



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**CCITT**

COMITÉ CONSULTATIF  
INTERNATIONAL  
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

**G.652**

(11/1988)

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

Equipements de test  
Caractéristiques des supports de transmission  
Câbles à fibre optique

---

**Caractéristiques des câbles à fibres optiques  
monomodes**

Réédition de la Recommandation du CCITT G.652 publiée  
dans le Livre Bleu, Fascicule III.3 (1988)

---

## NOTES

1 La Recommandation G.652 du CCITT a été publiée dans le fascicule III.3 du Livre Bleu. Ce fichier est un extrait du Livre Bleu. La présentation peut en être légèrement différente, mais le contenu est identique à celui du Livre Bleu et les conditions en matière de droits d'auteur restent inchangées (voir plus loin).

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

## Recommandation G.652

### 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 nominale 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 coeur 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 coeur, 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 normalement 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 la 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 × 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  $n$ ème fibre dans une section élémentaire de câble

$L_n$  = longueur de la  $n$ ème 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

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq}{\int_0^{\infty} q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \text{ où } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (1)$$

- 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

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\int_0^{\infty} K'(x) q^2 dq}{\int_0^{\infty} K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \text{ où } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ et } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (2)$$

- 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

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \int_0^{\infty} a(x) q dq \right]^{-1/2}, \text{ où } x = D \tan \theta \text{ et } q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta \quad (3)$$

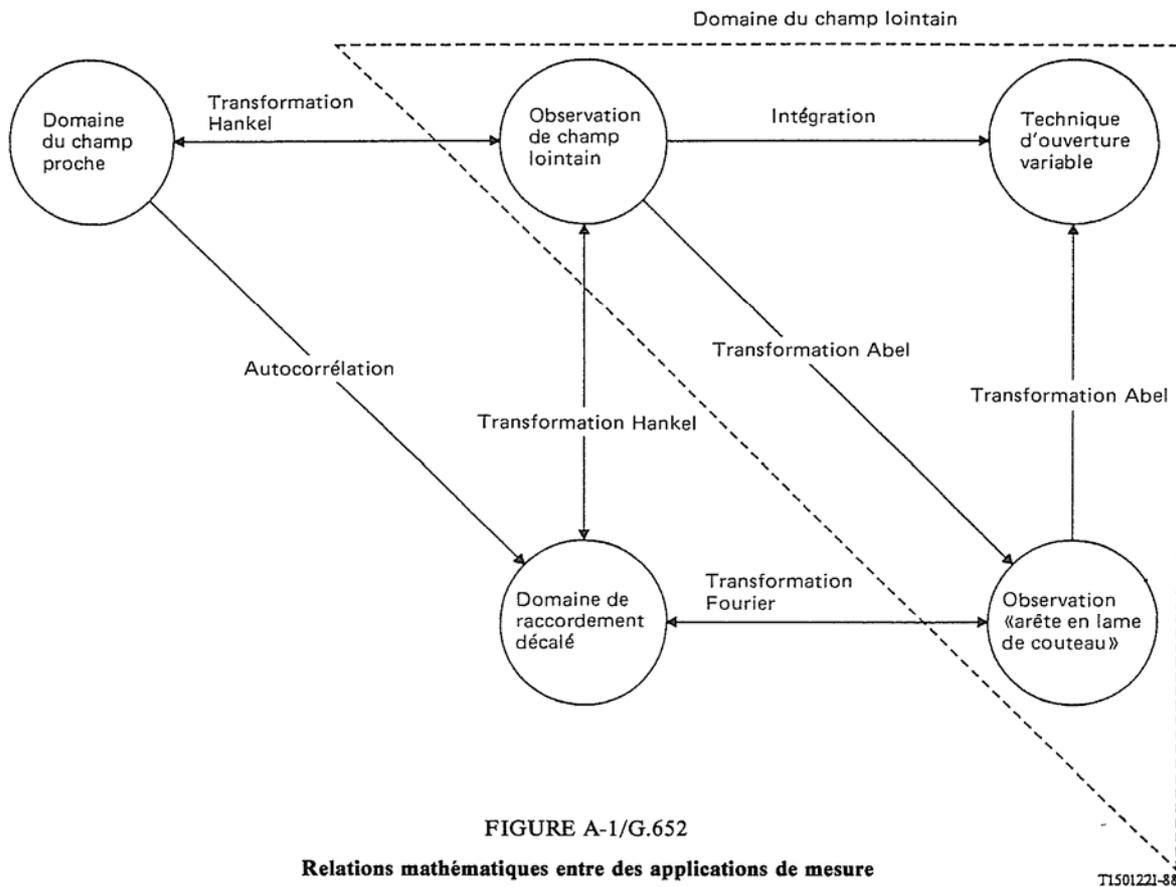
- ii) **DOMAINE DE RACCORDEMENT DÉCALÉ:** Le coefficient de transmission de puissance  $T(\delta)$  est mesuré en fonction du décalage transversal  $\delta$  et

$$2w = 2 \left[ -2 \frac{T(0)}{\left[ \frac{d^2 T}{d\delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

- 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

$$2w = 2 \left[ \frac{\int_0^{\infty} r f^2(r) dr}{\int_0^{\infty} r \left[ \frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

*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.



## 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  $\bar{r}$ .

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{SURFACE}} \bar{r} I(\bar{r}) dS / \iint_{\text{SURFACE}} I(\bar{r}) dS$$

*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  $\lambda_c$ . 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 **penne 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*

Etant 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 µm. 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 *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, 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 *Étalonnage 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*

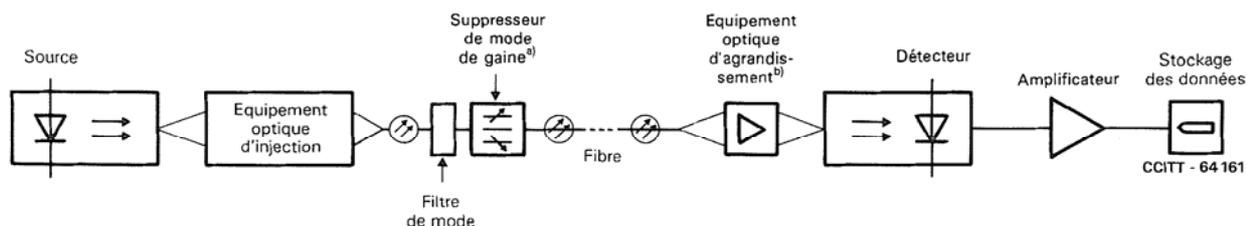
L'extrémité d'injection de la fibre doit être alignée sur le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre sur l'axe de l'équipement optique d'agrandissement. Pour la mesure de champ proche émis, l'image ou les images focalisées de l'extrémité de sortie de la fibre doivent être analysées 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:

- a) schéma de l'appareil de mesure, avec indication de la technique d'analyse utilisée;
- b) conditions d'injection;
- c) caractéristiques spectrales de la source;

- d) identification et longueur de la fibre;
- e) type de supprimeur de mode et de filtre (le cas échéant);
- f) agrandissement de l'optique spécialisée;
- 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) 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:

Coeur/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 Échantillon

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 b). La position centrale de l'âme est déterminée par analyse de la distribution d'intensité de la lumière après convergence (indiquée par c). 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.

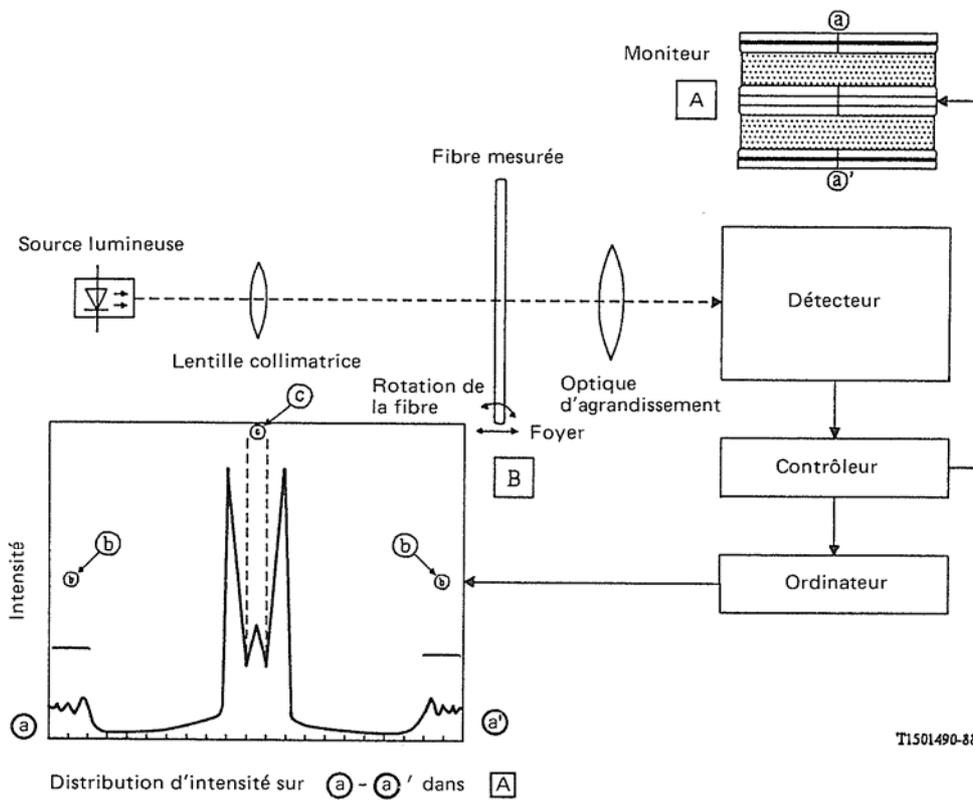


FIGURE B-2/G.652

**Schéma de principe d'une système de mesure**

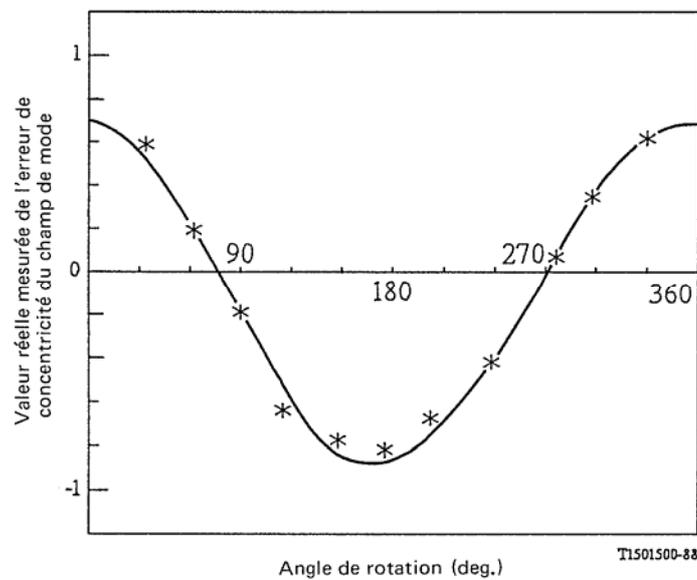


FIGURE B-3/G.652

**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 suppresseur 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 suppresseur 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 minimalisées 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.

