

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 914 751

21) N° d'enregistrement national : 07 02545

51) Int Cl⁸ : G 02 B 6/036 (2006.01)

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 06.04.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 10.10.08 Bulletin 08/41.

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 :

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

72) Inventeur(s) : SILLARD PIERRE, MOLIN DENIS, DE MONTMORILLON LOUIS ANNE, BIGOT ASTRUC MARIANNE et RICHARD SIMON.

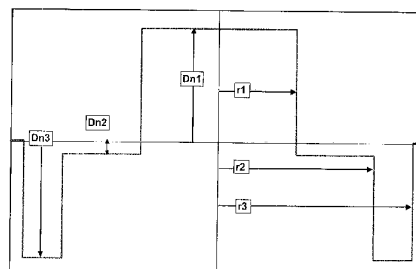
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET HIRSCH POCHART ET ASSOCIES.

54) FIBRE OPTIQUE MONOMODE.

57) Une fibre optique de transmission comprend un coeur central présentant un rayon (r_1) supérieur ou égal à $5,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice (Δn_1) inférieure ou égale à $5,0 \cdot 10^{-3}$; une gaine intermédiaire présentant un rayon (r_2) et une différence d'indice (Δn_2), la largeur de la gaine intermédiaire ($r_2 - r_1$) étant supérieure à $5 \mu\text{m}$; et une gaine enterrée présentant un rayon (r_3) et une différence d'indice (Δn_3) inférieure ou égale à $-3,5 \cdot 10^{-3}$, la largeur de la gaine enterrée ($r_3 - r_2$) étant inférieure à $5 \mu\text{m}$.

La fibre présente une surface effective supérieure à $120 \mu\text{m}^2$ avec une longueur d'onde de coupure limitée à 1600 nm sans dégradation des autres paramètres optiques de la fibre comparée avec une SSMF, notamment en terme de pertes et de dispersion.



FR 2 914 751 - A1



FIBRE OPTIQUE MONOMODE

La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibre optique, et plus spécifiquement, une fibre de ligne présentant une surface effective
5 élargie sans augmentation des pertes en courbure et microcourbures.

Pour des fibres optiques, on qualifie généralement le profil d'indice en fonction de l'allure du graphe de la fonction qui associe au rayon de la fibre l'indice de réfraction. On représente de façon classique sur les abscisses la distance r au centre de la fibre, et sur les ordonnées la différence entre l'indice de réfraction et
10 l'indice de réfraction de la gaine de la fibre. On parle ainsi de profil d'indice en "échelon", en "trapèze" ou en "triangle" pour des graphes qui présentent des formes respectives d'échelon, de trapèze ou de triangle. Ces courbes sont généralement représentatives du profil théorique ou de consigne de la fibre, les contraintes de fabrication de la fibre pouvant conduire à un profil sensiblement différent.

15 Une fibre optique est classiquement composée d'un cœur optique, ayant pour fonction de transmettre et éventuellement d'amplifier un signal optique, et d'une gaine optique, ayant pour fonction de confiner le signal optique dans le cœur. A cet effet, les indices de réfraction du cœur n_c et de la gaine n_g sont tels que $n_c > n_g$. Comme cela est bien connu, la propagation d'un signal optique dans une fibre
20 optique monomode se décompose en un mode fondamental guidé dans le cœur et en des modes secondaires guidés sur une certaine distance dans l'ensemble cœur-gaine, appelés modes de gaine.

On utilise classiquement comme fibre de ligne pour les systèmes de transmission à fibres optiques, des fibres à saut d'indice, appelées aussi fibres SMF
25 (acronyme de l'anglais "Single Mode Fiber"). Ces fibres présentent une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique répondant à des normes de télécommunication spécifiques ainsi que des valeurs de longueur d'onde de coupure et de surface effective normalisées. Typiquement, pour les systèmes de transmission terrestre, on utilise des fibres SSMF (acronyme de l'anglais "Standart Single Mode
30 Fiber") qui présente une dispersion et une pente de dispersion positives, une surface effective d'environ $80 \mu\text{m}^2$ et une atténuation d'environ 0.19 dB/km. Les systèmes de

transmission sous-marine avec répéteurs utilisent typiquement des lignes de transmission hybrides avec des fibres ayant une dispersion positive, une grande surface effective (environ 100-110 μm^2) et une faible atténuation (0.17-0.19 dB/km) et des fibres ayant une dispersion négative. Les systèmes de transmission sous-
5 marine sans répéteurs utilisent typiquement des lignes de transmission comprenant des combinaisons de fibres ayant une dispersion positive et une surface effective comprise entre 80 et 110 μm^2 .

