

Edition avril 2021

DOSSIER TECHNIQUE FIBRE OPTIQUE FICHE N° 1

Fibre optique : structures et caractéristiques

L'objet de cette fiche est de présenter les principaux éléments et caractéristiques des fibres optiques mises en œuvre dans les réseaux de télécommunication et de transport de données.

1 Historique

C'est en 1966 que la fibre optique a été suggérée comme support potentiellement approprié pour le transport d'information sur de longues distances, mais les niveaux d'atténuation étaient alors trop élevés (de l'ordre de 1 000 dB/km) pour envisager ce type d'application. La démonstration en 1970 de la première fibre optique présentant une atténuation de moins de 20 dB/km (autrement dit préservant au moins 1% de la puissance émise au bout d'un km) a été la première étape fondatrice. Cette avancée majeure a ouvert la voie au développement des systèmes de télécommunication et de transmission de données par fibre optique.

Ce document présente un état de l'art succinct des différents types de fibres optiques utilisées dans les systèmes de télécommunications avec une mise en lumière des fibres optiques utilisées pour les réseaux d'accès.

2 Anatomie d'une fibre optique

Une fibre optique est un « fil » composé d'un guide d'onde optique central dans lequel se propage des ondes lumineuses et d'un revêtement de protection. La structure détaillée est reportée dans la Figure 1.

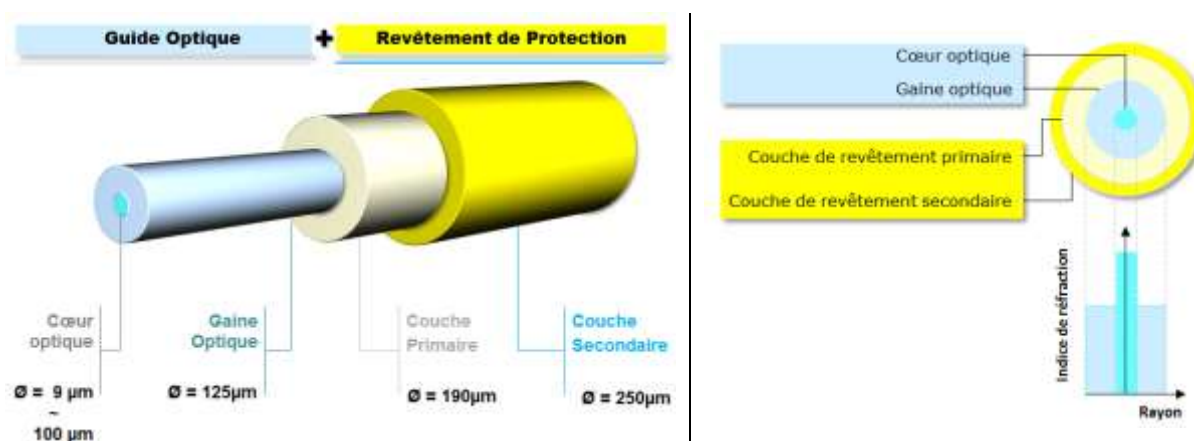


Figure 1 : Schéma d'une fibre optique standard monomode (à gauche). Section transverse et profil d'indice de réfraction associé (à droite).

La structure comprend un cœur optique central et une gaine optique constitués de verre (i.e. silice) revêtue d'un revêtement protecteur. Le cœur et la gaine sont tous deux constitués de silice extrêmement pure et dopée - c'est-à-dire contenant des espèces chimiques permettant de contrôler les valeurs des indices de

réfraction¹. Le verre constituant le cœur central est ainsi dopé par des éléments chimiques permettant d'augmenter très légèrement la valeur de l'indice de réfraction par rapport à celui de la gaine optique, c'est cette condition fondamentale qui permet aux ondes lumineuses de se propager le long de la fibre à l'intérieur du cœur.

La propagation de la lumière le long de la fibre s'effectue par réflexions successives des rayons lumineux à l'interface cœur/gaine. Ces rayons lumineux se propagent selon certaines trajectoires (appelées modes) qui sont déterminées par les paramètres opto-géométriques du cœur optique. En modifiant les variations de l'indice de réfraction dans la section du cœur (appelé profil d'indice) et le diamètre du cœur, il est possible de modifier les propriétés de propagation des ondes lumineuses (vitesse de propagation, formes des trajectoires, nombres de modes...). Selon la forme du profil d'indice, on parle de saut d'indice (comme représenté sur la Figure 1), de gradient (profil en parabole), de trapèze. En réduisant le diamètre du cœur et la différence d'indice de réfraction entre le cœur et la gaine, il est possible de réduire la propagation à un seul mode et la fibre est alors appelée fibre monomode (SMF pour Single Mode Fibre en anglais). A contrario, une fibre optique supportant plusieurs modes est dite multimode (MMF pour Multi-Mode Fibre en Anglais). Le diamètre du cœur pour les fibres multimodes est de 50 μm ou 62.5 μm , celui des fibres monomodes varie de 8 à 10 μm .

