



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.653

(10/2000)

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 à dispersion décalée**

Recommandation UIT-T G.653

(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
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
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
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
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS 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.653

Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée

Résumé

La présente Recommandation décrit les attributs de transmission pour une fibre optique monomodale et un câble à une longueur d'onde de dispersion nulle décalée dans une fenêtre de 1550 nm. Les définitions et les méthodes de test sont contenues dans une Recommandation UIT-T G.650. Un tableau des valeurs recommandées pour ce type de fibre est fourni afin de faciliter la référence en fonction des types de systèmes pris en charge. Des plages permises sont recommandées pour les attributs des fibres et des câbles. L'Appendice I fournit des informations sur l'attribut de liaison et sur la conception de systèmes.

Source

La Recommandation UIT-T G.653, révisée par la Commission d'études 15 de l'UIT-T, (1997-2000), a été approuvée par l'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (Montréal, 27 septembre – 6 octobre 2000).

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.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude 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 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies 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 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 2001

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
2.1	Référence normative	1
2.2	Références informatives.....	1
3	Termes et définitions	2
4	Abréviations.....	2
5	Attributs de fibre.....	2
5.1	Diamètre du champ de mode	2
5.2	Diamètre de gaine	2
5.3	Erreur de concentricité du cœur	2
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	Perte par macrocourbure	3
5.7	Propriétés des matériaux des fibres.....	4
	5.7.1 Matériaux composant les fibres.....	4
	5.7.2 Matériaux protecteurs	4
	5.7.3 Seuil de déformation permanente	4
5.8	Profil de l'indice de réfraction.....	4
5.9	Uniformité longitudinale d'une dispersion chromatique.....	4
5.10	Coefficient de dispersion chromatique	5
6	Attributs de câble	6
6.1	Affaiblissement linéique	6
6.2	Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD).....	6
7	Tableau de valeurs recommandées	7
	Appendice I – Informations pour les attributs de liaison et pour la conception de systèmes...	9
I.1	Affaiblissement	9
I.2	Dispersion chromatique	9
I.3	Temps de propagation de groupe différentiel (DGD).....	10
I.4	Coefficient de non-linéarité	10
I.5	Tableau des valeurs types habituelles	10
	Appendice II – Informations sur les statistiques de la dispersion modale de polarisation.....	11
II.1	Introduction.....	11

	Page
II.2 Collecte des données.....	12
II.3 Calcul de PMD_Q (Monte Carlo)	13
II.4 Calcul de DGD_{max} (Monte Carlo).....	13
Appendice III – Bibliographie.....	14

Recommandation UIT-T G.653

Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée

1 Domaine d'application

La présente Recommandation traite des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée ayant une longueur d'onde de dispersion nulle proche de 1550 nm et un coefficient de dispersion qui augmente de manière monotone avec la longueur d'onde. Ces fibres sont optimisées pour la fenêtre de 1550 nm mais elles peuvent également être utilisées au voisinage de 1310 nm, sous réserve des contraintes soulignées dans la présente Recommandation. Un certain nombre de dispositions sont prises pour prendre en charge la transmission à des longueurs d'onde plus élevées – pouvant atteindre 16xx, xx étant inférieur ou égal à 25 nm. Les paramètres géométriques, mécaniques et de transmission sont répartis ci-après selon trois catégories d'attributs:

- les attributs de fibre sont ceux qui sont conservés tout le long du câblage et de l'installation;
- les attributs de câble pour les câbles tels qu'ils sont livrés;
- les attributs de liaison qui sont caractéristiques des câbles concaténés, décrivant une méthode d'estimation des paramètres d'interface du système qui s'appuie sur des mesures, sur une modélisation ou sur d'autres considérations. L'Appendice I fournit des informations sur l'attribut de liaison et sur la conception de systèmes.

Le tableau de valeurs recommandées est fourni pour faciliter la référence. Il indique la sous-catégorie de base de la fibre optique. En fonction de l'évolution future de la technologie, de nouvelles sous-catégories peuvent être créées en termes d'implémentations de systèmes.

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 l'UIT-T G.650 [1]. Les caractéristiques de cette fibre, y compris la définition des paramètres qui s'appliquent, leurs méthodes de test et leurs valeurs appropriées, seront précisées à mesure que les études et l'expérience progressent.

2 Références

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée.

2.1 Référence normative

- [1] UIT-T G.650 (2000), *Définition des paramètres des fibres monomodes et méthodes de test associées*.

2.2 Références informatives

Les Recommandations de l'UIT-T ci-après contiennent des dispositions qui, par la référence qui en est faite dans ce texte, constituent d'autres informations pertinentes.

- [2] UIT-T G.663 (2000), *Aspects relatifs à l'application des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques*.

