

Union internationale des télécommunications

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**G.656**

(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 fibres et câbles optiques à  
dispersion non nulle destinés au transport à  
large bande**

Recommandation UIT-T G.656

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
<b>Câbles à fibres optiques</b>	<b>G.650–G.659</b>
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
SECTION NUMÉRIQUE 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.656**

### **Caractéristiques des fibres et câbles optiques à dispersion non nulle destinés au transport à large bande**

#### **Résumé**

La présente Recommandation décrit les attributs géométriques, mécaniques et de transmission d'une fibre optique monomode à dispersion chromatique positive non nulle sur la plage de longueur d'onde et qui est destinée à être utilisée de 1460 à 1625 nm. Cette dispersion atténue l'augmentation des effets non linéaires qui sont particulièrement gênants pour les systèmes de multiplexage à répartition dense de longueurs d'onde.

Cette fibre peut être utilisée dans les systèmes de multiplexage CWDM et DWDM dans la plage de longueur d'onde 1460-1625 nm.

La présente révision vise à ajouter une nouvelle catégorie de fibre, dans laquelle le coefficient de dispersion chromatique est limité par une paire de courbes en fonction de la longueur d'onde pour la gamme de longueurs d'onde comprises entre 1460 nm et 1625 nm. L'inclusion de ces longueurs d'onde a pour objet de fournir des informations aux fins de la prise en charge d'applications CWDM et DWDM.

#### **Source**

La Recommandation UIT-T G.656 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.

## 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 n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux 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

	<b>Page</b>
1	Domaine d'application ..... 1
2	Références..... 1
2.1	Références normatives..... 1
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 la 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	Affaiblissement de 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..... 6
6.1	Coefficient d'affaiblissement ..... 6
6.2	Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD) ..... 6
7	Tableau des valeurs recommandées..... 7
Appendice I – Informations pour les attributs de liaison et la conception de systèmes ..... 8	
I.1	Affaiblissement..... 8
I.2	Dispersion chromatique..... 9
I.3	Temps de propagation de groupe différentiel (DGD) ..... 9
I.4	Coefficient de non-linéarité..... 10
I.5	Tableaux des valeurs types usuelles ..... 10
I.6	Limites du coefficient de dispersion chromatique..... 11
BIBLIOGRAPHIE ..... 13	



# Recommandation UIT-T G.656

## Caractéristiques des fibres et câbles optiques à dispersion non nulle destinés au transport à large bande

### 1 Domaine d'application

La présente Recommandation décrit une fibre monomode à dispersion chromatique supérieure à zéro entre 1460 et 1625 nm. Cette dispersion réduit la croissance des effets non linéaires qui peuvent être particulièrement désastreux dans les systèmes de multiplexage à répartition dense de longueurs d'onde (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Cette fibre utilise une dispersion non nulle afin de réduire le mixage à quatre ondes et la modulation de phase croisée sur une plage de longueur d'onde plus étendue que la fibre décrite dans la Rec. UIT-T G.655. Des extensions sont possibles dans l'avenir, vers des longueurs d'onde situées au-delà de la plage 1460-1625 nm (à déterminer). Les paramètres géométriques, optiques, mécaniques et de transmission sont décrits ci-après avec trois catégories d'attributs:

- les attributs de fibre qui sont ceux qui sont utilisés lors du câblage et de l'installation;
- les attributs de câble qui sont recommandés pour des câbles lors de leur fourniture;
- les attributs de liaison qui sont les caractéristiques de câbles connectés bout à bout (concaténés) qui décrivent les méthodes d'estimation des paramètres d'interface de système fondées sur des mesures, la modélisation et d'autres considérations. On trouvera dans l'Appendice I des informations sur les attributs de liaison et la conception des systèmes.

Cette fibre peut être utilisée dans les systèmes CWDM et DWDM sur une plage de longueur d'onde étendue située entre 1460 et 1625 nm.

La présente Recommandation, et la catégorie indiquée au § 7, vient compléter les Recommandations connexes suivantes sur les systèmes:

- Rec. UIT-T G.691;
- Rec. UIT-T G.692;
- Rec. UIT-T G.693;
- Rec. UIT-T G.695;
- Rec. UIT-T G.959.1;
- Rec. UIT-T G.698.1;
- Rec. UIT-T G.696.1.

