



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.655

(03/2003)

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

Caractéristiques des supports de transmission – Câbles à
fibres optiques

**Caractéristiques des fibres et câbles optiques
monomodes à dispersion décalée non nulle**

Recommandation UIT-T G.655

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
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

Recommandation UIT-T G.655

Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle

Résumé

La présente Recommandation décrit les attributs géométriques, mécaniques et relatifs à la transmission d'une fibre optique monomode dont le coefficient de dispersion chromatique en valeur absolue doit, pour l'ensemble de la gamme de longueurs d'onde comprises entre 1530 nm et 1565 nm, être supérieur à une certaine valeur non nulle. Cette dispersion réduit l'augmentation des effets non linéaires qui sont particulièrement désagréables dans les systèmes de multiplexage par répartition en longueur d'onde à haute densité (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Le texte ci-après est la dernière révision d'une Recommandation qui a initialement été établie en 1996. Cette révision permet de définir une nouvelle catégorie de fibres ayant une valeur théorique de dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) sur la liaison, réduite à 0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$, afin que puissent être pris en charge les systèmes dont le produit débit binaire/distance est plus élevé que ceux qui étaient prévus dans les révisions précédentes. La présente révision devrait permettre que la réussite commerciale de cette fibre se poursuive dans le monde en pleine évolution des systèmes de transmission optique à rendement élevé.

Source et historique

La Recommandation G.655 (2003) de l'UIT-T, révisée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 16 mars 2003 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

- | | |
|---------|---|
| 1996 | Première version. |
| 10/2000 | Version 2. Cette révision comprend l'adjonction de tableaux pour les différents niveaux de prises en charge du système. |
| 03/2003 | Version 3. Selon une variante de la procédure d'approbation, en tant que troisième version. Conformément à l'accord sur les bandes spectrales, la limite supérieure de la bande L de 16xx nm a été remplacée par 1625 nm. Les mots sous-catégorie de base et sous-catégorie ont été remplacés par catégorie de base et catégorie, respectivement. Des prescriptions relatives à la dispersion PMD ont été ajoutées pour toutes les catégories, deux catégories ayant des limites réduites (comparées à la valeur de 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$). Quant à l'essai de macrocourbure, le diamètre du mandrin a été réduit et son rayon vaut 30 mm. Comme indiqué ci-dessus, la présente Recommandation a considérablement évolué au fil des années; l'attention du lecteur est donc attirée sur le fait qu'il convient de prendre en considération la version appropriée pour déterminer les caractéristiques du produit déjà mis en place, en tenant compte de l'année de sa production. En fait, les produits sont censés être conformes avec la Recommandation qui était en vigueur au moment de leur fabrication, sans toutefois être totalement conformes aux versions suivantes de la Recommandation. |

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 2003

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références.....	2
	2.1 Références normatives.....	2
	2.2 Références informatives	2
3	Termes et définitions	2
4	Abréviations.....	2
5	Attributs des fibres.....	3
	5.1 Diamètre du champ de mode.....	3
	5.2 Diamètre de gaine.....	3
	5.3 Erreur de concentricité du cœur	3
	5.4 Non-circularité.....	3
	5.5 Longueur d'onde de coupure	3
	5.6 Perte par macrocourbure.....	4
	5.7 Propriétés des matériaux des fibres	4
	5.8 Profil de l'indice de réfraction	5
	5.9 Uniformité longitudinale de la dispersion chromatique	5
	5.10 Coefficient de dispersion chromatique.....	5
6	Attributs des câbles.....	5
	6.1 Affaiblissement linéique.....	6
	6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)	6
7	Tableaux des valeurs recommandées.....	6
Appendice I – Informations pour les attributs de liaison et la conception de systèmes		10
	I.1 Affaiblissement.....	11
	I.2 Dispersion chromatique.....	11
	I.3 Temps de propagation de groupe différentiel (DGD)	11
	I.4 Coefficient de non-linéarité.....	12
	I.5 Tableaux des valeurs types usuelles	12
	I.6 Exemples d'implémentations	13
Appendice II – Bibliographie.....		13

Recommandation UIT-T G.655

Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle

1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit une fibre monomode dont la dispersion chromatique (en valeur absolue) doit être supérieure à une valeur non nulle sur toute la gamme des longueurs d'onde correspondant à un usage prévisible dans la zone des 1550 nm. Cette dispersion réduit l'augmentation des effets non linéaires qui peuvent être particulièrement désagréables dans les systèmes de multiplexage par répartition en longueur d'onde à haute densité (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*).

Ces fibres sont optimisées en vue de l'utilisation sur des longueurs d'ondes dans une zone prescrite comprise entre 1530 nm et 1565 nm. Un certain nombre de dispositions sont prises pour prendre en charge la transmission à des longueurs d'onde plus élevées – pouvant atteindre 1625 nm. Dans le futur, une extension à des longueurs d'onde inférieures à 1530 nm est possible (à déterminer). Les paramètres géométriques, mécaniques et de transmission sont répartis ci-après selon trois catégories d'attributs:

- les attributs de fibre qui sont ceux conservés tout le long du câblage et de l'installation;
- les attributs de câble qui sont recommandés 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 pour les attributs de liaison et la conception de systèmes.

La présente Recommandation, ainsi que les différentes catégories de rendement figurant dans les tableaux du paragraphe 7, sont destinées à prendre en charge les Recommandations suivantes concernant des systèmes proches:

- Rec. UIT-T G.957;
- Rec. UIT-T G.691;
- Rec. UIT-T G.692;
- Rec. UIT-T G.693;
- Rec. UIT-T G.959.1.

La présente Recommandation contient une combinaison de conceptions de fibres susceptibles de couvrir un large spectre d'applications. Un certain réarrangement pourrait être considéré dans le futur. Cependant, la compatibilité des systèmes pour les fibres avec des caractéristiques différentes n'est pas prouvée et généralement on peut se poser des questions quant à leur utilisation simultanée sur un système unique – il convient qu'il s'agisse d'un accord préalable convenu entre l'utilisateur et les constructeurs.

NOTE – La dégradation de la dispersion modale de polarisation peut se produire lorsque l'on applique les recommandations du Tableau 1 à une transmission de longue distance (400 km) à 10 Gbit/s, à moins d'ajouter des prescriptions relatives à la dispersion modale de polarisation.

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 des Recommandations UIT-T G.650.1 et G.650.2. 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

2.1 Références normatives

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. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- Recommandation UIT-T G.650.1 (2002), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.650.2 (2002), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes.*

2.2 Références informatives

- Recommandation UIT-T G.663 (2000), *Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.691 (2000), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64, STM-256 et autres systèmes SDH monocanaux à amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.693 (2001), *Interfaces optiques pour les connexions locales.*
- Recommandation UIT-T G.957 (1999), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.959.1 (2001), *Interfaces de couche Physique du réseau optique de transport.*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Recommandation, les définitions fournies dans les Recommandations UIT-T G.650.1 et G.650.2 s'appliquent. Les valeurs doivent être arrondies au nombre de chiffres indiqué dans les tableaux de valeurs recommandées, avant d'évaluer la conformité.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

A_{eff}	surface efficace (<i>effective area</i>)
DGD	temps de propagation de groupe différentiel (<i>differential group delay</i>)
DWDM	multiplexage par répartition en longueur d'onde à haute densité (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	gigaPascal
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)

PMD _Q	paramètre statistique pour la dispersion PMD dans les liaisons (<i>statistical parameter for PMD link</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 des fibres

Seules sont recommandées dans le présent paragraphe les caractéristiques qui constituent un cadre minimal essentiel de conception pour les fabricants de 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 minimale doivent toutes deux être spécifiées à 1550 nm. La valeur nominale spécifiée doit se situer dans la plage indiquée dans le paragraphe 7. La tolérance spécifiée ne doit pas dépasser 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 nominale ment 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 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:

- une longueur d'onde de coupure λ_{cc} de câble;
- une longueur d'onde de coupure λ_c de fibre;
- une longueur d'onde de coupure de câble de jarretière, λ_{cj} .

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

La corrélation des valeurs mesurées de λ_c , de λ_{cc} et de λ_{cj} dépend de la fibre, du type de câble et des conditions d'essai spécifiques. Alors qu'en général, $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, une relation quantitative générale ne peut pas être facilement établie. 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 1480 nm, pour des jarretières usuelles en recommandant une longueur d'onde maximale de coupure du câble de jarretière de 1480 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 de 1470 nm.