- [3] UIT-T G.691 (2000), *Interfaces optiques pour systèmes monocanaux STM-64, STM-256 et autres systèmes SDH à amplificateurs optiques.*
- [4] UIT-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques.*

3 Termes et définitions

Les définitions données dans la Recommandation G.650 [1] s'appliquent à la présente Recommandation. Les valeurs doivent être arrondies au nombre de chiffres indiqué dans le tableau des valeurs recommandées, avant d'évaluer la conformité.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

DGD	temps de propagation de groupe différentiel (<i>differential group delay</i>)
GPa	GigaPascals
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	à déterminer (<i>to be determined</i>)
WDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Attributs de fibre

Seules sont recommandées dans le présent paragraphe les caractéristiques qui constituent un cadre minimal essentiel de conception en vue de la fabrication des fibres. Les tableaux du paragraphe 7 présentent des plages ou des limites de valeurs. Parmi celles-ci, la fabrication ou l'installation des câbles peut affecter de manière significative la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée et la dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*). 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.

5.1 Diamètre du champ de mode

Une valeur nominale et la tolérance sur cette valeur nominale doivent être spécifiées à 1550 nm. Cette valeur nominale spécifiée doit se trouver dans la plage indiquée dans le paragraphe 7. La tolérance spécifiée ne doit pas être supérieure à la valeur indiquée dans le paragraphe 7. L'écart par rapport à la valeur nominale ne doit pas dépasser la tolérance spécifiée.

5.2 Diamètre de gaine

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de gaine est de 125 µm. Une tolérance est également spécifiée et elle ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans le paragraphe 7. L'écart dans la gaine par rapport à la valeur nominale ne doit pas dépasser la tolérance spécifiée.

5.3 Erreur de concentricité du cœur

L'erreur de concentricité du cœur ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le paragraphe 7.

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 réception.

5.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le paragraphe 7.

5.5 Longueur d'onde de coupure

On distingue trois types utiles de longueur d'onde de coupure:

- 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 , λ_{cc} et λ_{cj} dépend de la fibre considérée, du type de câble et des conditions de mesure. En général on a $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, mais il est difficile d'établir une relation quantitative. L'importance d'assurer une transmission monomode sur la longueur de câble minimale entre les interconnexions à la longueur d'onde minimale de fonctionnement est considérable. Cela peut être effectué en recommandant que la longueur d'onde λ_{cc} maximale de coupure de câble d'une fibre monomode câblée soit de 1270 nm, ou pour des jarretières usuelles en recommandant une longueur d'onde maximale de coupure du câble de jarretière de 1270 nm, ou pour une longueur et des courbures correspondant au cas le plus défavorable en recommandant une longueur d'onde maximale de coupure de fibre, λ_c .

La longueur d'onde de coupure du câble, λ_{cc} , ne doit pas dépasser le maximum spécifié dans le paragraphe 7.

NOTE 1 – Pour certaines applications spécifiques de câbles sous-marins, d'autres valeurs de longueur d'onde de coupure peuvent être nécessaires.

NOTE 2 – La recommandation ci-dessus n'est pas suffisante pour assurer un fonctionnement monomode dans la région des 1310 nm dans toutes les combinaisons possibles de longueur d'onde, de longueur de câble et de conditions d'installation de câble. Il convient de fixer des limites appropriées pour les valeurs de λ_c et λ_{cc} au cas où l'on prévoit un fonctionnement dans la région des 1310 nm en veillant tout particulièrement à empêcher les effets de bruit modal dans les longueurs de câble minimales entre les raccords de réparation et les jarretières.

5.6 Perte par macrocourbure

La perte par macrocourbure varie avec la longueur d'onde, le rayon de courbure et le nombre de tours autour d'un mandrin d'un rayon spécifié. La perte par macrocourbure ne doit pas dépasser le maximum indiqué dans le paragraphe 7 pour la ou les longueurs d'onde et le rayon de courbure spécifiés ainsi que pour le nombre de tours spécifié.

Si l'on souhaite utiliser la fibre à des longueurs d'onde supérieures à 1550 nm, on peut obtenir la perte maximale à la plus grande longueur d'onde prévue en effectuant la projection d'une mesure de perte à 1550 nm, en s'appuyant sur une modélisation de perte spectrale ou sur une base de données statistique pour ce type particulier de fibre. 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 – Le nombre de tours recommandé correspond au nombre approximatif de spires enroulées dans l'ensemble des coffrets d'épissurage d'une portée de répéteur. Le rayon recommandé est équivalent au rayon de courbure minimal généralement admis dans la pratique pour l'installation à long terme de fibres dans les réseaux réels, afin d'éviter les pannes dues aux contraintes de fatigue statique.

NOTE 3 – Si, pour des raisons pratiques, on décide d'effectuer l'essai avec moins de tours que le nombre de tours recommandé, il est conseillé de ne pas descendre en dessous de 40 tours et d'utiliser une valeur d'affaiblissement plus faible, proportionnelle au nombre de spires.

NOTE 4 – Si l'on envisage d'utiliser dans les coffrets d'épissures ou en d'autres endroits du système des rayons de courbure inférieurs à la valeur recommandée (par exemple, $R = 30$ mm), il est conseillé d'appliquer la même valeur d'affaiblissement maximal au même nombre de tours de fibre enroulée suivant ce rayon plus petit.

NOTE 5 – La recommandation relative aux pertes par macrocourbure 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 ainsi que pour la précision, on peut utiliser une boucle de faible diamètre à une ou plusieurs spires au lieu de procéder au test recommandé. Dans ce cas, il convient de choisir le diamètre de la boucle, le nombre de spires et la valeur maximale admissible d'affaiblissement dû à la courbure de manière à ce que les résultats soient corrélés avec le test recommandé et autorisé.

5.7 Propriétés des matériaux des fibres

5.7.1 Matériaux composant les fibres

Il convient d'indiquer 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 le raccordement de fibres différentes de silice de haute qualité permet d'obtenir des valeurs satisfaisantes quant à la perte et à la solidité des épissures.

5.7.2 Matériaux protecteurs

Il convient d'indiquer 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). Dans le cas de fibres à enveloppe unique, des indications analogues doivent être fournies.

5.7.3 Seuil de déformation permanente

La limite d'allongement spécifiée σ_p ne doit pas être inférieure au minimum spécifié dans le paragraphe 7.

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques figurent aux 1.2 et 2.6/G.650 [1].

5.8 Profil de l'indice de réfraction

Il n'est généralement pas nécessaire de connaître le profil de l'indice de réfraction.

5.9 Uniformité longitudinale d'une dispersion chromatique

A l'étude.

NOTE – A une longueur d'onde donnée, la valeur absolue locale du coefficient de dispersion chromatique peut s'éloigner de la valeur mesurée sur une longueur importante. Si cette valeur décroît de façon importante pour atteindre une valeur faible à une longueur d'onde proche d'une longueur d'onde de fonctionnement dans un système de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), le mélange de quatre ondes peut entraîner la propagation de la puissance sur d'autres longueurs d'onde, y compris, mais sans s'y limiter,

d'autres longueurs d'onde de fonctionnement. L'amplitude de la puissance de mélange de quatre ondes est une fonction de la valeur absolue du coefficient de dispersion chromatique, de la pente de dispersion chromatique, des longueurs d'onde de fonctionnement, de la puissance optique et de la distance à laquelle se produit le mélange de quatre ondes.

5.10 Coefficient de dispersion chromatique

L'équation suivante donne la dispersion chromatique $D(\lambda)$ en ps/(nm·km):

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

où λ est la longueur d'onde concernée en nm, λ_0 la longueur d'onde de dispersion nulle en nm et S_0 la pente à dispersion nulle en ps/(nm²·km). La pente S_0 est spécifiée par sa valeur maximale: $S_0 < S_{0\max}$. La longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 est spécifiée par sa valeur nominale (1550 nm) et par son écart de tolérance maximal, $\Delta\lambda_{0\max}$, symétrique de part et d'autre de 1550 nm:

$$1550 - \Delta\lambda_{0\max} < \lambda_0 < 1550 + \Delta\lambda_{0\max}$$

De plus, la valeur absolue maximale du coefficient de dispersion D_{\max} en ps/(nm·km) est donnée pour toute la largeur de la fenêtre spécifiée de part et d'autre de 1550 nm par $\Delta\lambda_w$ nm. Donc:

$$|D(\lambda)| < D_{\max}$$

$$\text{pour } 1550 - \Delta\lambda_w < \lambda < 1550 + \Delta\lambda_w$$

Lorsque l'émission a lieu sur une longueur d'onde centrale différant de $\Delta\lambda_t$, en nm, par rapport à 1550 nm (en plus ou en moins), il est possible de calculer la valeur absolue maximale du coefficient de dispersion par les formules suivantes:

$$D_m(\Delta\lambda_t) = D_{\max} \frac{\Delta\lambda_t + \Delta\lambda_{0\max}}{\Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{0\max}}$$

$$\text{pour } 0 \leq \Delta\lambda_t \leq \Delta\lambda_w \text{ et}$$

$$D_m(\Delta\lambda_t) = D_{\max} + S_{0\max}(\Delta\lambda_t - \Delta\lambda_w)$$

$$\text{pour } \Delta\lambda_w \leq \Delta\lambda_t \leq 50 \text{ nm}$$

avec $D_{\max} = D_m(\Delta\lambda_w)$. La Figure 1 illustre schématiquement cette spécification:

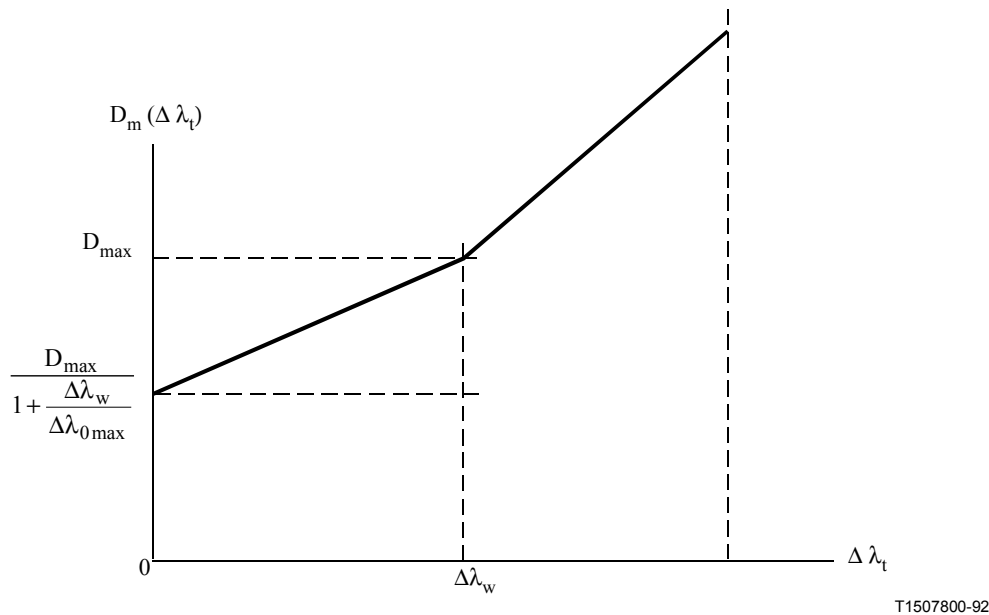


Figure 1/G.653 – Valeur absolue maximale du coefficient de dispersion

Les valeurs de $\Delta\lambda_{0\max}$, $S_{0\max}$, D_{\max} et $\Delta\lambda_w$ doivent se situer dans les plages indiquées dans le paragraphe 7.

6 Attributs de câble

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, très importantes, sont décrites dans les directives sur les méthodes de mesure.

6.1 Affaiblissement linéique

Le coefficient d'atténuation est spécifié avec une valeur maximale à une ou plusieurs longueurs d'onde dans la région des 1550 nm. Lorsque ces câbles sont destinés à être utilisés au voisinage de 1300 nm, leur affaiblissement linéique est généralement inférieur à 0,55 dB/km dans cette région. Les valeurs de coefficient d'atténuation des câbles à fibre optique ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le paragraphe 7.

6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)

La dispersion modale de polarisation de fibre câblée doit être spécifiée sur une base statistique et non sur une base de fibre individuelle. Les prescriptions ne s'appliquent qu'à l'aspect de la liaison calculée à partir d'informations sur le câble. La métrique de la spécification statistique est fournie ci-après. Des méthodes de calcul sont données dans la CEI 61282-3, et sont récapitulées dans l'Appendice II.

Le constructeur doit fournir une valeur de conception de la liaison PMD, PMD_Q , qui sert de borne statistique supérieure pour le coefficient de dispersion modale de polarisation relatif aux câbles à fibres optiques concaténés dans une éventuelle liaison définie entre des sections de câbles M. La borne supérieure est définie en termes de niveau de faible probabilité, Q, qui représente la probabilité

qu'une valeur de coefficient de dispersion modale de polarisation concaténé dépasse PMD_Q . Pour les valeurs de M et de Q indiquées dans le paragraphe 7, la valeur de PMD_Q ne doit pas dépasser le coefficient de dispersion modale de polarisation maximal qui y est spécifié.

Des mesures portant sur une fibre non câblée peuvent servir à produire des statistiques pour les fibres câblées lorsque la conception et les procédés sont stables et qu'il existe des relations connues entre les coefficients de dispersion modale de polarisation des fibres non câblées et ceux des fibres câblées. Si la preuve d'une telle relation a été apportée, l'exploitant de câbles peut facultativement spécifier une valeur maximale de dispersion modale de polarisation portant sur les fibres non câblées.

On peut interpréter les limites imposées à la distribution des valeurs des coefficients de dispersion modale de polarisation comme étant presque équivalentes à celles de l'écart statistique du temps de propagation de groupe différentiel (DGD, *differential group delay*), qui varie de manière aléatoire en fonction du temps et de la longueur d'onde. Lorsqu'une distribution des coefficients de dispersion modale de polarisation est spécifiée pour les câbles à fibres optiques, on peut fixer des limites équivalentes sur la variation du temps de propagation de groupe différentiel. La métrique et les valeurs des limites de la distribution du temps de propagation de groupe différentiel pour les liaisons sont fournies dans l'Appendice I.

7 Tableau de valeurs recommandées

Le Tableau 1 suivant récapitule les valeurs recommandées. Il représente pour la présente Recommandation la catégorie de base mise à jour.