Le sens des termes utilisés dans la présente Recommandation et les directives à suivre lors des mesures pour vérifier les différentes caractéristiques sont donnés dans [G.650.1] et [G.650.2]. Les caractéristiques de cette fibre, y compris les définitions des paramètres utilisés, des méthodes de test et les valeurs associées, seront revues en fonction de l'évolution des études et de l'expérience acquise.

### 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.

[G.650.1] Recommandation UIT-T G.650.1 (2004), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes.*

[G.650.2] 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

[G.663] Recommandation UIT-T G.663 (2000), *Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques.*

[G.691] Recommandation UIT-T G.691 (2006), *Interfaces optiques pour les systèmes STM-64 et autres systèmes SDH monocanaux à amplificateurs optiques.*

[G.692] Recommandation UIT-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques.*

[G.693] Recommandation UIT-T G.693 (2006), *Interfaces optiques pour les connexions locales.*

[G.694.1] Recommandation UIT-T G.694.1 (2002), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueurs d'onde: grille dense DWDM.*

[G.694.2] Recommandation UIT-T G.694.2 (2003), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueur d'onde: grille espacée CWDM.*

[G.695] Recommandation UIT-T G.695 (2006), *Interfaces optiques pour les applications de multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde.*

[G.696.1] Recommandation UIT-T G.696.1 (2005), *Applications de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde intradomaniales longitudinalement compatibles.*

[G.698.1] Recommandation UIT-T G.698.1 (2006), *Applications multicanales de multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde à interfaces optiques monocanales.*

[G.957] Recommandation UIT-T G.957 (2006), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*

[G.959.1] Recommandation UIT-T G.959.1 (2006), *Interfaces de couche Physique du réseau optique de transport.*

## 3 Termes et définitions

Dans la présente Recommandation, les définitions données dans les Recommandations [G.650.1] et [G.650.2] s'appliquent. Les valeurs doivent être arrondies au nombre de chiffres donnés dans les tableaux des valeurs recommandées avant l'évaluation de la conformité.

## 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

$A_{\text{eff}}$  surface effective (*effective area*)

CWDM multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde (*coarse wavelength division multiplexing*)

DGD temps de propagation de groupe différentiel (*differential group delay*)



DWDM	multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
PMD	dispersion modale de polarisation ( <i>polarization mode dispersion</i> )
PMD <sub>Q</sub>	paramètre statistique pour la dispersion PMD de liaison
SDH	hiérarchie numérique synchrone ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
TBD	à déterminer ( <i>to be determined</i> )

## 5 Attributs des fibres

Seules sont recommandées dans le présent paragraphe les caractéristiques de la fibre qui constituent un cadre minimal essentiel de conception pour la fabrication des fibres. Les fourchettes ou les limites de valeur sont présentées dans les tableaux du § 7. Parmi celles-ci, la longueur d'onde de coupure de la fibre et la dispersion PMD peuvent être sensiblement modifiées par la fabrication du câble ou son installation. Toutefois, les caractéristiques recommandées s'appliquent également aux fibres isolées, aux fibres incorporées dans un câble enroulé sur un touret et aux fibres 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 doivent être spécifiées à 1550 nm. La valeur nominale et sa tolérance spécifiées devront se trouver respectivement dans la plage et dans les limites des valeurs indiquées au § 7. L'écart par rapport à la valeur nominale ne devra pas être supérieur à la tolérance spécifiée.

### 5.2 Diamètre de la gaine

La valeur nominale recommandée du diamètre de la gaine est de 125 µm. Une tolérance est également spécifiée et ne doit pas dépasser la valeur donnée au § 7. L'écart du diamètre de la gaine par rapport à la valeur nominale ne devra pas être supérieur à la tolérance spécifiée.

### 5.3 Erreur de concentricité du cœur

L'erreur de concentricité du cœur ne doit pas dépasser la valeur spécifiée au § 7.

### 5.4 Non-circularité

#### 5.4.1 Non-circularité du champ de mode

Dans la pratique, la non-circularité du champ de mode de fibre ayant des champs de mode nominalement circulaires est considérée comme étant 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 pour les tests de recette.

#### 5.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine ne doit pas dépasser la valeur indiquée au § 7.

### 5.5 Longueur d'onde de coupure

On peut distinguer trois types utiles de longueur d'onde de coupure:

- longueur d'onde de coupure du câble,  $\lambda_{cc}$ ;
- longueur d'onde de coupure de la fibre,  $\lambda_c$ ;
- longueur d'onde de coupure de câble de jarretière,  $\lambda_{cj}$ .

