

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.655

(03/2006)

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
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
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE ETHERNET 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.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 dense en longueur d'onde (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 ajoute deux nouvelles catégories de fibres dans les Tableaux D et E. Pour ces deux catégories, 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. Bien que la dispersion puisse changer de signe aux longueurs d'onde inférieures à 1530 nm, l'inclusion de ces longueurs d'onde a pour objet de fournir des informations aux fins de la prise en charge d'applications de multiplexage par répartition espacée en longueur d'onde qui ne sont pas exposées à des dégradations non linéaires importantes dans les canaux associés à une longueur d'onde égale ou supérieure à 1471 nm. Ces tableaux sont incorporés ici pour différencier les deux grandes familles de fibres G.655 prises en charge par divers fournisseurs. Les Tableaux A, B et C n'ont pas été modifiés. Les Tableaux A et B ne sont pas inclus dans la présente Recommandation, mais ils figurent dans l'édition 2003 de la Recommandation UIT-T G.655.

Source

La Recommandation UIT-T G.655 a été approuvée le 29 mars 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

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. 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.

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 responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2006

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 3
4	Abréviations..... 3
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 4
5.4	Non-circularité 4
5.5	Longueur d'onde de coupure 4
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 des câbles..... 6
6.1	Affaiblissement linéique 7
6.2	Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)..... 7
7	Tableaux des valeurs recommandées..... 8
	Appendice I – Informations pour les attributs de liaison et la conception de systèmes 12
I.1	Affaiblissement 12
I.2	Dispersion chromatique 12
I.3	Temps de propagation de groupe différentiel (DGD)..... 13
I.4	Coefficient de non-linéarité 13
I.5	Tableaux des valeurs types usuelles..... 14
I.6	Exemples d'implémentations 14
I.7	Limites du coefficient de dispersion chromatique pour les Tableaux D et E.. 15
	BIBLIOGRAPHIE 18

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 le coefficient de dispersion chromatique (en valeur absolue) doit être supérieur à une valeur non nulle pour toutes les longueurs d'onde supérieures à 1530 nm. Cette dispersion réduit l'augmentation des effets non linéaires qui peuvent être particulièrement désagréables dans les systèmes de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Aux longueurs d'onde inférieures à 1530 nm, le coefficient de dispersion chromatique peut changer de signe, mais les valeurs de celui-ci à ces longueurs d'onde peuvent être spécifiées aux fins de la prise en charge de systèmes de multiplexage par répartition espacée en longueur d'onde (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*) qui ne sont pas exposés à des dégradations importantes dues aux effets non linéaires.

Ces fibres étaient initialement destinées à être utilisées à des longueurs d'onde dans une zone prescrite comprise entre 1530 nm et 1565 nm. Des dispositions ont été prises pour prendre en charge la transmission à des longueurs d'onde supérieures jusqu'à 1625 nm et à des longueurs d'onde inférieures depuis 1460 nm.

Dans le § 7, les Tableaux D et E différencient les deux grandes familles d'implémentations de fibres G.655 prises en charge par divers fournisseurs. Les Tableaux A, B et C peuvent être utilisés pour définir d'autres implémentations. Les Tableaux A et B ne sont pas inclus dans la présente publication mais ils figurent dans l'édition 2003 de la Rec. UIT-T G.655.

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 § 7, sont destinées à prendre en charge les Recommandations suivantes concernant des systèmes proches:

- Rec. UIT-T G.691;
- Rec. UIT-T G.692;
- Rec. UIT-T G.693;
- Rec. UIT-T G.695;
- Rec. UIT-T G.696.1;
- Rec. UIT-T G.698.1;
- Rec. UIT-T G.957;
- 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 fabricants.

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 (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.693 (2006), *Interfaces optiques pour les connexions locales.*
- Recommandation UIT-T G.694.1 (2002), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueurs d'onde: grille dense DWDM.*
- Recommandation UIT-T G.695 (2005), *Interfaces optiques pour les applications de multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde.*
- Recommandation UIT-T G.696.1 (2005), *Applications de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde intradomaniales longitudinalement compatibles.*
- Recommandation UIT-T G.698.1 (2005), *Applications multicanales de multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde à interfaces optiques monocanales.*
- 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*.

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>)
CWDM	multiplexage par répartition espacée en longueur d'onde (<i>coarse wavelength division multiplexing</i>)
DGD	temps de propagation de groupe différentiel (<i>differential group delay</i>)
DWDM	multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (<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 sur une liaison (<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 § 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 § 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 cœur

L'erreur de concentricité du cœur 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 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 § 7.

5.5 Longueur d'onde de coupure

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

- a) une longueur d'onde de coupure λ_{cc} de câble;
- b) une longueur d'onde de coupure λ_c de fibre;
- c) 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 § 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 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 § 7.

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques figurent aux § 3.2.3/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 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. La Rec. UIT-T G.650.1 indique 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.

NOTE 1 – Il convient que l'uniformité de la dispersion chromatique soit compatible avec le fonctionnement du système.

NOTE 2 – Les spécifications relatives à la dispersion chromatique découlent du système de multiplexage à répartition en longueur d'onde, pour lequel il faut concilier la dispersion chromatique de premier ordre avec 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 3 – Il n'est pas nécessaire de mesurer de façon routinière le coefficient de dispersion chromatique.

5.10.1 Forme de spécification initiale

Cette forme de spécification s'applique au Tableau C du § 7, ainsi qu'aux Tableaux A et B de l'édition 2003 de la présente Recommandation.

Le coefficient de dispersion chromatique, D , est spécifié dans une plage de longueurs d'onde par la définition d'une gamme de valeurs absolues autorisées du coefficient de dispersion chromatique. Le coefficient de dispersion chromatique ne doit pas changer de signe 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:

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

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

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

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 § 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'étude.

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

5.10.2 Spécification fondée sur une paire de courbes limites

Cette forme de spécification s'applique aux Tableaux D et E du § 7.

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

Un ensemble de courbes est par 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 limites peuvent varier d'une gamme de longueurs d'onde à une autre.

6 Attributs des câbles

Etant donné que les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 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 § 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)

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 le document CEI/TR 61282-3 et sont récapitulées dans l'Appendice IV/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 Rec. UIT-T 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 la Rec. UIT-T 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_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 suivants récapitulent les valeurs recommandées pour un certain nombre de catégories de fibres qui satisfont aux objectifs de la présente Recommandation. Ces catégories sont établies essentiellement en fonction des valeurs PMD requises et des caractéristiques de dispersion chromatique. 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.655.A" et le Tableau 2 "Attributs G.655.B" figurent dans la version 2003 de la présente Recommandation.

Le Tableau 3 "Attributs G.655.C" reprend la spécification rudimentaire initiale pour le coefficient de dispersion, ce qui permet de prendre en compte des fibres à dispersion négative qui pourraient être utiles dans le cadre de liaisons à gestion de la dispersion telles que celles qui peuvent être utilisées dans les systèmes sous-marins. Cela permet également la prise en charge de Recommandations relatives aux interfaces optiques telles que les Recommandations UIT-T G.691, G.959.1 et G.693. Pour les systèmes DWDM, les espacements de canaux définis dans la Rec. UIT-T 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.

Le Tableau 4 "Attributs G.655.D", définit les valeurs requises pour le coefficient de dispersion chromatique sous la forme d'une paire de courbes limites en fonction de la longueur d'onde pour les longueurs d'onde comprises entre 1460 nm et 1625 nm. Pour les longueurs d'onde supérieures à 1530 nm, la dispersion est positive et d'une amplitude suffisante pour supprimer la plupart des dégradations non linéaires. Pour ces longueurs d'onde, les applications mentionnées dans le Tableau 3 sont prises en charge. Pour les longueurs d'onde inférieures à 1530 nm, la dispersion change de signe, mais la fibre peut être utilisée pour prendre en charge des applications CWDM dans des canaux associés à une longueur d'onde égale ou supérieure à 1471 nm.

Le Tableau 5 "Attributs G.655.E" définit pour la dispersion chromatique des valeurs requises du même style que celles du Tableau 4, mais supérieures, ce qui peut être important pour certains systèmes, par exemple ceux qui ont de plus petits espacements de canaux. Les applications mentionnées dans le Tableau 3 sont prises en charge. Les fibres qui satisfont à ces valeurs requises ont une dispersion positive et non nulle aux longueurs d'onde supérieures à 1460 nm.

NOTE – De nombreuses applications sous-marines peuvent utiliser ces fibres. 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 3/G.655 – Attributs G.655.C

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage des 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
Contrainte d'essai	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
	$D_{max} - D_{min}$	≤ 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 PMD pour une fibre non câblée	Maximum	(voir Note 1)
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 PMD	M	20 câbles
	Q	0,01%
	PMD _Q maximum	0,20 ps/√km
NOTE 1 – Conformément au § 6.2, une valeur PMD _Q maximale pour une fibre non câblée est spécifiée afin de prendre en charge la valeur requise primaire du paramètre PMD _Q pour le câble.		
NOTE 2 – Pour des applications particulières, le fabricant et l'utilisateur peuvent convenir entre eux de valeurs PMD _Q plus élevées (≤ 0,5 ps/√km, par exemple).		

Tableau 4/G.655 – Attributs G.655.D

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage des valeurs nominales	8-11 µm
	Tolérance	± 0,6 µm
Diamètre de gaine	Nominal	125 µm
	Tolérance	± 1 µm
Erreur de concentricité du coeur	Maximum	0,6 µm
Non-circularité de gaine	Maximum	1,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1450 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,1 dB
Contrainte d'essai	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{7,00}{90}(\lambda - 1460) - 4,20$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{2,97}{75}(\lambda - 1550) + 2,80$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,91}{90}(\lambda - 1460) + 3,29$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,06}{75}(\lambda - 1550) + 6,20$
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 PMD	M	20 câbles
	Q	0,01%
	PMD _Q maximum	0,20 ps/√km
NOTE 1 – Conformément au § 6.2, une valeur PMD _Q maximale pour une fibre non câblée est spécifiée afin de prendre en charge la valeur requise primaire du paramètre PMD _Q pour le câble.		
NOTE 2 – Pour des applications particulières, le fabricant et l'utilisateur peuvent convenir entre eux de valeurs PMD _Q plus élevées (≤ 0,5 ps/√km, par exemple).		

Tableau 5/G.655 – Attributs G.655.E

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage des valeurs nominales	8-11 µm
	Tolérance	± 0,6 µm
Diamètre de gaine	Nominal	125 µm
	Tolérance	± 1 µm
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,6 µm
Non-circularité de gaine	Maximum	1,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1450 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1625 nm	0,1 dB
Contrainte d'essai	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,42}{90}(\lambda - 1460) + 0,64$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,30}{75}(\lambda - 1550) + 6,06$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,65}{90}(\lambda - 1460) + 4,66$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{4,12}{75}(\lambda - 1550) + 9,31$
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 PMD	M	20 câbles
	Q	0,01%
	PMD _Q maximum	0,20 ps/√km
NOTE 1 – Conformément au § 6.2, une valeur PMD _Q maximale pour une fibre non câblée est spécifiée afin de prendre en charge la valeur requise primaire du paramètre PMD _Q pour le câble.		
NOTE 2 – Pour les applications particulières, le fabricant et l'utilisateur peuvent convenir entre eux de valeurs PMD _Q plus élevées (≤ 0,5 ps/√km, par exemple).		

Appendice I

Informations pour les attributs de liaison et la conception de systèmes

Une liaison concaténée comprend généralement un certain nombre de tronçons épissurés de câble à fibres optiques. Les prescriptions portant sur les tronçons de câble 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 tronçons de câble à fibres optiques 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 § 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 § 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 l'implémentation spécifique. Pour les exemples donnés, on peut trouver des valeurs au § 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/TR 61282-3. Les mesures des limitations de la distribution de temps de propagation de groupe différentiel sont les suivantes:

- 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} .

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/TR 61282-3.

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 § 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 1)	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 1 – Cette valeur s'applique aussi pour les systèmes Ethernet à 10 Gbit/s.			
NOTE 2 – 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 $6,5 \cdot 10^{-8}$.			

I.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 d'implémentations. Leurs identificateurs sont arbitraires et ne reflètent aucune priorité.

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

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.

I.7 Limites du coefficient de dispersion chromatique pour les Tableaux D et E

Les équations permettant de déterminer les limites du coefficient de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde reposent sur deux études portant respectivement sur les fibres représentées dans le Tableau D et sur les fibres représentées dans le Tableau E. Ces études ont respectivement fait intervenir cinq et quatre fournisseurs, chacun d'entre eux ayant 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, la valeur moyenne plus et moins trois fois l'écart type a été calculée. Puis les valeurs minimale et maximale pour l'ensemble des fournisseurs ont été calculées. Les résultats ainsi 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 pour les Tableaux D et E sont présentés dans les Figures I.1 et I.2 respectivement. Les lignes continues correspondent aux limites indiquées dans le § 7. Les données restantes constituent les résultats des études.

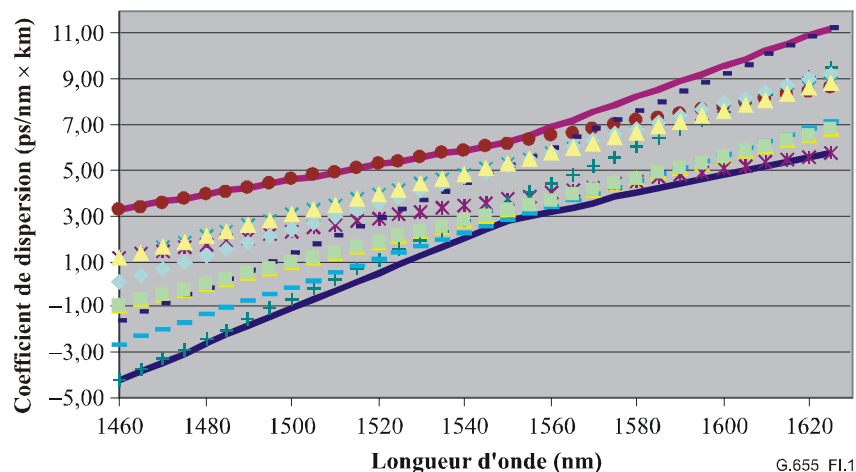


Figure I.1/G.655 – Limite de dispersion dans les fibres pour le Tableau D

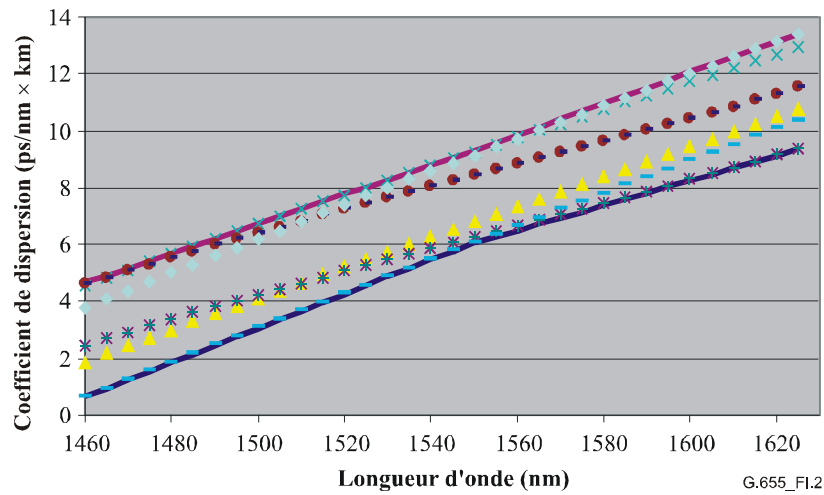


Figure I.2/G.655 – Limite de dispersion dans les fibres pour le Tableau E

Les limites indiquées dans le § 7 s'appliquent à des fibres individuelles. La gamme des valeurs associées aux liaisons correspondant à une concaténation de fibres individuelles peut être plus petite. Pour des fibres G.652, pour lesquelles la diversité des valeurs d'un fournisseur à l'autre est moindre, la valeur moyenne plus une fois l'écart type, qui est indiquée dans le Supplément 39 des Recommandations UIT-T de la série G, peut être retenue comme limite pour le système.

La méthodologie décrite ci-dessus a été appliquée pour déterminer les courbes limites incluant tous les résultats obtenus pour la valeur moyenne plus ou moins une fois l'écart type. Les résultats sont présentés graphiquement sur les Figures I.3 et I.4. Les données relatives à la valeur moyenne plus ou moins trois fois l'écart type sont également présentées à titre de comparaison. Les équations relatives aux limites incluant les résultats des études pour la valeur moyenne plus ou moins une fois l'écart type figurent dans les Tableaux I.4 et I.5.

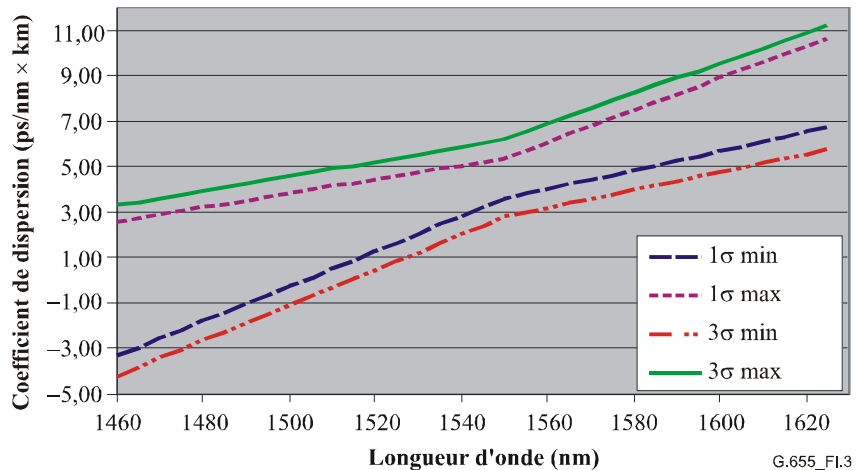


Figure I.3/G.655 – Comparaison des limites dans les fibres pour le Tableau D

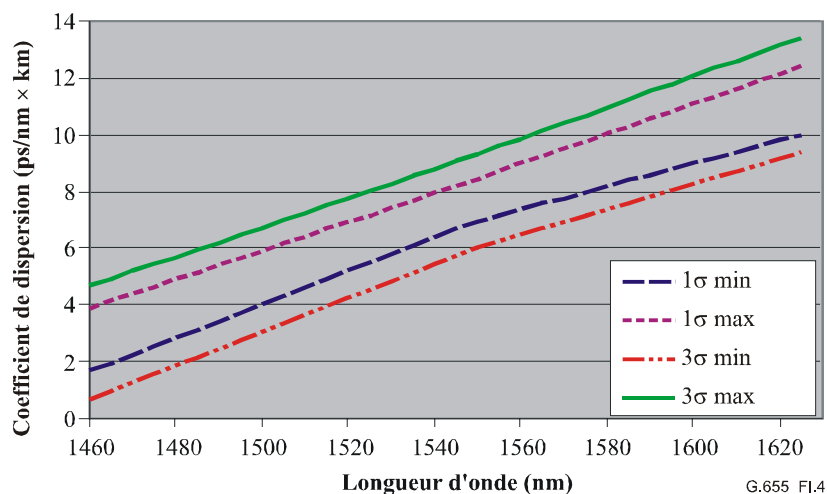


Figure I.4/G.655 – Comparaison des limites dans les fibres pour le Tableau E

Tableau I.4/G.655 – Limites pour la valeur moyenne plus ou moins une fois l'écart type dans les fibres pour le Tableau D

Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{6,94}{90}(\lambda - 1460) - 3,34$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,13}{75}(\lambda - 1550) + 3,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,78}{90}(\lambda - 1460) + 2,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,28}{75}(\lambda - 1550) + 5,38$

Tableau I.5/G.655 – Limites pour la valeur moyenne plus ou moins une fois l'écart type dans les fibres pour le Tableau E

Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,28}{90}(\lambda - 1460) + 1,68$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,05}{75}(\lambda - 1550) + 6,96$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,56}{90}(\lambda - 1460) + 3,89$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,96}{75}(\lambda - 1550) + 8,45$

BIBLIOGRAPHIE

- CEI/TR 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 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