faible. Typiquement, pour un diamètre de gaine de fibre de 125 μm , avec un tube de 4 mm d'épaisseur, la distance cœur à cœur maximale réalisable est de 40 μm .
- [0011] - L'épaisseur du tube doit avoir une valeur minimale pour réaliser le processus d'effondrement. Typiquement, une largeur de tube de ~4-7 mm est obligatoire.
- [0012] Le contrôle de la géométrie de la fibre multi-cœurs avec un procédé d'empilement et d'étirage implique l'utilisation de nombreuses barres d'empilement, ce qui est coûteux, et rend difficile l'assemblage de l'empilement.
- [0013] Le document de brevet US2014/0216109 décrit un procédé de fabrication de fibres multi-cœurs avec un processus d'empilage et d'étirage amélioré.
- [0014] Une pluralité de barreaux de cœur et une pluralité de barreaux de gaine sont disposés dans un tube de gaine, dans un état dans lequel les distances entre les axes centraux des barreaux de cœur adjacents deviennent égales les unes aux autres et un état dans lequel les parties des surfaces circonférentielles extérieures dans les barreaux adjacents sont en contact. Le procédé de fabrication comprend un processus d'intégration pour intégrer le tube de gaine et la pluralité de barreaux de cœur et de barreaux de gaine disposés dans le tube. Le rapport de l'aire totale de la section transversale dans une direction orthogonale à la direction de la longueur dans la pluralité de barreaux de cœur et la pluralité de barreaux de gaine par rapport à l'aire interne de la section transversale du tube dans une direction orthogonale à la direction de la longueur dans le tube de gaine est de 0,84 ou plus.
- [0015] Un inconvénient de cette solution, cependant, est que le diamètre extérieur de la préforme n'est pas circulaire et peut présenter de petites dépressions/déformations. De plus, le diamètre extérieur n'est pas très stable dans le sens de la longueur, en fonction de la rectitude des barreaux et de la stabilité du diamètre extérieur dans le sens de la longueur.

- [0016] Des solutions alternatives pour fabriquer des fibres optiques multi-cœurs ont également été discutées dans l'art antérieur.
- [0017] Le document de brevet US2012/0114292 décrit des méthodes de fabrication de rubans de fibres optiques multi-cœurs : du verre est déposé autour d'un assemblage de cannes de cœur avec des cœurs disposés de manière plane pour former un ruban de fibres multi-cœurs de forme rectangulaire. Dans un mode de réalisation, un ruban de fibres optiques multi-cœurs comprend au moins deux éléments de cœur formés à partir de verre à base de silice et orientés parallèlement l'un à l'autre dans un seul plan. Une couche de revêtement unique est formée de verre à base de silice et entoure les éléments de cœur avec lesquels elle est en contact direct. La couche de revêtement unique a une section transversale sensiblement rectangulaire.
- [0018] Le document de brevet JP6681306 décrit une autre méthode de fabrication, qui consiste à déposer du verre autour d'un ensemble de barreaux centraux et de barreaux auxiliaires qui n'est pas disposé dans un tube.
- [0019] Ce procédé de fabrication comprend : une étape de fixation consistant à fixer, sur au moins une extrémité de chaque barreau parmi une pluralité de barreaux de cœur gainé, un barreau de grand diamètre ayant un diamètre extérieur plus grand que chacun des barreaux de cœur gainé, chaque barreau de cœur gainé ayant une surface périphérique extérieure d'un barreau de cœur comme un cœur revêtu d'une couche de verre de gainage comme une partie d'un gainage ; une étape de regroupement consistant à regrouper la pluralité de barreaux de cœur gainés de manière à ce que les barreaux de grand diamètre fixés respectivement à la pluralité de barreaux de cœur gainés soient disposés de manière adjacente les uns aux autres sur leurs surfaces latérales ; et une étape de dépôt externe consistant à déposer de la suie en tant qu'autre partie du revêtement sur une surface périphérique externe de la pluralité de barreaux de cœur gainés.
- [0020] Un inconvénient de cette méthode est qu'il est difficile de respecter la conception géométrique et la géométrie globale de la préforme pendant l'étape de regroupement.
- [0021] Il serait donc souhaitable de fournir une méthode améliorée de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multicœur, et une méthode de fabrication d'une fibre optique multicœur. En particulier, il serait souhaitable de fournir une telle méthode de fabrication qui permette de fabriquer des fibres multicœur avec une circularité améliorée par rapport à l'art antérieur, et avec un meilleur contrôle des diamètres des noyaux et des distances entre noyaux dans la fibre multicœur.

Exposé de l'invention

- [0022] Selon un mode de réalisation, un procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur, comprend :

- [0023] l'empilement d'une pluralité de barreaux de cœur et d'une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice dans un tube, formant un empilement de barreaux ;
- [0024] l'effondrement du tube autour de l'empilement de barreaux, formant un empilement effondré ;
- [0025] le dépôt d'une couche de silice autour de l'empilement effondré ;
- [0026] le retrait d'au moins une partie de la couche de silice déposée.
- [0027] Le procédé selon ce mode de réalisation s'appuie donc sur une approche nouvelle et inventive pour la fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur. En effet, par rapport au procédé amélioré d'empilement et d'étirage décrit dans le document de brevet US2014/0216109, le procédé selon ce mode de réalisation s'appuie sur un cycle supplémentaire de sur-gainage et de retrait (par exemple par évaporation), qui permet d'obtenir un diamètre extérieur circulaire de la préforme, et d'obtenir une stabilité du diamètre sur la longueur. De plus, cela ajoute un degré de liberté pour mieux contrôler la distance entre les cœurs à l'intérieur de la préforme, en ajustant le diamètre extérieur de la préforme à la valeur désirée, et en relâchant la contrainte de l'épaisseur du tube. Une telle méthode permet donc de garantir et/ou d'ajuster la conception géométrique de la préforme, après les étapes d'empilage et d'effondrement, sans utiliser trop de barreaux de remplissage à base de silice, ce qui permet de réaliser des économies. Alors que le diamètre extérieur de la préforme multicœur pourrait être difficile à prévoir ou à contrôler, en raison du processus d'effondrement, il peut être facilement ajusté grâce au cycle supplémentaire de sur-gainage et de retrait (par exemple, évaporation).
- [0028] En d'autres termes, par rapport aux techniques connues de l'art antérieur, le procédé de fabrication selon ce mode de réalisation :
- [0029] - libère la contrainte sur le diamètre du cœur dans la fibre multicœur finale, qui n'est plus défini par le diamètre extérieur du tube, mais plutôt par le diamètre extérieur de la préforme multicœur finale ;
- [0030] - libère la contrainte sur la distance cœur à cœur dans la fibre multicœur finale, qui n'est plus limitée par l'épaisseur du tube, mais est plutôt contrôlée par le diamètre extérieur de la préforme multicœur finale ;
- [0031] - libère la contrainte sur l'épaisseur du tube.
- [0032] Avec des dimensions de tube appropriées, le procédé selon ce mode de réalisation permet de cibler des préformes multi-cœurs de plus de 50 mm de diamètre extérieur, et d'environ 1 m de longueur.
- [0033] Selon un mode de réalisation, un tel procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur comprend également le retrait d'au moins une partie du tube.
- [0034] De préférence, l'effondrement du tube autour de l'empilement de barreaux comprend :

- [0035] – le nettoyage de l'empilement et de la partie interne du tube à l'aide de SF₆ ;
 – le chauffage du tube nettoyé à une température comprise entre 1500°C et 2000°C ;
 – la fermeture du tube d'une extrémité à l'autre.
- [0036] Selon un mode de réalisation, le dépôt d'une couche de silice autour de l'empilement effondré est réalisé en utilisant un procédé appartenant au groupe comprenant :
- [0037] – le procédé avancé de dépôt par plasma et vapeur (ou procédé par recharge plasma, en anglais Advanced Plasma and Vapor Deposition, APVD™) ;
 – le procédé de dépôt extérieur en phase vapeur (OVD) ;
 – le manchonnage de l'empilement effondré avec un tube de verre de silice.
- [0038] Selon un mode de réalisation, le retrait d'au moins une partie de la couche de silice déposée est réalisé en utilisant un procédé appartenant au groupe comprenant :
- [0039] – l'évaporation avec une torche à plasma ;
 – le décapage chimique ;
 – l'usinage mécanique ;
 – le décapage à l'eau sous haute pression ;
 – le décapage au laser à haute puissance.
- [0040] Dans un mode de réalisation préféré, cependant, les deux étapes de sur-revêtement et d'évaporation sont réalisées sur un même tour APVD.
- [0041] Dans ce cas, avant de déposer une couche de silice autour de l'empilement effondré, le procédé de fabrication d'une préforme multicœur comprend une étape de mise en place de l'empilement effondré sur un tour APVD, comprenant :
- le placement de deux barreaux de poignée alignés horizontalement dans les mandrins du tour APVD ;
 - le placement de l'empilement effondré sur des supports de roues de positionnement réglables verticalement, situés à proximité immédiate des deux extrémités de l'empilement effondré ;
 - l'alignement d'une première extrémité de l'empilement effondré avec un premier barreau de poignée ;
 - la mise en rotation de l'empilement effondré à une vitesse de rotation de 15 à 16 tours par minute autour d'un axe de rotation aligné avec l'axe central desdits barreaux de poignée ;
 - le chauffage de la première extrémité de l'empilement effondré en contact avec le premier barreau de poignée avec un brûleur O₂/H₂ jusqu'à la limite de la température du point de soudure ;
 - l'ajustement vertical des deux supports de roues de positionnement jusqu'à ce que l'empilement effondré soit centré sur ledit axe de rotation, et
 - l'arrêt du chauffage.

- [0042] Ce procédé particulier, qui combine le chauffage avec une rotation très lente et un positionnement correct du support de roue lors de la mise en place de l'empilement effondré, permet de redresser la préforme et de réduire le battement, malgré la non-circularité de l'empilement effondré.
- [0043] De préférence, la pluralité de barreaux de cœur comprend de 2 à 20 barreaux de cœur.
- [0044] De plus, chaque cœur est soit monomode, soit à peu de modes (en anglais « Few Mode »), soit multimode.
- [0045] Selon un mode de réalisation, la pluralité de barreaux de remplissage à base de silice comprend au moins deux types de barreaux de silice pure avec des diamètres extérieurs distincts. De préférence, ces barreaux de remplissage à base de silice ont un diamètre extérieur inférieur au diamètre des barreaux du cœur. Le fait de prévoir plusieurs types de barreaux de remplissage à base de silice de diamètres extérieurs distincts permet de former un empilement de barreaux dans lequel la déviation radiale des barreaux de cœur est réduite, et donc de mieux contrôler la géométrie de la préforme multicœur, notamment en ce qui concerne la distance cœur à cœur.
- [0046] Selon un mode de réalisation, la pluralité de barreaux de remplissage à base de silice comprend un barreau de silice dopé au fluor, formant un barreau marqueur.
- [0047] Selon un autre aspect de la présente invention, il est prévu un procédé de fabrication d'une fibre multicœur. Le procédé comprend un procédé d'étirage de la préforme pour la fibre multicœur fabriquée par le procédé de fabrication de la préforme pour la fibre multicœur.
- [0048] Selon un mode de réalisation de ce procédé de fabrication d'une fibre multicœur, le procédé d'étirage comprend un contrôle de la pression interne de la préforme pendant l'étirage. Ceci permet une meilleure fermeture des trous d'air.

Présentation des figures

- [0049] La présente invention peut être mieux comprise en référence à la description et aux dessins suivants, donnés à titre d'exemple et ne limitant pas la portée de la protection, et dans lesquels :
- [0050] [Fig.1] représente une vue en coupe transversale d'une fibre optique multicœur qui est fabriquée par un procédé de fabrication d'une fibre multicœur selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0051] [Fig.2] est un organigramme illustrant le procédé de fabrication de la fibre multicœur de la [Fig.1] selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0052] [Fig.3] montre les différents éléments (barreaux de cœur, barreaux de remplissage à base de silice et tube de verre) qui sont empilés ensemble selon ce mode de réalisation ;

- [0053] [Fig.4] montre la disposition relative des barres de cœur et des barres de remplissage à base de silice formant l'empilement selon ce mode de réalisation ;
- [0054] [Fig.5] illustre le procédé de réalisation de la pluralité de barres de cœur et de barres de remplissage à base de silice montrées dans les figures 3 et 4 selon ce mode de réalisation ;
- [0055] [Fig.6] est un dessin schématique illustrant le montage de la préforme sur un tour APVD selon ce mode de réalisation ;
- [0056] [Fig.7] montre les paramètres géométriques de la préforme multicœur selon ce mode de réalisation ;
- [0057] [Fig.8] montre la disposition relative des barres de cœur et des barres de remplissage à base de silice formant l'empilement selon un autre mode de réalisation.
- [0058] Les composants des figures ne sont pas nécessairement à l'échelle, l'accent étant plutôt mis sur l'illustration des principes de l'invention.
- [0059] **Description détaillée de modes de réalisation de l'invention**
- [0060] Le principe général de l'invention repose sur une approche nouvelle et inventive de fabrication d'une préforme pour une fibre optique multicœur, selon laquelle de multiples barreaux de cœur et de gaine sont empilés dans un tube de verre, qui est ensuite effondré. Cet empilement effondré subit un cycle de sur-gainage et de retrait (par exemple par évaporation), afin d'obtenir la circularité de la préforme.
- [0061] La [Fig.1] représente une vue en coupe transversale d'une fibre optique multicœur qui est fabriquée par un procédé de fabrication d'une fibre multicœur selon un mode de réalisation de l'invention. Comme illustré sur la [Fig.1], la fibre multicœur 1 selon ce mode de réalisation comprend une pluralité de cœurs 11, une gaine 12 qui entoure et entre directement en contact avec les surfaces extérieures de la pluralité de cœurs 11, une première couche de revêtement protecteur 13 qui recouvre la gaine 12, et une seconde couche de revêtement protecteur 14 qui recouvre la première couche protectrice 13. L'indice de réfraction de chaque cœur est supérieur à l'indice de réfraction de la gaine 12.
- [0062] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], la fibre multicœur 1 comprend quatre cœurs 11, qui sont disposés autour d'un axe central de la gaine 12. Les distances entre les quatre cœurs et l'axe central de la gaine sont égales les unes aux autres. La distance entre les cœurs à l'intérieur de la fibre peut varier en fonction de l'utilisation souhaitée de la fibre. Pour une fibre multicœur non couplée, la distance cœur à cœur souhaitée dans la fibre 1 peut varier entre 35 et 45 μm . Cette distance peut être réduite pour une fibre multicœur couplée.
- [0063] Dans ce mode de réalisation, les cœurs 11 peuvent présenter n'importe quel profil d'indice de réfraction, et être des cœurs à saut d'indice, ou des cœurs paraboliques, ou des cœurs trapézoïdaux, etc. Chacun des cœurs 11 peut également être entouré d'une

structure comprenant une ou plusieurs tranchées.

[0064] Dans d'autres modes de réalisation, le nombre de cœurs peut varier de deux à environ vingt cœurs dans la fibre optique 1.

[0065] Les cœurs de la fibre optique multicœur 1 peuvent être monomodes, à peu de modes ou multimodes.

[0066] La [Fig.2] est un organigramme illustrant le procédé de fabrication de la fibre multicœur 1 selon un mode de réalisation de l'invention. Comme illustré sur la [Fig.2], le procédé de réalisation de la fibre multicœur 1 selon ce mode de réalisation comprend :

- [0067] – l'étape S1 pour empiler une pluralité de barreaux de cœur et une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice dans un tube, formant un empilement de barreaux ;
- l'étape S2 pour affaisser le tube autour de l'empilement de barreaux, formant un empilement effondré ;
- l'étape S3 pour déposer une couche de silice autour de l'empilement effondré ;
- l'étape S4 consiste à retirer au moins une partie de la couche de silice déposée, et éventuellement le tube, pour former une préforme ;
- l'étape S5 pour étirer la préforme.

