

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.654

(12/2006)

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

Caractéristiques des supports de transmission et des
systèmes optiques – Câbles à fibres optiques

**Caractéristiques des câbles et fibres optiques
monomodes à longueur d'onde de coupure
décalée**

Recommandation UIT-T G.654

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
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	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.639
Systèmes optiques en espace libre	G.640–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.679
Caractéristiques des systèmes optiques	G.680–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
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.654

Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée

Résumé

La présente Recommandation décrit les attributs géométriques, mécaniques et de transmission d'une fibre optique monomode ou d'un câble à fibres optiques monomodes, dont la longueur d'onde à dispersion nulle se situe au voisinage de 1300 nm et dont l'affaiblissement est minimisé et dont la longueur d'onde de coupure est décalée au voisinage de 1550 nm. La présente version constitue la révision la plus récente de la Recommandation dont la première version remonte à 1988.

La présente révision vise à modifier la notation de la PMD aux fins de son harmonisation avec celle de la Rec. UIT-T G.652. Elle a pour but de garantir le succès commercial durable de ces fibres dans le secteur en constante évolution des systèmes optiques de transmission à haute performance.

Source

La Recommandation UIT-T G.654 a été approuvée le 14 décembre 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Historique

Version	Rec.	Date d'approbation
1.0	G.654	1988-11-25
2.0	G.654	1993-03-12
3.0	G.654	1997-04-08
4.0	G.654	2000-10-06
5.0	G.654	2002-06-29
6.0	G.654	2004-06-13
7.0	G.654	2006-12-14

Voir détails page 14

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.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

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 développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

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 de fibre.....	3
	5.1 Diamètre du champ de mode.....	3
	5.2 Diamètre de gaine.....	3
	5.3 Erreur de concentricité du coeur.....	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	5
	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 de câble.....	6
	6.1 Coefficient d'atténuation.....	6
	6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation	6
7	Tableaux des valeurs recommandées.....	7
	Appendice I – Informations pour les attributs de liaison et la conception de systèmes	10
	I.1 Affaiblissement.....	10
	I.2 Dispersion chromatique.....	10
	I.3 Temps de propagation de groupe différentiel (DGD)	11
	I.4 Coefficient de non-linéarité.....	11
	I.5 Tableaux des valeurs types usuelles	11
	BIBLIOGRAPHIE.....	13
	Historique de la Rec. UIT-T G.654.....	14

Recommandation UIT-T G.654

Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée

1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit une fibre monomode ayant une longueur d'onde à dispersion nulle se situant au voisinage de 1300 nm, dont la longueur d'onde de coupure est décalée et dont l'affaiblissement est minimal à une longueur d'onde se situant au voisinage de 1550 nm; la fibre est optimisée pour la région des 1530-1625 nm.

Cette fibre à très faible affaiblissement et à longueur d'onde de coupure décalée (CSF, *cut-off shifted fibre*), se prête aux applications de la transmission numérique à longue distance telles que les systèmes de lignes terrestres à grande distance et les systèmes de câbles sous-marins utilisant des amplificateurs optiques. Ses caractéristiques géométriques, optiques (affaiblissement, longueur d'onde de coupure, dispersion chromatique et dispersion modale de polarisation, etc.), mécaniques et de transmission sont décrites ci-après.

Un certain nombre de dispositions sont prises pour prendre en charge la transmission à des longueurs d'onde plus élevées pouvant atteindre 1625 nm. Les paramètres géométriques, mécaniques et de transmission sont répartis ci-après selon trois catégories d'attributs:

- les attributs de fibre qui sont ceux qui sont 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 un certain nombre de valeurs types d'attributs de liaison.

La présente Recommandation et les différentes catégories de performance énoncées dans les tableaux du § 7 sont destinées à prendre en charge les systèmes correspondants définis dans les Recommandations suivantes:

- Rec. UIT-T G.957;
- Rec. UIT-T G.691;
- Rec. UIT-T G.692;
- Rec. UIT-T G.959.1;
- Rec. UIT-T G.973;
- Rec. UIT-T G.977.