Le diamètre de la gaine optique est de 125 μm (i.e. 0,125 millimètres, soit un peu plus épais qu'un cheveu) pour les fibres optiques utilisées pour les réseaux de télécommunication. L'ensemble est protégé par un revêtement polymère indispensable pour la préservation de l'intégrité mécanique de la partie en verre de la fibre en en la protégeant de l'humidité, de la saleté... Ce revêtement est constitué de deux couches concentriques appelées primaire et secondaire. Le diamètre extérieur est en règle générale de l'ordre de 250 μm mais peut être plus petit (200 μm) ou plus gros (500 μm). Pour finir, l'ajout d'une fine couche colorée sur cette structure permet l'identification des fibres optiques lors de l'installation et du raccordement des fibres.

A ce stade, il convient de distinguer une fibre optique d'un câble à fibre optique. Un câble à fibre optique est constitué d'un regroupement de plusieurs fibres au sein d'une même structure élaborée pour permettre de protéger la fibre lors de la fabrication, l'installation et l'exploitation du câble. Il existe de nombreux types de câbles aux structures extrêmement variées selon les applications, les niveaux de performances exigés, le nombre de fibres contenues (d'une à plusieurs milliers). En pratique, c'est le câble qu'on installe dans un réseau mais c'est la fibre que l'on raccorde aux équipements optiques.

3 Les différents types de fibres optiques

A chaque type de fibres, correspond une ou plusieurs fenêtres optiques d'utilisation :

- Les fibres multimodes sont utilisées dans la région spectrale située autour de la longueur d'onde de 850 nanomètres (nm). Ces fibres sont adaptées à la transmission sur de courtes distances (jusqu'à plusieurs centaines de mètres) car leur coefficient d'affaiblissement reste supérieur au dB/km - de l'ordre de 2.5 dB/km. Elles constituent cependant une solution économiquement très intéressante par rapport à l'emploi de fibres monomodes si on intègre le coût de l'ensemble des composants nécessaires pour leur mise en œuvre (sources optiques). On trouve ce type de fibres dans les réseaux d'entreprises et les centres de données – *datacenters* en anglais.
- Pour les fibres monomodes destinées aux applications de télécommunications et de transport de données, le spectre optique utilisable est situé dans le proche infrarouge et s'étend sur la plage 1260 – 1675 nm – offrant une bande passante de 59 THz! Cet intervalle spectral a été subdivisé en sous-bandes. On parle ainsi des bandes optiques O (*Original*), E (*Extended*), S (*Short*), C (*Conventional*), L (*Long*), ou U (*Ultra-long*). Sur la Figure 2 sont représentés les intervalles associés. Les distances d'utilisation pour les fibres monomodes varient de quelques centaines de mètre jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres pour les réseaux terrestres.

¹ L'indice de réfraction d'un matériau caractérise la propriété du matériau à ralentir et à dévier la lumière. Il se définit par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse dans le matériau.