De manière connue en soi, une augmentation de la surface effective d'une fibre de transmission contribue à réduire les effets non linéaires dans la fibre. Une
10 fibre de transmission présentant une surface effective élargie permet une transmission sur une distance plus longue et/ou une augmentation des marges de fonctionnement du système de transmission. Pour augmenter la surface effective d'une fibre de transmission, il a été proposé de réaliser des profils de fibres avec un cœur élargi et aplati par rapport à une SSMF. Cependant, une telle modification de la
15 forme du cœur de la fibre conduit à une augmentation des pertes en courbures et microcourbures et à une augmentation de la longueur d'onde de coupure effective sur fibre. La longueur d'onde de coupure effective est classiquement mesurée comme la longueur d'onde à partir de laquelle le signal optique est monomode après propagation sur deux mètres de fibre, tel que défini par le sous-comité 86A de la
20 commission électrotechnique internationale dans la norme CEI 60793-1-44.

Le document US-A-6 658 190 décrit une fibre de transmission avec une surface effective élargie, supérieure à 110 μm^2 . Cette fibre présente un cœur très large, 1.5 à 2 fois celui d'une SSMF, et une configuration avec une gaine constante ou légèrement enterrée. Pour compenser l'augmentation des pertes en courbures
25 provoquées par une augmentation de la surface effective, ce document propose d'augmenter le diamètre de la fibre (figure 29). Une telle augmentation du diamètre de la fibre implique cependant un coût et entraîne des problèmes de câblage par non comptabilité avec les autres fibres. Ce document indique en outre que la longueur d'onde de coupure diminue avec la longueur de la fibre considérée (figure 5) et
30 notamment que la fibre atteint un caractère monomode après 1 km de transmission. Une telle mesure de la longueur d'onde de coupure n'est cependant pas conforme aux mesures normalisées citées plus haut.

La publication de Masao Tsukitani et al. "Ultra Low Nonlinearity Pure-Silica-Core Fiber with an Effective Area of $211 \mu\text{m}^2$ and Transmission Loss of 0.159 dB/km", M3.3.2, ECOC 2002, 9 septembre 2002, décrit une configuration de profil de fibre avec une large gaine légèrement enterrée adjacente au cœur central. Une telle fibre présente une surface effective de $211 \mu\text{m}^2$ avec une faible atténuation mais pour limiter les pertes en courbures le diamètre de la fibre a été augmenté à $170 \mu\text{m}$ (contre $125 \mu\text{m}$ pour une SSMF) ce qui induit des coûts de fabrication importants et des problèmes de non compatibilité avec les autres fibres.

De telles configurations de fibres pour augmenter la surface effective ont également été proposées dans la publication de Kazumasa Ohsono et al. "The Study of Ultra Large Effective Area Fiber & Mating Dispersion Slope Compensating Fiber for Dispersion Flattened Hybrid Optical Fiber DWDM Link", IWCS 2002, 18 novembre 2002, pages 483-487, et dans la publication de Kazuhiko Aikawa et al. "Single-Mode Optical Fiber with Effective Core Area larger than $160 \mu\text{m}^2$ ", ECOC 1999, 26 septembre 1999, page I-302.

Par ailleurs, le document US-A-6 665 482 propose un profil de fibre en piédestal pour atteindre une surface effective supérieure à $90 \mu\text{m}^2$ mais les valeurs de surface effective des exemples fournis restent inférieures à $110 \mu\text{m}^2$. Le document US-A-5 781 684 décrit une fibre optique coaxiale présentant une large surface effective pour une fibre à dispersion décalée, appelée aussi fibre NZDSF (acronyme de l'anglais "Non-Zero Dispersion Shifted Fiber"). Cette fibre présente une longueur d'onde de coupure trop élevée pour rester monomode dans la bande C+ (1530 nm à 1570 nm) et un diamètre de mode trop faible, inférieur à $11 \mu\text{m}$ à 1550 nm .