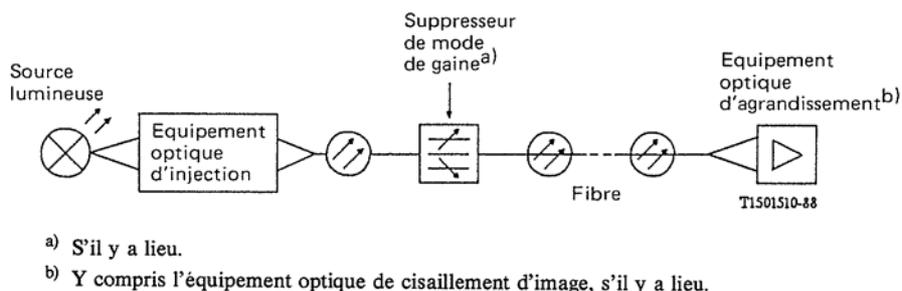


FIGURE B-4/G.652

### Organisation type du dispositif de mesure du champ émis

## 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

<sup>1)</sup> La validité de cette technique est à l'étude et doit être confirmée.

### 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 coeur 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) 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).

*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*

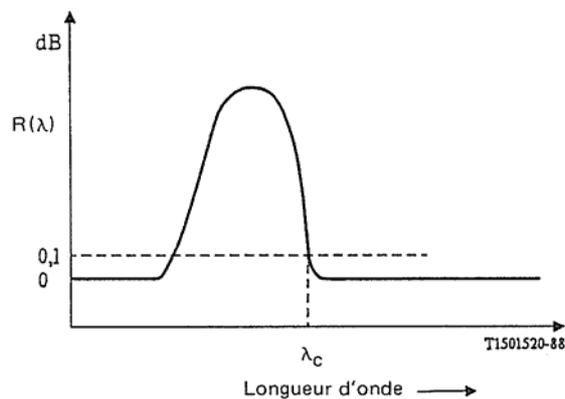


FIGURE B-5/G.652

**Schéma type de longueur d'onde de coupure utilisant une référence monomode**

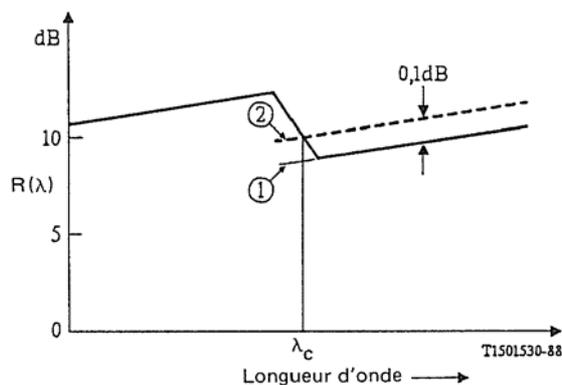


FIGURE B-6/G.652

**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)

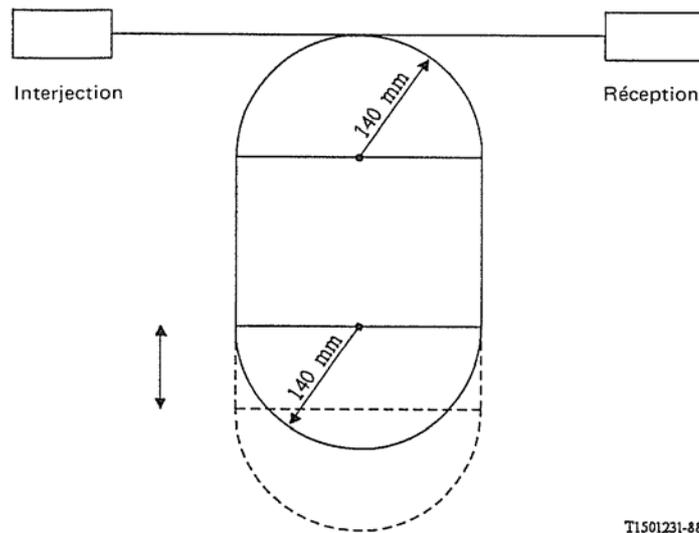


FIGURE B-7/G.652

**Déploiement de la fibre:  
Longueur d'onde de coupure par la technique de coupure/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 *Équipement 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  $P_1(\lambda)$  en fonction de  $\lambda$  dans une gamme suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure attendue.