Le sens des termes utilisés dans la présente Recommandation et les lignes directrices qu'il convient de suivre pour les mesures visant à vérifier les diverses caractéristiques sont indiqués dans les 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 mesure 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 (2004), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.650.2 (2005), *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 (2006), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64 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.957 (2006), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.959.1 (2006), *Interfaces de couche Physique du réseau optique de transport.*
- Recommandation UIT-T G.973 (2003), *Caractéristiques des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs.*
- Recommandation UIT-T G.977 (2006), *Caractéristiques des systèmes de câbles optiques sous-marins à amplification optique.*

3 Termes et définitions

Les définitions données dans les Recommandations UIT-T G.650.1 et G.650.2 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:

CSF	fibre à longueur d'onde de coupure décalée (<i>cut-off shifted fibre</i>)
DGD	temps de propagation de groupe différentiel (<i>differential group delay</i>)
DWDM	multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)

MFD	diamètre de champ de mode (<i>mode field diameter</i>)
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	paramètre statistique pour liaisons PMD (<i>statistical parameter for PMD link</i>)
RTM	méthode de test de référence (<i>reference test method</i>)
TBD	à déterminer (<i>to be determined</i>)
WDM	multiplexage par répartition en longueurs 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 § 7 présentent des plages ou des limites de valeurs. Parmi celles-ci, la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée et la dispersion modale de polarisation peuvent être sensiblement modifiées par la fabrication du câble ou par son installation. Toutefois, les caractéristiques recommandées s'appliquent de la même façon à une fibre isolée, à une fibre incorporée dans un câble enroulé sur un touret et à une fibre faisant partie d'un câble installé.

5.1 Diamètre du champ de mode

Une valeur nominale et une tolérance sur cette valeur nominale du diamètre du champ de mode (MFD, *mode field diameter*) doivent être indiquées à 1550 nm. La valeur nominale spécifiée pour le diamètre du champ de mode doit se situer dans la plage indiquée dans le § 7. La tolérance spécifiée ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans le § 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 § 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 coeur

L'erreur de concentricité du coeur ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le § 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 recette.

5.4.2 Non-circularité de la gaine

Il convient que la non-circularité de la gaine ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans le § 7.

5.5 Longueur d'onde de coupure

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

- la longueur d'onde de coupure λ_{cc} ;
- la longueur d'onde de coupure de fibre λ_c ;

c) la longueur d'onde de coupure de jarretière λ_{cj} .

NOTE 1 – 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 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.

Même sur la plus courte longueur de câble entre deux raccords et pour la longueur d'onde minimale de fonctionnement, il est indispensable de conserver une transmission monomode. On dispose de deux moyens pour obtenir ce mode de fonctionnement:

- 1) recommander que λ_c soit inférieure à 1600 nm: si l'on fixe une limite inférieure, il convient que λ_c soit supérieure à 1350 nm;
- 2) recommander une valeur maximale de λ_{cc} de 1530 nm.

NOTE 2 – Les valeurs ci-dessus sont garanties d'un fonctionnement monomode au voisinage de 1550 nm. En cas de multiplexage WDM, nécessitant un fonctionnement à une longueur d'onde de (1550 nm-x), ces valeurs doivent être abaissées de x nm.

Il n'est pas nécessaire d'invoquer ces deux spécifications. Etant donné que la spécification de λ_{cc} est une façon plus directe de garantir le fonctionnement monomode du câble, elle constitue la solution préférable. Toutefois, lorsque les circonstances ne permettent pas immédiatement la spécification de λ_{cc} (par exemple en cas d'utilisation de câbles monofibres tels que des jarretières, ou en cas d'installation des câbles dans des conditions qui diffèrent sensiblement de celles de la méthode de mesure de référence de λ_{cc}), il est préférable de spécifier λ_c .

Si l'on spécifie λ_{cc} (point 2 ci-dessus), il faut bien savoir que λ_c peut être supérieur à 1600 nm.

Si l'on spécifie λ_c (point 1 ci-dessus), il n'est pas nécessaire de spécifier λ_{cc} .

Si l'on choisit de spécifier λ_{cc} , la valeur de λ_c peut être plus grande que la longueur d'onde de fonctionnement minimale en comptant que les effets de la fabrication et de l'installation du câble fourniront des valeurs de λ_{cc} inférieures à la longueur d'onde minimale de fonctionnement pour la longueur de câble la plus courte entre deux épissures.

Si l'on spécifie λ_{cc} , il est courant de faire un test d'homologation pour s'assurer que λ_{cc} est conforme en ce qui concerne la valeur en question.

La longueur d'onde de coupure du câble, λ_{cc} , ne doit pas dépasser le maximum spécifié dans le § 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 § 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 de tours recommandé correspond au nombre approximatif de tours déployés dans toutes les chemises d'épissures d'une distance caractéristique de répéteurs. 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 un nombre de tours inférieur au 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 à la perte par macrocourbure concerne l'installation de fibres dans des réseaux réels à fibres monomodes. L'influence du retordage des fibres monomodes câblées sur l'affaiblissement est mentionnée dans les spécifications relatives à l'affaiblissement des fibres câblées.