[0068] Tout ou partie de ces étapes peuvent être réalisées en salle blanche, sous contrôle de pression, notamment l'étape d'empilement S1 et l'étape d'étirage S5.

[0069] L'étape d'empilage S1 est décrite plus en détail en relation avec les figures 3 à 5.

[0070] La [Fig.3] montre une pluralité de barreaux de cœur 20, une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice 30 et un tube de verre 40 qui seront disposés ensemble pendant l'étape d'empilage S1.

[0071] Dans le mode de réalisation de la [Fig.3] et de la [Fig.4], quatre barreaux de cœur 20 et cinq barreaux de remplissage à base de silice 30 sont représentés. Les barreaux de cœur 20 ont par exemple un profil d'indice de réfraction trapézoïdal, avec une partie intérieure du barreau de cœur ayant un indice de réfraction constant, supérieur à l'indice de réfraction de la silice pure, et une partie entourant la partie intérieure du barreau de cœur, dans laquelle l'indice de réfraction diminue linéairement pour atteindre celui de la silice pure, et une partie extérieure ayant un indice de réfraction égal à celui de la silice pure. La partie extérieure des barreaux du cœur 20 peut également comprendre une région d'indice de réfraction abaissé, par rapport à celui de la silice pure, appelée tranchée.

[0072] Les barreaux de remplissage 30 sont en silice pure et ont un diamètre extérieur de 5 mm. Ces quatre barreaux de cœur 20 et cinq barreaux de remplissage 30 à base de silice sont assemblés selon le schéma illustré à la [Fig.4]. Les centres des barreaux de cœur 20 forment un carré ; deux barreaux de cœur adjacents sont en contact l'un avec

l'autre sur leur surface extérieure. La distance d'un cœur à l'autre dans la pile de la [Fig.4] est égale au diamètre extérieur d'un barreau 20. Cinq barreaux de remplissage à base de silice 30 forment une croix, avec un barreau de remplissage à base de silice central situé au centre de la forme carrée formée par les barreaux de cœur 20.

[0073] L'empilement de barreaux représenté sur la [Fig.4] est assemblé dans un tube de silice 40, de diamètre intérieur $D_i=36$ mm et de diamètre extérieur $D_o=48$ mm. L'épaisseur du tube 40 est donc de 6 mm.

[0074] Il faut noter que les barreaux de remplissage 30 peuvent être dopés ou non. En pratique, il est préférable que les barreaux correspondent à l'indice de réfraction de la silice environnante du tube 40. Cependant, les barreaux peuvent être dopés avec Ge et/ou F et/ou P et/ou B et/ou tout autre dopant approprié. Comme on le verra dans le cas de la [Fig.8], il est également possible d'utiliser un barreau 30 dopé au fluor pour ajouter un marqueur à la structure.

[0075] La [Fig.5] illustre le procédé de fabrication de la pluralité de barreaux de cœur 20 et de barreaux de remplissage à base de silice 30 illustrés dans les [Fig.3] et [Fig.4]. La partie gauche de la [Fig.5] décrit le procédé de fabrication des barreaux de cœur 20, en commençant par un barreau 200 présentant le profil d'indice de réfraction souhaité (par exemple, un profil d'indice de réfraction trapézoïdal avec une tranchée enterrée). Le barreau 200 peut être fabriqué par un procédé PCVD (Plasma Chemical Vapor Deposition). Le barreau 200 subit une étape de sur-gainage PS1, qui est préférentiellement réalisée à l'aide d'un procédé de dépôt en phase vapeur par plasma avancé (APVD®), afin de former un barreau 201, avec un diamètre extérieur accru. Le barreau 201 est un élément cylindrique et présente une structure à deux couches, comprenant la couche d'élément de cœur 200 et une couche d'élément de gaine recouvrant une surface circonférentielle extérieure de la couche d'élément de cœur 200.

[0076] Le barreau 201 subit une étape d'étirage PS2, de préférence sur un tour APVD, afin d'étirer le barreau 201 en une pluralité de barreaux de cœur 20 ayant chacun un diamètre extérieur de 13,7 mm, et une longueur d'environ 1 m.

[0077] La partie droite de la [Fig.5] décrit le procédé de fabrication de barreaux de remplissage à base de silice 30, à partir d'une barre de silice pure 300 ayant un diamètre extérieur de 30 mm. Le barreau 300 est un élément cylindrique et est formé du même matériau que la couche d'éléments de gaine dans le barreau de cœur 201.

[0078] Le barreau 300 subit une étape d'étirage PS3, afin d'étirer le barreau 300 en une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice 30 ayant chacun un diamètre extérieur de 5 mm, et une longueur d'environ 1 m.

[0079] Au cours de l'étape S1, la pluralité de barreaux de cœur 20 et la pluralité de barreaux de remplissage à base de silice 30 sont empilés, selon le modèle de la [Fig.4], et l'empilement est inséré dans le tube de verre 40.

- [0080] L'étape de fabrication S2 suivante consiste à effondrer le tube à haute température. La plage préférentielle pour ce processus d'effondrement S2 est de 1500-2000°C.
- [0081] Selon un mode de réalisation préféré, l'étape d'effondrement S2 comprend :
- [0082] – une première phase de nettoyage de l'empilement à l'aide d'hexafluorure de soufre SF₆, qui est importante pour éviter la formation indésirable de bulles au sein de l'empilement effondré ;
- une deuxième phase de chauffage, avec une montée en température régulière ;
- une troisième phase de fermeture du tube d'un bout à l'autre, grâce à la fois à un fort chauffage du tube à 1500-2000°C et à sa mise sous vide.
- [0083] Cette étape de fermeture est critique, car elle est responsable de problèmes tels que les bulles, les poches d'air, etc. et doit être réalisée avec soin. Il est possible de fermer complètement le tube en une seule passe, sans bulles ni trous d'air, même avec un nombre limité de barreaux de remplissage. Le procédé de réalisation selon ce mode de réalisation est donc économiquement avantageux par rapport à un procédé classique d'empilage et d'étirage, car il utilise un nombre réduit de barreaux de remplissage et est donc moins coûteux.
- [0084] L'empilement effondré obtenu après l'étape d'effondrement S2 a un diamètre extérieur quelque peu irrégulier, d'environ 43 mm, qui n'est pas circulaire et peut présenter de petites dépressions ou déformations. En outre, le diamètre extérieur n'est pas très stable sur la longueur, en fonction de la rectitude des barreaux et de la stabilité du diamètre extérieur des barreaux sur la longueur.
- [0085] Pour corriger ces défauts, le procédé de fabrication selon ce mode de réalisation comprend un cycle de sur-gainage S3 et de retrait (par exemple par évaporation) S4. Pour réaliser ce cycle, la préforme 60 obtenue après l'étape d'effondrement S2 est d'abord montée sur un tour APVD, comme illustré sur la [Fig.6].
- [0086] Deux barrettes 62A et 62B alignées horizontalement sont placées dans les mandrins 61A et 61B correspondants du tour APVD. La pièce 60 est placée sur des supports de positionnement à roues réglables en hauteur 63A et 63B. Le but du procédé est de fusionner les barreaux de poignée 62A, 62B aux deux extrémités de la préforme 60, afin de maintenir la préforme multicœur sur les broches du tour APVD.
- [0087] Le montage classique d'une préforme consiste à la faire tourner à une vitesse de rotation comprise entre 30 et 40 tr/min, selon son diamètre, et à chauffer le point de jonction entre la préforme et le barreau de poignée avec un brûleur O₂/H₂ jusqu'à la limite de température du point de soudure (point de chaleur de couleur blanche). Lorsque la préforme commence à battre, en raison de l'instabilité de son diamètre sur la longueur, l'opérateur essaie de réduire le battement en soulevant et/ou en abaissant légèrement les deux supports à roues, jusqu'à ce que la préforme soit centrée sur l'axe de rotation. Le chauffage doit être immédiatement arrêté à ce moment-là.