*Remarque* – La 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  $P_1(\lambda)$  et  $P_i(\lambda)$ , est calculé comme suit:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

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) 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).

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).

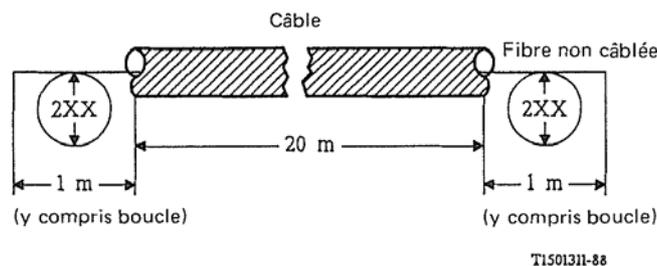


FIGURE B-8/G.652

### 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 Équipement 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.

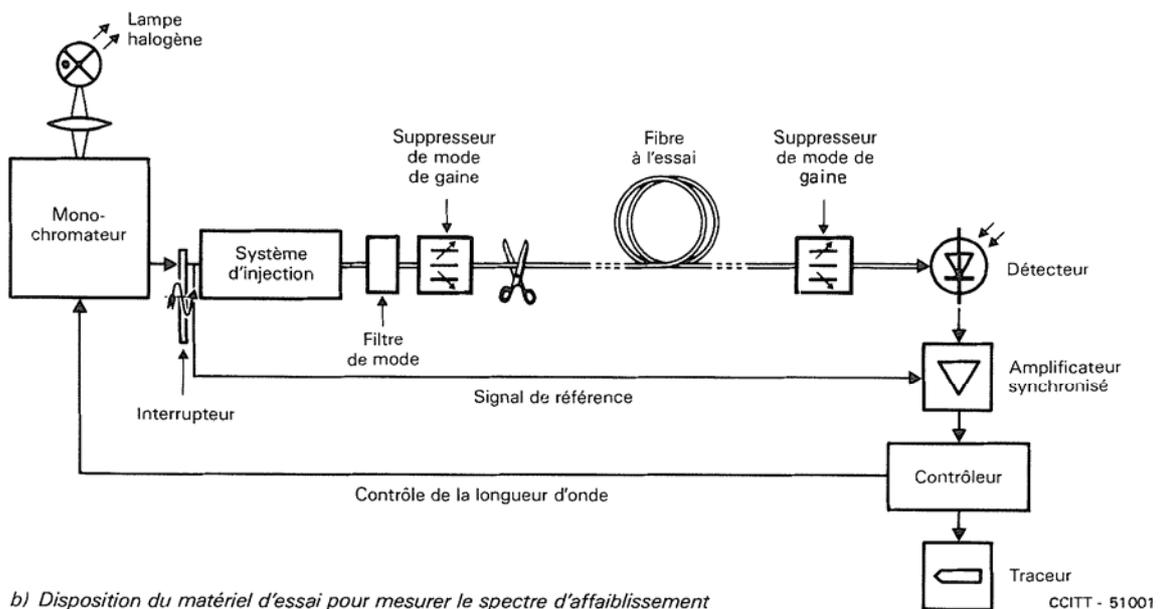
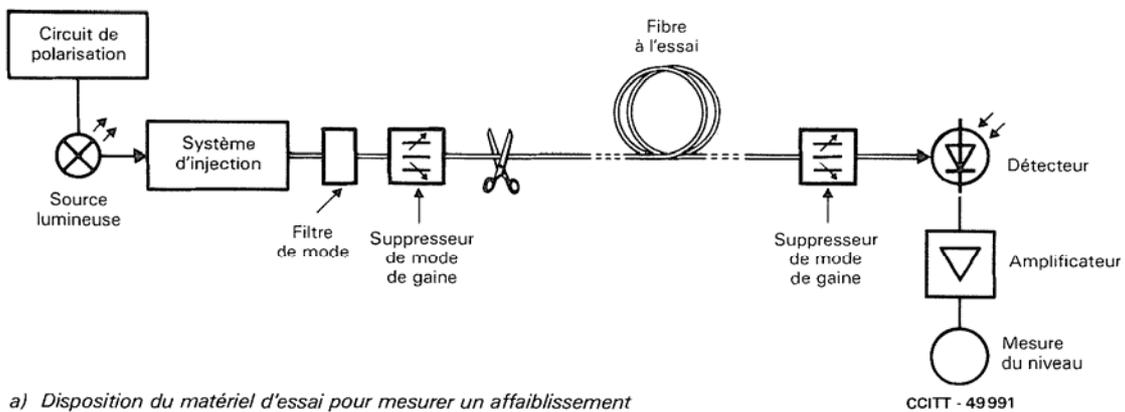


