

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.653

(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 monomodes à dispersion décalée

Recommandation UIT-T G.653

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 RADIODÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	G.600–G.699
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.639
Systèmes optiques en espace libre	G.640–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.679
Caractéristiques des systèmes optiques	G.680–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.653

Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée

Résumé

La présente Recommandation décrit les attributs géométriques, mécaniques et de transmission de câbles et fibres optiques monomodes dont la longueur d'onde de dispersion nulle est décalée dans la gamme des longueurs d'onde de 1550 nm. La présente version constitue la révision la plus récente d'une Recommandation dont la première version remonte à 1988.

La présente révision précise les caractéristiques de dispersion chromatique du Tableau 2 (G.653.B). Cette catégorie limite le coefficient de dispersion chromatique 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'extension 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.

Source

La Recommandation UIT-T G.653 a été approuvée le 14 décembre 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Historique

- 1988 Version 1.
- 1993 Version 2.
- 1997 Version 3.
- 2000 Version 4. Cette révision a permis d'adapter la structure de la Recommandation aux autres Recommandations concernant les fibres optiques, telles que les Recommandations UIT-T G.652, G.654 et G.655.
- 2003 Version 5. La présente révision a permis de modifier, afin d'en faciliter la compréhension, la description du coefficient de dispersion chromatique. Elle a aussi permis, conformément à l'accord sur la description des bandes spectrales, que la limite supérieure de la bande L égale à 16xx nm devienne 1625 nm. Les désignations sous-catégorie de base et sous-catégorie ont été remplacées par les termes catégorie de base et catégorie, respectivement. Une nouvelle catégorie G.653.B a été créée, dont la limite de dispersion PMD est réduite (par rapport à 0,5ps/√ km). Pour l'essai de macrocourbure, le rayon du mandrin a été réduit à 30 mm.
- 2006 Version 6. Conformément aux communications reçues par les commissions d'études chargées des autres Questions, les courbes limitant le coefficient de dispersion chromatique ont été implémentées dans le Tableau 2 (G.653.B) au lieu des "spécifications rudimentaires". Pour le Tableau 2, les autres attributs ont été mis à jour conformément aux Recommandations UIT-T G.652 (2005) et G.655 (2006).

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

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1 Domaine d'application	1
2 Références.....	2
2.1 Références normatives.....	2
2.2 Références informatives	2
3 Termes et définitions	2
4 Abréviations.....	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	3
5.4 Non-circularité.....	3
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 d'une 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 Tableau de valeurs recommandées	8
Appendice I – Informations pour les attributs des liaisons et pour la conception de systèmes.....	11
I.1 Affaiblissement.....	11
I.2 Dispersion chromatique.....	11
I.3 Temps de propagation de groupe différentiel (DGD)	12
I.4 Coefficient de non-linéarité.....	12
I.5 Tableau des valeurs types habituelles.....	12
I.6 Limites du coefficient de dispersion chromatique pour le Tableau 2	13
BIBLIOGRAPHIE	15

Recommandation UIT-T G.653

Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée

1 Domaine d'application

La présente Recommandation traite des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée ayant une longueur d'onde de dispersion nulle proche de 1550 nm et un coefficient de dispersion qui augmente de manière monotone avec la longueur d'onde. Ces fibres sont optimisées pour la région des 1550 nm mais elles peuvent également être utilisées au voisinage de 1310 nm, sous réserve des contraintes soulignées dans la présente Recommandation. Un certain nombre de dispositions sont prises pour prendre en charge la transmission à des longueurs d'onde plus élevées pouvant atteindre 1625 nm et à des longueurs d'onde plus courtes pouvant atteindre 1460 nm. Les valeurs du coefficient de dispersion chromatique pour ces longueurs d'onde peuvent être spécifiées afin de prendre en charge les systèmes de multiplexage par répartition espacée en longueur d'onde (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*) qui ne sont pas exposés à des dégradations non linéaires importantes. Les paramètres géométriques, mécaniques et de transmission sont répartis ci-après selon trois catégories d'attributs:

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

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

- G.957.
- G.691.
- G.692.
- G.693.
- G.959.1.
- G.977.
- G.695.
- G.698.1.

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 [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.

- [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

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

- [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.695] Recommandation UIT-T G.695 (2006), *Interfaces optiques pour les applications de multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde.*
- [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.*
- [G.977] Recommandation UIT-T G.977 (2006), *Caractéristiques des systèmes de câbles optiques sous-marins à amplification optique.*

3 Termes et définitions

Les définitions données dans les Recommandations UIT-T G.650.1 et G.650.2 s'appliquent à la présente Recommandation. Les valeurs doivent être arrondies au nombre de chiffres indiqué dans le tableau des valeurs recommandées, avant d'évaluer la conformité.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

CWDM	multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde (<i>coarse wavelength division multiplexing</i>)
DGD	temps de propagation de groupe différentiel (<i>differential group delay</i>)
GPa	Giga pascals
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	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>)
WDM	multiplexage par répartition en longueurs 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 en vue de la fabrication des 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 nominale doivent être spécifiées à 1550 nm. Cette valeur nominale spécifiée doit se trouver dans la plage indiquée dans le § 7. La tolérance spécifiée ne doit pas être supérieure à 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 réception.

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) la longueur d'onde de coupure de câble λ_{cc} ;
- b) la longueur d'onde de coupure de fibre λ_c ;
- c) la longueur d'onde de coupure de jarretière λ_{cj} .

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

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

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

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

5.6 Perte par macrocourbure

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

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

NOTE 2 – Le nombre de tours recommandé correspond au nombre approximatif de 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 et afin de faciliter la mesure ainsi que pour la précision, on peut utiliser une boucle de faible diamètre à une ou plusieurs spires au lieu de procéder au test recommandé. Dans ce cas, il convient de choisir le diamètre de la boucle, le nombre de spires et la valeur maximale admissible d'affaiblissement dû à la courbure de manière à ce que les résultats soient corrélés avec le test recommandé et autorisé.

5.7 Propriétés des matériaux des fibres

5.7.1 Matériaux composant les fibres

Il convient d'indiquer les matériaux composant les fibres.

NOTE – Des précautions sont à prendre lorsque l'on raccorde par fusion des fibres faites de matériaux différents. Les premiers résultats indiquent que le raccordement de fibres différentes de silice de haute qualité permet d'obtenir des valeurs satisfaisantes quant à la perte et à la solidité des épissures.

5.7.2 Matériaux protecteurs

Il convient d'indiquer les propriétés physiques et chimiques des matériaux employés pour le revêtement primaire de la fibre ainsi que la meilleure méthode pour l'enlever (si cela est nécessaire). Dans le cas de fibres à enveloppe unique, des indications analogues doivent être fournies.

5.7.3 Seuil de déformation permanente

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

NOTE – Les définitions des paramètres mécaniques figurent aux § 3.2 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 d'une dispersion chromatique

A l'étude.

NOTE – A une longueur d'onde donnée, la valeur absolue locale du coefficient de dispersion chromatique peut s'éloigner de la valeur mesurée sur une longueur importante. Si cette valeur décroît de façon importante pour atteindre une valeur faible à une longueur d'onde proche d'une longueur d'onde de fonctionnement dans un système de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM, *wavelength division multiplexing*), le mélange de quatre ondes peut entraîner la propagation de la puissance sur d'autres longueurs d'onde, y compris, mais sans s'y limiter, d'autres longueurs d'onde de fonctionnement. L'amplitude de la puissance de mélange de quatre ondes est une fonction de la valeur absolue du coefficient de dispersion chromatique, de la pente de dispersion chromatique, des longueurs d'onde de fonctionnement, de la puissance optique et de la distance à laquelle se produit le mélange de quatre ondes.

5.10 Coefficient de dispersion chromatique

Le temps de propagation de groupe ou la dispersion chromatique mesurés par unité de longueur de fibre en fonction de la longueur d'onde pourront être donnés approximativement par l'équation quadratique définie dans l'Annexe A de [G.650.1]. (Voir le § 5.5 de [G.650.1] au sujet de lignes directrices concernant l'interpolation des valeurs de dispersion aux longueurs d'onde non mesurées.)

Suivant les spécifications relatives à la précision, pour des intervalles de longueurs d'onde jusqu'à 35 nm, l'équation quadratique est admise dans la région des 1550 nm. Pour des intervalles de longueurs d'onde plus grands, il est recommandé d'employer soit le modèle de Sellmeier à 5 termes, soit le modèle polynomial du 4^e ordre. Il n'est pas prévu d'employer l'équation dans la région des 1310 nm.

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 – Il n'est pas nécessaire de mesurer systématiquement le coefficient de dispersion chromatique et la longueur d'onde à dispersion nulle.

5.10.1 Forme de spécification initiale

Cette forme de spécification s'applique au Tableau 1 du § 7.

Le coefficient de dispersion chromatique, $D(\lambda)$, est spécifié dans une gamme de longueurs d'onde en imposant un intervalle de valeurs absolues admises pour le coefficient de dispersion chromatique. La forme de la spécification est la suivante:

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

où:

$$1525 \text{ nm} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1575 \text{ nm}$$

En même temps, la longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0 , et la pente de dispersion nulle, S_0 , sont spécifiées par les équations suivantes:

$$\lambda_{0\min} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0\max}$$

$$S_0 \leq S_{0\max}$$

Les valeurs pour $D_{\max}$, $\lambda_{\min}$, $\lambda_{\max}$, $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$ et $S_{0\max}$ seront comprises dans les intervalles indiqués au § 7.

5.10.2 Spécification fondée sur une paire de courbes limites

Cette forme de spécification s'applique au Tableau 2 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 gamme de longueurs d'onde spécifiée en fonction de $\lambda_{\min}$ et $\lambda_{\max}$. De plus, les limites de dispersion peuvent être données de manière explicite pour une ou plusieurs longueurs d'onde spécifiques. Un ensemble de courbes est par exemple représenté symboliquement par une paire de lignes droites:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min}(\lambda - 1525) \quad (\text{ps/nm} \cdot \text{km})$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max}(\lambda - 1575) \quad (\text{ps/nm} \cdot \text{km})$$

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

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

6 Attributs des câbles

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 5 n'étant que peu affectées par le processus de câblage, on trouvera dans le présent paragraphe des recommandations portant essentiellement sur les caractéristiques de transmission des pièces de câbles à la longueur de livraison.

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

6.1 Affaiblissement linéique

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

NOTE – Le coefficient d'atténuation peut être calculé pour un spectre de longueurs d'onde, sur la base de mesures effectuées à quelques (3 ou 4) longueurs d'ondes prédictives. Cette procédure est décrite au § 5.4 de [G.650.1] et un exemple est donné pour une fibre G.652 à l'Appendice III de [G.650.1].

6.2 Coefficient de dispersion modale de polarisation (PMD)

La dispersion modale de polarisation de fibre câblée doit être spécifiée sur une base statistique et non sur une base de fibre individuelle. Les prescriptions ne s'appliquent qu'à l'aspect de la liaison calculée à partir d'informations sur le câble. La métrique de la spécification statistique est fournie ci-après. Des méthodes de calcul sont données dans la CEI 61282-3, et sont récapitulées dans l'Appendice IV de [G.650.2].