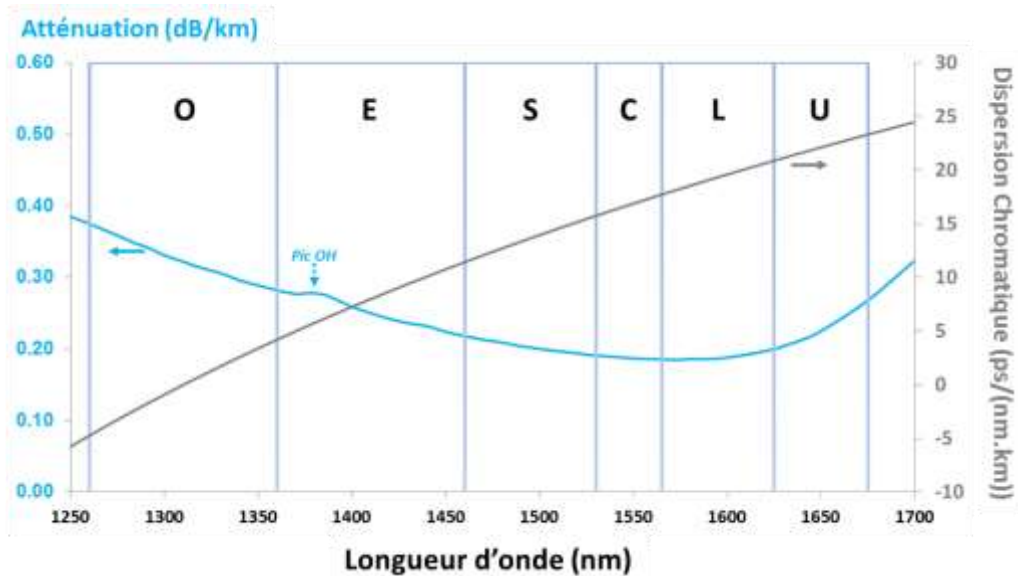


Figure 2 : Spectre d'atténuation d'une fibre G.652.D, et dispersion chromatique associée en fonction de la longueur d'onde. Les bandes optiques sont également rapportées.

Le développement des fibres optiques monomodes a été ponctué par les avancées réalisées dans les techniques de transmission, de traitement du signal, des montées en débits et des applications. Les études sur la transmission par fibre monomode ont démarré au début des années 1980, et ont abouti à la spécification de plusieurs catégories de fibres optiques se distinguant les unes des autres selon plusieurs paramètres relatifs aux bandes spectrales utilisables, aux niveaux d'affaiblissement, aux propriétés de propagation des signaux (comme par exemple la dispersion chromatique²) ainsi que certaines spécifications et tolérances dimensionnelles. Plusieurs types de fibres aux caractéristiques ont donc été définies :

- La fibre dite SSMF - *Standard Single Mode Fibre* en anglais, possédant un profil d'indice en échelon, a été tout d'abord développée pour la transmission à 1300 nm (Bande O) en raison de la disponibilité des sources et d'une dispersion chromatique nulle dans cette bande. La fibre a été ensuite utilisée à 1550 nm en raison des pertes d'atténuation minimales dans cette fenêtre. Cette fibre a été standardisée par l'UIT³ à partir de 1984 et est connue sous la recommandation G.652. C'est la fibre qui est aujourd'hui majoritairement utilisée dans les réseaux de télécommunication métropolitains et longue distance, et plus particulièrement la sous-catégorie G.652.D. Sur la Figure 2 sont rapportées les courbes d'atténuation typique et de dispersion chromatique pour une fibre G.652.D.
- Un deuxième type de fibre DSF - *Dispersion Shifted Fibre* en anglais, ou fibre à dispersion décalée, a ensuite été développée pour viser une dispersion chromatique nulle autour de 1550 nm (Bande C). Celle-ci a été standardisée par l'UIT dans la recommandation G.653 en 1988. La démonstration de l'amplification optique en 1987 a permis la transmission optique multicanaux dans la fenêtre 1550 nm par l'utilisation de multiplexage en longueur d'onde WDM - *Wavelength Division Multiplexing* en anglais. Néanmoins, la dispersion chromatique nulle exacerbant les effets non linéaires entre les différents canaux WDM (i.e. mélange à 4 ondes), l'intérêt pour cette fibre fut très limité par la suite en raison du développement de nouvelles technologies de transmission par fibre optique.
- Les fibres NZDSF - *Non-Zero Dispersion Shifted Fibre* en anglais, ou fibre à dispersion décalée non nulle ont alors été développées, avec pour objectif d'accommoder à la fois les effets non linéaires entre canaux et la nécessité de compenser l'accumulation de la dispersion chromatique. Pour ces fibres, la dispersion chromatique à 1550 nm est comprise entre 4 et 8 ps/(nm.km) à comparer à une valeur de l'ordre de 17 ps/(nm.km) pour une fibre G.652. Ces fibres sont spécifiées

² La dispersion chromatique représente les variations des temps de propagation de la lumière à diverses longueurs d'onde (unité ps/(nm.km)). Elle conduit à une diminution de la bande passante en se manifestant par un élargissement temporel des impulsions transmises le long de la fibre. Ce phénomène peut être évité par l'utilisation de fibres à dispersion chromatique nulle ou réduite.

³ Union Internationale des Télécommunications

par les recommandations G.655 et G.656. L'avènement des systèmes de transmission à détection cohérente combinés au traitement de signaux numériques a permis de s'affranchir d'une gestion complexe de la dispersion chromatique tout en réduisant d'autres effets liés à la propagation dans la fibre. Ces nouvelles techniques ont fait perdre tout attrait pour les fibres G.655 et G.656 au profit de la fibre G.652.D.

- Pour répondre aux contraintes d'installation de la fibre aussi bien à l'extérieur que dans les habitations pour le déploiement des réseaux FTTH – *Fibre-To-The-Home* en anglais, un nouveau type de fibre optique dit « insensible aux courbures » a été développé. Ces fibres sont normalisées depuis 2006 sous la recommandation G.657. L'utilisation de fibres insensibles à la courbure est essentielle pour sécuriser les futures évolutions des réseaux optiques passifs pour le FTTH, avec notamment l'emploi à terme des fenêtres de transmission à 1625 /1650 nm où la sensibilité aux pertes par macro-courbures⁴ est extrême. En France, le déploiement des réseaux d'accès se fonde sur l'emploi de ce type de fibre et notamment de la fibres G.657.A2. Les bandes optiques utilisées dans ce type de réseaux s'étendent sur les bandes O à L.
- Pour terminer cette revue, un dernier type de fibre concerne les transmissions pour les réseaux sous-marins : la recommandation G.654. La particularité de ces fibres réside dans leurs niveaux d'atténuation qui peuvent être aussi faibles que 0,15 dB/km à 1550 nm. A noter également la mise en place très récente d'une sous-catégorie (G.654.E) destinée aux réseaux terrestres à très haute capacité.

Conclusion

Les fibres optiques sont caractérisées par de nombreux paramètres dont certains sont l'objet d'une normalisation ainsi que les méthodes de caractérisation associées. Cette normalisation est essentielle pour évaluer et s'assurer de la compatibilité des fibres optiques entre les différents fabricants.

Pour en savoir plus, consultez les autres fiches du dossier technique fibre optique :

- Fibres optiques G.657.A2 et G.652.D : les principaux types de fibre utilisés dans les réseaux de télécommunication en France
- A propos de la normalisation des fibres optiques

⁴ Macro-courbure : courbure dont le rayon est supérieur au mm.

Edition avril 2021

DOSSIER TECHNIQUE FIBRE OPTIQUE FICHE N° 2

A propos de la normalisation des fibres optiques

Les fibres optiques et câbles à fibres optiques sur lesquels se structurent les réseaux optiques d'accès et de transport sont normalisés à l'échelle internationale.

L'objet de cette fiche est de présenter les principaux organismes, les documents associés ainsi que les caractéristiques et attributs techniques couverts par ces documents.

1 Historique

Les fibres optiques à usage dans les réseaux de télécommunication et de transport de données sont normalisées à l'échelle internationale sous l'égide de plusieurs organismes.

Cette situation résulte de l'effort de normalisation initié au début des années 1980 pour favoriser une large adoption et prévenir tout obstacle concernant l'interopérabilité et la compatibilité entre fabricants. Ce travail s'est matérialisé par l'élaboration de pratiques, procédures et de spécifications, reflétant un certain état de l'art à un instant donné, fruit d'un consensus de l'ensemble des parties prenantes (opérateurs, fabricants de systèmes, fabricants de fibres et câbles optiques...).

La collaboration entre ces différents organismes de normalisation demeure essentielle pour assurer la cohérence technique et garantir l'interopérabilité des systèmes et des équipements de télécommunications. Différentes familles de fibres optiques sont aujourd'hui à disposition : fibres multimodes à saut d'indice, à gradient d'indice, ou fibres monomodes. Elles peuvent être fabriquées à partir de silice pure ou dopée ou de plastique, et possèdent des dimensions opto-géométriques (diamètres de cœur, de gaine et revêtement extérieur) variées. Les champs d'application s'étendent désormais bien au-delà des domaines des télécommunications.

Pour les fibres optiques monomodes, deux organismes sont à l'origine des spécifications :

- l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) - en anglais : *International Telecommunication Union (ITU)*, met à disposition des **recommandations** sur les systèmes et infrastructures de télécommunications. La série des recommandations ITU-T G.65x porte sur la spécification de fibres optiques en câble et les méthodes de caractérisation associées. Pour chaque recommandation, plusieurs types de fibres (sous-catégories) sont proposées. Ces documents sont disponibles gratuitement sur le site de l'organisation.
- La Commission Electrotechnique Internationale - en anglais : *International Electrotechnical Commission (IEC)*, édite un ensemble de **normes** afférentes aux spécifications techniques de mesures et de tests des fibres optiques.

Pour les fibres optiques multimodes, les organismes en charge des normes sont :

- L'IEC pour la série de normes IEC 60793-2-10/20/30/40 couvrant l'ensemble des fibres à destinées des systèmes de télécommunications ou industriels.
- L'Organisation internationale de normalisation (OSI) - en anglais : *International Organization for Standardization (ISO)* dont la famille de documents ISO/IEC 11801 portent sur les systèmes de câblage structuré pour les télécommunications. C'est dans ces documents que sont spécifiés les câbles à fibres optiques multimodes de type OM.

Les normes de l'IEC complètent celles de l'ITU-T par l'ajout de performances en tenue mécanique et environnementales de la fibre et de son revêtement. Les normes applicables pour les méthodes de test des attributs sont regroupées dans la série de documents IEC 60793-1.

Les principaux documents édités par l'ITU-T et l'IEC portant sur les fibres optiques sont rapportés dans les tableaux 1 et 2 :

- La spécification des fibres monomodes repose ainsi sur une série des 6 recommandations ITU-T G.65x (G.652, G.653, G.654, G.655, G.656 et G.657) définissant un ensemble de 17 sous-catégories de fibres. Les sous-catégories ont été créées pour introduire des niveaux de performance différents sur certains attributs (coefficient d'atténuation, tenue aux pertes par macro-courbures...). On parle ainsi de fibres G.652.B, G.652D, G.657A2, G.657B3... Les recommandations de l'ITU-T sont également reprises dans la norme IEC 60793-2-50.
- Pour les fibres multimodes, la série de normes IEC 60793-2-20, -30 et -40 couvre l'ensemble des fibres à destinées aux applications de transport de données et systèmes industriels avec 28 sous-catégories.

A ce jour, l'emploi des fibres G.652 et G.657 est prédominant, les autres types de fibres monomodes selon les recommandations G.653, G.655 et G.656 sont plus discrétionnaires et réservés typiquement aux cas d'extension ou de maintenance de réseaux existants.

Recommandation	Titre	Nb de sous-Catégories	1 ^{ère} publication	Dernière révision	Lien
G.651.1	Caractéristiques d'un câble à fibres optiques multimodes à gradient d'indice (50/125 µm) pour le réseau d'accès optique	1	2007	2018	lien
G.652	Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes	2	1984	2016	lien
G.653	Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée	2	1988	2010	lien
G.654	Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée	5	1988	2016	lien
G.655	Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle	3	1996	2009	lien
G.656	Caractéristiques des fibres et câbles optiques à dispersion non nulle destinés au transport à large bande	1	2004	2010	lien
G.657	Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes insensibles aux pertes par courbure	4	2006	2016	lien

Tableau 1 - Principales recommandations publiées par l'UIT sur les fibres optiques

Document	Titre	Nb de sous-Catégories	Dernière Révision	Lien
60793-2-10	Partie 2-10 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodes de catégorie A1	10	2017	lien
60793-2-20	Partie 2-20 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodes de catégorie A2	3	2015	lien
60793-2-30	Partie 2-30 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodes de catégorie A3	7	2015	lien
60793-2-40	Partie 2-40 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodes de catégorie A4	8	2015	lien
60793-2-50	Partie 2-50 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres monomodes de classe B	17	2018	lien
60793-2-60	Partie 2-60 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres monomodes de classe C pour interconnexion	4	2008	lien
60793-2-70	Partie 2-70 : Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres à maintien de polarisation	3	2017	lien

Tableau 2 - Principales normes publiées par l'IEC sur les fibres optiques

Au travers de ces documents sont décrits les spécifications applicables portant sur un ensemble d'attributs consolidant les conditions applicables pour :

- la géométrie : *diamètres, non-circularités, excentrements* qui sont essentiels pour leurs contributions aux pertes de raccordement,
- les propriétés mécaniques : *niveau minimum d'épreuve mécanique,*
- les paramètres liés aux propriétés de transmission : *diamètres de modes, dispersion chromatique, longueur d'onde de coupure, pertes induites par macro-courbures.* Ces paramètres peuvent être significativement différent d'une recommandation à une autre.
- les propriétés de la fibre dans sa forme câblée : *coefficients atténuation, dispersion modale de polarisation.*

Dans le cadre de la production de fibre optique, une synthèse des attributs exigés par les documents IEC 60792-2-50 et ITU-T G.65x est rapportée dans le tableau 3 :

	Fibre optique multimode	Fibre optique monomode
transmission	Affaiblissement intrinsèque Affaiblissement par macro-courbure Dispersion inter-modale } Bande passante Dispersion intra-modale }	Affaiblissement intrinsèque Affaiblissement par macro-courbure Dispersion chromatique Dispersion modale de polarisation Tenue à l'hydrogène
géométrie	Longueur Diamètres } Cœur Non-circularités } Gaine optique Excentrements } Revêtement	Longueur Diamètres } Cœur ¹ Non-circularités } Gaine optique Excentrements } Revêtement
optique	Ouverture Numérique	Diamètre de champ de mode Longueur d'onde de coupure en câble
mécanique	Ondulation de la fibre Résistance à la traction Résistance à la corrosion Dénudabilité du revêtement	Ondulation de la fibre Résistance à la traction Résistance à la corrosion Dénudabilité du revêtement
environnemental	Essais de variations de température chaleur sèche chaleur humide immersion dans l'eau	Essais de variations de température chaleur sèche chaleur humide immersion dans l'eau

¹: les mesures du diamètre et de la non-circularité de cœur ne sont pas normalisées pour les fibres monomodes.

Tableau 3 - Liste des caractéristiques normalisées pour les fibres optiques multimodes et monomodes.

La création de nouvelles recommandations ou la révision des recommandations existantes doivent être justifiées soit par le développement de nouvelles technologies de transmission, soit par l'identification de nouvelles applications aux débouchés commerciaux démontrés soit plus simplement motivées par l'amélioration des méthodes de fabrication. Ce consensus est le résultat d'une évaluation : des intérêts technologiques (e.g. comme l'accompagnement des montées en débit), des intérêts économiques (e.g. un débouché commercial est identifié), des analyses de coûts de mise en œuvre dans le cadre d'une production industrielle de masse sans oublier la disponibilité d'équipements de mesure aptes.

Conclusion

Les fibres optiques sont caractérisées par de nombreux paramètres dont certains sont l'objet d'une normalisation ainsi que les méthodes de caractérisation associées. Le respect de ce système normatif est essentiel pour garantir l'interopérabilité des réseaux et des équipements. Il a permis l'expansion des réseaux en fibre optique qui constituent maintenant le socle des réseaux modernes de télécommunication.

Pour en savoir plus, consultez les autres fiches du dossier technique fibre optique :

- Fibres optiques G.657.A2 et G.652.D : les principaux types de fibre utilisés dans les réseaux de télécommunication en France
- Fibre optique : structures et caractéristiques

Edition avril 2021

DOSSIER TECHNIQUE FIBRE OPTIQUE FICHE N°3

Fibres optiques G.657.A2 et G.652.D : les principaux types de fibre utilisés dans les réseaux de télécommunication en France

En France les réseaux optiques d'accès s'appuient sur un nouveau type de fibre optique dit « insensible aux pertes par courbure » et dénommée G.657.A2.

L'objet de cette fiche est de présenter les principaux avantages de cette fibre en la comparant avec la principale fibre historiquement mise en œuvre : la fibre G.652.D.

1 Présentation

Les fibres optiques à usage dans les réseaux de télécommunication et de transport de données sont normalisées à l'échelle internationale sous l'égide de plusieurs organismes.

Pour les fibres optiques unimodales, deux organismes sont à l'origine des spécifications :

- l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) – en anglais : *International Telecommunication Union (ITU)*, met à disposition des recommandations sur les systèmes et infrastructures de télécommunications. La série des recommandations ITU-T G.65x porte sur la spécification de fibres optiques en câble et les méthodes de caractérisation associées. Pour chaque recommandation, plusieurs types de fibres (sous-catégories) sont proposées. Ces documents sont disponibles gratuitement sur le site de l'organisation.
- La Commission Electrotechnique Internationale – en anglais : *International Electrotechnical Commission (IEC)*, édite un ensemble de normes afférentes aux spécifications techniques de mesures et de tests des fibres optiques.

La fibre dite SSMF – *Standard Single Mode Fibre* en anglais, possédant un profil d'indice en échelon, a été tout d'abord développée pour la transmission à 1300 nm (Bande O) en raison de la disponibilité des sources et d'une dispersion chromatique nulle dans cette bande. La fibre a été ensuite utilisée à 1550 nm en raison des pertes d'atténuation minimales dans cette fenêtre. Cette fibre a été standardisée par l'UIT¹ à partir de 1984 et est connue sous la recommandation G.652. C'est la fibre qui est aujourd'hui majoritairement utilisée dans les réseaux de télécommunication longue distance, et plus particulièrement la sous-catégorie G.652.D qui présente les meilleurs attributs.

Pour répondre aux contraintes d'installation de la fibre aussi bien à l'extérieur que dans les habitations pour le déploiement des réseaux FTTH – *Fibre-To-The-Home* en anglais, un nouveau type de fibre optique dit « insensible aux courbures » a été développé. Ces fibres sont normalisées depuis 2006 sous la recommandation G.657. L'utilisation de fibres insensibles à la courbure est essentielle pour sécuriser les futures évolutions des réseaux optiques passifs pour le FTTH, avec notamment l'emploi à terme des fenêtres de transmission à 1625/1650 nm où la sensibilité aux pertes induite par courbure est extrême. Depuis 2016, la portée a été modifiée pour inclure l'utilisation des fibres optiques de sous-catégories G.657.A1 et G.657.A2 à l'ensemble des applications où les fibres G.652.D sont déjà utilisées comme par exemple les réseaux de transport.

¹ Union Internationale des Télécommunications

2 G.657.A2 vs. G.652.D

L'utilisation de la fibre optique dans les réseaux d'accès impose des exigences supplémentaires à la fibre et au câble. En raison de la très forte densité de fibres, de la présence de nombreux points de raccordement et d'un espace disponible relativement contraint et souvent sinueux (nombreuses courbures), les contraintes de mise en œuvre et d'installation des câbles à fibre optique dans les réseaux d'accès ont naturellement nécessité de nouveaux types de fibres exhibant des performances de tenue à la courbure améliorées par rapport à la fibre G.652.

En pratique, une fibre standard G.652.D n'est pas utilisable pour le câblage en intérieur en raison de sa sensibilité aux faibles rayons de courbure, phénomène qui se traduit par l'augmentation des pertes optiques aux grandes longueurs d'onde de fait de la fuite d'une partie de la puissance optique en dehors du cœur optique comme illustré dans le Figure 1. Ce mécanisme de pertes est appelé pertes par macro-courbure. Le niveau de perte dépend du type de fibre, du rayon de courbure appliqué et est fonction de la longueur d'onde (voir Figure 2). Plus la longueur d'onde est grande et/ou le rayon de courbure est petit, plus la perte induite sera élevée.

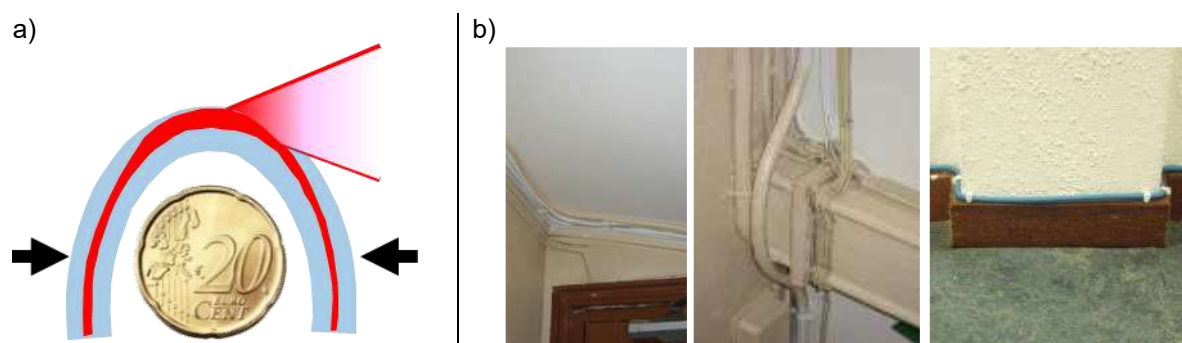


Figure 1 : a) illustration du mécanisme de pertes induites par macro-courbure mettant en œuvre des rayons de courbures supérieurs au millimètre : plus le rayon de courbure est petit, plus la puissance optique s'échappant de la fibre est importante. b) exemples de cheminement de câbles à l'intérieur des bâtiments (gauche).



Figure 2 : Exemples de pertes induites par macro-courbures à 1550nm pour deux échantillons de fibres G.652.D et G.657.A2 en considérant deux tours complets autour d'un crayon à papier.

C'est dans cet esprit que la recommandation G.657 a été créée. Elle contient deux catégories (A et B) et plusieurs sous-catégories (A1, A2, B2 et B3), permettant de spécifier des performances optiques de tenue à la courbure de l'ordre de 10 (A1), 100 (A2 et B2) et 300 (B3) fois supérieures à celle d'une fibre G.652.D. Les fibres de la catégorie A peuvent être utilisées dans les bandes optiques O, E, S, C et L, c'est-à-dire de 1260 à 1625 nm. Cette catégorie est conforme à la recommandation G.652.D et en possède les mêmes caractéristiques de transmission et d'interconnexion. Les deux sous-catégories A1 et A2 ont été introduites pour distinguer les fibres dont les performances sont respectivement garanties jusqu'à des rayons de courbure de 10 mm (G.657.A1) ou 7,5 mm (G.657.A2).

Les fibres de la catégorie B ne sont pas entièrement conformes à la recommandation G.652.D et leur usage est recommandé seulement en bout de réseau sur quelques centaines de mètres. Deux sous-catégories ont été définies aux rayons de courbure de 7,5 mm (G.657.B2) et de 5 mm (G.657.B3).

La Figure 3 reprend les performances décrites ci-dessus pour les sous-catégories de fibre de la recommandation G.657.

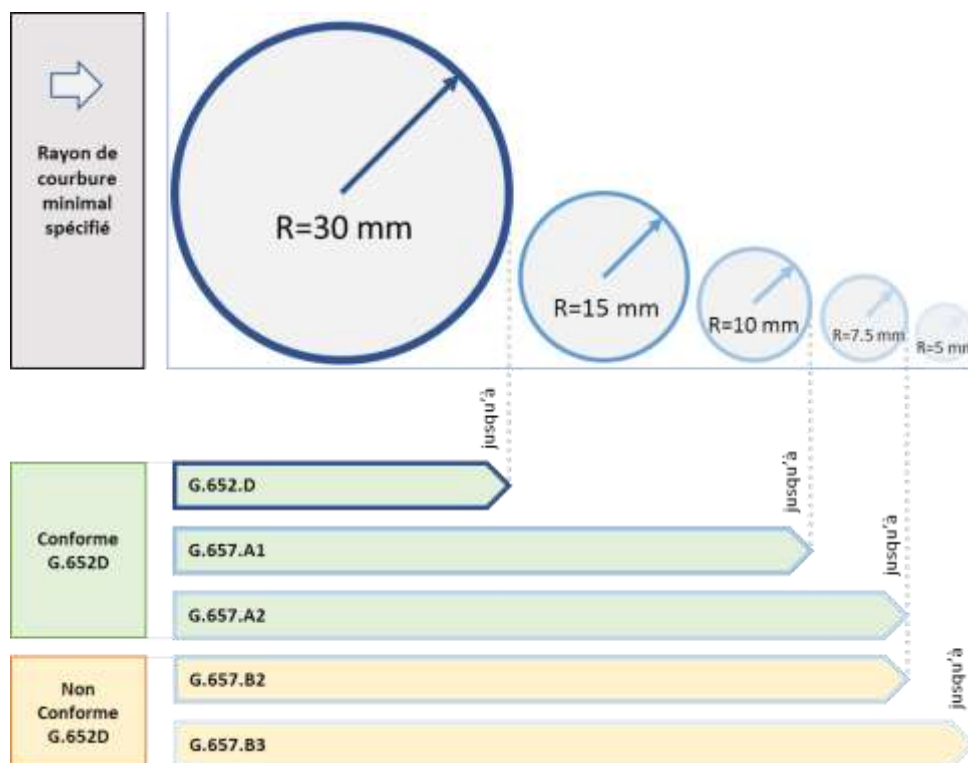


Figure 3 : Aperçu des performances de tenue en macro-courbures des sous-catégories de fibres de la recommandation G.657 par rapport à la fibre G.652.D.

A noter également que l'on définit un autre mécanisme de pertes induites par courbure correspondant à la présence de perturbations submillimétriques le long de la fibre. Ces perturbations sont causées par la présence de nombreux points de contact le long d'une fibre avec les autres fibres présentes dans le câble ou bien les parois des éléments constitutifs du câble. Ce type de mécanisme est appelé perte induite par micro-courbures. Le phénomène se manifeste par un accroissement des pertes optiques aux grandes longueurs d'ondes (bandes optiques C, L et U). Il a été démontré que les fibres G.657A2 présentaient intrinsèquement une meilleure résilience à ce type de phénomènes que les fibres G.652.D. Cela permet l'emploi des fibres G.657.A2 dans des structures de câbles plus serrées et caractérisée par une densité de fibres accrue. A la différence des pertes induites par macro-courbures, les pertes induites par micro-courbures ne font pas l'objet de document de normalisation.

Conclusion

La fibre G.657.A2 est particulièrement adaptée aux exigences techniques et de déploiement des réseaux d'accès optiques. Compte tenu de ses performances en termes de tenue aux pertes induites par courbures (macro- et micro-courbures), cette fibre permet de sécuriser les niveaux de pertes sur l'ensemble du spectre disponible (de 1260 à 1650 nm) et réduit les coûts d'installation, d'opération et de maintenance. Les études menées par le comité expert fibre de l'ARCEP en 2019 et 2020 ont montré que l'utilisation de la fibre G.657.A2 conduit à un système plus robuste vis-à-vis des aléas d'exploitation d'un réseau d'accès, comme le réseau FTTH. La fibre G.657.A2 est la fibre recommandée par le comité expert fibre de l'ARCEP sur l'ensemble de la BLOM (Boucle Locale Optique Mutualisée), comme notamment mentionné dans son avis de septembre 2020.

Pour en savoir plus, consultez les autres fiches du dossier technique fibre optique :

- Fibre optique : structures et caractéristiques
- A propos de la normalisation des fibres optiques