

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.06.00.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 04.01.02 Bulletin 02/01.

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) : SILLARD PIERRE, DE MONTMORILLON LOUIS ANNE, FLEURY LUDOVIC, NOUCHI PASCALE, RIAnt ISABELLE et HAMAIDE JEAN PIERRE.

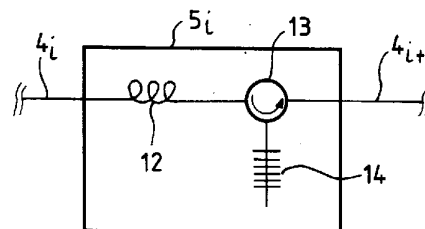
73 Titulaire(s) :

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

54 **COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE DANS UN SYSTEME DE TRANSMISSION OPTIQUE LARGE BANDE.**

57 L'invention concerne la compensation de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique dans les systèmes de transmission par fibre optique. Elle propose d'utiliser pour compenser la dispersion chromatique dans la fibre de transmission (4_i) de la fibre de compensation de dispersion (12) et un réseau de Bragg (14). Le réseau de Bragg présente une largeur de bande de plus de 25 nm, de sorte à permettre l'utilisation du système sur des bandes larges. En outre, le réseau de Bragg compense moins de 250 ps/nm en valeur absolue, de sorte qu'il reste facile à fabriquer malgré la large bande.

L'invention s'applique notamment aux systèmes à très haut débit (au-dessus de 40 Gbit/s pour chaque canal), présentant une bande supérieure à 25 nm.



COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE DANS UN SYSTEME DE TRANSMISSION OPTIQUE LARGE BANDE

La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibre
5 optique, et plus spécifiquement, la compensation de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique dans des systèmes de transmission par fibre optique.

Dans les nouveaux réseaux de transmission à hauts débits et multiplexés en longueur d'onde, il est avantageux de gérer la dispersion chromatique, notamment
10 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 dispersion chromatique cumulée sensiblement nulle sur la liaison, de sorte à limiter l'élargissement des impulsions. Une valeur cumulée de quelques dizaines de ps/nm pour la dispersion est acceptable. A cet effet, on cherche à limiter la dispersion chromatique, et pour
15 pouvoir agir sur plusieurs canaux, la pente de dispersion chromatique. 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. Ce problème de compensation de la dispersion chromatique et de la pente de la dispersion chromatique est particulièrement aigu pour les systèmes
20 de transmission à très haut débit – typiquement pour les systèmes de transmission à multiplexage en longueur d'onde avec un débit par canal de 40 Gbit/s et au-delà. Le problème est d'autant plus aigu que la largeur de bande augmente et atteint des valeurs supérieures ou égales à 25 nm.

On utilise classiquement comme fibre de ligne pour les systèmes de
25 transmissions à fibres optiques des fibres à saut d'indice comme fibre de ligne (fibres SMF ou "single mode fibers"). La demanderesse commercialise ainsi sous la référence ASMF 200 une fibre monomode à saut d'indice présentant une longueur d'onde λ_0 d'annulation de la dispersion chromatique entre 1300 et 1320 nm, et une dispersion chromatique inférieure à 3,5 ps/(nm.km) dans une plage de 1285-1330
30 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 du mode guidé est sensiblement nulle; c'est-à-dire que la dispersion chromatique de la silice, non nulle, est compensée -

5 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

10 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 pour les longueurs d'onde auxquelles elles sont utilisées. Ces fibres présentent pour ces longueurs d'onde une dispersion chromatique faible, typiquement comprise

15 entre 2 et 14 ps/(nm.km) (NZ-DSF+) ou entre -6 et -2 ps/(nm.km) (NZ-DSF-) à 1550 nm. Les différentes fibres NZ-DSF existantes présentent une gamme de pentes très variables comprises entre 0,04 et 0,12ps/nm²/km . A titre d'exemple, la société Corning commercialise sous la marque LEAF une fibre présentant, à 1550nm, une dispersion chromatique de l'ordre de 4 ps/(nm.km) et une pente de dispersion

20 chromatique de l'ordre de 0,08 à 0,09ps/(nm².km). La société Lucent commercialise sous la marque TrueWave une fibre présentant, à 1550nm, une dispersion chromatique de l'ordre de 4ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,045ps/(nm².km). La demanderesse commercialise sous la marque TeraLight une fibre présentant, à cette même valeur de 1550nm, une dispersion chromatique de 8

25 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,058 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 dans le cas

30 d'une fibre de ligne à saut d'indice ou fibre SMF (acronyme de l'anglais "single mode fiber") est donné dans L. Grüner-Nielsen et autres, Large volume Manufacturing of dispersion compensating fibers, OFC'98 Technical Digest TuD5.

Cette solution est plus difficile à mettre en œuvre pour des fibres de ligne NZ-DSF, qui présentent une dispersion chromatique plus faible que la fibre de ligne SMF. De fait, pour de telles fibres, le rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique est plus faible que pour la fibre SMF, et la

5 réalisation d'une fibre de compensation de dispersion est plus ardue ; en fait, les tolérances de fabrications seront beaucoup plus strictes : la fibre sera donc plus délicate à réaliser; il devient en particulier plus difficile de trouver un compromis acceptable entre les différentes caractéristiques de propagation – surface effective, longueur d'onde de coupure, pertes par courbures. Il a encore été proposé dans K.

10 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

15 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). 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

20 fibre RDF.

De même que pour les solutions DCF précédemment décrites, les solutions RDF sont plus difficiles à mettre en œuvre lorsqu'il s'agit de compenser la dispersion et la pente d'une fibre NZDSF.

Dans la suite de ce document nous appellerons fibre de compensation de

25 dispersion une fibre utilisée dans le câble ou à l'intérieur d'un module pour compenser la dispersion chromatique d'une fibre de ligne SMF ou d'une fibre NZDSF; c'est-à-dire que nous confondrons dans ce terme générique de "fibre de compensation de dispersion" les concepts de fibre DCF et RDF décrits dans les articles ci-dessus.

30 Il est par ailleurs connu d'utiliser pour la compensation de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique un réseau de Bragg (R. I. Laming et al., « Dispersion compensating fibre Bragg gratings », Proceeding WFOPC'98, University of Pavia, pages 108 à 115). Dans ce cas, une variation

quadratique du pas permet de compenser la pente de la dispersion spectrale (M. Ibsen et al., « Long continuously chirped fibre Bragg gratings for compensation of linear- and 3rd order-dispersion, ECOC97, Septembre 1997, pages 49 à 52).