Le document US-A-2005/0244120 décrit une fibre optique avec une large surface effective et une faible atténuation. La fibre décrite dans ce document présente un profil avec un cœur central, une gaine intermédiaire et une gaine enterrée. La gaine enterrée est cependant trop peu enterrée, trop large et trop proche du cœur central pour atteindre les caractéristiques optiques recherchées par la présente invention, notamment la combinaison d'une forte surface effective et d'une faible longueur d'onde de coupure effective.

De même, le document US-A-6 483 975 décrit une fibre optique avec une large surface effective et une dispersion positive. Plusieurs profils de fibre sont

décrits dans ce document et notamment un profil avec un cœur central, une gaine intermédiaire et une gaine enterrée. La gaine enterrée est cependant trop large et trop proche du cœur central pour atteindre les caractéristiques optiques recherchées par la présente invention.

5 Le document US-A-4 852 968 décrit une fibre optique ayant un profil avec une gaine enterrée. Ce document cherche à améliorer certains paramètres optiques de la fibre par la présence d'une gaine enterrée et notamment les paramètres de dispersion, de confinement et de pertes en courbures. Ce document ne mentionne pas l'impact sur la longueur d'onde de coupure effective ou la surface effective. Seul un
10 diamètre de mode de $9.38 \mu\text{m}$, ce qui conduirait à une surface effective inférieure à $80 \mu\text{m}^2$ est évoqué. En outre, la gaine enterrée décrite dans ce document est trop large pour atteindre les caractéristiques optiques recherchées par la présente invention.

Le document EP-A-1 477 831 décrit une fibre optique avec une large
15 surface effective et une longueur d'onde de coupure limitée à 1310 nm. Plusieurs profils de fibre sont décrits dans ce document et notamment un profil avec un cœur central, une gaine intermédiaire et une gaine enterrée. La gaine enterrée est cependant trop large pour atteindre les caractéristiques optiques recherchées par la présente invention et le diamètre extérieur de la gaine enterrée est très élevé, ce qui
20 implique des coûts de fabrication importants.

Il existe donc un besoin pour une fibre de transmission qui présente une surface effective élargie, supérieure à $120 \mu\text{m}^2$, sans dégradation des autres paramètres optiques de la fibre comparée avec une SSMF, notamment en terme de pertes et de dispersion, et avec une longueur d'onde de coupure effective inférieure à
25 1600 nm.

A cet effet, l'invention propose un profil de fibre comprenant un cœur central, une gaine intermédiaire et une gaine enterrée. Le cœur central est élargi et aplati par rapport à une SSMF afin d'agrandir la surface effective. La gaine enterrée est suffisamment éloignée du cœur par la gaine intermédiaire pour éviter une trop
30 forte perturbation du mode fondamental mais elle est suffisamment profonde et étroite pour limiter les pertes par courbures et microcourbures et surtout contrôler la longueur d'onde de coupure. La propagation de modes à fuite est également limitée,

voire évitée. La fibre selon l'invention présente alors que surface effective supérieure à $120 \mu\text{m}^2$ à 1550 nm avec une longueur d'onde de coupure garantissant le caractère monomode de la fibre dans la bande C et des pertes en courbures et microcourbures équivalentes à celles d'une SSMF.

5 L'invention propose plus particulièrement une fibre optique de transmission, comprenant une fibre optique de transmission, comprenant :

- un cœur central présentant un rayon supérieur ou égal à $5,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice inférieure ou égale à $5,0 \cdot 10^{-3}$ avec une gaine optique extérieure;
- 10 - une gaine intermédiaire présentant un rayon et une différence d'indice avec la gaine extérieure, la largeur de la gaine intermédiaire étant supérieure à $5 \mu\text{m}$;
- une gaine enterrée présentant un rayon et une différence d'indice inférieure ou égale à $-3,5 \cdot 10^{-3}$ avec la gaine extérieure, la largeur de la
- 15 gaine enterrée étant inférieure à $5 \mu\text{m}$;

la fibre présentant une surface effective à 1550 nm supérieure ou égale à $120 \mu\text{m}^2$ et une longueur d'onde de coupure effective inférieure à 1600 nm.

