

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.09.99.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.03.01 Bulletin 01/13.

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) : ALCATEL Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : DE MONTMORILLON LOUIS ANNE,
NOUCHI PASCALE, SILLARD PIERRE et FLEURY
LUDOVIC.

⑦3 Titulaire(s) :

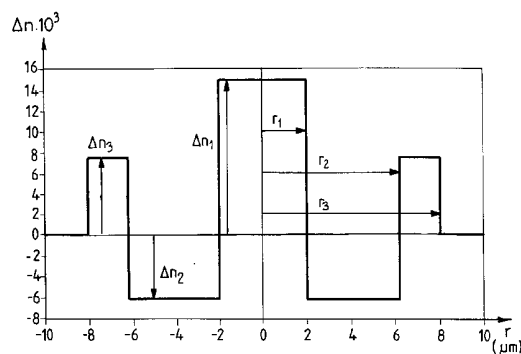
⑦4 Mandataire(s) : COMPAGNIE FINANCIERE ALCA-
TEL.

⑤4 FIBRE OPTIQUE POUR LA COMPENSATION EN LIGNE DE LA DISPERSION CHROMATIQUE D'UNE FIBRE OPTIQUE A DISPERSION CHROMATIQUE POSITIVE.

⑤7 L'invention propose une fibre optique pour la compensation en ligne de la dispersion chromatique d'une fibre optique à dispersion chromatique positive.

La fibre de l'invention présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1 550 nm une dispersion chromatique négative et supérieure à -40 ps/(nm.km), une pente de dispersion chromatique négative, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm, ainsi qu'une aire effective supérieure à 10 μm^2 , des pertes par courbures inférieures ou égales à 0,05 dB, et une longueur d'onde de coupure supérieure ou égale à 1,1 μm . Elle permet de compenser en ligne la dispersion chromatique cumulée dans une fibre de ligne du type NZ-DSF à dispersion chromatique positive.

L'invention concerne aussi un système de transmission à fibre optique, utilisant une telle fibre pour compenser en ligne la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de ligne.



FIBRE OPTIQUE POUR LA COMPENSATION EN LIGNE DE LA DISPERSION CHROMATIQUE D'UNE FIBRE OPTIQUE A DISPERSION CHROMATIQUE POSITIVE

5 La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibre optique.

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
10 centre de la fibre, et sur les ordonnées la différence entre l'indice de réfraction et 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
15 fabrication de la fibre pouvant conduire à un profil sensiblement différent.

Dans les nouveaux réseaux de transmission à hauts débits et multiplexés en longueur d'onde, il est avantageux de gérer la dispersion chromatique, notamment pour des débits supérieurs ou égaux à 10 Gbit/s; l'objectif est d'obtenir, pour toutes les valeurs de longueur d'onde du multiplex, une compensation chromatique cumulée
20 sensiblement nulle sur la liaison, de sorte à limiter l'élargissement des impulsions. Une valeur cumulée de quelques centaines de ps/nm pour la dispersion est en général acceptable. Il est aussi intéressant d'éviter au voisinage des longueurs d'onde utilisées dans le système les valeurs nulles de la dispersion chromatique, pour lesquelles les effets non-linéaires sont plus importants. Enfin, il est aussi intéressant de
25 limiter la pente de dispersion chromatique sur la plage du multiplex de sorte à éviter ou limiter les distorsions entre les canaux du multiplex.

On utilise classiquement comme fibre de ligne pour les systèmes de transmissions à fibres optiques des fibres à saut d'indice. La demanderesse commercialise ainsi sous référence ASMF 200 une fibre monomode à saut d'indice
30 présentant une longueur d'onde λ_0 d'annulation de la dispersion chromatique entre 1300 et 1320 nm, et une dispersion chromatique inférieure ou égale à 3,5 ps/(nm.km) dans une plage de 1285-1330 nm, et de 17 ps/(nm.km) à 1550 nm. La pente de dispersion chromatique à 1550 nm est de l'ordre de 0,06 ps/(nm².km).

Sont aussi apparues sur le marché des fibres à dispersion décalée, ou DSF (acronyme de l'anglais "Dispersion shifted fibers"). Ces fibres sont telles qu'à la longueur d'onde de transmission à laquelle elles sont utilisées, qui est en général différente de la longueur d'onde de 1,3 μm pour laquelle la dispersion de la silice est sensiblement nulle, la dispersion chromatique de l'onde transmise est sensiblement nulle; c'est à dire que la dispersion chromatique de la silice, non nulle, est compensée - d'où l'emploi du terme décalé - par une augmentation de l'écart d'indice Δn entre le cœur de la fibre et la gaine optique. Cet écart d'indice permet de décaler la longueur d'onde pour laquelle la dispersion chromatique est nulle; il est obtenu par l'introduction de dopants dans la préforme, lors de la fabrication de celle-ci, par exemple par un processus de MCVD connu en soi, et qui n'est pas décrit plus en détail ici.

On qualifie de NZ-DSF+ (acronyme de l'anglais "non-zero dispersion shifted fibers") des fibres à dispersion décalée, présentant une dispersion chromatique non-nulle et positive pour les longueurs d'onde auxquelles elles sont utilisées. Ces fibres présentent pour ces longueurs d'onde une dispersion chromatique faible, typiquement inférieure à 10 ps/(nm.km) à 1550 nm, et une pente de dispersion chromatique entre 0,04 et 0,1 ps/(nm².km).

Pour compenser la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique dans des fibres SMF ou NZ-DSF+ utilisées comme fibres de ligne, il est connu d'utiliser des faibles longueurs de fibre de compensation de dispersion ou DCF (Dispersion Compensating Fiber en langue anglaise). Un exemple d'un tel système de transmission, dans lequel la dispersion chromatique dans une fibre de ligne SMF est compensée par de la fibre DCF est décrit dans M. Nishimura et autres, Dispersion compensating fibers and their applications, OFC'96 Technical Digest ThA1.

Un tel usage d'une fibre de compensation de dispersion est aussi mentionné dans L. Grüner-Nielsen et autres, Large volume Manufacturing of dispersion compensating fibers, OFC'98 Technical Digest TuD5. Un inconvénient de ce type de fibre est son coût élevé.

Des fibres DCF sont décrites dans différents brevets. Elles présentent au voisinage d'une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique négative, pour compenser la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de ligne, et peuvent en outre présenter une pente de la dispersion chromatique négative pour compenser

la pente positive de la dispersion chromatique de la fibre en ligne. WO-A-99 13366 propose une fibre de compensation de dispersion, qui est destinée à être utilisée dans des boîtiers de compensation, pour compenser la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique d'une fibre du type commercialisé par Lucent Technologies sous la marque "True Wave"; cette fibre présente une dispersion chromatique entre 1,5 et 4 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,07 ps/(nm².km). La fibre de dispersion proposée présente dans un exemple de réalisation une dispersion chromatique de -27 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de -1,25 ps/(nm².km), ce qui conduit à un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique égal à 22 nm. Pour compenser la dispersion dans la fibre de ligne, on utilise la fibre de dispersion de compensation, dans un boîtier de compensation, en une longueur qui est 15 fois plus faible que la longueur de la fibre de ligne. Un calcul des propriétés des fibres décrites dans les exemples 1 et 2 de ce document montre que les solutions où le rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique est supérieur à 50 nm conduisent à des longueurs d'onde de coupure inférieures à 1,1 µm. Cela ne permet pas d'obtenir le meilleur compromis.

US-A-5 568 583 propose une fibre DCF, avec un profil en rectangle avec une gaine enterrée; il est précisé que la fibre DCF est supposée servir pour la compensation de fibre SMF, d'une dispersion de l'ordre de 17 ps/(nm.km). Les valeurs de dispersion et de pente de dispersion fournies dans les tableaux 1, 2 et 3 de ce document, pour différents diamètres du coeur, ne sont pas en accord avec le profil proposé, et ne peuvent clairement pas être obtenues pour ce profil.

US-A-5 361 319 propose aussi des fibres DCF. Un des profils d'indice proposés est un profil d'indice en rectangle avec une tranchée et un anneau; les fibres proposées sont adaptées à compenser la dispersion chromatique dans des fibres SMF, présentant une dispersion chromatique de l'ordre de 15 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de l'ordre de 0,06 ps/(nm².km). Une des valeurs cibles proposées pour la fibre DCF est donc de -30 ps/(nm.km) pour la dispersion chromatique, et de 0,9 ou 0,8 pour le rapport entre la dispersion chromatique à 1575 et 1525 nm. Avec une approximation linéaire, ces valeurs correspondent respectivement à des valeurs de pentes de dispersion de +0,063 et

+0,133 ps/(nm².km). Dans les exemples de ce brevet pour lesquels la dispersion est supérieure à -40 ps/(nm.km), les valeurs des pentes sont toutes positives.

US-A-5 555 340 propose encore une fibre DCF, avec un profil en alpha et une gaine enterrée. Dans ce brevet, les exemples des figures 2A à 5B proposent des fibres avec une dispersion supérieure à -40ps/(nm.km), mais avec un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 230 nm. En outre, dans ce brevet, les écarts d'indice cœur gaine sont supérieurs à 2%, ce qui provoque des atténuations importantes dans la fibre.

US-A-5 838 867 propose une fibre de dispersion de compensation, destinée à compenser en ligne ou en boîtier la dispersion chromatique d'une fibre de ligne à dispersion décalée. La fibre a un cœur en alpha, entourée d'une tranchée déprimée, et le cas échéant d'un anneau. Dans tous les exemples proposés dans ce brevet, la longueur d'onde de coupure théorique est inférieure à 0.9 μm.

Il a encore été proposé dans K. Mukasa et autres, Novel network fiber to manage dispersion at 1.55 μm with combination of 1.3 μm zero dispersion single mode fiber, ECOC 97, 22-25 September 1997, Conference publication No 448, une fibre appelée RDF (ou "Reverse Dispersion Fiber"), qui présente des propriétés de dispersion chromatique et de pente de dispersion chromatique inverses de celles d'une fibre de ligne SMF. Cette fibre présente à 1550 nm une dispersion chromatique de - 15,6 ps/(nm.km), et une pente de dispersion chromatique de - 0,046 ps/(nm².km). Elle a un profil d'indice en W, avec au centre un sommet, entouré d'une tranchée d'indice inférieur à celui de la gaine. Dans cette publication la fibre RDF est utilisée comme fibre de ligne, en alternance avec la fibre SMF: la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique cumulées dans une section de fibre SMF sont compensées par la propagation dans la section suivante de fibre RDF. Un tel enseignement apparaît dans FR-A-2 761 483. Les exemples de profils fournis dans cette demande sont tous des profils à saut d'indice, avec dans la plupart des cas une gaine enterrée.

La demande de brevet français déposée le 18.02.99 sous le numéro 9902028, et intitulée "Fibre de ligne pour systèmes de transmission à fibre optique à multiplexage en longueurs d'onde" propose une fibre de ligne, tout particulièrement adaptée à une transmission à multiplexage en longueurs d'onde dense, avec un espacement entre les canaux de 100 GHz ou moins pour un débit par canal de 10

Gbit/s; cette fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une aire effective supérieure ou égale à $60 \mu\text{m}^2$, une dispersion chromatique comprise entre 6 et 10 ps/(nm.km); et une pente de dispersion chromatique inférieure à 0,07 ps/(nm².km).

L'invention propose une fibre adaptée à la compensation en ligne de la dispersion chromatique dans une fibre à dispersion décalée, et plus précisément dans une fibre NZ-DSF+. Elle fournit une fibre qui présente de faibles pertes par courbures, et peut être utilisée facilement comme fibre de ligne dans un système de transmission.

Plus précisément, l'invention propose une fibre optique présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique négative et supérieure à -40 ps/(nm.km), un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique entre 50 et 230 nm, une aire effective supérieure ou égale à $10 \mu\text{m}^2$, et des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB ; et une longueur d'onde de coupure théorique supérieure à $1,1 \mu\text{m}$.

Dans un mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique supérieure ou égale à -20 ps/(nm.km).

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -5 ps/(nm.km).

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 200 nm. En variante, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 180 nm. Dans une autre variante, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 160 nm.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 80 nm. En variante, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 100 nm. Dans une autre variante, la fibre

présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 120 nm.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une aire effective supérieure ou égale à $15 \mu\text{m}^2$, de
5 préférence supérieure ou égale à $20 \mu\text{m}^2$.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km, et de préférence inférieure ou égale à 0,3 dB/km.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une
10 longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à $4 \mu\text{m}$, et de préférence supérieur ou égal à $5 \mu\text{m}$.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.

15 Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente une longueur d'onde de coupure théorique supérieure ou égale à $1,3 \mu\text{m}$.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente une longueur d'onde de coupure en câble inférieure ou égale à $1,3 \mu\text{m}$.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente pour des
20 longueurs d'onde entre 1300 et 1620 nm des pertes par courbures inférieures à 0,05 dB, et de préférence inférieures à $5 \cdot 10^{-3}$ dB.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre présente un profil d'indice en rectangle avec une tranchée déprimée et un anneau.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la différence entre l'indice en
25 tout point de la fibre et l'indice de la gaine est supérieure ou égale à $-8 \cdot 10^{-3}$

Dans un autre mode de réalisation préféré, la différence entre l'indice en tout point de la fibre et l'indice de la gaine est inférieure ou égale à $28 \cdot 10^{-3}$, et de préférence inférieure ou égale à $20 \cdot 10^{-3}$.

L'invention propose également l'utilisation d'une fibre selon l'invention
30 comme fibre de compensation de dispersion dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde. De préférence, la fibre de compensation est câblée et utilisée comme fibre de ligne.

Par ailleurs, l'invention propose un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section de fibre de ligne, et une deuxième section de fibre de ligne selon l'invention.

Dans un mode de réalisation préféré, la fibre de ligne de la première section
5 présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/(nm.km).

Dans un autre mode de réalisation préféré, la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/(nm².km).

10 Dans un autre mode de réalisation préféré, le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.

Dans un autre mode de réalisation préféré, la dispersion chromatique
15 cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

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 aux dessins annexés, qui montrent

20 - figure 1, une représentation schématique du profil d'indice de consigne d'une fibre selon l'invention;

- figure 2, une représentation schématique d'une section d'un système de transmission utilisant de la fibre de compensation de dispersion selon l'invention.

L'invention propose une fibre de compensation de dispersion, présentant
25 pour une longueur d'onde de 1550 nm, une dispersion chromatique négative et supérieure ou égale à -40 ps/(nm.km), une pente de dispersion chromatique négative, un rapport de la dispersion chromatique à la pente de la dispersion chromatique entre 50 et 230 nm, une aire effective supérieure à 10 μm^2 , et des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB ; et une longueur d'onde de
30 coupure supérieure ou égale à 1,1 μm .

Les caractéristiques préférées de la fibre de l'invention sont donc les suivantes:

- dispersion chromatique à 1550 nm négative et supérieure ou égale à -40 ps/(nm.km), et de préférence comprise entre -5 et -20 ps/(nm.km);
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm entre 50 et 230 nm, et de préférence entre 80 et 200 nm, voire entre 100 et 180 nm, voire encore entre 120 et 160 nm ;
 - aire effective à 1550 nm supérieure à $10 \mu\text{m}^2$, voire $15 \mu\text{m}^2$, ou de préférence $20 \mu\text{m}^2$;
 - sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm inférieure ou égale à 1, ou de préférence inférieure ou égale à 0,5;
 - pertes par courbure dans la plage d'utilisation (1300-1620nm) inférieures ou égales à 0,05 dB, et de préférence inférieures à $5 \cdot 10^{-3}$ dB; -
 - Longueur d'onde de coupure théorique supérieure à $1,1 \mu\text{m}$ et de préférence à $1,3 \mu\text{m}$.
 - Longueur d'onde de coupure en câble de préférence inférieure à $1,3 \mu\text{m}$;
 - diamètre de mode à 1550 nm supérieur à $4 \mu\text{m}$, et de préférence supérieur à $5 \mu\text{m}$.
- Les choix préférés de la longueur d'onde de coupure, et de la longueur d'onde de coupure en câble assurent que, dans la plage de longueur d'onde allant de 1300 à 1620 nm, la fibre est monomode, présente un bon comportement en courbure, a la surface effective la plus élevée possible et a un cœur le moins dopé possible pour limiter les problèmes d'atténuation. Le choix de la longueur d'onde de coupure conduit donc à un meilleur compromis, par rapport notamment aux longueurs d'onde de coupure proposées dans US-A-5 838 867.
- Les autres caractéristiques préférées de la fibre améliorent la capacité à utiliser la fibre de l'invention pour la compensation en ligne de la fibre proposée dans la demande française 9902028 précitée, ou de fibres de même type. La fibre de l'invention est particulièrement adaptée aux fibres présentant une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/(nm.km), et une pente de dispersion chromatique inférieure à 0,08 ps/(nm².km).

La fibre de l'invention permet de constituer des systèmes de transmission à très haut débit, en multiplexage en longueurs d'onde, et permet par exemple d'atteindre des débits de $N \times 20$ Gb/s, ou de $N \times 40$ Gb/s.

De façon connue en soi, les pertes par courbure sont évaluées en mesurant

5 les pertes induites dans une fibre par l'enroulement de 100 tours de la fibre autour d'un tambour de rayon 30 mm. La sensibilité aux micro-courbures est évaluée de façon relative, par rapport à la fibre commercialisée par la demanderesse sous la référence ASMF 200; on peut employer la méthode d'écrasement de la fibre entre deux grilles, connue en soi.

10 On donne dans la suite de la description en référence à la figure 1 des exemples de profils de fibre permettant d'obtenir de telles valeurs. Les fibres données à titre d'exemple présentent toutes un profil de consigne du genre de celui de la figure 1, et varient par les valeurs numériques des rayons et des indices. La figure 1 montre donc une représentation schématique du profil d'indice de consigne d'une
15 fibre selon l'invention. Le profil d'indice est un profil d'indice du type en rectangle, avec une tranchée enterrée et un anneau, qui présente, en partant du centre de la fibre:

- une partie centrale de rayon avec un indice sensiblement constant supérieur ou égal à l'indice de la gaine, ayant de préférence une différence d'indice
20 avec la gaine inférieure à 28.10^{-3} ; une faible valeur de cette différence d'indice facilite l'obtention de fibres ayant de faibles atténuations;

- une partie annulaire d'indice inférieur ou égal à l'indice de la gaine, ayant de préférence une différence d'indice avec la gaine supérieure à -8.10^{-3} ; une telle valeur minimale de la différence d'indice facilite la fabrication de la fibre;

25 l'ensemble constituant un profil d'indice dit "en rectangle avec une tranchée enterrée ou déprimée".

Autour de la tranchée enterrée, la fibre de la figure 1 présente un anneau, c'est-à-dire une partie d'indice supérieur à l'indice de la gaine, d'où le qualificatif de profil en rectangle avec une tranchée enterrée et un anneau.

30 Autour de l'anneau s'étend la gaine de la fibre, par rapport à laquelle sont mesurées les différences d'indice.

Les valeurs d'indices et de rayons des fibres sont données dans le tableau 1 qui suit, pour sept exemples de réalisation de fibre selon l'invention. On note r_1 , r_2 et

r_3 les rayons extérieurs respectifs de la partie centrale, de la partie annulaire, et de l'anneau. Ces rayons sont donnés en micromètres dans le tableau 1. On note Δn_1 , Δn_2 et Δn_3 les différences respectives entre l'indice de la partie centrale, de la partie annulaire, et de l'anneau et l'indice de la gaine de la fibre.

5

Tableau 1

N°	r_1	r_2	r_3	$10^3 \cdot \Delta n_1$	$10^3 \cdot \Delta n_2$	$10^3 \cdot \Delta n_3$
1	2,01	6,20	8,05	14,9	-6,2	7,5
2	2,42	5,76	8,35	12,1	-6,8	5,0
3	2,12	5,78	7,05	14,6	-8,0	8,0
4	2,70	5,92	8,45	10,4	-6,1	4,8
5	2,38	5,69	7,20	12,4	-7,1	5,6
6	2,59	5,53	8,64	10,8	-5,9	4,0
7	2,29	6,16	8,80	13,1	-8,0	5,0

Le profil de la figure 1, associé aux valeurs du tableau 1, permet d'obtenir une fibre présentant les caractéristiques données dans le tableau 2 qui suit. On note dans ce tableau λ_{cth} la longueur d'onde de coupure théorique de la fibre. Dans la pratique, la longueur d'onde de coupure effective selon la norme UIT-T G650 et la longueur d'onde mesurée sur câble sont inférieures de quelques centaines de nm ; on comprend que la fibre est effectivement monomode dans la plage de longueurs d'onde des signaux utiles, par exemple de 1300 à 1620 nm.

On note A_{eff} l'aire effective, C la dispersion chromatique mesurée à 1550 nm et exprimée en ps/(nm.km), $dC/d\lambda$ la pente de dispersion chromatique mesurée à 1550 nm et exprimée en ps/(nm².km), $C/(dC/d\lambda)$ le rapport entre ces deux quantités, $2W_{02}$ le diamètre de mode à 1550 nm, PC les pertes par courbures évaluées comme expliqué ci-dessus, et $S_{\mu c}$ les pertes par microcourbures mesurées comme expliqué ci-dessus à 1550 nm.

20

Tableau 2

N°	λ_{cth} (nm)	A_{eff} (μm^2)	C (ps/nm/km)	$dC/d\lambda$ (ps/nm ² /km)	$C/(dC/d\lambda)$ (nm)	$2W_{02}$ (μm)	PC @1550 nm (dB)	PC @1620 nm (dB)	$S_{\mu c}$
----	-------------------------	----------------------------	-------------------	---	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------

1	1788	21,8	-33,2	-0,243	137	5,26	$<10^{-5}$	7.10^{-3}	0,3
2	1783	26,7	-16,7	-0,121	138	5,78	$<10^{-5}$	$<5.10^{-3}$	0,29
3	1626	20,3	-15,8	-0,113	140	5,09	$<10^{-5}$	$<5.10^{-3}$	0,21
4	1781	32,0	-8,4	-0,059	142	6,32	$<10^{-5}$	$<5.10^{-3}$	0,35
5	1547	24,6	-8,6	-0,061	141	5,59	$<10^{-5}$	$<5.10^{-3}$	0,26
6	1771	32,4	-16,1	-0,072	224	6,34	$<10^{-5}$	$<5.10^{-3}$	0,4
7	1788	22,4	-12,7	-0,157	81	5,32	$<10^{-5}$	2.10^{-2}	0,31

Les pertes par courbure restent inférieures à 5.10^{-2} dB pour 100 tours de fibre autour d'une bobine de rayon 30 mm dans toute la plage utile pour la fibre , i.e. de 1300 à 1620 nm.

- 5 Dans tous les exemples du tableau 1, des variations de 5 % de l'indice Δn_1 de la partie centrale, ou de 10% des indices Δn_2 et Δn_3 de la tranchée enterrée et de l'anneau permettent d'obtenir des résultats similaires. Il en est de même des rayons, qui peuvent varier individuellement de 5% par rapport aux valeurs données dans l'exemple des figures, tout en obtenant des résultats analogues.
- 10 Dans tous les cas, quelle que soit la forme du profil d'indice , les variations d'indice par rapport à la gaine sont comprises en -8.10^{-3} et 28.10^{-3} ; ces choix assurent que la fabrication de la fibre reste simple, et que les atténuations sont limitées. On peut de façon préférée imposer que la différence d'indice avec l'indice de la gaine soit en tout point inférieure à 20.10^{-3} .
- 15 La figure 2 montre une représentation schématique d'une partie d'un système de transmission, dans lequel on utilise de la fibre de compensation selon l'invention en tant que fibre de ligne. On a représenté à la figure 2 deux amplificateurs 1 et 2 voisins du système de transmission; entre les deux amplificateurs, la fibre de ligne est constituée d'une section 3 de fibre du type de celle
- 20 de la demande de brevet français précité, et d'une deuxième section 4 de fibre selon l'invention. La fibre de la première section présente une dispersion chromatique à 1550 nm de 8 ps/(nm.km), et une pente de dispersion chromatique à la même longueur d'onde de 0,058 ps/(nm².km). A titre d'exemple, l'utilisation dans la deuxième section d'une fibre de compensation de dispersion selon le mode de
- 25 réalisation N°2 décrit dans les tableau 1 et 2 permet de compenser sur la plage de

longueur d'onde du multiplex la dispersion chromatique cumulée dans la première section de fibre : dans ce cas, la fibre de compensation de dispersion présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de 138 nm; la fibre de ligne de la première section présente un rapport entre la

5 dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de 138 nm.

Le rapport des longueurs respectives des fibres de la première et de la deuxième section est choisi de sorte à minimiser la dispersion chromatique cumulée sur la liaison, et dans l'exemple, peut être de l'ordre de 2, i. e. voisin de l'inverse du rapport des dispersion chromatiques.

10 Dans un tel cas, pour une première section de fibre d'une longueur de 68 km, et une deuxième section de fibre de compensation de 32 km, la dispersion chromatique cumulée pour le canal à 1550 nm du multiplex est proche de 0 ps/nm.

Dans la plage du multiplex, c'est-à-dire entre 1530 et 1620 nm, la dispersion chromatique cumulée est inférieure à 50 ps/nm pour chaque canal, pour

15 les 100 km des première et deuxième sections. On arrive de la sorte à limiter la dispersion chromatique cumulée à des valeurs inférieures à 100 ps/nm, pour chaque canal, en moyenne sur 100 km, comme indiqué plus haut.

La fibre de l'invention peut être fabriquée par l'homme du métier à l'aide de techniques connues, comme le MCVD ou les autres techniques couramment utilisées

20 pour la fabrication des fibres optiques.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. Il est clair que le profil de la figure 1 et les exemples de rayons et d'indices ne sont donnés qu'à titre d'exemple, et que d'autres

25 profils peuvent permettre d'obtenir des fibres présentant les caractéristiques de l'invention. La fibre de l'invention peut être utilisée comme dans le mode de réalisation de la figure 2 dans un système de transmission à répéteurs, mais aussi dans un système de transmission sans répéteurs.

REVENDECATIONS

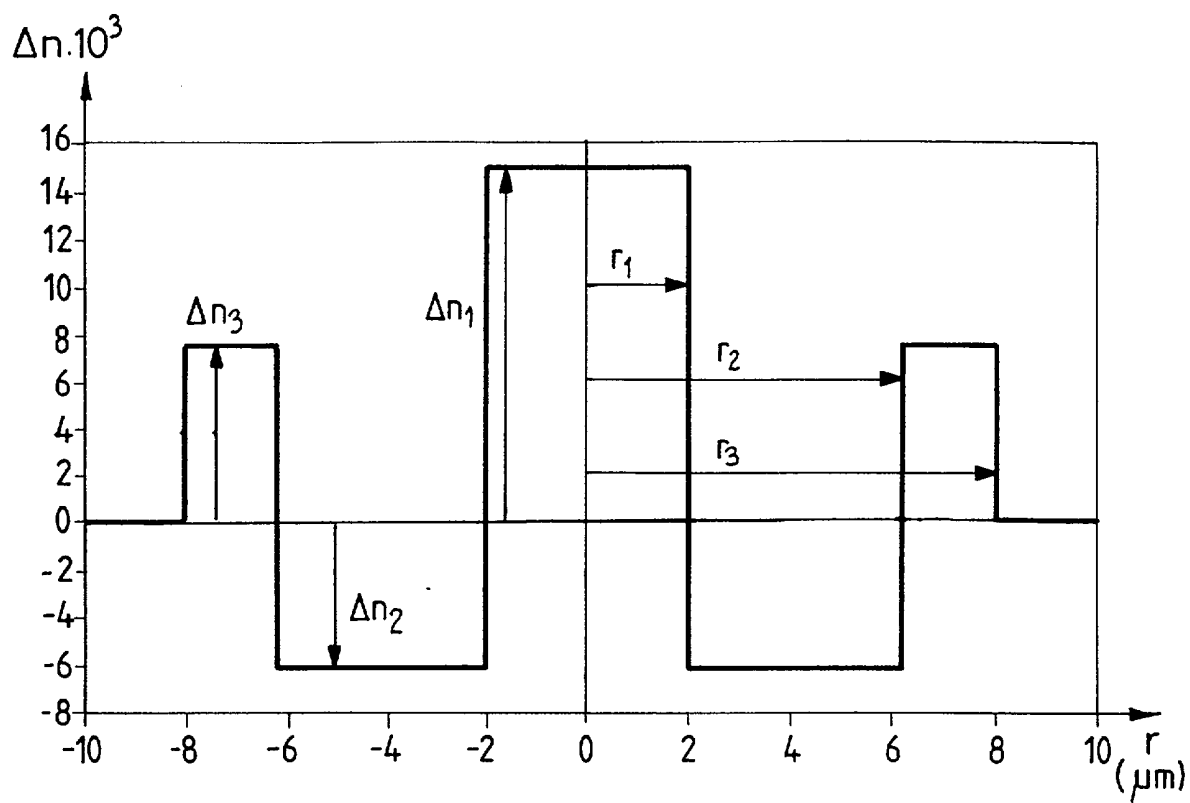
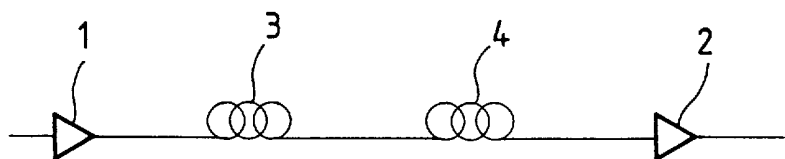
- 5 1. Une fibre optique présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique négative et supérieure à $-40 \text{ ps}/(\text{nm.km})$, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique entre 50 et 230 nm, une aire effective supérieure ou égale à $10 \mu\text{m}^2$, et des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB ; et une longueur d'onde de coupure théorique supérieure à $1.1 \mu\text{m}$.
- 10 2. La fibre selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique supérieure ou égale à $-20 \text{ ps}/(\text{nm.km})$.
3. La fibre selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à $-5 \text{ ps}/(\text{nm.km})$.
- 15 4. La fibre selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 200 nm.
- 20 5. La fibre selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 180 nm.
6. La fibre selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 160 nm.
- 25 7. La fibre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 80 nm.

8. La fibre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 100 nm.
- 5 9. La fibre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 120 nm.
- 10 10. La fibre selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une aire effective supérieure ou égale à $15 \mu\text{m}^2$, de préférence supérieure ou égale à $20 \mu\text{m}^2$.
- 15 11. La fibre selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km, et de préférence inférieure ou égale à 0,3 dB/km.
12. La fibre selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à $4 \mu\text{m}$, et de préférence supérieur ou égal à $5 \mu\text{m}$.
- 20 13. La fibre selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.
- 25 14. La fibre selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce qu'elle présente une longueur d'onde de coupure théorique supérieure ou égale à $1,3 \mu\text{m}$.

15. La fibre selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisée en ce qu'elle présente une longueur d'onde de coupure en câble inférieure ou égale à $1,3 \mu\text{m}$.
- 5 16. La fibre selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisée en ce qu'elle présente pour des longueurs d'onde entre 1300 et 1620 nm des pertes par courbures inférieures à 0,05 dB, et de préférence inférieures à $5 \cdot 10^{-3}$ dB.
17. La fibre selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisée en ce qu'elle présente un profil d'indice en rectangle avec une tranchée déprimée et un anneau.
- 10 18. La fibre selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisée en ce que la différence entre l'indice en tout point de la fibre et l'indice de la gaine est supérieure ou égale à $-8 \cdot 10^{-3}$.
- 15 19. La fibre selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisée en ce que la différence entre l'indice en tout point de la fibre et l'indice de la gaine est inférieure ou égale à $28 \cdot 10^{-3}$, et de préférence inférieure ou égale à $20 \cdot 10^{-3}$.
20. Utilisation d'une fibre selon l'une des revendications 1 à 19 comme fibre de compensation de dispersion dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde.
- 20 21. Utilisation selon la revendication 20, la fibre de compensation étant câblée et utilisée comme fibre de ligne.
22. Un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section (3) de fibre de ligne, et une deuxième section (4) de fibre de ligne selon l'une des revendications 1 à 18.

- 23.** Le système de transmission selon la revendication 22, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/(nm.km).
- 5 **24.** Le système de transmission selon la revendication 22 ou 23, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/(nm².km).
- 10 **25.** Le système selon l'une des revendications 22 à 24, caractérisé en ce que le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.
- 15 **26.** Le système selon l'une des revendications 22 à 25, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

1/1

FIG_1FIG_2

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 576789
FR 9911009

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	ONISHI M ET AL: "THIRD-ORDER DISPERSION COMPENSATING FIBRES FOR NON-ZERO DISPERSION SHIFTED FIBRE LINKS" ELECTRONICS LETTERS,GB,IEE STEVENAGE, vol. 32, no. 25, 5 décembre 1996 (1996-12-05), pages 2344-2345, XP000685332 ISSN: 0013-5194 * le document en entier *	1,4-7, 20-25
Y	WO 99 42869 A (CORNING INC ;LIU YANMING (US)) 26 août 1999 (1999-08-26) * page 11; figures 1,3 *	1,4-7, 20-25
E	EP 0 940 697 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 8 septembre 1999 (1999-09-08) * colonne 3, ligne 38 - colonne 4, ligne 13; figures 1-5 *	1-9, 17-25
A,D	& WO 99 13366 A	
A	ARAI S ET AL: "LOW NONLINEAR DISPERSION-SHIFTED FIBER" OFC, OPTICAL FIBER COMMUNICATION CONFERENCE TECHNICAL DIGEST SERIES,US,WASHINGTON, DC, 16 février 1997 (1997-02-16), page 65 XP000783997 * tableau 1, ligne 1,2 *	1
A,D	US 5 838 867 A (KANAMORI HIROO ET AL) 17 novembre 1998 (1998-11-17) * colonne 15, ligne 36 - colonne 16, ligne 24; figure 11 *	1-7, 10-13, 17,20-25
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.7)
		G02B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
11 mai 2000		von Moers, F
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général 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		