



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.652

(04/97)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Caractéristiques des supports de transmission – Câbles à
fibres optiques

**Caractéristiques des câbles à fibres optiques
monomodes**

Recommandation UIT-T G.652

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.699
SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES	
EQUIPEMENTS TERMINAUX	G.700–G.799
Caractéristiques principales des équipements de multiplexage en hiérarchie numérique synchrone	G.780–G.789
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTION NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

RECOMMANDATION UIT-T G.652

CARACTERISTIQUES DES CABLES A FIBRES OPTIQUES MONOMODES

Résumé

La présente Recommandation traite des propriétés géométriques et des caractéristiques de transmission des fibres et câbles optiques monomodes dont la dispersion et la longueur d'onde de coupure ne sont pas décalées par rapport à la région des longueurs d'onde de 1310 nm. Les définitions et les méthodes de test figurent dans la Recommandation G.650.

Source

La Recommandation UIT-T G.652, révisée par la Commission d'études 15 de l'UIT-T (1997-2000), a été approuvée le 8 avril 1997 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

Dans certains secteurs de la technologie de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait/n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 1997

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	Page	
1	Domaine d'application.....	1
2	Références.....	1
3	Terminologie.....	2
4	Abréviations.....	2
5	Caractéristiques des fibres	2
5.1	Diamètre du champ de mode	2
5.2	Diamètre de gaine	2
5.3	Erreur de concentricité du champ de mode.....	3
5.4	Non-circularité	3
5.4.1	Non-circularité du champ de mode.....	3
5.4.2	Non-circularité de la gaine.....	3
5.5	Longueur d'onde de coupure.....	3
5.6	Caractéristiques d'affaiblissement à 1550 nm.....	4
5.7	Propriétés des matériaux des fibres.....	5
5.7.1	Matériaux composant les fibres.....	5
5.7.2	Matériaux protecteurs	5
5.7.3	Seuil de déformation permanente	5
5.8	Profil de l'indice de réfraction.....	5
5.9	Uniformité longitudinale.....	5
6	Spécifications relatives aux tronçons à la longueur de livraison	5
6.1	Affaiblissement linéique	5
6.2	Coefficient de dispersion chromatique	6
6.3	Coefficient de dispersion modale de polarisation.....	6
7	Sections élémentaires de câble.....	7
7.1	Affaiblissement	7
7.2	Dispersion chromatique	7
	Appendice I – Modélisation de l'affaiblissement spectral.....	8
	Appendice II – Modèle de matrice.....	9

Recommandation G.652

CARACTERISTIQUES DES CABLES A FIBRES OPTIQUES MONOMODES

(révisée en 1997)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation traite des fibres monomodes dont la longueur d'onde de dispersion nulle se trouve au voisinage de 1310 nm, qui sont optimisées pour la région des 1310 nm et qui peuvent également être utilisées au voisinage de 1550 nm (longueur d'onde pour laquelle elles ne sont pas optimisées).

Ces fibres peuvent être utilisées pour la transmission analogique et pour la transmission numérique.

Leurs caractéristiques géométriques, optiques, mécaniques et de transmission sont décrites ci-après, de même que les méthodes de test correspondantes.

Le sens des termes utilisés dans la présente Recommandation et les lignes directrices qu'il convient de suivre pour les mesures ayant pour but de vérifier les diverses caractéristiques font l'objet de la Recommandation G.650.

2 Références

Les Recommandations UIT-T et autres références suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Recommandation. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute Recommandation ou autre référence étant sujette à révision; tous les utilisateurs de la présente Recommandation sont donc invités à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des Recommandations et autres références indiquées ci-après. Une liste des Recommandations UIT-T en vigueur est publiée régulièrement.