FIGURE B-9/G.652

## Technique de la fibre coupée

#### B.4.3.2.5 Suppresseur de mode de gain

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.

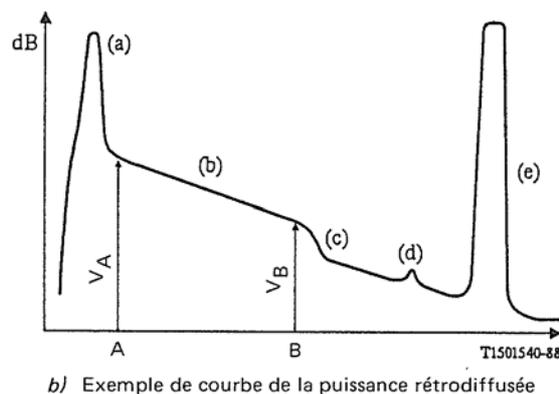
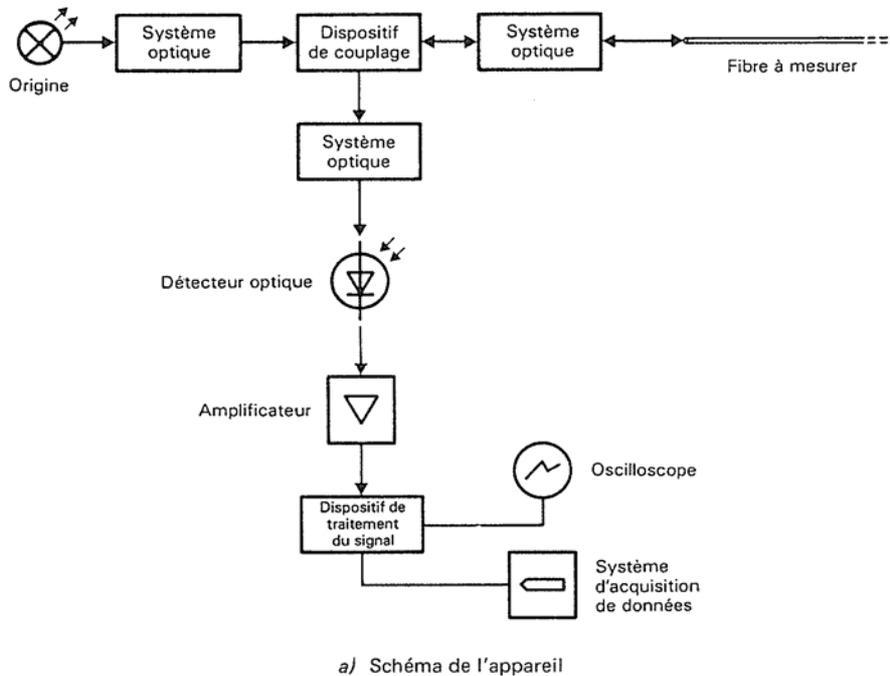


FIGURE B-10/G.652

### 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 *Équipement 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 calculateur 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  $S_0$ .