La catégorie G.653.A est la sous-catégorie de base pour un câble à fibres optiques monomodes à dispersion décalée. Cette sous-catégorie convient aux systèmes des Recommandations UIT-T G.691 et G.692 ayant un espacement de canaux inégal dans la bande des 1550 nm.

La sous-catégorie peut être utilisée par de nombreuses applications sous-marines. Pour un certain nombre de ces applications, des limites différentes de celles indiquées ici peuvent être choisies aux fins d'une optimisation complète. Un exemple pourrait être d'autoriser des valeurs de longueur d'onde de coupure pour câbles pouvant atteindre 1500 nm.

Tableau 1/G.653 – Catégorie de câbles de base G.653.A

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	7,8 µm à 8,5 µm
	Tolérance	±0,8 µm
Diamètre de gaine	Nominal	125 µm
	Tolérance	±1 µm
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,8 µm
Non-circularité de gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1270 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	37,5 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1550 nm	0,5 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique	λ_{0min}	1500 nm
	λ_{0max}	1600 nm
	S_{0max}	0,085 ps/(nm ² ·km)
	D_{max}	3,5 ps/(nm·km)
	$\Delta\lambda_{0max}$	50 nm
	$\Delta\lambda_w$	25 nm
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	ps/√km (Note)
Attributs de câble		
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum de dispersion modale de polarisation PMD _Q	0,5 ps/√km
NOTE – Les exploitants de câbles peuvent spécifier un coefficient de dispersion modale de polarisation maximal facultatif afin de prendre en charge la prescription primaire sur PMD _Q du câble si la preuve en a été apportée pour une construction particulière de câble.		

APPENDICE I

Informations pour les attributs de liaison et pour la conception de systèmes

Une liaison concaténée comprend généralement un certain nombre de tronçons à longueur de livraison épissurés d'un câble à fibres optiques. Les prescriptions portant sur les tronçons à longueur de livraison sont données dans les paragraphes 5 et 6. Les caractéristiques de transmission des liaisons concaténées doivent tenir compte non seulement des caractéristiques de fonctionnement des tronçons de câble individuels mais aussi des statistiques de la concaténation.

Les caractéristiques de transmission des câbles à fibres optiques de longueur d'usine auront une certaine distribution de probabilité dont il est souvent nécessaire de tenir compte si tant est que les conceptions les plus économiques doivent être retenues. Les différents alinéas du présent paragraphe doivent être lus en gardant à l'esprit la nature statistique des différents paramètres.

Les valeurs d'attributs de liaison sont affectées par des facteurs autres que les câbles à fibres optiques, tels que les épissures, les connecteurs et l'installation. Ces facteurs ne peuvent pas être spécifiés dans la présente Recommandation. Pour l'estimation de valeurs d'attributs de liaison, le I.5 fournit des valeurs types pour les câbles à fibres optiques.

La méthode d'estimation des paramètres de fibre nécessaires à la conception de liens est fournie sur la base de mesures, de modélisations ou d'autres considérations.

I.1 Affaiblissement

L'affaiblissement A d'une liaison est donné par:

$$A = \alpha L + \alpha_s \chi + \alpha_c y$$

où:

- α coefficient d'atténuation type d'un câble à fibres optique dans une liaison;
- L longueur d'une liaison;
- α_s affaiblissement moyen;
- χ nombre d'épissures dans une liaison;
- α_c affaiblissement moyen des connecteurs de ligne;
- y nombre de connecteurs de ligne dans une liaison (le cas échéant).

Il convient d'attribuer une marge appropriée pour de futures modifications apportées à des configurations de câbles (épissures supplémentaires, longueurs de câble additionnelles, effets de vieillissement, variations de température, etc.). La formule ci-dessus n'inclut pas de pertes dues aux connecteurs des équipements. Les valeurs types fournies en I.5 concernent le coefficient d'atténuation des câbles à fibres optiques. Le bilan d'affaiblissement qui sert à la conception d'un système réel doit tenir compte des variations statistiques de ces paramètres.

I.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, en ps/nm, 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 (se reporter au 5.10).

Le paragraphe I.5 fournit des valeurs types pour le coefficient de dispersion, D_{1550} , et pour le coefficient de pente de dispersion, S_{1550} , à 1 550 nm. Ces valeurs, ainsi que la longueur de liaison, L_{Link} (L_{Liaison}), peuvent servir au calcul de la dispersion type utilisée pour la conception de la liaison optique.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (ps/nm)$$

I.3 Temps de propagation de groupe différentiel (DGD)

Le temps de propagation de groupe différentiel est la différence des instants d'arrivée des deux modes de polarisation, à une longueur d'onde et un instant particuliers. Pour une liaison ayant un coefficient de dispersion modale de polarisation spécifique, le temps de propagation de groupe différentiel de cette liaison varie de façon aléatoire avec le temps et la longueur d'onde comme une distribution de Maxwell qui ne contient qu'un seul paramètre, celui-ci étant le produit du coefficient de dispersion modale de polarisation de la liaison par la racine carrée de la longueur de la liaison. La dégradation du système due à une dispersion modale de polarisation à un instant et une longueur d'onde spécifiques dépend du temps de propagation de groupe différentiel en cet instant et à cette longueur d'onde. Ainsi, des moyens permettant d'établir des limites utiles sur la distribution de temps de propagation de groupe différentiel, liée à la distribution du coefficient de dispersion modale de polarisation des câbles à fibres optiques et à sa limite, sont développés et documentés dans la CEI 61282-3. La métrique des limitations de la distribution de temps de propagation de groupe différentiel suit:

NOTE – La détermination de la contribution de composants autres que le câble à fibres optiques ne s'inscrit pas dans la portée de la présente Recommandation mais elle est exposée dans la CEI 61282-3.

Longueur de liaison de référence, L_{Ref} : longueur maximale de liaison à laquelle s'appliquent le temps de propagation de groupe différentiel maximal et la probabilité maximale. Pour des longueurs de liaison supérieures, multiplier le temps de propagation de groupe différentiel maximal par la racine carrée du rapport entre la longueur effective et la longueur de référence.

Longueur maximale de câble type, L_{Cab} : les valeurs maximales sont obtenues lorsque les longueurs des câbles individuels types de la concaténation ou celles des câbles mesurées pour la détermination de la distribution du coefficient de dispersion modale de polarisation sont inférieures à cette valeur.

Temps de propagation de groupe différentiel maximal, DGD_{max} : valeur du temps de propagation de groupe différentiel que l'on peut utiliser dans la conception d'un système optique.

Probabilité maximale, P_F : probabilité qu'une valeur effective de temps de propagation de groupe différentiel soit supérieure à DGD_{max} .

Le paragraphe I.5 contient des valeurs pour cette métrique qui sont appropriées aux câbles à fibres optiques qui respectent les limites statistiques recommandées pour la dispersion modale de polarisation indiquées dans le Tableau 1.

I.4 Coefficient de non-linéarité

L'effet de la dispersion chromatique interagit avec la non-linéarité de la fibre décrite par le coefficient de non-linéarité, n_2/A_{eff} , pour ce qui concerne les dégradations du système qui sont induites par des effets optiques non linéaires (se reporter à l'UIT-T G.663). Les méthodes de test pour le coefficient de non-linéarité demeurent à l'étude.

I.5 Tableau des valeurs types habituelles

Les valeurs indiquées dans le Tableau I.1 sont représentatives des liaisons de fibres optiques concaténées conformément aux I.1, I.2 et I.3.

Tableau I.1/G.653 – Valeur représentative d'une liaison de fibres optiques concaténée

Coefficient d'atténuation	Longueur d'onde	Valeur type de liaison
	1550 nm	0,28 dB/km
	16XX nm	TBD
Temps de propagation de groupe différentiel (Note)	Longueur de liaison de référence	400 km
	Longueur type maximale de section de câble	10 km
	Temps de propagation de groupe différentiel maximal	25 ps
	Probabilité maximale	$6,5 \cdot 10^{-8}$
Coefficient de dispersion chromatique	D_{1550}	0 ps/(nm·km)
	S_{1550}	0,07 ps/(nm ² ·km)
NOTE – Ces valeurs ne sont appropriées que lorsque les valeurs de PMD _Q pour câble du Tableau 1 sont spécifiées.		

APPENDICE II

Informations sur les statistiques de la dispersion modale de polarisation

Le présent appendice récapitule un certain nombre de calculs statistiques pour la dispersion modale de polarisation. La CEI 61282-3 documente les calculs et la théorie de manière plus complète. La décomposition en est donnée sous forme des paragraphes suivants:

- II.1 Introduction
- II.2 Collecte des données
- II.3 Calcul de PMD_Q (Monte Carlo)
- II.4 Calcul de DGD_{max} (Monte Carlo)

NOTE – D'autres méthodes de calcul existent et sont définies dans la CEI 61282-3. La méthode de Monte Carlo est indiquée ici car elle est la plus facile à décrire.

II.1 Introduction

La dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) est un attribut statistique qui, pour une fibre donnée, est définie comme étant la moyenne de valeurs mesurées de temps de propagation de groupe différentiels (DGD) sur une plage de longueurs d'onde. Étant donné que les valeurs de temps de propagation de groupe différentiel varient aléatoirement en fonction du temps et de la longueur d'onde, il existe une limite inférieure théorique à la reproductibilité réalisable de la valeur communiquée de la dispersion modale de polarisation égale à ±15% environ. Cette caractéristique implique qu'il n'est pas approprié de sélectionner des fibres ou câbles individuels selon une spécification plus contraignante que la capacité du procédé. Ces sélections sont souvent appropriées pour des attributs déterministes tels que l'affaiblissement mais, en général, elles ne le sont pas pour la dispersion modale de polarisation. C'est donc qu'une spécification portant sur la distribution totale du procédé est plus raisonnable.

Un second élément à considérer pour la fonctionnalité de dispersion modale de polarisation est que la dégradation du système à un instant et à une longueur d'onde donnés est contrôlée par la valeur du temps de propagation de groupe différentiel, qui varie statistiquement autour de la valeur de dispersion modale de polarisation. Si la valeur de la dispersion modale de polarisation est fournie

pour une fibre câblée particulière, on peut calculer la probabilité que le temps de propagation de groupe différentiel soit supérieur à une valeur donnée. Il est toutefois évident que l'application de ces formules à une valeur maximale spécifiée donnera une vue très imprécise du fonctionnement réel du système. Une spécification statistique portant sur la dispersion modale de polarisation fournira cependant une limite statistique aux valeurs du temps de propagation de groupe différentiel pour la population prise dans son ensemble. Cette limite, définie en termes de probabilité, conduit à une valeur utilisable dans la conception de systèmes qui est inférieure d'environ 20% quant à la valeur du temps de propagation de groupe différentiel et inférieure de deux ordres de grandeur quant à la probabilité aux valeurs qu'on aurait obtenues sans une spécification statistique.

Pour la première considération, il est souhaitable de définir une métrique statistique unique pour la distribution des valeurs de dispersion modale de polarisation qui sont mesurées sur des câbles à fibres optiques. Il est donc nécessaire que la métrique incorpore à la fois l'aspect de la moyenne du procédé et celui de la variabilité du procédé. Un exemple d'une telle métrique est la limite supérieure de confiance à un certain niveau de probabilité.

Il est bien connu que le coefficient de dispersion modale de polarisation d'un ensemble de câbles concaténés peut être estimé en calculant la moyenne quadratique des coefficients de dispersion modale de polarisation des câbles individuels. Afin de donner plus de sens à la métrique de limite supérieure de confiance pour une application, on calcule la borne supérieure d'une liaison concaténée de vingt câbles. Ce nombre de câbles est certes inférieur à celui utilisé dans la plupart des liaisons mais il est suffisamment grand pour avoir un sens en termes de projection des distributions de temps de propagation de groupe différentiel pour les liaisons concaténées. Une valeur de probabilité de 0,01% est également normalisée – en partie pour obtenir une équivalence avec la probabilité que le temps de propagation de groupe différentiel dépasse une valeur limite, que l'on exige très basse. La limite supérieure de confiance est appelée PMD_Q , ou valeur de conception de liaison et ce type de spécification est connu comme la Méthode 1.

La limite de probabilité pour le temps de propagation de groupe différentiel est réglée à $6,5 \cdot 10^{-8}$ sur la base de différentes considérations concernant les systèmes, y compris la présence éventuelle dans les liaisons d'autres composants générateurs de dispersion modale de polarisation. La CEI 61282-3 décrit une méthode de détermination d'un maximum (défini en termes de probabilité) de manière que, si une distribution satisfait à la prescription de la Méthode 1, le temps de propagation de groupe différentiel à travers des liaisons composées uniquement de câbles à fibres optiques dépasse le temps de propagation de groupe différentiel maximal avec une probabilité inférieure à $6,5 \cdot 10^{-8}$. La valeur DGD_{max} est fixée pour une gamme étendue de formes de distribution. Cette méthode du DGD_{max} pour spécifier la distribution de la dispersion modale de polarisation pour des câbles à fibres optiques est appelée Méthode 2. La CEI 61282-3 fournit des méthodes pour combiner les paramètres de la Méthode 2 avec ceux d'autres composants optiques.

La Méthode 1 est une métrique basée sur les quantités qui sont l'objet de la mesure et, donc, elle est d'une certaine manière plus simple à utiliser dans le commerce en tant que prescription normative. La Méthode 2 est un moyen d'extrapoler les implications pour la conception de systèmes et, donc, elle est incluse en tant qu'information pour la conception de systèmes.

II.2 Collecte des données

Les calculs sont effectués avec des valeurs de dispersion modale de polarisation qui sont représentatives d'une période donnée de la construction et de la fabrication d'un câble. En général, au moins 100 valeurs sont nécessaires. L'échantillon est normalement prélevé sur différents câbles de production et en différents endroits sur les fibres.

La distribution des câbles peut être élargie avec des mesures portant sur des fibres non câblées, à la condition qu'on ait apporté, pour une construction donnée, la preuve d'une relation stable entre les valeurs pour les fibres non câblées et celles pour le câble. Une manière d'augmenter cette distribution

est de générer plusieurs valeurs possibles pour les câbles à partir de la valeur de chaque fibre non câblée. Il convient de choisir au hasard ces différentes valeurs pour qu'elles soient représentatives de la relation habituelle et de la variabilité qui découle, par exemple, de la reproductibilité des mesures. Sachant que l'étendue des variations comprend l'erreur de reproductibilité, cette méthode d'estimation de la distribution des valeurs de dispersion modale de polarisation pour câbles peut conduire à surestimer PMD_Q .

La longueur des échantillons mesurés pourrait sembler avoir des implications sur les déductions de la Méthode 2. Cet aspect a été étudié – les conclusions en sont les suivantes. Les implications de la Méthode 2 restent valides pour toute liaison ayant une longueur inférieure à 400 km tant que:

- soit les câbles installés ont une longueur inférieure à 10 km;
- soit les longueurs mesurées sont inférieures à 10 km.

II.3 Calcul de PMD_Q (Monte Carlo)

D'autres méthodes de calcul sont indiquées dans la CEI 61282-3. La méthode de Monte Carlo est indiquée ici car elle est la plus facile à décrire et utilise le moins d'hypothèses.

Les valeurs mesurées des coefficients de dispersion modale de polarisation sont représentées par x_i , i allant de 1 à N , le nombre de mesures. Ces valeurs sont utilisées pour générer 100 000 valeurs de coefficient de dispersion modale de polarisation pour une liaison concaténée, dont chacune est calculée avec la moyenne quadratique de 20 valeurs de câble individuelles choisies au hasard dans la population échantillon.

NOTE – Lorsque $N = 100$, il existe $5,3 \cdot 10^{20}$ valeurs de liaison possibles.

Pour chaque calcul de valeur de liaison, choisir 20 nombres aléatoires compris entre 1 et N . Choisir ces valeurs et les affecter d'un indice, k . Le coefficient de dispersion modale de polarisation pour la liaison, y , est calculé de la manière suivante:

$$y = \left(\frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} x_k^2 \right)^{1/2} \quad (\text{II-1})$$

Consigner ces 100 000 valeurs de y dans un histogramme de haute densité au fur et à mesure qu'elles sont calculées. Lorsque la saisie est achevée, se servir de l'histogramme pour calculer la fonction de probabilité cumulée et déterminer la valeur de dispersion modale de polarisation associée avec un niveau de confiance de 99,99%. Consigner cette dernière valeur comme étant PMD_Q . Si la valeur calculée de PMD_Q est inférieure à la valeur spécifiée [0,5 ps/racine(km)], la distribution satisfait à la Méthode 1.

II.4 Calcul de DGD_{\max} (Monte Carlo)

Ce calcul s'appuie sur celui de PMD_Q . En l'occurrence, une valeur de DGD_{\max} est prédéfinie (à 25 ps) et on calcule une probabilité, P_F , de dépasser cette valeur. Si la valeur calculée est inférieure à la valeur spécifiée ($6,5 \cdot 10^{-8}$), la distribution satisfait à la Méthode 2.

Avant de démarrer la méthode de Monte Carlo, calculer la limite du coefficient de dispersion modale de polarisation, P_{\max} , de la manière suivante:

$$P_{\max} = \frac{DGD_{\max}}{\sqrt{L_{ref}}} = \frac{25}{20} = 1,25$$

Pour chaque paire consécutive parmi 20 valeurs de concaténation de liaison pour câble, y_{2j-1} et y_{2j} , une valeur de concaténation de 40 câbles, z_j , est générée de la manière suivante:

$$z_j = \left(\frac{y_{2j-1}^2 + y_{2j}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (\text{II-2})$$

NOTE – On obtient ainsi 50 000 valeurs de z_j , ce qui constitue un nombre convenable.

Calculer la probabilité de dépasser DGD_{\max} sur la jème concaténation de 40 liaisons, p_j , de la manière suivante:

$$P_j = 1 - \int_0^{P_{\max}/z_j} 2 \left(\frac{4}{\eta} \right)^{3/2} \frac{t^2}{\Gamma(3/2)} \exp \left[-\frac{4}{\eta} t^2 \right] dt \quad (\text{II-3})$$

ExcellTM définit une fonction, GAMMADIST (X, ALPHA, BETA, Cumulative), qui permet de calculer p_j . Il convient d'appeler cette fonction de la manière suivante:

$$P_j = 1 - \text{GAMMADIST}(4 * P_{\max} * P_{\max} / (\text{PI}() * Z_j * Z_j), 1.5, 1, \text{TRUE}) \quad (\text{II-4})$$

La probabilité de dépasser DGD_{\max} , P_F , est donnée par:

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j P_j \quad (\text{II-5})$$

Si la probabilité P_F est inférieure à la valeur spécifiée, la distribution satisfait à la Méthode 2.

APPENDICE III

Bibliographie

- CEI 61282-3 (projet en cours), *Directives et procédures d'essai des systèmes pour tenir compte de la dispersion en mode polarisé (PMD) dans les systèmes analogiques et numériques à fibres optiques monomodales.*

SÉRIES 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 de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication