

# LES FIBRES OPTIQUES POUR LES APPLICATIONS DES TELECOMMUNICATIONS : TYPES, CARACTERISATION ET ASPECTS NORMATIFS ASSOCIES

**Lionel Provost**

*Prysmian Group / Draka Comteq France SAS, Parc des Industries Artois-Flandres,  
644 Boulevard Est, 62092 Haisnes, France*

[Lionel.Provost@prysmiangroup.com](mailto:Lionel.Provost@prysmiangroup.com)

## RÉSUMÉ

La spécification et la caractérisation des fibres optiques pour les applications de télécommunications et de transport de données sont régies par un système normatif initié depuis près de 40 ans. Ce papier aborde les principes sous-jacents qui ont contribué à la maturité de cette technologie dans un contexte de production industrielle.

**MOTS-CLEFS :** *fibre optique ; caractérisation ; normalisation.*

## 1. INTRODUCTION

Pour l'année 2018, le marché mondial de la fibre optique pour des réseaux de télécommunication et de données a été estimé à un peu plus de 500 millions de kilomètres. Sur la période 2013-2018, cela a représenté un doublement de la demande. La demande mondiale reste forte en raison de nombreux besoins : *déploiement des réseaux d'accès par fibre optique (FttX), nouvelles générations de réseaux mobiles (4G et désormais 5G) ainsi que le développement des centres de données*. Ces besoins mettent également en œuvre de nouvelles générations de fibres optiques (fibres G.657, OM4 et OM5).

Derrière ces volumes sont mises en œuvre des méthodes industrielles de production robustes et éprouvées. La thématique de la caractérisation et de la validation de la fibre optique produits selon les normes et spécifications applicables demeure une composante essentielle de cette industrie. Nous en présentons ici les principaux éléments constitutifs.

## 2. NORMALISATION DES FIBRES OPTIQUES

Le potentiel d'utilisation de la fibre optique pour les applications de télécommunications a été suggéré il y a plus de 50 ans [1]. La réalisation en 1970 de la première fibre optique exhibant des pertes inférieures à 20 dB/km et suffisantes pour envisager une utilisation pour les télécommunications, sera à l'origine de l'industrie que nous connaissons aujourd'hui. Grâce aux développements des méthodes de production et de caractérisation, la supériorité de la fibre optique comme support de transmission sur de courtes (*fibres multimodes*) ou de longues distances (*fibres monomodes*) fut confirmée en moins de deux décennies. 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 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.

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...*). Au niveau international, plusieurs organisations sont engagées dans ces activités de normalisation. Parmi les plus emblématiques, on citera : le secteur de normalisation de l'Union

Internationale des Télécommunications (UIT-T) ou *International Telecommunication Union* ([ITU-T](#)), la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) ou *International Electrotechnical Commission* ([IEC](#)), l'association américaine [TIA](#) (*Telecommunications Industry Association*) et enfin l'Organisation Internationale de Normalisation ou *International Organization for Standardization* ([ISO](#)).

Pour les applications de télécommunications et de transport de données, plusieurs types de fibres ont été définis au fur et à mesure selon les besoins des technologies de transmission. Ces types de fibres sont différenciés selon : *les bandes spectrales d'utilisation, les bandes passantes, la dispersion chromatique, la résilience aux effets non-linéaires, les niveaux d'affaiblissement, ou la résilience aux pertes induites par macro-courbure*. 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. Ces recommandations 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. Pour les fibres multimodes utilisées à haut et très-haut débits, les organismes IEC, TIA et IEC/ISO éditent les documents les plus importants. La norme ISO/IEC [11801-1](#) spécifie ainsi les câbles à fibres optiques multimodes de type OMx : *OM1*, *OM2*, *OM3*, *OM4* (2009) et plus récemment *OM5* (2016). Ces catégories de fibres sont également reprises dans la norme IEC [60793-2-10](#).

### 3. LES PROCEDURES DE CARACTERISATION

Sur le même principe, les conditions de test et de caractérisation des fibres monomodes et multimodes sont normalisées et sont couvertes par les 26 documents de la série IEC 60793-1-xx. Ces normes sont reprises en partie dans les documents ITU-T [G.650.1](#) et [G.650.2](#) pour les fibres monomodes. Parmi ces collections de normes, les documents IEC [60793-1-1](#) et ITU-T [G Suppl. 40](#) constituent d'excellents supports pour appréhender l'ensemble des tests et les attentes associées.

La plupart des mesures sont réalisées par les fabricants de fibres optique et repose sur deux familles de test : la première appelée *tests fonctionnels* (comme la vérification de la continuité de la fibre) et la seconde pour les *tests de performance* qui évaluent un ensemble d'attributs par rapport des spécifications données. Pour cela, on distingue deux types de méthodes : la première appelée *méthode de mesure de référence* selon laquelle l'attribut est mesuré en se conformant rigoureusement à sa définition, la seconde appelée *méthode de mesure de remplacement* selon laquelle l'attribut est mesuré d'une façon compatible avec sa définition et dont les résultats peuvent être reliés à ceux fournis par la mesure de référence.

D'un point de vue très général, on peut distinguer les mesures effectuées :

i) *en laboratoire*, principalement destinées aux activités de recherche et développement. Les attributs et mesures associées ne sont pas normalisés mais peuvent être documentés au sein d'annexes et rapports techniques édités par l'UIT-T et la CIE : *coefficient non-linéaire  $n_2$ , surface effective, seuil de diffusion Brillouin stimulée, coefficient de gain Raman, pertes induites par micro-courbures, bruit modal (interférence multi-chemins), et autres phénomènes d'interférences*.

ii) *en usine* dans le cadre de l'assurance qualité et de contrôle de production. Ces mesures sont couvertes par les séries IEC 60793-1-xx et/ou IEC 60794-1-xx (câbles à fibre optique). Compte tenu du nombre importants de mesures associées, les problématiques de coûts sont ici cruciaux et appellent naturellement à des exigences en termes d'automatisation, de temps, de répétabilité et reproductibilité. Le recours à des méthodes d'échantillonnage et de prédiction est nécessaire pour garantir un attribut caractérisé sur une courte section donnée ou ponctuellement le long de la fibre.

iii) *sur le terrain*, ciblant les tests sur un tronçon ou une liaison dans le cadre de l'établissement de bilans optiques, de contrôle d'installation ou lors de travaux de maintenance (cf. ITU-T [G.650.3](#)). Ces mesures portent sur un nombre restreint de paramètres : *affaiblissement, perte d'épissure, et réflectance* et exigent une instrumentation aux performances normalisées compacte et portative.

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 1. On distingue ainsi :

- i) Les caractéristiques propres aux propriétés de transmission (déterministes ou statistiques) sont des données essentielles dans le cadre de la conception des systèmes de transmission.
- ii) Les caractéristiques géométriques et optiques : pour les performances en raccordement soit par épissurage par fusion ou mécanique ou par connecteur à fêruler.
- iii) Les caractéristiques mécaniques s'adressent quant à elles plus aux fabricants de câbles et accessoires optiques.
- iv) Les caractéristiques environnementales relèvent de l'évolution des performances au cours de l'exploitation de la fibre sur le terrain et les tenues au vieillissement.

Tab. 1 : Liste des caractéristiques normalisées pour les fibres optiques multimodes et monomodes.

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

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

#### 4. REMARQUES CONCLUSIVES

Les fibres optiques peuvent être caractérisées par de nombreux paramètres dont certains sont l'objet d'une normalisation ainsi que les méthodes de caractérisation associées. La révision et le développement de spécifications et de méthodes de mesure sont toujours possibles mais ne peuvent être effectués que dans le cadre d'un large consensus. 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.

#### RÉFÉRENCES

- [1] C. K. Kao et G. A. Hockham, "Di-electric-fibre surface waveguides for optical frequencies", *Proceedings IEE*, vol. 113 (7), pp. 1151-1158, 1966.