- [0088] Pour la préforme non circulaire 60 selon ce mode de réalisation, le processus est amélioré en réduisant largement la vitesse de rotation à 15-16 tr/min, et en :
- [0089] – plaçant le support de roues 63A au plus près de la jonction entre la préforme 60 et le barreau de poignée 62A, tout en prenant garde au brûleur 64 ;
- plaçant le support de roues 63B au plus près de la pointe de la préforme 60 (environ 5 cm de la pointe).
- [0090] Une fois que l'extrémité du côté gauche de la préforme 60 est alignée avec le barreau de poignée 62A, elle est donc mise en rotation à une vitesse de 15 à 16 tr/min autour d'un axe de rotation aligné avec l'axe central des barreaux de poignée 62A, 62B. Le brûleur O₂/H₂ 64 chauffe la zone de jonction entre la préforme 60 et le barreau de poignée 62A jusqu'à la limite de la température du point de soudure. En cas de battement, les supports de positionnement à roues 63A et 63B sont ajustés verticalement jusqu'à ce que la préforme 60 soit centrée sur l'axe de rotation, et le chauffage est alors immédiatement arrêté.
- [0091] Cette recette particulière de chauffage à rotation très lente et de positionnement correct des roues de support lors de la mise en place de la préforme permet de redresser la préforme (c'est-à-dire de réduire le battement), malgré sa non circularité résultant de l'étape d'effondrement.
- [0092] Il est également possible de placer le brûleur 64 à un autre endroit sur la longueur de la préforme, pour corriger une déformation locale de la préforme 60.
- [0093] Une fois les deux barreaux de poignée 62A, 62B soudés aux deux extrémités de la préforme 60, une couche de silice est déposée autour de la préforme 60 (S3), par un procédé APVD®, qui consiste à utiliser une torche à plasma à très haute température. Le procédé APVD (communément appelé rechargement par plasma) consiste à faire fondre des grains de quartz naturel ou synthétique de haute pureté sur la préforme primaire à l'aide d'une torche à plasma inductive. La préforme 60 est mise en rotation sur le tour APVD, de sorte que la silice est déposée uniformément autour de la surface extérieure de la préforme.
- [0094] Dans d'autres modes de réalisation, l'étape de sur-gainage S3 peut être effectuée en utilisant un procédé de dépôt extérieur en phase vapeur (OVD), ou même en gainant la préforme dans un tube de verre (dans ce dernier cas, une étape supplémentaire d'affaissement doit être effectuée).
- [0095] Cette étape de sur-gainage S3 est essentielle car elle corrige la circularité de la préforme et la stabilité du diamètre sur la longueur. Elle permet d'ajouter du verre dans la quantité souhaitée. Ses paramètres doivent être ajustés en fonction du diamètre final de la préforme.
- [0096] Selon ce mode de réalisation, la préforme 60 a été sur-gainée pour atteindre un diamètre extérieur de 55 mm.

- [0097] A l'étape S4, tout ou partie de la couche de silice déposée à l'étape S3 et, éventuellement tout ou partie du tube 40 sont retirés. De préférence, le retrait est effectué par évaporation sur le tour APVD, en utilisant la même torche à plasma dans la même plage de température que lors de l'étape de sur-gainage S3, mais sans ajout de silice. La préforme est mise en rotation sur le tour APVD, et la torche à plasma est déplacée sur sa longueur, de manière à réaliser une évaporation uniforme sur sa surface extérieure.
- [0098] Le diamètre extérieur de la préforme sur-gainée est contrôlé pendant l'évaporation. À la fin d'une passe d'évaporation, une passe d'évaporation suivante peut être définie en fonction du diamètre extérieur mesuré.
- [0099] Le diamètre extérieur de la préforme peut ainsi être uniformisé sur toute sa longueur en faisant passer la torche à plasma plus rapidement sur certaines parties de la préforme.
- [0100] Plusieurs passages du cycle de sur-gainage et d'évaporation peuvent être mis en place, en fonction du diamètre final de la préforme visé.
- [0101] Par exemple, selon ce mode de réalisation expérimental particulier, un cycle complet de sur-gainage et d'évaporation comprend :
- Une phase de préchauffage, pendant laquelle la torche à plasma a été translatée à 85 mm/min, afin de limiter l'évaporation. L'empilement effondré était mis en rotation à 41 tr/min. La puissance de la torche à plasma était de 110 kW.
 - Quatre phases de dépôt, avec une petite correction pour atteindre le diamètre de sur-gainage visé. Pendant ces phases de dépôt, la vitesse de translation de la torche à plasma était de 56 mm/min, la vitesse de rotation de l'empilement effondré était comprise entre 36 et 38 tr/min, avec une puissance de 110 kW.
 - Trois phases d'évaporation, avec une vitesse de translation de la torche à plasma entre 26 et 28 mm/min, une vitesse de rotation de la préforme autour de 18 tr/min et une puissance de 98 kW.
 - Une phase de correction (effilage) à une vitesse de translation de 26 mm/min, une vitesse de rotation de 18 tr/min et une puissance de 98 kW.
- Enfin, une phase d'évaporation à la vitesse de translation 30 mm/min, rotation à 30 tr/min, puissance 90 kW.
- [0102] Selon ce mode de réalisation, le diamètre extérieur de l'empilement effondré était de 43,5 mm, qui a été sur-gainé à 55 mm. L'étape d'évaporation S4 vise à produire une préforme de diamètre extérieur 42 mm, ce qui implique d'évaporer au moins une partie du tube 40. Dans d'autres modes de réalisation, le tube 40 peut être complètement évaporé pendant l'étape S4, qui vise un diamètre extérieur final et évapore toute la silice en excès.
- [0103] Dans d'autres modes de réalisation, l'étape de retrait S4 peut être un décapage chimique, un usinage mécanique, un décapage à l'eau sous haute pression ou un

décapage au laser à haute puissance pour retirer toute silice en excès.

- [0104] La [Fig.7] montre les paramètres géométriques de la préforme multicœur selon ce mode de réalisation.
- [0105] L'ensemble supérieur de courbes 70 montre le diamètre extérieur de la préforme, exprimé en millimètres. L'ensemble inférieur de courbes 71 montre la non-circularité de la préforme. La non circularité est définie comme les variations du diamètre extérieur lors de la rotation le long de l'axe longitudinal.
- [0106] Les courbes 701 et 711 correspondent aux propriétés géométriques de la préforme, telles que mesurées après l'étape d'effondrement S2. Les courbes 702 et 712 correspondent aux propriétés géométriques de la préforme, telles que mesurées à la fin du cycle de sur-gainage S3 et d'évaporation S4.
- [0107] Comme mentionné ci-dessus, le diamètre extérieur de la préforme multicœur après effondrement est d'environ 43 mm (voir courbe 701). La préforme a ensuite été sur-gainée pour atteindre un diamètre extérieur de 55 mm à l'étape S3, et une partie de la préforme a été évaporée à l'étape S4 pour atteindre un diamètre extérieur d'environ 43,5 mm (voir courbe 702).
- [0108] Comme on peut l'observer en comparant les courbes 711 et 712, la non-circularité de la préforme est fortement réduite après le cycle de sur-gainage/évaporation.
- [0109] De plus, comme on peut l'observer en comparant les courbes 701 et 702, le diamètre extérieur de la préforme est plus stable sur la longueur après le cycle de sur-gainage/évaporation, et le battement a été supprimé.
- [0110] Selon ce mode de réalisation, la distance cible cœur à cœur sur la fibre est de 37 μm , les dimensions de l'empilement ont été calculées en fonction d'un diamètre extérieur final de 43,5 mm qui a été obtenu grâce à l'étape de sur-gainage/évaporation.
- [0111] Grâce au cycle de sur-gainage et d'évaporation, il est possible de former une préforme avec un diamètre extérieur ciblé, en partant d'un tube 40 d'épaisseur réduite, par rapport aux techniques de fabrication de l'art antérieur. Il est donc possible de s'affranchir des contraintes sur les distances cœur à cœur, qui résultaient de l'épaisseur du tube. Des tubes 40 d'une épaisseur allant de 2 à 15 mm peuvent être utilisés.
- [0112] La [Fig.8] montre une vue en coupe transversale d'un empilement de barreaux selon un autre mode de réalisation. Dans l'empilement de [Fig.8], par rapport à [Fig.4], il y a plus de barres de remplissage, avec des diamètres extérieurs différents, ainsi qu'un barreau de remplissage particulier servant de marqueur.
- [0113] Plus précisément, l'empilement de la [Fig.8] comprend quatre barreaux de cœur 81, disposés selon un motif carré, comme dans la [Fig.4]. Cependant, les cinq barreaux de remplissage 82 de 5,1 mm de diamètre extérieur ont été complétés par quatre barreaux de silice pure 83 de 1,55 mm de diamètre extérieur, situés dans la partie centrale de l'empilement, autour du barreau de remplissage central 82.