L'inconvénient de ce type de solution est que la largeur spectrale couverte est

- 5 proportionnelle au rapport de la longueur du réseau photo-inscrit à la dispersion chromatique du composant, exprimée en ps/nm. Ainsi, un réseau d'un mètre de longueur inscrit de manière à compenser la dispersion chromatique et la pente après 100 km de propagation d'un signal émettant dans la bande C (typiquement entre 1530 et 1565 nm) dans une fibre LEAF (marque) du type mentionné ci-dessus ne
- 10 pourra pas avoir une bande passante supérieure à 25nm. On trouve une bande passante maximale de 13 nm pour compenser la dispersion chromatique et la pente de la fibre TeraLight (marque) de la demanderesse. Ces largeurs spectrales sont de loin inférieures aux largeurs des bandes S (typiquement entre 1460 et 1490 nm), C ou L (typiquement entre 1570 et 1610 nm); ces largeurs sont voisines de 35 nm.

- 15 La Research Disclosure no 41909, Hybrid Dispersion Compensating Module, (publiée par Kenneth Mason Publications Ltd. Dans le numéro 419 en Mars 1999) concerne le problème de la compensation de dispersion, dans des systèmes de transmission par fibre optique à fibre de ligne à dispersion positive; ce document déconseille l'utilisation de fibre de compensation de dispersion, du fait des pertes
- 20 importantes et du coût des fibres. Ce document conseille donc d'utiliser des réseaux de Bragg pour compenser la dispersion. Le problème soulevé est alors que les réseaux de Bragg sont conçus pour une valeur fixe de dispersion chromatique, et ne peuvent pas être adaptés facilement sur le terrain en fonction des variations locales de la dispersion chromatique. Ce document propose donc d'utiliser un module,
- 25 formé d'un circulateur, d'une section de fibre de compensation de dispersion et d'un réseau de Bragg fonctionnant en réflexion. La lumière traverse le circulateur, la fibre de compensation de dispersion, est réfléchiée par le réseau de Bragg, traverse de nouveau la fibre de compensation de dispersion puis le circulateur. Le réseau de Bragg compense la majorité de la dispersion chromatique, ce qui permet de
- 30 conserver les avantages du réseau de Bragg, notamment une faible perte d'insertion. La présence d'une section de fibre de compensation de dispersion permet d'adapter facilement le module de compensation de dispersion et pallie la fixité des caractéristiques du réseau de Bragg. Ce document n'apporte pas de solution au

problème de largeur de bande; la fibre de compensation de dispersion n'est utilisée en fait que pour l'adaptation du réseau de Bragg.

La demande de brevet japonais mise à l'inspection publique sous le numéro JP-A-11 119030 propose aussi de compenser la dispersion chromatique dans un

5 système de transmission, à l'aide d'une combinaison d'une fibre de compensation et d'un réseau inscrit. Le réseau inscrit peut notamment être un réseau de Bragg en transmission ou en réflexion, ou un réseau de Bragg incliné en transmission. La fibre de compensation de dispersion est utilisée pour compenser la dispersion chromatique de la fibre de ligne; le réseau inscrit est utilisé pour compenser l'atténuation

10 dépendante en longueur d'onde de la fibre de compensation de dispersion et non la dispersion chromatique ou la pente de la dispersion chromatique provoquée par la fibre de compensation de dispersion. Le type de fibre de ligne utilisée n'est pas précisé.

L'invention propose une solution au problème de la compensation de la

15 dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique dans les systèmes de transmission large bande. Par rapport à la Research Disclosure mentionnée plus haut, elle propose une solution dans laquelle le réseau de Bragg reste facile à produire, et ce malgré la largeur de bande du système. Elle propose une solution adaptée à des transmissions à haut débit, sur des largeurs de bande importantes.

20 Plus précisément, l'invention propose un système de transmission par fibre optique, comprenant une section de fibre de transmission, compensée en dispersion chromatique par une section de fibre de compensation de dispersion et par un réseau de Bragg ayant une bande passante d'une largeur supérieure ou égale à 25 nm.

25 Dans un mode de réalisation, le réseau de Bragg présente une bande passante supérieure ou égale à 30 nm, de préférence 35 nm.

De préférence, la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg est inférieure ou égale en valeur absolue à 250 ps/nm.

Il est encore avantageux que le réseau de Bragg compense, pour la

30 longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, moins des deux tiers de la dispersion chromatique de la fibre de transmission, et de préférence, moins d'un tiers de la dispersion chromatique de la fibre de transmission.

Dans un mode de réalisation, le réseau de Bragg compense, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, au moins la moitié de la pente de dispersion chromatique de la fibre de transmission.

Dans un autre mode de réalisation, le réseau de Bragg présente, pour la
5 longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur en valeur absolue à 15 nm, de préférence à 20 nm.

Avantageusement, la fibre de compensation de dispersion présente une dispersion chromatique de signe opposé à la fibre de transmission pour une
10 longueur d'onde d'utilisation et de préférence supérieure ou égale en valeur absolue à la dispersion de la fibre de transmission.

Dans un mode de réalisation, la bande d'utilisation du système s'étend au-dessus de 1250 et en dessous de 1650 nm ; elle peut comprendre la bande S entre 1460 et 1490 nm, la bande C entre 1530 et 1565 nm et/ou la bande L entre 1570
15 et 1610 nm.

Dans un mode de réalisation, le système comprend une pluralité de réseaux de Bragg en réflexion, compensant la dispersion chromatique dans des bandes distinctes ; il peut comprendre une pluralité de réseaux de Bragg montés en série et/ou une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en parallèle.

20 Il est avantageux que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal faisant partie de la bande de longueur d'onde d'utilisation soit inférieure à 100 ps/nm et de préférence à 50 ps/nm, voire à 10 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

L'invention propose encore un module de compensation de dispersion
25 chromatique pour un système de transmission par fibre optique, comprenant une section de fibre de compensation de dispersion et un réseau de Bragg présentant une bande passante d'une largeur supérieure ou égale à 25 nm.

De préférence, la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg est inférieure ou égale en valeur absolue à 250 ps/nm.

30 Il est aussi avantageux que le réseau de Bragg présente une bande passante supérieure ou égale à 30 nm, de préférence 35 nm.

Dans un mode de réalisation, pour une longueur d'onde d'utilisation, la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg est inférieure ou égale à

deux fois la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de compensation de dispersion, et de préférence, inférieure à la moitié de celle-ci.

Dans un autre mode de réalisation, pour la longueur centrale de la plage d'utilisation du réseau de Bragg, la pente de dispersion chromatique cumulée dans le
5 réseau de Bragg est négative et inférieure ou égale à la pente de dispersion chromatique cumulée dans la fibre de compensation de dispersion.

Il est encore avantageux que le réseau de Bragg présente, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente supérieur à 15, de préférence supérieur à 20 nm.

10 De préférence, la bande d'utilisation s'étend au-dessus de 1250 et en dessous de 1650 nm ; elle peut comprendre la bande S entre 1460 et 1490 nm, la bande C entre 1530 et 1565 nm et/ou la bande L entre 1570 et 1610 nm.

Dans un mode de réalisation, le module comprend une pluralité de réseaux de Bragg, compensant la dispersion chromatique dans des bandes distinctes ; il peut
15 comprendre une pluralité de réseaux de Bragg montés en série et/ou une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en parallèle.