NOTE – Pour certaines applications spécifiques des câbles sous-marins, il peut être nécessaire de disposer d'autres valeurs de longueur d'onde de coupure de câble.

La corrélation des valeurs mesurées de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$ , et  $\lambda_{cj}$  dépend de la fibre et du câble considérés et des conditions de test. En général, on a  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , mais il est difficile d'établir une relation quantitative générale. Il est indispensable de garantir une transmission monomode sur la longueur de câble minimale entre les raccords et ceci à la longueur d'onde minimale de fonctionnement. On peut ainsi recommander une longueur d'onde maximale de coupure du câble  $\lambda_{cc}$  de 1450 nm pour une fibre monomode câblée, de 1450 nm pour des câbles de jarretière types ou de 1440 nm pour une longueur et des courbures correspondant au cas le plus défavorable.

La longueur d'onde de coupure du câble  $\lambda_{cc}$  ne doit pas dépasser le maximum spécifié au § 7.

## **5.6 Affaiblissement de macrocourbure**

L'affaiblissement de macrocourbure varie avec la longueur d'onde, le rayon de courbure et le nombre de tours autour d'un mandrin d'un rayon spécifié. L'affaiblissement de macrocourbure ne doit pas dépasser la valeur maximale indiquée au § 7 pour la ou les longueurs d'onde spécifiées, le rayon de courbure et le nombre de tours spécifiés.

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 existants dans tous les boîtiers d'épissurage sur une distance caractéristique de répéteurs. Le rayon recommandé est équivalent au rayon de courbure minimal généralement admis dans la pratique pour l'installation de fibres à long terme, afin d'éviter les pannes dues aux contraintes liées à la fatigue statique.

NOTE 3 – Si, pour des raisons pratiques, le nombre de tours est 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 qu'une augmentation proportionnellement plus faible.

NOTE 4 – La recommandation relative à l'affaiblissement de macrocourbure concerne l'installation de fibres dans des systèmes réels à fibres monomodes. L'influence du retordage des fibres monomodes câblées sur la caractéristique d'affaiblissement est mentionnée dans les spécifications relatives à l'affaiblissement des fibres câblées.

NOTE 5 – Au cas où des tests systématiques seraient nécessaires, une boucle de diamètre inférieur comportant un ou plusieurs tours pourra être utilisée au lieu du test recommandé pour améliorer la précision et faciliter les mesures. Dans ce cas, le diamètre de boucle, le nombre de tours et l'affaiblissement maximal autorisé de courbure pour le test à plusieurs tours devront être choisis de manière à ce que les résultats soient corrélés avec la valeur d'affaiblissement recommandée du test recommandé et l'affaiblissement autorisé.

## **5.7 Propriétés des matériaux des fibres**

### **5.7.1 Matériaux constituant la fibre**

Les matériaux constituant la fibre doivent être indiqués.

NOTE – Il pourrait s'avérer nécessaire de prendre des précautions lors de l'épissurage par fusion de fibres faites de matériaux différents. Les premiers résultats montrent que l'on peut obtenir des résultats satisfaisants en matière d'affaiblissement et de solidité des épissures lors de l'épissurage de fibres différentes à haute teneur en silice.

### **5.7.2 Matériaux protecteurs**

Des propriétés physiques et chimiques des matériaux utilisés pour le revêtement primaire de fibre et la meilleure technique à employer pour l'enlever (si nécessaire) doivent être indiquées. Dans le cas d'une fibre à enveloppe unique, des indications analogues doivent être données.

### **5.7.3 Test d'épreuve**

La charge de traction spécifiée pour le test,  $\sigma_p$ , ne doit pas être inférieure à la valeur minimale spécifiée au § 7.

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques sont données aux § 3.2 et 5.6 de [G.650.1].

## 5.8 Profil de l'indice de réfraction

Il n'est en général pas nécessaire de connaître le profil de l'indice de réfraction de la fibre.

## 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 pour atteindre une valeur faible à une longueur d'onde proche de la longueur d'onde de fonctionnement dans un système DWDM, le mélange de quatre ondes peut entraîner la propagation de la puissance sur d'autres longueurs d'onde, y compris, en autres, sur d'autres longueurs d'onde de fonctionnement. La valeur de la puissance résultant du 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.