[0114] De plus, un barreau 85 de silice dopée au fluor de diamètre extérieur 1,5 mm sert de marqueur. Le barreau de silice pure 84 de diamètre extérieur 1,5 mm vise à ajuster le positionnement du marqueur 85 par rapport au centre de la préforme, ainsi que sa position angulaire.

[0115] Ce procédé de fabrication a permis d'obtenir des résultats très intéressants, mais peut encore être amélioré pour produire des préformes de diamètre extérieur plus important, ce qui permettra d'augmenter le nombre de kilomètres de fibres multicœur pouvant être produits à partir de la préforme lors de l'étape d'étirage S5. Les coûts de production s'en trouveraient réduits.

[0116] Plus généralement, les modes de réalisation du procédé de fabrication ont permis de cibler des diamètres extérieurs finaux de la préforme compris entre 40 et 44 mm. Mais l'utilisation d'un tube 40 de diamètre supérieur pour réaliser l'empilement permettrait de produire des préformes de diamètre extérieur supérieur (100 mm, 150 mm ou même 200 mm), et d'une longueur d'environ 1 mètre.

[0117] Dans ce cas, les dimensions des éléments de [Fig.8] ci-dessus deviennent :

[0118] [Tableaux1]

| | | |
|--|------------|--------|
| Diamètre de la préforme multi-cœurs | 100 m m | 200 mm |
| Diamètre du barreau de cœur 81 | 32 mm | 64 mm |
| Diamètre du barreau de silice 82 | 12 mm | 24 mm |
| Diamètre des barreaux de silice 83 - 84 - 85 | 4 mm | 8 mm |

[0119] Ces dimensions sont indicatives.

[0120] L'utilisation d'un tube 40 plus grand, afin de fabriquer une préforme d'un diamètre extérieur de 100 mm ou 200 mm, permet de se passer de l'étape d'étirage préliminaire PS2 et PS3 de la [Fig.5]. En effet, des barrettes de cœur 201 de diamètre extérieur de 39 mm par exemple et des barrettes de silice pure de diamètre extérieur de 30 mm par exemple peuvent être directement empilées et insérées dans le tube 40.

[0121] Une fois le cycle de sur-gainage S3/évaporation S4 terminé, la préforme circulaire est placée dans un four d'étirage où elle est chauffée. Une fibre optique multicœur peut être étirée (étape S5) à partir de la préforme multicœur. Le four d'étirage est généralement orienté verticalement de sorte que la fibre optique multicœur étirée à partir de la préforme sort du four le long d'un chemin sensiblement vertical. Après sa sortie du four d'étirage, ses dimensions et la tension d'étirage qui lui est appliquée sont mesurées par des capteurs sans contact. Elle passe ensuite dans un système de refroidissement qui refroidit la fibre optique multicœur à moins de 60°C -80°C. La fibre multicœur

entre ensuite dans un système de revêtement dans lequel une couche de revêtement optique est appliquée sur sa surface extérieure. Lorsque la fibre optique multicœur sort du système de revêtement, ses dimensions sont à nouveau mesurées à l'aide d'un autre capteur sans contact. Un détecteur de défauts sans contact peut également être utilisé pour examiner la fibre optique multicœur afin de détecter les dommages et/ou les défauts qui ont pu se produire pendant la fabrication. Divers mécanismes d'étirage et poulies sont utilisés pour fournir la tension nécessaire à la fibre optique multicœur lorsqu'elle est étirée à travers le système et enroulée sur une bobine de stockage.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur (1), comprenant :
- l'empilement (S1) d'une pluralité de barreaux de cœur (20; 81) et d'une pluralité de barreaux de remplissage à base de silice (30; 82-85) dans un tube (40), formant un empilement de barreaux ;
 - l'effondrement (S2) du tube autour de l'empilement de barreaux, formant un empilement effondré ;
 - le dépôt (S3) d'une couche de silice autour de l'empilement effondré ;
 - le retrait (S4) d'au moins une partie de la couche de silice déposée.
- [Revendication 2] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend également le retrait d'au moins une partie du tube.
- [Revendication 3] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'effondrement (S2) du tube autour de l'empilement de barreaux comprend :
- le nettoyage de l'empilement et de la partie interne du tube à l'aide de SF₆ ;
 - le chauffage du tube nettoyé à une température comprise entre 1500°C et 2000°C ;
 - la fermeture du tube d'une extrémité à l'autre.
- [Revendication 4] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le dépôt (S3) d'une couche de silice autour de l'empilement effondré est réalisé en utilisant un procédé appartenant au groupe comprenant :
- le procédé avancé de dépôt par plasma et vapeur (ou procédé par recharge plasma, en anglais « Advanced Plasma and Vapor Deposition », APVD®) ;
 - le procédé de dépôt extérieur en phase vapeur (OVD) ;
 - le manchonnage de l'empilement effondré avec un tube de verre de silice.
- [Revendication 5] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le retrait (S4) d'au moins une partie de la couche de silice déposée est réalisé en utilisant un procédé appartenant au groupe comprenant :
- L'évaporation avec une torche à plasma ;
 - Le décapage chimique ;

L'usinage mécanique ;

Le décapage à l'eau sous haute pression ;

le décapage au laser à haute puissance.

[Revendication 6]

Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que, avant de déposer une couche de silice autour de l'empilement effondré, il comprend une étape de mise en place de l'empilement effondré sur un tour APVD, comprenant :

le placement de deux barreaux de poignée alignés horizontalement dans les mandrins du tour APVD ;

le placement de l'empilement effondré sur des supports de roues de positionnement réglables verticalement, situés à proximité immédiate des deux extrémités de l'empilement effondré ;

l'alignement d'une première extrémité de l'empilement effondré avec un premier barreau de poignée ;

la mise en rotation de l'empilement effondré à une vitesse de rotation de 15 à 16 tours par minute autour d'un axe de rotation aligné avec l'axe central desdits barreaux de poignée ;

le chauffage de la première extrémité de l'empilement effondré en contact avec le premier barreau de poignée avec un brûleur O₂/H₂ jusqu'à la limite de la température du point de soudure ;

l'ajustement vertical des deux supports de roues de positionnement jusqu'à ce que l'empilement effondré soit centré sur ledit axe de rotation, et

l'arrêt du chauffage.

[Revendication 7]

Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pluralité de barreaux de cœur (20 ; 81) comprend de 2 à 20 barreaux de cœur.