- Recommandation UIT-T G.650 (1997) – *Définition des paramètres des fibres monomodes et méthodes de test associées.*
- Recommandation UIT-T G.653 (1997) – *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée.*
- Recommandation UIT-T G.654 (1997) – *Caractéristiques d'un câble à fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée.*
- Recommandation UIT-T G.655 (1996) – *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- Recommandation UIT-T G.663 (1996) – *Aspects relatifs aux applications des dispositifs et des sous-systèmes amplificateurs à fibre optique.*
- Recommandation UIT-T G.681 (1996) – *Caractéristiques fonctionnelles des jonctions urbaines et interurbaines utilisant des amplificateurs optiques, y compris le multiplexage optique.*
- Recommandation UIT-T G.955 (1996) – *Systèmes de lignes numériques des hiérarchies à 1544 kbit/s et à 2048 kbit/s sur câbles à fibres optiques.*

- Recommandation UIT-T G.957 (1995) – *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- Publication 793-2 de la CEI, Partie 2 (1992), *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits.*

3 Terminologie

Les définitions données dans la Recommandation G.650 sont applicables à la présente Recommandation.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

GPa gigapascals

SDH hiérarchie numérique synchrone (*synchronous digital hierarchy*)

WDM multiplexage en longueur d'onde (*wavelength division multiplexing*)

5 Caractéristiques des fibres

Seules sont recommandées dans le présent paragraphe les caractéristiques qui constituent un cadre minimal essentiel de conception en vue de la fabrication des fibres. Parmi ces caractéristiques, la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée peut être sensiblement modifiée par la fabrication du câble ou par son installation. Toutefois, les caractéristiques recommandées s'appliquent de la même façon à une fibre isolée, à une fibre incorporée dans un câble enroulé sur un touret et à une fibre faisant partie d'un câble installé.

La présente Recommandation s'applique aux fibres ayant un champ de mode nominale circulaire.

5.1 Diamètre du champ de mode

La valeur nominale du diamètre du champ de mode à 1310 nm doit être comprise entre 8,6 et 9,5 μm . La valeur du diamètre effectif ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 10\%$ de la valeur nominale.

NOTE 1 – On retient généralement les valeurs 10 μm pour les structures à gaine adaptée et 9 μm pour les structures à gaine déprimée. Le choix d'une valeur comprise entre 9 μm et 10 μm n'est cependant pas nécessairement lié à un type de fibre bien précis.

NOTE 2 – Il convient de noter que les caractéristiques de fibre nécessaires pour une application donnée s'expriment d'abord en fonction des paramètres essentiels de la fibre et des dispositifs qui s'y raccordent, tels que le diamètre du champ de mode, la longueur d'onde de coupure, la dispersion totale, la longueur d'onde de fonctionnement des dispositifs et le débit ou la fréquence de fonctionnement et non pas nécessairement en fonction de la structure spécifique de la fibre.

NOTE 3 – La valeur moyenne du diamètre du champ de mode peut, en fait, différer des valeurs nominales ci-dessus à condition que toutes les fibres se situent à $\pm 10\%$ de la valeur nominale spécifiée.

5.2 Diamètre de gaine

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de gaine est de 125 μm . Ce diamètre ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 2 \mu\text{m}$ de la valeur nominale.

Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, on pourra fixer d'autres tolérances.

5.3 Erreur de concentricité du champ de mode

La valeur recommandée pour l'erreur de concentricité du champ de mode à 1310 nm ne doit pas excéder 1 μm .

NOTE 1 – Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, des valeurs allant jusqu'à 3 μm peuvent convenir.

NOTE 2 – L'erreur de concentricité du champ de mode et l'erreur de concentricité du cœur représentée par l'intensité lumineuse transmise à des longueurs d'onde autres que 1310 nm (y compris la lumière blanche) sont équivalentes. En règle générale, l'écart entre le centre du profil de l'indice de réfraction et l'axe de la gaine représente aussi l'erreur de concentricité du champ de mode, mais si l'on constate quelque divergence entre l'erreur de concentricité du champ de mode mesurée selon la méthode de mesure de référence (RTM, *reference test method*), et l'erreur de concentricité du cœur, c'est la première des deux qui constituera la référence.

5.4 Non-circularité

5.4.1 Non-circularité du champ de mode

Dans la pratique, la non-circularité du champ de mode des fibres ayant des champs de mode nominalement circulaires est suffisamment faible pour ne pas affecter la propagation ni le raccordement. Il n'est donc pas jugé utile de recommander une valeur particulière pour la non-circularité du champ de mode. Il n'est normalement pas nécessaire de mesurer la non-circularité du champ de mode lors des tests de recette.

5.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine doit être inférieure à 2%. Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccords, on pourra fixer d'autres tolérances.

5.5 Longueur d'onde de coupure

On distingue trois longueurs d'onde de coupure utiles:

- a) la longueur d'onde de coupure de câble, λ_{cc} ;
- b) la longueur d'onde de coupure de fibre, λ_c ;
- c) la longueur d'onde de coupure de jarretière, λ_{cj} .

La corrélation des valeurs mesurées de λ_c , de λ_{cc} et de λ_{cj} dépend de la fibre considérée, du type de câble et des conditions de mesure. Si l'on a en général $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, il est cependant malaisé d'établir une relation quantitative. Même sur la plus courte longueur de câble entre deux raccords et pour la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système, il est indispensable de conserver une transmission monomode. On peut traiter la question en recommandant que λ_{cc} , la longueur d'onde de coupure de fibre monomode câblée, ait une valeur maximale de 1260 nm ou 1270 nm.

NOTE 1 – Une marge suffisante pour la longueur d'onde doit être prévue entre la plus petite longueur d'onde de fonctionnement autorisée du système (λ_s) et la plus grande longueur d'onde de coupure autorisée pour le câble (λ_{cc}).

NOTE 2 – Pour empêcher les effets de bruit modal et assurer la transmission monomode dans les câbles d'une longueur inférieure à 2 mètres (amorces de fibre et jarretières courtes, par exemple) la valeur maximale de λ_c

des fibres, mesurée dans les conditions indiquées dans la méthode de mesure de référence (RTM) de la Recommandation G.650 qui s'applique, ne doit pas dépasser 1250 nm.

NOTE 3 – Pour empêcher les effets de bruit modal et assurer la transmission monomode dans les câbles d'une longueur comprise entre 2 et 20 mètres (amorces de fibre et jarretières courtes, par exemple) la valeur maximale de λ_{cj} ne doit pas dépasser 1260 ou 1270 nm.

Étant donné que la spécification de la longueur d'onde de coupure de câble, λ_{cc} , est une façon plus directe de garantir le fonctionnement monomode du câble, elle est préférable à la spécification de la longueur d'onde de coupure de fibre, λ_c . Toutefois, lorsque les circonstances ne permettent pas de spécifier directement λ_{cc} (par exemple lors de l'utilisation de câbles monofibres tels que jarretières et amorces ou lors de l'installation des câbles dans des conditions qui diffèrent sensiblement de celles de la méthode de mesure de référence de λ_{cc}), on pourra spécifier une limite supérieure de λ_c ou de λ_{cj} .

Si l'on spécifie λ_{cc} comme indiqué au a), il faut bien savoir que λ_c peut être supérieur à 1260 ou 1270 nm. Par ailleurs, λ_c peut être supérieur à la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système, en supposant que la fabrication et l'installation du câble donneront des valeurs de λ_{cc} inférieures à la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système pour la longueur de câble la plus courte entre deux épissures. Il est courant de faire un test d'homologation pour s'assurer que le type de câble est conforme en ce qui concerne la valeur λ_{cc} spécifiée.

5.6 Caractéristiques d'affaiblissement à 1550 nm

Une fibre monomode déployée optimisée pour 1310 nm fonctionnera avec un faible affaiblissement à 1550 nm si l'augmentation d'affaiblissement pour 100 spires de fibre enroulée de manière lâche avec un rayon de 37,5 mm, et mesurée à 1550 nm, est inférieure à 1,0 dB.

Dans le cas de la hiérarchie SDH et de la modulation WDM, la fibre peut être utilisée à des longueurs d'onde supérieures à 1550 nm. L'affaiblissement maximal de 1,0 dB s'appliquera à la longueur d'onde maximale d'utilisation envisagée (≤ 1580 nm). L'affaiblissement à la longueur d'onde maximale peut être déterminé à l'avance par une mesure à 1550 nm, au moyen d'une modélisation de l'affaiblissement spectral ou d'une base de données statistique pour le type de fibre particulier. Une autre possibilité consiste à faire un test à une longueur d'onde plus grande.

NOTE 1 – Un test d'homologation peut être suffisant pour vérifier que cette condition est satisfaite.

NOTE 2 – La valeur de 100 spires indiquée ci-dessus correspond au nombre approximatif de spires enroulées dans l'ensemble des coffrets d'épissurage d'une portée de répéteur. Le rayon de 37,5 mm est équivalent au rayon de courbure minimal généralement admis dans la pratique pour l'installation à long terme de fibre dans les réseaux réels, afin d'éviter les pannes dues aux contraintes de fatigue statique.

NOTE 3 – Si, pour des raisons pratiques, on choisit une configuration avec moins de 100 spires pour procéder à ce test à 37,5 mm, il ne faudra pas descendre au-dessous de 40 spires, et on utilisera une valeur d'affaiblissement plus faible proportionnelle au nombre de spires.

NOTE 4 – S'il est prévu d'adopter des rayons de courbure inférieurs à 37,5 mm (par exemple, $R = 30$ mm) dans les coffrets d'épissure ou dans d'autres parties du système, il est suggéré que la même valeur de perte de 1,0 dB soit appliquée pour 100 spires de fibres lovées suivant ce rayon plus faible.

NOTE 5 – La recommandation relative aux affaiblissements de courbure à 1550 nm concerne l'installation de fibres dans des réseaux réels à fibres monomodes. L'influence sur les caractéristiques d'affaiblissement du rayon de courbure résultant du retordage des fibres monomodes câblées est comprise dans les spécifications d'affaiblissement des fibres câblées.

NOTE 6 – Pour des tests de routine et afin de faciliter la mesure de la sensibilité à la courbure à 1550 nm, on peut utiliser une boucle de faible diamètre à une ou plusieurs spires au lieu de procéder à l'est avec 100 spires. Dans ce cas, on choisira le diamètre de la boucle, le nombre de spires et l'affaiblissement de courbure

maximal admis de manière à ce que les résultats soient corrélés avec la valeur recommandée d'affaiblissement de 1,0 dB dans le test fonctionnel avec 100 spires au rayon de courbure de 37,5 mm.

5.7 Propriétés des matériaux des fibres

5.7.1 Matériaux composant les fibres

On indique les matériaux composant les fibres.

NOTE – Des précautions sont à prendre lorsque l'on raccorde par fusion des fibres faites de matériaux différents. Les premiers résultats indiquent que l'on peut obtenir un affaiblissement d'épissurage et une tenue d'épissure de qualité satisfaisante lors du raccordement de fibres différentes à haute teneur en silice.

5.7.2 Matériaux protecteurs

Les propriétés physiques et chimiques des matériaux employés pour le revêtement primaire de la fibre ainsi que la meilleure méthode pour l'enlever (si cela est nécessaire) doivent être indiquées. Dans le cas de fibres à enveloppe unique, il convient de donner des indications analogues.

5.7.3 Seuil de déformation permanente

Le seuil de déformation permanente σ_p est d'au moins 0,35 GPa, ce qui correspond approximativement à une déformation temporaire de 0,5%. On spécifie souvent un seuil de 0,69 GPa.

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques figurent aux 1.2/G.650 et 2.6/G.650.

5.8 Profil de l'indice de réfraction

Il n'est généralement pas nécessaire de connaître le profil de l'indice de réfraction; si on souhaite le mesurer, on peut utiliser la méthode de mesure de référence décrite dans la Recommandation G.651.

5.9 Uniformité longitudinale

A l'étude.

6 Spécifications relatives aux tronçons à la longueur de livraison

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au paragraphe 5 n'étant que peu affectées par le processus de câblage, on trouvera dans le présent paragraphe des recommandations portant essentiellement sur les caractéristiques de transmission des pièces de câbles à la longueur de livraison.

Les conditions ambiantes et les conditions de mesure ont une très grande importance et sont décrites dans les directives sur les méthodes de mesure.

6.1 Affaiblissement linéique

Les câbles à fibres optiques visés par la présente Recommandation ont généralement des coefficients d'affaiblissement inférieurs à 0,5 dB/km dans la région des 1310 nm et à 0,4 dB/km dans la région des 1500 nm.

NOTE 1 – Les valeurs les plus basses dépendent du processus de fabrication, de la composition et de la conception de la fibre, ainsi que de la conception du câble. On a déjà obtenu des valeurs se situant entre 0,3 et 0,4 dB/km dans la région des 1310 nm et entre 0,17 et 0,25 dB/km dans la région des 1550 nm.

NOTE 2 – L'affaiblissement linéique peut être calculé pour un spectre de longueurs d'onde, sur la base de mesures effectuées de quelques longueurs d'ondes prédictives (3 à 5). Cette procédure est décrite dans l'Appendice I et un exemple est donné dans l'Appendice II.

6.2 Coefficient de dispersion chromatique

Le coefficient maximal de dispersion chromatique sera déterminé par:

- l'intervalle admis pour la longueur d'onde de dispersion nulle, entre $\lambda_{0\min} = 1300$ nm et $\lambda_{0\max} = 1324$ nm;
- la valeur maximale $S_{0\max} = -0,093$ ps/(nm² · km) de la pente à dispersion nulle.

Les limites du coefficient de dispersion chromatique pour toute longueur d'onde λ dans l'intervalle 1260-1360 nm seront calculées de la façon suivante:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{0\max}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda^4 0 \min}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{0\max}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda^4 0 \max}{\lambda^3} \right]$$

NOTE 1 – À titre d'exemple les valeurs de $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$, et $S_{0\max}$ produisent des amplitudes de coefficient de dispersion chromatique $|D_1|$ et $|D_2|$ égales ou inférieures aux coefficients maximaux de dispersion chromatique du tableau suivant:

Longueur d'onde (nm)	Coefficient de dispersion chromatique maximale [ps/(nm · km)]
1288-1339	3,5
1271-1360	5,3

NOTE 2 – On utilisera la formule $D_1(\lambda)$ pour évaluer la dispersion maximale dans la région des 1550 nm.

NOTE 3 – Pour des systèmes de haute capacité ou de grande longueur, il peut être nécessaire de spécifier un intervalle $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$ plus petit ou, si possible, de choisir une valeur de $S_{0\max}$ plus petite.

NOTE 4 – Il n'est pas nécessaire de mesurer systématiquement la dispersion chromatique des fibres monomodes.

6.3 Coefficient de dispersion modale de polarisation

A l'étude.

NOTE – Les câbles à fibres optiques considérés dans la présente Recommandation ont généralement un coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) inférieur à 0,5 ps/km^{1/2}. Cela correspond à une distance de transmission limitée par la PMD d'environ 400 km dans le cas des systèmes STM à 64 kb/s.

Les systèmes dont le produit débit-distance est inférieur peuvent tolérer des valeurs de coefficient PMD plus élevées sans dégradation.

7 Sections élémentaires de câble

Une section élémentaire de câble comprend généralement un certain nombre de tronçons à longueur de livraison épissurés. Les spécifications portant sur les tronçons à longueur de livraison sont données au paragraphe 6. Les caractéristiques de transmission des sections élémentaires de câble doivent tenir compte non seulement des caractéristiques de fonctionnement des divers tronçons à longueur de livraison les composant, mais aussi, entre autres facteurs, des pertes par épissurage et des pertes dues aux connecteurs (le cas échéant).

De plus, les caractéristiques de transmission des tronçons de fibres à longueur de livraison ainsi que celles des épissures, des connecteurs, etc., auront une distribution probabiliste dont on devra souvent tenir compte lorsqu'il faudra concevoir des ensembles en obéissant à des contraintes de moindre coût. Les paragraphes ci-dessous doivent être lus en gardant à l'esprit la nature statistique de ces différents paramètres.

7.1 Affaiblissement

L'affaiblissement A d'une section élémentaire de câble est donné par la formule:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + \alpha_s \cdot \chi + \alpha_c \cdot y$$

où:

α_n est l'affaiblissement linéique de la n ième fibre dans une section élémentaire de câble;

L_n est la longueur de la n ième fibre;

m est le nombre total de fibres concaténées pour parvenir à la longueur de la section élémentaire de câble;

α_s est l'affaiblissement moyen;

χ est le nombre d'épissures dans une section par épissure élémentaire de câble;

α_c est l'affaiblissement moyen des connecteurs de ligne;

y est le nombre de connecteurs de ligne dans une section élémentaire de câble (s'il y a lieu).

Il faut prévoir une certaine marge pour le câble afin de tenir compte des modifications futures de la configuration du câble (épissures supplémentaires, concaténation de tronçons supplémentaires, effets du vieillissement, variations de température, etc.).

Cette formule ne tient pas compte des pertes dans les connecteurs d'équipements.

L'affaiblissement moyen est utilisé pour l'affaiblissement des épissures et des connecteurs. Le bilan d'affaiblissement qui sert à la conception d'un système réel doit tenir compte des variations statistiques de ces deux termes.

7.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, en picosecondes, peut être calculée à partir des coefficients de dispersion chromatique des tronçons à longueur de livraison, en supposant une relation linéaire avec la longueur, et en tenant dûment compte des signes des coefficients et des caractéristiques du système (voir 6.2).

APPENDICE I

Modélisation de l'affaiblissement spectral

L'affaiblissement linéique d'une fibre dans un spectre de longueurs d'onde peut être calculé à l'aide d'une matrice de caractérisation M et d'un vecteur v . Le vecteur contient les affaiblissements linéiques mesurés à un petit nombre (3 à 5) de longueurs d'onde prédictrices (par exemple, 1300 nm, 1330 nm, 1370 nm, 1380 nm et/ou 1550 nm). La matrice M multiplie le vecteur v pour donner un autre vecteur w qui prédit les affaiblissements linéiques à de nombreuses longueurs d'onde (par exemple à des intervalles de longueur d'onde de 10 nm de 1240 nm à 1600 nm).

La matrice M est donnée par:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix}$$

où m est le nombre de longueurs d'onde dans lesquelles les affaiblissements linéiques doivent être évalués et n le nombre de longueurs d'onde prédictrices. La matrice M multiplie alors un vecteur v (n éléments) contenant les affaiblissements linéiques mesurés pour la fibre donnée, ce qui permet d'obtenir un nouveau vecteur w (m éléments) donnant les valeurs estimées des affaiblissements linéiques dans la gamme considérée, comme suit:

$$w = M \cdot v$$

Les valeurs numériques contenues dans cette matrice générique sont à l'étude. L'écart type entre les affaiblissements linéiques réels et prévus doit être meilleur que 0,xx dB/km dans la deuxième fenêtre et meilleur que 0,yy dB/km dans la troisième fenêtre. Les valeurs de xx et de yy sont à l'étude.

Le constructeur de fibres peut également fournir une matrice spécifique qui décrit la fibre considérée d'une manière plus précise que la matrice générique. Les écarts types entre les valeurs réelles et prévues doivent être indiqués. Une matrice spécifique est présentée, à titre d'exemple, dans l'Appendice II.

Étant donné que les spectres d'affaiblissement dépendent du processus de fabrication, une matrice générique ne peut permettre qu'une estimation approximative des affaiblissements linéiques. On peut parfois obtenir une meilleure approximation en ajoutant un autre vecteur de «correction» appropriée qui doit être fourni par chaque constructeur de fibres. Les affaiblissements linéiques estimés sont donc les éléments du vecteur w , comme indiqué par la formule suivante:

$$w = M \cdot v + e$$

Si on obtient l'estimation en utilisant la matrice M spécifique du fabricant ou du type de fibre, aucun vecteur de correction e n'est alors nécessaire.

Les éléments de M et e sont obtenus sur une base statistique et les éléments du vecteur w doivent donc être interprétés comme tels. Pour indiquer l'exactitude des affaiblissements linéiques prévus, les constructeurs de fibres doivent fournir un vecteur contenant l'écart type entre les affaiblissements linéiques réels et prévus dans les deux fenêtres ainsi que les valeurs de M et/ou de e .