L'invention propose enfin un module de compensation de dispersion chromatique pour un système de transmission par fibre optique, comprenant une pluralité de réseaux de Bragg présentant chacun une bande passante d'une largeur
20 supérieure ou égale à 25 nm.

Le module peut présenter une pluralité de réseaux de Bragg montés en série et/ou une pluralité de réseaux de Bragg montés en parallèle.

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
25 d'exemple et en référence aux dessins annexés, qui montrent :

- figure 1, une représentation schématique d'un système de transmission selon l'invention;
- figure 2, une représentation schématique d'un autre mode de réalisation d'un système de transmission selon l'invention;
- 30 - figures 3 à 8, des modes de réalisation de modules de compensation de dispersion selon l'invention.

L'invention propose de prévoir, dans un système de transmission large bande – avec une bande passante supérieure à 25 nm –, une compensation de

dispersion chromatique et de pente de dispersion chromatique à l'aide d'une part d'une fibre de compensation de dispersion, et d'autre part d'un réseau de Bragg. Elle repose sur la constatation que même pour un système large bande, il est possible de compenser la dispersion avec une fibre de compensation de dispersion et un réseau
5 de Bragg. L'utilisation du réseau de Bragg permet de limiter les effets de la contrainte sur le rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique : il est ainsi possible d'utiliser de la fibre de compensation de dispersion présentant des caractéristiques de propagation acceptables du point de vue système. Par ailleurs, l'utilisation de fibre de compensation de dispersion permet de limiter la
10 dispersion chromatique qui doit être compensée par le réseau de Bragg, de sorte à surmonter la contrainte sur la largeur de bande.

La dispersion chromatique est considérée comme compensée lorsque la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal faisant partie de la bande de longueur d'onde d'utilisation est inférieure à 100ps/nm et de préférence à 50ps/nm,
15 voire à 10ps/nm, en moyenne sur 100km de transmission.

Dans un mode de réalisation préféré, pour faciliter la fabrication du réseau de Bragg, l'invention propose de limiter la dispersion chromatique cumulée dans le réseau; cette limitation de la dispersion permet de limiter la longueur du réseau, même lorsqu'il présente une bande passante large. La limitation est
20 avantageusement une limitation en valeur absolue de la dispersion chromatique cumulée dans le réseau; on peut aussi prévoir une limitation de la proportion de dispersion chromatique compensée par le réseau de Bragg, par rapport à la dispersion chromatique totale à compenser.

Plus spécifiquement, l'invention concerne les systèmes de transmission à
25 large bande. Comme indiqué plus haut, on entend par là les systèmes de transmission pour lesquels la bande du système s'étend sur 25 nm ou plus, voire 30 ou 35 nm ou plus. On entend ici par largeur de bande du système, ou par largeur de bande en général, la largeur de bande passante à 3 dB (FWHM) suivant la définition classique. Dans ce cas, la largeur de bande du réseau de Bragg s'étend
30 aussi sur plus de 25 nm.

Pour de tels systèmes, la fibre de compensation de dispersion et le réseau inscrit présentent avantageusement des caractéristiques choisies parmi les

caractéristiques suivantes, pour une longueur d'onde située autour du milieu de la plage de longueur d'onde d'utilisation :

- le réseau de Bragg compense au plus une valeur absolue de dispersion chromatique cumulée de 250 ps/nm;
- 5 - le réseau de Bragg compense au plus les deux tiers de la dispersion chromatique, et de préférence, moins d'un tiers de la dispersion chromatique cumulée à compenser; autrement dit, le réseau de Bragg compense moins de deux fois la dispersion chromatique compensée dans la fibre de compensation de dispersion, et de préférence moins de la moitié de celle-ci ;
- 10 - la fibre de compensation compense environ le complémentaire de la dispersion chromatique cumulée à compenser ;
- la fibre de compensation compense moins de la moitié de la pente de la dispersion chromatique cumulée à compenser;
- le réseau de Bragg compense environ le complémentaire de la pente de dispersion chromatique cumulée à compenser;
- 15 - l'association du réseau de Bragg et de la fibre de compensation assure que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal faisant partie de la bande de longueur d'onde d'utilisation est inférieure à 100ps/nm et de préférence à 50 ps/nm, voire à 10ps/nm, en moyenne sur 100km de transmission ;
- 20 - le réseau de Bragg présente une bande passante supérieure ou égale à 30 nm, de préférence supérieure ou égale à 35 nm;
- le réseau de Bragg présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur en valeur absolue à 15 nm et de préférence à 20 nm.

25 On entend par plage d'utilisation la plage de longueur d'onde dans laquelle le système de transmission est destiné à être utilisé; cette plage d'utilisation correspond à la plage de longueur d'onde dans laquelle sont transmis les signaux utiles dans le système de transmission.

Le fait de prévoir une limitation (en valeur absolue ou relative) de la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg, comme dans les modes de réalisation préférés et les exemples décrits ci-dessous, permet une fabrication simple et facile du réseau de Bragg. On arrive de la sorte à surmonter l'inconvénient des réseaux de Bragg, décrit ci-dessus. Autrement dit, l'invention permet d'utiliser

30

dans des systèmes large bande des réseaux de Bragg, ce qui était difficilement concevable jusqu'à présent.

Les figures 1 et 2 montrent des représentations schématiques de systèmes de transmission selon l'invention. Dans le mode de réalisation de la figure 1, on utilise
5 comme fibre de ligne de la fibre dite de transmission, i. e. de la fibre SMF, NZ-DSF ou autre, et la compensation s'effectue dans un module de compensation, i. e. dans une boîte de petite dimension. Dans le mode de réalisation de la figure 2, au contraire, une partie de la compensation de la dispersion s'effectue sur le câble; on qualifie alors de "fibre de ligne" la fibre de transmission (de la fibre SMF, NZ-DSF
10 ou autre) et la fibre de compensation de dispersion.

On a représenté sur la figure 1 un émetteur TX 1 et un récepteur RX 2. Ces deux éléments sont reliés par une pluralité de tronçons de fibre de ligne 4_1 à 4_n . On entend ici par fibre de ligne la fibre s'étendant le long du système de transmission, et dont la longueur correspond sensiblement à la longueur du système. Dans l'exemple
15 de la figure 1, cette fibre de ligne est constituée de fibre de transmission du type NZ-DSF ou autre. Entre les tronçons sont disposés des modules de compensation de dispersion 5_1 à 5_{n-1} . Ne sont pas portés à la figure les filtres, amplificateurs et autres éléments sans incidence directe sur le fonctionnement de l'invention. Le module de compensation de dispersion 5_1 est représenté en détail à la figure 3. Dans ce mode
20 de réalisation, l'ensemble de la compensation de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique s'effectue dans les modules.