[Revendication 8]

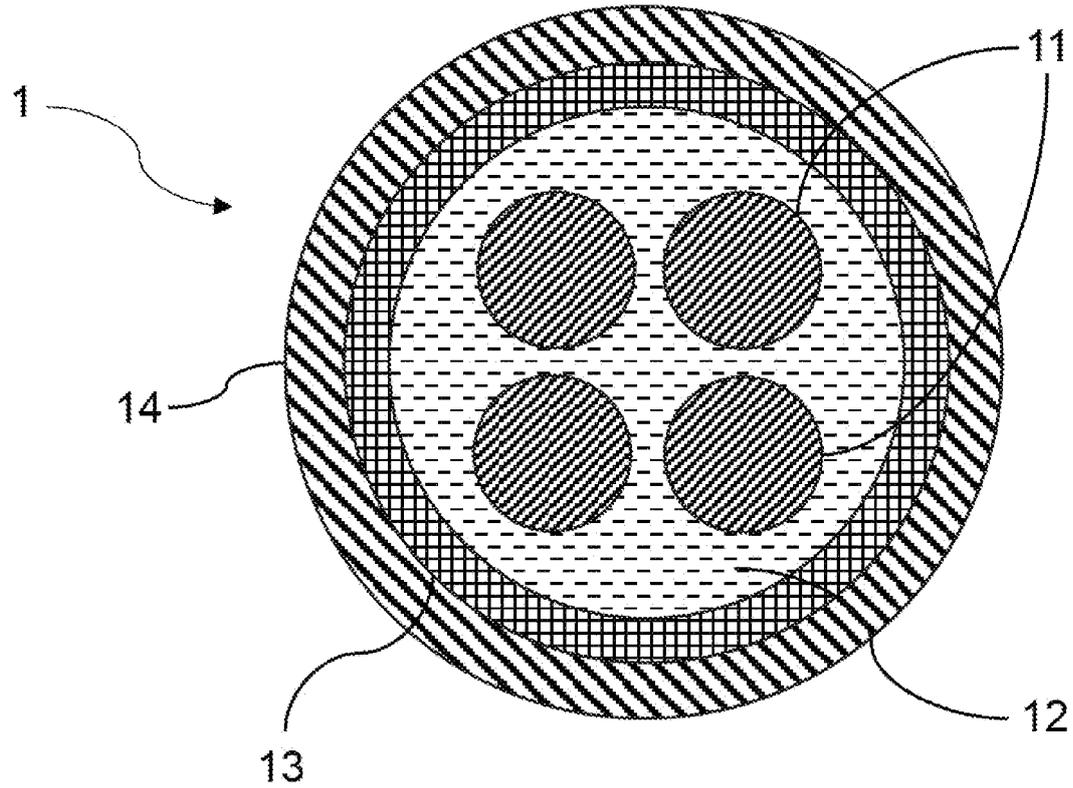
Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque cœur est soit monomode, soit à peu de modes (en anglais « Few Mode »), soit multimode.

[Revendication 9]

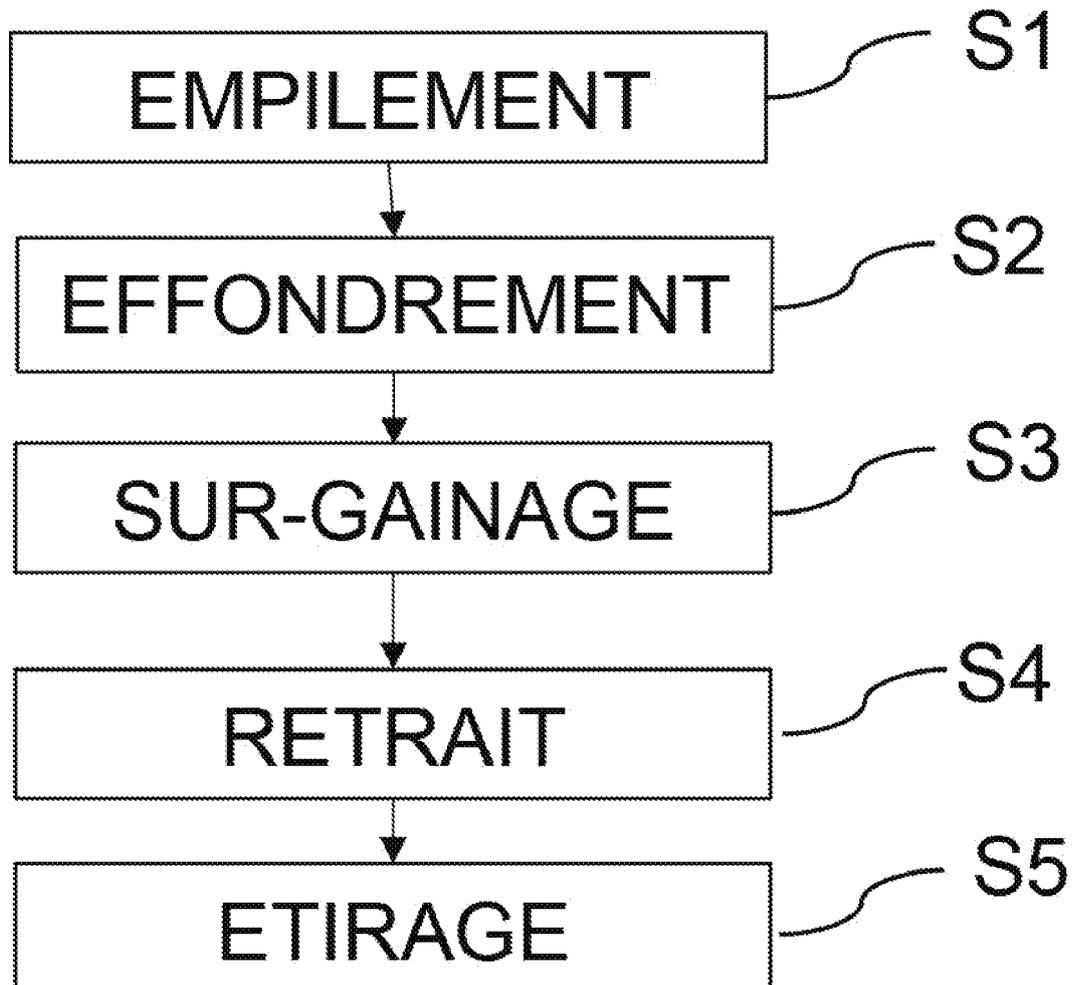
Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pluralité de barreaux de remplissage à base de silice comprend au moins deux types de barreaux de silice pure (82-85) avec des diamètres extérieurs distincts.

- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'une préforme pour une fibre multicœur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pluralité de barreaux de remplissage à base de silice comprend un barreau de silice dopé au fluor (85), formant un barreau marqueur.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication d'une fibre multicœur, comprenant :
un procédé d'étirage (S5) pour étirer la préforme de la fibre multicœur fabriquée par le procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.
- [Revendication 12] Procédé de fabrication d'une fibre multicœur selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit procédé d'étirage comprend un contrôle de la pression interne de la préforme pendant l'étirage.

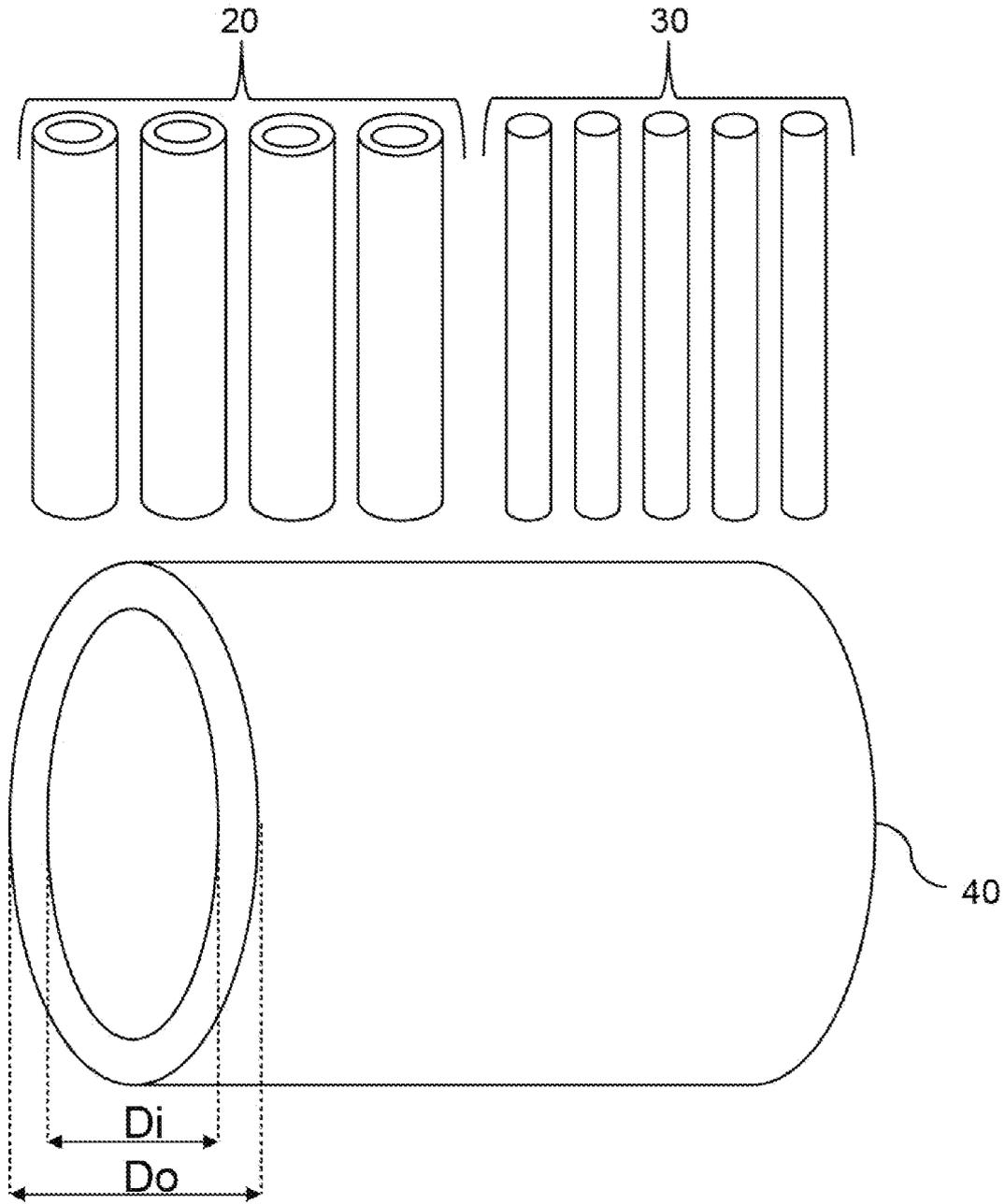
[Fig. 1]



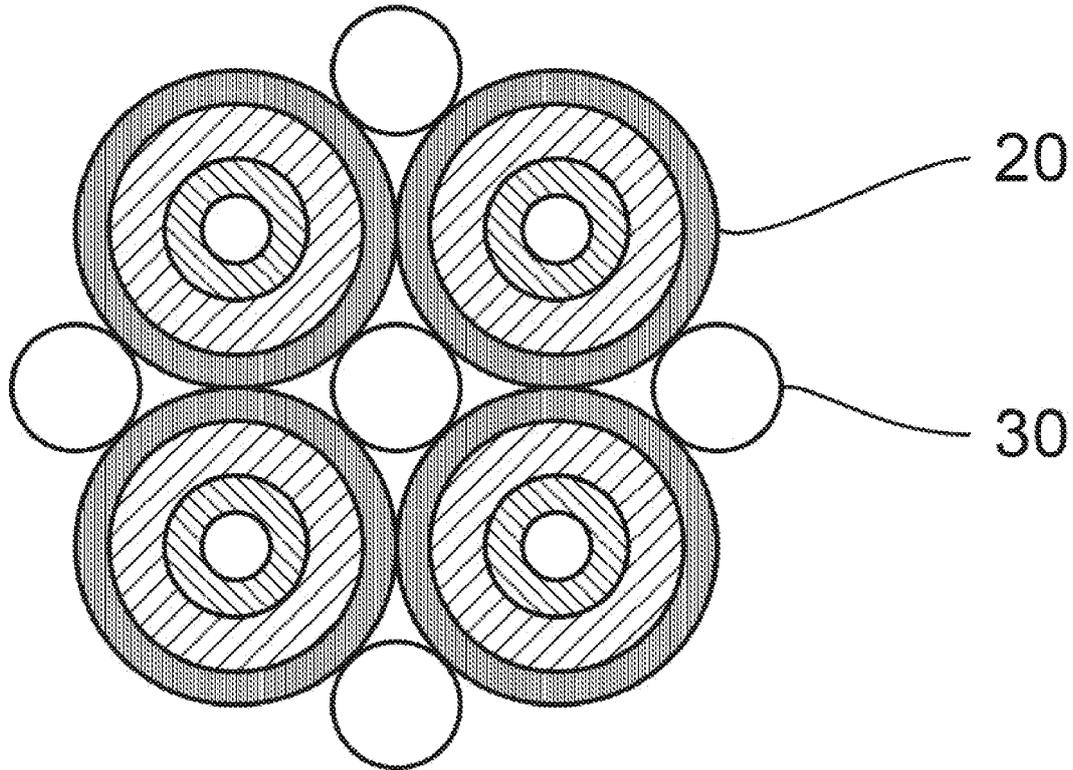
[Fig. 2]



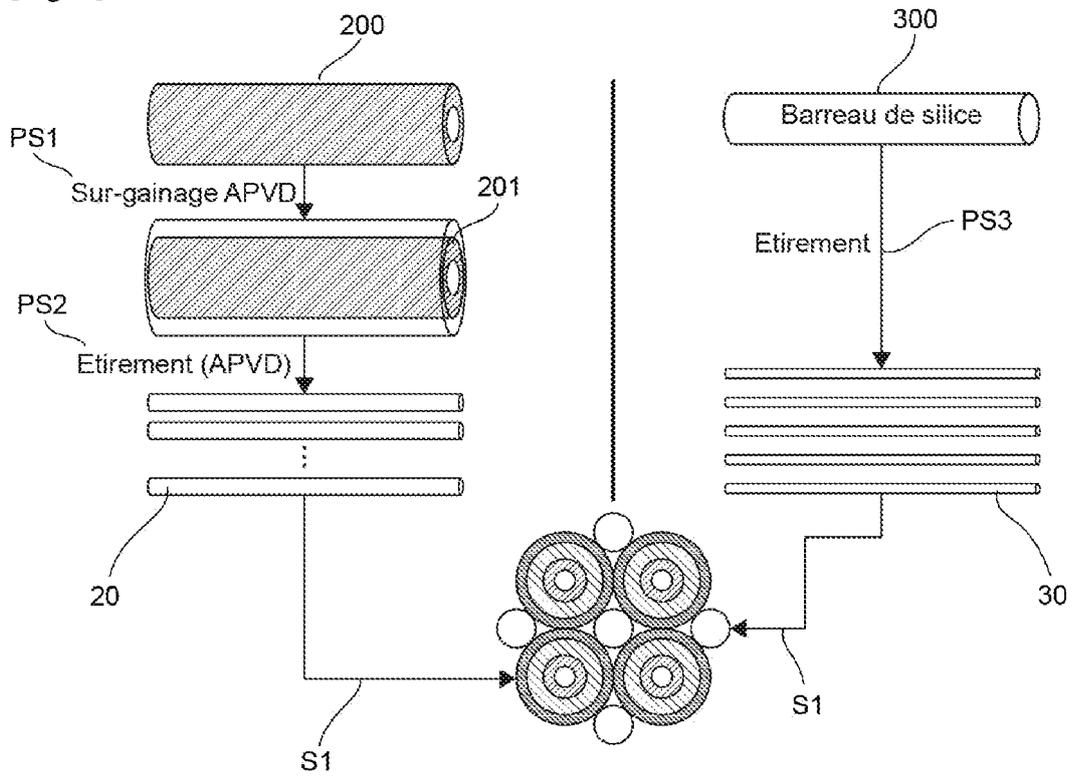
[Fig. 3]



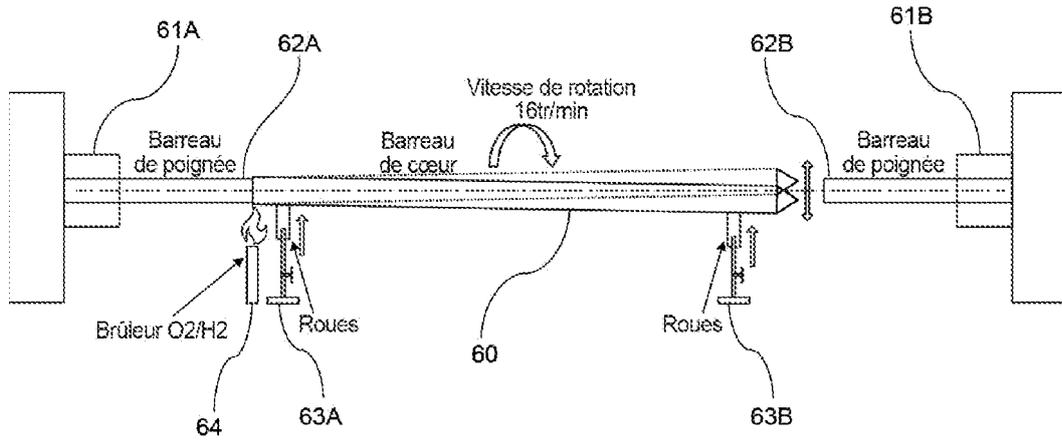
[Fig. 4]