NOTE 1 – Pour faciliter l'utilisation de cette matrice, la fibre doit être périodiquement mesurée aux longueurs d'onde prédictrices. Le nombre de longueurs d'onde prédictrices doit être compris entre 3 et 5, une forte préférence étant accordée au nombre le plus faible si l'on peut obtenir une exactitude suffisante. Les longueurs d'onde spécifiques (par exemple 1300 nm, 1330 nm, 1370 nm, 1380 nm et/ou 1550 nm) doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 2 – Ce modèle ne prend en considération que l'affaiblissement des fibres non câblées. Il convient d'ajouter un vecteur complémentaire à w pour tenir compte des effets du câblage et de l'environnement.

APPENDICE II

Modèle de matrice

On trouvera ci-après, uniquement à titre d'illustration, un exemple de matrice $m \times n = 38 \times 3$.

S'il faut estimer l'affaiblissement spectral dans la gamme de 1240 nm à 1600 nm (par échelons de 10 nm) en utilisant des longueurs d'onde prédictives de 1310 nm, 1380 nm et 1550 nm, un exemple d'éléments de matrice qui s'est révélé applicable¹ pour certaines fibres de la Recommandation G.652 est donné ci-après:

Longueur d'onde de sortie (µm)	Longueurs d'onde prédictives		
	1310 nm	1380 nm	1550 nm
1,23	1,46027	-0,04235	-0,20771
1,24	1,35288	-0,01493	-0,13289
1,25	1,31704	-0,00412	-0,14768
1,26	1,26613	-0,00997	-0,13715
1,27	1,20167	-0,00843	-0,10635
1,28	1,14970	-0,01281	-0,06363
1,29	1,11290	-0,01059	-0,06245
1,30	1,03600	-0,00711	0,00711
1,31	0,96276	0,00342	0,05412
1,32	0,90437	0,01435	0,08572
1,33	0,86168	0,02098	0,11776
1,34	0,83194	0,05500	0,05849
1,35	0,73415	0,08336	0,14196
1,36	0,83266	0,11032	-0,10694
1,37	0,69137	0,22596	-0,05961
1,38	0,01006	0,99798	-0,01126
1,39	-0,25502	0,94764	0,48887
1,40	0,00227	0,58463	0,51813
1,41	0,25780	0,33834	0,40811
1,42	0,29085	0,20419	0,49620

¹ HANSON (T.A.): Spectral Attenuation Modelling with Matrix Models, *Conference Digest NPL Optical Fibre Measurement Conference*, p. 8 à 11, York, Royaume-Uni, 1991.

Longueur d'onde de sortie (μm)	Longueurs d'onde prédictrices		
	1310 nm	1380 nm	1550 nm
1,43	0,29329	0,13569	0,54995
1,44	0,33133	0,09266	0,51936
1,45	0,31608	0,06343	0,55905
1,46	0,24183	0,04483	0,68361
1,47	0,29207	0,03019	0,59222
1,48	0,19214	0,02196	0,75669
1,49	0,18650	0,01132	0,76122
1,50	0,21242	0,00541	0,70722
1,51	0,16884	0,00648	0,75347
1,52	0,11484	-0,00091	0,84972
1,53	0,09334	0,00419	0,85304
1,54	0,07231	-0,00021	0,88512
1,55	0,03111	-0,00115	0,94957
1,56	0,07054	-0,00321	0,87414
1,57	-0,03723	-0,01127	1,08140
1,58	-0,02543	0,00556	1,01041
1,59	-0,01370	0,00457	0,99389
1,60	-0,06916	-0,00107	1,11623

SERIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

- Série A Organisation du travail de l'UIT-T
- Série B Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
- Série C Statistiques générales des télécommunications
- Série D Principes généraux de tarification
- Série E Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
- Série F Services de télécommunication non téléphoniques
- Série G **Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques****
- Série H Systèmes audiovisuels et multimédias
- Série I Réseau numérique à intégration de services
- Série J Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
- Série K Protection contre les perturbations
- Série L Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
- Série M RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
- Série N Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
- Série O Spécifications des appareils de mesure
- Série P Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
- Série Q Commutation et signalisation
- Série R Transmission télégraphique
- Série S Equipements terminaux de télégraphie
- Série T Terminaux des services télématiques
- Série U Commutation télégraphique
- Série V Communications de données sur le réseau téléphonique
- Série X Réseaux pour données et communication entre systèmes ouverts
- Série Z Langages de programmation