Le constructeur doit fournir une valeur de conception de la liaison PMD, PMD_Q , qui sert de borne statistique supérieure pour le coefficient de dispersion modale de polarisation relatif aux câbles à fibres optiques concaténés dans une éventuelle liaison définie entre des sections de câbles M. La borne supérieure est définie en termes de niveau de faible probabilité, Q, qui représente la probabilité qu'une valeur de coefficient de dispersion modale de polarisation concaténé dépasse PMD_Q . Pour les valeurs de M et de Q indiquées dans le § 7, la valeur de PMD_Q ne doit pas dépasser le coefficient de dispersion modale de polarisation maximal qui y est spécifié.

Les mesures et les spécifications applicables aux fibres non câblées sont nécessaires mais pas suffisantes pour la spécification des fibres câblées. La valeur nominale maximale de la liaison spécifiée pour une fibre non câblée doit être inférieure ou égale à la valeur correspondante spécifiée pour la fibre câblée. Le rapport entre les valeurs PMD d'une fibre non câblée et celles d'une fibre câblée est fonction des caractéristiques de fabrication et de traitement des câbles, ainsi que des conditions de couplage des modes de la fibre non câblée. [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 des coefficients de dispersion modale de polarisation comme étant presque équivalentes à celles de l'écart statistique du temps de propagation de groupe différentiel (DGD, *differential group delay*), qui varie de manière aléatoire en fonction du temps et de la longueur d'onde. Lorsqu'une distribution des coefficients de dispersion modale de polarisation est spécifiée pour les câbles à fibres optiques, on peut fixer des limites équivalentes sur la variation du temps de propagation de groupe différentiel. La métrique et les valeurs des limites de la distribution du temps de propagation de groupe différentiel pour les liaisons sont fournies dans l'Appendice I.

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 construction semblable.

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 Tableau de 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 spécifications 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, G.653.A, portant sur les attributs, concerne la catégorie de base pour les câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée et reprend la spécification "rudimentaire" initiale pour le coefficient de dispersion. Cette catégorie convient aux systèmes décrits dans [G.691], [G.692], [G.693], [G.957] et [G.977] avec un espacement inégal entre les canaux dans la région des longueurs d'onde de 1550 nm.

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

Le Tableau 2, G.653.B, portant aussi sur les attributs, est semblable au G.653.A, mais des spécifications plus strictes concernant la dispersion PMD assurent que les systèmes STM-64 prennent en charge des longueurs supérieures à 400 km et des applications STM-256 G.959.1.

Le Tableau 2, G.653.B portant sur les attributs, 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. Cette catégorie peut prendre en charge les applications CWMD ainsi que les applications mentionnées dans le Tableau 1. Les spécifications PMD assurent que les systèmes STM-64 prennent en charge des longueurs supérieures à 400 km et des applications STM-256 G.959.1.

Tableau 1/G.653 – Attributs G.653.A

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	7,8-8,5 µm
	Tolérance	±0,8 µm
Diamètre de gaine	Nominal	125 µm
	Tolérance	±1 µm
Erreur de concentricité du cœur	Maximum	0,8 µm
Non-circularité de gaine	Maximum	2,0%
Longueur d'onde de coupure du câble	Maximum	1270 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1550 nm	0,5 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique	$\lambda_{\min}$	1525 nm
	$\lambda_{\max}$	1575 nm
	$D_{\max}$	3,5 ps/(nm × km)
	$\lambda_{0\min}$	1500 nm
	$\lambda_{0\max}$	1600 nm
	$S_{0\max}$	0,085 ps/(nm ² × km)
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	(Note)
Attributs des câbles		
Attribut	Détail	Valeur
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum de dispersion modale de polarisation PMD _Q	0,5 ps/√km
NOTE – 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.		

Tableau 2 /G.653 – Attributs G.653.B

Attributs des fibres		
Attribut	Détail	Valeur
Diamètre du champ de mode	Longueur d'onde	1550 nm
	Plage de valeurs nominales	7,8-8,5 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	1270 nm
Perte par macrocourbure	Rayon	30 mm
	Nombre de tours	100
	Maximum à 1550 nm	0,1 dB
Limite d'allongement	Minimum	0,69 GPa
Coefficient de dispersion chromatique (ps/nm × km)	$D_{\min}(\lambda)$: 1460-1525 nm	$0,085 * (\lambda - 1525) - 3,5$
	$D_{\min}(\lambda)$: 1525-1625 nm	$3,5/75 * (\lambda - 1600)$
	$D_{\max}(\lambda)$: 1460-1575 nm	$3,5/75 * (\lambda - 1500)$
	$D_{\max}(\lambda)$: 1575-1625 nm	$0,085 * (\lambda - 1575) + 3,5$
Coefficient de dispersion modale de polarisation pour une fibre non câblée	Maximum	(Note)
Attributs des câbles		
Attribut	Détail	Valeur
Coefficient d'atténuation	Maximum à 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficient de dispersion modale de polarisation	M	20 câbles
	Q	0,01%
	Maximum de dispersion modale de polarisation PMD _Q	0,20 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 ($\leq 0,5$ ps/√km, par exemple).		

Appendice I

Informations pour les attributs des liaisons et pour la conception de systèmes

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

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

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

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

I.1 Affaiblissement

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

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

où:

α = coefficient d'atténuation type d'un câble à fibres optique dans une liaison;

L = longueur d'une liaison;

α_s = affaiblissement moyen;

x = nombre d'épissures dans une liaison;

α_c = affaiblissement moyen des connecteurs de ligne;

y = nombre de connecteurs de ligne dans une liaison (le cas échéant).

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

I.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, en ps/nm, peut être calculée à partir des coefficients de dispersion chromatique des tronçons à longueur de livraison, en supposant une relation linéaire avec la longueur, et en tenant dûment compte des signes des coefficients (voir le § 5.10).

La longueur d'onde de dispersion nulle, λ_{0typ} , et la pente de la dispersion, S_{0typ} , à λ_{0typ} sont données au § I.5. Ces valeurs, avec la longueur de la liaison, L_{Link} , peuvent être employées pour calculer la dispersion type à utiliser lors de la conception de la liaison optique.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})] \text{ (ps/nm)}$$

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

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

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

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

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

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

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

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 en fonction de l'implémentation. Les méthodes de test pour le coefficient de non-linéarité demeurent à l'étude.

I.5 Tableau des valeurs types habituelles

Les valeurs indiquées dans les Tableaux I.1 et I.2 sont représentatives des liaisons de fibres optiques concaténées conformément aux I.1 et I.3, respectivement. Les valeurs du temps DGD maximal induit par les fibres impliquées dans le Tableau I.2 sont données pour servir d'indication en ce qui concerne les spécifications des autres éléments optiques pouvant être présents dans la liaison.

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

Attribut	Détail	Valeur
Coefficient d'atténuation	Longueur d'onde	Valeur type de liaison (Note)
	1550 nm	0,275 dB/km
	1625 nm	TBD
Paramètres de dispersion chromatique	λ_{0typ}	1550 nm
	S_{0typ}	0,07 ps/(nm ² × km)
NOTE – La valeur type de la liaison correspond aux coefficients d'atténuation de la liaison employés dans [G.957] et [G.691].		

Tableau I.2/G.653 – Temps de propagation de groupe différentiel

PMD _Q maximal (ps/√km)	Longueur de liaison (km)	DGD maximal induit par les fibres impliquées (ps)	Débit binaire des canaux
Pas de spécification			Jusqu'à 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (Note)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTE – Cette valeur s'applique aussi aux systèmes Ethernet à 10 Gbit.			

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

I.6 Limites du coefficient de dispersion chromatique pour le Tableau 2

Les équations permettant de déterminer les limites du coefficient de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde sont spécifiées à l'aide de la spécification "rudimentaire" initiale pour le coefficient de dispersion, D_{max} , λ_{min} , λ_{max} , λ_{0min} , λ_{0max} et S_{0max} . Les valeurs maximales comprises entre λ_{0max} de 1500 nm et λ_{max} de 1575 nm ont été reliées linéairement en fonction de la longueur d'onde de dispersion nulle à 1500 nm et de la longueur d'onde de dispersion maximale D_{max} de 3,5 ps/nm/km, à 1575 nm. La pente de cette ligne a une valeur de 0,0467 ps/nm² × km. Pour des longueurs d'onde inférieures à 1500 nm cette ligne est prolongée avec la même pente. Les valeurs maximales supérieures à 1575 nm ont été ajoutées en dessinant une ligne dont la pente est égale à la pente maximale S_{0max} , de 0,085 ps/nm² × km. Les valeurs minimales du coefficient de dispersion ont également été générées de la même manière avec une deuxième paire de lignes droites. Dans la Figure I.1, les lignes pleines représentent les courbes limites et les lignes pointillées la spécification "rudimentaire" initiale, pour laquelle les valeurs absolues du coefficient de dispersion chromatique sont inférieures à la dispersion maximale D_{max} de 3,5 ps/nm × km entre λ_{min} de 1525 nm et λ_{max} de 1575 nm. La spécification fondée sur les courbes limites du Tableau 2 est semblable à la spécification "rudimentaire" initiale du Tableau 1.

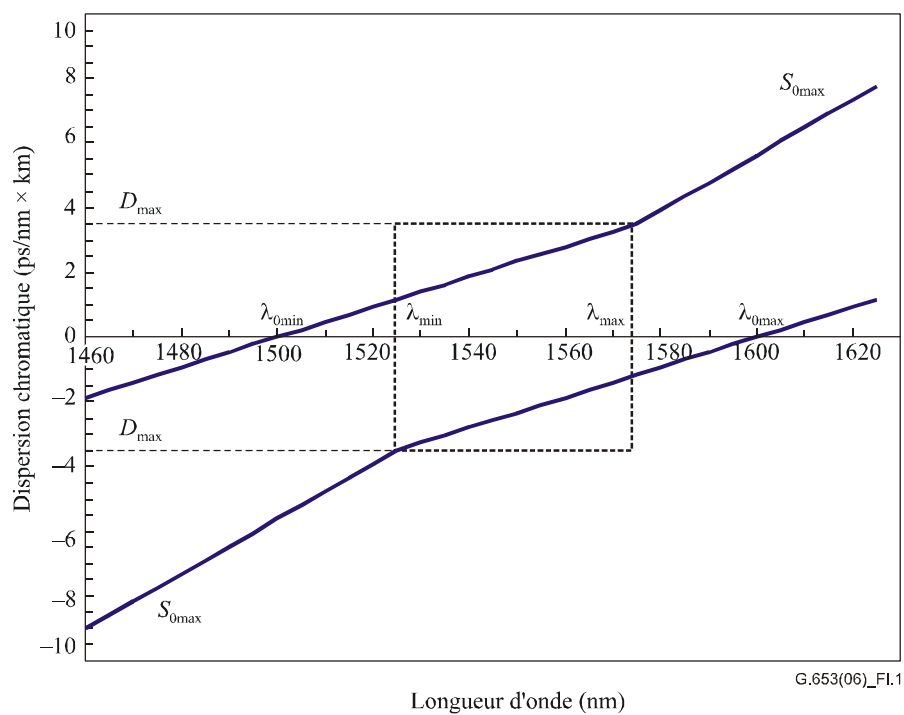


Figure I.1/G.653 – Limite de dispersion des fibres spécifiée dans le Tableau 2

BIBLIOGRAPHIE

- [CEI 61282-3] CEI/TR 61282-3 (2006), *Guides de conception des systèmes de communication à fibres optiques – Partie 3: Calcul de 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