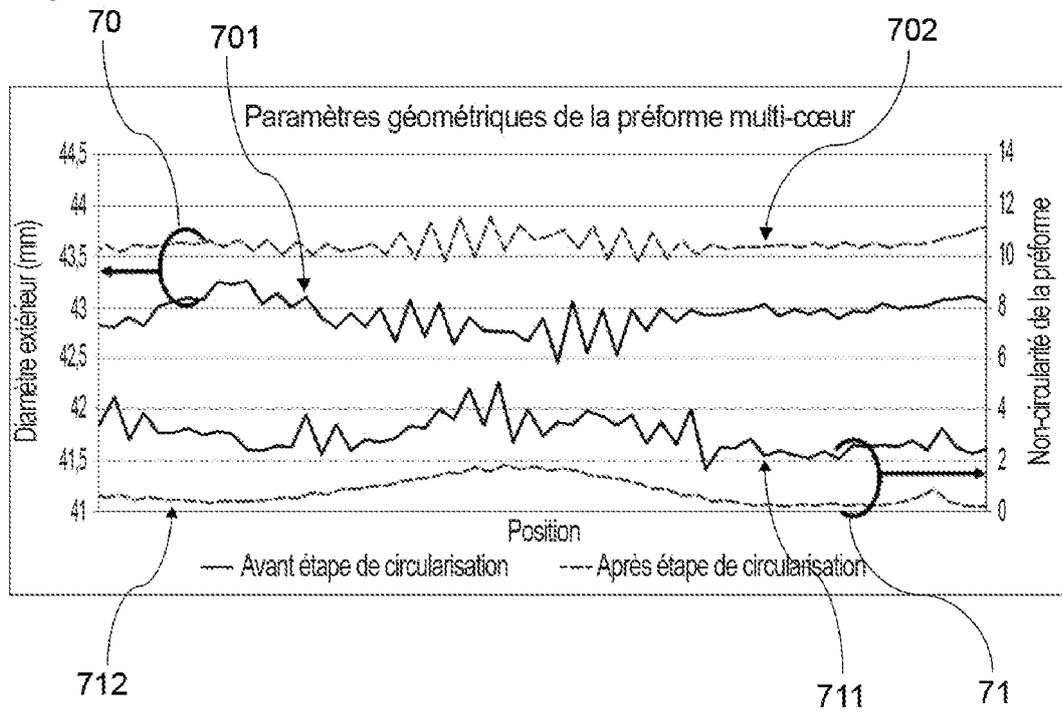
[Fig. 5]



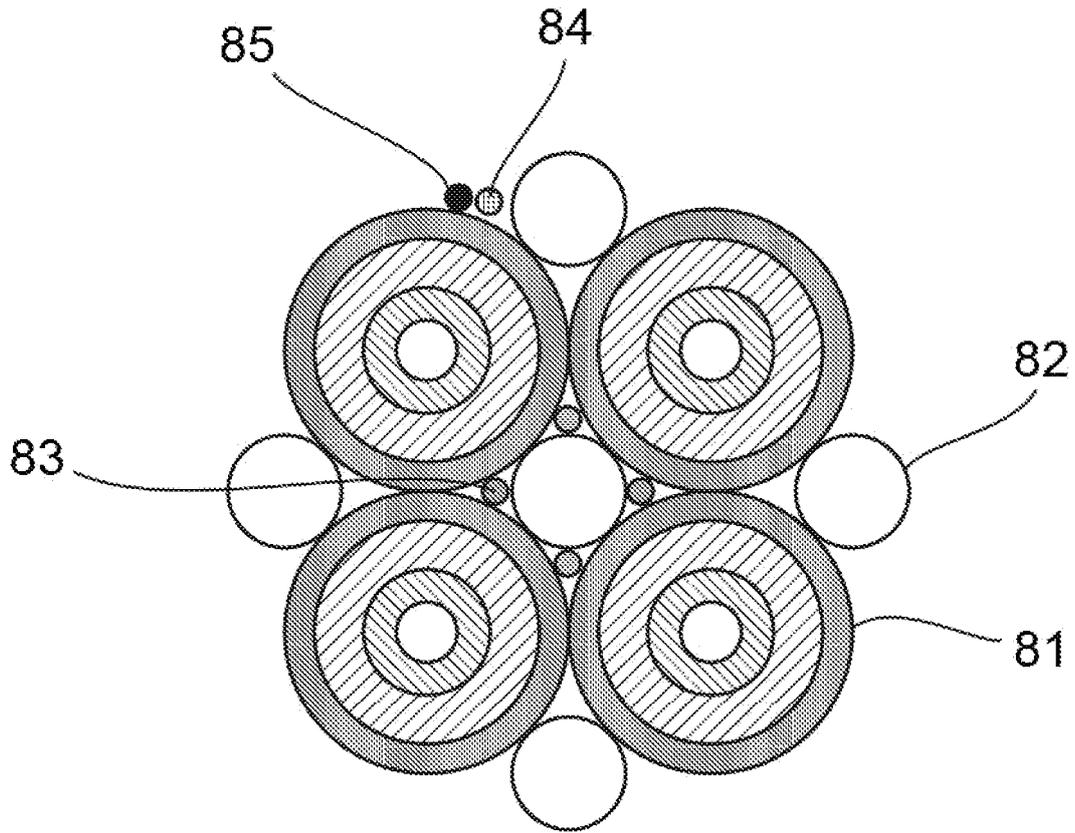
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 897092
FR 2106316

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|--|---|----------------------------------|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| X, D | US 2014/216109 A1 (ISHIDA ITARU [JP] ET AL) 7 août 2014 (2014-08-07) | 11, 12 | C03B37/012 C03B37/027 G02B6/036 ----- DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C03B |
| A | * alinéas [0052], [0061] - [0063]; figure 4A * | 1-10 | |
| X | WO 00/16131 A2 (CORNING INC [US]; BHAGAVATULA VENKATA A [US]) 23 mars 2000 (2000-03-23) | 11, 12 | |
| A | * page 15, lignes 20-23; figure 12 * * page 16, lignes 3-9 * | 1-10 | |
| X | US 6 711 333 B2 (CORNING INC [US]) 23 mars 2004 (2004-03-23) | 11, 12 | |
| A | * colonne 6, lignes 6-31; figure 3 * | 1-10 | |
| ----- | | | |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 9 février 2022 | | Creux, Sophie | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | | | |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2106316 FA 897092**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **09-02-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| US 2014216109 A1 | 07-08-2014 | JP 5771227 B2 | 26-08-2015 |
| | | JP 2014152045 A | 25-08-2014 |
| | | US 2014216109 A1 | 07-08-2014 |
| ----- | | | |
| WO 0016131 A2 | 23-03-2000 | AU 1439900 A | 03-04-2000 |
| | | BR 9913334 A | 18-06-2002 |
| | | CA 2344200 A1 | 23-03-2000 |
| | | CN 1359474 A | 17-07-2002 |
| | | EP 1114337 A2 | 11-07-2001 |
| | | ID 30554 A | 20-12-2001 |
| | | JP 2002525645 A | 13-08-2002 |
| | | KR 20010088804 A | 28-09-2001 |
| | | TW 454099 B | 11-09-2001 |
| | | WO 0016131 A2 | 23-03-2000 |
| | | ZA 995927 B | 04-04-2000 |
| ----- | | | |
| US 6711333 B2 | 23-03-2004 | AU 2003262400 A1 | 03-11-2003 |
| | | US 2003198449 A1 | 23-10-2003 |
| | | WO 03089960 A2 | 30-10-2003 |
| ----- | | | |