## 5.10 Coefficient de dispersion chromatique

Le coefficient de dispersion chromatique,  $D$ , est spécifié dans une plage de longueurs d'onde. La [G.650.1] décrit les méthodes de mesure. Il existe deux méthodes pour spécifier les limites: la méthode initiale, qui donne une spécification rudimentaire, et une méthode plus récente, dans laquelle les valeurs du coefficient de dispersion sont limitées par une paire de courbes et par la valeur à 1550 nm.

Le temps de propagation de groupe ou la dispersion chromatique mesurée par unité de longueur de la fibre en fonction de la longueur d'onde devra pouvoir être représenté par une équation de Sellmeier à 5 termes ou une équation polynomiale du 4<sup>e</sup> ordre telle que définie dans l'Annexe A de [G.650.1]. (Voir le § 5.5 de [G.650.1] pour des indications sur l'interpolation des valeurs de dispersion à des longueurs d'onde non mesurées.)

L'équation ajustée ne doit pas être utilisée pour prédire la dispersion chromatique à des longueurs d'onde hors de la fourchette utilisée pour cette représentation.

Pour chaque longueur d'onde,  $\lambda$ , le coefficient de dispersion chromatique,  $D(\lambda)$ , est limité à une fourchette de valeurs associées à deux courbes limitatives,  $D_{\min}(\lambda)$  et  $D_{\max}(\lambda)$ , pour une ou plusieurs gammes de longueurs d'onde spécifiées en fonction de  $\lambda_{\min}$  et  $\lambda_{\max}$ .

Un ensemble de courbes est à titre d'exemple représenté symboliquement par une paire de lignes droites:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min} (\lambda - 1460) \quad [\text{ps/nm} \cdot \text{km}]$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max} (\lambda - 1460) \quad [\text{ps/nm} \cdot \text{km}]$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad [\text{ps/nm} \cdot \text{km}]$$

Les courbes limitatives peuvent varier d'une gamme de longueurs d'onde à une autre.

NOTE 1 – L'uniformité de la dispersion chromatique doit être cohérente avec le fonctionnement du système.

NOTE 2 – Les prescriptions en matière de dispersion chromatique découlent de la conception des systèmes WDM et doivent compenser la dispersion chromatique du premier ordre par des effets non linéaires, tels le mélange de quatre ondes, la modulation de phase croisée, l'instabilité de modulation, la dispersion de Brillouin stimulée et la formation de solitons (voir [G.663]). L'effet de la dispersion chromatique interagit avec la non-linéarité de la fibre, décrite par le coefficient non linéaire.

NOTE 3 – Il n'est pas nécessaire de mesurer systématiquement le coefficient de dispersion chromatique.

## 6 Attributs des câbles

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 5 étant très 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 câble à la longueur de livraison. Les conditions ambiantes et les conditions de mesure sont essentielles et sont décrites dans les directives sur les méthodes de test.

### 6.1 Coefficient d'affaiblissement

Le coefficient d'affaiblissement est spécifié par une valeur maximale à une ou plusieurs longueurs d'onde dans les régions des 1460, 1550 et 1625 nm. Les valeurs du coefficient d'affaiblissement des câbles à fibres optiques ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées au § 7.

NOTE – Le coefficient d'affaiblissement peut être calculé sur un spectre de longueurs d'onde, à partir de mesures réalisées sur un petit nombre (3 à 4) de longueurs d'onde "prédictrices". Cette procédure est décrite au § 5.4.4 de [G.650.1] et un exemple est donné à l'Appendice III de [G.650.1].

### 6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)

S'il y a lieu, la dispersion modale de polarisation des fibres câblées doit être spécifiée sur une base statistique et non fibre par fibre. Les prescriptions ne s'appliquent qu'à l'aspect lié à la liaison calculé à partir d'informations sur le câble. Les mesures de la spécification statistique sont fournies ci-après. Des méthodes de calcul sont données dans [CEI/TR 61282-3] et sont récapitulées dans l'Appendice IV de [G.650.2].

Le fabricant doit fournir une valeur nominale de PMD pour la liaison,  $PMD_Q$ , qui sert de borne statistique supérieure pour le coefficient PMD relatif aux câbles à fibres optiques concaténés dans une éventuelle liaison définie comportant  $M$  sections de câbles. La borne supérieure est définie en termes de niveau de probabilité faible,  $Q$ , qui représente la probabilité qu'une valeur du coefficient PMD pour des câbles concaténés 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 PMD maximal qui y est spécifié.

Les mesures et les spécifications applicables aux fibres non câblées sont nécessaires mais pas suffisantes aux fins de la spécification des fibres câblées. La valeur nominale maximale pour 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 fabrication et de traitement des câbles, ainsi que des conditions de couplage des modes de la fibre non câblée. La [G.650.2] préconise le recours à un faible couplage des modes nécessitant une faible tension d'enroulement sur un touret de grand diamètre pour les mesures PMD relatives aux fibres non câblées.

On peut interpréter les limites imposées à la distribution des valeurs du coefficient PMD 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. Lorsque la distribution du coefficient PMD est spécifiée pour les câbles à fibres optiques, on peut déterminer les limites équivalentes applicables à la variation du temps de propagation de groupe différentiel. Les mesures 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  $PMD_Q$  ne doit être spécifiée qu'en cas d'utilisation de câbles pour des systèmes pour lesquels le temps de propagation de groupe différentiel (DGD) maximal est spécifié. Autrement dit, par exemple, il n'y aura pas lieu de spécifier le paramètre  $PMD_Q$  en cas d'utilisation des systèmes préconisés dans [G.957].

NOTE 2 – 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 structure analogue.

NOTE 3 – Il n'y a pas lieu de spécifier la valeur de  $PMD_0$  pour des câbles courts tels que des câbles de raccordement (jarretières), des câbles d'intérieur et des câbles de dérivation.

## 7 Tableau des valeurs recommandées

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des valeurs recommandées pour des catégories de fibre qui satisfont aux objectifs de la présente Recommandation.

Le Tableau 1, "Attributs G.656", définit les valeurs requises pour le coefficient de dispersion chromatique sous la forme d'une paire de courbes limitatives en fonction de la longueur d'onde pour les longueurs d'onde comprises entre 1 460 nm et 1 625 nm, le but étant la prise en charge de Recommandations relatives aux interfaces optiques telles que les Recommandations [G.691], [G.692], [G.959.1] et [G.693].

Pour les systèmes DWDM, les espacements de canaux définis dans [G.694.1] sont pris en charge, selon la dispersion minimale retenue. La valeur PMD requise permet aux systèmes STM-64 d'être exploités jusqu'à une longueur de 2000 km, en fonction des autres éléments de ces systèmes.

**Tableau 1/G.656 – Attributs G.656**

Attributs de fibre		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Fourchette de valeurs nominales	7,0-11,0 $\mu\text{m}$
	Tolérance	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diamètre de la gaine	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolérance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,8 $\mu\text{m}$
Non-circularité de la gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1450 nm
Affaiblissement de macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,50 dB
Test d'épreuve	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm · km)	$D_{\min}(\lambda)$ : 1460-1550 nm	$\frac{2,60}{90}(\lambda - 1460) + 1,00$
	$D_{\min}(\lambda)$ : 1550-1625 nm	$\frac{0,98}{75}(\lambda - 1550) + 3,60$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1460-1550 nm	$\frac{4,68}{90}(\lambda - 1460) + 4,60$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1550-1625 nm	$\frac{4,72}{75}(\lambda - 1550) + 9,28$
Coefficient PMD de fibre non câblée	Maximum	(Note 2)

**Tableau 1/G.656 – Attributs G.656**

<b>Attributs de câble</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Détail</b>	<b>Valeur</b>
Coefficient d'affaiblissement	Maximum à 1460 nm	0,4 dB/km
	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
	Maximum à 1625 nm	0,4 dB/km
Coefficient PMD	M	20 câbles
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> maximum	0,20 ps/√km
NOTE 1 – Si une pompe de Raman est utilisée en dehors de cette région de longueurs d'onde, les propriétés de la fibre doivent être telles qu'elle puisse accepter cette pompe.		
NOTE 2 – Conformément au § 6.2, une valeur PMD <sub>Q</sub> maximale pour une fibre non câblée est spécifiée afin de prendre en charge la valeur requise primaire du paramètre PMD <sub>Q</sub> pour le câble.		

## Appendice I

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

Une liaison concaténée comprend généralement un certain nombre de tronçons de longueur de livraison épissurés d'un câble à fibres optiques. Les prescriptions relatives aux tronçons de 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 de chaque tronçon de câble mais aussi des statistiques de la concaténation.

Les caractéristiques de transmission des câbles à fibres optiques de longueur de livraison auront une certaine distribution de probabilité dont il sera souvent nécessaire de tenir compte lorsqu'on cherchera à concevoir des systèmes les plus économiques possibles. Les paragraphes suivants doivent être lus en gardant à l'esprit la nature statistique des différents paramètres.

Les attributs des liaisons sont affectés par des facteurs autres que ceux qui concernent 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 des attributs des liaisons, le § I.5 contient des valeurs types pour les liaisons à fibres optiques. Les méthodes d'estimation des paramètres de fibre nécessaires à la conception de systèmes se fondent sur des mesures, sur une modélisation ou sur d'autres éléments.

#### I.1 Affaiblissement

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

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

où:

- $\alpha$  est le coefficient d'atténuation type des câbles à fibres optiques dans une liaison
- $\alpha_s$  est la perte moyenne d'épissure

- $x$  est le nombre d'épissures dans une liaison
- $\alpha_c$  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'Equation I-1 n'inclut pas de pertes dues aux connecteurs des équipements. Les valeurs types fournies au § I.5 se rapportent au coefficient d'affaiblissement d'une liaison par fibres optiques. Il convient de tenir compte, dans le bilan d'affaiblissement utilisé pour la conception d'un système réel, 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 s'arrange, dans certains cas, pour utiliser la dispersion chromatique. En l'occurrence, la dispersion chromatique moyenne de la liaison est utilisée pour la conception du système.

Pour simplifier l'estimation, la relation est décrite en termes des classiques de coefficient de dispersion chromatique et de pente de coefficient 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, dépendent de l'implémentation. Ces valeurs, avec la longueur de liaison,  $L_{Link}$ , peuvent être utilisées pour calculer la dispersion chromatique type à utiliser lors de la conception de la liaison optique.

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

Pour obtenir une estimation plus précise, la relation est décrite en termes de coefficient type de dispersion chromatique à 1460, 1550 et 1625 nm et de pente de dispersion chromatique à 1550 nm. Ces valeurs, avec la longueur de liaison,  $L_{Link}$ , peuvent être utilisées pour calculer la dispersion chromatique type à utiliser lors de la conception de la liaison optique.

On trouvera dans [G.Sup.39] d'autres informations sur la conception des systèmes et sur les statistiques de dispersion chromatique.

## 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 [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 relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation, mais elle est exposée dans [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 réelle 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 maximal de propagation de groupe différentiel,  $DGD_{max}$ : 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 (se reporter aux [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 par fibres optiques concaténées conformément aux § I.1 et I.3. Pour la fibre considérée, les valeurs maximales du temps de propagation de groupe sont données dans le Tableau I.2 à titre indicatif pour ce qui est des prescriptions relatives aux autres éléments optiques éventuellement présents dans la liaison.

**Tableau I.1/G.656 – Valeurs représentatives de liaisons par fibres optiques concaténées**

Attribut	Plage de longueurs d'onde	Valeur type pour une liaison (voir Note)
Coefficient d'atténuation	1460 nm-1530 nm	0,35 dB/km
	1530 nm-1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm-1625 nm	0,35 dB/km
Coefficient de dispersion type	$D_{1460}$	TBD
	$D_{1550}$	TBD
	$D_{1625}$	TBD
	$S_{1550}$	TBD
NOTE – La valeur type pour une liaison correspond au coefficient d'atténuation sur la liaison utilisé dans [G.957] et [G.691].		



**Tableau I.2/G.656 – Temps de propagation de groupe différentiel**

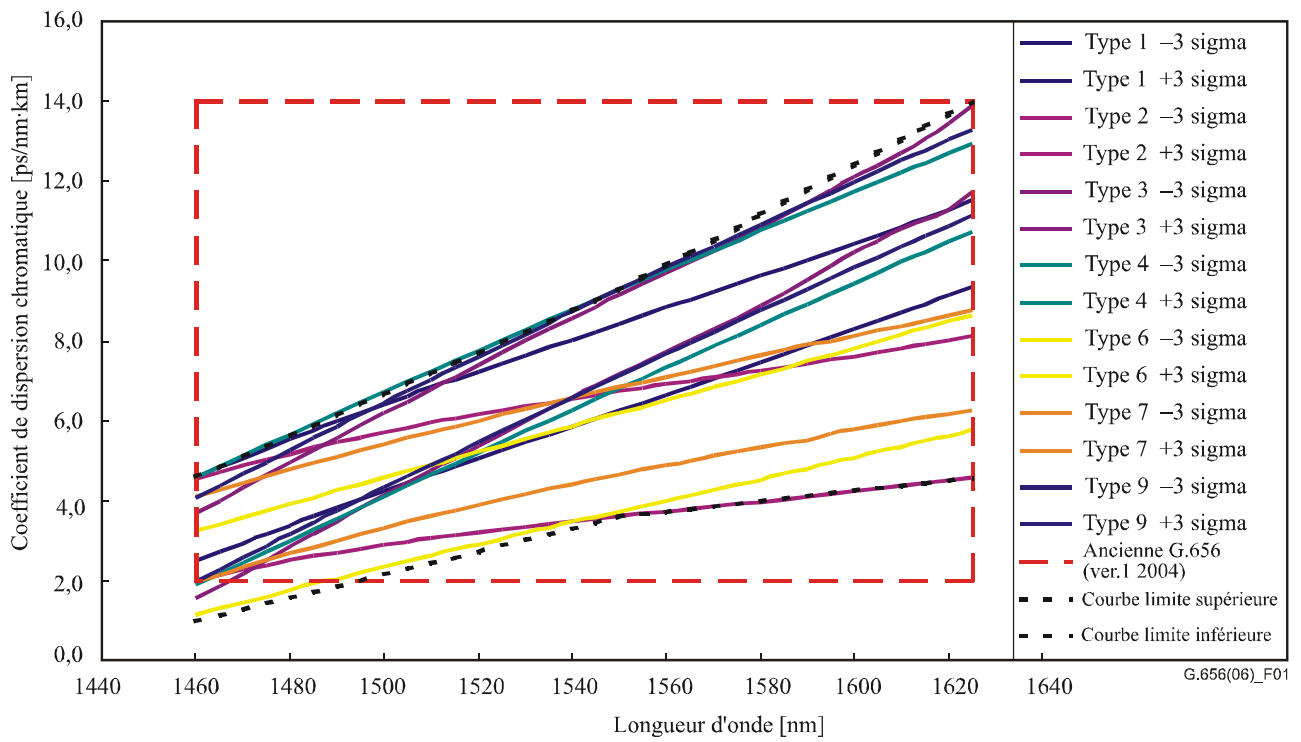
PMD <sub>Q</sub> maximal (ps/√km)	Longueur de liaison (km)	DGD maximal induit pour la fibre considérée (ps)	Débit binaire sur le canal
Non spécifié			2,5 Gbit/s au maximum
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (voir Note)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	>4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTE – Cette valeur s'applique aux systèmes Ethernet à 10 Gbit.			

NOTE – La longueur d'un tronçon de câble est de 10 km sauf pour les liaisons à 0,10ps√km/>4000 km, où elle est de 25 km, la probabilité est de  $6,5 \times 10^{-8}$ .

### **I.6 Limites du coefficient de dispersion chromatique**

Les équations permettant de déterminer les limites du coefficient de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde reposent sur l'étude consacrée aux fibres G.656, qui a retenu neuf produits de sept fournisseurs. Chaque fournisseur a indiqué la valeur moyenne et l'écart type en fonction de la longueur d'onde pour les longueurs d'onde comprises entre 1460 nm et 1625 nm, par pas de 5 nm. Pour chaque longueur d'onde et chaque fournisseur, on a calculé d'abord la valeur moyenne plus et moins trois fois l'écart type, puis les valeurs minimale et maximale pour l'ensemble des fournisseurs. Les résultats obtenus ont été ajustés au moyen d'une spline linéaire avec un point de rupture à 1550 nm pour réduire au minimum la somme des valeurs absolues de la différence tout en maintenant le principe de l'inclusion de toutes les données dans l'enveloppe.

Les résultats sont présentés dans la Figure I.1. Les lignes en pointillé correspondent aux limites indiquées dans le § 7. Les données restantes constituent les résultats de l'étude.



**Figure I.1/G.656 – Dispersion dans les fibres pour le Tableau 1**

## BIBLIOGRAPHIE

- [G.Sup.39] Recommandations de la série G – Supplément 39 (2006), *Considérations sur la conception et l'ingénierie des systèmes optiques*.
- [CEI 61282-3] CEI/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion*.





## 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
<b>Série G</b>	<b>Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques</b>
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