NOTE 5 – Au cas où des essais de routine seraient nécessaires, une boucle de diamètre inférieure comprenant un ou plusieurs tours pourra être utilisée au lieu de l'essai recommandé, afin d'augmenter la précision de mesure des pertes de courbure à 1550 nm et d'en faciliter la mesure. Dans ce cas, il convient de choisir le diamètre de la boucle, le nombre de spires et l'affaiblissement de courbure maximal admis de manière à ce que les résultats soient corrélés avec la valeur recommandée d'affaiblissement du test recommandé et de la perte autorisée.

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, des indications analogues doivent être fournies.

5.7.3 Seuil de déformation permanente

Le seuil de déformation permanente σ_p ne doit pas être inférieur au minimum spécifié dans le § 7.

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques figurent aux § 3.2/G.650.1 et 5.6/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 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 longueurs d'onde (DWDM), 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 sur laquelle se produit le mélange de quatre ondes.

Pour les opérations de multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*) dans la région de 1550 nm, la dispersion chromatique des fibres G.654 est suffisamment importante pour éviter le mélange de quatre ondes. L'uniformité de la dispersion chromatique ne constitue donc pas un problème fonctionnel.

5.10 Coefficient de dispersion chromatique

Le temps de propagation de groupe ou la dispersion chromatique mesurés par unité de longueur de fibre en fonction de la longueur d'onde pourront être donnés approximativement par l'équation quadratique définie dans l'Annexe A/G.650.1. (Voir le § 5.5/G.650.1 pour avoir des indications sur l'interpolation des valeurs de dispersion aux longueurs d'onde non mesurées.)

Suivant les spécifications relatives à la précision, pour des intervalles de longueurs d'onde jusqu'à 35 nm, l'équation quadratique est admise dans la région des 1550 nm. Pour des intervalles de longueurs d'onde plus grands, il est recommandé d'employer soit le modèle de Sellmeier

à 5 termes, soit le modèle polynomial du 4^e ordre. Il n'est pas prévu d'employer l'équation dans la région des 1310 nm.

NOTE – Il n'est pas nécessaire de mesurer systématiquement le coefficient de dispersion chromatique.

6 Attributs de câble

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 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 portions 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 Coefficient d'atténuation

Le coefficient d'atténuation est spécifié avec une valeur maximale à une ou plusieurs longueurs d'onde dans la région comprise entre 1530 nm et 1625 nm. Les valeurs de coefficient d'atténuation des câbles à fibres optiques ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le § 7.

NOTE 1 – Les valeurs les plus faibles dépendent du processus de fabrication, de la composition et de la conception des fibres et de la conception des câbles. Des valeurs comprises entre 0,15 dB/km et 0,19 dB/km dans la région de 1550 nm ont été obtenues.

NOTE 2 – Le coefficient d'atténuation peut être calculé pour un spectre de longueurs d'onde, sur la base de mesures effectuées à quelques (3 ou 4) longueurs d'onde prédictives. Cette procédure est décrite dans le § 5.4.4/G.650.1 et un exemple est donné pour une fibre G.652 dans l'Appendice III/G.650.1.

NOTE 3 – Pour les applications de systèmes sous-marins dotés d'amplificateurs optiques à télépompage, décrits dans la Rec. UIT-T G.973, d'autres coefficients d'atténuation dans la région des longueurs d'onde de pompage peuvent être nécessaires.

6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation

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 Publication 61282-3 de la CEI 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 § 7, la valeur de PMD_Q ne doit pas dépasser le coefficient de dispersion modale de polarisation maximal qui y est spécifié.

En dépit de leur utilité, les mesures et les spécifications pour fibre non câblée sont insuffisantes aux fins de la spécification d'une fibre câblée. La valeur maximale de conception de la liaison spécifiée pour une fibre non câblée doit être inférieure ou égale à la valeur correspondante spécifiée pour la fibre câblée. Le rapport entre les valeurs PMD d'une fibre non câblée et celles d'une fibre câblée est fonction des caractéristiques de construction et de traitement, ainsi que des conditions de couplage modal de la fibre non câblée. La Rec. UIT-T G.650.2 préconise le recours à un couplage modal faible nécessitant une faible tension d'enroulement sur un touret de grand diamètre pour les mesures PMD sur fibre non câblée.

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 de PMD_Q doit être calculée pour divers types de câbles, et ce, en principe, au moyen de valeurs PMD échantillonnées, le prélèvement des échantillons étant opéré sur des câbles de construction semblable.

NOTE 2 – Il n'y a pas lieu de spécifier la valeur de PMD_Q pour des câbles courts tels que des câbles de raccordement (jarretières), des câbles d'intérieur et des câbles de dérivation.

7 Tableaux des valeurs recommandées

Les tableaux qui suivent récapitulent les valeurs recommandées pour plusieurs catégories de fibres qui satisfont aux objectifs de la présente Recommandation. Ces catégories sont établies essentiellement en fonction des valeurs requises du diamètre du champ de mode, du coefficient de dispersion chromatique et de PMD. Voir l'Appendice I pour plus de précisions sur les distances et les débits binaires de transmission par rapport aux valeurs PMD requises.

Le Tableau 1, Attributs G.654.A, concerne la catégorie de base pour les fibres optiques monomodes et les câbles à fibres optiques monomodes à coupure décalée. Cette catégorie convient aux systèmes décrits dans les Recommandations UIT-T G.691, G.692, G.957 et G.977 dans la région des longueurs d'onde de 1550 nm.

Le Tableau 2, Attributs G.654.B, convient aux systèmes décrits dans les Recommandations UIT-T G.691, G.692, G.957, G.977 et G.959.1, en ce qui concerne les applications longue distance, dans la région des longueurs d'onde de 1550 nm. Cette catégorie peut s'appliquer à des systèmes de transmission WDM de plus grande capacité et utilisables sur de plus longues distances (par exemple, les systèmes sous-marins sans répéteur dotés d'amplificateurs optiques à télépompage, décrits dans la Rec. UIT-T G.973, ou les systèmes sous-marins dotés d'amplificateurs optiques, décrits dans la Rec. UIT-T G.977).

Le Tableau 3, Attributs G.654.C, est semblable au Tableau G.654.A, mais la valeur requise de PMD a été réduite afin de prendre en charge des applications de la Rec. UIT-T G.959.1 qui présentent des débits binaires supérieurs et qui sont utilisables sur de plus longues distances.

Tableau 1/G.654 – G.654.A

Attributs de fibre		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	9,5-10,5 μm
	Tolérance	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diamètre de gaine	Nominal	125 μm
	Tolérance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,8 μm
Non-circularité de gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1530 nm

Tableau 1/G.654 – G.654.A

Attributs de fibre		
Attribut	Détail	Valeur
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,50 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique	$D_{1550\text{max}}$	20 ps/nm·km
	$S_{1550\text{max}}$	0,070 ps/nm ² ·km
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	voir Note
Attributs de câble		
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,22 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 – Conformément au § 6.2, on spécifie une valeur PMD_Q maximale sur fibre non câblée afin de prendre en charge la prescription primaire sur PMD_Q du câble.		

Tableau 2/G.654 – G.654.B

Attributs de fibre		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	9,3-13,0 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	1530 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
Coefficient de dispersion chromatique	$D_{1550\text{max}}$	22 ps/nm·km
	$S_{1550\text{max}}$	0,070 ps/nm ² ·km
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	voir Note

Tableau 2/G.654 – G.654.B

Attributs de câble		
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,22 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum de dispersion modale de polarisation PMD _Q	0,20 ps/√km
NOTE – Conformément au § 6.2, on spécifie une valeur PMD _Q maximale sur fibre non câblée afin de prendre en charge la prescription primaire sur PMD _Q du câble.		

Tableau 3/G.654 – G.654.C

Attributs de fibre		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	9,5-10,5 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	1530 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
Coefficient de dispersion chromatique	D _{1550max}	20 ps/nm·km
	S _{1550max}	0,070 ps/nm ² ·km
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	voir Note
Attributs de câble		
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,22 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum de dispersion modale de polarisation PMD _Q	0,20 ps/√km
NOTE – Conformément au § 6.2, on spécifie une valeur PMD _Q maximale sur fibre non câblée afin de prendre en charge la prescription primaire sur PMD _Q du 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 § 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 paragraphes 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 § I.5 fournit des valeurs types pour la liaison à fibres optiques. 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 éléments.

I.1 Affaiblissement

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

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y \quad (\text{I-1})$$

où:

α est le coefficient d'atténuation type des câbles à fibres optiques dans une liaison

α_s est la perte moyenne d'épissure

x est le nombre d'épissures dans une liaison

α_c est la perte moyenne des connecteurs de ligne

y est le nombre de connecteurs de ligne dans une liaison (s'il y a lieu)

L est la 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.). L'équation I-1 n'inclut pas de pertes dues aux connecteurs des équipements. Les valeurs types fournies au § I.5 se rapportent au coefficient d'atténuation d'une liaison par fibres optiques. Il convient que le bilan d'affaiblissement utilisé pour la conception d'un système réel tienne 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 (voir § 5.10).