La longueur d'onde de coupure du câble, λ_{cc} , doit être inférieure au maximum spécifié dans le paragraphe 7.

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.

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

NOTE 2 – Le nombre recommandé de tours 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 – 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 5 – Pour des tests de routine, pour faciliter la mesure et 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 la perte admissible.

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 le raccordement de fibres différentes de silice de haute qualité permet d'obtenir des valeurs satisfaisantes en matière de perte et de solidité des épissures.

5.7.2 Matériaux protecteurs

Les propriétés physiques et chimiques des matériaux utilisés pour la couche primaire de la fibre et la meilleure technique à employer pour retirer cette couche le cas échéant, 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

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 de la dispersion chromatique

A l'étude.

NOTE – A une longueur d'onde donnée, la valeur absolue locale du coefficient de dispersion peut s'éloigner de la valeur mesurée sur une longueur importante. Si cette valeur décroît de façon importante pour une valeur d'onde s'approchant 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, incluant les autres longueurs d'onde en fonctionnement, mais pas celles-ci seulement. L'amplitude de la puissance de mélange de quatre ondes est une fonction de la valeur absolue du coefficient de dispersion, de la pente de dispersion, des longueurs d'onde de fonctionnement, de la puissance optique et de la distance sur laquelle se produit le mélange de quatre ondes.

5.10 Coefficient de dispersion chromatique

Le coefficient de dispersion chromatique, D , est spécifié dans une plage de longueurs d'onde en imposant des limites aux valeurs absolues autorisées du coefficient de dispersion chromatique. Le coefficient de dispersion chromatique ne doit pas passer par zéro dans la plage de longueurs d'onde spécifiée. Le signe de la dispersion chromatique est également spécifié. La forme de cette spécification est:

$$D_{min} \leq |D(\lambda)| \leq D_{max} \quad \text{pour } \lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$$

où:

$$0,1 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \leq D_{min} \leq D_{max} \leq 10,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}; \text{ et}$$

$$1530 \text{ nm} \leq \lambda_{min} \leq \lambda_{max} \leq 1565 \text{ nm}, \text{ et}$$

$$D_{max} \leq D_{min} + 5,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

Les valeurs de D_{min} , D_{max} , λ_{min} et λ_{max} ainsi que le signe doivent se situer dans les plages indiquées dans le paragraphe 7. L'Appendice I fournit un certain nombre d'exemples d'implémentations. L'extension à des plages de longueurs d'onde au-dessus de 1565 nm et en dessous de 1530 nm est en cours d'études.

NOTE 1 – D_{min} ne se produit pas nécessairement à λ_{min} et D_{max} ne se produit pas nécessairement à λ_{max} .

NOTE 2 – Il convient que l'uniformité de la dispersion chromatique soit compatible avec le fonctionnement du système.

NOTE 3 – Le signe de D ne change pas sur la gamme de longueurs d'onde indiquée ci-dessus pour une fibre donnée, mais il peut changer d'une fibre à l'autre à l'intérieur d'un système.

NOTE 4 – Selon la conception du système et le type de transmission, il peut être nécessaire de spécifier le signe de D .

NOTE 5 – Les spécifications relatives à la dispersion chromatique découlent du système de multiplexage à répartition en longueur d'onde, qui doit équilibrer la dispersion chromatique de premier ordre par différents effets non linéaires, tels que le mélange de quatre ondes, la modulation de phase croisée, l'instabilité de modulation, la diffusion Brillouin stimulée et la formation de solitons (voir la Rec. UIT-T G.663). L'effet de la dispersion chromatique interagit avec la non-linéarité de la fibre, décrite par le coefficient de non-linéarité.

NOTE 6 – Il n'est pas nécessaire de mesurer par routine le coefficient de dispersion chromatique.

6 Attributs des câbles

Etant donné que les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au paragraphe 5 sont peu affectées par le processus de câblage, le présent paragraphe indiquera quelles recommandations concernent principalement les caractéristiques de transmission des longueurs

d'usine câblées. Les conditions ambiantes et les conditions de mesure, très importantes, sont décrites dans les directives sur les méthodes de mesure.

6.1 Affaiblissement linéique

L'affaiblissement linéique est spécifié avec une valeur maximale à une ou plusieurs longueurs d'onde dans la région de 1550 nm. Les valeurs de l'affaiblissement linéique des câbles à fibres optiques ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le paragraphe 7.

NOTE – L'affaiblissement linéique peut être calculé pour un spectre de longueurs d'onde, sur la base de mesures effectuées pour quelques (3 ou 4) longueurs d'onde prédictives. Cette procédure est décrite au § 5.4.4/G.650.1 et un exemple en est donné à l'Appendice III/G.650.1.

6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)

Les tableaux ne comprennent pas tous des prescriptions relatives à la dispersion modale de polarisation (PMD). S'il y a lieu, 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 IV/G.650.2.

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 du coefficient 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 aléatoirement 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.

NOTE 1 – La valeur du paramètre PMD_Q devrait être calculée pour divers types de câbles, et habituellement au moyen de valeurs d'échantillon de la dispersion PMD. Les échantillons devraient être choisis parmi des câbles de fabrication similaire.

NOTE 2 – La spécification du paramètre PMD_Q ne devrait pas s'appliquer à des câbles courts tels que les câbles de raccordement, les câbles intérieurs ou les câbles-souches.

7 Tableaux des valeurs recommandées

Les tableaux suivants récapitulent les valeurs recommandées pour un nombre de catégories de fibres qui satisfont aux objectifs de la présente Recommandation. Ces catégories se distinguent dans une large mesure par les spécifications relatives à la dispersion PMD et par les caractéristiques en

matière de dispersion chromatique. Voir l'Appendice I pour plus d'informations sur les distances de transmission et les débits binaires comparés aux spécifications relatives à la dispersion PMD.

Le Tableau 1 "G.655.A, Attributs", contient des attributs et valeurs recommandés pour la prise en charge de nombreuses applications G.691, G.692, G.693 et G.959.1. Pour les applications G.692, en fonction des longueurs d'onde de canaux et des caractéristiques de dispersion de la fibre spécifique, la puissance d'injection maximale pourrait être restreinte et l'espacement minimal type des canaux pourrait être restreinte à 200 GHz.

Le Tableau 2 "G.655.B, Attributs", contient des attributs et valeurs recommandés pour la prise en charge de nombreuses applications G.691, G.692, G.693 et G.959.1. Pour les applications G.692, en fonction des longueurs d'onde de canaux et des caractéristiques de dispersion de la fibre spécifique, la puissance d'injection totale pourrait être supérieure à celle des fibres du tableau précédent et l'espacement minimal type des canaux est de 100 GHz ou moins. La prescription relative à la dispersion modale de polarisation permet l'exploitation de systèmes STM-64 dont la longueur est supérieure ou égale à 400 km.

Le Tableau 3 "G.655.C, Attributs", est semblable au Tableau G.655.B, mais les spécifications relatives à la dispersion PMD plus restrictives admettent des systèmes STM-64 de longueurs supérieures à 400 km, ainsi que des applications STM-256 G.959.1.

NOTE – De nombreuses applications sous-marines peuvent utiliser les fibres des catégories G.655.B et G.655.C. 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 consister à autoriser des valeurs de longueur d'onde de coupure pour les câbles pouvant atteindre 1500 nm.

L'Appendice I illustre divers exemples d'implémentations qui sont différentes par les valeurs de dispersion chromatique, de pente de dispersion et par les valeurs de coefficient de non-linéarité pour les liaisons. Ces options illustrent les différentes possibilités de compromis entre puissance, espacement de canaux, longueur de liaison, espacement d'amplificateur et débit binaire.

Tableau 1/G.655 – G.655.A Attributs

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage des valeurs nominales	8-11 μm
	Tolérance	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diamètre de gaine	Nominal	125 μm
	Tolérance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Erreur de concentricité du coeur	Maximum	0,8 μm
Non-circularité de gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1450 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1550 nm	0,50 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa

Tableau 1/G.655 – G.655.A Attributs

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Coefficient de dispersion chromatique Gamme de longueurs d'onde: 1530 à 1565 nm	λ_{min} et λ_{max}	1530 nm et 1565 nm
	Valeur minimale de D_{min}	0,1 ps/nm·km
	Valeur maximale de D_{max}	6,0 ps/nm·km
	Signe	Positif ou négatif
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	(voir Note)
Attributs des câbles		
Attribut	Détail	Valeur
Affaiblissement linéique	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01 %
	Maximum 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 le paramètre PMD _Q du câble si la preuve en a été apportée pour une fabrication particulière de câble.		

Tableau 2/G.655 – G.655.B Attributs

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	8-11 μm
	Tolérance	± 0,7 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	1450 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,50 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa

Tableau 2/G.655 – G.655.B Attributs

Attributs des fibres		
Coefficient de dispersion chromatique Gamme de longueurs d'onde: 1530 à 1565 nm	λ_{min} & λ_{max}	1530 nm et 1565 nm
	Valeur minimale de D_{min}	1,0 ps/nm·km
	Valeur maximale de D_{max}	10,0 ps/nm·km
	Signe	Positif ou négatif
	$D_{max} - D_{min}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coefficient de dispersion chromatique Gamme de longueurs d'onde: 1565 à 1625 nm	λ_{min} & λ_{max}	TBD
	Valeur minimale de D_{min}	TBD
	Valeur maximale de D_{max}	TBD
	Signe	Positif ou négatif
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	(voir Note)
Attributs de câble		
Attribut	Détail	Valeur
Affaiblissement linéique	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
	Maximum à 1625 nm	0,4 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum 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 le paramètre PMD _Q du câble si la preuve en a été apportée pour une fabrication particulière de câble.		

Tableau 3/G.655 – G.655.C Attributs

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage des valeurs nominales	8-11 μ m
	Tolérance	$\pm 0,7$ μ m
Diamètre de gaine	Nominal	125 μ m
	Tolérance	± 1 μ m
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,8 μ m
Non-circularité de gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1450 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,50 dB

Tableau 3/G.655 – G.655.C Attributs

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique Gamme de longueurs d'onde: 1530 à 1565 nm	λ_{min} et λ_{max}	1530 nm et 1565 nm
	Valeur minimale de D_{min}	1,0 ps/nm·km
	Valeur maximale de D_{max}	10,0 ps/nm·km
	Signe	Positif ou négatif
	$D_{max} - D_{min}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coefficient de dispersion chromatique Gamme de longueurs d'onde: 1565 à 1625 nm	λ_{min} et λ_{max}	TBD
	Valeur minimale de D_{min}	TBD
	Valeur maximale de D_{max}	TBD
	Signe	Positif ou négatif
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	(voir Note)
Attributs des câbles		
Attribut	Détail	Valeur
Affaiblissement linéique	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
	Maximum à 1625 nm	0,4 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01 %
	Maximum PMD _Q	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
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 le paramètre PMD _Q du câble si la preuve en a été apportée pour une fabrication particulière de câble.		

Appendice I

Informations pour les attributs de liaison et 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 appendice doivent être lus en gardant à l'esprit la nature statistique des différents paramètres.

Les attributs de liaison sont affectés 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 paragraphe I.5 fournit des valeurs types pour les liaisons à fibres optiques. Le paragraphe I.6 présente des exemples d'implémentations – les valeurs types de dispersion chromatique varient d'un exemple à l'autre. Les méthodes d'estimation des paramètres de fibre nécessaires à la conception de systèmes sont fournies sur la base de mesures, de modélisations ou d'autres considérations.

I.1 Affaiblissement

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

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

où:

- α affaiblissement linéique type des câbles à fibres optiques dans une liaison
- α_s perte moyenne d'épissure
- x nombre d'épissures dans une liaison
- α_c perte moyenne des connecteurs de ligne
- y nombre de connecteurs de ligne dans une liaison (s'il y a lieu)
- L longueur de la liaison

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 au paragraphe I.5 concernent l'affaiblissement linéique des liaisons à fibres optiques. Il convient que le bilan d'affaiblissement qui sert à la conception d'un système réel tienne compte des variations statistiques de ces deux 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 (voir le § 5.10).

Lorsque ces fibres sont utilisées pour la transmission dans la région de 1550 nm, on utilise parfois l'accommodation de la dispersion chromatique. En l'occurrence, la dispersion chromatique moyenne de la liaison est utilisée pour la conception. Cette relation est décrite en termes des classiques coefficients de dispersion chromatique et de pente de dispersion chromatique à 1550 nm.

Les valeurs types du coefficient de dispersion chromatique, D_{1550} et du coefficient de pente de dispersion chromatique, S_{1550} , à 1550 nm varient avec la réalisation spécifique. Pour les exemples donnés, on peut trouver des valeurs au paragraphe I.6. 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, $L_{Réf}$: 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} .

I.4 Coefficient de non-linéarité

L'effet de la dispersion chromatique interagit avec 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 (voir les Recommandations UIT-T G.663 et G.650.2). Les valeurs types varient avec l'implémentation. Les méthodes de test pour le coefficient de non-linéarité demeurent à l'étude.

I.5 Tableaux des valeurs types usuelles

Les valeurs indiquées dans les Tableaux I.1 et I.2 ci-après sont représentatives des liaisons de fibres optiques concaténées conformément aux paragraphes I.1 et I.3, respectivement. Les valeurs impliquées au Tableau I.2 du temps DGD maximal, induites par les fibres, sont destinées à fournir des indications en ce qui concerne les prescriptions pour les autres éléments optiques qui pourraient être présents dans la liaison.

Tableau I.1/G.655 – Valeurs de l'affaiblissement dans la liaison

Affaiblissement linéique	Gamme de longueurs d'onde	Valeur type dans la liaison
Voir Note	1530 nm à 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm à 1625 nm	0,35 dB/km
NOTE – La valeur type pour la liaison correspond à l'affaiblissement linéique employé dans les Recommandations UIT-T G.957 et G.692.		

Tableau I.2/G.655 – Temps de propagation différentiel de groupe

Maximum PMD _Q (ps/√km)	Longueur de la liaison (km)	Temps DGD maximal impliqué, induit par les fibres (ps)	Débits binaires dans les canaux
Pas de spécification			Jusqu'à 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (Note)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	>4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s

NOTE – Cette valeur s'applique aussi pour les systèmes Ethernet à 10 Gbit/s.

NOTE – La longueur de la section du câble est de 10 km sauf pour la liaison de longueur supérieure à 4000 km à 0,10 ps/√km, où elle est fixée à 25 km. Le niveau de probabilité est de $6,5 \cdot 10^{-8}$.

1.6 Exemples d'implémentations

Les exemples ci-après illustrent des implémentations qui sont conçues pour optimiser différentes possibilités de compromis entre puissance, espacement de canaux, séparation d'amplificateur, longueur de liaison et débit binaire. Tous ces exemples illustrent principalement des variations dans les coefficients de dispersion chromatique, de pente de dispersion et de non-linéarité qui sont autorisés. Ce ne sont que des exemples qui n'excluent en rien d'autres possibilités de réalisations. Leurs identificateurs sont arbitraires et ne reflètent aucune priorité.

Tableau I.3/G.655 – Exemples avec $\lambda_{min} = 1530$ nm et $\lambda_{max} = 1565$ nm

Identificateur d'exemple	D_{min} (ps/nm·km)	D_{max} (ps/nm·km)	Signe	Coefficient de dispersion type @ à 1550 nm (ps/nm·km)	Pente de dispersion type à 1550 nm @ (ps/nm ² ·km)
A	1,3	5,8	+	3,7	0,070
B	2,0	6,0	+	4,2	0,085
C	2,6	6,0	+	4,4	0,045
D	5,0	10,0	+	8,0	0,058
E	1,0	6,0	-	-2,3	0,065

NOTE – Les valeurs correspondantes de dispersion chromatique pour la région de 1600 nm sont à l'étude.

Appendice II

Bibliographie

- CEI 61282-3 (2002), *Guides de conception des systèmes de communication à fibres optiques – Partie 3: calcul de la dispersion en mode de polarisation.*

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	Réseaux câblés et 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, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie 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 généraux logiciels des systèmes de télécommunication