La figure 2 montre une représentation schématique d'un autre mode de réalisation d'un système de transmission selon l'invention. Dans l'exemple de la figure 2, la fibre de compensation de dispersion est aussi utilisée comme fibre de ligne. Le
25 système de transmission comprend comme dans le cas de la figure 1 un émetteur TX 1 et un récepteur RX 2. Ces deux éléments sont reliés par une pluralité de tronçons de fibre 6_1 à 6_n , entre lesquels sont disposés des modules de compensation de dispersion 7_1 à 7_{n-1} . Entre deux modules de compensation de dispersion, chaque tronçon 6_i présente une section de fibre de transmission 9_i NZ-DSF ou autre, et une
30 section de fibre de compensation de dispersion 10_i . En d'autres termes, par rapport au mode de réalisation de la figure 1, la fibre de ligne est constituée de sections de fibres différentes, qui présentent des dispersions chromatiques opposées. Le module de compensation de dispersion correspondant est décrit en référence à la figure 4.

Dans les exemples de ces deux figures, il est aussi avantageux de prévoir dans le récepteur RX une partie agissant comme module de compensation, qui peut être identique à celle décrite en référence à la figure 3. Plus généralement, on peut dans l'émetteur et dans le récepteur mettre en œuvre une précompensation ou une
5 postcompensation, le cas échéant avec des montages identiques à ceux des figures suivantes.

La figure 3 montre une représentation schématique d'un module de compensation de dispersion pour le système de transmission de la figure 1. Le module 5; comprend une section de fibre de compensation de dispersion 12, suivie
10 d'un circulateur 13 à trois ports. Un port du circulateur est relié à la sortie de la fibre de compensation de dispersion, un port du circulateur est relié au réseau de Bragg 14 et le troisième port du circulateur constitue la sortie du module de compensation de dispersion. La lumière issue de la fibre de compensation de dispersion traverse le
15 circulateur, est transmise vers le réseau de Bragg. Elle y est réfléchie et traverse à nouveau le circulateur pour sortir du module de compensation de dispersion.

La figure 4 montre une représentation schématique d'un module de compensation de dispersion pour le système de transmission de la figure 2. Le module 7; est similaire au module de la figure 3, à ceci près qu'il ne comprend pas de fibre de compensation de dispersion. Le module présente donc uniquement un
20 circulateur 13 à trois ports et un réseau de Bragg 14.

Les modes de réalisation des figures 1 et 3 d'une part, 2 et 4 d'autre part peuvent être combinés, en répartissant la fibre de compensation de dispersion entre la fibre de ligne et les modules; en fait, ils ne représentent que les extrêmes sur la plage de solutions possibles.

25 La figure 5 montre un autre mode de réalisation du module de compensation de dispersion de la figure 3. Dans ce mode de réalisation, la fibre de compensation de dispersion 12 est entre le circulateur 13 et le réseau de Bragg 14. Ce mode de réalisation présente l'avantage de diminuer la longueur de fibre nécessaire, dans la mesure où la fibre de compensation est traversée deux fois par la
30 lumière. A noter que le réseau de Bragg peut être inscrit dans la fibre de compensation de dispersion elle-même si sa biréfringence le permet.

La figure 6 montre un autre mode de réalisation du module de compensation de dispersion de la figure 3, adapté à un système de transmission du

type de celui de la figure 1 dans lequel la compensation de la dispersion s'effectue uniquement dans les modules de compensation. Le signal traverse la fibre de compensation de dispersion 12, puis est démultiplexé; dans l'exemple, on démultiplexe suivant les trois bandes S, C et L, étant entendu que l'on pourrait aussi
5 utiliser d'autres bandes ou un nombre de bandes plus restreint. Chaque partie du signal démultiplexé traverse ensuite une branche; chaque branche présente un circulateur et un réseau de Bragg utilisé en réflexion, de façon similaire au module de la figure 4. La figure montre donc dans chaque branche un circulateur 25, 26, 27, avec un réseau de Bragg en réflexion 15, 16, 17. Après réflexion dans le réseau de
10 Bragg correspondant et passage dans le circulateur, les signaux des trois bandes sont remultiplexés ou combinés. Autrement dit, dans le mode de réalisation de la figure 6, (comme dans le mode de réalisation de la figure 7) des réseaux de Bragg compensant la dispersion dans des bandes différentes sont montés en parallèle. On voit dans ce cas, la souplesse apportée par l'association de la DCF et du réseau de
15 Bragg.

La figure 7 montre une représentation schématique d'un module de compensation de dispersion pour le système de transmission de la figure 2. Le module est similaire au module de la figure 6, à ceci près qu'il ne comprend pas de fibre de compensation de dispersion. Le module présente donc uniquement les trois
20 branches avec les circulateurs 25, 26, 27 et les réseaux de Bragg 15, 16 et 17.

La figure 8 montre encore un mode de réalisation de module, pour un système de transmission du type de celui de la figure 1. Le module est similaire à celui de la figure 5, à ceci près que l'on utilise une succession de fibres de compensation de dispersion et de réseaux de Bragg pour différentes bandes.
25 Autrement dit, dans le mode de réalisation de la figure 8, des réseaux de Bragg compensant la dispersion dans des bandes différentes sont montés en série. L'exemple correspond aux trois bandes S, C et L, mais on peut encore une fois prévoir d'autres bandes. Le module présente donc un circulateur 13 à trois ports. Un port du circulateur est relié à l'entrée du module, un port du circulateur est relié à la
30 succession de fibres de compensation de dispersion et de réseaux de Bragg et le troisième port du circulateur constitue la sortie du module de compensation de dispersion. Plus spécifiquement, la succession de fibres et de réseaux de Bragg comprend une première fibre de compensation de dispersion 19, un premier réseau

de Bragg 20, une deuxième fibre de compensation de dispersion 21 un deuxième réseau de Bragg 22, une troisième fibre de compensation de dispersion 23 et un troisième réseau de Bragg 24. La lumière entrant dans le module traverse le circulateur, est transmise vers le réseau de Bragg. La lumière de la première bande

5 traverse la première fibre de compensation de dispersion 19 et est réfléchiée par le premier réseau de Bragg 20. Elle traverse à nouveau la première fibre de compensation 19 et le circulateur pour sortir du module de compensation de dispersion. La lumière de la deuxième bande traverse la première fibre de compensation de dispersion 19, le premier réseau de Bragg 20, la deuxième fibre de compensation de dispersion 21 et est réfléchiée par le deuxième réseau de Bragg 22.

10 Elle traverse à nouveau les mêmes composants puis le circulateur pour sortir du module de compensation de dispersion. Enfin, La lumière de la troisième bande traverse la première fibre de compensation de dispersion 19, le premier réseau de Bragg 20, la deuxième fibre de compensation de dispersion 21, le deuxième réseau de Bragg 22, la troisième fibre de compensation de dispersion 23 et est réfléchiée par le troisième réseau de Bragg 24. Elle traverse à nouveau les mêmes composants puis le circulateur pour sortir du module de compensation de dispersion. Ainsi, les réseaux de Bragg utilisés en réflexion et adaptés en longueur d'onde permettent un traitement différencié des lumières des différentes bandes. A noter ici aussi que les réseaux de

15 Bragg peuvent être inscrits dans une seule et même fibre de compensation de dispersion, si sa biréfringence le permet, ce qui évitera les pertes engendrées par les soudures.