Lorsque ces fibres sont utilisées pour la transmission dans la région de 1550 nm, on emploie un certain nombre de formes de compensation de la dispersion chromatique. En l'occurrence, la dispersion chromatique moyenne de la liaison est utilisée pour la conception. La dispersion mesurée dans la fenêtre de 1550 nm peut y être caractérisée par une relation linéaire avec la longueur d'onde.

Cette relation est décrite en termes des classiques coefficients de dispersion chromatique et de pente de dispersion à 1550 nm.

On trouvera au § I.5 des valeurs types pour le coefficient de dispersion chromatique, D_{1550} , et pour le coefficient de pente de dispersion chromatique, S_{1550} , à 1550 nm. Ces valeurs, avec la longueur de liaison, L_{Link} , peuvent être utilisées pour calculer la dispersion chromatique type à utiliser dans la conception de la liaison optique.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (\text{ps/nm}) \quad (\text{I-2})$$

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 particulier. Pour une liaison ayant un coefficient de dispersion modale de polarisation spécifique, le temps de propagation de groupe différentiel de cette liaison varie aléatoirement 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 spécifique 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 le cadre 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 sont représentatives des liaisons de fibres optiques concaténées conformément respectivement aux § I.1 et I.3. Les valeurs du temps DGD maximal induit par les fibres impliquées dans le Tableau I.2 sont données pour servir d'indication en ce qui concerne les spécifications d'autres éléments optiques pouvant être présents sur la liaison.

Tableau I.1/G.654 – Valeurs représentatives de liaisons par fibres optiques concaténées

Attribut	Détail	Valeur
Coefficient d'atténuation	Longueur d'onde	Valeur type de liaison (voir Note)
	1550 nm	0,25 dB/km
	1625 nm	TBD
Paramètre de dispersion chromatique	D ₁₅₅₀	TBD
	S ₁₅₅₀	TBD

NOTE – La valeur type de la liaison correspond au coefficient d'atténuation de la liaison utilisé dans les Recommandations UIT-T G.957 et G.691.

Tableau I.2/G.654 – Temps de propagation de groupe différentiel

PMD _Q maximal (ps/√km)	Longueur de liaison (km)	DGD maximal induit par les fibres impliquées (ps)	Débit binaire des canaux
Pas de spécification			Jusqu'à 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (voir 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 aux systèmes Ethernet à 10 Gbit.

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

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CEI/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

Historique de la Rec. UIT-T G.654

- 1988 Rec. UIT-T G.654, *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes avec affaiblissement réduit au minimum à la longueur d'onde de 1550 nm* a été établie par la Commission d'études 15 (1985-1988) de l'UIT-T.
- 2000 Rec. UIT-T G.654 a été révisée par la Commission d'études 15 (1997-2000) de l'UIT-T et a été approuvée en tant que 4^e édition par l'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (Montréal, 27 septembre – 6 octobre 2000). Cette révision a consisté à modifier la structure de la Recommandation conformément à d'autres Recommandations relatives aux fibres telles que Recommandations UIT-T G.652, G.653 ou G.655.
- 2002 Rec. UIT-T G.654 a été révisée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T et a été approuvée en tant que 5^e édition, dans le cadre de la procédure AAP du 29 juin 2002. Cette révision, intitulée G.654.B, a consisté à ajouter une nouvelle catégorie de fibre, les attributs diamètre du champ de mode et coefficient de dispersion chromatique étant modifiés. Conformément à l'accord sur les bandes spectrales, la description de la limite supérieure de la bande L est passée de 16xx nm à 1625 nm. Les termes sous-catégorie de base et sous-catégorie ont été remplacés respectivement par catégorie de base et catégorie.
- 2004 Rec. UIT-T G.654, qui a été révisée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée en tant que sixième édition, dans le cadre de la procédure AAP du 13 juin 2004. Cette révision a consisté à réduire la limite de PMD_Q (qui était précédemment de 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$) dans la catégorie G.654.B, et à ajouter une nouvelle catégorie dont la limite de PMD_Q est réduite. La tolérance du diamètre du champ de mode de la catégorie G.654.B a été ramenée à $\pm 0,7 \mu\text{m}$. En ce qui concerne l'essai de macrocourbure, le rayon du mandrin a été ramené à 30 mm.

Comme il ressort de ce qui précède, la présente Recommandation a considérablement évolué au fil des années; le lecteur est donc prié de se reporter à la version appropriée pour déterminer les caractéristiques des produits déjà mis en place, en tenant compte de l'année de production. En fait, on suppose que les produits sont conformes à la Recommandation qui était en vigueur au moment de leur fabrication, mais qu'ils peuvent ne pas être entièrement conformes aux versions suivantes de la Recommandation.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
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	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
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, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication