



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

# CCITT

COMITÉ CONSULTATIF  
INTERNATIONAL  
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

**LIVRE BLEU**

---

**TOME III – FASCICULE III.3**

## **SUPPORTS DE TRANSMISSION CARACTÉRISTIQUES**

**RECOMMANDATIONS G.601 À G.654**

---



**IX<sup>e</sup> ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE**  
MELBOURNE, 14-25 NOVEMBRE 1988

Genève 1989



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

# CCITT

COMITÉ CONSULTATIF  
INTERNATIONAL  
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

**LIVRE BLEU**

---

**TOME III – FASCICULE III.3**

## **SUPPORTS DE TRANSMISSION CARACTÉRISTIQUES**

**RECOMMANDATIONS G.601 À G.654**

---



**IX<sup>e</sup> ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE**  
MELBOURNE, 14-25 NOVEMBRE 1988

Genève 1989

ISBN 92-61-03332-6



**CONTENU DU LIVRE DU CCITT  
EN VIGUEUR APRÈS LA NEUVIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE (1988)**

**LIVRE BLEU**

**Tome I**

- FASCICULE I.1 – Procès-verbaux et rapports de l'Assemblée plénière.  
Liste des Commissions d'études et des Questions mises à l'étude.
- FASCICULE I.2 – Vœux et Résolutions.  
Recommandations sur l'organisation du travail du CCITT (série A).
- FASCICULE I.3 – Termes et définitions. Abréviations et acronymes. Recommandations sur les moyens d'expression (série B) et les Statistiques générales des télécommunications (série C).
- FASCICULE I.4 – Index du Livre bleu.

**Tome II**

- FASCICULE II.1 – Principes généraux de tarification – Taxation et comptabilité dans les services internationaux de télécommunications. Recommandations de la série D (Commission d'études III).
- FASCICULE II.2 – Service téléphonique et RNIS – Exploitation, numérotage, acheminement et service mobile. Recommandations E.100 à E.333 (Commission d'études II).
- FASCICULE II.3 – Service téléphonique et RNIS – Qualité de service, gestion du réseau et ingénierie du trafic. Recommandations E.401 à E.880 (Commission d'études II).
- FASCICULE II.4 – Services de télégraphie et mobile. Exploitation et qualité de service. Recommandations F.1 à F.140 (Commission d'études I).
- FASCICULE II.5 – Services de télématique, de transmission de données et de téléconférence – Exploitation et qualité de service. Recommandations F.160 à F.353, F.600, F.601, F.710 à F.730 (Commission d'études I).
- FASCICULE II.6 – Services de traitement des messages et d'annuaire – Exploitation et définition du service. Recommandations F.400 à F.422, F.500 (Commission d'études I).

**Tome III**

- FASCICULE III.1 – Caractéristiques générales des communications et des circuits téléphoniques internationaux. Recommandations G.100 à G.181 (Commissions d'études XII et XV).
- FASCICULE III.2 – Systèmes internationaux analogiques à courants porteurs. Recommandations G.211 à G.544 (Commission d'études XV).
- FASCICULE III.3 – Supports de transmission – Caractéristiques. Recommandations G.601 à G.654 (Commission d'études XV).
- FASCICULE III.4 – Aspects généraux des systèmes de transmission numériques; équipements terminaux. Recommandations G.700 à G.795 (Commissions d'études XV et XVIII).
- FASCICULE III.5 – Réseaux numériques, sections numériques et systèmes de ligne numérique. Recommandations G.801 à G.961 (Commissions d'études XV et XVIII).

- FASCICULE III.6 – Utilisation des lignes pour la transmission des signaux autres que téléphoniques. Transmissions radiophoniques et télévisuelles. Recommandations des séries H et J (Commission d'études XV).
- FASCICULE III.7 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Structure générale et possibilités de service. Recommandations I.110 à I.257 (Commission d'études XVIII).
- FASCICULE III.8 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Aspects généraux et fonctions globales du réseau, interfaces usager-réseau RNIS. Recommandations I.310 à I.470 (Commission d'études XVIII).
- FASCICULE III.9 – Réseau numérique avec intégration des services (RNIS) – Interfaces entre réseaux et principes de maintenance. Recommandations I.500 à I.605 (Commission d'études XVIII).

#### Tome IV

- FASCICULE IV.1 – Principes généraux de maintenance, maintenance des systèmes de transmission internationaux et de circuits téléphoniques internationaux. Recommandations M.10 à M.782 (Commission d'études IV).
- FASCICULE IV.2 – Maintenance des circuits internationaux télégraphiques, phototélégraphiques et loués. Maintenance du réseau téléphonique public international. Maintenance des systèmes maritimes à satellites et de transmission de données. Recommandations M.800 à M.1375 (Commission d'études IV).
- FASCICULE IV.3 – Maintenance des circuits radiophoniques internationaux et transmissions télévisuelles internationales. Recommandations de la série N (Commission d'études IV).
- FASCICULE IV.4 – Spécifications des appareils de mesure. Recommandations de la série O (Commission d'études IV).

#### Tome V

- Qualité de la transmission téléphonique. Recommandations de la série P (Commission d'études XII).

#### Tome VI

- FASCICULE VI.1 – Recommandations générales sur la commutation et la signalisation téléphoniques. Fonctions et flux d'information pour les services du RNIS. Suppléments. Recommandations Q.1 à Q.118 *bis* (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.2 – Spécifications des Systèmes de signalisation n<sup>os</sup> 4 et 5. Recommandations Q.120 à Q.180 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.3 – Spécifications du Système de signalisation n<sup>o</sup> 6. Recommandations Q.251 à Q.300 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.4 – Spécifications des Systèmes de signalisation R1 et R2. Recommandations Q.310 à Q.490 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.5 – Centraux numériques locaux, de transit, combinés et internationaux dans les réseaux numériques intégrés et les réseaux mixtes analogiques-numériques. Suppléments. Recommandations Q.500 à Q.554 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.6 – Interfonctionnement des systèmes de signalisation. Recommandations Q.601 à Q.699 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.7 – Spécifications du Système de signalisation n<sup>o</sup> 7. Recommandations Q.700 à Q.716 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.8 – Spécifications du Système de signalisation n<sup>o</sup> 7. Recommandations Q.721 à Q.766 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.9 – Spécifications du Système de signalisation n<sup>o</sup> 7. Recommandations Q.771 à Q.795 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.10 – Système de signalisation d'abonné numérique n<sup>o</sup> 1 (SAN 1), couche liaison de données. Recommandations Q.920 à Q.921 (Commission d'études XI).

- FASCICULE VI.11 – Système de signalisation d'abonné numérique n° 1 (SAN 1), couche réseau, gestion usager-réseau. Recommandations Q.930 à Q.940 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.12 – Réseau mobile terrestre public, interfonctionnement du RNIS avec le RTPC. Recommandations Q.1000 à Q.1032 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.13 – Réseau mobile terrestre public. Sous-système application mobile et interface associées. Recommandations Q.1051 à Q.1063 (Commission d'études XI).
- FASCICULE VI.14 – Interfonctionnement avec les systèmes mobiles à satellites. Recommandations Q.1100 à Q.1152 (Commission d'études XI).

#### **Tome VII**

- FASCICULE VII.1 – Transmission télégraphique. Recommandations de la série R. Equipements terminaux pour les services de télégraphie. Recommandations de la série S (Commission d'études IX).
- FASCICULE VII.2 – Commutation télégraphique. Recommandations de la série U (Commission d'études IX).
- FASCICULE VII.3 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.0 à T.63 (Commission d'études VIII).
- FASCICULE VII.4 – Procédures d'essai de conformité pour les Recommandations télétext. Recommandation T.64 (Commission d'études VIII).
- FASCICULE VII.5 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.65 à T.101, T.150 à T.390 (Commission d'études VIII).
- FASCICULE VII.6 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.400 à T.418 (Commission d'études VIII).
- FASCICULE VII.7 – Equipements terminaux et protocoles pour les services de télématique. Recommandations T.431 à T.564 (Commission d'études VIII).

#### **Tome VIII**

- FASCICULE VIII.1 – Communication de données sur le réseau téléphonique. Recommandations de la série V (Commission d'études XVII).
- FASCICULE VIII.2 – Réseaux de communications de données: services et facilités, interfaces. Recommandations X.1 à X.32 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.3 – Réseaux de communications de données: transmission, signalisation et commutation, réseau, maintenance et dispositions administratives. Recommandations X.40 à X.181 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.4 – Réseaux de communications de données: interconnexion de systèmes ouverts (OSI) – Modèle et notation, définition du service. Recommandations X.200 à X.219 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.5 – Réseaux de communications de données: interconnexion de systèmes ouverts (OSI) – Spécifications de protocole, essai de conformité. Recommandations X.220 à X.290 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.6 – Réseaux de communications de données: interfonctionnement entre réseaux, systèmes mobiles de transmission de données, gestion inter-réseaux. Recommandations X.300 à X.370 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.7 – Réseaux de communications de données: systèmes de messagerie. Recommandations X.400 à X.420 (Commission d'études VII).
- FASCICULE VIII.8 – Réseaux de communications de données: annuaire. Recommandations X.500 à X.521 (Commission d'études VII).

#### **Tome IX**

- Protection contre les perturbations. Recommandations de la série K (Commission d'études V). Construction, installation et protection des câbles et autres éléments d'installations extérieures. Recommandations de la série L (Commission d'études VI).

## Tome X

- FASCICULE X.1 – Langage de spécification et de description fonctionnelles (LDS). Critères d'utilisation des techniques de description formelles (TDF). Recommandation Z.100 et Annexes A, B, C et E, Recommandation Z.110 (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.2 – Annexe D de la Recommandation Z.100: directives pour les usagers du LDS (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.3 – Annexe F.1 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Introduction (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.4 – Annexe F.2 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Sémantique statique (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.5 – Annexe F.3 de la Recommandation Z.100: définition formelle du LDS. Sémantique dynamique (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.6 – Langage évolué du CCITT (CHILL). Recommandation Z.200 (Commission d'études X).
  - FASCICULE X.7 – Langage homme-machine (LHM). Recommandations Z.301 à Z.341 (Commission d'études X).
-

## TABLE DES MATIÈRES DU FASCICULE III.3 DU LIVRE BLEU

### Partie I – Section 6 – Recommandations G.601 à G.654

#### Caractéristiques des moyens de transmission

N° de la Rec.		Page
<b>SECTION 6 – <i>Caractéristiques des moyens de transmission</i></b>		
<b>6.0</b>	<b>Considérations générales</b>	
G.601	Terminologie des câbles . . . . .	3
G.602	Fiabilité et disponibilité des systèmes de transmission analogique en câble et des équipements qui leur sont associés . . . . .	8
<b>6.1</b>	<b>Paires symétriques en câble</b>	
G.611	Caractéristiques des paires symétriques en câble pour transmission analogique . . . . .	11
G.612	Caractéristiques des paires symétriques en câble conçues pour la transmission de systèmes à débit binaire de l'ordre de 6 à 34 Mbit/s . . . . .	15
G.613	Caractéristiques des paires symétriques en câbles utilisables en totalité pour la transmission de systèmes numériques dont le débit binaire peut atteindre 2 Mbit/s . . . . .	19
G.614	Caractéristiques des câbles à paires symétriques à quartes en étoile conçus initialement pour des systèmes à transmission analogique et utilisés actuellement pour des systèmes à transmission numérique à des débits binaires compris entre 6 et 34 Mbit/s . . . . .	23
<b>6.2</b>	<b>Câbles terrestres à paires coaxiales</b>	
G.621	Caractéristiques des paires coaxiales du type 0,7/2,9 mm en câble . . . . .	28
G.622	Caractéristiques des paires coaxiales du type 1,2/4,4 mm en câble . . . . .	31
G.623	Caractéristiques des paires coaxiales du type 2,6/9,5 mm en câble . . . . .	38
<b>6.3</b>	<b>Câbles sous-marins</b>	
G.631	Types de câbles sous-marins à utiliser pour des systèmes où les fréquences transmises en ligne ne dépassent pas environ 45 MHz . . . . .	45

N° de la Rec.		Page
<b>6.4</b>	<b>Guides d'ondes</b>	
G.641	Diamètres des guides d'ondes . . . . .	46
<b>6.5</b>	<b>Câbles à fibres optiques</b>	
G.651	Caractéristiques d'un câble à fibres optiques multimodes à gradient d'indice (50/125 µm) . . . . .	47
G.652	Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes . . . . .	77
G.653	Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée . . . . .	110
G.654	Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes avec affaiblissement réduit au minimum à la longueur d'onde de 1550 nm . . . . .	114

**Partie II – Suppléments aux Recommandations de la section 6 de la série G**

Supplément n° 11	Renseignements sur les navires câbliers et les équipements submersibles de divers pays . . . . .	119
Supplément n° 14	Méthodes de mesure de l'affaiblissement des courants réfléchis par les irrégularités . . . . .	127
Supplément n° 18	Renseignements sur les câbles sous-marins utilisés en eau profonde . . . . .	127
Supplément n° 19	Mesure de la diaphonie en régime numérique (méthode utilisée par l'Administration française, l'Administration des Pays-Bas et l'Administration espagnole) . . . . .	127
Supplément n° 33	Exemples de principes de conception des fibres . . . . .	127

---

NOTE PRÉLIMINAIRE

Dans ce fascicule, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation privée reconnue de télécommunications.

## **PARTIE I**

### **Recommandations G.601 à G.654**

#### **CARACTÉRISTIQUES DES MOYENS DE TRANSMISSION**

**(Section 6 des Recommandations de la série G)**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## SECTION 6

### CARACTÉRISTIQUES DES MOYENS DE TRANSMISSION

La présente section contient les Recommandations relatives aux supports de transmission métalliques pouvant être utilisés aussi bien dans le mode analogique que dans le mode numérique. Ces Recommandations ne concernent ni les lignes en fils aériens, ni les systèmes en faisceaux hertziens. Elles ne concernent les câbles à fréquences vocales qu'en tant que supports de transmissions métalliques dans le mode numérique.

#### 6.0 Considérations générales

##### Recommandation G.601

#### TERMINOLOGIE DES CÂBLES

(Genève, 1980)

#### 1 Termes généraux : répéteurs, alimentation, etc.

##### 1001 répéteurs

*E: repeater*

*S: repetidor*

Appareil comprenant essentiellement un ou plusieurs amplificateurs ou *régénérateurs* et des organes associés, destiné à être employé en un point d'un milieu de transmission.

*Remarque* — Un répéteur peut assurer la transmission dans un seul sens ou dans les deux.

##### 1002 répéteur analogique

*E: analogue repeater*

*S: repetidor analógico*

*Répéteur* qui assure l'amplification de signaux analogiques ou de *signaux numériques* et éventuellement d'autres fonctions, à l'exclusion de la *régénération* de signaux numériques.

##### 1003 répéteur régénérateur

*E: regenerative repeater*

*S: repetidor regenerativo*

*Répéteur* qui assure la *régénération* de *signaux numériques* et éventuellement d'autres fonctions.

*Remarque* — Cette définition n'est pas la même que celle donnée à la Recommandation G.701 [1]. Une définition appropriée par le CCITT du *répéteur*, n'existait pas au moment de la rédaction de la Recommandation G.701. Compte tenu de l'ensemble des définitions données dans le présent paragraphe, il est souhaitable d'inclure la définition du *répéteur régénérateur* dans l'ensemble des définitions pour les systèmes de transmission, au lieu de le définir comme un dispositif, comme c'est le cas dans la Recommandation G.701.

**1004 station (de répéteurs) à alimentation indépendante ; station (de répéteurs) autoalimentée**

*E: directly powered (repeater) station*

*S: estación (de repetidores) alimentada directamente*

*Station (de répéteurs) qui reçoit son alimentation en énergie électrique localement d'un réseau de distribution ou d'une source autonome.*

**1005 station d'alimentation (de répéteurs)**

*E: power feeding (repeater) station*

*S: estación (de repetidores) de telealimentación*

*Station de répéteurs à alimentation indépendante qui assure l'alimentation en énergie électrique d'autres stations de répéteurs.*

**1006 station (de répéteurs) téléalimentée**

*E: dependent (repeater) station*

*S: estación (de repetidores) telealimentada*

*Station de répéteurs qui reçoit d'une station d'alimentation de répéteurs l'énergie électrique qui lui est nécessaire.*

*Remarque — L'énergie peut être transmise soit par les supports de transmission eux-mêmes, soit par des conducteurs placés dans la même enveloppe, soit par des câbles extérieurs.*

**1007 extrémité de section**

*E: section termination*

*S: extremo de sección*

*Point choisi comme séparation conventionnelle entre le support de transmission et les appareils tels que les répéteurs qui lui sont associés.*

*Remarque — Le choix précis d'une extrémité de section doit tenir compte d'éléments accessoires éventuels, tels que épissures, connecteurs ou câbles souples, de façon à les répartir selon le cas d'un seul côté ou des deux côtés de cette extrémité.*

**1008 section élémentaire de câble section élémentaire d'amplification (terme à proscrire dans ce sens)**

*E: elementary cable section*

*S: sección elemental de cable*

*Ensemble du support de transmission et des éléments accessoires éventuels tels que épissures, connecteurs ou câbles souples, situés entre deux extrémités de section consécutives.*

**1009 section élémentaire amplifiée**

*E: elementary repeated section*

*S: sección elemental con amplificación*

*Dans un sens de transmission donné, ensemble d'une section élémentaire de câble et du répéteur analogique qui le suit immédiatement, le tout étant situé entre deux extrémités de section.*

**1010 section élémentaire régénérée section de régénération (terme déconseillé)**

*E: elementary regenerated section*

*S: sección elemental con regeneración*

*Dans un sens de transmission donné, ensemble d'une section élémentaire de câble et du répéteur régénérateur qui la suit immédiatement, le tout étant situé entre deux extrémités de section.*

1011 **facteur de câblage**

*E: take-up factor*

*S: factor de cableado*

Rapport entre la valeur d'un paramètre linéique mesuré sur l'unité de longueur d'un câble et la valeur du même paramètre mesurée sur l'unité de longueur d'une paire de ce câble.

En effet, le câblage (assemblage des éléments et éventuellement torsion des fils en paires puis en quartes) fait que la longueur des éléments du câble est supérieure à la longueur axiale de ce dernier. Le facteur de câblage est le rapport de ces deux longueurs.

1012 Illustration graphique de l'usage de quelques termes donnés au § 1.

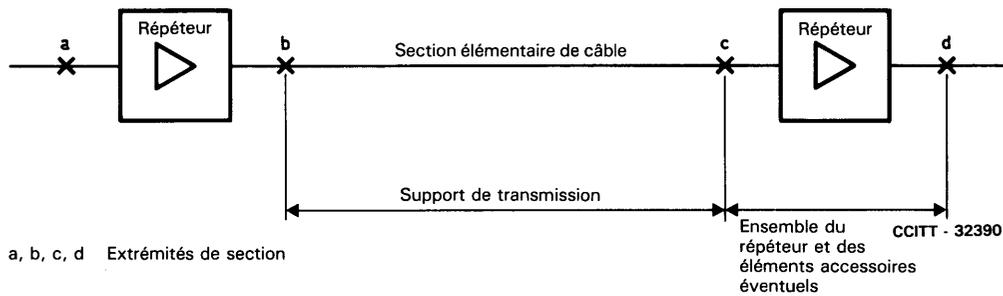


FIGURE 1/G.601  
Terminologie générale relative aux répéteurs et sections de câble

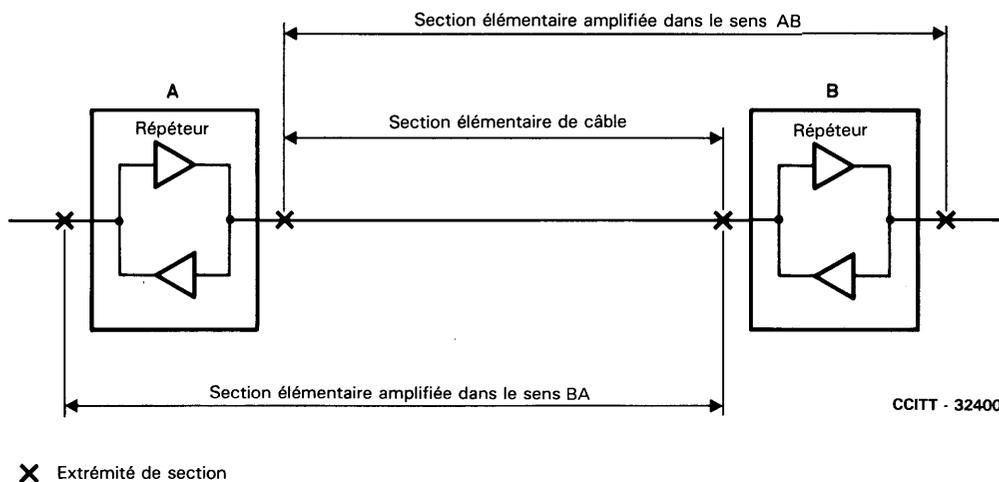


FIGURE 2/G.601  
Terminologie relative aux sections élémentaires amplifiées

2 **Termes relatifs aux mesures sur les câbles**

2.1 *Emploi du mot écho (dans le cas des mesures sur les câbles seulement)*

2101 **écho**

*E: echo*

*S: eco*

Onde électrique, acoustique ou électromagnétique qui parvient à un point donné, après réflexion ou propagation indirecte, avec une intensité et un retard suffisants pour être perçue en ce point comme distincte de l'onde directe.

2102 **écho (vers l'amont)**

*E: backward echo*

*S: eco hacia atrás*

*Echo* arrivant en un point donné avec une direction de transmission opposée à celle du signal direct.

2103 **écho vers l'aval ; trainage**

*E: forward echo*

*S: eco hacia adelante*

*Echo* arrivant en un point donné avec la même direction de transmission que celle du signal direct.

2.2 *Mesures effectuées au moyen d'impulsions*

2201 **mesure échométrique**

*E: echometric measurement*

*S: medición ecométrica*

Mesure réalisée par un examen de l'écho qui suit l'émission d'un signal de durée limitée, dit «signal de mesure», et ayant pour objet l'analyse d'un ensemble de causes de réflexions.

2202 **durée d'une impulsion**

*E: pulse duration*

*S: duración del impulso*

Intervalle de temps entre le premier et le dernier instant auxquels la valeur instantanée d'une impulsion (ou de son enveloppe s'il s'agit d'une impulsion d'onde porteuse) devient égale à une fraction déterminée de sa valeur de crête.

2203 **impulsion en sinus carré**

*E: sine-squared pulse*

*S: impulso en seno cuadrado*

Impulsion unidirectionnelle définie par les expressions:

$$y = K \sin^2 (\pi t/2T) \text{ pour } 0 \leq t \leq 2T$$

$$y = 0 \text{ pour } t < 0 \text{ et } t > 2T$$

où

**K** est l'amplitude maximale,

**T** est la *durée* à mi-amplitude de l'impulsion,

**t** est le temps.

2204 **échomètre à impulsions**

*E: pulse echo meter*

*S: ecómetro de impulsos*

Appareil destiné à effectuer des *mesures échométriques* au moyen d'impulsions.

2205 **écho élémentaire**

*E: elementary echo*

*S: eco elemental*

Dans une *mesure échométrique*, état de l'écho pendant un intervalle de temps dont la durée est comparable à celle du signal de mesure.

2206 **amplitude de crête d'un écho élémentaire**

*E: peak amplitude of an elementary echo*

*S: amplitud de un eco elemental*

Valeur maximale de l'amplitude de l'écho, atteinte pendant la durée d'un *écho élémentaire*.

2207 **amplitude relative d'un écho élémentaire**

*E: relative amplitude of an elementary echo*

*S: amplitud relativa de un eco elemental*

Rapport de l'amplitude de crête d'un écho élémentaire à l'amplitude maximale du signal de mesure, évaluée au point d'émission.

2208 **affaiblissement d'écho**

*E: pulse echo return loss; pulse echo attenuation*

*S: pérdida de retorno para el eco; atenuación de eco*

*Amplitude relative d'un écho élémentaire* exprimée en unités de transmission.

2209 **écho corrigé en amplitude**

*E: amplitude-corrected echo*

*S: eco corregido en amplitud*

*Echo* observé après un traitement qui corrige au moins partiellement les effets de la propagation sur l'amplitude de cet écho.

2210 **écho corrigé en amplitude et en phase**

*E: amplitude- and phase-corrected echo*

*S: eco corregido en amplitud y en fase*

*Echo* observé après un traitement qui corrige les effets de la propagation sur l'amplitude et la forme de cet écho.

2211 **courbe d'écho**

*E: echo curve*

*S: curva de eco*

Représentation graphique ou oscilloscope de l'amplitude d'un *écho* en fonction du temps.

*Remarque* – L'écho peut être corrigé en amplitude, ou en amplitude et en phase; la courbe est alors appelée, selon le cas, «courbe d'écho corrigée en amplitude» ou «courbe d'écho corrigée en amplitude et en phase».

2212 **écart équivalent**

*E: equivalent resistance error*

*S: error de resistencia equivalente*

Valeur d'un écart fictif d'impédance qui, s'il était localisé à une extrémité d'une section d'un support de transmission, produirait, dans une mesure échométrique effectuée à cette extrémité, la même énergie réfléchie que l'ensemble des irrégularités de la section.

2213 **écart équivalent corrigé**

*E: corrected equivalent resistance error*

*S: error de resistencia equivalente corregido*

*Ecart équivalent* évalué par une *mesure échométrique* comportant une correction de l'écho. La correction peut être faite en amplitude, en amplitude et en phase, ou selon d'autres critères (par exemple en énergie).

*Remarque* – L'*écart équivalent corrigé* peut être évalué, si on le ramène à un kilomètre, à l'aide du rapport  $\Delta_k$  entre l'écart équivalent corrigé  $\Delta_e$  mesuré sur une section de câble et la racine carrée de la longueur  $L$  de cette section, exprimée en kilomètres.

$$\Delta_k = \Delta_e / \sqrt{L} \text{ } \Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$$

## 2.3 Mesures effectuées au moyen d'un signal sinusoïdal

### 2301 facteur de réflexion sur les irrégularités

*E: irregularity reflection coefficient*

*S: coeficiente de reflexión de las irregularidades*

Facteur de réflexion mesuré à une extrémité d'une section d'un support de transmission, pour un mode de propagation déterminé, dans des conditions qui permettent d'éliminer les effets de réflexions autres que ceux qui sont dus aux irrégularités internes à la section considérée.

### 2302 affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités

*E: regularity loss*

*S: pérdida de retorno por irregularidades*

Expression en unités de transmission du module du *facteur de réflexion sur les irrégularités*  $P_i$ . Sa valeur en décibels est égale à:

$$A_i = -20 \log_{10} |P_i|.$$

#### Référence

- [1] Recommandation du CCITT *Vocabulaire relatif à la modulation par impulsions et codage (MIC) et à la transmission numérique*, tome III, Rec. G.701.

## Recommandation G.602

### FIABILITÉ ET DISPONIBILITÉ DES SYSTÈMES DE TRANSMISSION ANALOGIQUE EN CÂBLE ET DES ÉQUIPEMENTS QUI LEUR SONT ASSOCIÉS

(Malaga-Torremolinos, 1984)

## 1 Considérations générales

Système de transmission: ensemble des moyens nécessaires pour établir un trajet de transmission (une voie à 4 kHz, par exemple) permettant d'obtenir une bonne qualité d'exploitation entre les interfaces terminales. Il comprend les équipements de modulation, les équipements terminaux et intermédiaires en ligne, les câbles, l'installation d'alimentation, les sources d'énergie primaire et les sources d'énergie de réserve; il pourrait comprendre également l'équipement pour passage sur liaison de réserve si l'on dispose de la commutation de protection automatique.

## 2 Définitions

### a) fiabilité des systèmes de transmission analogique par câbles

La fiabilité d'un équipement de transmission analogique ou d'un système complet est définie comme étant la probabilité avec laquelle cet équipement ou système peut remplir la fonction requise pendant un intervalle de temps donné. La moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) est un paramètre qui permet de chiffrer cette probabilité. Une défaillance du système est définie comme:

- 1) la perte totale d'un signal;
- 2) un événement au cours duquel le niveau de l'onde pilote tombe de 10 dB au-dessous de la valeur nominale;
- 3) une situation où la puissance totale non pondérée du bruit, mesurée ou calculée avec une durée d'intégration de 5 ms dépasse 1 million pW ( $10^6$  pW) sur le circuit fictif de référence de 2500 km (voir la Recommandation G.222).

Dans tous les cas, cette situation doit durer au moins  $10^{11}$  secondes.

<sup>1)</sup> Cette valeur doit être considérée comme provisoire.

### b) disponibilité des systèmes de transmission analogique par câbles

La disponibilité d'un système de transmission analogique est définie comme étant la capacité du système d'être en état de fonctionner d'une façon appropriée (en exploitation) à un moment donné ou à tout moment pendant un intervalle de temps donné. Dans cette Recommandation, la disponibilité d'un système de transmission analogique est définie par la durée, considérée par rapport à une certaine durée totale, pendant laquelle le système fonctionne de façon satisfaisante.

Les quatre facteurs suivants influent sur la disponibilité:

- la fiabilité des équipements;
- la commutation de secours automatique;
- les procédures de maintenance;
- le tracé de l'itinéraire des câbles et leur protection.

Lorsqu'on examine l'importance qu'il convient d'attribuer aux divers facteurs, on ne doit pas perdre de vue les aspects économiques, qui jouent un rôle important.

*Remarque* - L'expérience a montré que, dans de nombreux cas, les défauts des câbles (de l'ordre de 95% du temps d'indisponibilité) l'emportent sur les défauts des équipements. D'autre part, la longueur des sections de ligne et la nature de l'artère (artère établie le long d'une route à grande circulation, etc.) ont une influence décisive sur les valeurs réalisables en matière de disponibilité.

## 3 Objectifs

### a) Fiabilité

Comme le montre la définition de la disponibilité, la fiabilité n'est qu'un des facteurs permettant d'obtenir un objectif de disponibilité. En conséquence, il n'est pas recommandé d'objectif spécifique pour la fiabilité.

### b) Disponibilité

#### 1) Circuit fictif de référence de 2500 km

L'objectif de disponibilité d'un circuit fictif de référence de 2500 km, pour un seul sens de transmission, devrait être une valeur supérieure à 99,6% sur une année. Cette valeur tient compte des interruptions tant des équipements de modulation que des équipements de ligne et du câble ainsi que des équipements qui lui sont associés. Pour atteindre cet objectif, il est éventuellement nécessaire de prévoir la commutation sur liaison de réserve appropriée.

#### 2) Equipement de modulation

L'objectif nominal de disponibilité des équipements de modulation (voir l'annexe et la figure A-1/G.602) pour un circuit fictif de référence de 2500 km recommandé pour les différents systèmes de transmission, devrait être une valeur supérieure à 99,9%, mesurée pendant une période d'une année dans un seul sens de transmission.

#### 3) Section de ligne

L'objectif nominal de disponibilité d'une section homogène de 280 km, pour un seul sens de transmission, sera déduit du besoin global pour le circuit fictif de référence. La valeur exacte dépend de la conception du système.

## ANNEXE A

(à la Recommandation G.602)

### Exemple de calcul

Exemple de calcul de la fiabilité et de la disponibilité d'une section de ligne, dans un seul sens de transmission, sur la base des hypothèses suivantes:

- 1) répéteur en ligne, MTBF =  $2 \times 10^5$  heures (dans un seul sens);
  - 2) 100 répéteurs de ligne dans la section;
  - 3) chaque défaillance dure 4 heures;
  - 4) câble à 12 tubes avec commutation de secours 1:5.
- a) *Fiabilité* (MTBF)

- 100 répéteurs ont une défaillance en l'espace de  $\left( \frac{2 \times 10^5}{100} \right) = 2000$  heures

b) *Disponibilité* ( $A = \text{Availability}$ )

– il y a environ 4,5 défaillances par an  $\times$  4 heures = 18 heures d'interruption par an (0,2%)

– sans commutation de secours:  $A_1 = 99,8\%$

Indisponibilité:  $X_0 = 2 \times 10^{-3}$

– avec commutation de secours automatique:  $A_2 = \left[ 1 - \frac{(N + M)!}{(M + 1)!N!} X_0^{M + 1} \right] \times 100\%$

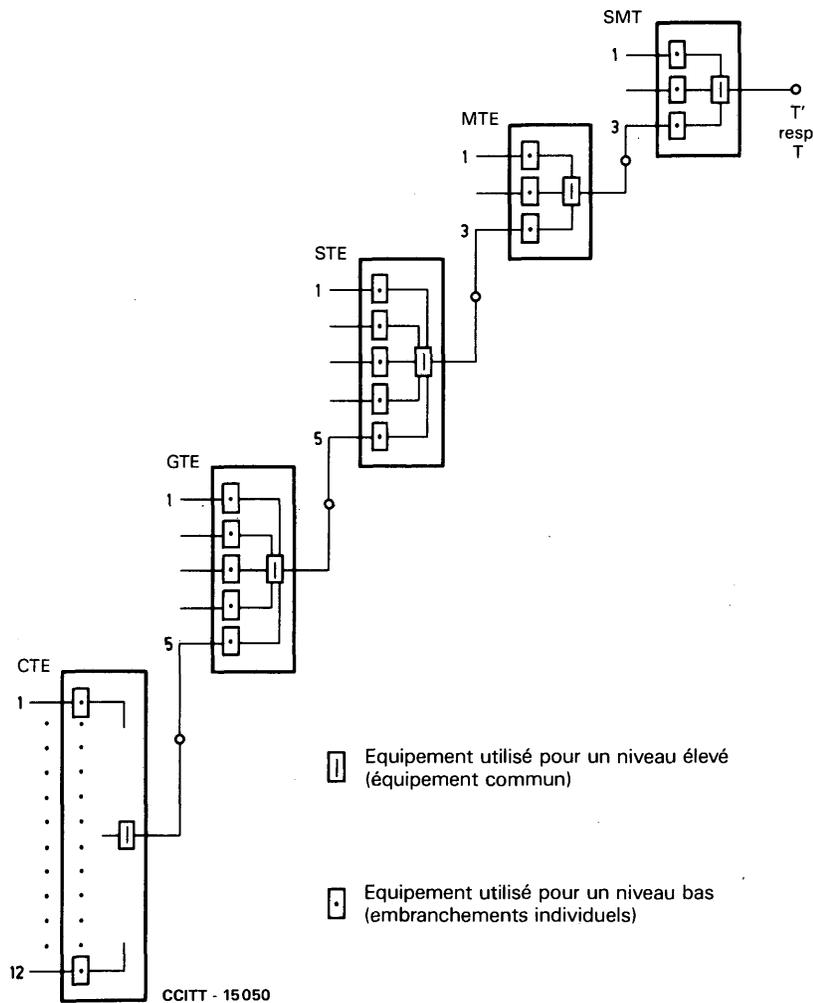
où

$N = 5$  (nombre de systèmes en service)

$M = 1$  (nombre de systèmes de protection)

$$A_2 = \left[ 1 - \frac{6!}{2!5!} (2 \times 10^{-3})^2 \right] \times 100\% = \left[ 1 - (12 \times 10^{-6}) \right] \times 100\% = 99,999\%$$

*Remarque* – Ces calculs s'appliquent exclusivement aux éléments électroniques. Ils ne tiennent pas compte des coupures des câbles.



- CTE = équipement de modulation de voie
- GTE = équipement de modulation de groupe primaire
- STE = équipement de modulation de groupe secondaire
- MTE = équipement de modulation de groupe tertiaire
- SMT = équipement de modulation de groupe quaternaire

FIGURE A-1/G.602

Plan des étages de modulation, avec indication de l'équipement commun et des embranchements individuels (sur la base du plan n° 1 de la Recommandation G.211)

## 6.1 Paires symétriques en câble

### Recommandation G.611

#### CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES SYMÉTRIQUES EN CÂBLE POUR TRANSMISSION ANALOGIQUE

(ancienne Recommandation G.321, Genève, 1974; modifiée à Genève, 1980)

### 1 Spécification du câble — Exemples de caractéristiques électriques de câbles contenant des quarts en étoile destinés à procurer 12, 24, 36, 48, 60 ou 120 voies téléphoniques à courants porteurs sur chaque paire d'une quarte

#### 1.1 Types de câbles

Les Administrations qui décideraient d'équiper leur réseau de câbles à paires symétriques devraient, dans toute la mesure possible, les choisir conformes aux types de câbles définis ci-après.

Les câbles nouveaux qui sont posés dans le réseau téléphonique international européen et nord-africain contiennent des paires symétriques non chargées destinées à être exploitées avec 12, 24, 36, 48, 60 ou 120 voies téléphoniques à courants porteurs sur chaque paire. Ces paires sont groupées par quarts en étoile et toutes les paires non chargées d'un même câble appartiennent à l'un des types dont les caractéristiques nominales sont indiquées dans le tableau 1/G.611.

Il est essentiel qu'une section élémentaire de câble traversant une frontière soit d'un type uniforme sur toute sa longueur. Quand il s'agit d'une section frontière entre un pays de grande étendue et un pays de petite étendue, l'Administration du pays de grande étendue devrait faire tout son possible pour accepter celui des trois types adopté dans le pays de petite étendue, afin de ne pas contraindre les Administrations des pays de petite étendue à employer des sections de câble international d'un type différent de celui de leurs câbles nationaux.

*Remarque 1* — Certaines Administrations, en soignant particulièrement l'équilibrage de la diaphonie et en adoptant une valeur appropriée pour l'espacement des stations de répéteurs, sont arrivées à établir des systèmes à 2 groupes secondaires, conformes à la Recommandation G.322, sur des paires symétriques isolées au papier, conformes à la présente spécification.

*Remarque 2* — Il est également possible d'établir des systèmes à 2 groupes secondaires, conformes à la Recommandation G.322, sur des paires des types II *bis* et III *bis*. Les paires du type II *bis* sont isolées au polyéthylène et les paires du type III *bis* au styroflex.

TABLEAU 1/G.611

	Type I	Type II	Type II <i>bis</i>	Type III	Type III <i>bis</i>
Diamètre des conducteurs (mm)	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3
Capacité effective (nF/km)	33	26,5	21	28	22
Impédance caractéristique ( $\Omega$ )					
à 60 kHz	153	178	206	170	196
à 120 kHz	148	174	203	165	193
à 240 kHz	—	172	200	163	190
à 550 kHz	—	—	198	—	188
Affaiblissement linéique à 10 °C en dB/km					
à 60 kHz	2,3	—	—	—	—
à 120 kHz	3,1	2,0	1,5	1,8	1,4
à 240 kHz	—	2,9	2,1	2,7	2,0
à 552 kHz	—	4,8	3,1	4,4	3,0

## 1.2 *Régularité des longueurs de fabrication*

La régularité peut être caractérisée par l'une ou l'autre des méthodes équivalentes ci-après, dont le choix est laissé aux Administrations intéressées.

### 1.2.1 *Capacité effective*

La capacité effective est mesurée entre les deux conducteurs de la paire, tous autres conducteurs du câble étant reliés entre eux et à l'enveloppe du câble.

#### *Ecart de la capacité effective*

*Câble du type I* – La moyenne des capacités effectives de toutes les paires dans n'importe quelle longueur de fabrication ne doit pas différer de la valeur nominale de plus de  $\pm 5\%$ .

Dans une longueur de fabrication quelconque, l'écart entre une valeur individuelle quelconque de capacité effective et la valeur moyenne obtenue pour cette longueur de fabrication ne doit pas dépasser  $\pm 7,5\%$ ; la moyenne arithmétique des valeurs absolues de ces écarts ne doit pas dépasser  $2,5\%$ .

*Câbles des types II, II bis, III et III bis* – La capacité effective moyenne d'une longueur quelconque ne doit pas différer de plus de  $\pm 3\%$  de la valeur nominale.

Dans une longueur quelconque, la différence entre la capacité effective d'une paire quelconque et la capacité moyenne pour cette longueur de câble ne doit pas dépasser  $\pm 5\%$ .

### 1.2.2 *Ecart d'impédance* (câbles des types II, II bis, III et III bis)

La partie réelle de l'impédance caractéristique d'un circuit quelconque à la fréquence 120 kHz ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 5\%$  de la valeur moyenne prise sur toutes les paires du premier lot de fabrication de quelques longueurs de chaque type. Cette valeur moyenne ne devra pas s'écarter de plus de  $\pm 5\%$  de la valeur nominale à 120 kHz.

L'impédance sera déterminée sur les longueurs de fabrication par des mesures au pont, les circuits étant terminés par une impédance constamment égale à celle qui est mesurée par le pont.

## 1.3 *Diaphonie*

La qualité du câble au point de vue de la diaphonie peut être caractérisée par l'une ou l'autre des deux méthodes équivalentes ci-après, dont le choix est laissé aux Administrations intéressées.

### 1.3.1 *Mesures directes de diaphonie*

Pour une longueur de fabrication de 230 mètres, la diaphonie entre deux circuits réels quelconques devra satisfaire aux conditions suivantes:

- l'écart télédiaphonique devra être supérieur à 68 dB;
- l'affaiblissement paradiaphonique devra être supérieur à 56 dB.

Pour les câbles exploités avec cinq groupes primaires ou deux groupes secondaires, ces valeurs devront être tenues à 240 kHz; pour les câbles exploités avec deux groupes primaires, les valeurs imposées devront être tenues à 120 kHz.

Pour ces mesures, les circuits seront terminés sur la partie réelle de l'impédance nominale pour la fréquence considérée.

Pour des longueurs supérieures à 230 mètres, on retranchera des limites ci-dessus

$$20 \log_{10} \frac{L}{230} \text{ dB,}$$

$L$  étant la longueur en mètres. Les longueurs inférieures à 230 mètres devront satisfaire aux mêmes conditions que les longueurs de 230 mètres.

### 1.3.2 *Déséquilibres de capacité et inductances mutuelles*

Toutes les mesures de déséquilibres de capacité doivent être faites avec un courant alternatif de fréquence 800 Hz. Les mesures d'impédance mutuelle doivent être faites avec un courant alternatif de fréquence 5000 Hz. Toutes les mesures doivent être faites à la température ambiante sans appliquer de corrections; mais, en cas de désaccord, les résultats obtenus à 10 °C seront considérés comme définitifs. Tous les conducteurs autres que ceux essayés doivent être reliés à l'enveloppe du câble.

Pour une longueur de fabrication de 230 mètres, les déséquilibres de capacité ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le tableau 2/G.611, et les inductances mutuelles ne doivent pas dépasser les valeurs données dans le tableau 3/G.611. Ces tableaux indiquent des valeurs différentes pour les câbles du type I d'une part, des types II, II *bis*, III et III *bis* d'autre part.

TABLEAU 2/G.611  
Déséquilibres de capacité

	Moyenne de toutes les lectures (sans tenir compte des signes)		Lecture individuelle maximale	
	Type I	Types II, II <i>bis</i> , III et III <i>bis</i>	Type I	Types II, II <i>bis</i> , III et III <i>bis</i>
Déséquilibre de capacité en picofarads:				
entre paires de la même quarte	33	17	125	60
entre paires de quartes adjacentes de la même couche	10	5	60	25
entre paires de quartes non adjacentes de la même couche	Valeur moyenne non spécifiée, car on ne mesure pas toutes les combinaisons possibles		20	10
entre paires appartenant à des quartes de couches adjacentes			10	5
entre une paire quelconque et la terre	100	100	400	400

*Remarque* — Les limites indiquées pour les valeurs moyennes ne sont pas applicables aux câbles qui ne contiennent pas plus de quatre quartes.

TABLEAU 3/G.611  
Inductances mutuelles

	Moyenne de toutes les lectures (sans tenir compte des signes)		Lecture individuelle maximale	
	Type I	Types II, II <i>bis</i> , III et III <i>bis</i>	Type I	Types II, II <i>bis</i> , III et III <i>bis</i>
Inductances mutuelles en nanohenrys:				
entre paires de la même quarte	150	125	600	500
entre paires de quartes adjacentes d'une même couche	100	40	400	150
entre paires de quartes non adjacentes	50	20	350	150
entre paires appartenant à des quartes de couches adjacentes	100	40	600	250

*Remarque* — Les limites indiquées pour les valeurs moyennes ne sont pas applicables aux câbles qui ne contiennent pas plus de quatre quartes.

Pour des longueurs supérieures à 230 mètres, il y a lieu d'appliquer les règles suivantes:

Les valeurs moyennes de paire à paire données dans les tableaux 2/G.611 et 3/G.611 doivent être multipliées par la racine carrée du rapport entre la longueur en question et 230 mètres.

Toutes les valeurs maximales, ainsi que les valeurs moyennes entre une paire et la terre, doivent être multipliées par le rapport entre la longueur en question et 230 mètres.

Les longueurs inférieures à 230 mètres devront satisfaire aux mêmes conditions que les longueurs de 230 mètres.

## 1.4 Rigidité diélectrique

Sur demande spéciale, les câbles auront une disposition telle que l'isolant d'une longueur quelconque de câble sera capable de supporter sans rupture une différence de potentiel spécifiée dans chaque cas particulier, mais ne dépassant pas 2000 volts efficaces, appliquée pendant au moins 2 secondes entre tous les conducteurs en parallèle et l'enveloppe mise à la terre. L'essai pourra s'effectuer avec du courant alternatif à 50 Hz. La valeur de la tension d'essai ne devra pas dépasser de plus de 10% la valeur maximale de la tension sinusoïdale ayant la même valeur efficace.

L'essai pourra aussi s'effectuer en courant continu [1]. Dans ce cas, la limite à fixer pour la tension continue sera la limite fixée pour la tension alternative efficace multipliée par 1,4<sup>1)</sup>.

## 1.5 Résistance d'isolement

Dans une longueur de câble, la résistance d'isolement mesurée entre un conducteur et tous les autres conducteurs réunis ensemble, connectés à l'enveloppe et à la terre, ne devra pas être inférieure à 10 000 mégohms  $\times$  kilomètre, la différence de potentiel employée étant d'au moins 100 volts et d'au plus 500 volts. La lecture se fera après une minute d'électrisation, la température étant au moins égale à 15 °C.

## 2 Spécification d'une section élémentaire de câble

### 2.1 Affaiblissement maximal dans une section élémentaire de câble

L'affaiblissement maximal, à la fréquence la plus élevée transmise en ligne, d'une section élémentaire de câble normale est 41 dB pour les systèmes à faible gain à un, deux ou trois groupes primaires, et 36 dB pour les systèmes à faible gain à quatre ou cinq groupes primaires ou deux groupes secondaires.

### 2.2 Diaphonie

L'écart télédiaphonique entre circuits de même sens, mesuré sur les sections élémentaires de câble d'un système à porteurs sur paires symétriques non chargées, terminées à leurs deux extrémités sur des impédances égales à leur impédance caractéristique, ne doit pas être inférieur aux valeurs indiquées ci-après (qui tiennent compte de la présence éventuelle de réseaux compensateurs de télédiaphonie):

- 1) Si l'on emploie la méthode classique d'équilibrage, l'écart télédiaphonique pour une section élémentaire de câble de systèmes transistorisés à faible gain ayant une capacité inférieure ou égale à 120 voies, établis sur des câbles des types II ou III (ou câbles analogues), ou de systèmes à faible gain, procurant 120 voies et établis sur des câbles des types II *bis* ou III *bis*, doit être au moins égal à 69,5 dB.
- 2) Lorsqu'une section d'équilibrage comprend plusieurs sections élémentaires de câble, on obtient un résultat équivalent en partant de la formule  $69,5 - 10 \log_{10} n$  (dB), où  $n$  représente le nombre de sections élémentaires de câble compris dans une section d'équilibrage.

### 2.3 Régularité de l'impédance

L'impédance d'un circuit quelconque sur une section élémentaire de câble, faisant partie d'un système à courants porteurs sur paires symétriques non chargées, ne doit pas s'écarter de la valeur nominale de plus que les valeurs indiquées ci-dessous:

- $\pm 5\%$  (valeur mesurée à 60 kHz) dans le cas d'une section élémentaire de câble faisant partie d'un système à 12 voies;
- $\pm 8\%$  (valeur mesurée à 108 kHz) dans le cas d'une section élémentaire de câble faisant partie d'un système à 24 voies;
- $\pm 8\%$  (valeur mesurée à 120 kHz) dans le cas d'une section élémentaire de câble faisant partie d'un système à 36 ou 48 voies;
- $\pm 8\%$  (valeur mesurée à 240 kHz) dans le cas d'une section élémentaire de câble faisant partie d'un système à 60 voies;
- $\pm 8\%$  (valeur mesurée à 552 kHz) dans le cas d'une section élémentaire de câble faisant partie d'un système à 120 voies.

<sup>1)</sup> Dans le texte cité en référence [2], le CCITT ne recommande aucune formule d'application générale pour les mesures sur des diélectriques composites. Toutefois, pour les mesures sur des câbles téléphoniques, le CCITT recommande d'appliquer le facteur 1,4, qui est typique de la pratique commerciale usuelle.

## 2.4 Rigidité diélectrique

Si l'on désire vérifier la rigidité diélectrique d'une section élémentaire de câble une fois la pose terminée, on appliquera au câble une tension continue, numériquement égale à la valeur fixée pour la tension alternative efficace d'essai dans le cas des mesures de réception en usine des longueurs de fabrication (voir le § 1.4).

## 2.5 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement mesurée à l'extrémité du câble, sans faire intervenir le câblage à l'intérieur de la station de répéteurs, et prise entre un conducteur quelconque, d'une part, et tous les autres conducteurs réunis entre eux et connectés à l'enveloppe et à la terre, d'autre part, ne devra pas être inférieure à 10 000 mégohms × kilomètre, cette résistance d'isolement étant mesurée avec une différence de potentiel d'au moins 100 volts et d'au plus 500 volts, et les lectures étant faites après une minute d'électrification.

### Références

- [1] *Essais de rigidité diélectrique*, Livre bleu, tome III, 4<sup>e</sup> partie, annexe 19, UIT, Genève, 1965.
- [2] *Ibid.*, § 4.

## Recommandation G.612

### CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES SYMÉTRIQUES EN CÂBLE CONÇUES POUR LA TRANSMISSION DE SYSTÈMES À DÉBIT BINAIRE DE L'ORDRE DE 6 À 34 Mbit/s

(Genève, 1976; modifiée à Genève, 1980)

## 1 Préambule

La présente Recommandation concerne des câbles à paires symétriques mis au point en vue de leur emploi pour la transmission de signaux à débit binaire de l'ordre de 6 à 34 Mbit/s, mais cela n'exclut pas la possibilité de transmettre d'autres débits binaires plus faibles ou plus élevés avec un pas de régénération adapté. Elles peuvent aussi, dans la majorité des cas, transmettre des signaux de visiophonie ou de télévision en bande de base.

Ces câbles se classent en deux catégories, selon que les deux sens de transmission sont obligatoirement ou non dans deux câbles différents.

## 2 Paramètres à mesurer

Les paramètres qui, pour la transmission relative aux systèmes numériques, doivent faire l'objet de mesures par une méthode particulière ou à des fréquences différentes de celles définies à la Recommandation G.611 sont l'impédance caractéristique, l'affaiblissement linéique et la télédiaphonie entre les paires affectées au même sens de transmission. En outre, dans le cas où les deux sens de transmission sont dans le même câble, il convient aussi de mesurer la paradiaphonie entre les paires affectées à des sens de transmission différents.

### 2.1 Impédance caractéristique

L'impédance caractéristique peut être mesurée:

- soit en régime sinusoïdal, auquel cas la paire en essai sera terminée par une impédance constamment égale à celle mesurée par le point, sauf si sa longueur est suffisante pour que le résultat de la mesure soit indépendant de l'impédance de terminaison;
- soit au moyen d'un échomètre à impulsions<sup>1)</sup>, auquel cas l'impédance de la paire en mesure est compensée par un réseau équilibreur réglable dont la graduation donne la valeur de l'impédance. La paire en mesure est terminée par un réseau identique.

<sup>1)</sup> Méthode analogue à celle utilisée pour les paires coaxiales, mais avec une tête de mesure et des réseaux symétriques. La durée de l'impulsion utilisée est égale à 100 ns; la courbe d'écho n'est pas corrigée.

## 2.2 Affaiblissement linéique

La valeur kilométrique de l'affaiblissement des paires découle de la valeur à obtenir sur une section élémentaire de câble, compte tenu de la tolérance acceptée sur la longueur de ces sections.

*Remarque* – Si la mesure est effectuée en boucle, il est nécessaire de s'assurer que l'affaiblissement paradiaphonique entre les extrémités du circuit en mesure est suffisant.

## 2.3 Diaphonie

La diaphonie peut être spécifiée soit en régime sinusoïdal, à une fréquence voisine de la demi-fréquence de rythme du système considéré, soit en régime numérique<sup>2)</sup>.

### 2.3.1 Mesures à effectuer en télédiaphonie

Les mesures de télédiaphonie sont faites entre les paires affectées à un même sens de transmission, à une fréquence supérieure à 100 kHz environ; si cette dernière n'est pas la demi-fréquence de rythme du système, la valeur à spécifier sera corrigée en conséquence, selon une loi en  $20 \log_{10} f$ <sup>3)</sup>.

### 2.3.2 Mesures à effectuer en paradiaphonie

S'il est prévu de transmettre les deux sens de transmission dans le même câble, ces mesures sont faites sur une longueur de prototype, soit en régime sinusoïdal, soit en régime numérique, entre les paires affectées à des sens de transmission opposés.

## 3 Description des paires et des câbles

Les Administrations, qui désirent utiliser des câbles à paires symétriques pour la transmission de systèmes numériques d'un débit binaire de l'ordre de 6 à 34 Mbit/s, doivent dans toute la mesure possible choisir l'un des types de câble décrits aux § 3.1 et 3.2.

### 3.1 Câble conçu pour utiliser un câble par sens de transmission

3.1.1 Les caractéristiques de base des paires sont données par le tableau 1/G.612.

3.1.2 Les caractéristiques du câble construit avec ces paires sont données par le tableau 2/G.612.

### 3.2 Câbles conçus pour avoir les deux sens de transmission dans le même câble

Les tableaux 3/G.612 et 4/G.612 indiquent les caractéristiques des paires constituant respectivement des câbles à paires et des câbles à quartes.

Tous ces câbles sont constitués de faisceaux protégés par un ou plusieurs écrans en cuivre ou en aluminium, les paires d'un même faisceau étant affectées à un même sens de transmission. Pour cette raison, les valeurs de paradiaphonie ne concernent que des paires appartenant à des faisceaux différents.

*Remarque 1* – Pour rendre homogène la présentation des tableaux 3/G.612 et 4/G.612, les valeurs de l'impédance caractéristique sont données à 1 MHz (partie réelle de  $Z_1$ ). La relation entre l'impédance  $Z_1 = X_1 - jY_1$  à 1 MHz et l'impédance  $Z_f = X_f - jY_f$  à  $f$  MHz est:

$$X_f = X_1 - Y_1 + Y_1/\sqrt{f} \text{ et } Y_f = Y_1/\sqrt{f}.$$

La différence entre la valeur de la partie réelle de l'impédance à 1 MHz et sa valeur à 4 MHz est comprise entre 2 et 3 ohms. A 1 MHz, la partie imaginaire de l'impédance est comprise entre 4 et 6 ohms; sa variation est proportionnelle à l'inverse de la racine carrée de la fréquence pour les fréquences supérieures à 0,3 MHz environ.

*Remarque 2* – Pour la même raison, indiquée à la remarque 1, la valeur de l'affaiblissement est donnée à 1 MHz. A une fréquence  $f$  MHz, ( $f > 1$ ), l'affaiblissement  $\alpha_f$  est relié à l'affaiblissement  $\alpha_1$  à 1 MHz par la relation:  $\alpha_f = \alpha_1 \sqrt{f}$ .

*Remarque 3* – La valeur de télédiaphonie est ramenée à une longueur de 1000 m par une correction en  $10 \log_{10} L$  si la longueur  $L$  du câble en mesure est différente de 1000 m. Les valeurs de diaphonie indiquées sont des valeurs limites minimales suffisantes pour la spécification des systèmes. Lorsque l'une des deux conditions ci-dessus n'est pas remplie, les valeurs sont entre parenthèses.

<sup>2)</sup> La méthode en régime numérique est donnée dans le supplément n° 19 à la fin du présent fascicule.

<sup>3)</sup> Pour les câbles à quartes en étoile à paires symétriques, la loi de correction  $20 \log_{10} f$  est utilisée pour les paires de la même quarte jusqu'à une fréquence caractéristique donnée seulement, au-dessus de laquelle on applique la loi  $40 \log_{10} f$ .

TABLEAU 1/G.612

Caractéristiques des paires	Câble du type I
Diamètre des conducteurs (mm)	0,64
Capacité mutuelle moyenne des paires (nF/km)	24,2
Impédance caractéristique ( $\Omega$ ) <sup>a)</sup>	178
Affaiblissement linéique à 24 °C (dB/km) <sup>a)</sup>	13,5

a) La fréquence de mesure pour l'affaiblissement et l'impédance est égale à 3150 kHz.

TABLEAU 2/G.612

	Ensemble 1 <sup>a)</sup>	Ensemble 2 <sup>a)</sup>
Impédance caractéristique nominale $Z_0$ ( $\Omega$ ) (moyenne désirée à 3150 kHz)	178	
Affaiblissement et diaphonie		
Affaiblissement à 3150 kHz à 24 °C (dB/km)		
paire d'affaiblissement minimal	11,8	11,8
paire d'affaiblissement maximal	14,35	14,6
Télédiaphonie à 3150 kHz, en dB pour une longueur de 300 m (1000 pieds)		
somme de puissance minimale par paire	37,5	39,0
minimum paire à paire au point 0,1%	40,5	40,5
Résistance en continu à 24 °C ( $\Omega$ /km)		
conducteur de résistance maximale	56,8	
moyenne désirée	54,5	
Capacité mutuelle moyenne du câble (nF/km)		
maximale	25,4	
minimale	23,0	
moyenne désirée	24,2	
valeur efficace de l'écart type ( $\sigma$ ) entre paires d'un câble (%)	$\leq 7$	
Déséquilibre de capacité par rapport à la terre (pF/km)		
paire de déséquilibre maximal	$\leq 443$	
moyenne pour le câble	$\leq 164$	
Rigidité diélectrique en continu		
entre conducteurs pour gaine en ARPAP <sup>b)</sup>	$\geq 1\,500$ V (appliquée pendant 1 s)	
de l'âme et de la couche intérieure en aluminium à l'écran	$\geq 20\,000$ V (appliquée pendant 3 s)	
de l'âme à la couche intérieure en aluminium et à l'écran	$\geq 5\,000$ V (appliquée pendant 3 s)	

a) Deux ensembles de valeurs pour l'affaiblissement et la télédiaphonie sont indiqués. Le câble peut correspondre à l'un ou l'autre de ces ensembles, attribuant alors au câble un affaiblissement plus faible, tout en satisfaisant à des exigences de diaphonie moins strictes.

b) Aluminium-résine-polyéthylène-aluminium-polyéthylène.

TABLEAU 3/G.612

## Câbles à paires

Caractéristiques		Type de câble				
		I	II	III	IV	V
Impédance caractéristique nominale $Z_0$ à 1 MHz ( $\Omega$ )		160	160	140	120	145
Télédiaphonie (Valeurs minimales ramenées à 1000 m) (dB)	1 MHz 4 MHz 17 MHz	43 <sup>a)</sup>	43 <sup>a)</sup>	40	56 44 31	64 52 40
Paradiaphonie de 1 à 17 MHz (Valeurs minimales) (dB)		119	119	98	116	125
Affaiblissement linéique nominal à 1 MHz <sup>b)</sup> (dB/km à 10 °C)		7,0	9,3	10,5	9,5	5,2
Capacité nominale (nF/km)		28,5	28,5	31,5	38	30
Diamètre des conducteurs (mm)		0,8	0,6	0,65	0,9	1,2

a) Les mesures de télédiaphonie sur les sections élémentaires de câble, pour les paires de ce type, sont effectuées en régime numérique seulement (voir supplément n° 19). La valeur maximale spécifiée est 30 mV.

b) Les valeurs réelles doivent permettre de satisfaire aux conditions requises pour une section élémentaire de câble (type I:  $56 \pm 2$  dB à 4,2 MHz et 10 °C pour 4 km; type II:  $56 \pm 2$  dB à 4,2 MHz et 10 °C pour 3 km; type III: inférieur à 55 dB à 3,15 MHz pour 2,8 km).

TABLEAU 4/G.612

## Câbles à quartes

Caractéristiques			Type de câble	
			I	II
Impédance caractéristique nominale $Z_0$ à 1 MHz ( $\Omega$ )			165	120
Télédiaphonie (Valeurs minimales ramenées à 1000 m) (dB)	Quartes différentes	1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz	46 34 31	56 44 31
	Même quarte	1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz	(45) (25) (21) <sup>a)</sup>	46 34 c)
Paradiaphonie de 1 à 17 MHz (valeurs minimales) (dB)			125 <sup>b)</sup>	116
Affaiblissement linéique nominal à 1 MHz (dB/km à 10 °C)			8,8	9,5
Capacité nominale (nF/km)			28	38
Diamètre des conducteurs (mm)			0,65	0,9

a) Pour permettre la transmission de 34 Mbit/s sur chaque paire d'une quarte en étoile, une méthode d'équilibrage est appliquée sur les sections élémentaires de câble de 2 km, en faisant des croisements systématiques tous les 500 m, ce qui améliore d'au moins 15 dB les valeurs de télédiaphonie. Les valeurs indiquées dans cette case correspondent, de ce fait, à 500 m de câble.

b) La valeur doit être supérieure à 130 dB dans 99% des cas.

c) La transmission de 34 Mbit/s sur chaque paire d'une quarte étoile est à l'étude.

**CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES SYMÉTRIQUES EN  
CÂBLES UTILISABLES EN TOTALITÉ POUR LA  
TRANSMISSION DE SYSTÈMES NUMÉRIQUES DONT LE  
DÉBIT BINAIRE PEUT ATTEINDRE 2 Mbit/s**

(Malaga-Torremolinos, 1984)

## 1 Préambule

Les clauses de la présente Recommandation concernent des câbles conçus pour la transmission de systèmes numériques normalisés (Recommandation de la série G.900), mais il est aussi possible d'utiliser ces câbles pour la transmission de signaux numériques de plus faible débit binaire et de signaux à fréquences vocales. Les câbles décrits dans la présente Recommandation acheminent simultanément les deux sens de transmission. Les clauses de la présente Recommandation s'appliquent à des câbles dont la conception permet l'exploitation en transmission numérique de la totalité des circuits du câble. Cependant, certaines de ces clauses pourront être utilisées pour déterminer les possibilités d'emploi en numérique (en partie ou en totalité) de câbles existants.

## 2 Paramètres à mesurer

### 2.1 Résistance en continu

Pour ramener à 20 °C la valeur  $R_t$  de la résistance en continu mesurée à  $t$  °C, on utilise la formule:

$$R_{20} = R_t / (1 + 0,004 (t - 20))$$

### 2.2 Capacité linéique

Cette mesure s'effectue à 800 Hz ou à 1000 Hz.

### 2.3 Affaiblissement linéique

La valeur de l'affaiblissement linéique est obtenue, soit par une méthode de mesure directe de l'affaiblissement, soit par calcul à partir de la capacité mutuelle et de la résistance en courant continu de la paire. L'affaiblissement linéique  $\alpha_0$  n'est mesuré qu'à une seule fréquence  $f_0$  voisine de la  $\frac{1}{2}$  fréquence de rythme.

Système	Recommandation	$f_0$
à 1544 kbit/s	G.951	772 kHz
à 2048 kbit/s	G.952	1 MHz

Pour les câbles à isolation polyoléfine, la valeur de l'affaiblissement linéique à la fréquence  $f$  (pour une valeur de  $f$  supérieure à quelques centaines de kHz) est reliée à  $\alpha_0$  par la relation  $\alpha_f = \alpha_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}$ .

La valeur de l'affaiblissement linéique mesurée à  $t$  °C ramenée à 20 °C par la formule:

$$\alpha_{20} = \alpha_t / (1 + 0,002 (t - 20))$$

## 2.4 Impédance caractéristique

### 2.4.1 Mesure échométrique

L'emploi d'un échomètre à impulsion nécessite que l'impédance de la paire en mesure soit compensée par un équilibreur étalonné réglable par échelon de  $0,5 \Omega$  environ. La durée de l'impulsion sera égale ou inférieure à 500 ns. Cette méthode, alliant rapidité et simplicité, permet une lecture directe de la valeur de l'impédance d'extrémité de la paire en mesure sur les graduations de l'équilibreur.

### 2.4.2 Mesure en régime sinusoïdal

Dans ce cas, la paire en essai sera terminée par une impédance constamment égale à celle mesurée par le pont, sauf si sa longueur est suffisante pour que le résultat de la mesure soit indépendant de l'impédance de terminaison, (cas des sections élémentaires de câble).

## 2.5 Diaphonie

La diaphonie peut être mesurée, soit en régime sinusoïdal, soit en régime numérique. L'affectation des paires aux sens de transmission dépend de la structure et du mode de fabrication du câble considéré.

### 2.5.1 Mesure en régime sinusoïdal

#### 2.5.1.1 Télédiaphonie

Les mesures sont faites entre paires affectées à un même sens de transmission, à la fréquence  $f_0$ . Si la fréquence à laquelle la mesure est effectuée n'est pas la demi-fréquence de rythme, la valeur sera corrigée selon une loi en  $20 \log_{10} f$ . Lorsque la mesure est effectuée sur une paire de longueur  $L$  différente de la longueur de référence spécifiée  $L_0$ , la valeur mesurée sera corrigée en appliquant une loi en  $\sqrt{L/L_0}$  lorsque cette valeur s'exprime en mV ou en  $10 \log_{10} \frac{L}{L_0}$  lorsque cette valeur s'exprime en dB.

#### 2.5.1.2 Paradiaphonie

Les mesures sont faites entre paires affectées à la transmission de sens opposé à une fréquence voisine de la demi-fréquence de rythme du système.

### 2.5.2 Mesure en régime numérique

Les mesures en régime numérique permettent une estimation du bruit global sur section élémentaire qui tient compte à la fois de la paradiaphonie et de la télédiaphonie. Cette estimation peut être effectuée à partir de mesures séparées de paradiaphonie et de télédiaphonie soit sur longueur de fabrication soit sur section élémentaire<sup>1)</sup>. Ces mesures peuvent être effectuées soit en usine soit sur câble installé.

#### 2.5.2.1 Télédiaphonie

Les mesures sont faites entre paires affectées à un même sens de transmission. Lorsque la mesure est effectuée sur une paire de longueur  $L$  différente de la longueur de référence spécifiée  $L_0$ , la valeur mesurée sera corrigée en appliquant une loi en  $\sqrt{L/L_0}$  lorsque cette valeur s'exprime en mV ou en  $10 \log_{10} (L/L_0)$  lorsque cette valeur s'exprime en dB.

#### 2.5.2.2 Paradiaphonie

Les mesures sont faites entre paires affectées à la transmission de sens opposé.

## 3 Caractéristiques des circuits

Le tableau 1/G.613 indique les caractéristiques des circuits.

## 4 Caractéristiques des sections de câbles raccordés

Le tableau 2/G.613 indique les caractéristiques des câbles raccordés.

<sup>1)</sup> Un avantage des mesures en régime numérique est de pouvoir effectuer une mesure globale directe du bruit total sur section élémentaire si on dispose d'un nombre suffisant de générateurs.

TABLEAU 1/G.613

## Caractéristiques des circuits\*

Caractéristiques		Type du câble				
		Type I	Type II	Type II <i>bis</i>	Type III <i>****</i>	f)
Débit binaire en exploitation (kbit/s)		2048	2048	2048	2048	
Gain des répéteurs **		34 dB				
Éléments constitutifs du câble		quarte étoile	paires	paires	paires	
Diamètre nominal des conducteurs (mm)		0,8	0,7	1	0,6	
Impédance nominale *** à $f_0$ MHz ( $\Omega$ )	1 MHz	100	130	130		
	772 kHz					
Affaiblissement linéique nominal à $f_0$ et à 20 °C *** (dB/km)	1 MHz	16	11,5 b)	8,5 b)	15,5	
	772 kHz					
Diaphonie en régime numérique	a)	c)	-	-	-	
Tension de bruit total (valeur maximale)	a)					
Paradiaphonie mini (mV)	a)	-	60 d, g)	60 d, g)		
	a)					
Télédiaphonie mini (mV)	a)	-	45 e, g)	45 e, g)		
	a)					
Diaphonie en régime sinusoïdal	Paradiaphonie (dB)	1 MHz			78 ± 3 h)	
		772 kHz				
	Télédiaphonie (dB)	1 MHz			64 ± 3 h)	
		772 kHz				
Résistance nominale en continu à 20 °C ( $\Omega$ /km)		68,6	94,1 b)	46,1 b)	63	
Capacité mutuelle nominale (nF/km)		50	39	39	44	

Notes du tableau 1/G.613

\* Les valeurs sont données actuellement à titre d'exemple.

\*\* Valeur de référence pour les données chiffrées du câble considéré.

\*\*\* Ultérieurement un écart type ou des marges seront indiqués.

\*\*\*\* Câble à écran diamétral séparant les paires affectées aux 2 sens de transmission.

- a) A préciser.
- b) Valeur maximale.
- c) La valeur de la spécification pour les contrôles en usine est calculée pour que les caractéristiques du câble raccordé soient respectées.
- d) Entre paires de faisceaux différents.
- e) Entre paires appartenant au même faisceau.
- f) D'autres colonnes seront remplies avec les données fournies par les Administrations.
- g) Valeurs indiquées ici en dB.
- h) La valeur donnée ici dépend de la contenance du câble. Il s'agit de la moyenne minorée d'un écart type de la production totale et ce n'est donc pas une spécification de longueur individuelle de câble.

TABLEAU 2/G.613

Caractéristiques des sections de câbles raccordés \*

Caractéristiques		Type du câble				
		Type I	Type II	Type II <i>bis</i>	Type III	a)
Débit binaire en exploitation (kbit/s)		2048	2048	2048		
Impédance nominale à $f_0$ MHz ( $\Omega$ )	1 MHz	100	130	130		
	772 kHz					
Affaiblissement linéique nominal à $f_0$ et à 20 °C (dB/km)	1 MHz	16	11,5	8,5		
	772 kHz					
Diaphonie en régime numérique Tension de bruit total (valeur maximale)	b)	40 mV				
	b)					
Paradiaphonie mini (mV)	b)					
	b)					
Télédiaphonie mini (mV)	b)					
	b)					
Diaphonie en régime sinusoïdal	Paradiaphonie (dB)	1 MHz				
		772 kHz				
	Télédiaphonie (dB)	1 MHz				
		772 kHz				

\* Les valeurs sont données actuellement à titre d'exemple.

a) D'autres colonnes seront remplies avec les données fournies par les Administrations.

b) A préciser.

CARACTÉRISTIQUES DES CÂBLES À PAIRES SYMÉTRIQUES À QUARTES EN ÉTOILE  
CONÇUS INITIALEMENT POUR DES SYSTÈMES À TRANSMISSION ANALOGIQUE  
ET UTILISÉS ACTUELLEMENT POUR DES SYSTÈMES À TRANSMISSION  
NUMÉRIQUE À DES DÉBITS BINAIRES COMPRIS ENTRE 6 ET 34 Mbit/s

(Melbourne, 1988)

## 1 Introduction

La présente Recommandation a trait aux câbles à paires symétriques à quartes en étoile initialement conçus et utilisés pour fournir des systèmes à transmission analogique à 60 ou 120 voies téléphoniques sur chaque paire. Aujourd'hui, après reconstruction de la ligne, ces câbles sont utilisés pour des systèmes à transmission numérique à des débits binaires compris entre 6 et 34 Mbit/s. Les câbles dont il s'agit ne comportent aucune paire ni aucune quarte sous écran.

Pour les systèmes à débit binaire de 8 Mbit/s, on peut utiliser l'exploitation à un câble ou à deux câbles. Pour les systèmes à débit binaire de 34 Mbit/s, on utilise exclusivement l'exploitation à deux câbles.

Pour les systèmes de transmission numérique, on peut utiliser plusieurs paires du câble ou la totalité de ses paires.

## 2 Paramètres à mesurer

On doit mesurer tous les paramètres spécifiés dans la Recommandation G.612, à savoir l'impédance caractéristique, l'affaiblissement linéique, la télédiaphonie entre paires affectées au même sens de transmission et la paradiaphonie entre paires de deux câbles différents employées pour des sens de transmission différents. S'il s'agit d'un câble destiné à être employé pour les deux sens de transmission, il est nécessaire de mesurer en outre la paradiaphonie entre paires affectées à des sens de transmission différents.

### 2.1 Impédance caractéristique

On appliquera la méthode de mesure décrite au § 2.1 de la Recommandation G.612.

### 2.2 Affaiblissement linéique

On appliquera la méthode de mesure décrite au § 2.2 de la Recommandation G.612.

### 2.3 Diaphonie

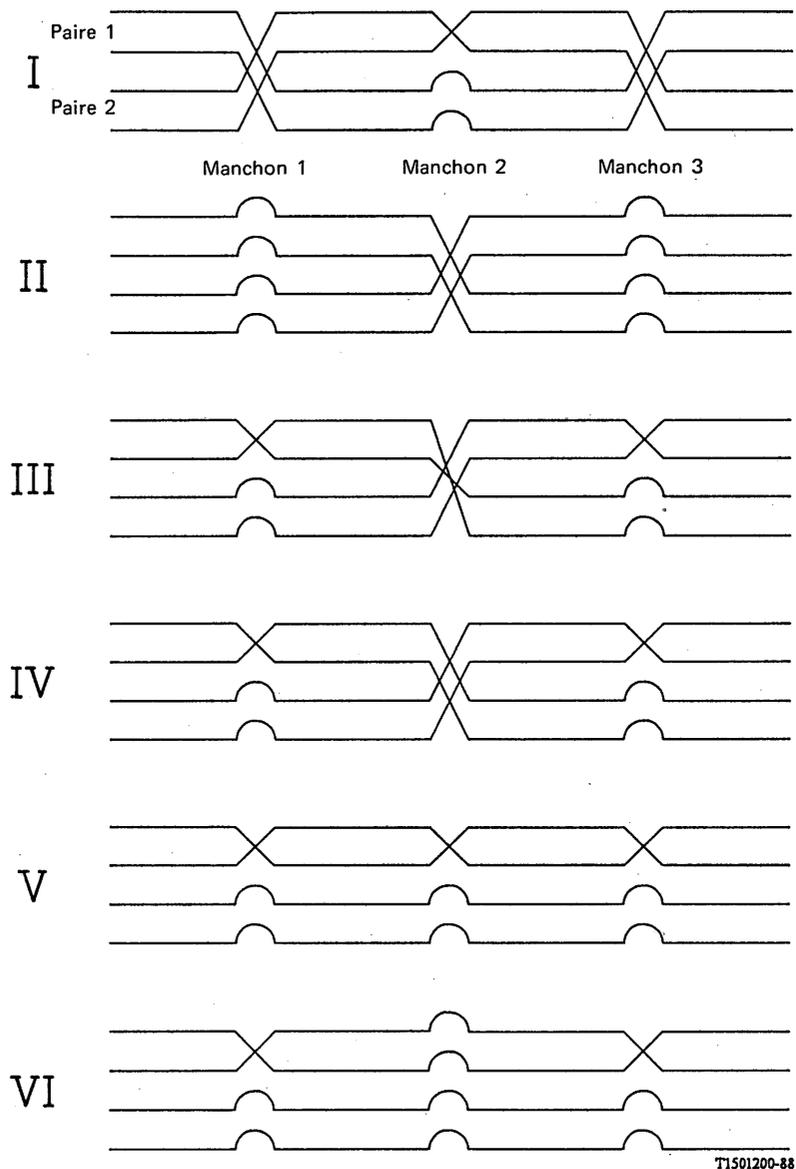
La diaphonie sera spécifiée en régime sinusoïdal, pour une fréquence voisine de la demi-fréquence du rythme du système numérique et/ou pour d'autres fréquences. On peut également employer le mode de mesure numérique.

#### 2.3.1 Mesure de la télédiaphonie entre paires de quartes différentes

On effectuera cette mesure sur des paires affectées au même sens de transmission, sur une fréquence supérieure à environ 0,1 MHz, la longueur du câble étant  $L$ . Si la fréquence de mesure diffère de la demi-fréquence du rythme du système numérique, la valeur à mesurer sera corrigée par application du facteur à  $20 \log_{10} f$ . Les valeurs sont ramenées à une longueur de câble de 1000 m par application du facteur de  $10 \log_{10} L$ .

#### 2.3.2 Mesure de la télédiaphonie entre paires d'une même quarte

On effectuera cette mesure sur une longueur de câble égale à la longueur maximale admissible d'une section de régénération du système numérique, pour des débits binaires de 6 à 34 Mbit/s, sur une fréquence supérieure à environ 1,0 MHz (les mesures étant faites séparément pour chaque débit binaire du système numérique), la composante systématique de diaphonie dans la même quarte étant compensée. Ladite compensation s'effectue selon l'un des schémas de transposition, sensiblement équivalents, représentés sur la figure 1/G.614. Lorsque les sections de régénération sont de moindre longueur, les méthodes qui consistent à scinder les sections élémentaires de câble en parties séparées et à effectuer des transpositions dans les quartes donnent, pour la télédiaphonie entre paires, des valeurs plus élevées que lorsque les mesures sont faites sur la longueur de section de régénération maximale.



T1501200-88

*Remarque 1* – Schéma de transposition I: proposé en 1978 par l'Administration des Pays-Bas (voir COM XV-135, période 1977-1980).

*Remarque 2* – Schéma de transposition II: proposé par l'Administration de la RDA.

*Remarque 3* – Schémas de transposition III, IV, V et VI: proposés par l'Administration de l'URSS.

FIGURE 1/G.614

### 2.3.3 Mesure de la paradiaphonie entre paires d'un même câble ou de câbles différents, affectées à des sens de transmission différents

On effectuera cette mesure soit entre paires d'un même câble (dans le cas de l'exploitation à un seul câble), soit entre paires de deux câbles différents, affectées à des sens de transmission différents (dans le cas de l'exploitation à deux câbles). Les mesures ont lieu à la fois en régime sinusoïdal et en régime numérique.

## 3 Spécifications des câbles

Les Administrations qui ont décidé d'utiliser, pour des transmissions numériques de débit binaire compris entre 6 et 34 Mbit/s, des câbles conçus et utilisés initialement pour des systèmes analogiques d'au plus 120 voies sont invitées à cet effet, à choisir des câbles dont les caractéristiques soient celles qui figurent dans les tableaux 1/G.614 et 2/G.614 ci-dessous.

3.1 Câbles utilisés pour des systèmes à transmission numérique, de débit binaire allant de 6 à 8 Mbit/s, dans le cas de l'exploitation avec un seul câble

Voir le tableau 1/G.614.

TABLEAU 1/G.614

Caractéristiques	Valeurs à respecter		
	I (remarque 1)	II (remarque 1)	III (remarque 1)
Types de câble			
Débit binaire en exploitation C (kbit/s)	8448	8448	8448
Code en ligne	HDB-3	HDB-3	HDB-3
Rapidité de modulation (kbaud)	8448	8448	8448
Affaiblissement tolérable d'une section de régénération à la fréquence C/2 lorsque les paires du câble sont utilisées au maximum et que les sens de transmission sont établis sur des quartes différentes (valeur maximale admissible) (dB)	23	23	45 (remarque 3)
Diamètre du conducteur de cuivre (mm)	1,2	1,2	1,3
Gamme antérieure d'exploitation du câble	HF	HF	AF, HF
Type d'isolation	PI	PI	PI, P
Nombre de quartes en étoile	4	7 (remarque 2)	3, 4, 8
Impédance caractéristique à 1 MHz (ohms)	165	165	170
Capacité nominale (nF/km)	24,5	24,5	21,0
Affaiblissement linéique (dB/km) à 10 °C			
– à 1 MHz	4,8	4,5	3,7
– à la fréquence C/2	10,6	9,7	8,0
Paradiaphonie à la fréquence C/2 (dB)			
– valeur moyenne	48	50	50
– valeur minimale	34	34	44
Télédiaphonie entre paires de quartes différentes (valeur minimale rapportée à 1000 m) (dB)			
– à 1 MHz	54	54	60
– à la fréquence C/2	42	42	48
Télédiaphonie entre paires d'une même quarte (valeur minimale pour la section de régénération de longueur maximale) (dB)			
– à 1 MHz	60	60	60
– à la fréquence C/2	43	43	48

Remarque 1 – Ces caractéristiques sont valables pour des câbles sous enveloppe d'aluminium.

Remarque 2 – La quarte centrale n'est pas utilisée pour le système de transmission numérique.

Remarque 3 – Les régénérateurs du sens de transmission B-A sont installés au point milieu de la section de la direction opposée A-B.

HF Haute fréquence

AF Audiofréquence

PI Anneaux de polystyrène

P Papier

3.2 Câbles utilisés pour des systèmes à transmission numérique, de débit binaire allant de 6 à 34,368 Mbit/s, dans le cas de l'exploitation avec deux câbles

Voir le tableau 2/G.614.

TABLEAU 2/G.614

Caractéristiques	Valeurs à respecter		
	I (remarque 1)	II (remarque 1)	III (remarque 1)
Types de câble			
Débit binaire en exploitation C (kbit/s)	8448	34 368	34 368
Code en ligne	HDB-3	5B6B	5B6B
Rapidité de modulation (kbaud)	8448	41 242	41 242
Affaiblissement d'une section de régénération à la fréquence C/2 lorsque toutes les paires du câble sont utilisées (valeur maximale admissible) (dB)	70	85	85
Diamètre du conducteur de cuivre (mm)	1,2	1,2	1,3
Nombre de quartes en étoile	4	4	3, 4, 8
Impédance caractéristique à 1 MHz (ohms)	165	165	170
Capacité nominale (nF/km)	24,5	24,5	21,0
Affaiblissement linéique (dB/km) à 10 °C			
– à 1 MHz	4,8	4,8	3,7
– à la fréquence C/2	10,6	24,0	17,0
Télédiaphonie entre paires de quartes différentes (valeur minimale rapportée à 1000 m) (dB)			
– à 1 MHz	54	51	60
– à 4 MHz	42	42	48
– à 12 MHz	–	32	30
– à 17 MHz	–	30	26
Télédiaphonie entre paires d'une même quarte (valeur minimale pour une section de régénération de longueur maximale) (dB)			
– à 1 MHz	42	–	60 (remarque 3)
– à 4 MHz	30	33 (remarque 2)	48 (remarque 3)
– à 12 MHz	–	17 (remarque 2)	27 (remarque 3)
– à 17 MHz	–	13 (remarque 2)	17 (remarque 3)

Remarque 1 – Ces caractéristiques sont valables pour des câbles sous enveloppe d'aluminium.

Remarque 2 – Ces valeurs ont été obtenues avec le schéma de transposition V de la figure 1/G.614 pour quatre longueurs de câble (0,825 km).

Remarque 3 – Ces valeurs ont été obtenues avec le schéma de transposition II de la figure 1/G.614.

## 6.2 Câbles terrestres à paires coaxiales

Les paires coaxiales recommandées dans les Recommandations de cette section 6.2 qui suivent peuvent être utilisées pour des systèmes de transmission de types différents. Les tableaux ci-dessous indiquent les possibilités d'emploi des diverses paires.

TABLEAU 1

Câbles pour systèmes analogiques

Désignation du type de système (MHz)	Ordre de grandeur des bandes de fréquences utilisées (MHz)	Types de paires coaxiales pouvant être utilisées (mm)
1,3	0,06 à 1,3	1,2/4,4
4 ou 6	0,06 à 6	1,2/4,4 2,6/9,5
12 ou 18	0,3 à 12 ou 18	1,2/4,4 2,6/9,5
60	4 à 60	2,6/9,5

TABLEAU 2

Câbles pour systèmes numériques

Désignation proposée du type de système	Largeur de bande possible (MHz)	Exemple typique de débit du système (Mbit/s)	Types de paires coaxiales pouvant être utilisées (mm)
Débit moyen	8,5	8	0,7/2,9
	35	34	0,7/2,9 1,2/4,4
Fort débit	100	140	1,2/4,4 <sup>a)</sup> 2,6/9,5
Très fort débit	700	565	2,6/9,5

<sup>a)</sup> Dans le cas des systèmes à fort débit, des systèmes mixtes – c'est-à-dire comportant plusieurs répéteurs de type analogique entre chaque répéteur régénérateur – pourraient être utilisés: il se pourrait que la largeur de bande effective soit alors réduite (de l'ordre de 35 MHz, par exemple).

## CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES COAXIALES DU TYPE 0,7/2,9 mm EN CÂBLE

(Genève, 1976; modifiée à Genève, 1980)

Les Administrations qui décident d'utiliser pour des transmissions numériques et éventuellement pour des transmissions analogiques de type particulier des paires coaxiales plus petites que la paire coaxiale 1,2/4,4 mm devront, dans toute la mesure possible, choisir les paires conformément aux indications de la présente Recommandation. L'emploi de ces paires est défini par les tableaux 1 et 2 de l'introduction à la sous-section 6.2 des Recommandations de la série G.

**1 Caractéristiques de la paire****1.1 Caractéristiques électriques de la paire coaxiale****1.1.1 Impédance caractéristique**

La valeur nominale de la partie réelle de l'impédance caractéristique à 1 MHz devra être de 75 ohms.

La valeur moyenne de la partie réelle de l'impédance d'une paire coaxiale à 1 MHz ne doit pas s'écarter de la valeur nominale de plus de  $\pm 2,5$  ohms.

Le tableau 1/G.621 montre l'allure générale de la variation de l'impédance en fonction de la fréquence.

TABLEAU 1/G.621

Valeur moyenne de la partie réelle de l'impédance mesurée à différentes fréquences

Fréquence (MHz)	0,2	0,5	1	2	5	10	20	$\infty$
Impédance ( $\Omega$ )	77,7	75,9	75	74,2	73,4	73	72,8	72,2

**1.1.2 Affaiblissement linéique**

La valeur nominale de l'affaiblissement linéique à 10 °C et à 1 MHz est égale à 8,9 dB/km.

Le tableau 2/G.621 montre l'allure générale de la variation de l'affaiblissement linéique en fonction de la fréquence à la température de 10 °C.

TABLEAU 2/G.621

Valeur moyenne de l'affaiblissement linéique à différentes fréquences

Fréquence (MHz)	0,2	0,5	1	2	5	10	20
Affaiblissement (dB/km)	4,5	6,5	8,9	12,6	19,8	28,0	39,6

**1.2 Construction mécanique de la paire coaxiale**

La constitution de la paire est la suivante:

- a) valeur nominale du diamètre du conducteur intérieur en fil de cuivre massif: 0,7 mm;
- b) valeur nominale du diamètre intérieur du conducteur extérieur: 2,9 mm;

- c) conducteur extérieur constitué d'un ruban de cuivre, d'une épaisseur de l'ordre de 0,1 mm, appliqué longitudinalement avec chevauchement<sup>1)</sup>;
- d) écran constitué d'un ruban d'acier, d'une épaisseur de l'ordre de 0,1 mm appliqué longitudinalement avec chevauchement<sup>1)</sup>.

## 2 Spécification du câble (longueurs de fabrication de l'ordre de 500 m)

### 2.1 Impédance caractéristique

Pour vérifier que la valeur donnée au § 1.1.1 est respectée, on peut effectuer les mesures au moyen d'impulsions. On considère comme «valeur moyenne de la partie réelle de l'impédance à 1 MHz» la composante résistive de l'impédance à 1 MHz de l'équilibreur le mieux adapté à la paire coaxiale mesurée.

### 2.2 Régularité d'impédance

Les mesures de contrôle courant de la régularité d'impédance sont effectuées au moyen d'échomètres à impulsions, à partir d'une ou des deux extrémités des longueurs de fabrication. La courbe d'écho doit être tracée avec une correction en amplitude et si possible en amplitude et en phase.

Le tableau 3/G.621 indique les diverses valeurs à obtenir, selon l'usage auquel est destiné le câble.

TABLEAU 3/G.621

Mesure échométrique des longueurs en usine <sup>a)</sup>

Catégorie du système		Numérique	
Débit		Débit moyen (6 à 34 Mbit/s)	
Durée maximale de l'impulsion		100 ns	
Clauses générales	Crête maximale	100%	36 dB
		95%	39 dB
Clauses optionnelles complémentaires <sup>a)</sup>	A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes	
	B	Ecart équivalent	

<sup>a)</sup> Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des deux conditions A ou B est remplie.

*Remarque 1* – Dans le tableau, les pourcentages indiqués concernent l'ensemble des paires d'un lot de câbles présentés simultanément au contrôle ou constituant une même livraison.

*Remarque 2* – Avec les techniques de construction utilisées jusqu'à présent, les irrégularités systématiques ne donnent pas lieu, dans la mesure au moyen d'un signal sinusoïdal de l'affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités, à des pointes de réflexion à des fréquences inférieures à 60 MHz; pour cette raison, en tenant compte du débit binaire d'utilisation prévu, une mesure de ce type ne semble pas nécessaire. Pour d'autres types de construction éventuels, un tel contrôle pourrait être opportun; dans ce cas, la valeur obtenue devrait être de 20 dB de 4 à 60 MHz.

### 2.3 Affaiblissement linéique

L'affaiblissement des paires devra être tel que les clauses du § 3.3<sup>2)</sup> puissent être respectées.

<sup>1)</sup> La fonction du conducteur extérieur et de l'écran peut aussi être confiée à un seul ruban bimétallique cuivre-acier-cuivre.

<sup>2)</sup> Les mesures d'affaiblissement à ce stade de la fabrication sont seulement des mesures de prototype.

## 2.4 Affaiblissement paradiaphonique

L'affaiblissement paradiaphonique entre paires coaxiales utilisées pour des sens de transmission différents, mesuré dans la bande de fréquences de 0,5 à 20 MHz sur les longueurs de fabrication, doit être supérieur à 135 dB pour 100% des mesures.

## 2.5 Rigidité diélectrique

La paire doit supporter une tension alternative à 50 Hz de valeur efficace égale à 1000 volts (ou bien une tension continue de 1500 volts) appliquée pendant au moins une minute entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur.

S'il est prévu qu'en service normal, les conducteurs extérieurs des paires coaxiales ne seront pas mis à la terre, un essai de rigidité diélectrique doit être effectué entre les conducteurs extérieurs et l'enveloppe métallique mise à la terre. On appliquera dans ces conditions une tension alternative à 50 Hz de valeur efficace supérieure ou égale à 2000 volts ou bien une tension continue supérieure ou égale à 3000 volts.

## 2.6 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 volts et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 10 000 mégohms  $\times$  kilomètre après une minute d'électrisation, la température étant au moins égale à 15 °C. La mesure de la résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Cette mesure doit être effectuée sur chaque longueur de fabrication du câble.

# 3 Spécification d'une section élémentaire de câble

L'Administration et le fournisseur devront se mettre d'accord sur le choix entre exécuter des essais sur toutes les sections ou sur une certaine proportion d'entre elles, ou même se contenter d'un seul essai type d'acceptation, notamment dans le cas où il est difficile d'effectuer des mesures dans les conditions réelles.

## 3.1 Impédance moyenne

La valeur moyenne de la partie réelle de l'impédance d'une paire coaxiale à 1 MHz ne doit pas différer de sa valeur nominale (définie au § 1.1.1) de plus de 3 ohms. Les mesures sont effectuées comme il est dit au § 2.1.

## 3.2 Régularité d'impédance

Les mesures sont effectuées comme il est dit au § 2.2. Le tableau 4/G.621 indique les diverses valeurs à obtenir, selon l'usage auquel est destiné le câble. La remarque 1 du § 2.2 reste valable.

TABLEAU 4/G.621

Mesure échométrique des sections élémentaires de câble

Catégorie du système		Numérique	
Débit		Débit moyen (6 à 34 Mbit/s)	
Durée maximale de l'impulsion		100 ns	
Clauses générales	Crête maximale	100%	30 dB
		95%	33 dB
Clauses optionnelles complémentaires <sup>a)</sup>	A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes	33 dB
	B	Ecart équivalent	

<sup>a)</sup> Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des deux conditions A ou B est remplie.

### 3.3 *Affaiblissement linéique*

A 1 MHz, la valeur réelle de l'affaiblissement linéique ne doit pas s'écarter de la valeur nominale, définie au § 1.1.1, de plus de  $\pm 0,4$  dB.

L'affaiblissement mesuré sur un câble à la température moyenne  $t$  °C est ramené à 10 °C par la formule:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha (t - 10)}$$

Le coefficient de variation de l'affaiblissement en fonction de la température  $k_\alpha$  est d'environ  $1,8 \cdot 10^{-3}$  par °C aux fréquences supérieures à 2 MHz et d'environ  $1,9 \cdot 10^{-3}$  par °C à la fréquence 1 MHz.

### 3.4 *Diaphonie*

L'affaiblissement paradiaphonique entre des paires coaxiales utilisées pour des sens de transmission différents, mesuré dans la bande de fréquences de 0,5 à 20 MHz sur des sections de 2 km et de 4 km, doit être supérieur à 130 dB.

### 3.5 *Rigidité diélectrique*

La paire doit supporter une tension continue d'au moins 1000 volts, appliquée pendant au moins une minute entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur.

On effectuera de plus un essai de rigidité diélectrique entre la paire coaxiale et la terre conformément aux modalités décrites au § 2.5; à cet effet, on appliquera une tension continue d'au moins 2000 volts pendant une minute.

### 3.6 *Résistance d'isolement*

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 volts et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 5000 mégohms  $\times$  kilomètre après une minute de mise sous tension. La mesure de résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Elle doit être effectuée sur chaque section élémentaire de câble.

## **Recommandation G.622**

### **CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES COAXIALES DU TYPE 1,2/4,4 mm EN CÂBLE**

*(ancienne Recommandation G.342, modifiée par la suite)*

La présente Recommandation définit la paire coaxiale de 1,2/4,4 mm spécifiée par le CCITT pour le service international. L'emploi de cette paire est défini par les tableaux 1 et 2 de l'introduction à la sous-section 6.2 des Recommandations de la série G. Quand la possibilité de transmissions télévisuelles ou numériques a été envisagée, cela a été expressément mentionné dans le texte de chaque clause.

## **1 Caractéristiques de la paire**

### **1.1 *Caractéristiques électriques de la paire coaxiale***

#### **1.1.1 *Impédance caractéristique***

La valeur nominale de la partie réelle de l'impédance caractéristique est de 75  $\Omega$  à 1 MHz.

La tolérance est de  $\pm 1,5$   $\Omega$  pour la téléphonie et  $\pm 1$   $\Omega$  pour les paires susceptibles d'être employées pour les transmissions télévisuelles.

A titre d'information, les valeurs d'impédance du tableau 1/G.622 ont été obtenues à diverses fréquences sur des paires coaxiales fabriquées suivant des méthodes différentes.

TABLEAU 1/G.622

Valeur moyenne de la partie réelle de l'impédance caractéristique mesurée à diverses fréquences

Fréquence (MHz)	0,06	0,1	0,2	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Impédance ( $\Omega$ )	79,8	78,9	77,4	75,8	75	74,8	74	73,6	73,5

### 1.1.2 Affaiblissement linéique

La valeur nominale de l'affaiblissement linéique de la paire à 12 MHz à la température de 10 °C est de  $18,0 \pm 0,3$  dB/km.

Le tableau 2/G.622 indique l'allure générale de la variation de l'affaiblissement linéique en fonction de la fréquence, pour toutes les paires conformes à la présente Recommandation.

TABLEAU 2/G.622

Valeur nominale de l'affaiblissement linéique à diverses fréquences

Fréquence (MHz)	0,06	0,1	0,3	0,5	1	1,3	4,5	12	18
Affaiblissement (dB/km)	1,5	1,8	2,9	3,7	5,3	6,0	11	18	22

La formule suivante dans laquelle  $\alpha$  est exprimé en dB par km et  $f$  en MHz donne une approximation de l'affaiblissement linéique à partir de 2 MHz:

$$\alpha = 0,07 + 5,15 \sqrt{f} + 0,005 f$$

*Remarque* – A titre d'information, l'annexe A indique des valeurs mesurées ou spécifiées dans divers pays, avec les écarts ou tolérances correspondants. En tout cas, pour la conception des amplificateurs, on doit prendre pour référence les valeurs mesurées sur le type de câble qui sera employé.

### 1.1.3 Distorsion d'affaiblissement

Pour contrôler la distorsion d'affaiblissement, on calcule le rapport  $\frac{\alpha_{f_1}}{\alpha_{f_2}}$  entre les valeurs de l'affaiblissement  $\alpha_{f_1}$  et  $\alpha_{f_2}$  mesurées à deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$ .

La limite à respecter est l'une des trois suivantes<sup>1)</sup>:

$$\frac{\alpha_{16 \text{ MHz}}}{\alpha_{4 \text{ MHz}}} \leq 2,005$$

$$\frac{\alpha_{24 \text{ MHz}}}{\alpha_{6 \text{ MHz}}} \leq 2,009$$

$$\frac{\alpha_{48 \text{ MHz}}}{\alpha_{12 \text{ MHz}}} \leq 2,016$$

La distorsion d'affaiblissement est contrôlée en usine sur un faible pourcentage de longueurs de fabrication.

<sup>1)</sup> Ces trois limites sont redondantes. Une seule d'entre elles est donc à utiliser pour le contrôle de la distorsion d'affaiblissement.

## 1.2 Construction mécanique de la paire coaxiale

Les dimensions nominales sont les suivantes:

- diamètre du conducteur intérieur en cuivre massif: 1,2 mm;
- diamètre intérieur du conducteur extérieur: 4,4 mm.

Le conducteur extérieur cylindrique est obtenu à partir d'un ruban de cuivre d'épaisseur soit 0,15 mm, soit 0,18 mm.

## 2 Spécification du câble

### 2.1 Impédance caractéristique

Pour vérifier que la valeur donnée au § 1.1.1 est respectée, on peut effectuer les mesures au moyen d'impulsions. On considère comme valeur de la partie réelle de l'impédance à 1 MHz la composante résistive de l'impédance à 1 MHz de l'équilibreur le mieux adapté à la paire coaxiale mesurée.

### 2.2 Régularité d'impédance

Les mesures de contrôle courant de la régularité d'impédance sont effectuées au moyen d'échomètres à impulsions, à partir d'une ou des deux extrémités des longueurs de fabrication. La courbe d'écho doit être tracée avec une correction en amplitude et si possible en amplitude et en phase. Si l'écart équivalent est mesuré, il doit être corrigé. Cependant, pour les mesures courantes, on peut se passer de correction si la longueur en essai est assez courte pour que la correction soit faible.

Le tableau 3/G.622 indique les diverses valeurs à obtenir, selon l'usage auquel est destiné le câble.

TABLEAU 3/G.622

#### Mesures échométriques des longueurs en usine

Catégorie du système			Analogique		Numérique	
Gamme de fréquences ou débit			0,06 à 6 MHz	0,3 à 20 MHz	Débit moyen (6 à 34 Mbit/s)	Fort débit (140 Mbit/s)
Durée maximale de l'impulsion			100 ns	50 ns	50 ns	10 ns
Clauses générales	Crête maximale	100%	45 dB	48 dB	48 dB	48 dB
		95%	50 dB	50 dB	50 dB	49 dB
Clauses optionnelles complémentaires <sup>a)</sup>	A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes	48 dB	51 dB	51 dB	47 dB
	B	Ecart équivalent	1,2 Ω	1,6 Ω	1,6 Ω	2,5 Ω

<sup>a)</sup> Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des deux conditions A ou B est remplie.

*Remarque 1* – Dans le cas des systèmes analogiques de la classe 0,06 à 1,3 MHz, les clauses sont les mêmes que pour les systèmes analogiques de la classe 0,06 à 6 MHz.

*Remarque 2* – Pour déceler les irrégularités de nature systématique, des mesures d'affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités sont à effectuer sur une faible proportion des longueurs fabriquées. Les limites à respecter sont données par le tableau 4/G.622.

*Remarque 3* – Dans le tableau, les pourcentages indiqués concernent l'ensemble des paires d'un lot de câbles présentés simultanément au contrôle ou constituant une même livraison.

TABLEAU 4/G.622

**Mesures au moyen de signaux sinusoïdaux des longueurs en usine  
Affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités**

Catégorie du système		Numérique	
Gamme de fréquences ou débit		Débit moyen (6 à 34 Mbit/s)	Fort débit (140 Mbit/s)
Pourcentage des longueurs concernées		Environ 5%	Environ 5%
Bande de fréquences concernée		1 à 40 MHz	20 à 100 MHz
Valeur minimale mesurée	100%	20 dB	20 dB
	95%	23 dB	23 dB

### 2.3 *Affaiblissement linéique*

L'affaiblissement des paires devra être tel que les clauses du § 3.3 puissent être respectées<sup>2)</sup>.

Si l'on se réfère à la longueur mesurée suivant une génératrice de l'enveloppe du câble, l'affaiblissement linéique doit être multiplié par le facteur de câblage, dont les valeurs sont données à titre indicatif pour différentes contenances par le tableau 5/G.622.

TABLEAU 5/G.622

**Valeurs du facteur de câblage**

Nombre de paires dans le câble	Facteur de câblage couche extérieure	Facteur de câblage pondéré, ensemble du câble
4 ou 6		1,002
8		1,003
12 à 18	1,004	1,003
24	1,005	1,004
48	1,008	1,006

### 2.4 *Diaphonie*

La diaphonie entre paires devra être telle que les clauses du § 3.4 puissent être respectées<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> Les mesures d'affaiblissement et de diaphonie à ce stade de la fabrication sont seulement des mesures de prototype.

## 2.5 Rigidité diélectrique

La paire doit supporter une tension alternative à 50 Hz de valeur efficace égale à 1000 volts (ou bien une tension continue de 1500 volts) appliquée pendant au moins une minute entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur.

S'il est prévu qu'en service normal, les conducteurs extérieurs des paires coaxiales ne seront pas mis à la terre, un essai de rigidité diélectrique est effectué entre les conducteurs extérieurs et l'enveloppe métallique mise à la terre; les conducteurs des quartes ou des paires auxiliaires sont réunis aux conducteurs extérieurs des paires coaxiales ou à l'enveloppe suivant le type de système utilisé pour ces quartes ou ces paires. On appliquera dans ces conditions pendant au moins une minute une tension alternative à 50 Hz de valeur efficace supérieure ou égale à 2000 volts (ou bien une tension continue supérieure ou égale à 3000 volts).

*Remarque* – Les tensions d'essai recommandées tiennent compte des marges de sécurité normales appliquées dans les divers pays. Une isolation au polyéthylène pourrait raisonnablement supporter des tensions nettement plus élevées; toutefois, il est concevable qu'un autre diélectrique puisse être utilisé dans l'avenir.

## 2.6 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 volts et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 5000 mégohm × kilomètre après une minute d'électrisation, la température étant au moins égale à 15 °C. La mesure de la résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Cette mesure doit être effectuée sur chaque longueur de fabrication du câble.

# 3 Spécification d'une section élémentaire de câble

## 3.1 Impédance terminale

Les conditions spécifiées aux § 1.1.1 et 2.1 s'appliquent.

## 3.2 Régularité d'impédance

Les mesures de régularité d'impédance sont effectuées à partir de chaque extrémité de la section élémentaire de câble. Selon l'usage auquel est destiné le câble, il convient de se reporter à l'une des colonnes du tableau 6/G.622.

## 3.3 Affaiblissement linéique

A 1 MHz, la valeur réelle de l'affaiblissement linéique ne doit pas s'écarter de la valeur nominale de plus de  $\pm 0,2$  dB.

L'affaiblissement mesuré sur un câble à la température moyenne  $t$  °C est ramené à 10 °C par la formule:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha (t - 10)}$$

La valeur du coefficient de température  $k_\alpha$  est égale à 0,002 par °C à 0,5 MHz et aux fréquences supérieures. Il augmente légèrement aux fréquences inférieures (la valeur est de l'ordre de 0,0028 à 60 kHz).

## 3.4 Diaphonie

A une fréquence quelconque de la bande des fréquences effectivement transmises, l'écart télédiaphonique entre deux paires coaxiales d'un câble, transmettant dans le même sens, doit être au moins égal aux valeurs indiquées dans le tableau 7/G.622.

TABLEAU 6/G.622

## Mesures échométriques des sections élémentaires de câble

Catégorie du système			Analogique		Numérique		
Gamme de fréquences ou débit			0,06 à 6 MHz	0,3 à 20 MHz	Débit moyen (6 à 34 Mbit/s)	Fort débit (140 Mbit/s)	
Durée maximale de l'impulsion			200 ns	100 ns	100 ns	50 ns	
Clauses générales	Crête maximale	100%	42 dB	42 dB	42 dB	40 dB	
		95%	46 dB	46 dB	46 dB	44 dB	
Clauses optionnelles complémentaires <sup>a)</sup>		A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes. Maximum non corrigé	45 dB	45 dB	45 dB	43 dB
				48 dB	48 dB	48 dB	46 dB
	Ecart équivalent	B	Corrigé en énergie ( $\Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$ )	2	2,5	2,5	3,5
C			Non corrigé ( $\Omega$ )	1,8	2,0	2,0	2,5

<sup>a)</sup> Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des trois conditions A, B ou C est remplie.

*Remarque 1* – Les remarques 1 et 2 faites à propos du tableau 3/G.622 demeurent valables. Toutefois, pour les systèmes analogiques de la classe 0,06 à 1,3 MHz, les clauses de la colonne 0,06 à 6 MHz s'appliquent, mais la durée de l'impulsion, lorsque la longueur des sections élémentaires de câble dépasse 4 km, peut atteindre 400 ns.

*Remarque 2* – Il n'est pas nécessaire d'effectuer de mesures au moyen de signaux sinusoïdaux sur des sections élémentaires de câble, sauf dans le cas où l'on aurait de sérieuses raisons de craindre que des irrégularités de nature systématique aient pu apparaître au cours de la pose ou de l'installation du câble. En pareil cas, les résultats de la mesure ne doivent pas être inférieurs à 20 dB.

TABLEAU 7/G.622

## Ecart télédiaphonique minimal entre deux paires coaxiales 1,2/4,4 mm

Longueur de la section élémentaire (km)	Ecart télédiaphonique (dB)	
	Sans inversion de phase	En cas d'inversion de phase, aux répéteurs
8	87	—
6	89	80
4	93	—
3	95	83
2	99	—

Il n'est pas utile de spécifier une valeur de l'écart paradiaphonique dans le cas où l'on choisit les premières limites pour l'écart télédiaphonique.

Dans le cas où l'on pratique une inversion de phase, l'écart paradiaphonique, pour des paires transmettant en sens opposé, doit être au moins de 84 dB pour une section d'environ 6 km et 87 dB pour une section d'environ 3 km.

*Remarque* – Ces limites permettent d'obtenir une valeur de 65 dB pour l'écart télédiaphonique de la plus mauvaise section homogène de 280 km, en admettant que dans la bande de fréquences considérée, seule la télédiaphonie due au câble intervient<sup>3)</sup>. On admet que la variation du minimum de l'écart télédiaphonique en fonction de la distance suit approximativement une loi de 20 dB/décade pour les distances inférieures ou égales à une distance limite  $L_1$  et une loi de 10 dB/décade pour les distances supérieures à  $L_1$ . La valeur de  $L_1$  dépend d'un certain nombre de facteurs, dont notamment le système utilisé, le type de câble et la fréquence considérée. Une valeur de 30 km semble convenir dans la plupart des cas; cependant, des valeurs comprises entre quelques kilomètres et 30 km ont été observées dans la pratique et assurent la concordance des limites du tableau 7/G.622 avec la limite de 65 dB sur une section de 280 km.

### 3.5 Rigidité diélectrique

La paire doit supporter une tension continue d'au moins 1000 volts appliquée pendant au moins une minute entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur.

En outre, dans les conditions indiquées au § 2.5, un essai de rigidité diélectrique entre la paire coaxiale et la terre est effectué avec une tension continue d'au moins 2000 volts appliquée pendant une minute.

*Remarque* – Les tensions d'essai recommandées tiennent compte des marges de sécurité normales appliquées dans les divers pays. Une isolation au polyéthylène pourrait raisonnablement supporter des tensions nettement plus élevées; toutefois, il est concevable qu'un autre diélectrique puisse être utilisé dans l'avenir.

### 3.6 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 volts et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 5000 mégohms × kilomètre après une minute d'électrisation. La mesure de résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Cette mesure doit être effectuée sur chaque section élémentaire de câble.

## ANNEXE A

(à la Recommandation G.622)

### Exemple de valeurs d'affaiblissement linéique mesurées ou spécifiées dans certains pays

(Valeurs données à titre indicatif)

TABLEAU A-1/G.622

Valeurs mesurées sur un type de paire dont le conducteur extérieur a une épaisseur de 0,15 mm

Fréquence (MHz)	0,060	0,1	0,3	0,5	1	4	12	18	52
Affaiblissement (dB/km)	1,54	1,85	2,89	3,67	5,21	10,4	18,0	22,0	37,5
Tolérance (dB/km)	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,2	±0,2	±0,5
Coefficient de température	0,0028	0,0026	0,0024	0,00225	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020

<sup>3)</sup> Dans la pratique, il est possible de négliger l'influence des équipements de ligne sur la diaphonie intelligible, mais cela est vrai seulement pour les fréquences basses de la bande (moins de 300 kHz).

TABLEAU A-2/G.622

Valeurs spécifiées dans certains pays pour un type de paire dont le conducteur extérieur a une épaisseur de 0,18 mm

Fréquence (MHz)	60	100	200	300	500	700	1000	1300	4500
Affaiblissement spécifié (dB/km)	1,49	1,80	2,42	2,91	3,73	4,43	5,30	6,05	11,2
Tolérance (dB/km)	± 0,1	± 0,1	a)	a)	a)	a)	± 0,2	± 0,2	± 0,2

a) Non spécifiée.

**Recommandation G.623****CARACTÉRISTIQUES DES PAIRES COAXIALES DU TYPE 2,6/9,5 mm EN CÂBLE***(ancienne Recommandation G.331, modifiée par la suite)***1 Caractéristiques de la paire**

Il est nécessaire d'avoir dans le réseau international des types de paires coaxiales ayant les mêmes caractéristiques électriques, afin de permettre aux systèmes de transmission de fonctionner sur tout câble répondant à la présente Recommandation. L'emploi de ces paires est défini par les tableaux 1/G.623 et 2/G.623 de l'introduction à la sous-section 6.2 des Recommandations de la série G.

**1.1 Caractéristiques électriques de la paire coaxiale****1.1.1 Impédance caractéristique**

L'impédance caractéristique de la paire coaxiale suit une loi de variation bien déterminée en fonction de la fréquence:

$$Z = 74,4 \left[ 1 + \frac{0,0123}{\sqrt{f}} (1 - j) \right] \Omega$$

où  $f$  est la fréquence exprimée en MHz<sup>1)</sup>. Il est donc inutile de fixer des valeurs à toutes les fréquences.

La tolérance sur la valeur 74,4 ohms (impédance à la fréquence infinie) est de ± 1 ohm.

**1.1.2 Affaiblissement linéique**

L'affaiblissement linéique nominal de la paire coaxiale à la fréquence de 60 MHz et à la température de 10 °C doit être compris dans les limites de 18,00 ± 0,3 dB/km<sup>2)</sup>.

L'allure de la variation de l'affaiblissement en fonction de la fréquence, pour une valeur nominale de 18,00 dB/km à 60 MHz, est indiquée par le tableau 1/G.623.

<sup>1)</sup> Cette formule est équivalente à:  $Z = 74,4 + (0,92/\sqrt{f}) (1 - j)$  ohms. Si cette dernière formule est utilisée, il faut corriger en conséquence la valeur de la tolérance indiquée dans le texte.

<sup>2)</sup> Pour des raisons d'ordre interne, certaines Administrations ont considéré qu'il était avantageux pour elles d'utiliser des paires de dimensions plus grandes, dont l'affaiblissement est plus faible, ce qui permet d'utiliser des sections élémentaires de câble plus longues (2 km). Les câbles fabriqués par assemblage de ces paires peuvent être considérés comme répondant aux finalités de la présente Recommandation pour utilisation comme support de systèmes à 60 MHz, si les caractéristiques électriques des sections élémentaires de câble réalisées à l'aide de tels câbles sont conformes à cette Recommandation, et si les équipements de ligne à utiliser restent exactement les mêmes que ceux qui sont utilisés avec les câbles prévus dans cette Recommandation. Les paires de 3,7/13,5 mm de l'Administration française décrites en [1] appartiennent à cette catégorie.

TABLEAU 1/G.623

## Valeurs nominales de l'affaiblissement linéique à diverses fréquences

Fréquence (MHz)	0,06	0,3	1	4	12	20	40	60	150	300
Affaiblissement (dB/km)	0,59	1,27	2,32	4,62	8,01	10,35	14,67	18,00	28,6	40,7

La formule suivante dans laquelle  $\alpha$  est exprimé en dB par km et  $f$  en MHz donne une approximation de l'affaiblissement linéique à partir de 1 MHz:

$$\alpha = 0,01 + 2,3 \sqrt{f} + 0,003 f$$

*Remarque* – Pour la conception des amplificateurs, on doit prendre pour référence les valeurs mesurées sur le câble qui sera employé.

## 1.1.3 Tolérances de l'affaiblissement linéique – Distorsion d'affaiblissement

Pour assurer une bonne adaptation entre la paire coaxiale et les équipements de transmission, outre les tolérances à la fréquence 60 MHz, fixées à  $\pm 0,3$  dB/km, il est nécessaire de fixer les limites de la distorsion d'affaiblissement en fonction de la fréquence.

Le tableau 2/G.623 donne les valeurs nominales et les tolérances de la quantité  $\delta_f$  (en  $\text{mB} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1/2}$ )

$$\delta_f = \frac{\alpha_{60}}{\sqrt{60}} - \frac{\alpha_f}{\sqrt{f}}$$

à diverses fréquences ( $f$  en MHz).

TABLEAU 2/G.623

Valeurs nominales et tolérances de la quantité  $\delta_f$  caractérisant la distorsion d'affaiblissement à diverses fréquences

Fréquence (MHz)	4	12	20	40	60
Valeur nominale	1,1	1	0,8	0,4	0
Tolérance	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,4$	$\pm 0$

Si l'on veut vérifier la distorsion d'affaiblissement au-delà de 60 MHz, ce qui est nécessaire notamment en transmission numérique, il faut calculer le rapport entre les valeurs d'affaiblissement mesurées aux fréquences de 240 MHz et de 60 MHz (après élimination des crêtes). La limite à observer est:

$$\frac{\alpha_{240 \text{ MHz}}}{\alpha_{60 \text{ MHz}}} \leq 2,045$$

La distorsion d'affaiblissement est contrôlée en usine sur un faible pourcentage de longueurs de fabrication.

## 1.2 Construction mécanique des paires coaxiales

- le conducteur intérieur est un fil de cuivre massif de 2,6 mm de diamètre;
- l'isolation est réalisée de telle façon que l'isolant, composé d'un gaz et d'une matière diélectrique solide à très faibles pertes, ait une permittivité assez faible pour satisfaire aux clauses de la présente Recommandation;

- c) le conducteur extérieur est constitué par un ruban de cuivre d'épaisseur égale à 0,25 mm, disposé autour de l'isolant sous forme de cylindre de diamètre intérieur égal à 9,5 mm;
- d) pour des raisons de diaphonie, il y a intérêt à placer autour du conducteur extérieur des rubans d'acier doux.

Une autre forme de construction, ayant les mêmes caractéristiques électriques, comportant un conducteur intérieur en cuivre de 2,8 mm de diamètre et un conducteur extérieur en aluminium de 10,2 mm de diamètre intérieur, est utilisée par certaines Administrations. Ce mode de construction est décrit plus en détail en annexe A.

## 2 Spécification du câble

### 2.1 Impédance caractéristique

Pour vérifier que la valeur donnée au § 1.1.1 est respectée, on peut effectuer les mesures soit au moyen d'un signal sinusoïdal, soit au moyen d'impulsions.

Dans le premier cas, la vérification se fait souvent au moyen de la courbe impédance en fonction de la fréquence lissée.

Dans le deuxième cas, il convient d'employer une impulsion en cosinus carré, de durée à mi-amplitude inférieure à 100 ns. On peut effectuer un équilibrage par rapport à une impédance de référence réglable ou mesurer un facteur de réflexion par rapport à un étalon fixe.

### 2.2 Régularité d'impédance

Les mesures de contrôle courant de la régularité d'impédance sont effectuées au moyen d'échomètres à impulsions, à partir d'une ou des deux extrémités des longueurs de fabrication. La courbe d'écho doit être tracée avec une correction en amplitude et si possible en amplitude et en phase. Si l'écart équivalent est mesuré, il doit être corrigé. Cependant, pour les mesures courantes, on peut se passer de correction si la longueur en essai est assez courte pour que la correction soit faible.

Le tableau 3/G.623 indique les diverses valeurs à obtenir, selon l'usage auquel est destiné le câble.

*Remarque 1* – Dans le cas des systèmes analogiques de la classe 0,06 à 6 MHz, les clauses sont les mêmes que pour les systèmes analogiques de la classe 0,3 à 20 MHz.

*Remarque 2* – Pour détecter les irrégularités de nature systématique, des mesures d'affaiblissement de l'onde réfléchi sur les irrégularités sont à effectuer sur une faible proportion des longueurs fabriquées. Les limites à respecter sont données par le tableau 4/G.623.

*Remarque 3* – Dans les tableaux, les pourcentages indiqués concernent l'ensemble des paires d'un lot de câbles présentés simultanément au contrôle ou constituant une même livraison.

TABLEAU 3/G.623

#### Mesures échométriques des longueurs en usine

Catégorie du système			Analogique		Numérique	
Gamme de fréquences ou débit			0,3 à 20 MHz	4 à 70 MHz	Fort débit (140 Mbit/s)	Très fort débit (565 Mbit/s)
Durée maximale de l'impulsion			50 ns	10 ns	10 ns	10 ns <sup>a)</sup>
Clauses générales	Crête maximale	100%	50 dB	48 dB	48 dB	
		95%	56 dB	54 dB <sup>b)</sup>	54 dB <sup>b)</sup>	
Clauses optionnelles complémentaires <sup>c)</sup>	A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes	53 dB	51 dB	51 dB	
	B	Ecart équivalent				
		$L < 300$ m	0,6 Ω	1 Ω	1 Ω	
		$300 \leq L \leq 500$ m	0,8 Ω	1,2 Ω	1,2 Ω	
		$L > 500$ m	0,8 Ω	1,6 Ω	1,6 Ω	

TABLEAU 4/G.623

## Mesures au moyen de signaux sinusoïdaux des longueurs en usine

Catégorie du système		Analogique		Numérique	
Gamme de fréquences ou débit		0,3 à 20 MHz	4 à 70 MHz	Fort débit <sup>d)</sup>	Très fort débit
<i>Affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités</i>					
Pourcentage des longueurs concernées		Néant	Environ 5%	Environ 5%	Environ 5%
Bande de fréquences concernée		X	4 à 62 MHz	20 à 100 MHz	62 à 500 MHz
Valeur minimale mesurée	100%		35 dB	30 dB	20 dB
	95%		38 dB		
<i>Puissance moyenne réfléchie dans une bande de 10 MHz</i> (Transmission de signaux de télévision dans le cadre du système à 60 MHz)					
Bande de fréquences concernée		Néant	52 à 62 MHz		
Facteur moyen de réflexion de puissance	$L \approx 250$ m	X	41 dB	35 dB	28 dB
	$L > 500$ m		40 dB		

*Remarques des tableaux 3/G.623 et 4/G.623*

- a) Si, au cours d'investigations ou d'études de définition, des mesures avec des impulsions plus courtes apparaissent nécessaires, la durée de 2 ns sera retenue.
- b) A condition de ne pas rencontrer plus d'une valeur comprise entre 54 et 48 dB sur une même paire coaxiale d'une section élémentaire de câble.
- c) Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des deux conditions A ou B est remplie.
- d) Les clauses définies pour les systèmes analogiques de la classe 4 à 70 MHz sont certainement suffisantes. Mais des valeurs très inférieures ont aussi été proposées. Il conviendra de s'entendre sur les valeurs à spécifier et sur la bande de fréquences à explorer (4 à 100 MHz ou 62 à 500 MHz).

### 2.3 Affaiblissement linéique

L'affaiblissement des paires devra être tel que les clauses du § 3.3 puissent être respectées<sup>3)</sup>.

Si l'on se réfère à la longueur mesurée suivant une génératrice de l'enveloppe du câble, l'affaiblissement linéique doit être multiplié par le facteur de câblage, dont les valeurs sont données à titre indicatif par le tableau 5/G.623.

TABLEAU 5/G.623

#### Valeurs du facteur de câblage

Nombre de paires dans le câble	Facteur de câblage couche extérieure	Facteur de câblage pondéré, ensemble du câble
4 ou 6		1,003
8		1,005
12	1,009	1,007
18 ou 20	1,012	1,010

### 2.4 Diaphonie

La diaphonie entre paires devra être telle que les clauses du § 3.4 puissent être respectées<sup>3)</sup>.

### 2.5 Rigidité diélectrique

La paire doit supporter pendant une minute une tension alternative à 50 Hz de valeur efficace égale à 2000 volts (ou bien une tension continue de 3000 volts) appliquée entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur relié à l'enveloppe. Cet essai de rigidité diélectrique doit être effectué sur chaque longueur de fabrication du câble.

### 2.6 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 5000 mégohms × kilomètre après une minute d'électrisation, la température étant au moins égale à 15 °C. La mesure de la résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Cette mesure doit être effectuée sur chaque longueur de fabrication du câble.

## 3 Spécification d'une section élémentaire de câble

L'Administration et le fournisseur devront se mettre d'accord sur le choix entre exécuter des essais sur toutes les sections ou une certaine proportion d'entre elles ou même se contenter d'un seul essai type d'acceptation, notamment dans le cas où il est difficile d'effectuer des mesures dans les conditions réelles.

### 3.1 Impédance terminale

Les conditions spécifiées aux § 1.1.1 et 2.1 s'appliquent.

<sup>3)</sup> Les mesures d'affaiblissement et de diaphonie à ce stade de la fabrication sont seulement des mesures de prototype.

### 3.2 Régularité d'impédance

Les mesures de régularité d'impédance sont effectuées à partir de chaque extrémité de la section élémentaire de câble. Selon l'usage auquel est destiné le câble, il convient de se reporter à l'une des colonnes du tableau 6/G.623.

*Remarque 1* – Les remarques 1 et 3 faites au § 2.2, à propos du tableau 3/G.623, demeurent valables. Toutefois, pour les systèmes analogiques de la classe 0,06 à 6 MHz, les clauses de la colonne 0,3 à 20 MHz s'appliquent, mais la durée de l'impulsion, lorsque la longueur des sections élémentaires de câble dépasse 5 km, peut atteindre 200 ns.

*Remarque 2* – Il n'est pas nécessaire d'effectuer de mesures au moyen de signaux sinusoïdaux sur des sections élémentaires de câble, sauf dans le cas où l'on aurait de sérieuses raisons de craindre que des irrégularités de nature systématique aient pu apparaître au cours de la pose ou de l'installation du câble. En pareil cas, les résultats de la mesure ne doivent pas être inférieurs à 33 dB pour la bande de 4 à 62 MHz.

### 3.3 Affaiblissement linéique

Pour un câble de fabrication donnée, dont la valeur nominale d'affaiblissement a été fixée dans les limites du § 1.1.2, la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de l'affaiblissement, mesurées à 60 MHz sur les paires coaxiales de toutes les sections élémentaires de 1,5 km, doit être inférieure à 0,4 dB/km (valeur ramenée à 10 °C).

L'affaiblissement mesuré sur un câble à la température moyenne  $t$  °C est ramené à 10 °C par la formule:

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_\alpha (t - 10)}$$

TABLEAU 6/G.623

#### Mesures échométriques des sections élémentaires de câble

Catégorie du système			Analogique		Numérique		
Gamme de fréquences ou débit			0,3 à 20 MHz	4 à 70 MHz	Fort débit (140 Mbit/s)	Très fort débit (565 Mbit/s)	
Durée maximale de l'impulsion			50 ns	10 ns	10 ns <sup>c)</sup>	10 ns <sup>a)</sup>	
Clauses générales	Crête maximale	100%	50 dB	46 dB	46 dB	46 dB	
		95%		50 dB	50 dB	50 dB	
Clauses optionnelles complémentaires <sup>b)</sup>		A	Moyenne des 3 plus fortes crêtes. Maximum non corrigé	51 dB	49 dB	49 dB	49 dB
				54 dB	52 dB	52 dB	52 dB
	Ecart équivalent	B	Corrigé en énergie ( $\Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$ )	0,8	2	2	2
C			Non corrigé ( $\Omega$ )	1	1,5	1,5	1,5

<sup>a)</sup> Si, au cours d'investigations ou d'études de définition, des mesures avec des impulsions plus courtes apparaissent nécessaires, la durée de 2 ns sera retenue.

<sup>b)</sup> Il suffit de vérifier que l'une ou l'autre des trois conditions A, B ou C est remplie.

<sup>c)</sup> Tant qu'il n'y a pas de dispositif de mesure de l'écho à impulsions de 10 ns susceptible d'explorer une demi-section d'amplification, la mesure se fera au moyen d'impulsions de 50 ns.

### 3.4 Diaphonie

L'écart télédiaphonique entre deux paires coaxiales d'un câble, à une fréquence quelconque de la bande des fréquences effectivement transmises, doit être au moins égal aux valeurs données par le tableau 7/G.623.

TABLEAU 7/G.623

Longueurs (km)	Bande de fréquences (MHz)	Ecart télédiaphonique (dB)
9	0,06 à 4,3	85
4,5	0,3 à 12,5	94 <sup>a)</sup>
1,5	4 à 62	130

<sup>a)</sup> Si le câble transmet à la fois des systèmes utilisant la bande de 0,3 à 12 MHz et des systèmes utilisant la bande des fréquences inférieures, avec un pas d'amplification plus long, la valeur de l'écart télédiaphonique doit être augmentée de quelques décibels aux fréquences supérieures à 300 kHz pour tenir compte des différences de niveaux en certains points du circuit. Une valeur de 100 dB suffit.

Dans le cas des câbles exploités à 60 MHz, l'affaiblissement paradiaphonique à 60 MHz doit être au moins égal à 140 dB entre paires transmettant en sens opposé. Dans le cas des autres systèmes, aucune limite n'est fixée, des études antérieures ayant montré que l'écart paradiaphonique dans les conditions du service était supérieur à l'écart télédiaphonique. Ces valeurs comprennent la contribution des accessoires associés à la section élémentaire de câble, tels que cordons souples de raccordement et connecteur coaxial.

*Remarque 1* — Les valeurs données pour les câbles employés avec des systèmes à 60 MHz dérivent de considérations générales sur la diaphonie entre circuits radiophoniques données par la Recommandation J.18 [2]. Ces valeurs sont faciles à obtenir, bien que dans l'état actuel de la technique, il soit très difficile de les contrôler avec des équipements de mesure d'usage courant.

*Remarque 2* — Les valeurs données pour les câbles employés avec des systèmes à 12 MHz ou moins sont suffisantes pour la transmission de la téléphonie. Pour la transmission des circuits radiophoniques, cette valeur doit être portée à 105 dB, valeur qui est facilement tenue par tous les types de câble aux fréquences supérieures à 300 kHz.

*Remarque 3* — Ces limites permettent d'obtenir une valeur de 65 dB pour l'écart télédiaphonique de la plus mauvaise section homogène de 280 km, en admettant que dans la bande de fréquences considérée, seule la télédiaphonie due au câble intervient<sup>4)</sup>. Dans le cas où il n'y a pas d'inversion de phase, on admet que la variation du minimum de l'écart télédiaphonique en fonction de la distance suit approximativement une loi de 20 dB/décade pour les distances inférieures ou égales à une distance limite  $L_1$  et une loi de 10 dB/décade pour les distances supérieures à  $L_1$ . La valeur de  $L_1$  dépend d'un certain nombre de facteurs, dont notamment le système utilisé, le type de câble et la fréquence considérée. Une valeur de 30 km semble convenir dans la plupart des cas; cependant, des valeurs comprises entre quelques kilomètres et 30 km ont été observées dans la pratique et assurent la concordance des limites du tableau 7/G.623 avec une limite de 65 dB sur une section de 280 km.

### 3.5 Rigidité diélectrique

La paire doit supporter pendant une minute une tension continue égale à 2000 volts appliquée entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur relié à l'enveloppe. Cet essai de rigidité diélectrique doit être effectué sur chaque section, une fois la pose terminée.

### 3.6 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre les conducteurs intérieur et extérieur de la paire coaxiale, mesurée avec une tension parfaitement stable, comprise entre 100 volts et 500 volts, ne doit pas être inférieure à 5000 mégohms × kilomètre après une minute d'électrisation; la mesure de la résistance d'isolement doit être faite après l'essai de rigidité diélectrique. Cette mesure doit être effectuée sur chaque section.

<sup>4)</sup> En effet, il est possible de négliger l'influence des équipements de ligne sur la diaphonie intelligible, mais cela est vrai seulement pour les fréquences basses de la bande (moins de 300 kHz).

## ANNEXE A

(à la Recommandation G.623)

### **Description d'une paire coaxiale cuivre-aluminium présentant les mêmes caractéristiques électriques que la paire coaxiale de 2,6/9,5 mm cuivre**

Cette paire coaxiale cuivre-aluminium est constituée de la manière suivante:

- le conducteur intérieur est un fil de cuivre massif de 2,8 mm de diamètre;
- l'isolation est réalisée de telle façon que l'isolant, composé d'un gaz et d'une matière diélectrique solide à très faibles pertes, ait une permittivité assez faible pour satisfaire aux clauses de la présente Recommandation;
- le conducteur extérieur est constitué par un ruban d'aluminium d'épaisseur égale à 0,7 mm, disposé autour de l'isolant sous forme de cylindre de diamètre intérieur égal à 10,2 mm soudé longitudinalement.

Les paires coaxiales ainsi constituées peuvent être épaissurées facilement et de manière fiable entre elles ou avec les paires coaxiales de 2,6/9,5 mm cuivre. Elles satisfont à toutes les caractéristiques électriques de la présente Recommandation; notamment, les valeurs d'écart télédiaphonique du § 3.4 sont tenues entre paires transmettant dans le même sens.

#### **Références**

- [1] Annexe 2 du CCITT – Question 17/XV, *Livre vert*, tome III.3, UIT, Genève, 1973.
- [2] Recommandation du CCITT *Diaphonie sur les circuits pour transmissions radiophoniques établis sur des systèmes à courants porteurs*, tome III, Rec. J.18.

### **6.3 Câbles sous-marins**

Les Recommandations de cette sous-section sont relatives aux spécifications des câbles sous-marins. Les Recommandations relatives aux systèmes se trouvent dans la sous-section 3.7.

Le supplément n° 11 contient une documentation sur les navires câbliers utilisés dans divers pays.

Le supplément n° 18 fournit des renseignements sur les câbles sous-marins utilisés en eau profonde.

#### **Recommandation G.631**

### **TYPES DE CÂBLES SOUS-MARINS À UTILISER POUR DES SYSTÈMES OÙ LES FRÉQUENCES TRANSMISES EN LIGNE NE DÉPASSENT PAS ENVIRON 45 MHz**

(Genève, 1976)

Le CCITT,

*reconnaisant*

que les complications spéciales qu'occasionne la répartition des câbles dans le cas des systèmes en câble sous-marin de grande profondeur (c'est-à-dire de systèmes posés à des profondeurs telles qu'il n'est plus nécessaire de mettre en œuvre des câbles avec armure) justifient que l'on prenne des mesures visant à diminuer le nombre des types de câble que les navires câbliers peuvent avoir à réparer;

*appréciant*

aussi le fait que ceux qui font les projets de systèmes en câble sous-marin doivent bénéficier d'une liberté suffisante en ce qui concerne le choix du câble afin de pouvoir obtenir un prix de revient général optimal par unité de longueur pour chaque système;

*reconnaissant*

que, lorsqu'il s'agit de déterminer si deux câbles différents peuvent être raccordés dans de bonnes conditions, les caractéristiques les plus importantes sont:

- le diamètre intérieur du conducteur extérieur,
- l'impédance caractéristique du câble,

*recommande*

que, pour les systèmes en câble sous-marin utilisant en ligne des fréquences qui peuvent atteindre 45 MHz, le câble utilisé dans les sections maritimes en eau profonde de ces systèmes doivent respecter les limites indiquées dans le tableau 1/G.631.

TABLEAU 1/G.631

Diamètre interne du conducteur extérieur	de 25,0 à 25,5 mm	de 37,0 à 38,5 mm	43,2 mm
Impédance caractéristique	de 43 à 46 $\Omega$	a) de 53 à 54 $\Omega$ b) de 60 à 62 $\Omega$	a) de 49 à 50 $\Omega$ b) de 53 à 54 $\Omega$ c) de 60 à 62 $\Omega$

## 6.4 Guides d'ondes

### Recommandation G.641

#### DIAMÈTRES DES GUIDES D'ONDES

(Genève, 1976)

Le CCITT,

*considérant*

(a) que, sur des artères à peu près droites, les guides d'ondes de grand diamètre ont un affaiblissement de référence réduit et permettent un espacement relativement grand entre les répéteurs, mais que leur fabrication est onéreuse et qu'ils sont difficiles à poser;

(b) que les guides d'ondes de petit diamètre sont moins coûteux, se prêtent mieux à des courbures et sont moins difficiles à poser — ce qui les rend plus intéressants pour les zones urbaines ou les terrains accidentés — mais qu'ils demandent un moins grand espacement entre les répéteurs;

(c) que, dans chaque cas déterminé, le calcul du diamètre optimal du guide d'ondes pose une question complexe entraînant des travaux tels que l'analyse détaillée de l'artère intéressée, la comparaison du coût de la production et de la pose des divers types de guides d'ondes de différents diamètres, l'étude comparative du coût des différents types et nombres des répéteurs nécessaires, ainsi que l'analyse des objectifs d'ensemble de fiabilité;

(d) qu'il convient d'éviter la diversification superflue des diamètres de guides d'ondes en en normalisant un petit nombre,

*recommande*

que le diamètre intérieur d'un guide d'ondes soit choisi, selon le cas, dans la série des 30, 40, 50, 51, 60 et 70 mm.

## 6.5 Câbles à fibres optiques

### Recommandation G.651

#### CARACTÉRISTIQUES D'UN CÂBLE À FIBRES OPTIQUES MULTIMODES À GRADIENT D'INDICE (50/125 $\mu\text{m}$ )

(Malaga-Torremolinos, 1984; modifiée à Melbourne, 1988)

Le CCITT,

*considérant que*

- (a) les câbles à fibres optiques multimodes à gradient d'indice sont largement utilisés dans les réseaux de télécommunications;
- (b) les applications prévues peuvent demander des fibres multimodes se différenciant par:
  - la nature du matériau,
  - les caractéristiques géométriques,
  - la (ou les) région(s) de longueur d'onde de fonctionnement,
  - les caractéristiques de transmission et les caractéristiques optiques,
  - les aspects mécaniques et relatifs à l'environnement;
- (c) des Recommandations sur divers types de fibres multimodes pourront être établies lorsque les études sur l'utilisation pratique auront suffisamment progressé,

*recommande*

une fibre multimodale à gradient d'indice utilisable autour de 850 nm ou de 1300 nm, ou utilisable au choix dans les deux gammes de longueurs d'onde simultanément.

Cette fibre peut être utilisée pour les transmissions analogique et numérique.

Les caractéristiques géométriques, optiques et de transmission de cette fibre sont décrites ci-après.

La signification des termes utilisés dans la présente Recommandation est donnée dans l'annexe A et les directives à suivre lors des mesures destinées à vérifier les diverses caractéristiques sont données dans l'annexe B.

Les annexes A et B pourront devenir des Recommandations distinctes à mesure que des Recommandations nouvelles sur les fibres multimodes seront décidées.

### 1 Caractéristiques des fibres

Les caractéristiques des fibres qui font l'objet du présent § 1 sont celles qui permettent l'interconnexion des fibres avec des pertes faibles et acceptables.

Seules les caractéristiques inhérentes à la fibre (indépendamment de la fabrication du câble) sont ici recommandées. Elles s'appliqueront de la même façon à une fibre isolée, à une fibre incorporée dans un câble enroulé sur un touret et à une fibre d'un câble installé.

#### 1.1 *Caractéristiques géométriques de la fibre*

##### 1.1.1 *Diamètre du cœur*

La valeur nominale recommandée pour le diamètre du cœur est de 50  $\mu\text{m}$ .

L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 6\%$  ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ).

##### 1.1.2 *Diamètre de la gaine*

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de la gaine est de 125  $\mu\text{m}$ .

L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ).

##### 1.1.3 *Erreur de concentricité*

L'erreur de concentricité recommandée doit être inférieure à 6%.

#### 1.1.4 *Non-circularité*

##### 1.1.4.1 *Non-circularité du cœur*

La non-circularité recommandée pour le cœur doit être inférieure à 6%.

##### 1.1.4.2 *Non-circularité de la gaine*

La non-circularité recommandée pour la gaine doit être inférieure à 2%.

#### 1.2 *Propriétés optiques de la fibre*

##### 1.2.1 *Profil de l'indice de réfraction*

Pour les fibres qui font l'objet de la présente Recommandation, les profils d'indice de réfraction doivent être quasi paraboliques.

##### 1.2.2 *Ouverture numérique*

La valeur optimale de l'ouverture numérique (ON) dépendra de l'application particulière pour laquelle la fibre doit être utilisée et notamment du rendement requis de couplage de la source, de l'affaiblissement excédentaire dû aux microcourbures qui peut être toléré et de la réponse globale requise en bande de base.

Les valeurs généralement utilisées en pratique se situent entre 0,18 et 0,24.

L'écart entre la valeur effective, quelle qu'elle soit, et la valeur nominale ne doit pas dépasser 0,02.

#### 1.3 *Propriétés du matériau de la fibre*

##### 1.3.1 *Matériaux utilisés pour les fibres*

Les substances dont les fibres sont faites doivent toujours être indiquées.

*Remarque* – Un soin particulier doit être apporté dans l'épissurage par fusion de fibres de différentes substances. Les résultats provisoires indiquent qu'une perte due à l'épissurage et une résistance adéquates peuvent être obtenues lors de l'épissurage de fibres différentes à haute teneur en silice.

##### 1.3.2 *Matériaux protecteurs*

Les propriétés physiques et chimiques du matériau utilisé pour le revêtement primaire de la fibre ainsi que la meilleure méthode pour le retirer (au besoin) doivent être indiquées. Si le revêtement de la fibre est monocouche, il convient de donner des indications similaires.

## 2 **Spécifications relatives à la longueur de fabrication**

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres n'étant que peu affectées par le processus de câblage, on trouvera dans le présent § 2 des recommandations portant essentiellement sur les caractéristiques de transmission des longueurs de fabrication.

Les caractéristiques de transmission dépendent en grande partie de la longueur d'onde utilisée pour acheminer l'information.

Les conditions ambiantes et les conditions de mesure ont un caractère essentiel et sont décrites dans les directives relatives aux méthodes de mesure.

Les caractéristiques de transmission des fibres ont une répartition statistique qui est fonction de la conception et des procédés de fabrication. La spécification de limites pour les caractéristiques de transmission doit donc tenir compte de cette répartition. Ainsi, pour certaines applications, une limite particulière pourra ne pas englober 100% de la production et représenter en réalité une très faible proportion de la production totale. Pour certaines applications, les considérations économiques influenceront fortement sur le choix des limites de la spécification.

### 2.1 *Affaiblissement linéique*

Les câbles à fibres optiques dont traite la présente Recommandation ont généralement des coefficients d'affaiblissement dans la région des 850 nm au-dessous de 4 dB/km et dans la région des 1300 nm au-dessous de 2 dB/km.

*Remarque 1* – Les valeurs les plus faibles du coefficient d'affaiblissement dépendent du processus de fabrication, de la composition de la fibre et de la conception du câble; des valeurs dans la gamme de 2-2,5 dB/km dans la région des 850 nm et de 0,5-0,8 dB/km dans la région des 1300 nm ont été obtenues.

*Remarque 2* – Dans certains cas, les fibres peuvent être utilisées dans les deux gammes de longueur d'onde.

## 2.2 Réponse en bande de base

La réponse en bande de base comprend à la fois les effets de la distorsion modale et ceux de la dispersion chromatique. Pour certaines applications, les effets de la dispersion chromatique sont négligeables et l'on peut en faire abstraction.

La réponse en bande de base est présentée dans le domaine fréquentiel. Les Administrations désireuses d'utiliser le domaine temporel pourront toujours le faire par l'intermédiaire d'opérations mathématiques. A cette fin, il faut disposer de la réponse en amplitude et en phase.

Par convention, la réponse en bande de base est rapportée sur une base linéaire à 1 km.

### 2.2.1 Réponse en amplitude de la largeur de bande modale

La réponse en amplitude de la largeur de bande modale est spécifiée sous la forme des points optiques à -3 dB (électriques à -6 dB) de la largeur de bande de la courbe amplitude totale/fréquence corrigée pour tenir compte de la dispersion chromatique. Une courbe plus complète de la réponse en largeur de bande totale doit aussi être fournie.

Les câbles à fibres optiques dont traite la présente Recommandation ont généralement des largeurs normalisées de bande de distorsion modale supérieures à 200 MHz · km dans la région des 850 nm et dans la région des 1300 nm, mais pas nécessairement de façon simultanée.

*Remarque 1* – La valeur supérieure de la largeur normalisée de bande de distorsion modale dépend du processus de fabrication, de la composition de la fibre et de la conception du câble; des valeurs supérieures à 1000 MHz · km dans la région des 850 nm et de 2000 MHz · km dans la région des 1300 nm ont été obtenues.

*Remarque 2* – Dans certains cas, les fibres peuvent être utilisées dans les deux gammes de longueur d'onde.

### 2.2.2 Réponse en phase en largeur de bande modale

Aucune valeur recommandée n'est donnée car les informations sur la réponse en phase ne semblent nécessaires que dans les cas particuliers.

### 2.2.3 Dispersion chromatique

Selon les besoins, le constructeur de fibres optiques doit indiquer les valeurs du coefficient de dispersion chromatique du type de fibre dans la ou les gammes de longueur d'onde de fonctionnement. La méthode de mesure est spécifiée dans l'annexe B, section V, à la Recommandation G.652.

*Remarque 1* – Pour les fibres multimodes le mécanisme dominant de dispersion chromatique est la dispersion due au matériau.

*Remarque 2* – Les valeurs typiques du coefficient de dispersion chromatique pour les fibres optiques en verre à forte teneur en silice sont les suivantes:

Longueur d'onde (nm)	Coefficient de dispersion chromatique [ps/(nm · km)]
850	≤ 120
1300	≤ 6

### 3 Sections élémentaires de câble

La section élémentaire de câble, telle qu'elle est définie dans la Recommandation G.601 (terme 1008) comprend habituellement plusieurs longueurs de fabrication épissurées. Les conditions applicables aux longueurs de fabrication sont indiquées au § 2 de la présente Recommandation. Les paramètres de transmission des sections élémentaires de câble doivent tenir compte non seulement de la qualité de fonctionnement des longueurs individuelles de câble mais également, entre autres facteurs, des épissures, des connecteurs (le cas échéant) et des effets de couplage de mode qui peuvent influencer sur la largeur de bande et l'affaiblissement.

De plus, les caractéristiques de transmission des fibres de longueur de fabrication ainsi que d'autres éléments comme les épissures et les connecteurs ont une certaine répartition statistique dont il faut souvent tenir compte si l'on veut obtenir le matériel le plus économique. Il convient de se souvenir, en lisant les paragraphes suivants, de la nature statistique des divers paramètres.

#### 3.1 Affaiblissement

L'affaiblissement  $A$  d'une section élémentaire du câble est obtenu par la formule suivante:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

où

$\alpha_n$  = affaiblissement linéique de la  $n^{\text{ième}}$  fibre dans une section élémentaire de câble,

$L_n$  = longueur de la  $n^{\text{ième}}$  fibre,

$m$  = nombre total de fibres groupées dans la section élémentaire de câble,

$a_s$  = perte moyenne par épissurage,

$x$  = nombre d'épissures dans la section élémentaire de câble,

$a_c$  = perte moyenne due aux connecteurs de ligne,

$y$  = nombre de connecteurs de ligne dans la section élémentaire de câble (s'il y a lieu).

*Remarque 1* – Les pertes  $a_s$  et  $a_c$  dues aux épissures et aux connecteurs de ligne sont généralement définies pour les conditions d'équilibre de la distribution modale. Dans les conditions d'exploitation, il peut se produire des différences appréciables.

*Remarque 2* – La formule susmentionnée ne prend pas en considération la perte due aux connecteurs d'équipements.

*Remarque 3* – Dans la conception globale du système, il faut prévoir une marge de câble appropriée pour les modifications futures qui seront apportées aux configurations des câbles (nouvelles épissures, longueurs de câbles supplémentaires, effets du vieillissement, variations de température, etc.).

*Remarque 4* – En ce qui concerne les pertes dues aux épissures et aux connecteurs, on adopte l'hypothèse d'une valeur moyenne. Le bilan d'affaiblissement utilisé pour la conception d'un système doit prendre en compte les variations statistiques de ces paramètres.

#### 3.2 Réponse en bande de base (globale – largeur de bande optique à 3 dB)

La réponse en bande de base est donnée dans le domaine fréquentiel et comprend l'effet de la dispersion modale et de la dispersion chromatique. Elle peut être représentée par l'expression:

$$B_T = \left[ B_{\text{modal}}^{-2} + B_{\text{chromatique}}^{-2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

où

$B_T$  = largeur de bande globale (qui comprend la dispersion modale et la dispersion chromatique),

$B_{\text{modal}}$  = largeur de bande modale,

$B_{\text{chromatique}}$  = largeur de bande chromatique (voir la remarque 3).

*Remarque 1* – On admet que la réponse en bande de base modale de la fibre et le spectre de la source sont gaussiens.

*Remarque 2* – Pour certaines applications, l'effet de la dispersion chromatique est négligeable, auquel cas on peut faire abstraction de ce facteur.

*Remarque 3* –  $B_{\text{chromatique}}$ , la largeur de bande chromatique, est inversement proportionnelle à la longueur de la section et, si on admet que le spectre de source est gaussien, on peut l'exprimer par:

$$B_{\text{chromatique}} \text{ (MHz)} = (\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L/0,44)^{-1}$$

où

$\Delta\lambda$  = largeur maximale de la raie spectrale de la source à mi-largeur (nm),

$D(\lambda)$  = coefficient de dispersion chromatique [ps/(nm · km)],

$L$  = longueur de la section (km).

### 3.2.1 Largeur de bande modale

Les valeurs de la largeur de bande modale, pour les longueurs individuelles de câble d'une section élémentaire de câble sont déduites des spécifications pertinentes de la fibre. Cependant, la largeur de bande modale de la section élémentaire de câble ne correspond pas nécessairement à l'addition linéaire des réponses individuelles, en raison du couplage des modes et d'autres effets aux épissures et, dans certains cas, le long de la fibre.

La largeur de bande modale, pour une section élémentaire de câble, est donc donnée par la formule:

$$B_{\text{modal total}} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{modal } n}^{\frac{-1}{\gamma}} \right\}^{-\gamma}$$

où

$B_{\text{modal total}}$  = largeur de bande modale globale de la section élémentaire de câble,

$B_{\text{modal } n}$  = largeur de bande modale, en MHz, de la  $n^{\text{ième}}$  fibre dans une section élémentaire de câble,

$x$  = nombre total de fibres groupées dans la section élémentaire de câble,

$\gamma$  = facteur de concaténation de largeur de bande modale.

*Remarque* – La valeur de  $\gamma$  (facteur de concaténation de largeur de bande modale) est en général comprise entre 0,5 et 1, en fonction des effets du couplage des modes aux épissures, de la compensation de profil  $\alpha$ , de la longueur d'onde de largeur de bande maximum, etc. Les valeurs inférieures peuvent aussi être obtenues dans certains cas. Pour une fibre donnée, la valeur appropriée de  $\gamma$  à utiliser peut être déterminée de façon empirique; elle peut d'ordinaire être obtenue du fabricant de la fibre/du câble.

## ANNEXE A

(à la Recommandation G.651)

### Signification des termes utilisés dans la Recommandation

#### A.1 méthode de mesure de remplacement (ATM)

Une méthode de mesure de remplacement sert à mesurer une caractéristique recommandée d'une classe déterminée de fibres optiques ou de câbles à fibres optiques, conformément à la définition de cette caractéristique; les résultats qu'elle donne sont reproductibles et se rapportent à la méthode de mesure de référence et à la pratique.

#### A.2 coefficient d'affaiblissement

Dans une fibre optique, c'est l'affaiblissement par unité de longueur.

*Remarque* – L'affaiblissement est le taux de décroissance de la puissance optique moyenne en fonction de la distance le long de la fibre; il est défini par l'expression:

$$P(z) = P(0) 10^{-(\alpha z/10)}$$

où

$P(z)$  = la puissance  $z$  le long de la fibre,

$P(0)$  = la puissance pour  $z = 0$ ,

$\alpha$  = le coefficient en dB/km si  $z$  est en km.

A partir de cette expression, le coefficient d'affaiblissement est:

$$\alpha = - \frac{10 \log_{10} [P(z)/P(0)]}{z}$$

On suppose ici que  $\alpha$  est indépendant de  $z$ .

### A.3 largeur de bande (d'une fibre optique)

Valeur numériquement égale à la fréquence la plus faible à laquelle la valeur de la fonction de transfert d'une fibre diminue à une fraction donnée, généralement  $-3$  dB optique ( $-6$  dB électrique), de la valeur à la fréquence zéro.

*Remarque* – Plusieurs mécanismes de dispersion limitent la largeur de bande: il s'agit principalement pour les fibres multimodes de la dispersion modale et de la dispersion chromatique (du matériau).

### A.4 dispersion chromatique

Dispersion d'une impulsion lumineuse dans une fibre optique causée par la différence des vitesses de propagation des diverses longueurs d'onde qui constituent le spectre de la source.

*Remarque* – La dispersion chromatique peut être due à une ou à plusieurs des causes suivantes: dispersion par le matériau, dispersion du guide d'ondes ou dispersion du profil. La dispersion due à la polarisation ne suscite pas d'effets appréciables dans les filtres à symétrie circulaire.

### A.5 coefficient de dispersion chromatique

Dispersion chromatique par largeur de spectre d'une source unitaire et unité de longueur de fibre. Il est généralement exprimé en ps/(nm · km).

### A.6 gaine

Matériau diélectrique d'une fibre optique entourant le cœur.

### A.7 supprimeur de mode de gaine

Dispositif qui facilite la conversion des modes de gaine en modes de rayonnement.

### A.8 cœur

Région centrale d'une fibre optique à travers laquelle est transmise la plus grande partie de la puissance optique.

### A.9 zone du cœur

Pour une section droite d'une fibre optique, la zone dans laquelle l'indice de réfraction, en un point quelconque (à l'exclusion de tout creux d'indice) dépasse celui de la gaine homogène la plus profonde d'une fraction donnée de la différence entre le maximum de l'indice de réfraction du cœur et l'indice de réfraction de la gaine homogène la plus profonde.

*Remarque* – La zone du cœur est la plus petite partie de la section droite d'une fibre, à l'exclusion de toute diminution brusque d'indice, comprise à l'intérieur du lieu des points où l'indice de réfraction  $n_3$  est:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \text{ (voir la figure A-1/G.651)}$$

où

$n_1$  = indice de réfraction maximal du cœur,

$n_2$  = indice de réfraction de la gaine (couronne périphérique homogène),

$k$  = une constante.

*Remarque* – Sauf indication contraire, on suppose pour  $k$  une valeur de 0,05.

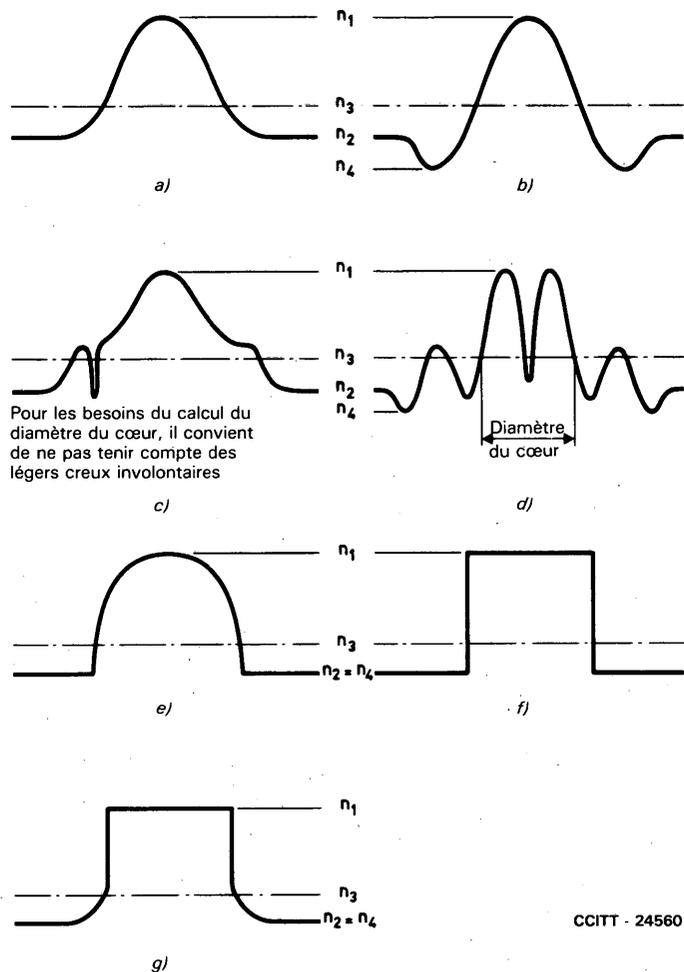


FIGURE A-1/G.651  
Exemples de profils d'indice de réfraction

**A.10 centre du cœur (de la gaine)**

Centre du cercle qui s'inscrit le plus exactement dans la limite extérieure de la zone du cœur (de la gaine).

*Remarque 1* – Ces centres peuvent ne pas être les mêmes.

*Remarque 2* – La méthode du meilleur ajustement doit être spécifiée.

**A.11 diamètre du cœur (de la gaine)**

Diamètre du cercle qui définit le centre du cœur (gaine).

**A.12 écart sur le diamètre du cœur (de la gaine)**

Différence entre le diamètre effectif et le diamètre nominal du cœur (de la gaine).

**A.13 erreur de concentricité cœur/gaine**

Distance entre le centre du cœur et le centre de la gaine, divisée par le diamètre du cœur.

#### A.14 **champ de tolérance du cœur (de la gaine)**

Pour une section transversale de fibre optique, c'est la région située entre le cercle circonscrit à la zone du cœur (de la gaine) et le plus grand cercle concentrique au premier et s'adaptant dans la zone du cœur (gaine). Les deux cercles doivent avoir le même centre que le cœur (gaine).

#### A.15 **gabarit dans le champ proche composé de quatre cercles concentriques**

Gabarit composé de quatre cercles concentriques, appliqué à un diagramme de rayonnement dans le champ proche d'une fibre.

*Remarque* – On emploie normalement le gabarit pour contrôler globalement, en une seule opération, l'acceptabilité des différents paramètres géométriques de la fibre.

#### A.16 **gabarit d'indice de réfraction à quatre cercles concentriques**

Gabarit composé de quatre cercles concentriques, appliqué au profil complet d'indice de réfraction de la fibre.

*Remarque* – On emploie normalement le gabarit pour contrôler globalement, en une seule opération, l'acceptabilité des différents paramètres géométriques de la fibre.

#### A.17 **ouverture numérique théorique maximale**

Valeur théorique de l'ouverture numérique, calculée à l'aide de l'indice de réfraction du cœur et de celui de la gaine par la formule suivante:

$$ON_{r\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

où

$n_1$  = indice de réfraction du cœur,

$n_2$  = indice de réfraction de la gaine.

*Remarque* – La relation entre ON (voir le § A.21) et  $ON_{r\max}$  est indiquée dans la section I de l'annexe B au § B.2.2.

#### A.18 **filtre de mode**

Dispositif servant à choisir, rejeter ou atténuer un ou plusieurs modes.

#### A.19 **brasseur de modes, mélangeur de modes**

Dispositif servant à induire le transfert de puissance entre les modes dans une fibre optique, en brassant effectivement les modes.

*Remarque* – Sert fréquemment à fournir une distribution des modes indépendante des caractéristiques de la source.

#### A.20 **non-circularité du cœur (de la surface de la gaine)**

Différence entre les diamètres des deux cercles définis par le champ de tolérance du cœur (de la surface de la gaine), divisée par le diamètre du cœur (de la surface de la gaine).

#### A.21 **ouverture numérique**

L'ouverture numérique ON est le sinus du demi-angle du sommet du cône de rayons le plus large qui peut entrer dans le cœur d'une fibre optique ou en sortir, multipliée par l'indice de réfraction du milieu dans lequel est situé le sommet du cône.

## A.22 surface de référence

Surface cylindrique d'une fibre optique à laquelle il est fait référence pour les raccordements.

*Remarque* — La surface de référence est typiquement la surface de la gaine ou du revêtement primaire. Dans quelques rares circonstances, il peut s'agir de la surface du cœur.

## A.23 méthode de mesure de référence (RTM)

Une méthode de mesure qui sert à mesurer une caractéristique donnée d'une classe déterminée de fibres optiques ou de câbles à fibres optiques, strictement d'après la définition de cette caractéristique; les résultats qu'elle donne sont précis, reproductibles et se rapportent à la pratique.

## A.24 profil de l'indice (de réfraction)

Répartition de l'indice de réfraction le long d'un diamètre d'une fibre optique.

# ANNEXE B

(à la Recommandation G.651)

## Méthodes de mesure

Les méthodes de remplacement et de référence sont en général exposées dans la présente annexe pour chaque paramètre et ce, dans le but que ces deux méthodes puissent convenir à l'acceptation de produits normaux. Cependant, lorsque l'on utilise une méthode de remplacement, et en cas de désaccord, il est recommandé d'utiliser la méthode de référence pour obtenir des résultats de mesure définitifs.

### Section I — Méthode de référence et méthodes de remplacement pour mesurer les paramètres géométriques et optiques

#### B.1 Introduction

##### B.1.1 Considérations générales

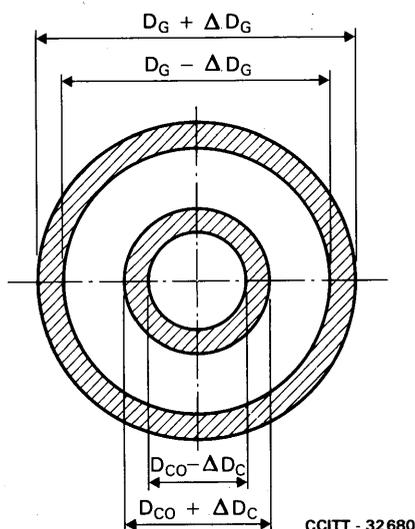
On admet que les paramètres géométriques et optiques qui font l'objet de la présente Recommandation ne seraient mesurés qu'en usine ou dans les laboratoires de certaines Administrations désireuses de contrôler ces paramètres, pour la conception des systèmes ou à d'autres fins. On prévoit donc que ces mesures seront faites sur des échantillons de longueur de fibre ou sur des échantillons de fibre extraits de longueurs de fabrication de câbles.

Le diamètre et la non-circularité du cœur sont définis en prenant pour base le profil d'indice de réfraction. Les autres paramètres peuvent être déduits du profil d'indice de réfraction. Il s'ensuit que tous les paramètres géométriques et optiques (avec les tolérances appropriées) dont traite la présente Recommandation peuvent s'obtenir moyennant une seule mesure fondamentale.

##### B.1.1.1 Méthode du champ de tolérance à quatre ondes concentriques

La méthode du «champ de tolérance à quatre cercles concentriques» offre un moyen simple de vérifier les paramètres géométriques de la fibre. Il ne s'agit pas là d'une condition supplémentaire imposée aux caractéristiques géométriques de la fibre mais d'un autre moyen de vérifier globalement ces caractéristiques. En cas de non-concordance entre cette méthode et la vérification des caractéristiques individuelles, la dernière méthode servira de référence.

La méthode du «champ de tolérance à quatre cercles concentriques» est fondée sur le gabarit représenté à la figure B-1/G.651, dans laquelle les deux cercles qui entourent le cœur (de diamètre  $D_{co}$ ) ont des diamètres respectifs de  $D_{co} - 4 \mu\text{m}$  et  $D_{co} + 4 \mu\text{m}$  et les deux cercles qui entourent la gaine (de diamètre  $D_G$ ) ont des diamètres respectifs de  $D_G - 5 \mu\text{m}$  et  $D_G + 5 \mu\text{m}$ . Cette méthode peut être appliquée aux données obtenues par la méthode de mesure de référence (gabarit d'indice de réfraction à quatre cercles concentriques) ou par la méthode de mesure de remplacement (gabarit dans le champ proche à quatre cercles concentriques).



- $D_{CO}$  Diamètre nominal du cœur  
 $\Delta D_{CO}$  Tolérance applicable au cercle circonscrivant le cœur =  $4 \mu\text{m}$   
 $D_G$  Diamètre nominal de la gaine  
 $\Delta D_G$  Tolérance applicable au cercle circonscrivant la gaine =  $5 \mu\text{m}$

FIGURE B-1/G.651

#### B.1.1.2 Facteur de qualité intrinsèque

Les valeurs de l'ouverture maximale théorique, du diamètre du cœur, de l'erreur de concentricité et de la non-circularité du cœur varient simultanément avec soit des effets additionnels, soit des effets compensatoires. Pour tenir compte de façon appropriée de ces effets, une perte théorique due à l'épissurage peut être calculée, en utilisant les valeurs des paramètres géométriques et optiques mesurées par les méthodes existantes. On peut alors définir soit une distribution de Gauss, soit une répartition en régime permanent. Le facteur de qualité intrinsèque (FQI) peut être calculé comme étant la moyenne des pertes théoriques par épissurage dans les deux directions lorsque la fibre d'essai est épissurée à une fibre nominale présentant un défaut d'alignement nul. Une valeur de la FQI de 0,27 dB est compatible avec les tolérances individuelles recommandées dans la section 1 de la Recommandation G.651. Si des différences apparaissent entre la méthode FQI et le contrôle des caractéristiques individuelles, cette dernière série constituera la référence.

#### B.1.2 Caractéristiques géométriques

Le diamètre du cœur et le diamètre de la gaine de la fibre mesurée, ainsi que le centre du cœur et le centre de la gaine, peuvent être déterminés à partir d'un nombre approprié de points convenablement répartis, respectivement sur l'interface cœur/gaine et sur la superficie de la gaine.

Si on adopte une technique d'exploration par balayage, il faut choisir un plus grand nombre de points, pour assurer une répartition suffisamment régulière.

On peut évaluer l'erreur de concentricité à partir de la distance entre le centre du cœur et le centre de la gaine.

La non-circularité du cœur et celle de la gaine peuvent être déterminées à partir du champ de tolérance.

#### B.2 Méthodes de mesure de référence pour les paramètres géométriques et méthode de mesure de remplacement pour l'ouverture numérique: technique d'exploration du champ proche réfracté

##### B.2.1 Considérations générales

La mesure d'exploration du champ proche réfracté est simple, précise et donne directement la variation de l'indice de réfraction dans toute l'étendue de la fibre (cœur et gaine). Elle peut offrir une bonne résolution et être étalonnée de façon à donner des valeurs absolues de l'indice de réfraction.

Un diagramme schématique de la méthode de mesure est représenté à la figure B-2a/G.651. Cette technique consiste à balayer une tache de focalisation sur l'extrémité de la fibre. L'équipement optique est disposé de manière à surcharger à l'injection l'ouverture numérique de la fibre. L'extrémité de la fibre est plongée dans un liquide dont l'indice est légèrement supérieur à celui de la gaine. Une partie de la lumière est en modes guides dans la fibre et l'autre partie apparaît sous la forme d'un cône creux modes de fuite et réfractés à l'extérieur de la fibre. Un disque opaque est placé sur l'axe optique du cœur, de sorte que seule la lumière réfractée atteigne le détecteur. La sortie amplifiée du détecteur est visualisée sur l'axe des y d'un enregistreur x-y; la commande de l'axe des x est déterminée par le contrôle de la position du point focalisé de lumière à l'extrémité de la fibre. Le profil typique d'indice d'une fibre multimode à gradient d'indice est représenté sur la figure B-2b/G.651.

La résolution optique et par conséquent, l'aptitude à séparer les détails du profil dépendent des dimensions de la tache focale de lumière, cela est fonction de l'ouverture numérique de la lentille de focalisation et des dimensions du disque. Toutefois, la position de caractéristiques bien définies peut être établie avec une précision beaucoup plus grande, en fonction de la valeur du pas des systèmes moteur pas-à-pas ou de la précision du contrôle en position des commandes analogiques.

### B.2.2 Ouverture numérique et différence de l'indice de réfraction

L'ouverture numérique théorique maximale est définie comme suit:

$$NA_{t\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La différence d'indice est définie comme suit:

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

La différence d'indice relatif est définie comme suit:

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$$

où

$n_1$  = indice de réfraction maximal du cœur de la fibre,

$n_2$  = indice de réfraction de la gaine (couronne périphérique homogène).

Les valeurs de  $n_1$  et  $n_2$  peuvent être déterminées à l'aide de la technique d'exploration du champ proche réfracté; d'où  $NA_{t\max}$ ,  $\Delta n$  et  $\Delta$ .

L'ouverture numérique théorique maximale  $ON_{t\max}$  déterminée de cette façon peut être plus grande (typiquement d'environ 5% à 7%) que l'ouverture numérique ON déterminée par la méthode de mesure de référence.

### B.2.3 Equipement de mesure

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est représenté à la figure B-3/G.651.

#### B.2.3.1 Source

Il faut un laser fournissant une puissance de quelques milliwatts dans le mode TEM<sub>00</sub>.

On peut employer un laser HeNe, qui a une longueur d'onde de 633 nm, mais il faut appliquer un facteur de correction aux résultats pour obtenir une extrapolation à différentes longueurs d'onde. Il faut noter que les mesures effectuées à 633 nm ne donneront peut-être pas des informations complètes à des longueurs plus grandes; en particulier, le dopage non uniforme de la fibre peut affecter la correction.

Une lame quart-d'onde est introduite pour transformer la polarisation rectiligne en polarisation circulaire parce que la réflexion de la lumière à l'interface air-verre dépend étroitement de l'angle et de la polarisation.

Un trou d'épingle placé au foyer de la lentille l joue le rôle d'un filtre spatial.

#### B.2.3.2 Conditions d'injection

L'optique d'injection, conçue de manière à «surcharger» l'ouverture numérique de la fibre, focalise le faisceau de lumière sur l'extrémité plate de la fibre. L'axe optique du faisceau de lumière doit être situé à moins d'un degré de l'axe de la fibre. La résolution de l'équipement est déterminée par la dimension de la tache focale, qui doit être la plus petite possible pour maximiser la résolution, c'est-à-dire inférieure à 1,5 μm. L'équipement permet d'explorer par balayage du spot lumineux tout le diamètre de la fibre.

#### B.2.3.3 Cellule liquide

Le liquide de la cellule doit avoir un indice de réfraction légèrement plus élevé que celui de la gaine.

#### B.2.3.4 *Détection*

La lumière réfractée est envoyée sur le détecteur d'une manière appropriée, à condition que toute la lumière réfractée y soit rassemblée. Les dimensions requises du disque et de sa position le long de l'axe central peuvent être déterminées par un calcul.

#### B.2.4 *Préparation de la fibre à mesurer*

Il faut une longueur de fibre d'environ un mètre.

Le revêtement primaire de la fibre est retiré sur la longueur de fibre plongeant dans la cellule liquide.

Les extrémités de la fibre doivent être propres, lisses et perpendiculaires à l'axe de la fibre.

#### B.2.5 *Procédure*

Il faut se reporter au diagramme schématique de l'équipement de mesure (figure B-3/G.651).

##### B.2.5.1 *Diagramme du profil de la fibre*

L'extrémité d'injection de la fibre à mesurer est plongée dans une cellule liquide dont l'indice de réfraction est légèrement supérieur à celui de la gaine de la fibre. La fibre est illuminée en retour par la lumière d'une lampe au tungstène. Les lentilles 2 et 3 donnent une image focalisée de la fibre.

La position de la lentille 3 est ajustée au centre et elle est focalisée sur l'image de la fibre; le faisceau du laser est simultanément centré et focalisé sur la fibre.

Le disque est centré sur le cône de sortie. Pour les fibres multimodes, le disque est placé sur l'axe optique, uniquement pour bloquer les modes de fuite. Les modes réfractés passant le disque sont concentrés et focalisés sur une photodiode.

La tache focale du laser balaie la section droite de la fibre et on obtient directement un diagramme de la variation de l'indice de réfraction de la fibre.

##### B.2.5.2 *Étalonnage de l'équipement*

L'équipement est étalonné avec la fibre retirée de la cellule liquide. Au cours des mesures, l'angle du cône de lumière varie selon l'indice de réfraction vu au point d'entrée de la fibre (d'où le changement de puissance passant par le disque). Lorsque la fibre a été retirée de la cellule liquide, et que l'on connaît l'indice du liquide et l'épaisseur de la cellule, on peut simuler cette variation d'angle en translatant le disque le long de l'axe optique. En déplaçant le disque sur un certain nombre de positions prédéterminées, on peut mesurer la variation de la puissance et tracer le profil d'indice relatif. L'indice absolu, c'est-à-dire  $n_1$  et  $n_2$ , ne peut être déterminé que si l'indice de la gaine ou celui du liquide est connu de manière précise, à la longueur d'onde et à la température de la mesure.

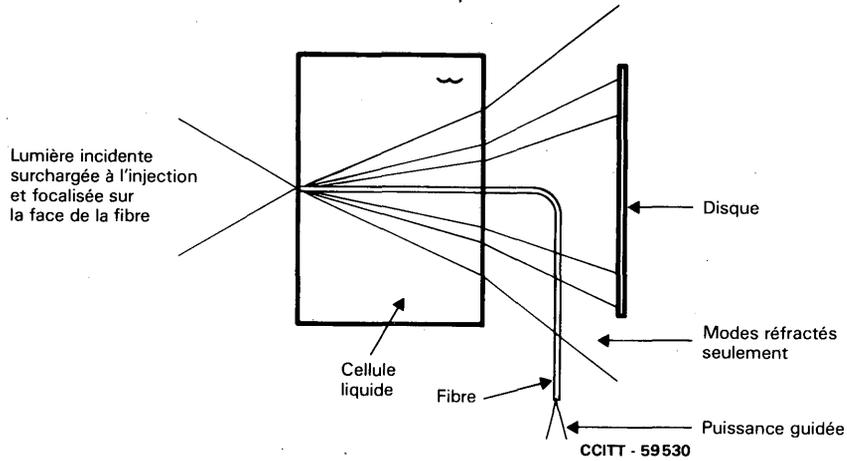
#### B.2.6 *Présentation des résultats*

On précisera les points suivants:

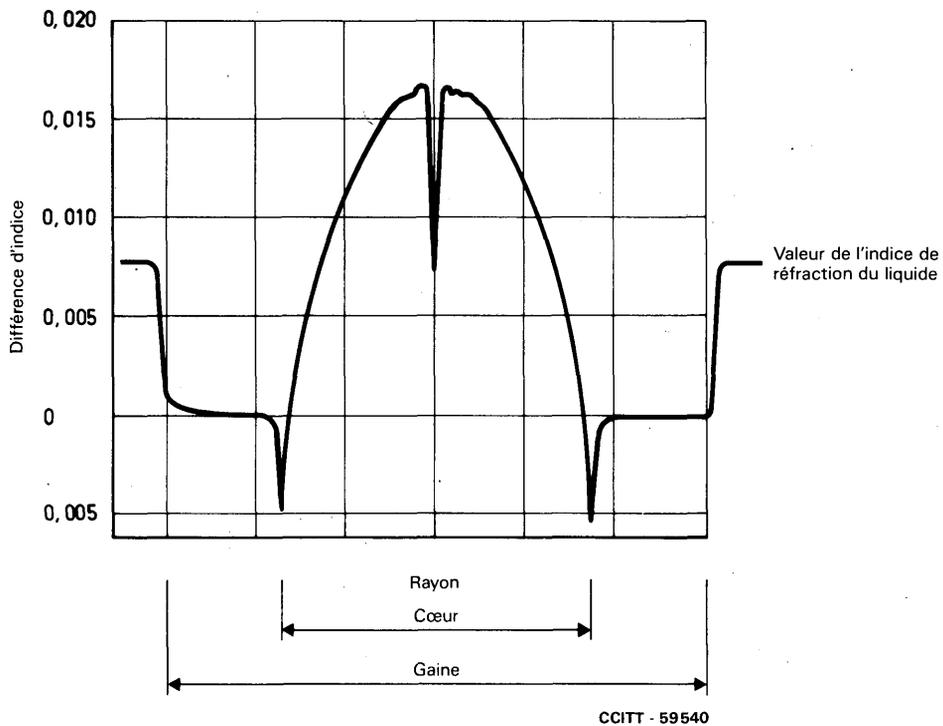
- a) schéma du banc de mesure, procédure de correction de la longueur d'onde et indication de la technique d'analyse utilisée;
- b) identification de la fibre;
- c) selon les spécifications demandées:
  - i) les profils à travers les centres du cœur et de la gaine, étalonnés à la longueur d'onde de fonctionnement,
  - ii) les profils le long des axes principal et secondaire du cœur, étalonnés à la longueur d'onde de fonctionnement,
  - iii) les profils le long des axes principal et secondaire de la gaine, étalonnés à la longueur d'onde de fonctionnement,
  - iv) analyse par balayage au travers de la totalité de la fibre, si elle est adoptée,
  - v) diamètre du cœur<sup>1)</sup>,
  - vi) diamètre de la gaine<sup>1)</sup>,
  - vii) erreur de concentricité cœur/gaine,
  - viii) non-circularité du cœur,

<sup>1)</sup> Voir l'appendice I.

- ix) non-circularité de la gaine,
  - x) ouverture numérique théorique maximale:  $NA_{t,max}$ ,
  - xi) différence d'indice:  $\Delta n$ ,
  - xii) différence d'indice relatif:  $\Delta$ ;
- d) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- e) température de l'échantillon et conditions du milieu ambiant (si nécessaire).



**FIGURE B-2a/G.651**  
**Technique d'exploration du champ proche – Diagramme schématique**



**FIGURE B-2b/G.651**  
**Profil d'indice typique d'une fibre à gradient d'indice obtenu à l'aide de la technique d'exploration du champ réfracté proche**

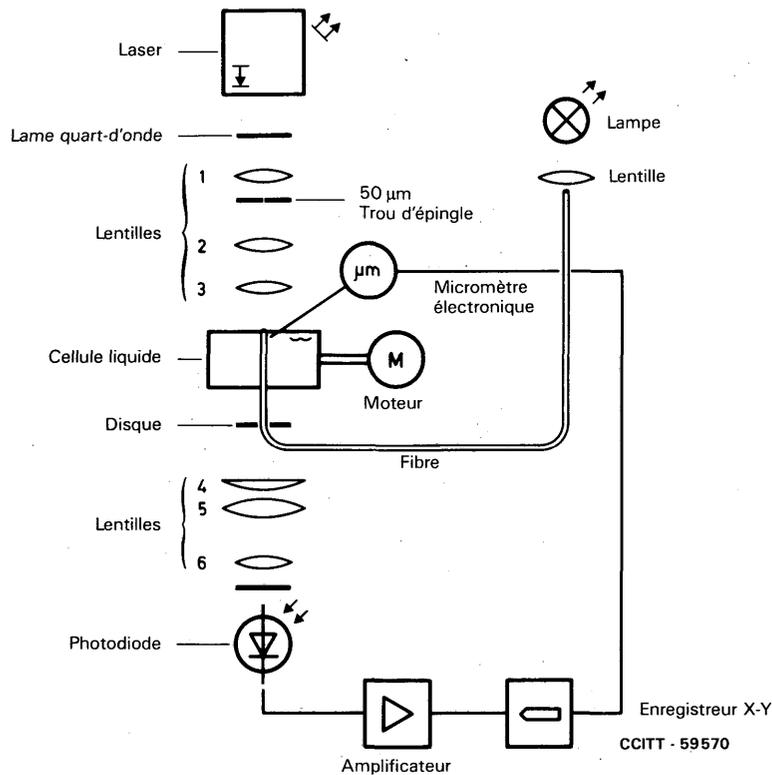


FIGURE B-3/G.651

Schéma type de l'équipement de mesure de l'exploration du champ proche réfracté

### B.3 Méthode de remplacement pour les paramètres géométriques: technique du champ proche transmis

#### B.3.1 Considérations générales

La technique du champ proche peut être utilisée pour mesurer les caractéristiques géométriques et le profil d'indice de réfraction des fibres optiques multimodes. Ces mesures sont faites en conformité avec la définition, et les résultats obtenus sont reproductibles et se rapportent à la méthode de mesure de référence et à la pratique.

La mesure est fondée sur l'analyse d'une image agrandie de l'extrémité de la fibre à mesurer, dans le plan d'une section droite où est placé le détecteur.

Lorsqu'on mesure les caractéristiques géométriques de la fibre, on peut appliquer le gabarit dans le champ proche composé de quatre cercles concentriques à une image agrandie de la fibre détectée à l'aide de méthodes d'évaluation objective, qui permettent d'obtenir un haut niveau de précision et de reproductibilité. Il faut en particulier mesurer le diamètre du cœur en tenant compte du même facteur K que celui qui a été spécifié pour la méthode de mesure de référence.

#### B.3.2 Equipement de mesure

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est représenté à la figure B-4/G.651.

##### B.3.2.1 Source lumineuse

On utilisera une source lumineuse incohérente, d'intensité ajustable et dont l'assise, l'intensité et la longueur d'onde sont stables pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. La largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de la raie spectrale doit être enregistrée. Une deuxième source lumineuse peut être utilisée, au besoin, pour éclairer la gaine.

### B.3.2.2 Conditions d'injection

L'équipement optique, qui sera disposé de manière à surcharger à l'injection la fibre, aura pour effet de focaliser un faisceau de lumière sur l'extrémité plate de la fibre.

En ce qui concerne les fibres de 50/125  $\mu\text{m}$  à gradient d'indice, les conditions de surcharge à l'injection s'obtiennent avec un cône lumineux dont la largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de l'intensité lumineuse, mesurée en champ proche est supérieure à 70  $\mu\text{m}$  et dont la valeur totale à mi-hauteur (LTMH) de l'ouverture numérique (ON), mesurée en champ lointain, est supérieure à une ON de 0,3.

### B.3.2.3 Suppresseur de mode de gaine

On utilisera un supprimeur de mode de gaine approprié pour éliminer la puissance optique qui se propage dans la gaine et s'assurer que tous les modes de fuite sont supprimés de la fibre. Lorsqu'on mesure uniquement les caractéristiques géométriques de la gaine, le supprimeur de mode de gaine ne doit pas être présent.

### B.3.2.4 Spécimen

Le spécimen doit être un court segment de la fibre optique à mesurer. Le revêtement primaire de la fibre doit être retiré sur la longueur de fibre insérée dans le supprimeur de mode. Les extrémités de la fibre doivent être propres, lisses et perpendiculaires à l'axe de la fibre.

*Remarque* – Cette mesure peut être effectuée sur des segments de fibre très courts (quelques centimètres, par exemple). Dans ce cas, les conditions d'injection sont ajustées de manière à obtenir dans la gaine une intensité uniforme inférieure à 15% de l'intensité lumineuse maximale du cœur.

### B.3.2.5 Equipement optique d'agrandissement

L'équipement optique d'agrandissement sera composé d'un système optique (par exemple, un objectif de microscope) qui agrandit la sortie du spécimen dans le champ proche, en la focalisant dans le plan du détecteur d'analyse. L'ouverture numérique et, par conséquent, la puissance de résolution de l'équipement optique doit être compatible avec la précision de mesure requise et ne pas être inférieure à 0,3. L'agrandissement doit être choisi de façon à être compatible avec la résolution spatiale souhaitée et doit être enregistré.

### B.3.2.6 Détecteur

Il faut employer un détecteur approprié qui fournit l'intensité point à point de la structure agrandie dans le champ proche. On peut, par exemple, utiliser n'importe laquelle des techniques suivantes:

- a) photodétecteur d'analyse avec ouverture en trou d'épingle;
- b) miroir d'analyse avec ouverture fixe en trou d'épingle et photodétecteur;
- c) des dispositifs vidicon d'analyse, à couplage de charge ou autres dispositifs de reconnaissance des formes/intensités.

Le détecteur doit avoir un comportement linéaire (ou doit être linéarisé) dans toute la gamme des intensités rencontrées. La zone sensible du détecteur doit être petite par rapport à l'image agrandie de l'extrémité de la fibre et doit être enregistrée.

### B.3.2.7 Amplificateur

Il faut employer un amplificateur pour augmenter le niveau du signal. La largeur de bande de l'amplificateur sera choisie en fonction du type d'analyse utilisée. Lorsqu'on analyse l'extrémité de la fibre avec des systèmes mécaniques ou optiques, on module généralement la source optique. Si cette procédure est adoptée, l'amplificateur sera relié à la fréquence de modulation de la source. Le système de détection devrait avoir une sensibilité fondamentalement linéaire.

### B.3.2.8 Stockage des données

La répartition mesurée de l'intensité dans le champ proche peut être enregistrée et présentée sous une forme appropriée, conformément à la technique d'analyse et aux spécifications.

## B.3.3 Procédure

### B.3.3.1 Etalonnage de l'équipement

Il faut mesurer l'agrandissement du système optique en analysant au préalable la longueur d'un spécimen dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision. Cet agrandissement devrait être enregistré.

### B.3.3.2 Mesure

L'extrémité d'injection de la fibre doit être alignée sur le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie sur l'axe de l'équipement optique d'agrandissement. L'image focalisée de l'extrémité de sortie de la fibre doit être analysée par le détecteur, conformément aux spécifications. La focalisation doit être faite avec une précision maximale, afin de réduire les erreurs dimensionnelles dues à l'analyse d'une image mal focalisée.

### B.3.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) schéma du banc de mesure, avec indication de la technique d'analyse utilisée,
- b) conditions d'injection [dimension et ouverture numérique (ON) du cône lumineux (spot) d'injection],
- c) longueur d'onde de la source et largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de la raie spectrale,
- d) identification et longueur de la fibre,
- e) type de supprimeur de mode de gaine (le cas échéant),
- f) agrandissement de l'appareil,
- g) type et dimensions du détecteur d'analyse,
- h) conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- i) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures,
- j) d'après les spécifications:
  - i) profils à travers les centres du cœur et de la gaine,
  - ii) profils le long des axes principal et secondaire du cœur,
  - iii) profils le long des axes principal et secondaire de la gaine,
  - iv) analyse totale par balayage de toute la section d'extrémité de la fibre, si elle est adoptée,
  - v) paramètres dimensionnels qui en résultent tels que: diamètres du cœur et de la gaine<sup>2)</sup>, non-circularité du cœur et de la gaine, erreur de concentricité cœur/gaine, etc.

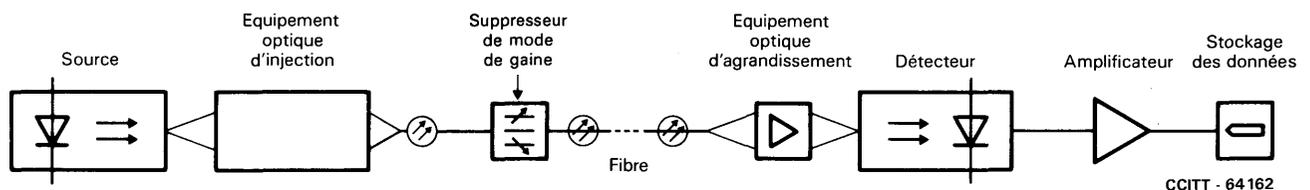


FIGURE B-4/G.651

Schéma type d'un banc de mesure par champ proche transmis

## B.4 Méthode de mesure de référence de l'ouverture numérique: répartition dans le champ lointain

### B.4.1 Objet

Cette méthode de mesure est appliquée aux fibres à gradient d'indice pour déterminer l'ouverture numérique en mesurant la répartition de la lumière dans le champ lointain.

### B.4.2 Préparation du spécimen

Sur la fibre à mesurer on prend, à une extrémité, un échantillon d'environ 2 mètres. L'échantillon doit être suffisamment droit pour que les pertes par courbure soient évitées. Les extrémités de l'échantillon doivent être très propres, plates et perpendiculaires à l'axe de la fibre.

<sup>2)</sup> Voir l'appendice I.

### B.4.3 Equipement

#### B.4.3.1 Source

La source de lumière doit être incohérente et son intensité réglable; la source doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables pendant une durée assez longue pour que l'on puisse mener à bien la mesure.

#### B.4.3.2 Détecteur

Le détecteur doit avoir une caractéristique linéaire dans la gamme de mesures requise (Le courant de sortie du détecteur doit être linéaire à la puissance de lumière reçue).

#### B.4.3.3 Injection

Voir le § B.3.2.2.

#### B.4.3.4 Suppresseur de mode de gaine

Voir le § B.3.2.3.

#### B.4.3.5 Dispositif d'affichage

Par exemple, enregistreur XY, écran.

### B.4.4 Procédure

#### B.4.4.1 Principe de mesure (figure B-5/G.651)

L'intensité radiante (puissance de lumière par unité d'angle solide) est déterminée en fonction de l'angle polaire d'un plan contenant l'axe de la fibre (diagramme de rayonnement). La distance  $d$ , entre l'extrémité de l'échantillon et le détecteur, doit être grande par rapport au diamètre du cœur de la fibre optique.

Les solutions possibles sont les suivantes:

- échantillon fixe, détecteur fixe à grande ouverture,
- échantillon fixe, détecteur à déplacement rectiligne à petite ouverture,
- échantillon à déplacement rectiligne, détecteur fixe à petite ouverture,
- échantillon fixe, détecteur à déplacement angulaire à petite ouverture,
- échantillon pivotant à son extrémité, détecteur fixe à petite ouverture.

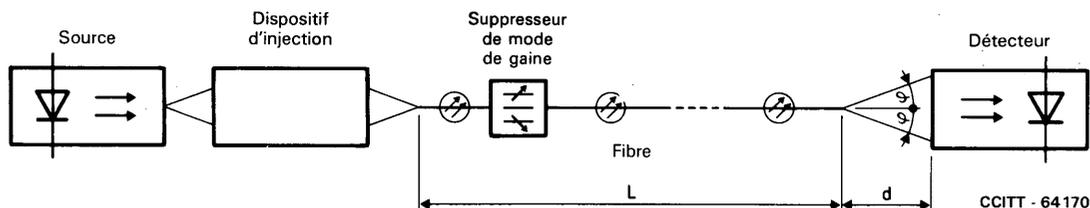


FIGURE B-5/G.651

Principe de mesure de la distribution de la lumière dans le champ lointain transmis

#### B.4.4.2 Préparation

L'échantillon est fixé dans son support et la lumière est injectée conformément au § B.4.3.3.

#### B.4.4.3 Mesure

L'intensité radiante est déterminée en fonction de l'angle polaire dans un plan de l'axe de la fibre.

#### B.4.5 Résultats

Les fibres visées par la présente Recommandation ont un profil proche de l'indice de réfraction parabolique. Par conséquent, pour les conditions d'injection recommandées dans le § B.4.3.3 (Distribution uniforme des modes), la courbe de l'intensité radiante dans le champ lointain peut être représentée approximativement dans la région située au-dessus de 10% de l'intensité maximale, par la parabole suivante:

$$P(\varphi) = P(0) \left[ 1 - (\sin \varphi / ON)^2 \right]$$

L'angle  $\varphi$  est alors déterminé par le point d'intersection de cette parabole avec l'axe des abscisses. En général, il suffit de déterminer l'angle  $\varphi$  en prenant 5% de l'intensité radiante maximale sur la totalité de la courbe d'intensité radiante.

L'ouverture numérique est:

$$ON = \sin \varphi.$$

#### B.4.6 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) schéma du banc de mesure, avec indication de la technique d'analyse utilisée,
- b) conditions d'injection (dimension et ouverture numérique du cône lumineux d'injection),
- c) longueur d'onde et largeur totale de raie spectrale de la source à mi-hauteur (LTMH),
- d) type de supprimeur de modes de gaine (le cas échéant),
- e) conditions d'analyse,
- f) identification et longueur de la fibre,
- g) conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- h) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures,
- i) ouverture numérique obtenue.

### APPENDICE I

(à la section I)

Le présent appendice expose une méthode permettant de déterminer la position du centre du cœur et du centre de la gaine, ainsi que leurs diamètres.

#### I.1 Centre et diamètre du cœur

Le centre et le diamètre du cœur sont déterminés à partir d'un certain nombre de balayages sur une section (transversale) de fibre, avec un facteur K approprié. On obtient à chaque balayage deux points sur l'interface cœur/gaine. Les points doivent être uniformément répartis sur le périmètre du cœur, au moins approximativement.

Soit

$x_i$  et  $y_i$  les coordonnées cartésiennes du  $i$ -ième point de l'interface

$a_c$ ,  $b_c$  les coordonnées cartésiennes du centre du cœur

$R_c$  le rayon du cœur

$z$ ,  $m_i$  les variables intermédiaires:  $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$  et  $m_i = x_i^2 + y_i^2$

On obtient les paramètres inconnus  $a_c$ ,  $b_c$  et  $R_c$  en déterminant le cercle qui, du point de vue des moindres carrés, représente le mieux l'interface expérimentale entre le cœur et la gaine. L'algorithme de calcul consiste à minimiser, pour ce qui est des paramètres  $a_c$ ,  $b_c$  et  $z$ , la quantité suivante:

$$\begin{aligned} M &= \sum_i \left[ (x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2 \right]^2 \\ &= \sum_i (x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z)^2 \end{aligned}$$

L'annulation des trois dérivées partielles de  $M$  par rapport à  $a_c$ ,  $b_c$  et  $z$  donne un système de trois équations linéaires, qui se présentent sous la forme matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & - \sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & - \sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & - N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

Les sommes sont calculées de  $i = 1$  à  $i = N$ ,  $N$  étant le nombre total de points de mesure.

Une inversion numérique de ce système donne les valeurs de  $a_c$ ,  $b_c$  et  $z$ , d'où on peut déterminer la valeur de  $R_c$ .

Le centre du cœur est le point de coordonnées  $a_c$  et  $b_c$ , et son diamètre est la quantité  $D_c = 2 R_c$ .

## I.2 Centre et diamètre de la gaine

On utilise le même procédé de calcul et les mêmes définitions que ceux utilisés pour le cœur, afin de trouver:

- les coordonnées du centre de la gaine,  $a_g$  et  $b_g$ ;
- le rayon de la gaine  $R_g$ .

Le centre de la gaine est le point de coordonnées  $a_g$  et  $b_g$ , et son diamètre est la quantité  $D_g = 2 R_g$ .

## Section II – Méthode de référence et méthodes de remplacement pour mesurer l'affaiblissement

### B.1 Introduction

#### B.1.1 Objectifs

Les essais de mesure de l'affaiblissement visent à donner le moyen d'assigner à une longueur de fibre une certaine valeur d'affaiblissement telle que l'on puisse additionner les valeurs individuelles d'affaiblissement pour calculer l'affaiblissement total d'une longueur composée de plusieurs segments.

#### B.1.2 Définition

L'affaiblissement  $A(\lambda)$  à la longueur d'onde  $\lambda$  entre deux sections transversales 1 et 2 d'une fibre séparées par la distance  $L$  est défini par la formule suivante:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{dB})$$

où  $P_1(\lambda)$  est la puissance optique traversant la section 1 et  $P_2(\lambda)$  la puissance optique traversant la section 2 à la longueur d'onde  $\lambda$ . Pour une fibre uniforme en état d'équilibre, il est possible de calculer l'affaiblissement par unité de longueur, ou coefficient d'affaiblissement:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[ \frac{\text{dB}}{\text{unité de longueur}} \right]$$

qui est indépendant de la longueur de fibre choisie.

*Remarque* – Les valeurs de l'affaiblissement spécifiées pour les longueurs de fabrication doivent être mesurées à la température ambiante (c'est-à-dire une seule valeur de la gamme comprise entre +10 °C et +35 °C).

### B.1.3 Description

On a suggéré trois méthodes pour mesurer l'affaiblissement.

B.1.3.1 *La méthode de la fibre coupée* est une application directe de la définition, dans laquelle on mesure la puissance  $P_1$  et  $P_2$  en deux points de la fibre sans changer les conditions d'entrée.  $P_2$  est la puissance de sortie à l'extrémité du guide et  $P_1$  la puissance de sortie en un point situé à proximité de l'entrée après coupure de la fibre.

B.1.3.2 *La technique de l'affaiblissement d'insertion* est analogue, en principe, à la technique précédente, à ceci près que  $P_1$  est la puissance à la sortie du système d'injection. L'affaiblissement mesuré est la somme de l'affaiblissement de la longueur de fibre insérée et de l'affaiblissement dû à la connexion entre le système d'injection et la fibre testée. Il est nécessaire de corriger le résultat en fonction des pertes par connexion.

B.1.3.3 *La technique de la rétrodiffusion* est un moyen indirect de mesurer l'affaiblissement par la mesure des puissances rétrodiffusées traversant deux sections transversales de la fibre.

### B.1.4 Champ d'application

La technique de la fibre coupée est généralement considérée comme donnant des résultats exacts mais dans de nombreux cas son caractère destructeur est un inconvénient.

La technique de l'affaiblissement d'insertion permet d'éviter l'amputation de la fibre, au détriment toutefois de l'exactitude.

La technique de la rétrodiffusion est appliquée à une seule extrémité; cette méthode n'est pas destructive mais sa portée est limitée et sa précision l'est parfois aussi.

Après avoir examiné les mérites respectifs de ces trois méthodes, c'est celle de la fibre coupée qui a été choisie comme méthode de mesure de référence.

## B.2 La méthode de mesure de référence: méthode de la fibre coupée

### B.2.1 Conditions d'injection

#### B.2.1.1 Définition des conditions d'injection

Les conditions d'injection ont une importance capitale pour atteindre les objectifs visés. Elles doivent être de nature à avoisiner la répartition des modes à l'équilibre (EMD) qui est censée exister lorsque la répartition de puissance des diagrammes de champ à la sortie de la fibre est très indépendante de la longueur de celle-ci.

#### B.2.1.2 Techniques d'injection

La figure B-6/G.651 représente un montage permettant de réaliser des conditions d'injection avec répartition des modes à l'équilibre.

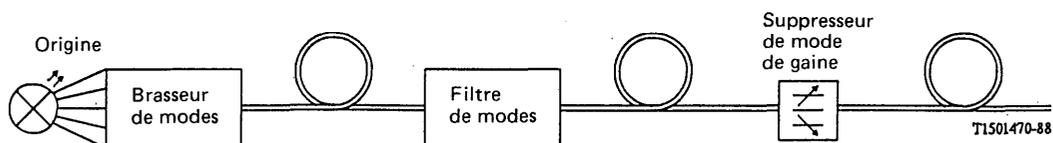


FIGURE B-6/G.651  
Conditions d'injection

#### B.2.1.2.1 *Suppresseur de modes de gaine*

Un supprimeur de mode de gaine facilite la conversion des modes de gaine en modes de rayonnement; en conséquence, les modes de gaine sont supprimés de la fibre.

#### B.2.1.2.2 *Filtre de modes*

Le filtre de modes est un dispositif utilisé pour sélectionner, rejeter ou affaiblir un certain nombre de modes, et il doit garantir l'établissement d'une répartition des modes proche de l'équilibre.

#### B.2.1.2.3 *Brasseur de modes*

Le brasseur de modes est un dispositif servant à induire un transfert de puissance entre modes dans une fibre optique. Il doit garantir une répartition des modes indépendante des caractéristiques de la source.

*Remarque* – Des arrangements optiques appropriés peuvent être utilisés pour produire une répartition proche de l'équilibre et ce, directement à l'extrémité d'entrée de la fibre à mesurer. Dans ce cas, un dispositif unique est nécessaire pour la mise en œuvre des trois fonctions de la figure B-6/G.651.

#### B.2.1.3 *Exemple*

Pour une fibre homogène de 50/125  $\mu\text{m}$  à faibles pertes, à gradient d'indice, à ouverture numérique de 0,2 et à 850 nm de longueur d'onde, on peut obtenir une approximation de la répartition des modes à l'équilibre après coupure de segment lorsque l'on observe les caractéristiques suivantes à la sortie du segment coupé:

- a) la largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de la tache lumineuse, mesurée en champ proche, est de 26  $\mu\text{m}$ ;
- b) la valeur totale à mi-hauteur de l'ouverture numérique, mesurée en champ lointain, est de 0,11;

on peut supposer que le diagramme du champ proche et celui du champ lointain sont à peu près gaussiens.

Pour obtenir cet équilibre de la répartition des modes, on peut utiliser l'arrangement présenté dans la figure B-6/G.651.

A l'extrémité d'injection de la fibre, le faisceau d'injection se présente sous la forme d'un spot lumineux centré sur le cœur de la fibre, de largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de l'intensité lumineuse, mesurée en champ proche, supérieure à 70  $\mu\text{m}$ , et une ouverture numérique (LTMH) en champ lointain supérieure à 0,3 dans la zone centrale de 70  $\mu\text{m}$  du cône (pour une fibre avec une ouverture numérique  $< 0,25$ ).

L'axe du faisceau d'injection coïncide avec celui de la fibre.

Le brasseur de modes doit comprendre un arrangement approprié de fibres (par exemple une séquence saut-gradient-saut ou une séquence à courbures).

Le filtre de mode prend la forme d'un mandrin autour duquel est enroulée la fibre, avec une faible tension et sur une longueur de mandrin de 20 mm.

Le diamètre du mandrin peut différer d'une fibre à l'autre et il est commun d'adopter des valeurs comprises entre 18 et 22 mm, avec 5 tours de fibre.

Le diamètre exact du mandrin est déterminé par le fournisseur du câble/de la fibre de telle sorte que les diagrammes du champ proche et du champ lointain obtenus avec deux mètres de fibre après le filtre de mode et le supprimeur de mode de gaine soient les mêmes que ceux obtenus pour un tronçon de fibre ou des fibres raccordées à l'état d'équilibre de la répartition des modes (la longueur est généralement supérieure à 5 km).

Le supprimeur de mode de gaine consiste souvent en un matériau ayant un indice de réfraction supérieur ou égal à celui de la gaine de la fibre.

### B.2.2 *Appareils et procédure d'essai*

#### B.2.2.1 *Types de mesure*

Des mesures peuvent être faites sur une ou plusieurs longueurs d'onde ponctuelles. On peut aussi avoir à opérer sur une gamme de longueurs d'onde. Des schémas de montage d'équipements appropriés sont donnés à titre d'exemple dans les figures B-7/G.651 et B-8/G.651.

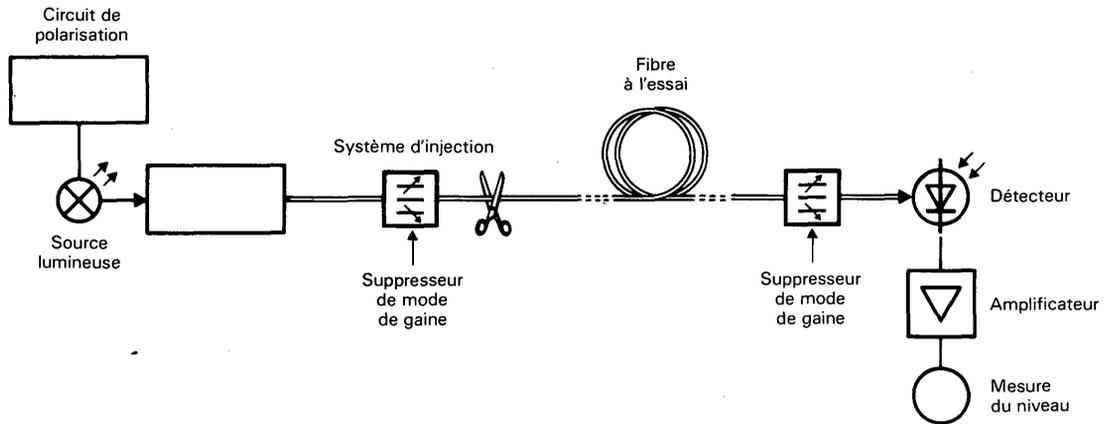
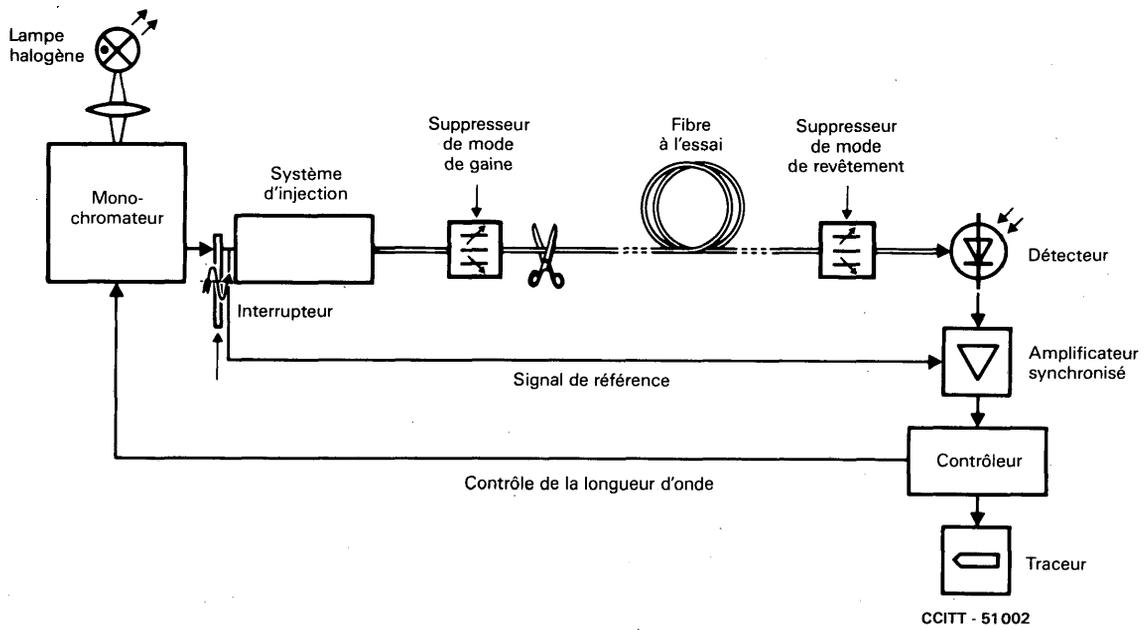


FIGURE B-7/G.651

Disposition du matériel d'essai pour mesurer l'affaiblissement ponctuel

CCITT - 49992



Disposition du matériel d'essai pour mesurer le spectre d'affaiblissement

FIGURE B-8/G.651

Technique de la fibre coupée

CCITT - 51 002

### B.2.2.2 *Source optique*

On utilisera une source de rayonnement appropriée telle que lampe, laser ou diode électroluminescente (DEL). Le choix de la source dépend du type de mesure à effectuer. La source doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. La largeur totale de raie spectrale à mi-hauteur doit être réglée de manière à être petite par rapport à toute caractéristique de l'affaiblissement spectrale de la fibre.

La fibre est alignée sur le cône d'injection, ou reliée par une amorce à une fibre d'injection.

### B.2.2.3 *Détecteur optique*

On utilisera un détecteur à grande ouverture, afin d'intercepter tous les rayonnements du ou des cône(s) de sortie. La réponse spectrale doit être compatible avec les caractéristiques spectrales de la source. La détection doit être uniforme et avoir des caractéristiques linéaires.

Il est d'usage de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit au récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur doit être relié au système de traitement du signal synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit avoir une sensibilité fondamentalement linéaire.

### B.2.2.4 *Montage d'injection*

(Voir le § B.2.1).

### B.2.2.5 *Procédure*

- 1) La fibre à mesurer est placée dans le banc de mesure; on enregistre la puissance de sortie  $P_2$ .
- 2) En maintenant les conditions d'injection fixes, on coupe la fibre à la longueur voulue (par exemple, à 2 m du point d'injection). On enregistre ensuite la puissance  $P_1$  à la sortie du segment coupé.
- 3) On peut alors calculer l'affaiblissement entre les points où l'on a mesuré  $P_1$  et  $P_2$ , d'après la définition.

### B.2.3 *Présentation des résultats*

Les données suivantes seront présentées à la suite de la mesure:

- a) type et caractéristiques de mesure,
- b) technique d'injection,
- c) organisation pratique de l'essai,
- d) conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- e) identification de la fibre,
- f) longueur de l'échantillon et longueur de la fibre coupée,
- g) affaiblissement mesuré (pour l'échantillon) à la longueur d'onde choisie,
- h) affaiblissement, exprimé en dB (dans certains cas, il est possible de le convertir en affaiblissement linéique exprimé en dB/km),
- i) pour la mesure de l'affaiblissement en fonction du spectre, les résultats doivent être présentés sous forme d'un graphique de l'affaiblissement en fonction de la longueur d'onde.

### B.3 *Première méthode de mesure de remplacement technique de l'affaiblissement d'insertion*

#### B.3.1 *Conditions d'injection*

Les conditions requises pour l'injection sont analogues à celles qui sont décrites au § B.2.1.

#### B.3.2 *Appareils et procédure de mesure*

##### B.3.2.1 *Types de mesures*

Des mesures peuvent être faites sur une ou plusieurs longueurs d'onde ponctuelles. On peut aussi avoir à opérer sur toute une gamme de longueurs d'onde. Un schéma de montage approprié est donné à titre d'exemple par la figure B-9/G.651 (a – étalonnage, b – mesure).

B.3.2.2 *Source optique*

Voir le § B.2.2.2.

B.3.2.3 *Détecteur optique*

Voir le § B.2.2.3.

B.3.2.4 *Montage d'injection*

Voir le § B.2.1.

B.3.2.5 *Dispositif de couplage*

Pour la technique de l'affaiblissement d'insertion, il faut utiliser un dispositif de couplage de fibre à fibre très précis, afin de réduire au minimum les pertes par couplage et d'obtenir des résultats fiables.

Ce dispositif peut consister en un réglage mécanique à contrôle visuel ou en un connecteur dans lequel les cœurs sont placés bout à bout.

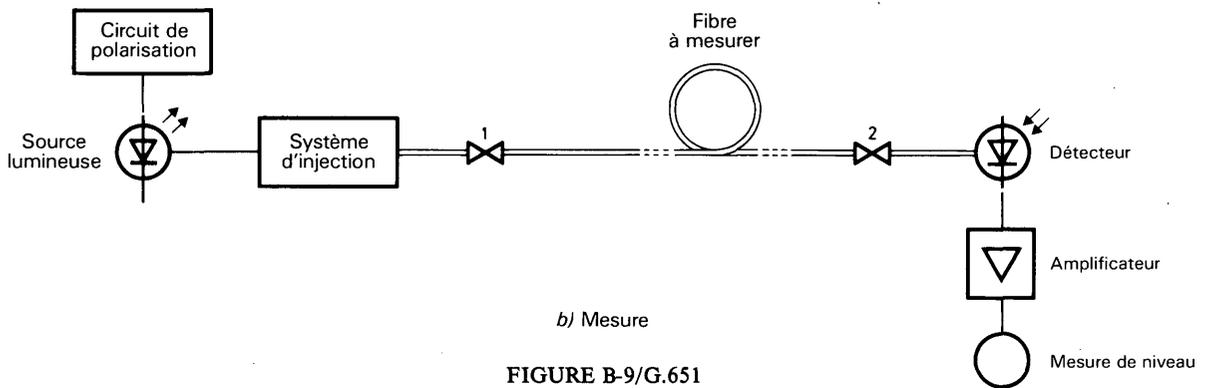
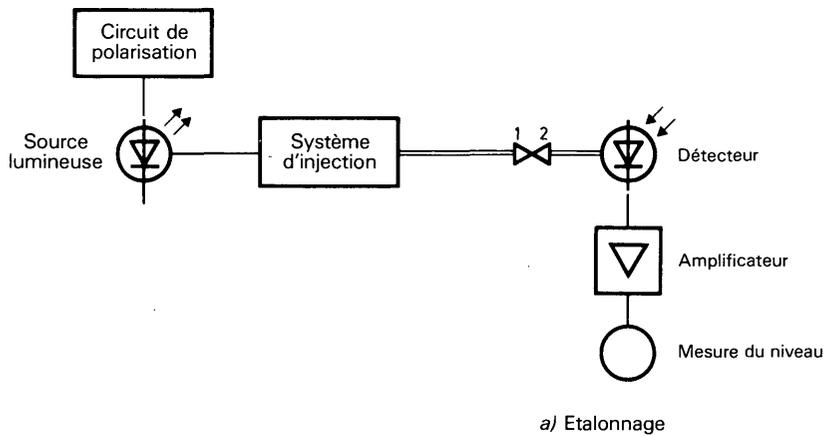


FIGURE B-9/G.651  
Technique d'affaiblissement d'insertion

CCITT - 59 590

### B.3.2.6 *Procédure*

- 1) On étalonne d'abord l'appareil de mesure, afin d'obtenir un niveau d'entrée de référence  $P_1$ .
- 2) La fibre à mesurer est placée dans l'appareil de mesure et on règle le couplage pour obtenir un niveau maximum sur le détecteur optique. La puissance de sortie  $P_2$  est enregistrée.
- 3) L'affaiblissement, calculé conformément au § B.1.2, est la somme de l'affaiblissement de la longueur de fibre insérée et de l'affaiblissement dû à la connexion entre le dispositif de couplage et la fibre à mesurer.

### B.3.3 *Présentation des résultats*

Les données suivantes seront présentées à la suite de la mesure:

- a) type et caractéristiques de mesure,
- b) technique d'injection,
- c) organisation pratique de l'essai,
- d) conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- e) identification de la fibre,
- f) longueur de l'échantillon,
- g) affaiblissement mesuré (pour l'échantillon) à la longueur d'onde choisie,
- h) pertes dues au connecteur et tolérances,
- i) affaiblissement, exprimé en dB (dans certains cas, il est possible de le convertir en affaiblissement linéique exprimé en dB/km),
- j) pour la mesure de l'affaiblissement en fonction du spectre, les résultats doivent être présentés sous forme d'un graphique de l'affaiblissement en fonction de la longueur d'onde.

### B.4 *Deuxième méthode de mesure de remplacement: technique de la rétrodiffusion*

*Remarque* — Cette méthode d'essai décrit la procédure à suivre pour la mesure de l'affaiblissement d'un échantillon homogène de câble à fibres optiques. La technique peut être utilisée pour contrôler la continuité optique, les défauts matériels, les épissures, la lumière rétrodiffusée des câbles à fibres optiques et la longueur de la fibre.

#### B.4.1 *Conditions d'injection*

Pour la mesure de l'affaiblissement, les techniques décrites au § 2.1 peuvent être appliquées. Pour les autres essais, les conditions d'injection dépendent parfois des caractéristiques à mesurer.

Dans tous les cas, afin de réduire les phénomènes de réflexion de Fresnel à l'entrée de la fibre, divers dispositifs pourront être utilisés (polariseurs ou matériaux d'adaptation de l'indice, par exemple). L'affaiblissement d'insertion devra être réduit au minimum.

#### B.4.2 *Appareils et procédure d'essai*

##### B.4.2.1 *Considérations générales*

Le niveau du signal optique rétrodiffusé est normalement faible et proche du niveau de bruit. Afin d'améliorer le rapport signal/bruit et la portée dynamique de mesure, il est d'usage d'employer une source lumineuse de forte puissance pour le traitement du signal détecté. Par ailleurs, une résolution spatiale précise peut exiger que soit réglée la durée des impulsions pour arriver à un compromis entre la résolution et l'énergie impulsionnelle. Il faut employer des cœurs spéciaux pour réduire au minimum les phénomènes de réflexion de Fresnel. Un exemple d'appareil est représenté sur la figure B-10/G.651.

##### B.4.2.2 *Source optique*

Il convient d'utiliser une source optique stable de forte puissance et d'une longueur d'onde appropriée (laser à semi-conducteurs par exemple). La longueur d'onde de la source doit être enregistrée. La durée et le taux de répétition des impulsions doivent être compatibles avec la résolution voulue et la longueur de la fibre. Il convient d'éliminer les effets optiques non linéaires à l'accès de la fibre à l'essai.

#### B.4.2.3 *Détecteur optique*

On utilisera un détecteur afin d'intercepter la plus grande partie possible de la puissance rétrodiffusée. La réponse du détecteur doit être compatible avec les niveaux et les longueurs d'onde du signal détecté. Pour la mesure de l'affaiblissement, la réponse du détecteur doit être très linéaire.

Le traitement du signal est nécessaire pour améliorer le rapport signal/bruit, et il est souhaitable que la réponse du système de détection soit logarithmique.

Un amplificateur approprié doit suivre le détecteur optique, afin que le niveau du signal soit suffisant pour le traitement du signal. La largeur de bande choisie pour l'amplificateur doit représenter un compromis entre résolution temporelle et réduction de bruit.

#### B.4.2.4 *Montage d'injection*

Voir les § B.2.1 et B.4.1.

#### B.4.2.5 *Procédure*

- 1) La fibre à mesurer est placée dans l'alignement du dispositif de couplage.
- 2) La puissance rétrodiffusée est analysée par un processeur de signaux et enregistrée sur une échelle logarithmique. La figure B-10/G.651 représente une courbe logarithmique type.
- 3) Si la courbe enregistrée a une pente à peu près constante (zone b de la figure B-10/G.651, l'affaiblissement entre deux points *A* et *B* de la courbe correspondant à deux sections transversales de la fibre est donné par la formule suivante:

$$A(\lambda)_{A \rightarrow B} = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB}$$

dans laquelle  $V_A$  et  $V_B$  sont les niveaux de puissance respectifs indiqués sur l'échelle logarithmique.

- 4) En cas de besoin, on peut procéder à des mesures bidirectionnelles ainsi qu'à un calcul numérique pour améliorer la qualité du résultat et permettre éventuellement de distinguer l'affaiblissement dû au facteur de rétrodiffusion.

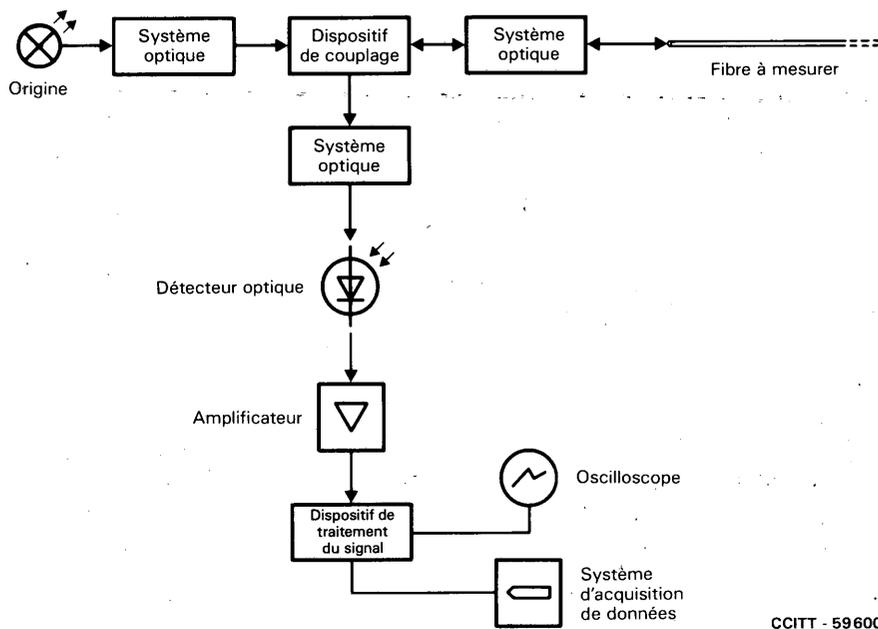
#### B.4.3 *Présentation des résultats*

Les données suivantes seront présentées à la suite de la mesure:

- a) types et caractéristiques de mesure,
- b) techniques d'injection,
- c) organisation pratique de l'essai,
- d) conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- e) identification de la fibre,
- f) longueur de l'échantillon,
- g) temps de montée, largeur et taux de répétition de l'impulsion,
- h) type de traitement du signal,
- i) courbe enregistrée sur l'échelle logarithmique, avec l'affaiblissement de l'échantillon, et dans certains cas l'affaiblissement linéique exprimé en dB/km.

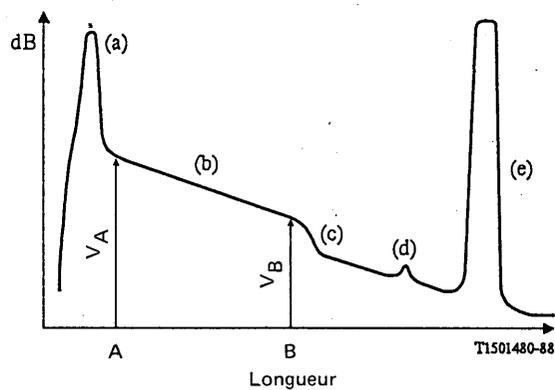
L'analyse complète de la courbe enregistrée (figure B-10/G.651) montre que, indépendamment de la mesure de l'affaiblissement, de nombreux phénomènes peuvent être observés par la technique de rétrodiffusion:

- a) réflexion due au dispositif de couplage à l'extrémité d'entrée de la fibre,
- b) zone de pente constante,
- c) discontinuités dues à des défauts matériels, ponctuels (épissures ou couplage),
- d) réflexion due à un défaut diélectrique,
- e) réflexion à l'extrémité de la fibre.



CCITT - 59600

a) Schéma de l'appareil



b) Exemple de la puissance rétrodiffusée

FIGURE B-10/G.651  
Technique de rétrodiffusion

### Section III – Méthode de référence pour mesurer la réponse de la bande de base

#### B.1 Objet

La réponse en bande de base de la fibre peut être décrite dans le domaine temporel à l'aide de sa réponse impulsionnelle  $g(t)$  ou, dans le domaine fréquentiel, de sa réponse en fréquence  $G(f)$ . La fonction  $g(t)$  est celle qui, lorsqu'elle décrit une révolution avec l'impulsion d'entrée de puissance optique de la fibre, donne l'impulsion de sortie de puissance optique de la fibre.  $G(f)$  est le rapport, pour n'importe quelle fréquence, entre la modulation sinusoïdale de l'entrée de puissance optique de la fibre et la modulation sinusoïdale de la sortie de puissance optique de la fibre.

Les réponses en bande de base dans les domaines fréquentiel et temporel, dans un système linéaire, sont représentées par la formule suivante:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

La réponse en bande de base est présentée dans le domaine fréquentiel.

Pour ceux qui souhaitent que la réponse en bande de base soit présentée dans le domaine temporel, on peut l'obtenir par des opérations mathématiques. A cet effet, il faut connaître aussi bien la réponse en amplitude que la réponse en phase.

La réponse en amplitude est spécifiée sous la forme d'une largeur de bande optique à  $-3$  dB (électrique aux points à  $-6$  dB) de la caractéristique amplitude/fréquence. Une courbe plus complète doit aussi être fournie.

Pour réduire au minimum les variations liées à des réponses de formes irrégulières en bande de base au cours des mesures, on peut adapter une fonction gaussienne à la réponse en bande de base  $G(f)$ .

Aucune valeur de réponse en phase recommandée n'est donnée car les indications sur la réponse en phase ne semblent nécessaires que dans des cas particuliers.

#### B.2 Méthode de mesure de référence

##### B.2.1 Equipement de mesure

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est représenté à la figure B-11/G.651.

##### B.2.1.1 Source lumineuse

Il faut utiliser une source lumineuse à laser dont l'assise, l'intensité et la longueur d'onde doivent être stables. La longueur d'onde centrale ( $\lambda$ ) doit être comprise dans les limites de  $\pm 20$  nm de la valeur nominale choisie parmi les deux gammes données dans le tableau B-1/G.651. De plus, la largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de la raie ( $\Delta\lambda$ ) ne doit pas dépasser la valeur correspondante indiquée dans le tableau B-1/G.651.

TABLEAU B-1/G.651

Largeur de raie de la source

$\lambda$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
800-900	5
1200-1350	10

Le moyen utilisé pour moduler le laser (impulsion ou de type sinusoïdal) doit pouvoir fonctionner à des fréquences au-delà de la fréquence à laquelle la réponse en fréquence de la fibre à mesurer chute au niveau optique de  $-3$  dB.

L'émission maximale doit dépasser amplement l'émission spontanée et la profondeur de modulation doit être aussi grande que le rapport d'extinction le permet, afin d'obtenir un rapport signal/bruit maximal. Il faut veiller à ce que la source ne soit pas parasitée.

Si le signal de modulation choisi est sinusoïdal, la modulation de sortie est divisée, fréquence par fréquence, par la modulation d'entrée. Si le signal de modulation choisi est une impulsion à plusieurs composantes, il faut commencer par appliquer la transformation de Fourier, au moyen d'un filtrage analogique ou d'un traitement numérique du signal reçu.

#### B.2.1.2 Conditions d'injection

Les conditions de mesure appropriées peuvent être obtenues de deux façons différentes:

- a) distribution uniforme de la puissance des modes (injection par surplus) avec une distribution spatiale uniforme plus grande que le cœur de la fibre, et une distribution angulaire de Lambert correspondant à l'ouverture numérique de la fibre à mesurer;
- b) injection à régime permanent arrivant approximativement aux conditions d'injection stabilisée réelles.

*Remarque concernant le point b)* – Il faudra veiller à ce que les conditions d'injection ne limitent pas l'excitation des modes au-dessous du régime permanent, en particulier pour les longueurs inférieures à 2 km.

#### B.2.1.3 Détecteur

Il faudra utiliser une photodiode à haute vitesse pour intercepter le volume modal total à la sortie de la fibre.

La bande passante de la photodiode et celle de l'équipement électronique subséquent doivent être suffisantes pour préserver le rapport signal/bruit requis jusqu'à la fréquence maximale des mesures à réaliser. Le système de détecteur doit être linéaire par rapport à la puissance d'entrée dans les limites des valeurs mesurées. Au cas où le détecteur aurait une gamme linéaire inappropriée, il faudrait peut-être employer un filtre de densité neutre déjà étalonné à la longueur d'onde de fonctionnement pour atténuer un signal trop fort, de façon que le détecteur soit toujours utilisé dans la gamme de sa sensibilité linéaire.

#### B.2.1.4 Système de présentation des résultats

Le système de présentation des résultats doit être capable d'enregistrer ou d'afficher l'amplitude de modulation de sortie par rapport à la courbe Puissance (étalonnée ou logarithmique)/Fréquence. Dans le cas de la modulation par impulsions, il existe une étape intermédiaire avec l'enregistrement d'une forme d'impulsion en fonction d'une échelle de temps étalonnée.

### B.2.2 Procédure

#### B.2.2.1 Préparation de la fibre à mesurer

Les revêtements primaires doivent être retirés sur les longueurs de fibre qu'il faut plonger dans les supprimeurs de modes de gaine.

Les extrémités de la fibre doivent être très propres, lisses et perpendiculaires à l'axe de la fibre. Lorsque les mesures sont faites sur des fibres non câblées, la fibre doit être lâche sur le touret pour éviter tout couplage inductif externe des modes.

#### B.2.2.2 Mesures

L'émetteur et le récepteur sont d'abord reliés par une petite connexion optique d'essai et la puissance de l'émetteur est réglée de manière à produire un signal dans la gamme linéaire du récepteur. Pour l'utiliser comme méthode de mesure, il faut que la réponse spécifique de l'instrument de mesure soit stockée à ce stade aux fins d'utilisation ultérieure, sous la forme d'une réponse impulsionnelle – ou d'une réponse en fréquence – selon le cas.

La fibre à mesurer est alors insérée entre l'émetteur et le récepteur, et la sortie est mesurée et enregistrée. Dans la méthode de mesure de référence pour les fibres individuelles, on coupe la fibre (côté émission), à une distance appropriée après le supprimeur de modes de gaine (s'il est utilisé) ou le filtre de modes; en veillant à ne pas perturber les conditions d'injection, on mesure et enregistre la sortie du segment coupé. La surface éclairée de la photodiode du récepteur doit, autant que possible, être la même pour toutes les étapes.

Les deux séries de valeurs d'amplitude dans le domaine fréquentiel, obtenues directement ou par transformation à partir du domaine temporel, qui correspondent au signal de sortie de la fibre à mesurer et à la réponse spécifique de l'instrument (y compris le segment coupé) sont alors divisées (ou soustraites si elles sont présentées sur l'échelle logarithmique) fréquence par fréquence, la première série par la seconde, pour fournir la réponse en fréquence de la fibre.

### B.2.3 Présentation des résultats

A la suite de ces mesures, les données suivantes seront fournies:

- type et caractéristiques de mesure,
- technique d'injection,
- organisation pratique de la mesure, y compris la longueur d'onde et la largeur totale de raie de la source à mi-hauteur (LTMH),
- conditions de température et d'environnement (si nécessaire),
- identification de la fibre,
- longueur de l'échantillon,
- la largeur de bande (y compris les effets de dispersion chromatique) définie par un point  $-3$  dB (optique) de la caractéristique amplitude/fréquence, et si nécessaire, la caractéristique complète amplitude/fréquence, et/ou la caractéristique de phase,
- pour la longueur de fabrication, la valeur de la largeur de la bande passante est rapportée à 1 km (la formule utilisée doit être indiquée), si nécessaire,
- comme il est indiqué en g), la bande passante mesurée comprend l'effet de la dispersion modale et de la dispersion chromatique. Le cas échéant, la bande passante modale  $B_{\text{modale}}$  (MHz) peut être déterminée comme suit, la réponse modale en bande de base de la fibre et le spectre de la source étant supposés gaussiens:

$$B_{\text{modale}} = \left[ (1/B_T)^2 - (D(\lambda) \Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6}/0,44)^2 \right]^{-1/2}$$

où

- $B_T$  est la bande passante mesurée de la fibre,  
 $D(\lambda)$  est le coefficient de dispersion chromatique [ps/(nm · km)],  
 $\Delta\lambda$  est la largeur totale de la raie spectrale de la source, à mi-hauteur (nm) (LTMH),  
 $L$  est la longueur de la fibre (km).

*Remarque* – L'équipement et la procédure indiqués ci-dessus ne comprennent que les caractéristiques de base essentielles de la méthode de référence. On suppose que dans le réglage détaillé des appareils, toutes les mesures nécessaires seront prises pour assurer la stabilité, l'élimination du bruit, etc., ainsi que dans toute procédure d'informatique y compris l'échantillonnage, les fonctions de pondération, la troncature, etc., on veillera à assurer un bon équilibre entre les avantages et les inconvénients des techniques choisies.

Il convient d'inclure dans les résultats le détail de ces procédures avec des informations quantitatives.

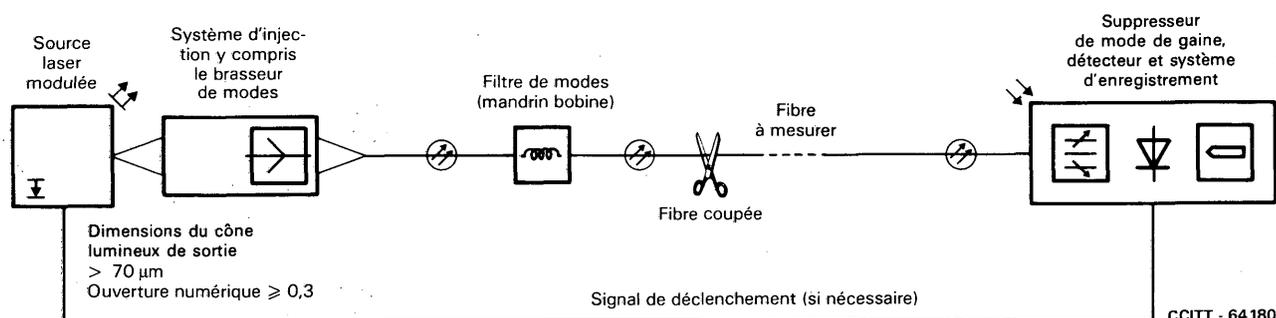


FIGURE B-11/G.651

Diagramme type de dispositif expérimental

## CARACTÉRISTIQUES DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES MONOMODES

(Malaga-Torremolinos, 1984; modifiée à Melbourne, 1988)

Le CCITT,

*considérant*

(a) que les câbles à fibres optiques monomodes sont largement utilisés dans les réseaux de télécommunication;

(b) que les applications prévues peuvent demander plusieurs sortes de fibres monomodes se différenciant par:

- les caractéristiques géométriques,
- la longueur d'onde de fonctionnement,
- la dispersion d'affaiblissement, la longueur d'onde de coupure et d'autres caractéristiques optiques,
- les aspects relevant de la mécanique et de l'environnement.

(c) que des Recommandations relatives à différentes sortes de fibres monomodes pourront être élaborées lorsque les études concernant leur utilisation pratique auront suffisamment progressé,

*recommande*

une fibre monomode à longueur d'onde de dispersion nulle dans la région des longueurs d'onde de 1300 nm, optimisée pour utilisation aux longueurs d'onde autour de 1300 nm et pouvant aussi être utilisée autour de 1550 nm (longueur d'onde pour laquelle la fibre n'est pas optimisée).

Cette fibre peut être utilisée pour les transmissions analogique et numérique.

Les caractéristiques géométriques, optiques et de transmission de cette fibre sont décrites ci-après ainsi que les méthodes de mesure applicables.

La signification des termes utilisés dans la présente Recommandation est donnée dans l'annexe A et les directives à suivre lors des mesures destinées à vérifier les diverses caractéristiques sont données dans l'annexe B. A l'avenir, lorsque d'autres Recommandations sur des fibres monomodes seront adoptées, les annexes A et B pourront constituer des Recommandations distinctes.

### 1 Caractéristiques des fibres

Seules sont recommandées au § 1 les caractéristiques des fibres qui fournissent, en vue de leur fabrication, un cadre minimal essentiel de conception. Parmi celles-ci, la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée risque d'être profondément affectée par la construction du câble ou par son installation. En tout état de cause, 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.

La présente Recommandation s'applique aux fibres ayant un champ de mode nominalement circulaire.

#### 1.1 Diamètre du champ de mode

La valeur nominale du diamètre du champ de mode à 1300 nm doit se situer entre 9 et 10  $\mu\text{m}$ . Ce diamètre ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 10\%$  de cette valeur nominale.

*Remarque 1* – On retient généralement une valeur de 10  $\mu\text{m}$  pour les structures à gaine adaptée et une valeur de 9  $\mu\text{m}$  pour les structures à gaine déprimée. Le choix d'une valeur comprise entre 9  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  n'est cependant pas nécessairement lié à un type de fibre bien précis.

*Remarque 2* – Il convient de noter que la qualité de la fibre, nécessaire à une application donnée, dépend davantage des paramètres essentiels de la fibre et du système, tels que le diamètre du champ de mode, la longueur d'onde de coupure, la dispersion totale, la longueur d'onde de fonctionnement du système et le débit ou la fréquence binaire de fonctionnement, que de la structure spécifique de la fibre.

*Remarque 3* – La valeur moyenne du diamètre du champ de mode peut, en fait, différer des valeurs nominales précitées à condition que toutes les fibres se situent à  $\pm 10\%$  des valeurs nominales spécifiées.

## 1.2 Diamètre de la gaine

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de la gaine est de 125  $\mu\text{m}$ . Ce diamètre ne doit pas s'écarter de plus de  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ) de cette valeur nominale.

Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccords, on pourra fixer d'autres tolérances.

## 1.3 Erreur de concentricité du champ de mode

La valeur recommandée pour l'erreur de concentricité du champ de mode à 1300 nm ne devrait pas excéder 1  $\mu\text{m}$ .

*Remarque 1* – Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccords, des valeurs allant jusqu'à 3  $\mu\text{m}$  peuvent convenir.

*Remarque 2* – L'erreur de concentricité du champ de mode et l'erreur de concentricité du cœur représentée par la lumière transmise en utilisant des sources de longueurs d'onde autres que 1300 nm (y compris des sources de lumière blanche) s'équivalent. En règle générale, l'écart entre le centre du profil de l'indice de réfraction et l'axe de la gaine représente aussi l'erreur de concentricité du champ de mode, mais si l'on constate quelque divergence entre l'erreur de concentricité du champ de mode mesurée selon la méthode de mesure de référence, et l'erreur de concentricité du cœur, c'est la première des deux qui constituera la référence.

## 1.4 Non-circularité

### 1.4.1 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 normale-ment pas nécessaire de mesurer la non-circularité du champ de mode lors des essais de recette.

### 1.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine doit être inférieure à 2%. Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccords, on pourra fixer d'autres tolérances.

## 1.5 Longueur d'onde de coupure

On peut distinguer deux types principaux de longueurs d'onde de coupure:

- a) longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  d'une fibre à revêtement primaire, conformément à la RTM appropriée à la fibre;
- b) longueur d'onde de coupure  $\lambda_{cc}$  d'une fibre câblée dans une condition de déploiement conformément à la RTM appropriée au câble.

La corrélation des valeurs mesurées de  $\lambda_c$  et de  $\lambda_{cc}$  dépend de la fibre considérée et de la conception du câble, des conditions de mesure, etc. Si l'on a en général  $\lambda_{cc} < \lambda_c$ , il est cependant malaisé d'établir une relation quantitative. Il est d'une extrême importance d'assurer une transmission monomode dans la longueur de câble minimale entre les raccords à la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système. On peut traiter la question de deux façons:

- 1) recommander que  $\lambda_c$  soit inférieure à 1280 nm; lorsqu'une limite plus basse est appropriée,  $\lambda_c$  doit dépasser 1100 nm;
- 2) recommander que  $\lambda_{cc}$  soit inférieure à 1270 nm.

*Remarque* – Une marge suffisante pour la longueur d'onde devrait être assurée entre la longueur d'onde de fonctionnement la plus basse possible du système  $\lambda_s$  de 1270 nm et la longueur d'onde de coupure la plus élevée possible du câble  $\lambda_{cc}$ . Plusieurs Administrations préconisent une longueur d'onde maximale  $\lambda_{cc}$  de 1260 nm pour tenir compte des variations d'échantillonnage des fibres et des variations de longueur d'onde des sources en raison des tolérances, de la température et des effets dus au vieillissement.

Il n'est pas nécessaire de faire intervenir les deux spécifications à la fois. Les usagers peuvent choisir de spécifier  $\lambda_c$  ou  $\lambda_{cc}$  selon leurs besoins et les applications particulières qu'ils envisagent. Dans ce dernier cas, il doit être entendu que  $\lambda_c$  peut dépasser 1280 nm.

Si l'utilisateur choisit de spécifier  $\lambda_c$  comme dans 1), il n'est pas nécessaire de mesurer  $\lambda_{cc}$ .

Si l'utilisateur choisit de spécifier  $\lambda_{cc}$ , il peut être toléré que  $\lambda_c$  soit plus grande que la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système, en comptant que les effets de la fabrication et de l'installation du câble fourniront des valeurs de  $\lambda_{cc}$  inférieures à la longueur d'onde minimale de fonctionnement du système pour la longueur de câble la plus courte entre deux épissures.

Si l'utilisateur choisit de spécifier  $\lambda_{cc}$ , un essai d'homologation peut suffire pour vérifier que la condition relative à  $\lambda_{cc}$  est respectée.

## 1.6 Perte de qualité de fonctionnement sur 1550 nm

Si des fibres monomodes optimisées pour 1300 nm sont destinées à être utilisées dans la région de longueur d'onde des 1550 nm, l'augmentation de perte pour 100 spires de fibre à bobinage peu serré avec un rayon de 37,5 mm, et mesurée à 1550 nm, sera inférieure à 1,0 dB.

*Remarque 1* – Un essai de qualification peut être suffisant pour vérifier que cette condition est satisfaite.

*Remarque 2* – La valeur de 100 spires indiquée ci-dessus correspond au nombre approximatif de spires déployées dans tous les cas d'épissure d'une portée typique de répéteur. Le rayon de 37,5 mm est équivalent au rayon de courbure minimal généralement accepté dans la pratique pour le déploiement à long terme de fibres dans des installations de systèmes, afin d'éviter les pannes dues aux contraintes statiques et de fatigue.

*Remarque 3* – Si pour des raisons pratiques, on choisit une configuration de moins de 100 spires pour procéder à cet essai, il ne faudrait pas descendre au-dessous de 40 spires, mais tolérer une augmentation de perte proportionnellement plus faible.

*Remarque 4* – S'il est prévu d'utiliser des rayons de courbure inférieurs à 37,5 mm (par exemple 30 mm) dans des cas d'épissure ou dans d'autres parties du système, il est suggéré que la même valeur de perte de 1,0 dB soit appliquée pour 100 spires de fibres déployées avec ce rayon plus faible.

*Remarque 5* – La recommandation relative à la perte due à la courbure pour 1550 nm a trait au déploiement de fibres dans des installations pratiques de fibres monomodes. L'influence sur la perte de qualité de fonctionnement de rayons de courbure assimilés à la torsade de fibres monomodes câblées est comprise dans les caractéristiques de perte de la fibre câblée.

*Remarque 6* – Au cas où des essais de routine sont nécessaires et afin de faciliter la mesure de la sensibilité à la courbure sur 1550 nm, on peut utiliser une boucle de faible diamètre à une ou plusieurs spires et comportant plusieurs spires au lieu de procéder à l'essai avec 100 spires. Le diamètre de la boucle et la perte de courbure maximale admise doivent être choisis de manière à correspondre à la recommandation de perte de 1,0 dB de l'essai fonctionnel de 100 spires avec rayon de 37,5 mm pour la conception particulière de la fibre à mesurer.

## 1.7 Propriétés matérielles des fibres

### 1.7.1 Matériaux composant les fibres

Il convient d'indiquer les matériaux dont les fibres sont faites.

*Remarque* – On peut être amené à prendre certaines précautions lorsque l'on raccorde par fusion des fibres faites de matériaux différents. Les résultats préliminaires indiquent que l'on peut obtenir un affaiblissement d'épissurage et une tenue d'épissure de qualité satisfaisante lors du raccordement de fibres différentes à haute teneur en silice.

### 1.7.2 Matériaux protecteurs

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) doivent être indiquées. Dans le cas de fibres à enveloppe unique, il convient de donner des indications analogues.

## 1.8 Profil de l'indice de réfraction

Il n'est généralement pas nécessaire de connaître le profil de l'indice de réfraction; si on souhaite le mesurer, on peut utiliser la méthode de mesure de référence de la Recommandation G.651.

## 1.9 Exemples de directives pour la conception des fibres

Le supplément n° 33 contient un exemple de directives par le conception de fibres (fibres à gaine adaptée) utilisées par des organisations.

## 2 Spécifications relatives à la longueur de fabrication

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 1 n'étant que peu affectées par le processus de câblage, on trouvera dans le présent § 2 des recommandations portant essentiellement sur les caractéristiques de transmission des longueurs câblées en usine.

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

### 2.1 Affaiblissement linéique

Les câbles à fibres optiques dont traite la présente Recommandation ont généralement des coefficients d'affaiblissement inférieurs à 1,0 dB/km dans la région des 1300 nm et à 0,5 dB/km dans la région des 1550 nm.

*Remarque* – Les valeurs les plus basses dépendent du processus de fabrication, de la composition et de la conception de la fibre, ainsi que de la conception du câble. On a obtenu des valeurs se situant entre 0,3 et 0,4 dB/km dans la région des 1300 nm et entre 0,15 et 0,25 dB/km dans la région des 1550 nm.

### 2.2 Coefficient de dispersion chromatique

Le coefficient maximal de dispersion chromatique aura les valeurs suivantes:

- la gamme autorisée de longueur d'onde de dispersion nulle entre  $\lambda_{omin} = 1295$  nm et  $\lambda_{omax} = 1322$  nm;
- la valeur maximale  $S_{omax} = 0,095$  ps/(nm<sup>2</sup> · km) de la pente de dispersion nulle.

Les limites du coefficient de dispersion chromatique pour toute longueur d'onde  $\lambda$  dans la gamme des 1270-1340 nm seront calculées de la façon suivante:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_{omin}^4}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_{omax}^4}{\lambda^3} \right]$$

*Remarque 1* – Les valeurs de  $\lambda_{omin}$ ,  $\lambda_{omax}$  et de  $S_{omax}$  produisent des amplitudes du coefficient de dispersion chromatique  $|D_1|$  et  $|D_2|$  égales ou inférieures aux coefficients de dispersion chromatique maximale (voir tableau ci-après):

Longueur d'onde (nm)	Coefficient de dispersion maximale [ps/(nm · km)]
1285 - 1330	3,5
1270 - 1340	6
1550	20

(Une exception se produit à 1285 nm, lorsque la valeur de  $|D_2|$  est de 3,67 ps/(nm · km). Une valeur inférieure serait obtenue en réduisant  $S_{omax}$  ou  $\lambda_{omax}$ ; ce point nécessite un complément d'étude.)

*Remarque 2* – L'utilisation de ces formules dans la région des 1550 nm devrait être considérée avec prudence.

*Remarque 3* – Pour des systèmes de haute capacité (par exemple,  $4 \times 140$  Mbit/s ou plus), ou de grande longueur, il peut être nécessaire de spécifier une gamme plus restreinte de  $\lambda_{omin}$ ,  $\lambda_{omax}$  ou, si possible, de choisir une valeur de  $S_{omax}$  plus petite.

*Remarque 4* – Il n'est pas nécessaire de mesurer périodiquement la dispersion chromatique totale des fibres monomodes.

### 3 Sections élémentaires de câble

Une section élémentaire de câble comprend habituellement un certain nombre de longueurs de fabrication épissurées. Les spécifications portant sur les longueurs de fabrication sont données au § 2 de la présente Recommandation. Les paramètres de transmission des sections élémentaires de câble doivent tenir compte non seulement des caractéristiques de fonctionnement des diverses longueurs de câble, mais aussi, entre autres facteurs, des pertes par épissurage et des pertes dues au connecteur (le cas échéant).

#### 3.1 Affaiblissement

L'affaiblissement  $A$  d'une section élémentaire de câble est donné par la formule:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

où

$\alpha_n$  = affaiblissement linéique de la  $n$ ième fibre dans une section élémentaire de câble

$L_n$  = longueur de la  $n$ ième fibre

$m$  = nombre total de fibres groupées dans une section élémentaire de câble

$a_s$  = affaiblissement d'épissurage moyen

$x$  = nombre d'épissures dans une section élémentaire de câble

$a_c$  = affaiblissement moyen des connecteurs de ligne

$y$  = nombre de connecteurs de ligne dans une section élémentaire de câble (s'il y a lieu).

Il faut prévoir une marge de câble appropriée pour tenir compte des modifications futures de la configuration du câble (épissures supplémentaires, longueurs supplémentaires, effets du vieillissement, variations de température, etc.).

Cette formule ne tient pas compte de l'affaiblissement dans les connecteurs d'équipements.

Les termes  $a_s$  et  $a_c$  sont des valeurs moyennes. Le bilan d'affaiblissement qui sert à la conception d'un système réel doit tenir compte des variations statistiques de ces deux termes.

#### 3.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, en ps, peut être calculée à partir des coefficients de dispersion chromatique des longueurs de fabrication, en supposant une relation linéaire avec la longueur, et en tenant dûment compte des signes des coefficients et des caractéristiques du système (voir le § 2.2).

## ANNEXE A

(à la Recommandation G.652)

### Signification des termes utilisés dans la présente Recommandation

Les termes qui figurent dans la présente annexe sont propres aux fibres monomodes. Les autres termes employés dans la présente Recommandation ont la même signification que celle qui est donnée dans l'annexe A à la Recommandation G.651.

#### A.1 diamètre du champ de mode

On trouve le diamètre du champ de mode  $2w$  en appliquant une des définitions suivantes. Les limites d'intégration sont indiquées de 0 à  $\infty$ , mais il est entendu que cette notation implique que les intégrales soient tronquées dans la limite d'argument croissant. Bien que la valeur physique maximale de l'argument  $q$  soit  $\frac{1}{\lambda}$ , les intégrales approchent zéro rapidement, longtemps avant que cette valeur ne soit atteinte.

i) **DOMAINE DE CHAMP LOINTAIN:** Dans ce domaine, trois applications de mesures différentes sont possibles:

a) **OBSERVATION DE CHAMP LOINTAIN:** La distribution de l'intensité du champ lointain  $F^2(q)$  est mesurée en fonction de l'angle de champ lointain  $\theta$ , et le diamètre du champ de mode (MFD) à la longueur d'onde  $\lambda$  est

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 2 \frac{\int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq}{\int_0^{\infty} q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \text{ où } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (1)$$

b) **OBSERVATION «ARÊTE EN LAME DE COUTEAU»:** La fonction de transmission de puissance «arête en lame de couteau»  $K(x)$  est mesurée en fonction du décalage latéral sur l'arête en lame de couteau  $x$  avec le plan de l'arête en lame de couteau séparé par une distance  $D$  de la fibre, et le diamètre du champ de mode est

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \frac{\int_0^{\infty} K'(x) q^2 dq}{\int_0^{\infty} K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \text{ où } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ et } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (2)$$

c) **TECHNIQUE D'OUVERTURE VARIABLE:** La fonction de transmission de puissance de l'ouverture complémentaire  $a(x)$  est mesurée en fonction du rayon d'ouverture  $x$  avec le plan de l'ouverture séparé par une distance  $D$  de la fibre, et le diamètre du champ de mode est

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \int_0^{\infty} a(x) q dq \right]^{-1/2}, \text{ où } x = D \tan \theta \text{ et } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (3)$$

ii) **DOMAINE DE RACCORDEMENT DÉCALÉ:** Le coefficient de transmission de puissance  $T(\delta)$  est mesuré en fonction du décalage transversal  $\delta$  et

$$2w = 2 \left[ -2 \frac{T(0)}{\left[ \frac{d^2 T}{d\delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

iii) **DOMAINE DE CHAMP PROCHE:** La distribution de l'intensité du champ proche  $f^2(r)$  est mesurée en fonction de la coordonnée radiale  $r$  et

$$2w = 2 \left[ 2 \frac{\int_0^{\infty} r f^2(r) dr}{\int_0^{\infty} r \left[ \frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

*Remarque* – L'équivalence mathématique de ces définitions résulte des relations de transformations entre les résultats de mesure obtenus par différentes applications qui sont résumés dans la figure A-1/G.652.

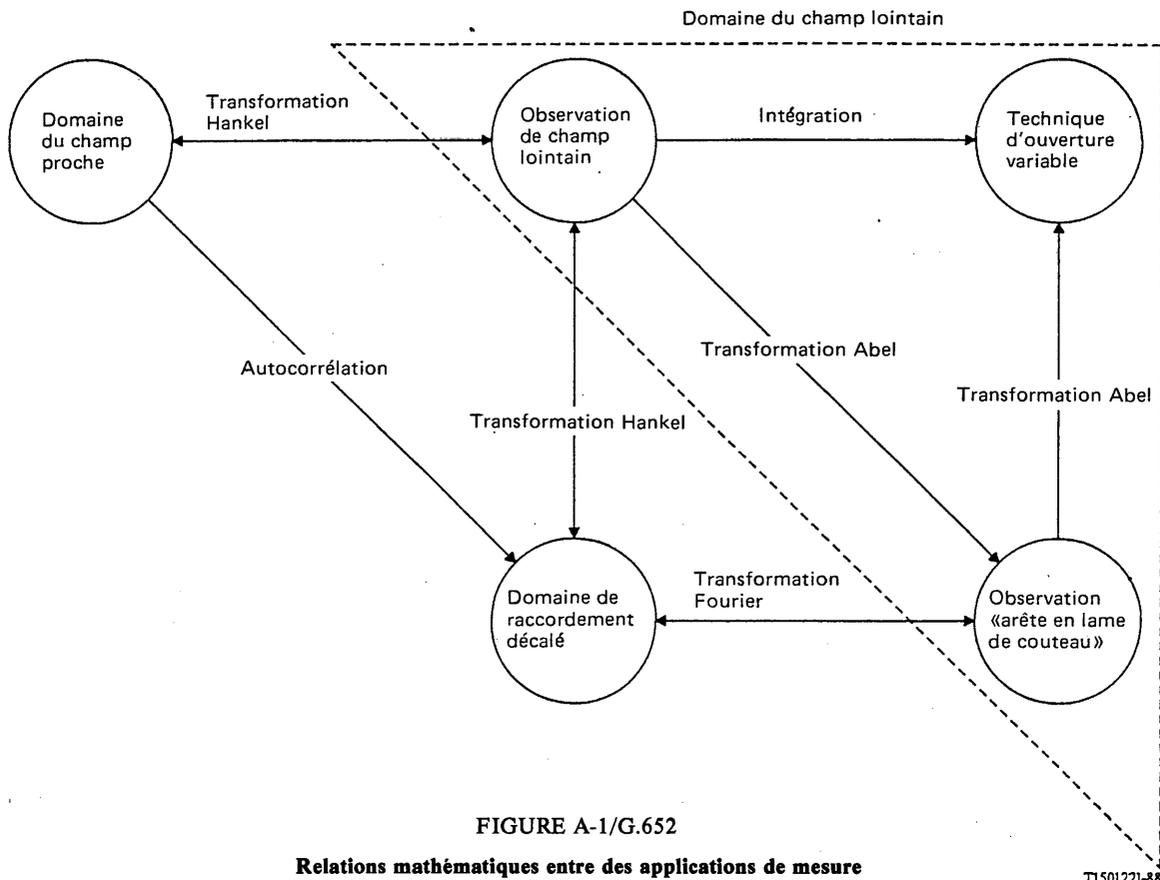


FIGURE A-1/G.652  
Relations mathématiques entre des applications de mesure

TL501221-88

#### A.2 surface de la gaine

La surface extérieure du verre qui comprend la fibre optique.

#### A.3 centre de surface de la gaine

Pour une section efficace d'une fibre optique, c'est la position du centre du cercle qui s'adapte le mieux au lieu de la surface de la gaine dans la section efficace donnée.

*Remarque* – La méthode de la meilleure adaptation doit être spécifiée et est actuellement en cours d'étude.

#### A.4 diamètre de la surface de la gaine

Le diamètre du cercle définissant le centre de la gaine.

*Remarque* – Pour une fibre nominale circulaire, le diamètre de la surface de la gaine dans toute orientation de la section efficace est la distance la plus grande qui passe sur la gaine.

#### A.5 non-circularité de la surface de la gaine

La différence entre le diamètre maximal et le diamètre minimal de la surface de la gaine ( $D_{max}$  et  $D_{min}$ ) (en ce qui concerne le centre commun de la surface de la gaine) divisée par le diamètre nominal de la gaine,  $D$ , c'est-à-dire

$$\text{Non-circularité} = (D_{max} - D_{min}) / D$$

*Remarque* – Les diamètres maximal et minimal de la surface de la gaine sont respectivement les distances les plus grandes et les plus petites entre les deux intersections d'une ligne allant du centre de la gaine à la surface de la gaine.

## A.6 champ de mode

Le champ de mode est la distribution du champ monomode qui donne lieu à une distribution d'intensité spatiale dans la fibre.

## A.7 centre du champ de mode

Le centre de champ de mode est la position du centroïde de la distribution d'intensité spatiale dans la fibre.

*Remarque 1* – Le centroïde est situé à  $\bar{r}_c$ , qui est l'intégrale d'intensité pondérée normalisée du vecteur d'intégration  $\vec{r}$ .

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{SURFACE}} \vec{r} I(\vec{r}) dS / \iint_{\text{SURFACE}} I(\vec{r}) dS$$

*Remarque 2* – Pour les fibres étudiées dans la présente Recommandation, la correspondance entre la position de centroïde définie ci-dessus et la position de la distribution maximale d'intensité spatiale nécessite des études complémentaires.

## A.8 erreur de concentricité du champ de mode

La distance entre le centre du champ de mode et le centre de la surface de la gaine.

## A.9 non-circularité du champ de mode

Puisqu'il faut normalement mesurer la non-circularité du champ de mode à des fins d'acceptation (comme cela est dit au § 1.4.1), une définition de la non-circularité du champ de mode n'est pas nécessaire dans le présent contexte.

## A.10 longueur d'onde de coupure

La longueur d'onde de coupure est la longueur d'onde supérieure à celle pour laquelle le rapport entre la puissance totale, y compris les modes injectés d'ordre plus élevé, et la puissance de mode fondamentale, a diminué jusqu'au-dessous d'une valeur spécifiée, l'excitation des modes étant pratiquement uniforme.

*Remarque 1* – Par définition, la valeur spécifiée est de 0,1 dB pour un segment de fibre d'une longueur de 2 m, pratiquement rectiligne, comportant une seule boucle d'un rayon de 140 nm.

*Remarque 2* – La longueur d'onde de coupure définie dans la présente Recommandation est généralement différente de la longueur d'onde de coupure théorique qui peut être calculée à partir du profil de l'indice de réfraction de la fibre. La longueur d'onde de coupure théorique est un paramètre moins utile pour déterminer la performance de la fibre dans le réseau de télécommunication.

*Remarque 3* – Deux types de longueurs d'onde de coupure sont décrits dans le § 1.5:

- i) une longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  mesurée dans une longueur courte de la fibre à revêtement primaire non câblée;
- ii) une longueur d'onde de coupure  $\lambda_{cc}$  mesurée dans une fibre câblée se trouvant dans une condition de déploiement.

Pour éviter le bruit de granulation et la dispersion, la longueur d'onde de coupure  $\lambda_{cc}$  de la plus courte longueur de câble (y compris les longueurs nécessaires aux réparations, le cas échéant), doit être inférieure à la plus petite longueur d'onde prévue pour le système,  $\lambda_s$ :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1)$$

De la sorte, chaque section de câble individuelle est suffisamment monomode. Tout raccord imparfait créera une quelconque puissance de mode d'ordre supérieur ( $LP_{11}$ ), et les fibres monomodes se prêtent généralement à ce mode sur une courte distance (de l'ordre de quelques mètres, selon les conditions de déploiement). Il convient donc de spécifier une distance minimale entre les raccords, afin que la fibre soit assez longue pour affaiblir le mode  $LP_{11}$  avant que celui-ci ne parvienne au raccord suivant. Si l'inégalité (1) est satisfaite dans la plus courte section de câble, elle le sera *a fortiori* dans les sections de câble de plus grande longueur et le système monomode pourra fonctionner quelle que soit la longueur de la section élémentaire de câble.

Spécifier  $\lambda_{cc} < \lambda_s$  pour la plus courte longueur de câble (y compris les boucles dans les chemises des épissures) garantit le fonctionnement monomode. Toutefois, il est souvent plus commode de mesurer  $\lambda_c$ , ce qui ne demande qu'une longueur de deux mètres de fibre non câblée.  $\lambda_c$  dépend du type, de la longueur et du rayon de courbure de la fibre tandis que  $\lambda_{cc}$  dépend en outre de la structure particulière du câble. La relation entre  $\lambda_c$  et  $\lambda_{cc}$  dépend donc à la fois de la conception de la fibre et de celle du câble. En général,  $\lambda_c$  dépasse  $\lambda_{cc}$  de plusieurs dizaines de nm;  $\lambda_c$  peut même être plus grande que la longueur d'onde du système, sans violer l'inégalité (1). Des valeurs supérieures de  $\lambda_c$  produisent un confinement plus serré du mode  $LP_{01}$  et contribuent ainsi à réduire les pertes potentielles de courbure dans la région des 1550 nm de longueur d'onde.

De courtes longueurs de fibre (< 20 m) sont fréquemment attachées aux sources et aux détecteurs et servent également de jarretières aux interconnexions. La longueur d'onde de coupure de ces fibres, telles qu'elles sont montées, devrait aussi être inférieure à  $\lambda_s$ . Au nombre des moyens disponibles pour éviter le bruit de mode dans ce cas, on relève:

- a) la seule sélection de fibres ayant une valeur  $\lambda_c$  assez basse pour ces utilisations;
- b) le montage de ces fibres avec de faibles rayons de courbure.

#### A.11 dispersion chromatique

Dispersion d'une impulsion lumineuse dans une fibre optique causée par la différence des vitesses de propagation des diverses longueurs d'onde qui constituent le spectre de la source.

*Remarque* – La dispersion chromatique peut être due à une ou à plusieurs des causes suivantes: dispersion par le matériau, dispersion du guide d'ondes ou dispersion du profil. La dispersion due à la polarisation ne suscite pas d'effets appréciables dans les fibres à symétrie circulaire.

#### A.12 coefficient de dispersion chromatique

Dispersion chromatique par largeur de spectre d'une source unitaire et unité de longueur de fibre. Il est généralement exprimé en ps/(nm · km).

#### A.13 pente de dispersion nulle

Pente du coefficient de dispersion chromatique par rapport à la courbe de la longueur d'onde à la longueur d'onde pour laquelle la dispersion est nulle.

#### A.14 longueur d'onde de dispersion nulle

Longueur d'onde à laquelle disparaît la dispersion chromatique.

## ANNEXE B

(à la Recommandation G.652)

### Méthodes de mesure pour les fibres monomodes

On trouvera en général dans la présente annexe la méthode de mesure de référence ainsi que des méthodes de mesure de remplacement pour chaque paramètre, les deux types de méthodes étant censés convenir aux fins de recette de produits normaux. Toutefois, si avec une méthode de remplacement on constate la moindre incohérence, il est recommandé d'employer la méthode de référence pour obtenir les résultats de mesure définitifs.

#### B.1 – Section I – Méthodes de mesure du diamètre du champ de mode des fibres monomodes

##### B.1.1 Méthode de mesure de référence du diamètre du champ de mode des fibres monomodes

###### B.1.1.1 Objectif

Le diamètre du champ de mode peut se déterminer dans le domaine du champ lointain d'après la distribution d'intensité du champ lointain,  $F^2(q)$ , d'après la fonction de transmission «arête en lame de couteau»,  $K(x)$ , ou d'après la fonction de transmission de puissance de l'ouverture complémentaire  $\alpha(x)$ ; dans le domaine du raccordement décalé d'après le carré de la fonction d'autocorrélation,  $T(\delta)$ ; dans le domaine du champ proche d'après la distribution d'intensité du champ proche  $f^2(r)$ ; conformément aux définitions équivalentes figurant au § A.1 de l'annexe A à la Recommandation G.652.

### B.1.1.2 *Équipement de mesure*

#### B.1.1.2.1 *Considérations générales*

Pour les mesures du champ proche, il est nécessaire d'utiliser une optique de grossissement qui donne une image de l'extrémité de sortie de la fibre dans le plan du détecteur. Pour les mesures de raccordement décalé, il est nécessaire d'utiliser un dispositif qui permette de traverser une extrémité de la fibre placée vis-à-vis d'une autre fibre. Pour les trois mesures de champ lointain, il est nécessaire d'utiliser des dispositifs d'observation appropriés.

#### B.1.1.2.2 *Source lumineuse*

La source lumineuse doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables pendant une durée assez longue pour que l'on puisse mener à bien la mesure. On doit choisir pour la source des caractéristiques spectrales de nature à empêcher tout fonctionnement multimode.

#### B.1.1.2.3 *Modulation*

Il est d'usage de moduler la source lumineuse pour améliorer le signal/bruit au récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur sera relié au système de traitement du signal synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit avoir des caractéristiques de sensibilité fondamentalement linéaires.

#### B.1.1.2.4 *Conditions d'injection*

Les conditions d'injection utilisées doivent être suffisantes pour exciter le mode fondamental ( $LP_{01}$ ). A titre d'exemple de conditions d'injection appropriées, on peut citer:

- a) le raccordement avec une fibre,
- b) l'injection avec un système optique approprié.

On doit veiller à ce que les modes d'ordre plus élevé ne se propagent pas. Il peut alors être nécessaire pour les éliminer d'introduire une boucle de rayon approprié ou un autre filtre de mode.

#### B.1.1.2.5 *Suppresseurs de mode de gaine*

Des précautions doivent être prises pour empêcher la propagation et la détection des modes de gaine.

#### B.1.1.2.6 *Echantillon*

L'échantillon consistera en une longueur courte de la fibre à mesurer. On retirera le revêtement primaire de la section de fibre insérée dans le supprimeur de mode, si on utilise un tel supprimeur. Les extrémités des fibres doivent être propres, lisses et perpendiculaires à leurs axes. Il est recommandé que les faces extrêmes soient planes et perpendiculaires aux axes de la fibre à moins de  $1^\circ$  près. Pour la méthode de raccordement décalé, on coupera la fibre en deux portions de longueur sensiblement égales.

#### B.1.1.2.7 *Appareillage de décalage ou d'exploration*

Étant donné la distribution caractéristique des fibres de la Recommandation G.653 (étroite dans le champ proche et large dans le champ lointain) par rapport aux fibres de la Recommandation G.652, des précautions supplémentaires, dont le détail est donné ci-après, doivent être prises.

L'un des éléments suivants doit être utilisé:

##### I *Domaine du champ lointain*

##### a) *Système d'exploration de champ lointain*

On utilisera un mécanisme pour explorer le faisceau de champ lointain (par exemple, un photodétecteur à balayage ayant une ouverture en «trou d'aiguille» ou un photodétecteur à balayage muni d'une amorce). L'exploration peut être soit angulaire, soit linéaire. Le détecteur doit être au moins à 20 mm de l'extrémité de la fibre, et la zone active du détecteur ne doit pas sous-tendre un angle trop important dans le champ lointain. Cela peut être assuré en plaçant le détecteur à une distance de l'extrémité de la fibre supérieure à  $20wb/\lambda$ ,  $2w$  étant le diamètre du champ de mode attendu de la fibre à mesurer et  $b$  le diamètre de la zone active du détecteur. Le demi-angle d'exploration doit être de  $25^\circ$  ou plus. Sinon, l'exploration doit atteindre au moins  $-50$  dB de l'intensité de l'angle nul.

b) *Assemblage «arête en lame de couteau»*

Il est nécessaire de disposer d'un mécanisme pour explorer une «arête en lame de couteau» linéairement dans une direction orthogonale à l'axe de la fibre et au bord de la lame. La lumière transmise par l'«arête en lame de couteau» est rassemblée et focalisée dans le détecteur. L'équipement optique collecteur doit avoir une ouverture numérique de 0,4 ou plus.

c) *Assemblage d'ouverture*

On utilisera un mécanisme contenant au moins 12 ouvertures couvrant la gamme semi-angulaire d'ouvertures numériques de 0,02 à 0,4. La lumière transmise par l'ouverture est rassemblée et focalisée dans le détecteur.

II *Domaine du raccordement décalé*

*Raccord traversant*

On réalisera ce raccord de telle sorte que l'on puisse régler le décalage relatif des axes de la fibre. Il est recommandé que l'on dispose d'un moyen de mesurer le décalage à moins de 0,1  $\mu\text{m}$ . La puissance optique transmise par le raccord traversant est mesurée par un détecteur. Des précautions particulières doivent être prises en ce qui concerne la précision et l'exactitude de l'appareillage de décalage.

III *Domaine du champ proche*

*Système optique donnant une image, pour la méthode du champ proche*

On emploiera un système optique grossissant (par exemple, un objectif de microscope) pour projeter une image agrandie du champ proche de la fibre sur le plan d'un détecteur à balayage (par exemple, un photodétecteur à balayage comportant une ouverture des dimensions d'un trou d'aiguille ou un photodétecteur à balayage muni d'une amorce). On choisira une ouverture numérique et un grossissement qui soient compatibles avec la résolution spatiale souhaitée. Aux fins d'étalonnage, il faudra que le grossissement du système optique ait été mesuré au préalable lors de l'exploration d'un spécimen dont les dimensions seront connues par ailleurs avec une précision suffisante.

*Remarque* – L'ouverture numérique de l'optique de réception en I b) et I c) doit être assez grande pour ne pas affecter les résultats des mesures.

B.1.1.2.8 *Détecteur*

On utilisera un détecteur approprié. La caractéristique de sensibilité de ce détecteur doit être linéaire.

B.1.1.2.9 *Amplificateur*

Il convient d'employer un amplificateur afin d'augmenter le niveau du signal.

B.1.1.2.10 *Stockage des données*

Le niveau du signal mesuré peut être enregistré et traité conformément à la méthode utilisée.

B.1.1.2.11 *Procédure de mesure*

L'extrémité d'injection de la fibre sera alignée sur le faisceau d'injection, et son extrémité de sortie sera alignée sur le dispositif de sortie approprié.

On utilisera l'une des procédures suivantes:

I *Domaine du champ lointain*

- a) En explorant le détecteur dans des échelons fixes, on peut mesurer la distribution d'intensité du champ lointain  $F^2(q)$ , et calculer le diamètre du champ de mode à partir du § A.1, équation (1) de l'annexe A.
- b) La puissance émise par l'«arête en lame de couteau» est mesurée en fonction de la position de l'arête en lame de couteau. Cette fonction  $K(x)$  est différenciée et l'on peut trouver le diamètre du champ de mode dans le § A.1, équation (2) de l'annexe A.
- c) La puissance émise par chaque ouverture  $P(x)$  est mesurée, et la fonction d'émission de l'ouverture complémentaire  $a(x)$  est donnée par la formule suivante:

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{max}}$$

où  $P_{max}$  est la puissance émise par l'ouverture la plus large et  $x$  est le rayon d'ouverture. Le diamètre du champ de mode est calculé à partir du § A.1, équation (3) de l'annexe A.

## II *Domaine du raccordement décalé*

En décalant transversalement le raccord dans des échelons discrets, on peut mesurer le coefficient d'émission de puissance  $T(\delta)$ , et calculer le diamètre du champ de mode à partir du § A.1, équation (4) de l'annexe A.

## III *Domaine du champ proche*

Le champ proche de la fibre est agrandi par un système optique grossissant et projeté sur le plan du détecteur. La projection sera accomplie avec la précision maximale en vue de réduire les erreurs dimensionnelles dues à l'exploration d'une image déréglée. La distribution d'intensité du champ proche,  $f^2(r)$ , est explorée et le diamètre du champ de mode est calculé à partir du § A.1, équation (5) de l'annexe A. Alternativement, la distribution d'intensité du champ proche  $f^2(r)$  peut être transformée dans le domaine du champ lointain en utilisant une transformation Hankel et le champ éloigné transformé qui en résulte  $F^2(q)$  peut être utilisé pour calculer le diamètre du champ de mode à partir du § A.1, équation (1) de l'annexe A.

### B.1.1.2.12 *Présentation des résultats*

Les détails suivants doivent être indiqués:

- a) La méthode de mesure utilisée, y compris le montage réalisé à cet effet, le dynamique du système de mesure, les algorithmes de traitement, ainsi qu'une description des appareils destinés à produire l'image, le décalage ou l'exploration (y compris l'angle d'exploration ou l'ouverture numérique, le cas échéant).
- b) Si la méthode de raccordement décalé est utilisée, il faut indiquer la méthode d'adaptation employé.
- c) Les conditions d'injection.
- d) La longueur d'onde et la largeur de raie spectrale LTMH de la source.
- e) L'identification de la fibre et sa longueur.
- f) Le type de suppresseur de mode et de filtre (s'il y a lieu).
- g) Le grossissement de l'appareil (s'il y a lieu).
- h) Le type et les dimensions du détecteur.
- i) La température de l'échantillon et les conditions ambiantes (lorsque cela est nécessaire).
- j) L'indication de la précision et de la reproductibilité des mesures.
- k) Le diamètre du champ de mode.

*Remarque* – Comme pour les autres méthodes de mesure, l'appareillage et la procédure indiqués ci-dessus ne traitent que des caractéristiques de base essentielles de la méthode de mesure de référence. Il est supposé que l'instrumentation détaillée incorporera toutes les mesures nécessaires pour assurer la stabilité, l'élimination du bruit, le rapport signal/bruit, etc.

## B.2 – Section II – *Méthodes de mesure pour les caractéristiques géométriques, à l'exclusion du diamètre du champ de mode*

### B.2.1 *Méthode de mesure de référence: technique de champ proche émis*

#### B.2.1.1 *Considérations générales*

On utilisera la technique de champ proche émis pour la mesure des caractéristiques géométriques des fibres optiques monomodes. Ces mesures sont effectuées conformément aux définitions pertinentes.

La mesure est fondée sur l'observation de l'image ou des images agrandies de l'extrémité extérieure de la fibre dans le cadre de mesures effectuées sur la ou les sections efficaces où est placé le détecteur.

#### B.2.1.2 *Équipement de mesure*

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est illustré en figure B-1/G.652.

##### B.2.1.2.1 *Source lumineuse*

Pour éclairer le cœur, on utilisera une source lumineuse de 1550 nm nominal d'intensité réglable. Son assise, son intensité et sa longueur d'onde doivent être stables pendant une durée assez longue pour que l'on puisse mener à bien la procédure de mesure. On peut choisir les caractéristiques spectrales de nature à empêcher tout fonctionnement multimode. Une deuxième source lumineuse ayant des caractéristiques similaires peut être utilisée, si nécessaire, pour éclairer la gaine. Les caractéristiques spectrales de la deuxième source lumineuse ne doivent pas dérégler l'image.

#### B.2.1.2.2 Conditions d'injection

L'optique d'injection, qui sera utilisée pour la «surinjection» des fibres, donnera un faisceau de lumière à un foyer situé sur l'extrémité d'entrée plate de la fibre.

#### B.2.1.2.3 Filtre de mode

Dans la mesure, il est nécessaire d'assurer un fonctionnement monomode à la longueur d'onde de mesure. A cette fin, il peut être nécessaire d'ajouter en amont une courbure pour éliminer le mode  $LP_{11}$ .

#### B.2.1.2.4 Suppresseur de mode de gaine

Un supprimeur de mode de gaine approprié sera utilisé pour interrompre la propagation de puissance optique dans la gaine. Ce supprimeur doit être en fonction si l'on mesure les caractéristiques géométriques de la seule gaine.

#### B.2.1.2.5 Spécimen

Le spécimen doit être un court segment de la fibre optique à mesurer. Les extrémités des fibres doivent être propres, lisses et perpendiculaires à leurs axes.

#### B.2.1.2.6 Equipement optique d'agrandissement

L'équipement optique d'agrandissement sera composé d'un système optique (par exemple, un objectif de microscope), qui agrandit la sortie du spécimen dans le champ proche, en la focalisant dans le plan du détecteur d'analyse. L'ouverture numérique, et par conséquent la puissance de résolution de l'équipement optique, doit être compatible avec la précision de mesure requise et ne pas être inférieure à 0,3. L'agrandissement doit être choisi de façon à être compatible avec la résolution spatiale souhaitée, et doit être enregistré.

Les techniques de cisaillement d'image pourraient être utilisées dans l'optique d'agrandissement pour faciliter la précision des mesures.

*Remarque* – La validité de la technique de cisaillement d'image est à l'étude et doit encore être confirmée.

#### B.2.1.2.7 Détecteur

Il faut employer un détecteur approprié qui fournit l'intensité point à point du ou des diagrammes de champ proche émis. Par exemple, l'une des techniques suivantes peut être utilisée:

- a) photodétecteur d'analyse avec ouverture en trou d'épingle;
- b) miroir d'analyse avec ouverture en trou d'épingle et photodétecteur fixes;
- c) dispositifs vidicon d'analyse, à couplage de charge, ou autres dispositifs de reconnaissance des formes/intensités.

Le détecteur doit avoir un comportement linéaire (ou linéarisé) pour toute la gamme des intensités rencontrées.

#### B.2.1.2.8 Amplificateur

Un amplificateur peut être employé pour augmenter le niveau du signal. La largeur de bande de l'amplificateur sera choisie en fonction du type d'analyse utilisé. Lorsqu'on analyse l'extrémité de la fibre avec des systèmes mécaniques ou optiques, on module généralement la source optique. Si cette procédure est adoptée, l'amplificateur doit être lié à la fréquence de modulation de la source.

#### B.2.1.2.9 Stockage des données

On peut enregistrer la répartition d'intensité mesurée, la traiter et la présenter sous une forme appropriée, conformément à la technique d'analyse et aux spécifications.

#### B.2.1.3 Procédure

##### B.2.1.3.1 Etalonnage de l'équipement

Pour l'étalonnage de l'équipement, il faut mesurer l'agrandissement du système optique en analysant l'image d'un spécimen dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision. Cet agrandissement doit être enregistré.

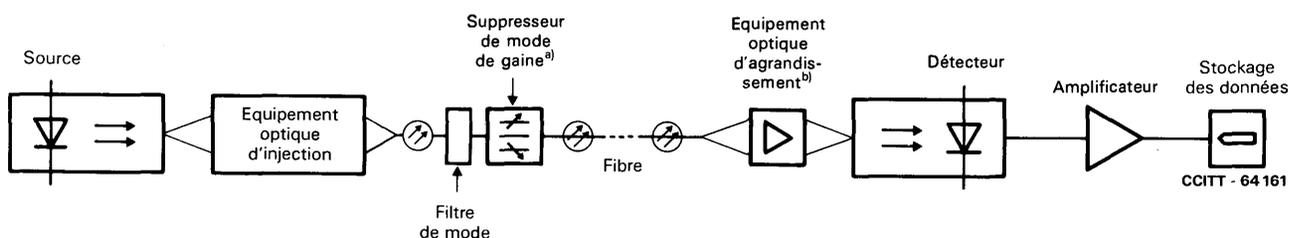
### B.2.1.3.2 Mesure

L'extrémité d'injection de la fibre doit être alignée sur le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre sur l'axe de l'équipement optique d'agrandissement. Pour la mesure de champ proche émis, l'image ou les images focalisées de l'extrémité de sortie de la fibre doivent être analysées par le détecteur, conformément aux spécifications. La focalisation doit être faite avec une précision maximale, afin de réduire les erreurs de dimensions dues à l'analyse d'une image non focalisée. Les paramètres géométriques souhaités sont alors calculés conformément aux définitions.

### B.2.1.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- schéma de l'appareil de mesure, avec indication de la technique d'analyse utilisée;
- conditions d'injection;
- caractéristiques spectrales de la source;
- identification et longueur de la fibre;
- type de supprimeur de mode et de filtre (le cas échéant);
- agrandissement de l'optique spécialisée;
- type et dimensions du détecteur d'analyse;
- conditions de température et d'environnement (si nécessaire);
- indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- paramètres dimensionnels qui en résultent tels que diamètre de la gaine, non-circularités de la gaine, erreur de concentricité du champ de mode, etc.



a) S'il y a lieu.

b) Y compris l'équipement optique de cisaillement d'image, s'il y a lieu.

FIGURE B-1/G.652

Organisation type du dispositif de mesure du champ émis

### B.2.2 Méthode de mesure de remplacement: technique d'analyse du champ proche réfracté

La présente technique est décrite dans la Recommandation G.651. Les niveaux de décision sur les diverses interfaces de différence de l'indice de réfraction sont définis comme suit:

Cœur/gaine	50%
Gaine/fluide d'adaptation de l'indice	50%

Des analyses de la géométrie conformes aux termes de l'annexe A, Recommandation G.652, peuvent être réalisées par l'exploration canevassée du spot lumineux d'entrée.

### B.2.3 Méthode de mesure de remplacement: la technique de vision latérale

La validité de la méthode de vision latérale pour les fibres de la Recommandation G.653 demande à être confirmée.

#### B.2.3.1 Objectif

La méthode de vision latérale est appliquée aux fibres monomode afin de déterminer les paramètres géométriques (l'erreur de concentricité du champ de mode, le diamètre de la gaine optique et la non-circularité de la gaine optique) en mesurant la distribution d'intensité de la lumière réfractée à l'intérieur de la fibre.

### B.2.3.2 *Équipement de mesure*

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est représenté à la figure B-2/G.652.

#### B.2.3.2.1 *Source lumineuse*

La lumière émise doit être collimatée, réglable en intensité et son assise, son intensité et sa longueur d'onde doivent être stables sur une période assez longue pour que l'on puisse mener à bien la procédure de mesure. Une source lumineuse stable et de forte intensité telle qu'une diode photoémettrice (LED) peut être utilisée.

#### B.2.3.2.2 *Echantillon*

L'échantillon à mesurer doit être une fibre monomode de faible longueur. Le revêtement primaire sera éliminé de la section observée. La surface de la fibre doit être maintenue propre pendant les mesures.

#### B.2.3.2.3 *Équipement optique d'agrandissement*

L'équipement optique d'agrandissement doit se composer d'un système optique (par exemple un objectif de microscope) qui amplifie la distribution d'intensité de la lumière réfractée à l'intérieur de la fibre dans le plan du détecteur à balayage. Le plan d'observation doit être fixé à une distance déterminée en avant de l'axe de la fibre. L'agrandissement doit être choisi de manière à être compatible avec la résolution spatiale désirée et doit être enregistré.

#### B.2.3.2.4 *Détecteur*

Un détecteur approprié sera utilisé afin de déterminer la distribution d'intensité agrandie dans le plan d'observation sur une ligne perpendiculaire à l'axe de la fibre. On utilisera un tube vidicon ou un dispositif à charge couplée. Le détecteur doit avoir des caractéristiques linéaires dans la gamme de mesures requise. La résolution du détecteur doit être compatible avec la résolution spatiale désirée.

#### B.2.3.2.5 *Traitement des données*

On utilisera un ordinateur et le logiciel approprié pour analyser les distributions d'intensité.

### B.2.3.3 *Procédure*

#### B.2.3.3.1 *Étalonnage de l'équipement*

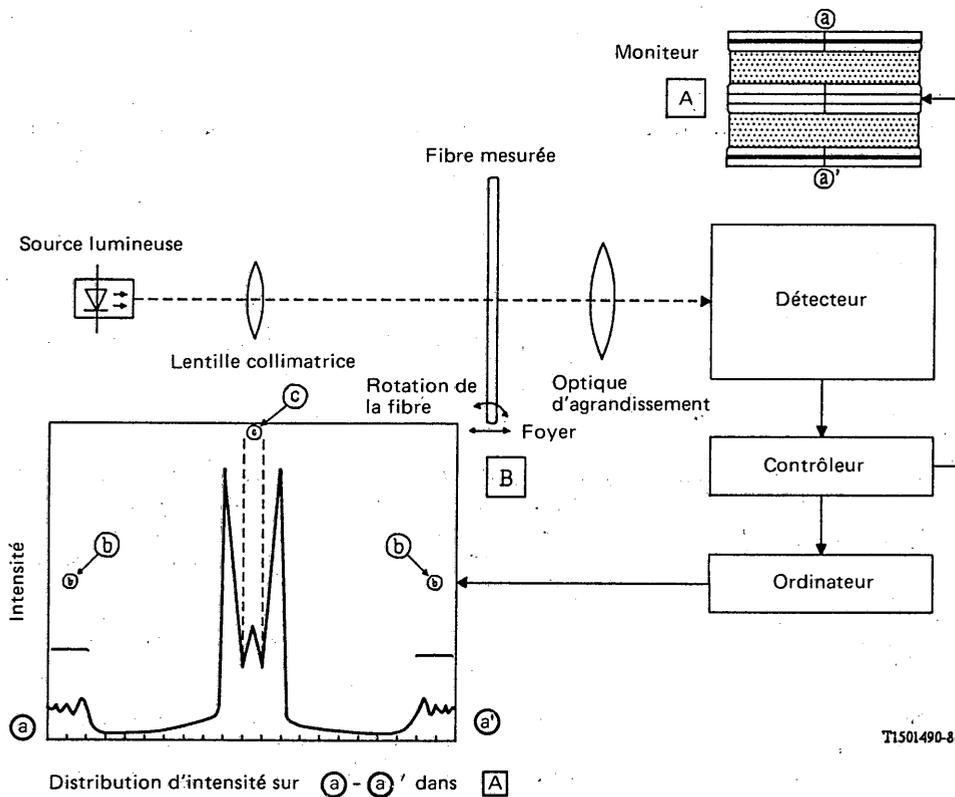
Pour étalonner l'équipement, on mesurera l'agrandissement de l'optique d'agrandissement en balayant la longueur d'un échantillon dont les dimensions sont déjà connues avec une précision appropriée. Cet agrandissement doit être enregistré.

#### B.2.3.3.2 *Mesure*

La fibre d'essai est fixée dans le porte-échantillon et placée dans le système optique. La fibre est ajustée de telle sorte que son axe soit perpendiculaire à l'axe optique du système de mesure.

Les distributions d'intensité dans le plan d'observation sur la ligne perpendiculaire à l'axe de la fibre ((a) – (a') dans [A] sur la figure B-2/G.652) sont enregistrées (indiquées comme [B]) pour différentes directions d'observation en faisant pivoter la fibre autour de son axe, la distance entre l'axe de la fibre et le plan d'observation demeurant constante. Le diamètre de la gaine optique et la position centrale de la fibre sont déterminés par analyse de la symétrie du schéma de diffraction (indiqué par [C]). La position centrale de l'âme est déterminée par analyse de la distribution d'intensité de la lumière après convergence (indiquée par [D]). La distance entre la position centrale de la fibre et celle de l'âme correspond à la valeur nominale observée de l'erreur de concentricité du champ de mode.

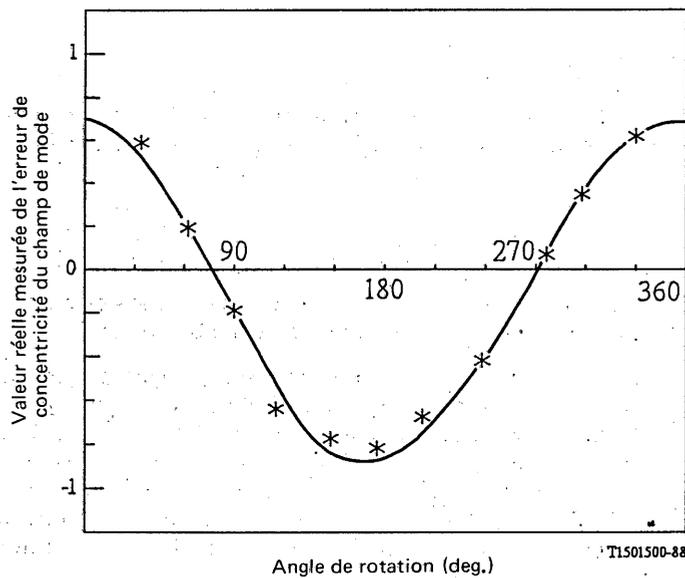
Comme le montre la figure B-3/G.652, l'adaptation de la courbe de la fonction sinusoïdale aux valeurs obtenues expérimentalement pour l'erreur de concentricité du champ de mode en fonction de l'angle de rotation, on peut calculer l'erreur réelle de concentricité du champ de mode en faisant le produit de l'amplitude maximale de la fonction sinusoïdale et du facteur d'agrandissement par rapport à l'effet de lentille dû à la structure cylindrique de la fibre. Le diamètre de la gaine optique est évalué sous la forme d'une valeur moyenne de diamètres de la fibre mesurés à chaque angle de rotation, ce qui donne des valeurs maximales et minimales du diamètre permettant d'établir la valeur de la non-circularité de la gaine conformément à la définition.



T1501490-88

FIGURE B-2/G.652

Schéma de principe d'un système de mesure



T1501500-88

FIGURE B-3/G.652

Valeur mesurée de l'erreur de concentricité du champ de mode en fonction de l'angle de rotation

### B.2.3.3.3 *Présentation des résultats*

Les détails suivants doivent être présentés:

- a) arrangement pour les mesures;
- b) identification de la fibre;
- c) caractéristiques spectrales de la source;
- d) indication de la possibilité de répétition et de la précision;
- e) courbe de l'erreur de concentricité du champ de mode en fonction de l'angle de rotation;
- f) erreur de concentricité du champ de mode, diamètre de la gaine optique et non-circularité de la gaine optique;
- g) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

### B.2.4 *Méthode de mesure de remplacement: la technique de l'image du champ proche émis.*

#### B.2.4.1 *Considérations générales*

On utilisera la technique de l'image du champ proche émis pour la mesure des caractéristiques géométriques des fibres optiques monomodes. Ces mesures sont effectuées conformément aux définitions pertinentes.

La mesure est fondée sur l'analyse de l'image agrandie de l'extrémité extérieure de la fibre dans le cadre de mesures effectuées.

#### B.2.4.2 *Équipement de mesure*

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est illustré en figure B-4/G.652.

##### B.2.4.2.1 *Source lumineuse*

Pour éclairer le cœur, on utilisera une source lumineuse d'intensité réglable et dont l'assise et l'intensité soient stables pendant une durée assez longue pour que l'on puisse mener à bien la procédure de mesure. Une deuxième source lumineuse ayant des caractéristiques similaires peut être utilisée, si nécessaire, pour éclairer la gaine. Les caractéristiques spectrales de la deuxième source lumineuse ne doivent pas dérégler l'image.

##### B.2.4.2.2 *Conditions d'injection*

L'optique d'injection, qui sera utilisée pour la «surinjection» des fibres, donnera un faisceau de lumière à un foyer situé sur l'extrémité d'entrée plate de la fibre.

##### B.2.4.2.3 *Suppresseur de mode de gaine*

Un supprimeur de mode de gaine approprié peut être utilisé pour supprimer toute propagation de puissance optique dans la gaine. Si l'on mesure seulement les caractéristiques géométriques de la gaine, le supprimeur de mode de gaine sera déconnecté.