Selon les modes de réalisation, la fibre selon l'invention peut comprendre en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 20 - le rayon de la gaine enterrée est inférieur ou égal à $16 \mu\text{m}$;
- la différence d'indice entre la gaine intermédiaire et la gaine extérieure est comprise entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ et $1,0 \cdot 10^{-3}$;
- un diamètre de mode supérieur à $11,5 \mu\text{m}$;
- une dispersion chromatique inférieure ou égale à $21,5 \text{ ps/nm-km}$, pour
- 25 une longueur d'onde de 1550 nm ;
- une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à $0,065 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$, pour une longueur d'onde de 1550 nm ;
- une atténuation inférieure ou égale à $0,19 \text{ dB/km}$, pour une longueur d'onde de 1550 nm ;
- 30 - des pertes en courbures inférieures ou égales à 20 dB/m pour un rayon de courbure de 10 mm, pour une longueur d'onde de 1625 nm ;

- des pertes en microcourbures, pour une longueur d'onde de 1550 nm, sensiblement équivalentes aux pertes en microcourbures d'une fibre monomode standard (SSMF) soumise à des contraintes identiques

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple et en référence à la figure unique annexée, qui montre une représentation graphique du profil consigne d'une fibre à saut d'indice selon un mode de réalisation de l'invention.

10

La fibre de l'invention va être décrite en référence à la figure 1 qui représente un profil de consigne, c'est-à-dire représentatif du profil théorique de la fibre, la fibre réellement obtenue après fibrage d'une préforme pouvant présenter un profil sensiblement différent.

15 La fibre de transmission selon l'invention comprend un cœur central présentant une différence d'indice Δn_1 avec une gaine extérieure, faisant fonction de gaine optique, une gaine intérieure intermédiaire présentant une différence d'indice Δn_2 avec la gaine extérieure et une gaine intérieure enterrée présentant une différence d'indice Δn_3 avec la gaine extérieure. Les indices de réfraction dans le cœur central,
20 dans la gaine intermédiaire et dans la gaine enterrée sont sensiblement constants sur toutes leurs largeurs. On définit la largeur du cœur par son rayon r_1 et la largeur des gaines par leurs rayons extérieurs respectifs, r_2 et r_3 . Typiquement, le cœur central, la gaine intermédiaire et la gaine enterrée sont obtenus par dépôt de type CVD dans un tube de silice et la gaine extérieure est constituée par la recharge du tube
25 généralement en silice naturelle ou dopée, mais peut également être obtenu par toute autre technique de dépôt (VAD ou OVD).

La fibre selon l'invention comprend un cœur central présentant un rayon r_1 supérieur ou égal à $5,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice Δn_1 inférieure ou égale à $5 \cdot 10^{-3}$ par rapport à la gaine optique extérieure (en silice par exemple). Le cœur de la fibre
30 selon l'invention est donc élargi et aplati par rapport au cœur d'une fibre SSMF; le diamètre de mode peut ainsi être élargi – supérieur à $11,5 \mu\text{m}$ – et la surface effective de la fibre augmentée – supérieure à $120 \mu\text{m}^2$. La fibre selon l'invention comprend

aussi une gaine intermédiaire présentant un rayon r_2 et une différence d'indice Δn_2 avec la gaine extérieure et une gaine enterrée présentant un rayon r_3 et une différence d'indice Δn_3 avec la gaine extérieure. La gaine enterrée de la fibre selon l'invention est soigneusement contrôlée; elle est suffisamment éloignée du cœur pour ne pas trop
5 perturber la propagation du mode fondamental et ne pas influencer sur les caractéristiques optiques de propagation du signal; elle est suffisamment profonde et étroite pour garantir une diminution des pertes en courbures et microcourbures et contrôler les pertes du mode d'ordre directement supérieur (LP11) et donc la longueur d'onde de coupure qui en découle. Le comportement en mode à fuite est
10 également limité, voire évité. Une largeur de la gaine intermédiaire (r_2-r_1) supérieure à $5 \mu\text{m}$ garantit un éloignement suffisant de la gaine enterrée et du cœur central pour ne pas perturber le mode fondamental dans le cœur. Une profondeur de la gaine enterrée de plus de $-3,5 \cdot 10^{-3}$ et une largeur de la gaine enterrée (r_3-r_2) inférieure à $5 \mu\text{m}$ permet de limiter efficacement les pertes en courbures et microcourbures tout en
15 contrôlant la longueur d'onde de coupure, c'est-à-dire tout en limitant la distance de propagation des modes d'ordres supérieurs dans la fibre. Ce contrôle de la gaine enterrée de la fibre selon l'invention permet de limiter la longueur d'onde de coupure effective de la fibre à 1600 nm alors que la surface effective a été considérablement élargie par rapport à une SSMF pour des pertes équivalentes.