Les modes de réalisation des figures 6, 7 et 8 peuvent être combinés, en répartissant la fibre de compensation de dispersion entre la fibre de ligne et les

25 modules ou en utilisant une combinaison plus complexe des réseaux de Bragg mélangeant leur utilisation en parallèle et en série; en fait, ils ne représentent que les extrêmes sur la plage de solutions possibles.

On donne maintenant des exemples de mise en œuvre de l'invention.

Exemple 1

30 Dans ce premier exemple, on compense la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique d'une section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de 4 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,085 ps/(nm².km). Dans un tel cas, la dispersion

chromatique cumulée sur la section de fibre de transmission est de 400 ps/nm, et la pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre de transmission est de 8,5 ps/nm².

Dans ce cas, on peut pour la compensation de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique utiliser :

- une fibre de compensation de dispersion présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de -100 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de -0,33 ps/(nm².km);
- un réseau de Bragg avec une bande passante de 35 nm et une dispersion chromatique de -200 ps/nm, d'une longueur de l'ordre de 1m.

Une longueur de fibre de compensation de dispersion de 2 km permet alors de compenser 200 ps/nm de dispersion chromatique, et l'ensemble de la fibre de compensation de dispersion et du réseau de Bragg compense parfaitement la dispersion chromatique cumulée dans la section de fibre de transmission. La somme de la dispersion chromatique à 1550 nm cumulée dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg est nulle.

A 1550 nm, la fibre de compensation de dispersion présente une pente de dispersion chromatique cumulée de -0,7 ps/nm². On choisit le réseau de Bragg de telle sorte qu'il ait une pente de dispersion chromatique à 1550 nm de -7,8 ps/nm². Dans ce cas, la somme de la pente de dispersion chromatique à 1550 nm cumulée dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg est nulle à la précision de 0,1 ps/nm².

Le rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg est alors de 26 nm. Cette valeur est supérieure à 20 nm, et il apparaît aisé de réaliser un réseau présentant une largeur de bande supérieure à 35 nm. Cet exemple peut être mis en œuvre avec les montages des figures 1 à 5; dans le cas de la figure 5, on prend en considération le fait que le signal traverse deux fois la fibre de compensation de dispersion, c'est-à-dire que l'on réduit d'un facteur 2 la longueur de la fibre de compensation de dispersion utilisée; alternativement, on utilise une fibre avec une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique deux fois plus faible.

Exemple 2

Le deuxième exemple est similaire au premier, avec les valeurs numériques suivantes :

- fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
 - section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de 8 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,058 ps/(nm².km);
 - dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 800 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 5,8 ps/nm²;
- fibre de compensation de dispersion :
 - longueur : 6 km ;
 - dispersion chromatique: -100 ps/(nm.km) localement soit -600 ps/nm de dispersion chromatique cumulée;
 - pente de dispersion chromatique: -0,33 ps/(nm².km) localement soit -2 ps/(nm²) cumulée;
- réseau de Bragg :
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique: -200 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: -3,8 ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 53 nm.

Comme dans l'exemple précédent, les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1550 nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg sont nulles. Comme dans l'exemple précédent, on peut utiliser les montages des figures 1 à 5.

Exemple 3

Le troisième exemple est similaire aux deux premiers, avec les valeurs numériques suivantes :

- fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
 - section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de 8 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,058 ps/(nm²);

- dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 800 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 5,8 ps/nm²;
- fibre de compensation de dispersion :
- 5
 - longueur : 6 km ;
 - dispersion chromatique: -100 ps/(nm.km) localement soit -600 ps/nm cumulée;
 - pente de dispersion chromatique: -0,2 ps/(nm².km) localement soit -1.2 ps/(nm².km) cumulée;
- 10 - réseau de Bragg :
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique: -200 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: -4,6 ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 43 nm.

Comme dans les exemples précédents, les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1550 nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg sont nulles. Les montages des figures 1 à 5 sont encore une fois adaptés.

Exemple 4

- Le quatrième exemple est similaire aux trois premiers, toutefois, on utilise une fibre de compensation de dispersion présentant une pente de dispersion chromatique positive à 1550 nm. Les valeurs numériques sont les suivantes :
- 25 - fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
 - section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de 8 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,058 ps/(nm².km);
 - dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 800 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 5,8 ps/nm²;
 - 30 - fibre de compensation de dispersion :
 - longueur : 6 km ;

- dispersion chromatique: $-100 \text{ ps}/(\text{nm.km})$ localement soit -600 ps/nm cumulée;
 - pente de dispersion chromatique: $+0,2 \text{ ps}/(\text{nm}^2.\text{km})$ localement soit $+1.2 \text{ ps}/(\text{nm}^2)$ cumulée;
- 5 - réseau de Bragg :
- bande passante : 35 nm ; longueur de l'ordre de 1 m ;
 - dispersion chromatique: -200 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: $-7,0 \text{ ps}/\text{nm}^2$;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 29 nm .
- 10 Comme dans l'exemple précédent, les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1550 nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg sont nulles. Cet exemple montre la souplesse que l'invention assure dans le
- 15 choix de la fibre de compensation de dispersion.
- Exemple 5
- Dans le cinquième exemple, on utilise la même fibre de compensation de dispersion que celle proposée dans les exemples 1 et 2 et la même fibre de transmission que dans les exemples 2, 3 et 4. Ici, la compensation de la dispersion et
- 20 de la pente est faite pour les trois bandes de longueur d'onde S, C et L en utilisant le principe des figures 6 ou 7. Les valeurs numériques sont les suivantes :
- fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
 - section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant respectivement à 1475 , 1550 et 1590 nm une dispersion chromatique de $3,6$, 8 et $10,3 \text{ ps}/(\text{nm.km})$ et une pente de dispersion chromatique de $0,061$, $0,058$ et $0,057 \text{ ps}/(\text{nm}^2.\text{km})$;
 - dispersion chromatique cumulée aux trois longueurs d'ondes sur la section de fibre NZ-DSF+ : 360 , 800 et 1030 ps/nm ; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : $6,1$, $5,8$ et $5,7 \text{ ps}/\text{nm}^2$;
 - 30 - fibre de compensation de dispersion :
 - longueur : 7.2 km ;
 - dispersion chromatique aux trois longueurs d'onde : $-78,4$, -100 et $-113,5 \text{ ps}/(\text{nm.km})$ localement soit $-564,5$, -720 , $-817,2 \text{ ps/nm}$ cumulée;

- pente de dispersion chromatique: $-0,239$, $-0,330$ et $-0,335$ ps/(nm².km)
localement soit $-1,7$ $-2,4$ et $-2,4$ ps/nm² cumulée;
 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande S:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - 5 • dispersion chromatique à 1475nm : $+204,5$ ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique : $-4,4$ ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion
 chromatique à 1475 nm pour le réseau de Bragg : -46 nm.
 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande C:
 - 10 • bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 0,5 m ;
 - dispersion chromatique à 1550nm : -80 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: $-3,4$ ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion
 chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 24 nm.
 - 15 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande L:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique à 1590nm : -213 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: $-3,3$ ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion
20 chromatique à 1590 nm pour le réseau de Bragg : 65 nm.
- Les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1475nm, 1550 nm et 1590nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans les réseaux de Bragg respectifs sont nulles. On peut pour cet exemple utiliser les montages des
- 25 figures 6 et 7.

Exemple 6

- Dans le sixième exemple, on utilise les mêmes fibres de compensation de dispersion et de transmission que celle proposées dans l'exemple précédent. Ici, la compensation de la dispersion et de la pente est faite pour les trois bandes de
- 30 longueur d'onde S, C et L en utilisant le principe de la figure 8. Les valeurs numériques sont les suivantes :
- fibre de transmission nécessitant d'être compensée :

- section de 100 km de fibre NZ-DSF+ présentant respectivement à 1475, 1550 et 1590 nm une dispersion chromatique de 3,6 , 8 et 10,3 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,061 , 0,058 et 0,057 ps/(nm².km);
- 5 • dispersion chromatique cumulée aux trois longueurs d'ondes sur la section de fibre NZ-DSF+ : 360 , 800 et 1030 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZ-DSF+ : 6,1 , 5,8 et 5,7 ps/nm²;
- fibre de compensation de dispersion :
 - longueur : 1,1 km jusqu'au réseau réfléchissant les canaux de la bande S
 - 10 puis 1,9 km supplémentaires jusqu'au réseau réfléchissant les canaux de la bande C et enfin 0,7 km supplémentaires jusqu'au réseau réfléchissant les canaux de la bande L ;
 - dispersion chromatique aux trois longueurs d'onde : -78,4 , -100 et -113,5 ps/(nm.km) localement soit -172,5 -600 et -840 ps/nm cumulée (en prenant
 - 15 en compte les allers-retours et une longueur différente vue par chacun des canaux);
 - pente de dispersion chromatique: -0,239, -0,330 et -0,335 ps/(nm².km) localement soit -0,5 , -2,0 et -2,5 ps/nm² cumulée (en prenant en compte les allers-retours et une longueur différente vue par chacun des canaux);
- 20 - réseau de Bragg réfléchissant les canaux de la bande S:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique à 1475nm : -187,5 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique : -5,6 ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion
 - 25 chromatique à 1475 nm pour le réseau de Bragg : 33 nm.
- réseau de Bragg réfléchissant les canaux de la bande C:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique à 1550nm : -200 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: -3,8 ps/nm²;
 - 30 • rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 53 nm.
- réseau de Bragg réfléchissant les canaux de la bande L:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;

- dispersion chromatique à 1590nm : -190 ps/nm ;
- pente de dispersion chromatique: -3,2 ps/nm²;
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1590 nm pour le réseau de Bragg : 59 nm.

5 Comme précédemment, les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1475nm, 1550 nm et 1590nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans les réseaux de Bragg respectifs sont nulles.

Exemple 7

- 10 Dans le septième exemple, on utilise le même schéma que dans l'exemple 5. La fibre de transmission que l'on utilise dans ce cas est une fibre SMF. Les valeurs numériques sont les suivantes :
- fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
 - section de 100 km de fibre SMF présentant respectivement à 1475, 1550 et 1590 nm une dispersion chromatique de 12,4 , 17 et 19,3 ps/(nm.km) et une
 - 15 pente de dispersion chromatique de 0,064 , 0,058 et 0,056 ps/(nm².km);
 - dispersion chromatique cumulée aux trois longueurs d'ondes sur la section de fibre SMF : 1240 , 1700 et 1920 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre SMF : 6,4 , 5,8 et 5,6 ps/nm²;
 - 20 - fibre de compensation de dispersion :
 - longueur : 15 km ;
 - dispersion chromatique aux trois longueurs d'onde : -78,4 , -100 et -113,5 ps/(nm.km) localement soit -1176 , -1500 , -1702,5 ps/nm cumulée;
 - pente de dispersion chromatique: -0,239, -0,330 et -0,335 ps/(nm².km)
 - 25 localement soit -3,6 , -5,0 et -5,0 ps/nm² cumulée;
 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande S:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique à 1475nm : -64 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique : -2.8 ps/nm²;
 - 30 • rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1475 nm pour le réseau de Bragg : 23 nm.
 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande C:
 - bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 0,5 m ;

- dispersion chromatique à 1550nm : -200 ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: -0.8 ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 250 nm.
- 5 - réseau de Bragg vu par les canaux de la bande L:
- bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1m ;
 - dispersion chromatique à 1590nm : -217,5ps/nm ;
 - pente de dispersion chromatique: -0,6 ps/nm²;
 - rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1590 nm pour le réseau de Bragg : 363 nm.
- 10 Les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1475nm, 1550 nm et 1590nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans les réseaux de Bragg respectifs sont nulles. On peut pour cet exemple utiliser les montages des figures 6 et 7.
- 15 Exemple 8
- Dans le huitième exemple, on utilise le même schéma que dans l'exemple 4. La fibre de transmission que l'on utilise dans ce cas est une fibre NZDSF- et la fibre de compensation de dispersion est une fibre SMF. Les valeurs numériques sont les suivantes :
- 20 - fibre de transmission nécessitant d'être compensée :
- section de 100 km de fibre NZDSF- présentant à 1550 nm une dispersion chromatique de -2,5 ps/(nm.km) et une pente de dispersion chromatique de 0,07 ps/(nm².km);
 - dispersion chromatique cumulée à 1550nm sur la section de fibre NZDSF- : -
- 25 250 ps/nm; pente de dispersion chromatique cumulée sur la section de fibre NZDSF- : 7 ps/nm²;
- fibre de compensation de dispersion :
- section de 5 km de fibre SMF
 - dispersion chromatique à 1550nm de +17ps/(nm.km) localement soit +85
- 30 ps/nm cumulée;
- pente de dispersion chromatique à 1550nm de +0,058 ps/(nm².km) localement soit +0,3 ps/nm² cumulée;
- réseau de Bragg :

- bande passante : 35nm ; longueur de l'ordre de 1 m ;
- dispersion chromatique: +165 ps/nm ;
- pente de dispersion chromatique: -7,3 ps/nm²;
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion

5 chromatique à 1550 nm pour le réseau de Bragg : 23 nm.

Comme dans les exemples précédents, les sommes de la dispersion chromatique et de la pente de dispersion chromatique à 1550 nm cumulées dans la section de fibre de transmission, dans la fibre de compensation de dispersion et dans le réseau de Bragg sont nulles. Les montages des figures 1 à 5 sont encore une fois

10 adaptés.

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. D'autres configurations du module ou du système que celles présentées aux figures 1 à 8 sont possibles. On peut notamment

15 envisager l'utilisation d'autres types de réseaux de Bragg tels que les réseaux de Bragg en réflexion présentant des variations de pas plus complexes qu'une variation quadratique, les réseaux de Bragg à couplage de mode ou des réseaux de Bragg montés en transmission.

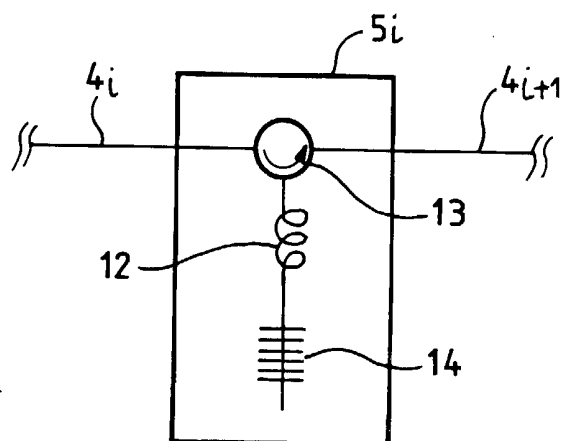
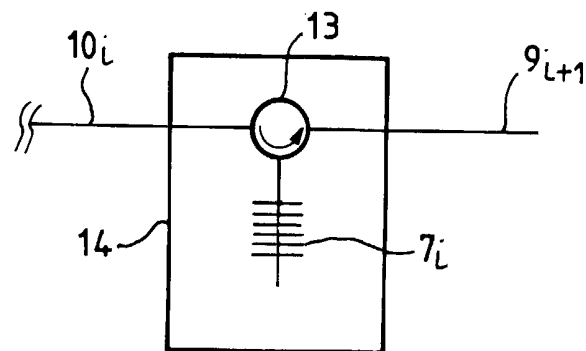
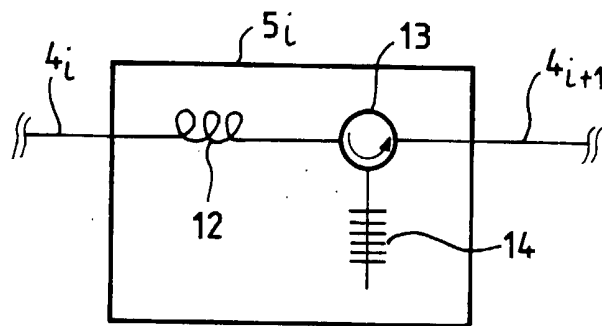
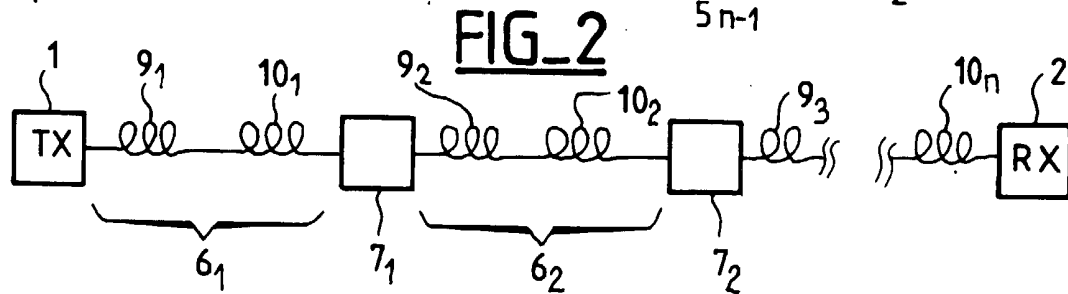
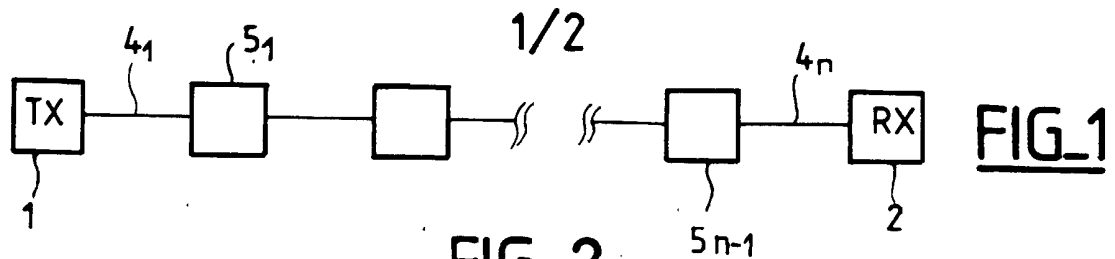
REVENDECATIONS

1. Un système de transmission par fibre optique, comprenant une section de fibre de transmission ($4_1, 4_n, 9_1, 9_n$), compensée en dispersion chromatique
5 par une section de fibre de compensation de dispersion ($12, 10_1, 10_n$) et par un réseau de Bragg (14) ayant une bande passante d'une largeur supérieure ou égale à 25 nm.
2. Le système de la revendication 1, caractérisé en ce que le réseau de Bragg
10 présente une bande passante supérieure ou égale à 30 nm, de préférence 35 nm.
3. Le système de la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg est inférieure ou égale en valeur absolue à 250 ps/nm.
4. Le système de la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le réseau de
15 Bragg compense, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, moins des deux tiers de la dispersion chromatique de la fibre de transmission, et de préférence, moins d'un tiers de la dispersion chromatique de la fibre de transmission.
5. Le système de l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le réseau
20 de Bragg compense, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, au moins la moitié de la pente de dispersion chromatique de la fibre de transmission.
6. Le système de l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le réseau
25 de Bragg présente, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur en valeur absolue à 15 nm, de préférence à 20 nm.

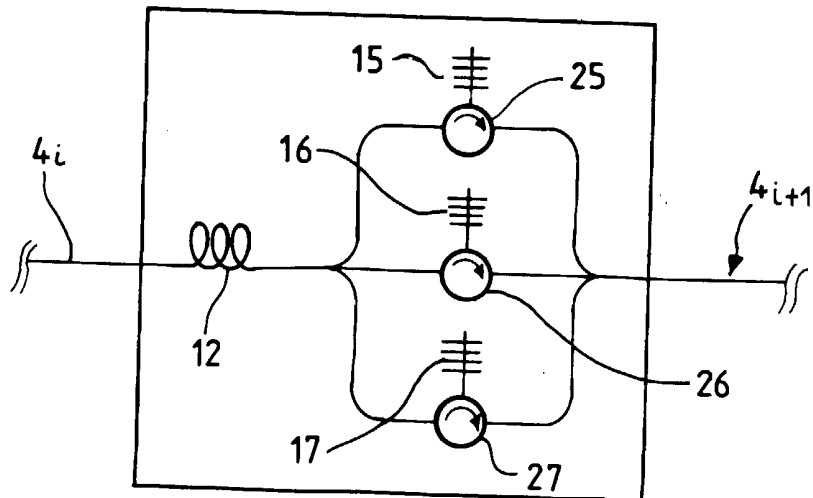
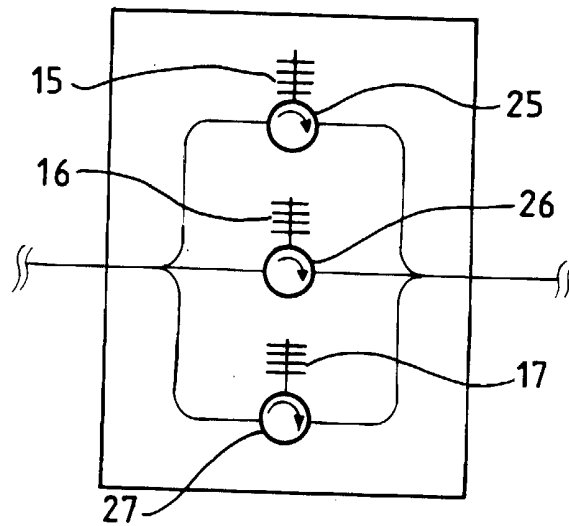
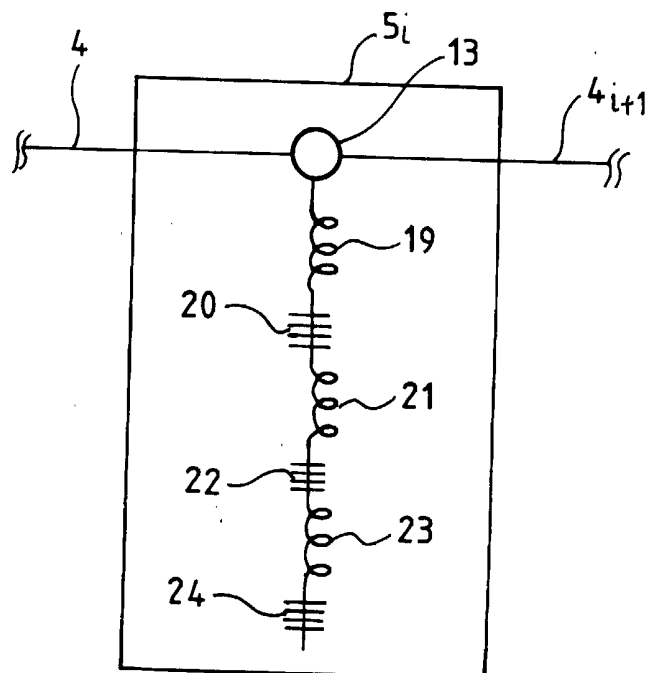
- 5 **7.** Le système de l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la fibre de compensation de dispersion présente une dispersion chromatique de signe opposé à la fibre de transmission pour une longueur d'onde d'utilisation et de préférence supérieure ou égale en valeur absolue à la dispersion de la fibre de transmission.
- 8.** Le système de l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la bande d'utilisation s'étend au-dessus de 1250 et en dessous de 1650nm.
- 9.** Le système de l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande S entre 1460 et 1490 nm.
- 10 **10.** Le système de l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande C entre 1530 et 1565 nm.
- 11.** Le système de l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande L entre 1570 et 1610 nm.
- 15 **12.** Le système de l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de réseaux de Bragg compensant la dispersion chromatique dans des bandes distinctes.
- 13.** Le système de la revendication 12, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en série.
- 20 **14.** Le système de la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en parallèle.
- 15.** Le système de l'une des revendications 1 à 14 caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal faisant partie de la bande de longueur d'onde d'utilisation est inférieure à 100ps/nm et de préférence à 50ps/nm, voire à 10ps/nm, en moyenne sur 100km de transmission.
- 25

- 16.** Un module de compensation de dispersion chromatique pour un système de transmission par fibre optique, comprenant une section de fibre de compensation de dispersion (12) et un réseau de Bragg (14) présentant une bande passante d'une largeur supérieure ou égale à 25 nm.
- 5 **17.** Le module de la revendication 16, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg est inférieure ou égale en valeur absolue à 250 ps/nm.
- 18.** Le module de la revendication 16 ou 17, caractérisé en ce que le réseau de Bragg présente une bande passante supérieure ou égale à 30 nm, de
10 préférence 35 nm.
- 19.** Le module de la revendication 16, 17 ou 18, caractérisé en ce que, pour une longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, la dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg (14) est inférieure ou égale à deux fois la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de compensation
15 de dispersion (12), et de préférence, inférieure à la moitié de celle-ci.
- 20.** Le module de l'une des revendications 16 à 19, caractérisé en ce que, pour la longueur centrale de la plage d'utilisation du réseau de Bragg, la pente de dispersion chromatique cumulée dans le réseau de Bragg (14) est négative et inférieure ou égale à la pente de dispersion chromatique
20 cumulée dans la fibre de compensation de dispersion (12).
- 21.** Le module de l'une des revendications 16 à 20, caractérisé en ce que le réseau de Bragg (14) présente, pour la longueur d'onde centrale de sa plage d'utilisation, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente supérieur en valeur absolue à 15 nm, de préférence à 20 nm.
- 25 **22.** Le module de l'une des revendications 16 à 21, caractérisé en ce que la bande d'utilisation s'étend au-dessus de 1250 et en dessous de 1650nm.

- 23.** Le module de l'une des revendications 16 à 22, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande S entre 1460 et 1490 nm.
- 24.** Le module de l'une des revendications 16 à 23, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande C entre 1530 et 1565 nm.
- 5 **25.** Le module de l'une des revendications 16 à 24, caractérisé en ce que la bande d'utilisation comprend la bande L entre 1570 et 1610 nm.
- 26.** Le module de l'une des revendications 16 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de réseaux de Bragg, compensant la dispersion chromatique dans des bandes distinctes.
- 10 **27.** Le module de la revendication 26, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en série.
- 28.** Le module de la revendication 26 ou 27, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en parallèle.
- 29.** Un module de compensation de dispersion chromatique pour un système de transmission par fibre optique, comprenant une pluralité de réseaux de Bragg (14, 15, 16, 17) présentant chacun une bande passante d'une largeur supérieure ou égale à 25 nm.
- 15
- 30.** Le module de la revendication 29, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en série.
- 31.** Le module de la revendication 29 ou 30, caractérisé en ce qu'une pluralité de réseaux de Bragg sont montés en parallèle.
- 20



2/2

FIG_6FIG_7FIG_8



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

2811171

N° d'enregistrement
nationalFA 592677
FR 0008554

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		
A	EP 0 989 438 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 29 mars 2000 (2000-03-29) * colonne 9, ligne 45 - colonne 10, ligne 32 * * figures 8-10 * ---	1-31	H04B10/18
A	KASHYAP R ET AL: "EIGHT WAVELENGT X 10GB/S SIMULTANEOUS DISPERSION COMPENSATION OVER 100KM SINGLE-MODE FIBRE USING A SINGLE 10 NANOMETER BANDWIDTH, 1.3 METRE LONG, SUPER-STEP-CHIRPED FIBRE BRAGG GRATING WITH A CONTINUOUS DELAY OF 13.5 NANOSECONDS" PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 1996, XP000921171 * abrégé * * page 1, ligne 1 - ligne 14 * -----	1-31	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 mars 2001		Lazaridis, P	
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	