##### B.2.4.2.4 *Spécimen*

Le spécimen doit être un court segment de la fibre optique à mesurer. Les extrémités des fibres doivent être propres, lisses et perpendiculaires à leurs axes.

##### B.2.4.2.5 *Équipement optique d'agrandissement*

L'équipement optique d'agrandissement sera composé d'un système optique (par exemple, un objectif de microscope), qui agrandit la sortie du spécimen dans le champ proche. L'ouverture numérique, et par conséquent la puissance de résolution de l'équipement optique, doit être compatible avec la précision de mesure requise et ne pas être inférieure à 0,3. L'agrandissement doit être choisi de façon à être compatible avec la résolution spatiale souhaitée, et doit être enregistré.

Les techniques de cisaillement d'image pourraient être utilisées dans l'optique d'agrandissement pour faciliter la précision des mesures.

#### B.2.4.2.6 Détection

L'image de la fibre sera examinée et analysée. On peut, par exemple, appliquer l'une des techniques suivantes:

- a) cisaillement d'image<sup>1)</sup>
- b) analyse de l'échelle des gris d'une image enregistrée électroniquement.

#### B.2.4.2.7 Stockage des données

Les données peuvent être enregistrées, traitées et présentées sous une forme appropriée, en fonction des besoins de la technique et des spécifications.

#### B.2.4.3 Procédure

##### B.2.4.3.1 Etalonnage de l'équipement

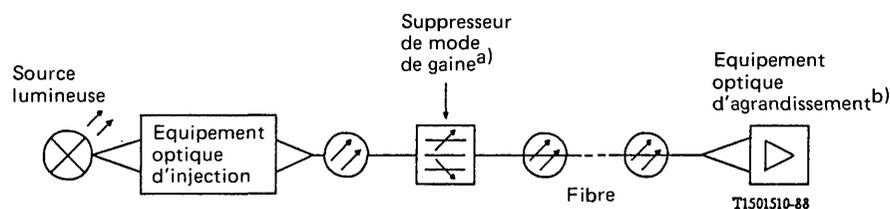
Pour l'étalonnage de l'équipement, il faut mesurer l'agrandissement du système optique en analysant l'image d'un échantillon dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision. Cet agrandissement doit être enregistré.

##### B.2.4.3.2 Mesure

L'extrémité d'injection de la fibre doit être alignée sur le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre sur l'axe de l'équipement optique d'agrandissement. Pour la mesure de champ proche émis, l'image ou les images focalisées de l'extrémité de sortie de la fibre doivent être examinées, conformément aux spécifications. Les paramètres géométriques souhaités sont alors calculés. Les erreurs dues à une défocalisation devraient être minimisées afin de réduire les erreurs sur la mesure des dimensions.

#### B.2.4.4 Présentation des résultats

- a) schéma de l'appareil de mesure, avec indication de la technique utilisée;
- b) conditions d'injection;
- c) caractéristiques spectrales de la source;
- d) identification et longueur de la fibre;
- e) agrandissement de l'appareil;
- f) conditions de température et d'environnement (si nécessaire);
- g) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- h) paramètres dimensionnels qui en résultent tels que diamètre de la gaine, non-circularités de la gaine, erreur de concentricité du champ de mode, etc.



a) S'il y a lieu.

b) Y compris l'équipement optique de cisaillement d'image, s'il y a lieu.

FIGURE B-4/G.652

Organisation type du dispositif de mesure du champ émis

<sup>1)</sup> La validité de cette technique est à l'étude et doit être confirmée.

### **B.3 – Section III – Méthodes de mesure pour la longueur d'onde de coupure**

#### **B.3.1 Méthodes de mesure de référence pour la longueur d'onde de coupure ( $\lambda_c$ ) d'une fibre (sous revêtement primaire): technique de la puissance émise**

##### **B.3.1.1 Objectifs**

La mesure de la longueur d'onde de coupure des fibres monomodes permet de confirmer leur fonctionnement monomodal réel à partir d'une longueur d'onde particulière.

##### **B.3.1.2 Technique de la puissance émise**

Cette méthode utilise la variation en fonction de la longueur d'onde de la puissance émise sur un court segment de la fibre à mesurer et ce, dans des conditions définies, par rapport à une puissance émise de référence. Il existe deux façons d'obtenir cette puissance de référence:

- a) la fibre à mesurer est dotée d'une boucle de rayon plus faible, ou
- b) on prend un court segment (1 à 2 m) d'une fibre multimode.

##### **B.3.1.2.1 Equipement de mesure**

###### **B.3.1.2.1.1 Source lumineuse**

On utilisera une source lumineuse dont la largeur de raie ne dépasse pas 10 nm (LTMH); elle doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. Elle doit également être capable de fonctionner dans une gamme de longueurs d'onde suffisante.

###### **B.3.1.2.1.2 Modulation**

Il est d'usage de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit au récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur sera relié au système de traitement du signal synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit être très linéaire.

###### **B.3.1.2.1.3 Conditions d'injection**

Les conditions d'injection utilisées doivent être telles que les deux modes  $LP_{01}$  et  $LP_{11}$  soient excités de façon pratiquement uniforme. Par exemple, on pourrait utiliser comme techniques d'injection appropriées:

- a) le raccordement avec une fibre multimode, ou
- b) l'injection avec un système optique approprié, à gros spot et grande ouverture numérique.

###### **B.3.1.2.1.4 Suppresseur de mode de gaine**

Le supprimeur de mode de gaine est un dispositif qui facilite la conversion des modes de gaine en modes de rayonnement; en conséquence, les modes de gaine sont supprimés de la fibre. Des précautions devront être prises afin d'éviter de perturber la propagation du mode  $LP_{11}$ .

###### **B.3.1.2.1.5 Détecteur optique**

On utilisera un détecteur approprié afin d'intercepter tous les rayonnements émergeant de la fibre. La réponse spectrale doit être compatible avec les caractéristiques spectrales de la source. Le détecteur doit être uniforme et avoir une sensibilité linéaire.

##### **B.3.1.2.2 Procédure**

###### **B.3.1.2.2.1 Echantillon de mesure normal**

On procède à la mesure sur une longueur de fibre de 2 mètres. On insère cet échantillon dans l'appareil de mesure en le recourbant de manière qu'il forme une boucle unique lâche faisant un tour circulaire complet de 140 mm de rayon. Le reste de la fibre doit être essentiellement libre de toute contrainte extérieure. Bien que quelques courbures accidentelles de plus grand rayon soient admissibles, elles ne doivent pas entraîner de changement significatif du résultat de la mesure. On enregistre la puissance de sortie  $P_1(\lambda)$  en fonction de  $\lambda$ , dans une gamme suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure attendue.

*Remarque* – La présence d'un revêtement primaire sur la fibre est généralement sans effet sur la longueur d'onde de coupure. En revanche, la présence d'un revêtement secondaire peut donner pour résultat une longueur d'onde de coupure nettement inférieure à celle de la fibre munie du revêtement primaire seulement.

#### B.3.1.2.2.2 *Transmission à travers l'échantillon de référence*

On peut utiliser soit la méthode a) soit la méthode b).

- a) En utilisant l'échantillon de mesure et en maintenant les conditions d'injection fixes, on mesure une puissance de sortie  $P_2(\lambda)$  sur la même gamme de longueurs d'onde avec, dans l'échantillon de mesure, au moins une boucle de rayon suffisamment faible pour filtrer le mode  $LP_{11}$ . Une valeur type pour le rayon est de 30 mm.
- b) Avec une courte longueur (1 à 2 m) de fibre multimode, on mesure la puissance de sortie  $P_3(\lambda)$  sur la même gamme de longueurs d'onde.

*Remarque* – La présence de modes de fuite peut causer une ondulation dans le spectre de transmission de la fibre multimode de référence et affecter le résultat. Pour résoudre le problème, les conditions d'injection de la lumière peuvent être restreintes de façon à ne remplir que 70% du cœur de la fibre multimode et on peut utiliser un NA ou un filtre de mode approprié.

#### B.3.1.2.2.3 *Calculs*

Le rapport logarithmique entre les puissances émises  $P_1(\lambda)$  et  $P_i(\lambda)$  se calcule comme suit:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)]$$

où

$i = 2$  ou  $3$ , respectivement, pour les méthodes a) et b).

*Remarque* – Avec la méthode a), la petite boucle de la fibre du filtre de mode élimine tous les modes, à l'exception du mode fondamental, aux longueurs d'onde inférieures de plus de quelques dizaines de nm à la longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$ . Aux longueurs d'onde supérieures de plus de plusieurs centaines de nm à  $\lambda_c$ , même le mode fondamental peut être très affaibli par la boucle.  $R(\lambda)$  est égal au rapport logarithmique entre la puissance totale de sortie de l'échantillon, y compris la puissance du mode  $LP_{11}$  et la puissance du mode fondamental. Lorsque les modes sont uniformément excités, conformément à B.1.2.1.3,  $R(\lambda)$  donne aussi l'affaiblissement du mode  $LP_{11}$ ,  $A(\lambda)$ , exprimé en dB, dans l'échantillon de mesure:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2]$$

#### B.3.1.2.2.4 *Détermination de la longueur d'onde de coupure*

Si on utilise la méthode a),  $\lambda_c$  est la plus grande longueur d'onde à laquelle  $R(\lambda)$  est égal à 0,1 dB (voir la figure B-5/G.652).

Si l'on utilise la méthode b),  $\lambda_c$  est déterminée par l'intersection d'un tracé de  $R(\lambda)$  et d'une droite (2) translatée de 0,1 dB et parallèle à la droite (1) adaptée à la portion des grandes longueurs d'onde de  $R(\lambda)$  (voir la figure B-6/G.652).

*Remarque* – Conformément à la définition, l'affaiblissement du mode  $LP_{11}$  dans l'échantillon de mesure est de 19,3 dB à la longueur d'onde de coupure.

#### B.3.1.2.2.5 *Présentation des résultats*

Les détails suivants doivent être indiqués:

- a) schéma de l'appareil de mesure;
- b) conditions d'injection;
- c) type d'échantillon de référence;
- d) température de l'échantillon et conditions ambiantes (si nécessaire);
- e) identification de la fibre;
- f) gamme de longueurs d'onde de mesure;
- g) longueur d'onde de coupure;
- h) courbe de  $R(\lambda)$  (si nécessaire).

### B.3.2 *Méthode de mesure de remplacement pour $\lambda_c$ : technique de coupure mandrin*

#### B.3.2.1 *Objectif à B.3.2.2.1.5 Détecteur optique (comme dans B.3.1.1 à B.3.1.2.1.5)*

B.3.2.2.2 Procédure

B.3.2.2.2.1 Exemple de mesure normale

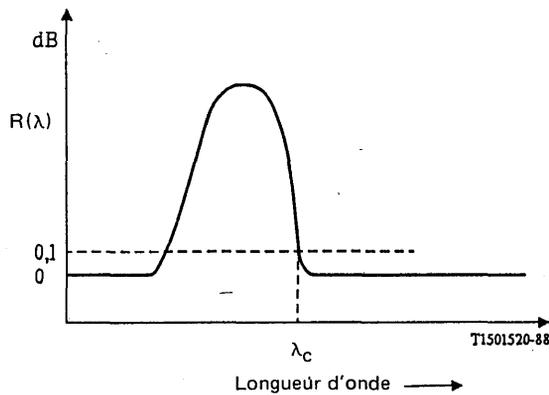


FIGURE B-5/G.652

Schéma type de longueur d'onde de coupure utilisant une référence monomode

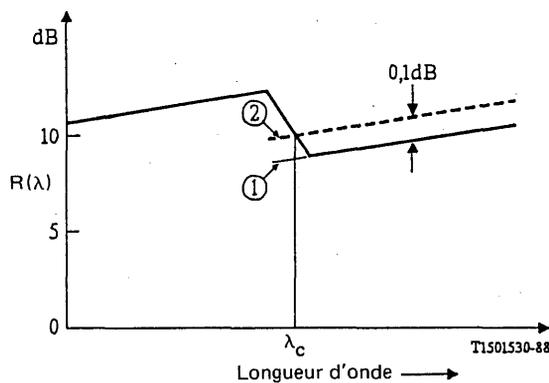


FIGURE B-6/G.652

Schéma type de longueur d'onde de coupure utilisant une référence multimode

On procède à la mesure sur une longueur de fibre de 2 m. On insère cet échantillon dans l'appareil de mesure en le recourbant de manière à former une boucle unique lâche faisant un tour circulaire complet (360 degrés) composé de deux arcs (de 180 degrés chacun), d'un rayon de 140 mm connecté par des tangentes. Le reste de la fibre doit être essentiellement libre de toute contrainte extérieure. Bien que quelques courbures accidentelles de plus grand rayon soient admissibles, elles ne doivent pas entraîner de changement significatif du résultat de la mesure. On enregistre la puissance de sortie  $P_1(\lambda)$  dans une gamme suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure attendue.

Comme cela est indiqué dans la figure B-7/G.652, le mandrin semi-circulaire inférieur se déplace pour se relâcher à partir de la boucle de la fibre, sans qu'il soit nécessaire de déplacer l'optique d'injection ou de réception ou de placer l'échantillon de la fibre sous toute tension importante.

B.3.2.2.2.2 à B.3.2.2.2.5 (comme dans B.3.1.2.2.2 à B.3.1.2.2.5)

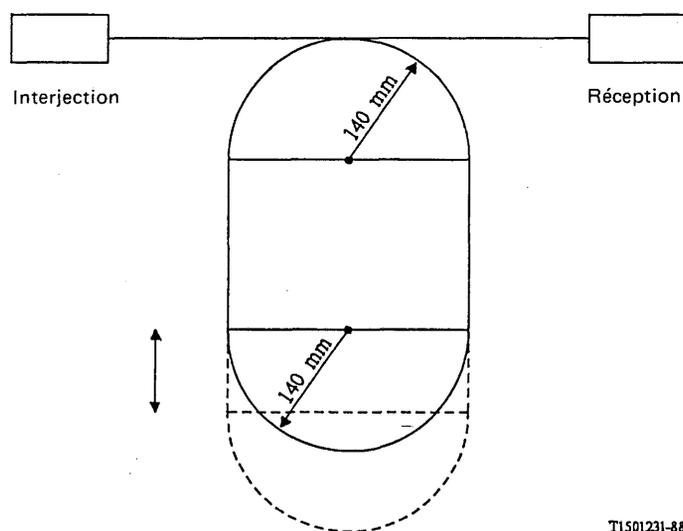


FIGURE B-7/G.652

**Déploiement de la fibre:  
Longueur d'onde de coupure par la technique de coupe/mandrin**

B.3.3 *Méthode de référence pour la longueur d'onde de coupure ( $\lambda_{cc}$ ) de la fibre câblée: technique de la puissance émise*

B.3.3.1 *Objectif*

La mesure de longueur d'onde de coupure effectuée sur des fibres monomodes câblées dans une condition de déploiement qui simule les longueurs de câbles minimales de l'installation extérieure, a pour objet de garantir un fonctionnement monomode réel au-dessus d'une certaine longueur d'onde.

B.3.3.2 *Technique de la puissance émise*

Cette méthode utilise la variation en fonction de la longueur d'onde de la puissance émise sur un court segment de fibre à mesurer, et ce dans des conditions définies, par rapport à une puissance émise de référence. Il existe deux façons d'obtenir cette puissance de référence:

- a) la fibre câblée à mesurer est dotée d'une boucle de rayon plus petite, ou
- b) on prend un court segment (1 à 2 m) d'une fibre multimode.

B.3.3.2.1 *Equipement de mesure*

B.3.3.2.1.1 *Source lumineuse* (comme dans le B.3.1.2.1.1)

B.3.3.2.1.2 *Modulation* (comme dans le B.3.1.2.1.2)

B.3.3.2.1.3 *Conditions d'injection* (comme dans le B.3.1.2.1.3)

B.3.3.2.1.4 *Suppresseur de mode de gaine* (comme dans le B.3.1.2.1.4)

B.3.3.2.1.5 *Détecteur optique* (comme dans le B.3.1.2.1.5)

### B.3.3.2.2 Procédure

#### B.3.3.2.2.1 Echantillon de mesure normale

On procède à la mesure sur une longueur de fibre monomode dans un câble. Une longueur de câble de 22 m sera préparée en exposant une longueur de fibre non câblée de 1 m à chaque extrémité, et la portion câblée de 20 m obtenue sera installée sans aucune petite courbure qui pourrait affecter la valeur de mesure. Pour simuler les effets d'un organisateur de raccordement, une boucle de XX mm de rayon sera appliquée à chaque longueur de fibre non câblée (voir figure B-8/G.652). Bien que certaines courbures accidentelles de plus grand rayon soient admissibles dans la fibre ou le câble, elles ne doivent pas entraîner de changement important dans les mesures. On enregistre la puissance de sortie  $P_i(\lambda)$  en fonction de  $\lambda$  dans une gamme suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure attendue.

*Remarque* – La valeur de XX est à l'étude. Plusieurs Administrations ont indiqué qu'une valeur de 45 mm est appropriée. Ces boucles sont prévues pour simuler des conditions de déploiement et doivent être choisies selon la pratique de chaque Administration. Une option à considérer serait de supprimer les boucles, si cela est la pratique de l'Administration.

#### B.3.3.2.2.2 Transmission à travers l'échantillon de référence (comme dans le B.3.1.2.2.2)

#### B.3.3.2.2.3 Calculs

Le rapport logarithmique entre les puissances émises  $P_i(\lambda)$  et  $P_r(\lambda)$ , est calculé comme suit:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_i(\lambda)/P_r(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

où  $i = 2$  ou  $3$ , respectivement, pour les méthodes a) ou b).

#### B.3.3.2.2.4 Détermination de la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée

Si l'on utilise la méthode a),  $\lambda_{cc}$  est la plus grande longueur d'onde à laquelle  $R(\lambda)$  est égale à 0,1 dB (voir la figure B-5/G.652). Si l'on utilise la méthode b),  $\lambda$  est déterminé par l'intersection d'un tracé de  $R(\lambda)$  et d'une ligne droite (2) translaturée de 0,1 dB et parallèle à la droite (1) adaptée à la portion des grandes longueurs d'onde de  $R(\lambda)$  (voir la figure B-6/G.652).

#### B.3.3.2.2.5 Présentation des résultats

- schéma de l'appareil de mesure (y compris le rayon XX des boucles);
- conditions d'injection;
- type d'échantillon de référence;
- température de l'échantillon et conditions ambiantes (si nécessaire);
- identification de la fibre et du câble;
- gamme de longueurs d'onde de mesure;
- longueur d'onde de coupure de la fibre câblée, et tracé de  $R(\lambda)$  (si nécessaire);
- courbe de  $R(\lambda)$  (si nécessaire).

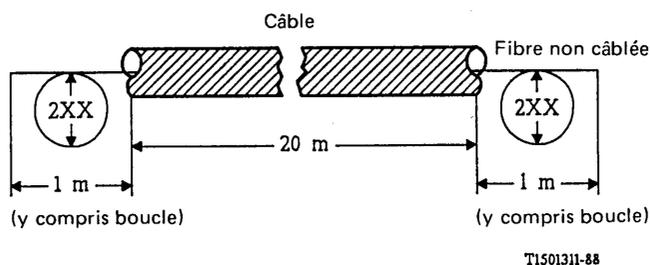


FIGURE B-8/G.652

Conditions de déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée

## B.4 – Section IV – Méthodes de mesure de l'affaiblissement

### B.4.1 Introduction

#### B.4.1.1 Objectifs

Les mesures de l'affaiblissement visent à donner le moyen d'assigner à une longueur de fibre une valeur d'affaiblissement telle que l'on puisse additionner les valeurs individuelles d'affaiblissement pour calculer l'affaiblissement total d'une longueur composée de plusieurs segments.

#### B.4.1.2 Définition

L'affaiblissement  $A(\lambda)$  à la longueur d'onde  $\lambda$  entre deux sections transversales d'une fibre séparées par la distance  $L$  est défini par la formule:

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

où  $P_1(\lambda)$  est la puissance optique traversant la section 1 et  $P_2(\lambda)$  la puissance optique traversant la section 2 à la longueur d'onde  $\lambda$ .

Pour une fibre uniforme, il est possible de calculer l'affaiblissement par unité de longueur, appelé affaiblissement linéique:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/unité de longueur}) \quad (2)$$

*Remarque* – Les valeurs d'affaiblissement spécifiées pour les longueurs de fabrication doivent être mesurées à la température ambiante (c'est-à-dire, une seule valeur comprise entre 10 °C et 35 °C).

### B.4.2 Méthode de mesure de référence: technique de la fibre coupée

La méthode de la fibre coupée est une application directe de la définition, dans laquelle on mesure les puissances  $P_1$  et  $P_2$  en deux points de la fibre sans changer les conditions d'entrée.  $P_2$  est la puissance de sortie à l'extrémité de la fibre et  $P_1$  la puissance de sortie en un point situé près de l'entrée après coupure de la fibre.

#### B.4.2.1 Equipement de mesure

Les mesures peuvent être faites à une ou plusieurs longueurs d'onde ponctuelles, à moins qu'une réponse spectrale soit exigée sur une série de longueurs d'onde. La figure B-9/G.652 montre des diagrammes d'équipements de mesure appropriés.

##### B.4.2.1.1 Source optique

On utilisera une source de rayonnement appropriée telle que lampe, laser, ou diode électroluminescente. Le choix de la source dépend du type de mesure à effectuer. La source doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables, pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. La largeur spectrale de la source (LTMH) doit être étroite par rapport à toute caractéristique de l'affaiblissement spectral de la fibre.

##### B.4.2.1.2 Modulation

Il est d'usage de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit au récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur sera relié au système de traitement du signal synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit avoir une sensibilité très linéaire.

##### B.4.2.1.3 Conditions d'injection

Les conditions d'injection doivent être suffisantes pour exciter le mode fondamental. A titre d'exemple de techniques d'injection appropriées, nous citerons:

- a) le raccordement avec une fibre;
- b) l'injection avec un système optique approprié.

##### B.4.2.1.4 Filtre de mode

Il faut que les modes d'ordre les plus élevés ne soient plus présents à la sortie de la longueur coupée. A cette fin, il peut être nécessaire d'ajouter en amont une courbure pour éliminer les modes d'ordre supérieur.

#### B.4.2.1.5 *Suppresseur de mode de gaine*

Un supprimeur de mode de gaine favorise la conversion des modes de gaine en modes de rayonnement; il permet ainsi d'éliminer les modes de gaine de la fibre.

#### B.4.2.1.6 *Détecteur optique*

On utilisera un détecteur à grande ouverture, afin d'intercepter tous les rayonnements qui émergent de la fibre. La réponse spectrale doit être compatible avec les caractéristiques spectrales de la source. La détection doit être uniforme et avoir une sensibilité linéaire.

#### B.4.2.2 *Procédure pour la mesure*

##### B.4.2.2.1 *Préparation de la fibre à mesurer*

Les extrémités de la fibre doivent être suffisamment propres, lisses et perpendiculaires à l'axe de la fibre. En ce qui concerne les mesures faites sur des fibres non câblées, il faut que la fibre soit lâche sur le touret, c'est-à-dire que la surface du touret n'introduise pas d'effets de microcourbure.

##### B.4.2.2.2 *Procédure*

- 1) La fibre à mesurer est placée dans l'appareil de mesure; on enregistre la puissance de sortie  $P_2$ .
- 2) En maintenant les conditions d'injection fixes, on coupe la fibre à la longueur voulue (par exemple, à 2 m du point d'injection). On insère le supprimeur de mode de gaine lorsque cela est nécessaire, et on enregistre ensuite la puissance  $P_1$  à la sortie du segment coupé.
- 3) On peut alors calculer l'affaiblissement entre les points où l'on a mesuré  $P_1$  et  $P_2$ , d'après la définition.

##### B.4.2.2.3 *Présentation des résultats*

Les caractéristiques suivantes seront indiquées:

- a) schéma de l'appareil de mesure, y compris le type de source, la longueur d'onde de la source et la largeur de raie (LTMH),
- b) identification de la fibre,
- c) longueur de l'échantillon,
- d) affaiblissement de l'échantillon exprimé en dB,
- e) affaiblissement linéique exprimé en dB/km,
- f) indication de la précision et de la reproductibilité,
- g) conditions de température et d'environnement (si nécessaire).

#### B.4.3 *Première méthode de mesure de remplacement: technique de la rétrodiffusion*

*Remarque* – Cette méthode d'essai décrit la procédure à suivre pour la mesure de l'affaiblissement d'un échantillon homogène de câble à fibres optiques. La technique peut être utilisée pour contrôler la continuité optique, les défauts matériels, les épissures, la lumière rétrodiffusée des câbles à fibres optiques et la longueur de la fibre.

##### B.4.3.1 *Conditions d'injection*

Dans tous les cas, afin de réduire les phénomènes de réflexion de Fresnel à l'entrée de la fibre, divers dispositifs pourront être utilisés (polariseurs ou matériaux d'adaptation de l'indice, par exemple). L'affaiblissement d'insertion devra être réduit au minimum.

##### B.4.3.2 *Appareils et procédure d'essai*

###### B.4.3.2.1 *Considérations générales*

Le niveau du signal optique rétrodiffusé est normalement faible et proche du niveau de bruit. Afin d'améliorer le rapport signal/bruit et la portée dynamique de mesure, il est d'usage d'employer une source lumineuse de forte puissance pour le traitement du signal détecté. Par ailleurs, une résolution spatiale précise peut exiger que soit réglée la durée des impulsions pour arriver à un compromis entre la résolution et l'énergie impulsionnelle. Des mesures spéciales devront être prises pour réduire au minimum les phénomènes de réflexion de Fresnel.

Il faudra veiller à ce que les modes d'ordre plus élevé ne se propagent pas.

Un exemple d'appareil est représenté sur la figure B-10a/G.652.

### B.4.3.2.2 Source optique

Il convient d'utiliser une source optique stable de forte puissance et d'une longueur d'onde appropriée. La longueur d'onde de la source doit être enregistrée. La durée et le taux de répétition des impulsions doivent être compatibles avec la résolution voulue et la longueur de la fibre. Il convient d'éliminer les effets optiques non linéaires à l'accès de la fibre à mesurer.

### B.4.3.2.3 Dispositif de couplage

Il faut utiliser un dispositif de couplage pour coupler le rayonnement incident de la source à la fibre et le rayonnement rétrodiffusé au détecteur, tout en évitant un couplage direct source-détecteur. On peut utiliser plusieurs types de dispositifs mais les dispositifs basés sur des effets de polarisation sont à éviter.

### B.4.3.2.4 Détecteur optique

On utilisera un détecteur afin d'intercepter la plus grande partie possible de la puissance rétrodiffusée. La réponse du détecteur doit être compatible avec les niveaux et les longueurs d'onde du signal détecté. Pour la mesure de l'affaiblissement, la réponse du détecteur doit être suffisamment linéaire.

Le traitement du signal est nécessaire pour améliorer le rapport signal/bruit, et il est souhaitable que la réponse du système de détection soit logarithmique.

Un amplificateur approprié doit suivre le détecteur optique, afin que le niveau du signal soit suffisant pour le traitement du signal. La largeur de bande choisie pour l'amplificateur doit représenter un compromis entre résolution temporelle et réduction de bruit.

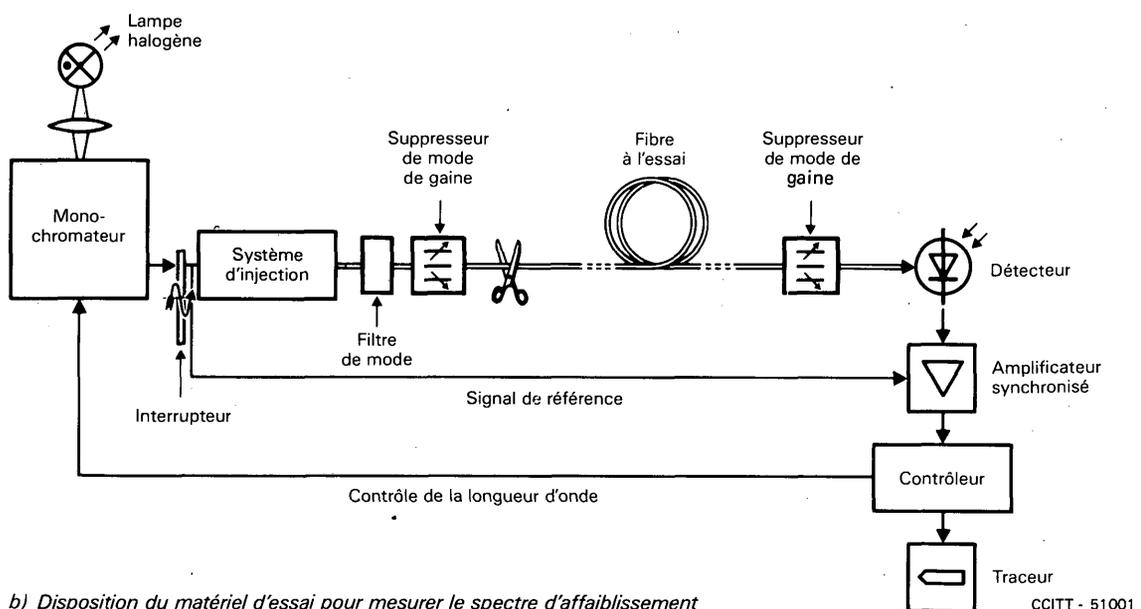
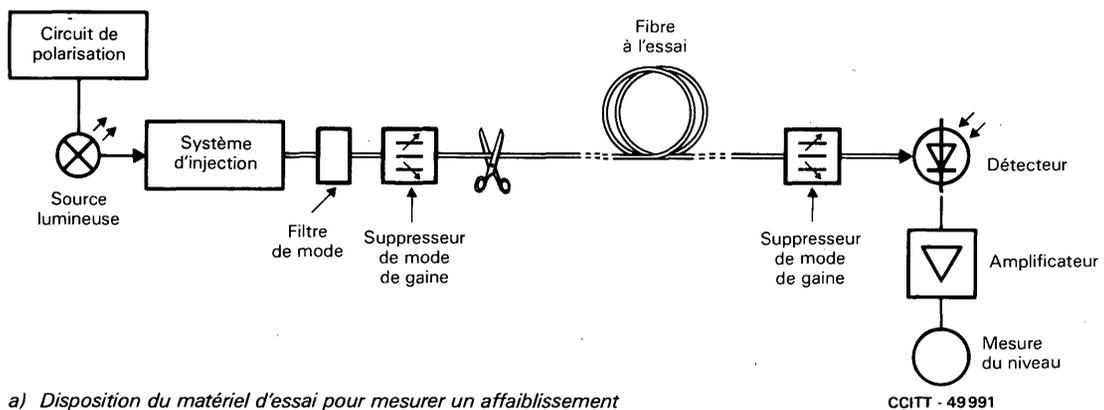


FIGURE B-9/G.652  
Technique de la fibre coupée

#### B.4.3.2.5 *Suppresseur de mode de gaine*

Voir le § B.2.1.5.

#### B.4.3.2.6 *Procédure*

- 1) La fibre à mesurer est placée dans l'alignement du dispositif de couplage.
- 2) La puissance rétrodiffusée est analysée par un processeur de signaux et enregistrée sur une échelle logarithmique. La figure B-10b/G.652 représente une courbe logarithmique type.
- 3) L'affaiblissement entre deux points A et B de la courbe, correspondant à deux sections transversales de la fibre, est donné par la formule suivante:

$$A(\lambda)_{A \rightarrow B} = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad (\text{dB})$$

dans laquelle  $V_A$  et  $V_B$  sont les niveaux de puissance respectifs indiqués sur l'échelle logarithmique.

*Remarque* – Il faut tenir compte des conditions de diffusion aux points A et B quand on calcule l'affaiblissement de cette manière.

- 4) En cas de besoin, on peut procéder à des mesures bidirectionnelles ainsi qu'à un calcul numérique pour améliorer la qualité du résultat et permettre éventuellement une distinction entre l'affaiblissement et le facteur de rétrodiffusion.

#### B.4.3.2.7 *Résultats*

Les données suivantes seront présentées à la suite de la mesure:

- a) types et caractéristiques de mesure,
- b) techniques d'injection,
- c) organisation pratique de l'essai,
- d) humidité relative et température de l'échantillon (si nécessaire),
- e) identification de la fibre,
- f) longueur de l'échantillon,
- g) temps de montée, largeur et taux de répétition de l'impulsion,
- h) type de traitement du signal,
- i) courbe enregistrée sur une échelle logarithmique, avec l'affaiblissement de l'échantillon, et dans certains cas l'affaiblissement linéique exprimé en dB/km.

*Remarque* – L'analyse complète de la courbe enregistrée (figure B-10b/G.652) montre que, indépendamment de la mesure de l'affaiblissement, de nombreux phénomènes peuvent être observés par la technique de rétrodiffusion:

- a) réflexion due au dispositif de couplage à l'extrémité d'entrée de la fibre;
- b) zone de pente constante;
- c) pertes dues à des défauts matériels, ponctuels (épissures ou couplage);
- d) réflexion due à un défaut diélectrique;
- e) réflexion à l'extrémité de la fibre.

#### B.4.4 *Deuxième méthode de mesure de remplacement: technique de l'affaiblissement d'insertion.*

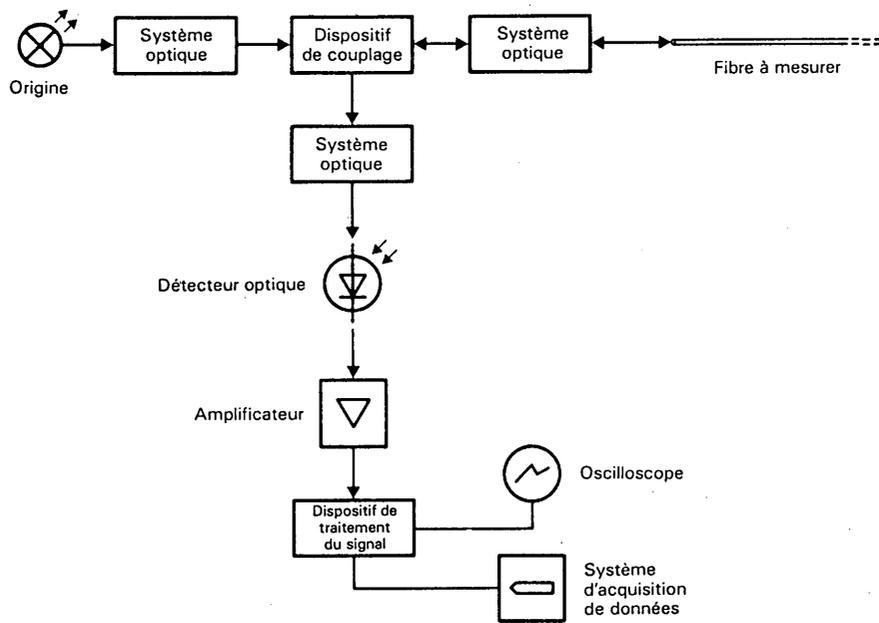
A l'étude.

### B.5 – Section V – *Méthodes de mesure du coefficient de dispersion chromatique*

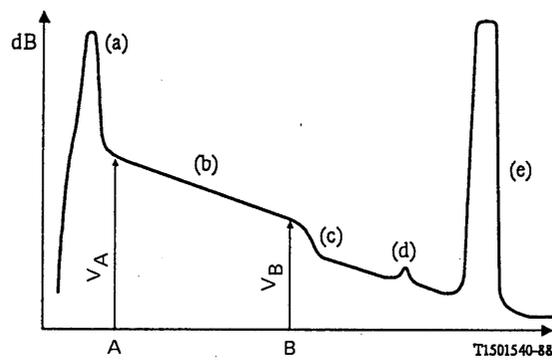
#### B.5.1 *Méthode de référence pour mesurer le coefficient de dispersion chromatique*

##### B.5.1.1 *Objectif*

Le coefficient de dispersion chromatique de la fibre est obtenu à partir de la mesure du temps de propagation relative de groupe enregistrée aux diverses longueurs d'onde au cours de la propagation sur une longueur donnée de fibre.



a) Schéma de l'appareil



b) Exemple de courbe de la puissance rétrodiffusée

FIGURE B-10/G.652

**Technique de rétrodiffusion**

Le temps de propagation de groupe peut être mesuré soit dans le domaine temporel soit dans le domaine fréquentiel, selon le type de modulation de la source.

Dans le premier cas, le temps de propagation enregistré par pulsations aux diverses longueurs d'onde est mesuré; dans le deuxième cas, le changement de phase d'un signal de modulation sinusoïdal est enregistré et traité afin d'obtenir le temps de propagation.

La dispersion chromatique peut être mesurée à une longueur d'onde donnée ou sur toute une gamme de longueurs d'onde.

**B.5.1.2 Equipement de mesure**

Un diagramme schématique de l'équipement de mesure est représenté à la figure B-11/G.652.

#### B.5.1.2.1 *Source*

Il faut utiliser une source dont l'assise, l'intensité et la longueur d'onde doivent être stables pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. On peut utiliser des diodes à laser, des diodes électroluminescentes ou des sources à large bande (par exemple, un laser YAG au Nd avec fibre Raman) selon la gamme de longueurs d'onde utilisée pour la mesure.

Dans tous les cas, le signal de modulation doit pouvoir garantir une résolution temporelle suffisante pour la mesure du temps de propagation de groupe.

#### B.5.1.2.2 *Sélection de la longueur d'onde*

Un sélecteur de longueur d'onde est utilisé pour choisir la longueur d'onde à laquelle le temps de propagation de groupe doit être mesuré. On peut avoir recours à un sélecteur optique, à un monochromateur, à des dispositifs dispersifs, à des filtres optiques, à un coupleur optique, à des connecteurs, etc., selon le type de source lumineuse et le montage de mesure. La sélection peut se faire par déclenchement des signaux d'excitation électrique pour des sources lumineuses à différentes longueurs d'onde. Le sélecteur de longueur d'onde peut être employé soit à l'extrémité d'entrée, soit à l'extrémité de sortie de la fibre à mesurer.

#### B.5.1.2.3 *Détecteur*

La lumière émergeant de la fibre à mesurer, de la fibre de référence ou du diviseur optique, etc., est couplée à un photodétecteur dont le rapport signal/bruit et la résolution temporelle sont appropriés à la mesure. Si nécessaire, le détecteur est suivi d'un amplificateur à faible bruit.

#### B.5.1.2.4 *Voie de référence*

La voie de référence peut être soit une ligne de signalisation électrique, soit une ligne de signalisation optique. Un générateur de temps de propagation approprié peut être placé sur cette voie. Dans certains cas, la fibre à mesurer elle-même peut servir de voie de référence.

#### B.5.1.2.5 *Détecteur du temps de propagation*

Le détecteur du temps de propagation doit mesurer le temps de propagation ou le déphasage entre le signal de référence et le signal de voie. Dans le cas d'une modulation sinusoïdale, on peut utiliser un voltmètre vectoriel. Dans le cas d'une modulation par impulsions, un oscilloscope à grande vitesse ou un oscilloscope à échantillonnage peut être utilisé.

#### B.5.1.2.6 *Traitement des signaux*

On peut adjoindre un dispositif de traitement des signaux afin de réduire le bruit et/ou la gigue dans la forme d'onde mesurée. Si nécessaire, on peut utiliser un ordinateur numérique pour procéder au contrôle de l'équipement, au stockage des données et à l'évaluation numérique des données.

#### B.5.1.3 *Procédure*

La fibre à mesurer est couplée de façon adéquate à la source et au détecteur au moyen du sélecteur de longueur d'onde ou du diviseur optique, par exemple. Si nécessaire, on peut étalonner le temps de propagation chromatique de la source. Il faut arriver à un compromis adéquat entre la résolution de la longueur d'onde et le niveau de signalisation. A moins que la fibre à mesurer soit également utilisée comme la ligne de voie de référence, la température de la fibre doit être suffisamment stable pendant la mesure.

Le temps de propagation ou le déphasage entre le signal de référence et le signal de voie à la longueur d'onde de fonctionnement doivent être mesurés par le détecteur du temps de propagation. On procède à un traitement des données approprié au type de modulation afin d'obtenir le coefficient de dispersion (chromatique) au niveau de la longueur d'onde en fonctionnement. Si nécessaire, un contrôle spectral du temps de propagation de groupe en fonction de la longueur d'onde peut être exécuté; on peut obtenir une courbe d'ajustement à partir des valeurs mesurées.

Le temps de propagation de groupe mesuré par longueur de fibre unitaire par rapport à la longueur d'onde doit être ajusté par l'expression quadratique suivante:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

où  $\tau_0$  est la valeur minimale du temps de propagation relatif à la longueur d'onde de dispersion nulle  $\lambda_0$ . Le coefficient de dispersion chromatique  $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$  peut être déterminé d'après l'expression quadratique différenciée suivante:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

où  $S_0$  est la pente de dispersion nulle (uniforme), c'est-à-dire la valeur de la pente de dispersion  $S(\lambda) = dD/d\lambda$  à  $\lambda_0$ .

*Remarque 1* – Ces formules pour  $\tau(\lambda)$  et  $D(\lambda)$  sont suffisamment précises dans la gamme de 1500 à 1600 nm. Elles ne sont pas censées être utilisées au voisinage de 1300 nm.

*Remarque 2* – Le coefficient de dispersion chromatique peut aussi être mesuré directement, par exemple, par la méthode du déphasage différentiel. Dans ce cas, une droite doit être ajustée directement au coefficient de dispersion pour déterminer  $\lambda_0$  et  $S_0$ .

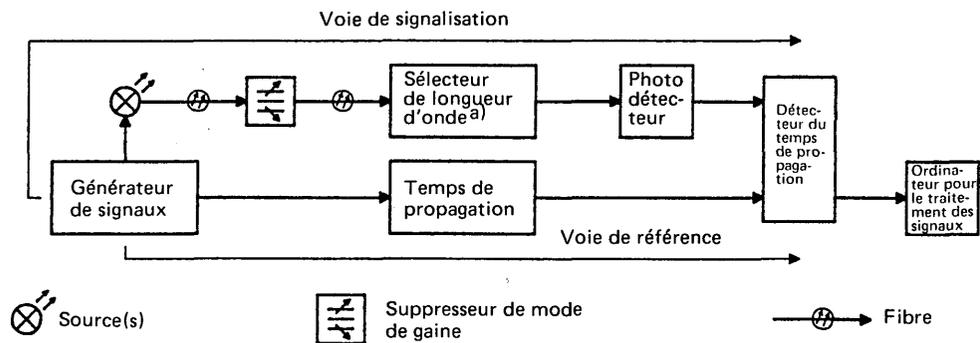
#### B.5.1.4 Présentation des résultats

Les détails suivants doivent être indiqués:

- schéma de l'appareil de mesure;
- type de modulation utilisé;
- caractéristiques de la source;
- identification et longueur de la fibre;
- caractéristiques du sélecteur de longueur d'onde (s'il en existe un);
- type de photodétecteur;
- caractéristiques du détecteur de temps de propagation;
- valeurs de la longueur d'onde de dispersion nulle et de la pente de dispersion nulle.

Si l'on utilise la technique du domaine de fréquence, le temps de propagation de groupe  $\tau$  sera déduit du décalage de phase correspondant  $\phi$  par la relation  $\tau = \phi/(2\pi f)$ ,  $f$  étant la fréquence de modulation;

- procédure d'adaptation du temps de propagation relatif à la gamme de longueurs d'onde d'adaptation utilisée;
- température de l'échantillon et conditions ambiantes (si nécessaire).



a) Si nécessaire.

FIGURE B-11/G.652

Schéma type de l'équipement de mesure

## B.5.2 *Méthode de mesure de remplacement pour le coefficient de dispersion (chromatique): la méthode de mesure interférométrique*

### B.5.2.1 *Objectif*

La méthode interférométrique permet de mesurer la dispersion (chromatique) en n'utilisant qu'une courte longueur de fibre (quelques mètres). Elle permet, ce faisant, de mesurer l'homogénéité longitudinale de la dispersion chromatique des fibres optiques. Elle permet en outre de mesurer l'effet de conditions générales ou locales, telles qu'affaiblissements dus aux changements de température et aux macrocourbures, sur la dispersion (chromatique).

Conformément au principe de la mesure interférométrique, un interféromètre Mach-Zehnder mesure la différence de temps de propagation – dépendant de la longueur d'onde – entre l'échantillon mesuré et le trajet de référence. Ce trajet de référence peut être un trajet aérien ou une fibre monomode dont on connaît le temps de propagation de groupe spectrique.

Il est à noter qu'extrapoler les valeurs de dispersion (chromatique) déduites de mesures interférométriques sur fibres de quelques mètres de longueur à des sections de fibre de grande longueur, suppose l'homogénéité longitudinale de la fibre. Cette hypothèse peut n'être pas applicable dans tous les cas.

### B.5.2.2 *Équipement de mesure*

Les figures B-12/G.652 et B-13/G.652 représentent le diagramme schématique de l'équipement de mesure utilisé avec une fibre de référence et avec, comme référence, un trajet aérien.

#### B.5.2.2.1 *Source optique*

La source doit avoir une assise, une intensité et une longueur d'onde stables, pendant une durée assez longue pour qu'on puisse mener à bien la mesure. La source doit être appropriée, par exemple, une source laser YAG avec une lampe ou un filtre Raman ou une lampe et des sources optiques DEL. Pour appliquer la technique de la synchronisation, une source lumineuse à modulation basse fréquence (de 50 à 500 Hz) suffit.

#### B.5.2.2.2 *Sélecteur de longueur d'onde*

On utilise un sélecteur de longueur d'onde pour sélectionner la longueur d'onde à laquelle le temps de propagation de groupe est mesuré. Un monochromateur, un filtre de brouillage optique, ou tout autre sélecteur de longueur d'onde, peuvent être utilisés selon le type des sources optiques et des systèmes de mesure. Le sélecteur de longueur d'onde peut être utilisé soit à l'extrémité de l'entrée, soit à l'extrémité de la sortie de la fibre à mesurer.

La largeur spectrale des sources optiques doit être limitée par la précision de la mesure de dispersion, et elle est d'environ 2 à 10 nm.

#### B.5.2.2.3 *Détecteur optique*

Le détecteur optique doit être d'une sensibilité suffisante dans la gamme de longueurs d'onde où la dispersion (chromatique) est à déterminer. Au besoin, on peut transposer vers le haut le signal reçu, par exemple, au moyen d'un circuit de transimpédance.

#### B.5.2.2.4 *Équipement de mesure*

Pour enregistrer les diagrammes d'interférence, on peut utiliser un amplificateur synchronisé. L'équilibrage de la longueur optique des deux voies de l'interféromètre s'effectue à l'aide d'un dispositif de positionnement linéaire placé dans le trajet de référence. En ce qui concerne le dispositif de positionnement, on prêtera attention à la précision, à l'uniformité et à la stabilité du mouvement linéaire. La variation de la longueur doit couvrir la gamme comprise entre 20 et 100 mm, la tolérance étant d'environ 2  $\mu$ m.

#### B.5.2.2.5 *Spécimen*

Le spécimen à tester peut être une fibre monomode non câblée ou câblée. Sa longueur doit être de 1 m à 10 m, la tolérance étant d'environ  $\pm$  1 mm. La fibre et les faces de la fibre seront soigneusement préparées.

#### B.5.2.2.6 *Traitement des données*

Pour analyser les diagrammes interférentiels, on utilisera un ordinateur et un logiciel appropriés.

B.5.2.3 Procédure

- 1) La fibre soumise à essai est placée dans l'équipement de mesure (figures B-12/G.652 et B-13/G.652). Le positionnement des faces terminales s'effectue au moyen de dispositifs micrométriques à trois dimensions, en optimisant la puissance optique reçue par le détecteur. Il est impossible que les modes de gaines soient à l'origine d'erreurs.
- 2) La détermination du temps de propagation de groupe s'effectue en équilibrant les trajets optiques des deux voies de l'interféromètre au moyen d'un dispositif de positionnement linéaire placé dans le trajet de référence pour différentes longueurs d'onde. La différence entre la position  $x_i$  du maximum du diagramme interférentiel pour la longueur d'onde  $\lambda_i$  et la position  $x_0$  (figure B-14/G.652) détermine la différence de temps de propagation de groupe  $\Delta t_g(\lambda_i)$  entre le trajet de référence et le trajet de mesure. Cette différence se calcule en appliquant la formule:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0}$$

où  $c_0$  est la vitesse de la lumière dans le vide. On calcule le temps de propagation de groupe de l'échantillon d'essai en ajoutant la valeur  $[\Delta t_g(\lambda_i)]$  et le temps de propagation de groupe spectrique du trajet de référence. La division de cette somme par la longueur de la fibre soumise à l'essai donne la mesure du temps de propagation de groupe par unité de longueur  $\tau(\lambda)$  de la fibre soumise aux essais.

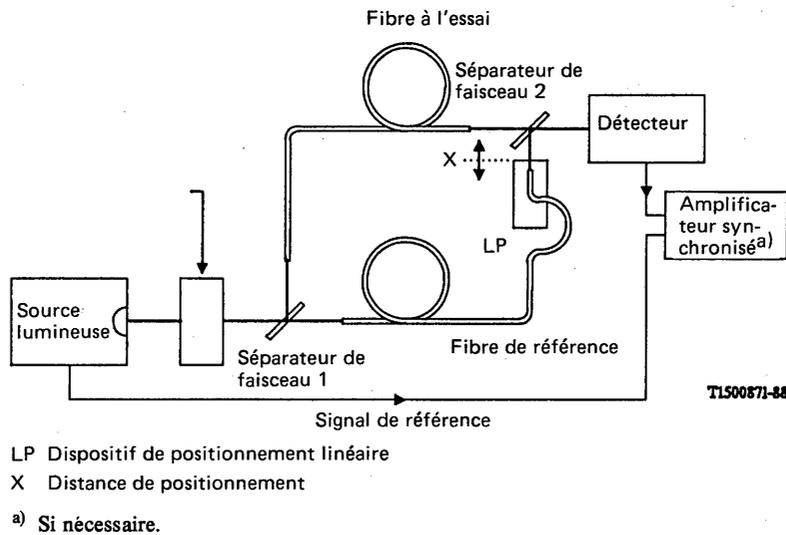
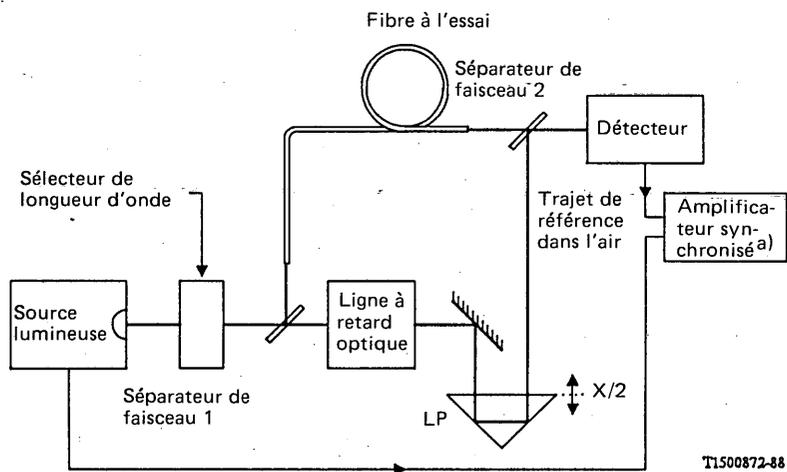


FIGURE B-12/G.652

Diagramme schématique du dispositif de mesure avec fibre de référence



LP Dispositif de positionnement linéaire

X Distance de positionnement

a) Si nécessaire.

FIGURE B-13/G.652

Diagramme schématique du dispositif de mesure avec référence de trajet dans l'air

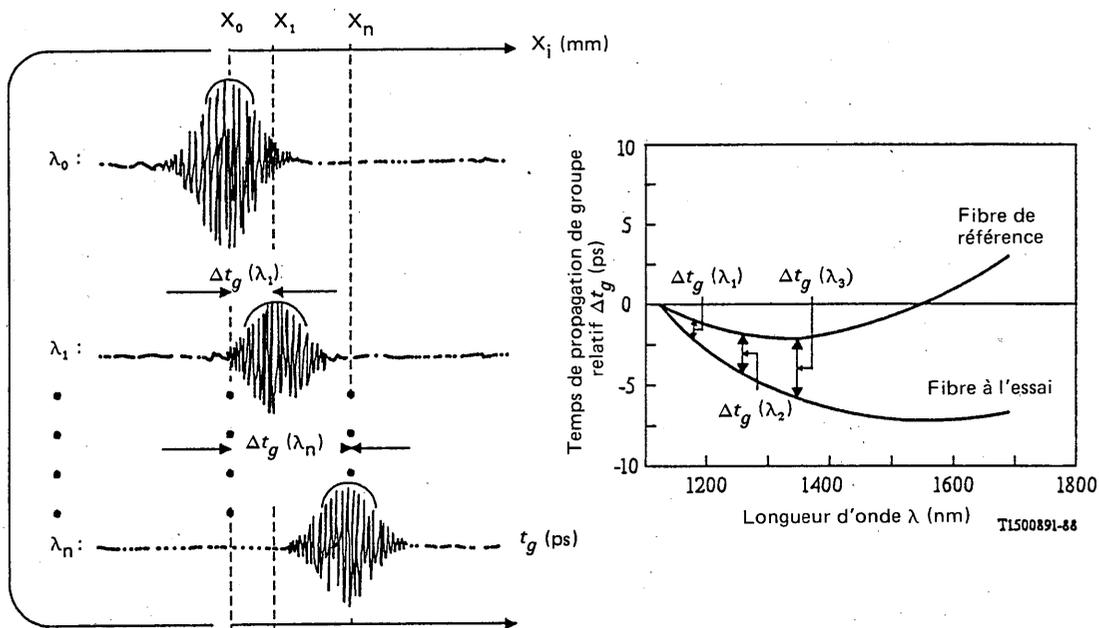


FIGURE B-14/G.652

Détermination du temps de propagation de groupe spectral

Le temps de propagation de groupe mesuré par longueur de fibre unitaire par rapport à la longueur d'onde, doit être ajusté par l'expression quadratique suivante:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

où  $\tau_0$  est la valeur minimale du temps de propagation relatif à la longueur d'onde de dispersion nulle  $\lambda_0$ . Le coefficient de dispersion chromatique  $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$  peut être déterminé d'après l'expression quadratique différenciée suivante:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

où  $S_0$  est la pente de dispersion nulle (uniforme), c'est-à-dire la valeur de la pente de dispersion  $S(\lambda) = dD/d\lambda$  à  $\lambda_0$ .

*Remarque* – Ces formules pour  $\tau(\lambda)$  et  $D(\lambda)$  sont suffisamment précises dans la gamme de 1500 à 1600 nm. Elles ne sont pas censées être utilisées au voisinage de 1300 nm.

#### B.5.2.4 Présentation des résultats

Les détails suivants doivent être indiqués:

- a) schéma de l'appareil de mesure;
- b) caractéristiques de la source;
- c) identification et longueur de la fibre;
- d) caractéristiques du sélecteur de longueur d'onde (s'il en existe un);
- e) type de photodétecteur;
- f) valeurs de la longueur d'onde de dispersion nulle et de la pente de dispersion nulle;
- g) procédure d'adaptation du temps de propagation relatif à la gamme de longueurs d'onde d'adaptation utilisée;
- h) température de l'échantillon et conditions ambiantes (si nécessaire).

#### Recommandation G.653

### CARACTÉRISTIQUES DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES MONOMODES À DISPERSION DÉCALÉE

(Melbourne, 1988)

Le CCITT,

*considérant*

(a) que les câbles à fibres optiques à dispersion décalée vont être largement utilisés dans les réseaux de télécommunications;

(b) que les applications prévues peuvent demander de nombreuses sortes de fibres monomodes se différenciant par la longueur d'onde de fonctionnement, les caractéristiques géométriques et optiques, l'affaiblissement, la dispersion et les autres caractéristiques de transmission,

*recommande*

d'optimiser une fibre monomode à dispersion décalée dont la longueur d'onde de dispersion nulle se situe au voisinage de 1550 nm, en vue de l'utiliser aux longueurs d'ondes voisines de 1550 nm. Cette fibre peut aussi être utilisée au voisinage de 1300 nm sous réserve des restrictions dont la présente Recommandation donne un bref aperçu.

Les caractéristiques géométriques, optiques et de transmission de cette fibre sont décrites ci-après.

La signification des termes utilisés est donnée dans l'annexe A à la Recommandation G.652 et les directives à suivre lors des mesures destinées à vérifier les diverses caractéristiques sont données dans l'annexe B à la Recommandation G.652. Les caractéristiques de cette fibre et les valeurs pertinentes seront affinées au fur et à mesure des progrès accomplis dans les études et de l'expérience acquise.

## 1 Caractéristiques des fibres

Seules les caractéristiques des fibres offrant un cadre de conception essentiel minimal pour la fabrication des fibres sont recommandées au § 1. Parmi ces caractéristiques, la longueur d'onde de coupure des fibres câblées peut être considérablement affectée par la fabrication ou l'installation des câbles. Sinon, les caractéristiques recommandées s'appliqueront 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.

La présente Recommandation s'applique aux fibres ayant un champ de mode nominale circulaire.

### 1.1 Diamètre du champ de mode

La valeur nominale du diamètre du champ de mode à 1550 nm doit se situer entre 7 et 8,3  $\mu\text{m}$ . L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 10\%$  de la valeur nominale.

*Remarque 1* – Le choix d'une valeur entre 7  $\mu\text{m}$  et 8,3  $\mu\text{m}$  n'est pas nécessairement lié à un type de fibre bien précis.

*Remarque 2* – Il convient de noter que la qualité de la fibre, nécessaire à une application donnée, est plus fonction des paramètres essentiels de la fibre et des systèmes tels que le diamètre du champ de mode, la longueur d'onde de coupure, la dispersion chromatique, la longueur d'onde de fonctionnement du système et le débit ou la fréquence binaire de fonctionnement que de la structure spécifique de la fibre.

*Remarque 3* – Tous les points qui précèdent doivent être examinés plus à fond.

### 1.2 Diamètre de la gaine

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de la gaine est de 125  $\mu\text{m}$ . L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 2,4\%$  ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ).

Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, on pourra fixer d'autres tolérances.

### 1.3 Erreur de concentricité du champ de mode

L'erreur de concentricité du champ de mode recommandée à 1550 nm ne doit pas dépasser 1  $\mu\text{m}$ .

*Remarque* – Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, on pourra fixer des tolérances inférieures ou égales à 3  $\mu\text{m}$ .

### 1.4 Non-circularité

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

Dans la pratique, la non-circularité du champ de mode des fibres ayant des champs de mode nominale circulaires est suffisamment faible pour ne pas affecter la propagation et 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, lors des essais de recette, de mesurer la non-circularité du champ de mode.

#### 1.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine doit être inférieure à 2%. Pour certaines techniques particulières de raccordement ou pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, on pourra fixer d'autres tolérances.

### 1.5 Longueur d'onde de coupure

A l'étude.

### 1.6 Comportement à la courbure à 1550 nm

L'accroissement de l'affaiblissement, mesuré à 1550 nm pour 100 tours d'une fibre enroulée sans être serrée sur un mandrin d'un rayon de 37,5 mm, doit être inférieur à 0,5 dB.

*Remarque 1* – Un essai de qualification peut suffire à assurer le respect de cette condition.

*Remarque 2* – La valeur susmentionnée de 100 tours correspond au nombre approximatif de tours que comportent toutes les épissures reliant deux répéteurs. Le rayon de 37,5 mm équivaut au rayon de courbure minimal communément accepté pour la mise en place durable de fibres dans les systèmes installés dans la pratique afin d'éviter les défaillances dues à la fatigue statique.

*Remarque 3* – Si, pour des raisons pratiques, on décide d'effectuer cet essai avec moins de 100 tours, il est conseillé de ne pas descendre en dessous de 40 tours et d'utiliser un accroissement de l'affaiblissement proportionnellement plus petit.

*Remarque 4* – Si l'on envisage d'utiliser au niveau des épissures ou en d'autres endroits du système des rayons de courbure d'une dimension inférieure à 37,5 mm (par exemple,  $R = 30$  mm), il est conseillé d'appliquer la même valeur d'affaiblissement de 0,5 dB à 100 tours d'une fibre mise en place avec ce rayon plus petit.

*Remarque 5* – La Recommandation relative à l'affaiblissement dû à la courbure à 1550 nm se rapporte à la mise en place de fibres dans les installations de fibres monomodes effectuées dans la pratique. L'influence des rayons de courbure liés à la configuration des fibres monomodes câblées sur le niveau d'affaiblissement est incluse dans la spécification relative à l'affaiblissement de la fibre câblée.

*Remarque 6* – Dans le cas où des essais périodiques sont nécessaires, un mandrin de petit diamètre avec un ou plusieurs tours peut être utilisé au lieu de l'essai à 100 tours par souci de précision et pour faciliter la mesure de la sensibilité de courbure à 1550 nm. Dans ce cas, le diamètre du mandrin, le nombre de tours et la valeur maximale admissible d'affaiblissement dû à la courbure pour l'essai à plusieurs tours doivent être choisis de manière à correspondre à la Recommandation relative à l'affaiblissement de 0,5 dB de l'essai fonctionnel à 100 tours avec un rayon de 37,5 mm.

## 1.7 Propriétés matérielles des fibres

### 1.7.1 Matériaux composant les fibres

Il convient d'indiquer les matériaux dont les fibres sont faites.

*Remarque* – Il pourra être nécessaire de prendre des précautions pour le raccordement par fusion de fibres constituées de différents matériaux. Les résultats provisoires 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.

### 1.7.2 Matériaux protecteurs

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) doivent être indiquées. Dans le cas de fibres à enveloppe unique, il convient de donner des indications analogues.

## 1.8 Profil de l'indice de réfraction

Il n'est généralement pas nécessaire de connaître le profil d'indice de réfraction; si on souhaite le mesurer, on peut utiliser la méthode de mesure de référence de la Recommandation G.651.

## 2 Spécifications relatives à la longueur de fabrication

Les caractéristiques géométriques et optiques des fibres indiquées au § 1 n'étant que peu affectées par le processus de câblage, on trouvera dans le présent § 2 des recommandations portant essentiellement sur les caractéristiques de transmission des longueurs de fabrication câblées.

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

### 2.1 Affaiblissement linéique

Les câbles à fibres optiques dont traite la présente Recommandation ont généralement des affaiblissements linéiques inférieurs à 0,5 dB/km au voisinage de 1550 nm. Lorsque ces câbles sont destinés à être utilisés au voisinage de 1300 nm, leur affaiblissement linéique est généralement inférieur à 1 dB/km dans cette région.

*Remarque* – Les valeurs les plus faibles dépendent du processus de fabrication, de la composition et de la conception des fibres et de la conception des câbles. Des valeurs de 0,19 à 0,25 dB/km au voisinage de 1550 nm ont été obtenues.

## 2.2 Coefficient de dispersion chromatique

A l'étude.

*Remarque 1* – Le coefficient de dispersion chromatique maximal des fibres monomodes dont traite la présente Recommandation doit être le suivant:

Longueur d'onde (nm)	Coefficient de dispersion chromatique maximal [ps/(nm·km)]
1525-1575	3,5
au voisinage de 1300 nm	à l'étude

*Remarque 2* – La valeur de 3,5 ps/(nm·km) permet des longueurs de section limitées par l'affaiblissement à 560 Mbit/s, par l'utilisation de lasers multimode longitudinaux appropriés et d'un codage de ligne adéquat.

*Remarque 3* – Pour les systèmes de plus grande capacité (plus de 560 Mbit/s) ou de plus grande longueur, une longueur d'onde de fonctionnement plus proche de la longueur d'onde de dispersion nulle doit être utilisée (à moins que des diodes lasers monomodes longitudinales ne soient utilisées). Il se peut qu'il faille alors spécifier d'autres paramètres pour les fibres (longueur d'onde de dispersion nulle, pente de dispersion, par exemple). Il est nécessaire d'effectuer de nouvelles études pour préciser ces paramètres.

*Remarque 4* – Il n'est pas nécessaire de mesurer le coefficient de dispersion chromatique de manière systématique.

## 3 Sections élémentaires de câble

Une section élémentaire de câble comprend habituellement un certain nombre de longueurs de fabrication épissurées. Les spécifications portant sur les longueurs de fabrication sont données au § 2 de la présente Recommandation. Les paramètres de transmission des câbles élémentaires doivent tenir compte non seulement des caractéristiques de fonctionnement des diverses longueurs de câble, mais aussi, entre autres facteurs, des pertes par épissurage et des pertes dues au connecteur (le cas échéant).

### 3.1 Affaiblissement

L'affaiblissement  $A$  d'une section élémentaire de câble est obtenu par la formule suivante:

$$A = \sum_{n=1}^m a_n \cdot L_n + a_s \cdot X + a_c \cdot y$$

où

- $a_n$  = affaiblissement linéique de la  $n$ ième fibre dans une section élémentaire de câble,
- $L_n$  = longueur de  $n$ ième fibre,
- $m$  = nombre total de fibres groupées dans la section élémentaire de câble,
- $a_s$  = affaiblissement d'épissurage moyen,
- $X$  = nombre d'épissures dans la section élémentaire de câble,
- $a_c$  = affaiblissement moyen dû aux connecteurs de ligne,
- $y$  = nombre de connecteurs de ligne dans la section élémentaire de câble (s'il y a lieu).

Il faut prévoir une marge de câble appropriée pour tenir compte des modifications futures des configurations de câble (épissures supplémentaires, longueurs supplémentaires, effets du vieillissement, variations de température, etc.). La formule ci-dessus n'inclut pas l'affaiblissement dû aux connecteurs d'équipement.

L'affaiblissement d'épissurage moyen est utilisé pour prévoir la valeur la plus probable de  $A$ . Le bilan d'affaiblissement qui sert à la conception d'un système utilisé dans la pratique doit tenir compte des variations statistiques des pertes dues au câble et aux épissurages.

### 3.2 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, en ps, peut être calculée à partir des coefficients de dispersion chromatique des longueurs de fabrication, en supposant une relation linéaire avec la longueur, et en tenant expressément compte du signe des coefficients et des caractéristiques de la source du système (voir le § 2.2).

#### ANNEXE A

(à la Recommandation G.653)

##### Signification des termes utilisés dans la présente Recommandation

La plupart des définitions contenues dans l'annexe A à la Recommandation G.652 sont en principe applicables aux fibres à dispersion décalée. En raison de l'expérience limitée avec ce type de fibres, il est nécessaire d'examiner plus à fond la pertinence de certaines définitions.

#### ANNEXE B

(à la Recommandation G.653)

##### Méthodes de mesure pour les fibres monomodes à dispersion décalée

L'expérience actuelle en matière de fibres monomodes à dispersion décalée est plutôt limitée; par conséquent, les méthodes de mesure de référence et de remplacement pour ce type de fibres doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Toutefois, la plupart des méthodes de mesure décrites dans l'annexe B à la Recommandation G.652 sont en principe applicables aussi aux fibres à dispersion décalée. C'est pourquoi la présente annexe mentionne les méthodes de mesure correspondantes de l'annexe B à la Recommandation G.652; les particularités de chaque méthode de mesure doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la longueur d'onde de fonctionnement pour les fibres de la Recommandation G.653 se situe au voisinage de 1550 nm.

#### Recommandation G.654

##### CARACTÉRISTIQUES DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES MONOMODES AVEC AFFAIBLISSEMENT RÉDUIT AU MINIMUM À LA LONGUEUR D'ONDE DE 1550 nm

(Melbourne, 1988)

Le CCITT,

*considérant*

(a) que des fibres à très faible perte sont nécessaires dans certaines applications sur les réseaux de télécommunications;

(b) que les applications prévues peuvent demander de nombreuses sortes de fibres monomodes se différenciant par:

- les caractéristiques géométriques;
- la longueur d'onde de fonctionnement;
- l'affaiblissement, la dispersion et les autres caractéristiques optiques;

(c) que des Recommandations relatives aux différentes sortes de fibres monomodes pourraient être élaborées lorsque les études concernant leur utilisation pratique auront suffisamment progressé,

*recommande*

une fibre monomode dont la longueur d'onde de dispersion nulle se situe au voisinage de 1300 nm, dont l'affaiblissement soit réduit au minimum à une longueur d'onde voisine de 1550 nm et qui soit conçue pour être utilisée au voisinage de cette longueur d'onde.

Les caractéristiques, géométriques, optiques et de transmission de cette fibre sont décrites ci-après.

La signification des termes utilisés dans la présente Recommandation est donnée dans l'annexe A et les directives à suivre lors des mesures destinées à vérifier les diverses caractéristiques sont données dans l'annexe B.

*Remarque* – Les caractéristiques de cette fibre et les valeurs pertinentes seront améliorées au fur et à mesure des progrès accomplis dans les études et de l'expérience acquise.

## 1 Caractéristiques des fibres

### 1.1 Diamètre du champ de mode

La valeur nominale du diamètre du champ de mode à 1550 nm doit être de xx  $\mu\text{m}$ . L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 10\%$  de la valeur nominale.

*Remarque* – La valeur à retenir pour xx doit être spécifiée. Une valeur de 10,5 pour xx constitue une possibilité.

### 1.2 Diamètre de la gaine

La valeur nominale recommandée pour le diamètre de la gaine est de 125  $\mu\text{m}$ . L'écart sur cette valeur ne doit pas dépasser  $\pm 2,4\%$  <sup>1)</sup> ( $\pm 3 \mu\text{m}$ ).

### 1.3 Erreur de concentricité du champ de mode

L'erreur de concentricité du champ de mode recommandée à 1550 nm ne doit pas dépasser 1  $\mu\text{m}$  <sup>1)</sup>.

### 1.4 Non-circularité

#### 1.4.1 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 et 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 normale-ment pas nécessaire, lors des essais de recette, de mesurer la non-circularité du champ de mode.

#### 1.4.2 Non-circularité de la gaine

La non-circularité de la gaine doit être inférieure à 2%. Pour certaines techniques particulières de raccordement et pour certaines spécifications portant sur les pertes aux raccordements, on pourra fixer d'autres tolérances.

### 1.5 Longueur d'onde de coupure

Les valeurs des longueurs d'onde de coupure doivent être comprises entre xxxx nm et yyyy nm pour  $\lambda_c$ ; elles doivent être inférieures à zzzz nm pour  $\lambda_{cc}$ .

*Remarque* – Les valeurs à retenir pour xxxx, yyyy et zzzz doivent être spécifiées; des valeurs de 1350 pour xxxx, de 1600 pour yyyy et de 1530 pour zzzz constituent une possibilité.

### 1.6 Comportement de l'affaiblissement dû à la courbure à 1550 nm.

A l'étude.

*Remarque* – La performance de cette fibre ne doit pas être inférieure à la performance des fibres répondant aux spécifications de la Recommandation G.653.

### 1.7 Propriétés matérielles des fibres

Voir le § 1.7 de la Recommandation G.652.

### 1.8 Exemple de directives pour la conception des fibres

Le supplément n° 33 donne un exemple de directives pour la conception des fibres à gaine adaptée utilisées par une organisation.

<sup>1)</sup> A l'étude.

## 2 Spécifications relatives à la longueur de fabrication

### 2.1 Affaiblissement linéique

Les câbles à fibres optiques dont traite la présente Recommandation doivent avoir des affaiblissements linéiques inférieurs à 0,25 dB/km au voisinage de 1550 nm<sup>2)</sup>.

*Remarque* — Les valeurs les plus faibles dépendent du processus de fabrication, de la composition et de la conception des fibres et de la conception des câbles. Des valeurs de 0,15 à 0,20 dB/km au voisinage de 1550 nm ont été obtenues.

### 2.2 Coefficient de dispersion chromatique

Au voisinage de la longueur d'onde de 1550 nm, le coefficient de dispersion chromatique maximal des fibres monomodes dont traite la présente Recommandation doit être de 20 ps/(nm · km).

## 3 Sections élémentaires de câble

Voir le § 3 de la Recommandation G.652.

### ANNEXE A

(à la Recommandation G.654)

#### Signification des termes utilisés dans la présente Recommandation

La plupart des définitions contenues dans l'annexe A à la Recommandation G.652 sont en principe applicables aussi aux fibres avec affaiblissement réduit au minimum. En raison de l'expérience limitée avec ce type de fibres, il est nécessaire d'examiner plus à fond la pertinence de certaines définitions.

### ANNEXE B

(à la Recommandation G.654)

#### Méthodes de mesure pour les fibres monomodes avec affaiblissement réduit au minimum

L'expérience actuelle en matière de fibres monomodes avec affaiblissement réduit au minimum est plutôt limitée. Par conséquent, les méthodes de mesure de référence et de remplacement pour ce type de fibres doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Toutefois, la plupart des méthodes de mesure décrites dans l'annexe B à la Recommandation G.652 sont en principe applicables aussi aux fibres avec affaiblissement réduit au minimum. C'est pourquoi la présente annexe mentionne les méthodes de mesure correspondantes de l'annexe B à la Recommandation G.652; les particularités de chaque méthode de mesure doivent faire l'objet d'un complément d'étude. Il convient de noter que la longueur d'onde de fonctionnement pour les fibres de la Recommandation G.654 se situe au voisinage de 1550 nm.

---

<sup>2)</sup> A l'étude.

**PARTIE II**

**SUPPLÉMENTS AUX RECOMMANDATIONS  
DE LA SECTION 6 DE LA SÉRIE G**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## RENSEIGNEMENTS SUR LES NAVIRES CÂBLIERS ET LES ÉQUIPEMENTS SUBMERSIBLES DE DIVERS PAYS

(Mar del Plata, 1968, modifié à Genève, 1972, 1976, 1980, 1984 et 1988; cité à la sous-section des Recommandations de la série G)

## Section 1 — NAVIRES CÂBLIERS

Nom du navire	Année de construction	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Tirant d'eau (m)	Vitesse normale (nœuds)	Rayon d'action (autonomie) [milles marins]	Nombre de cales	Capacité de chargement			Appareillage			Profondeur de travail maximale (m)	Possibilités
								Câble		Répéteurs	Tambour avant (diamètre) (m)	Poulie de déroulement			
								Cubage (m <sup>3</sup> )	Poids (tonnes)			Proue (diamètre) (m)	Poupe (diamètre) (m)		
<i>John Cabot</i>	1985	6400	95	7	13/16	6500	3	CANADA 614   800		24	1 × 3,0 (30 t) + moteur linéaire (18 paires de roues)	3,0	—	Toutes profondeurs	Navire de réparation. Possibilités d'excavation par charrue.
<i>Peter Faber</i>	1982	Ouvert 750 Fermé 1830	78,4	Ouvert 3,8 Fermé 5,0	14,0	7000	1 cuve 1 cale	310 230	600 400	Em. 10	3,0	3,0	—	4000	Renforcé pour pouvoir travailler dans des eaux obstruées par la glace. Sur le pont arrière un portique en forme de A à bascule hydraulique. Charge max. 35 tonnes. Un treuil hydraulique de remorquage et d'usage général. Deux treuils hydrauliques de touage à tambours doubles.

## Section 1 - NAVIRES CÂBLIERS (suite)

Nom du navire	Année de construction	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Tirant d'eau (m)	Vitesse normale (nœuds)	Rayon d'action (autonomie) [milles marins]	Nombre de cales	Capacité de chargement			Appareillage			Profondeur de travail maximale (m)	Possibilités
								Câble		Répéteurs	Tambour avant (diamètre) (m)	Poulie de déroulement			
								Cubage (m³)	Poids (tonnes)			Proue (diamètre) (m)	Poupe (diamètre) (m)		
<i>Vercors</i>	1974	10 670	133	7,3	16,5	13 000	3	FRANCE			2 x 3,0 (30 t)	3,0	4,0 + (18 paires de roues)	Toutes	Pose et réparation de tous types de câbles téléphoniques ou d'énergie (coaxiaux et fibres optiques). Capacité: 3500 km de câbles à grande profondeur à fibres optiques, 1300 milles marins en câble de 1 pouce; 650 milles marins en câble de 1,5 pouce; 500 milles marins en câble de 1,7 pouce. * Dans le cas de câble d'énergie, le poids est différent.
<i>Léon Thévenin</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1060	1000	30	2 x 3,4 (40 t)	3,0	4,0 + moteur linéaire (8 paires de roues)	Toutes	Navire de réparation, câbles armés coaxiaux et câbles à fibres optiques.
<i>Raymond Croze</i>	1983	6200	107	6,25	15,0	10 000	2	1400	1300	70	2 x 3,4 (40 t)	3,0	4,0 + moteur linéaire (8 paires de roues)	Toutes	Navire de réparation et de pose - environ la moitié de la capacité en volume du stockage du <i>Vercors</i> . <i>Remarque</i> - <i>Léon Thévenin</i> et <i>Raymond Croze</i> navires identiques sauf pour la disposition des cuves à câbles.

## Section 1 – NAVIRES CÂBLIERS (suite)

Nom du navire	Année de construction	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Tirant d'eau (m)	Vitesse normale (nœuds)	Rayon d'action (autonomie) [milles marins]	Nombre de cales	Capacité de chargement			Appareillage			Profondeur de travail maximale (m)	Possibilités
								Câble		Répéteurs	Tambour avant (diamètre) (m)	Poulie de déroulement			
								Cubage (m <sup>3</sup> )	Poids (tonnes)			Proue (diamètre) (m)	Poupe (diamètre) (m)		
<b>ITALIE</b>															
<i>Navires appartenant à Pirelli/Euroshipping</i>															
<i>Arabella</i>	1975	2620	76,66	5,18	11	2000	2	1100	2000	–	–	–	3	Toutes	Pose/Réparation.
<i>G. Verne</i>	1983	13 000	127,5	5,37	10	5000	3	5000	12 000	–	–	–	6	Toutes	Poupe seulement.
<b>JAPON</b>															
<i>1. Navire appartenant à KDD</i>															
<i>KDD Maru</i>	1967	6026	113,83	6,3	16	7000	3	1012	2700	70	3,6	3,0	A fond de gorge 4,0	Toutes	Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques.
<i>2. Navires appartenant à NTT</i>															
<i>NTT Tsugaru Maru</i>	1969	1691	84,6	4,60	13,5	4000	1	320	650	50	3,3	2,5	1,8	5000	Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques.
<i>NTT Kuroshio Maru</i>	1974	3345	119,3	5,60	16,5	6883	3	887	1200	95	3,8	3,0	2,0	Toutes	Pose par moteur linéaire. Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques.
<i>NTT Setouchi Maru</i>	1979	819	64,8	3,50	12,0	3690	2	139	250	20	2,5	–	1,5	5000	Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques.
<i>NTT Koyo Maru</i>	1983	1295	74,0	4,50	13,5	4500	2	169	250	20	3,0	2,5	2,0	Toutes	Pose par moteur linéaire. Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques (notamment les câbles à fibres optiques).

## Section 1 - NAVIRES CÂBLIERS (suite)

Nom du navire	Année de construction	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Tirant d'eau (m)	Vitesse normale (nœuds)	Rayon d'action (autonomie) [milles marins]	Nombre de cales	Capacité de chargement			Appareillage			Profondeur de travail maximale (m)	Possibilités
								Câble		Répéteurs	Tambour avant (diamètre) (m)	Poulie de déroulement			
								Cubage (m <sup>3</sup> )	Poids (tonnes)			Proue (diamètre) (m)	Poupe (diamètre) (m)		
<b>ROYAUME-UNI</b>															
<i>1. Navires appartenant à British Telecom (Marine) Limited</i>															
<i>Alert</i>	1961	9477	130	7,1	14	10 000	3	1509	3100	48	2,98	2,98	2,98	Toutes	Pose par moteur linéaire et enfouissement au fond de la mer par charrue. Pose et réparation de tous les types de câbles coaxiaux et à fibres optiques.
<i>Monarch</i>	1975	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Néant	Toutes	Pose et réparation de câbles coaxiaux armés et de câbles à fibres optiques. Réparation de câbles coaxiaux légers et de câbles à fibres optiques. Réouverture de tranchée. Réenfouissement par dispositif submersible à jets.
<i>Iris</i>	1976	4639	97	5,5	14	7000	4	417	850	12	3,00	3,00	Néant	Toutes	Pose et réparation de câbles coaxiaux armés et de câbles à fibres optiques. Réparation de câbles coaxiaux légers et de câbles à fibres optiques.
<i>2. Navires appartenant à Cable &amp; Wireless (Marine) Limited</i>															
<i>Retriever</i>	1961	5650	112	5,82	13	8000	3	629	1568	11	3,0	3,0 3,05	A fond de gorge 3,05	Toutes	Pose et réparation de câbles armés. Réparation de câbles légers. (Voir la remarque).
<i>Northern</i>	1962	3363	83,5	5,3	10	7200	3	480	1000	3	3,0	3,0	Néant	3500	Proue seulement. Navire de réparation.

Remarque - Seulement des câbles relativement courts et des câbles d'atterrissement.

Section 1 – NAVIRES CÂBLIERS (fin)

Nom du navire	Année de construction	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Tirant d'eau (m)	Vitesse normale (nœuds)	Rayon d'action (autonomie) [milles marins]	Nombre de cales	Capacité de chargement			Appareillage			Profondeur de travail maximale (m)	Possibilités
								Câble		Répéteurs	Tambour avant (diamètre) (m)	Poulie de déroulement			
								Cubage (m³)	Poids (tonnes)			Proue (diamètre) (m)	Poupe (diamètre) (m)		
<i>2. Navires appartenant à Cable &amp; Wireless (Marine) Limited (suite)</i>															
<i>Cable Venture</i>	1962	16 983	153	8,97	12,5	10 000	4 + 1 (réserve)	5086	9000	400	2,80	3,00	3,39	Toutes	Pose par moteur linéaire. Pose et réparation de câbles armés et de câbles coaxiaux légers.
<i>Mercury</i>	1962	11 683	144	7,5	14,5	8000	3	2970	3500	144	3,05	3,50	A fond de gorge 3,05	Toutes	Idem.
<i>Cable Enterprise</i>	1964	5759	113	5,84	13	8000	3	887	2150	30	2,8	3,00	A fond de gorge 3,05	Toutes	Pose et réparation de câbles armés. Réparation de câbles légers. (Voir la remarque).
<i>Cable Protector</i>	1976	4608	86	4,7	10,0	7200	2	1272	1060	Néant	Néant	Néant	3,00	1000	Tambour de poupe de 2,6 m et glace peu épaisse.
<i>Pacific Guardian</i>	1984	7526	116	6,32	14,0	8000	3	1416	3470	96	3,5	3,00	3,00	Toutes	Pose par moteur linéaire. Pose et réparation de câbles armés et de câbles coaxiaux légers.
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE															
<i>Navires appartenant à AT &amp; T</i>															
<i>Charlie Brown</i>	1952	2881	99,9	5,8	15	7000	3	660	2122	—	3,66	3,66	ND	Toutes	Réparation de tous les types de câbles téléphoniques. Pose de systèmes courts et d'atterrissement.
<i>Long Lines</i>	1963	11 326	156	7,9	15	10 000	3	4420	7000	125	3,66	3,05	3,66	Toutes	Pose et réparation de tous les types de câbles téléphoniques.

Remarque – Seulement des câbles relativement courts et des câbles d'atterrissement.

## Section 2 - ÉQUIPEMENTS SUBMERSIBLES

Type de submersible	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Système de creusement de tranchée	Creusement de tranchée	Propulsion	Profondeur d'exploitation maximale (m)	Possibilités
					FRANCE				
<i>Système de charrue submersible</i>	23	9,06	3	2,90	Soc de charrue	Enfouissement immédiat du câble (max. 0,7 m) au passage de la charrue	Remorqué par un navire de soutien	950	Pose et enfouissement de câbles et de conduites de faible diamètre.
<i>Système enfoui autotracté</i>	11,3	5,50	2,45	3,50	Roue ou chaîne excavatrice	Enfouissement des câbles existants jusqu'à 2 m	Véhicule à chenilles	150	Enfouissement de câbles et de conduites.
					JAPON				
					1. Submersibles appartenant à KDD				
<i>KS-2 Cable Plough</i>	9,3	11,2	2,56	2,0	—	Enfouissement immédiat du câble au passage de la charrue	Remorqué par un navire de soutien	200	Pose et enfouissement simultanés du câble.
<i>Engin à chenilles MARCAS</i>	4,7	4,0	3,0	2,15	Jets de fluidisation	Jets de fluidisation	Entraînement à chenilles	200	Canalisation dans les câbles existants.
<i>MARCAS-2500</i>	3,6	2,65	1,8	1,9	Jets de fluidisation	Jets de fluidisation	2 propulseurs verticaux et 4 horizontaux	2500	Enfouissement après la pose, maintenance du câble et relevé du fond marin.
					2. Submersibles appartenant à NTT				
<i>Système d'enfouissement de câbles sous-marins de type charrue Mark IV</i>	16,8	8,4	4,0	4,0	—	Jusqu'à 1,5 m de profondeur, enfouissement immédiat du câble	Remorqué par un navire de soutien	500	Enfouissement des câbles, simultané ou postérieur à la pose.
<i>Système d'enfouissement autotracté</i>	3,5	3,4	2,3	1,8	Jets de fluidisation et d'excavation, pompe à déblais	Jusqu'à 1,5 m de profondeur, avec jets d'excavation et de fluidisation	Par jets d'eau	40	Canalisation dans les câbles existants.

Section 2 – ÉQUIPEMENTS SUBMERSIBLES (suite)

Type de submersible	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Système de creusement de tranchée	Creusement de tranchée	Propulsion	Profondeur d'exploitation maximale (m)	Possibilités
<b>ROYAUME-UNI</b>									
<i>1. Submersibles appartenant à British Telecom (Marine) Ltd.</i>									
<i>Excavatrice de tranchées submersible</i>	17,0	6,6	4	3,4	Jets de fluidisation et d'excavation et pompe à déblais	Jusqu'à 1 m de profondeur avec jets d'excavation et de fluidisation	Trois propulseurs verticaux et quatre horizontaux; entraînement à chenilles, conduite différentielle	274	Canalisation dans les câbles existants et conduites.
<i>Système de charrue submersible</i>	9,75	6,1	2,6	2,6	Soc de charrue précédé par un disque	Enfouissement immédiat du câble au passage de la charrue	Remorqué par un navire de soutien	900	Pose et enfouissement simultanés du câble, du cordon ombilical et de la conduite, conférant une parfaite protection du câble.
<i>Système de charrue modulaire</i>	40	14	6	4,5	Soc de charrue précédé par un disque	Enfouissement immédiat du câble au passage de la charrue	Remorqué par un navire de soutien	350	Enfouissement du câble et des cordons ombilicaux, simultané ou postérieur à la pose; enfouissement de la conduite postérieur à la pose.
<i>2. Submersibles appartenant à Cable &amp; Wireless (Marine) Ltd.</i>									
<i>Submersible télécommandé, Cirrus</i>	3,2	3,5	2,1	2,3	Jets d'eau	Capacité d'excavation: 0,3 m	Propulseurs (7)	1000	Inspection visuelle des emplacements de câble/inspection/extraction. Manipulation.
<i>CWM Sea Bed Plough</i>	12,0	7,2	4,0	2,5	Lame passive	Capacité d'excavation: 0,9 m	Remorqué	1000	Manœuvrable. Capacité de remblayage. Enfouissement partiel des répéteurs.

Section 2 – ÉQUIPEMENTS SUBMERSIBLES (*fin*)

Type de submersible	Déplacement (tonnes)	Longueur hors tout (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Système de creusement de tranchée	Creusement de tranchée	Propulsion	Profondeur d'exploitation maximale (m)	Possibilités
				ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE					
<i>Sea Plough IV A</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	Tranchée de 16 pouces de large et de 24 pouces de profondeur maximum.
<i>Sea Plough V</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	Mêmes caractéristiques que <i>Sea Plough IV A</i> .
<i>Scarab I/II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	Maintenance assurée par plusieurs propriétaires.

**Supplément n° 14**

**MÉTHODES DE MESURE DE L'AFFAIBLISSEMENT  
DES COURANTS RÉFLÉCHIS PAR LES IRRÉGULARITÉS**

*(cité dans la Recommandation G.623;  
pour ce supplément, voir la page 669 du fascicule III.3  
du Livre orange, Genève, 1977)*

**Supplément n° 18**

**RENSEIGNEMENTS SUR LES CÂBLES SOUS-MARINS UTILISÉS EN EAU PROFONDE**

*(cité dans la sous-section 6.3;  
pour ce supplément, voir la page 313 du fascicule III.2  
du Livre rouge, Genève, 1985)*

**Supplément n° 19**

**MESURE DE LA DIAPHONIE EN RÉGIME NUMÉRIQUE  
(MÉTHODE UTILISÉE PAR L'ADMINISTRATION FRANÇAISE,  
L'ADMINISTRATION DES PAYS-BAS ET L'ADMINISTRATION ESPAGNOLE)**

*(cité dans la Recommandation G.612;  
pour ce supplément, voir la page 326 du fascicule III.2  
du Livre rouge, Genève, 1985)*

**Supplément n° 33**

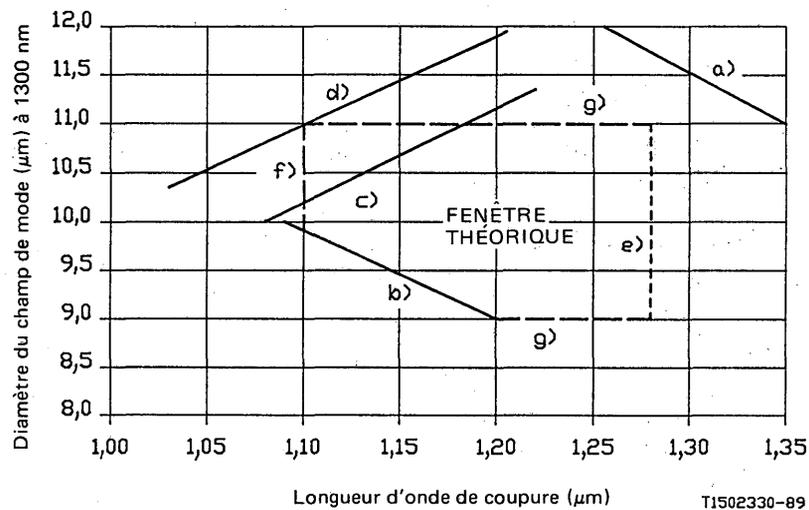
**EXEMPLES DE PRINCIPES DE CONCEPTION DES FIBRES**

*(Diagrammes utilisés au Japon et au Royaume-Uni)  
(cités dans les Recommandations G.652 et G.654)*

Les deux diagrammes suivants font apparaître les caractéristiques de deux types de fibres particuliers. Ces diagrammes ont pour but de faciliter la tâche des utilisateurs de fibres lorsqu'ils établissent les spécifications de leurs fibres optiques.

La figure YYY, qui est utilisée au Japon et au Royaume-Uni, donne les relations, déterminées empiriquement, entre le diamètre du champ de mode et la longueur d'onde de coupure, en tant que variables indépendantes, avec perte de courbure à 1550 nm et coefficients de dispersion chromatique à 1285 nm et 1330 nm pour une fibre monomode à gaine compensée conforme à la Recommandation G.652. Deux types d'épreuves de perte de courbure à 1550 nm sont décrits: l'épreuve de la Recommandation G.652 (mandrin de 37,5 mm de rayon/100 tours, affaiblissement maximal de 1,0 dB) et l'épreuve la plus courante au Royaume-Uni (mandrin de 30 mm de rayon/10 tours, affaiblissement maximal de 0,2 dB).

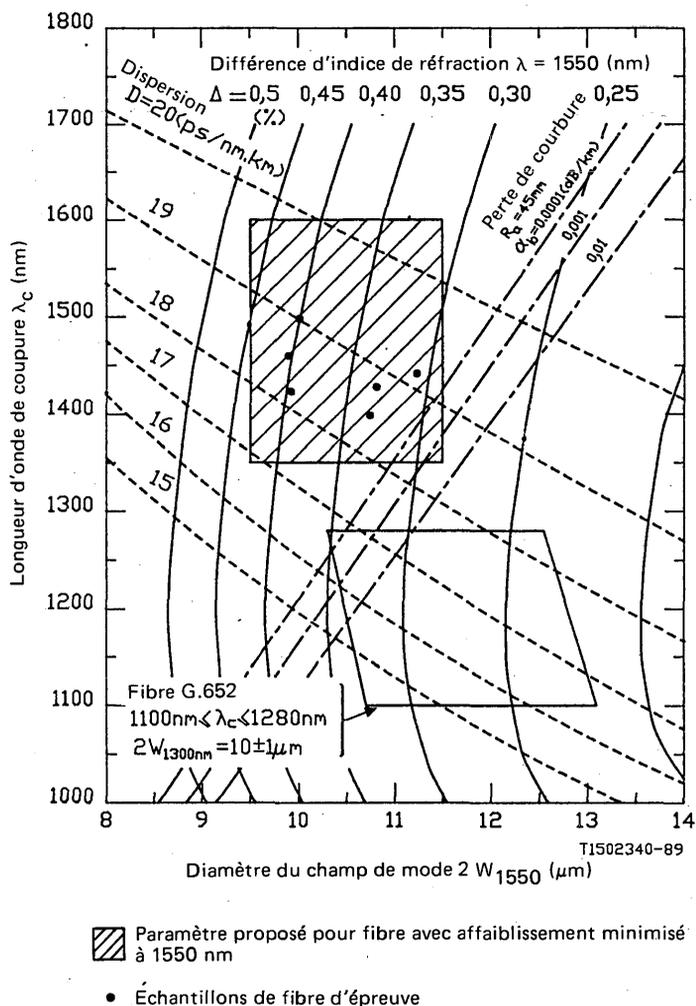
La figure ZZZ, qui est utilisée par KDD au Japon, donne les relations entre le diamètre du champ de mode et la longueur d'onde de coupure avec perte de courbure théorique à 1550 nm et divers coefficients de dispersion chromatique. Cette information concerne les fibres monomodes à gaine compensée, conformes à la Recommandation G.654.



- a) Coefficient de dispersion  $+3,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  à 1330 nm.
- b) Coefficient de dispersion  $-3,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  à 1285 nm.
- c) Perte de courbure 0,2 dB à 1550 nm sur mandrin de 30 mm de rayon/10 tours.
- d) Perte de courbure 1,0 dB à 1550 nm sur mandrin de 37,5 mm de rayon/100 tours.
- e) Limite supérieure pour longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  (1280 nm).
- f) Limite inférieure pour longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  (1100 nm).
- g) Limites G.652 pour le diamètre du champ de mode ( $10 \pm 1 \mu\text{m}$ ).

FIGURE 1

Principes de conception pour fibres monomodes à gaine compensée  
(Rec. G.652)



Courbes de perte d'équi-courbure  $\alpha_b$ , de dispersion  $D$  et d'indice de réfraction  $\Delta$  à une longueur d'onde de 1550 nm comme paramètres du diamètre de champ de mode 2  $W$  et de la longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$ .

*Remarque* — Le diamètre de champ de mode à 1300 nm ( $2W_{1300\text{nm}} = 10 \pm 1 \mu\text{m}$ ) correspond approximativement à un diamètre de champ de mode 2  $W_{1550\text{nm}}$  à 1550 nm compris entre 10,5  $\mu\text{m}$  et 13  $\mu\text{m}$ , comme représenté à la figure 2.

FIGURE 2

**Principes de conception pour fibre monomode avec affaiblissement minimisé à 1550 nm**  
(Rec. G.654)