20 Le tableau I ci-dessous donne six exemples de profils d'indice possibles pour une fibre de transmission selon l'invention et deux exemples hors invention (exemples 1b et 1c) par comparaison avec une fibre standard SSMF. La première colonne attribue une référence à chaque profil. Les colonnes suivantes donnent les valeurs des rayons de chaque section (r_1 à r_3) ainsi que leurs différences (r_2-r_1) et (r_3-
25 r_2); et les colonnes suivantes donnent les valeurs des différences d'indice de chaque section avec la gaine extérieure (Δn_1 à Δn_3). Les valeurs d'indices sont mesurées à la longueur d'onde de 633 nm . Les fibres des exemples du tableau I ont un diamètre extérieur de $125 \mu\text{m}$. Les valeurs du tableau I correspondent à des profils de consigne de fibres.

TABLEAU I

Profile	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_2-r_1 (μm)	r_3 (μm)	r_3-r_2 (μm)	Δn_1 ($\cdot 10^3$)	Δn_2 ($\cdot 10^3$)	Δn_3 ($\cdot 10^3$)
SSMF	4.35					5.2		
1	6.04	11.27	5.23	16.0	4.73	4.3	0.0	-4.7
1b	6.04					4.3	0.0	0.0
1c	6.04	8.00	1.96	12.73	4.73	4.3	0.0	-4.7
2	5.84	10.95	5.11	15.6	4.65	4.0	0.3	-6.0
3	6.31	11.83	5.51	14.3	2.47	4.1	-0.3	-4.0
4	6.31	12.52	6.21	15.0	2.48	4.2	-0.3	-4.8
5	6.34	11.77	5.43	15.5	3.73	3.9	0.3	-5.0
6	6.50	13.33	6.83	16.0	2.67	4.0	-0.3	-6.0

La fibre de transmission selon l'invention est illustrée de manière non limitative par les six exemples du tableau ci-dessus. Notamment, on remarque que la fibre selon l'invention présente un cœur central plus large qu'une SSMF et avec une différence d'indice moindre par rapport à une SSMF, soit un cœur central présentant un rayon r_1 supérieur ou égal à $5,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice Δn_1 inférieure ou égale à $5,0 \cdot 10^{-3}$ par rapport à la gaine optique extérieure. On remarque aussi que la fibre selon l'invention présente une gaine enterrée ($r_3, \Delta n_3$) séparée du cœur central par une gaine intermédiaire ($r_2, \Delta n_2$) d'au moins $5 \mu\text{m}$ de large et que la gaine enterrée est étroite, moins de $5 \mu\text{m}$, et profonde d'au moins $-3,5 \cdot 10^{-3}$ par rapport à la gaine extérieure. La gaine intermédiaire peut être de la silice, c'est-à-dire avec le même indice que la gaine extérieure, ou de la silice légèrement dopée; on a notamment Δn_2 compris entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ et $1,0 \cdot 10^{-3}$.

La fibre selon l'invention présente un profil tel que décrit ci-dessus et avec les caractéristiques préférentielles suivantes : Le cœur central ($r_1, \Delta n_1$) a un rayon r_1 compris entre $5,5 \mu\text{m}$ et $7,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice avec la gaine extérieure Δn_1 comprise entre $3,0 \cdot 10^{-3}$ et $5,0 \cdot 10^{-3}$; la gaine intermédiaire ($r_2, \Delta n_2$) a un rayon r_2 compris entre $10,5 \mu\text{m}$ et $14,0 \mu\text{m}$ pour une largeur (r_2-r_1) comprise entre $5 \mu\text{m}$ et $8 \mu\text{m}$ et une différence d'indice avec la gaine extérieure Δn_2 comprise entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ et

$1,0 \cdot 10^{-3}$; la gaine enterrée ($r_3, \Delta n_3$) a un rayon r_3 compris entre $11,5 \mu\text{m}$ et $16,0 \mu\text{m}$ pour une largeur ($r_3 - r_2$) comprise entre $1 \mu\text{m}$ et $5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice avec la gaine extérieure Δn_3 comprise entre $-15,0 \cdot 10^{-3}$ et $-3,5 \cdot 10^{-3}$.

On remarque aussi que la gaine enterrée présente un rayon extérieur r_3 limité à $16 \mu\text{m}$. Cette faible valeur de rayon de la gaine enterrée permet de limiter le coût de fabrication d'une préforme qui serait lié à un dépôt d'une trop grande section de silice dopée.

La fibre de transmission selon l'invention, présentant un profil d'indice tel que décrit précédemment, présente une surface effective élargie avec une longueur d'onde de coupure effective limitée et des pertes en courbures et microcourbures équivalentes à celles d'une SSMF aux longueurs d'onde utiles. La fibre optique selon l'invention présente également une atténuation équivalente, voire plus faible qu'une SSMF avec une dispersion et une pente de dispersion contrôlées à peine plus fortes qu'une SSMF.

Le tableau II qui suit illustre des caractéristiques optiques simulées pour les fibres de transmission correspondants aux profils d'indice du tableau I. Dans le tableau II, la première colonne reprend les références du tableau I. Les colonnes suivantes fournissent, pour chaque profil de fibre, les valeurs de longueur d'onde de coupure effective λ_{ceff} mesurées sur deux mètres de fibre conformément aux normes en vigueur, de surface effective S_{eff} à la longueur d'onde de 1550 nm , de diamètres de mode $2W_{02}$ pour la longueur d'onde de 1550 nm , de dispersion chromatique D à la longueur d'onde de 1550 nm et de pente de la dispersion P à la longueur d'onde de 1550 nm . Les colonnes suivantes fournissent, pour chaque profil de fibre, les valeurs d'atténuation Att à la longueur d'onde de 1550 nm , de pertes en courbures PPC sur un rayon de 10 mm à la longueur d'onde de 1625 nm et de pertes en microcourbures $S_{\mu\text{C}}$ à la longueur d'onde de 1550 nm . Les valeurs de pertes par microcourbures $S_{\mu\text{C}}$ sont relatives et exprimées par rapport aux pertes dans une SSMF qui serait soumise aux mêmes contraintes, soit pour une fibre de $125 \mu\text{m}$ de diamètre. Les pertes par microcourbures peuvent être mesurées, par exemple, par une méthode dite du touret à diamètre fixe. Cette méthode est décrite dans la recommandation technique de la commission électrotechnique internationale du sous-comité 86A sous la référence CEI TR-62221.

TABLEAU II

Profile	λ_{Ceff} (μm)	S_{eff} @1550nm (μm^2)	2W02 @1550nm (μm)	D @1550nm (ps/nm- km)	P @1550nm (ps/nm ² - km)	Att @1550nm (dB/km)	PPC _(10mm) @1625nm (dB/m)	$S_{\mu\text{C}}$ @1550nm (dB)
SSMF	<1300	80	10.3	16.8	0.058	~0.19	~50	1
1	<1550	120	12.1	20.5	0.063	<0.19	<10	~1
1b	>1560	120	12.3	19.5	0.061	~0.19	>20	>1
1c	<1500	110	11.1	22.0	0.063	>0.19	<10	~1
2	<1500	120	12.2	20.5	0.064	<0.19	<10	~1
3	<1500	125	12.3	20.5	0.063	<0.19	<20	~1
4	<1550	125	12.2	20.5	0.063	<0.19	<10	~1
5	<1550	135	12.9	20.5	0.064	<0.19	<20	~1
6	<1550	130	12.5	20.5	0.063	<0.19	<10	~1

On constate à partir du tableau II que la surface effective a bien été
5 augmentée pour la fibre selon l'invention par rapport à une SSMF avec une surface
effective supérieure ou égale à $120 \mu\text{m}^2$. Une surface effective allant jusqu'à $240 \mu\text{m}^2$
peut être atteinte avec un profil de fibre tel que défini plus haut, avec un diamètre de
mode compris entre $11,5 \mu\text{m}$ et $17 \mu\text{m}$. Cette augmentation de la surface effective
entraîne certes une augmentation de la longueur d'onde de coupure effective λ_{Ceff}
10 mais qui reste néanmoins limitée à 1600 nm ; la fibre selon l'invention conserve donc
son caractère monomode dans la bande C. Notamment, la fibre selon l'invention,
avec le profil définit plus haut, peut présenter une longueur d'onde de coupure
effective comprise entre 1350 nm et 1600 nm .

On constate aussi à partir du tableau II que les pertes en courbures et
15 microcourbures de la fibre selon l'invention sont équivalentes aux pertes par
courbures et microcourbures dans une SSMF, voire meilleures. En outre, la fibre
selon l'invention présente une atténuation équivalente voire meilleure qu'une fibre

standard SSMF, soit une atténuation inférieure ou égale à 0,19 dB/km à la longueur d'onde de 1550 nm.

Par ailleurs, les valeurs de dispersion et de pente de dispersion de la fibre selon l'invention ont pu être limitées à 21.5 ps/nm-km et 0.065 ps/nm²-km à la
5 longueur d'onde de 1550 nm ; notamment une dispersion chromatique comprise entre 16 ps/nm-km et 21,5 ps/nm-km et une pente de dispersion comprise entre 0,050 ps/nm²-km et 0,065 ps/nm²-km peuvent être obtenues avec une fibre présentant le profil décrit plus haut. Cette limitation de la dispersion chromatique est importante pour limiter les longueurs de fibres de compensation de la dispersion qui introduisent
10 une atténuation supplémentaire dans les systèmes de transmission.

Les exemples 1b et 1c sont en dehors de l'invention. L'exemple 1b présente le même cœur central que l'exemple 1 mais ne présente aucune gaine enterrée. La gaine intérieure correspond à l'indice de la gaine extérieure, soit de la silice pure. Il s'agit d'un profil tel que décrit dans le document US-A-6 658 190 précité avec une
15 configuration à gaine constante. L'absence de gaine enterrée entraîne une augmentation de la longueur d'onde de coupure effective au-delà de 1550 nm. En outre, l'absence de gaine enterrée de l'exemple 1b entraîne une augmentation des pertes en courbures et microcourbures.

L'exemple 1c présente également le même cœur central que l'exemple 1 et
20 une même gaine enterrée que l'exemple 1 mais la gaine enterrée est trop proche du cœur centrale. La gaine intermédiaire séparant la gaine enterrée du cœur central est plus étroite que 5 µm. Le mode fondamental se propageant dans le cœur est alors influencé par la gaine enterrée ce qui entraîne une surface effective plus faible (<120µm²) et une augmentation de la dispersion chromatique (>21.5ps/nm-km).

25

La fibre de transmission selon l'invention est particulièrement adaptée à des systèmes de transmission longue distance dans la bande C. L'augmentation de la surface effective, sans dégradation notable des autres paramètres optiques de la fibre, permet d'augmenter la puissance des signaux optiques transmis sans augmenter les
30 effets non linéaires ; on améliore alors le rapport signal à bruit de la ligne de transmission ce qui est particulièrement recherché dans les systèmes de transmission optique longue distance terrestres ou sous-marins.

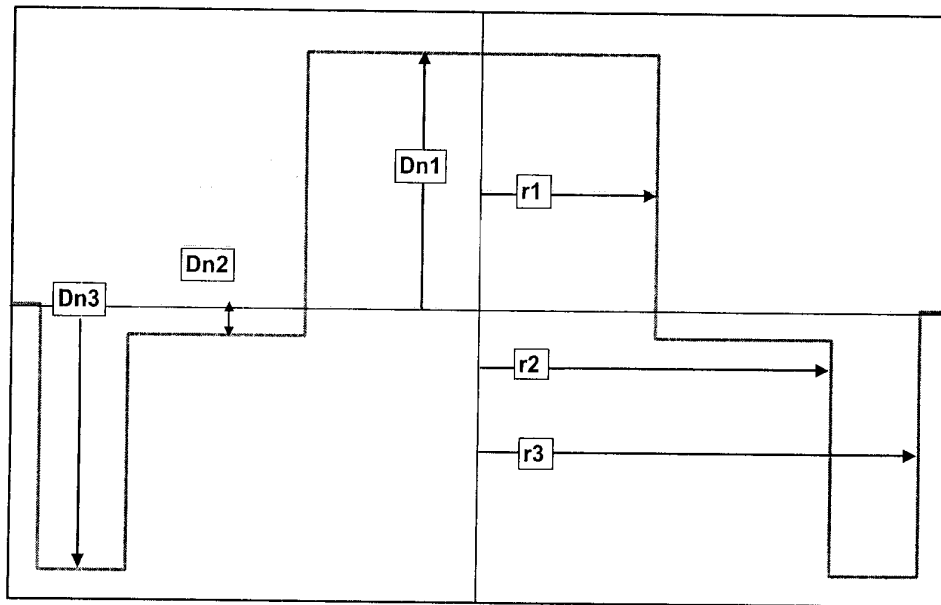
En outre, la fibre selon l'invention respecte les recommandations de la norme ITU-T G.654.B qui préconise notamment une longueur d'onde de coupure effective $\lambda_{c,eff}$ comprise entre 1350 nm et 1600 nm et/ou une longueur d'onde de coupure en câble λ_{cc} inférieure à 1530 nm, un diamètre de mode compris entre 9,5 μm et 13 μm , une dispersion chromatique inférieure à 22 ps/nm-km et une pente de dispersion inférieure à 0,070 ps/nm²-km, une atténuation en câble inférieure à 0,22 dB/km. La fibre selon l'invention peut ainsi être installée dans de nombreux systèmes de transmission avec une bonne compatibilité avec les autres fibres du système.

REVENDICATIONS

1. Une fibre optique de transmission, comprenant :
 - un cœur central présentant un rayon (r_1) supérieur ou égal à $5,5 \mu\text{m}$ et une différence d'indice (Δn_1) inférieure ou égale à $5,0 \cdot 10^{-3}$ avec une gaine optique extérieure;
 - une gaine intermédiaire présentant un rayon (r_2) et une différence d'indice (Δn_2) avec la gaine extérieure, la largeur de la gaine intermédiaire ($r_2 - r_1$) étant supérieure à $5 \mu\text{m}$;
 - une gaine enterrée présentant un rayon (r_3) et une différence d'indice (Δn_3) inférieure ou égale à $-3,5 \cdot 10^{-3}$ avec la gaine extérieure, la largeur de la gaine enterrée ($r_3 - r_2$) étant inférieure à $5 \mu\text{m}$;la fibre présentant une surface effective à 1550 nm supérieure ou égale à $120 \mu\text{m}^2$ et une longueur d'onde de coupure effective ($\lambda_{c_{\text{eff}}}$) inférieure à 1600 nm .
2. La fibre de la revendication 1, dans laquelle le rayon (r_3) de la gaine enterrée est inférieur ou égal à $16 \mu\text{m}$.
3. La fibre de la revendication 1 ou 2, dans laquelle la différence d'indice de la gaine intermédiaire (Δn_2) est comprise entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ et $1,0 \cdot 10^{-3}$.
4. La fibre de l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle présente un diamètre de mode ($2W02$) supérieur à $11,5 \mu\text{m}$.
5. La fibre de l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle présente, pour une longueur d'onde de 1550 nm , une dispersion chromatique inférieure ou égale à $21,5 \text{ ps/nm-km}$.
6. La fibre de l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle présente, pour une longueur d'onde de 1550 nm , une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à $0,065 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$.

7. La fibre de l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente, pour une longueur d'onde de 1550 nm, une atténuation inférieure ou égale à 0,19 dB/km.
- 5 8. La fibre de l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle présente, pour une longueur d'onde de 1625 nm, des pertes en courbures inférieures ou égales à 20 dB/m pour un rayon de courbure de 10 mm.
- 10 9. La fibre de l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce qu'elle présente, pour une longueur d'onde de 1550 nm, des pertes en microcourbures sensiblement équivalentes aux pertes en microcourbures d'une fibre monomode standard (SSMF) soumise à des contraintes identiques.

Figure 1



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 691374
FR 0702545

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 2005/244120 A1 (MISHRA SNIGDHARAJ K [US]) 3 novembre 2005 (2005-11-03) * abrégé; figures 1,2; tableaux 1,3 * -----	1-9	G02B6/036
X,D	US 4 852 968 A (REED WILLIAM A [US]) 1 août 1989 (1989-08-01) * abrégé * -----	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G02B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		14 décembre 2007	Jakober, François
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0702545 FA 691374**

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 14-12-2007

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 2005244120 A1	03-11-2005	CN 1973222 A	30-05-2007
		EP 1740986 A1	10-01-2007
		KR 20070012841 A	29-01-2007
		US 2007053642 A1	08-03-2007
		WO 2005111683 A1	24-11-2005

US 4852968 A	01-08-1989	CA 1302756 C	09-06-1992
		DE 3784419 D1	08-04-1993
		DE 3784419 T2	09-06-1993
		DK 363187 A	09-02-1988
		EP 0260795 A2	23-03-1988
		HK 117193 A	05-11-1993
		JP 2618400 B2	11-06-1997
		JP 63043107 A	24-02-1988
SG 59993 G	09-07-1993		