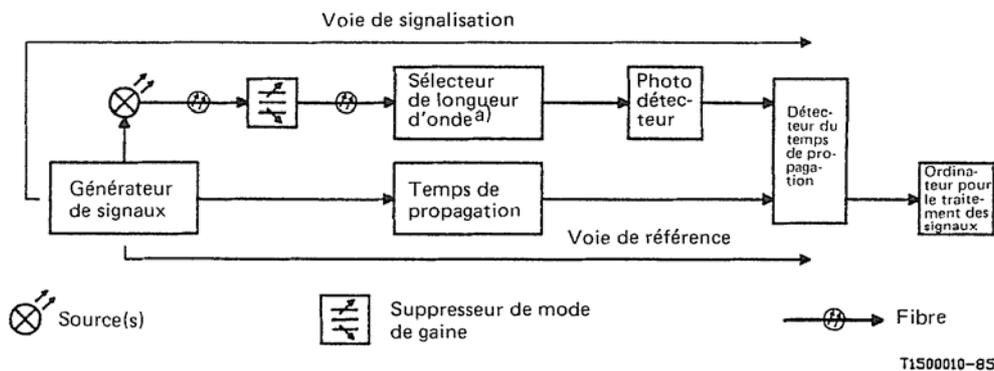
#### B.5.1.4 Présentation des résultats

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

#### Schème 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 µm.

#### 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.

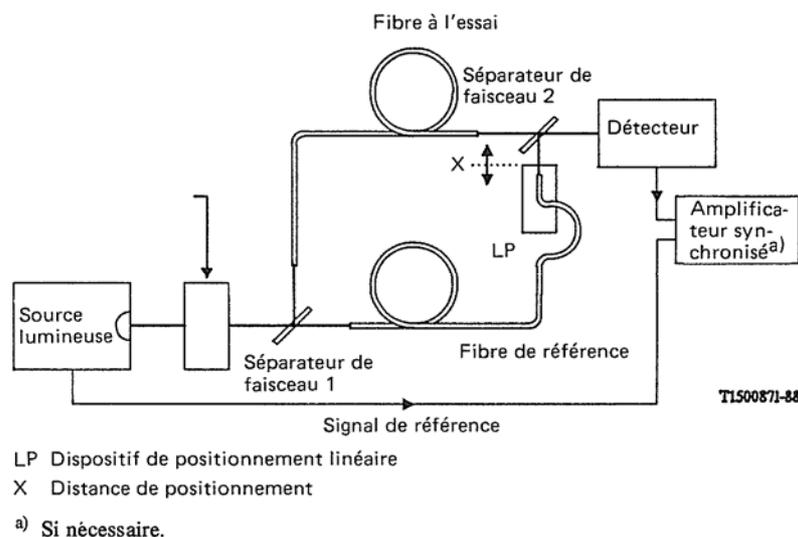
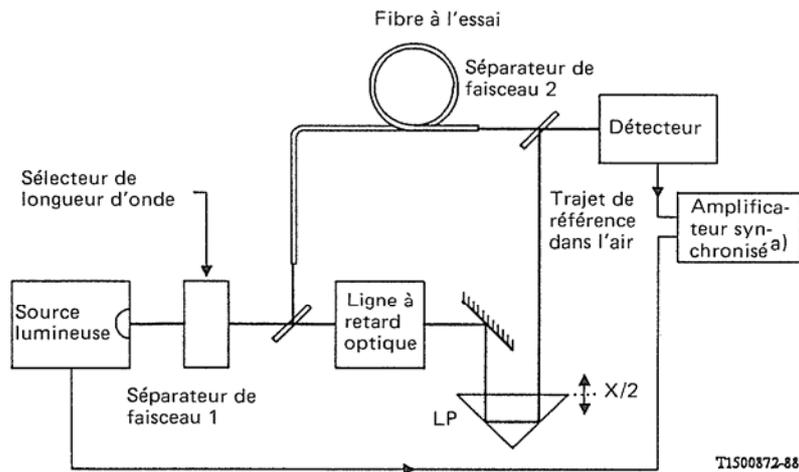


FIGURE B-12/G.652

**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**

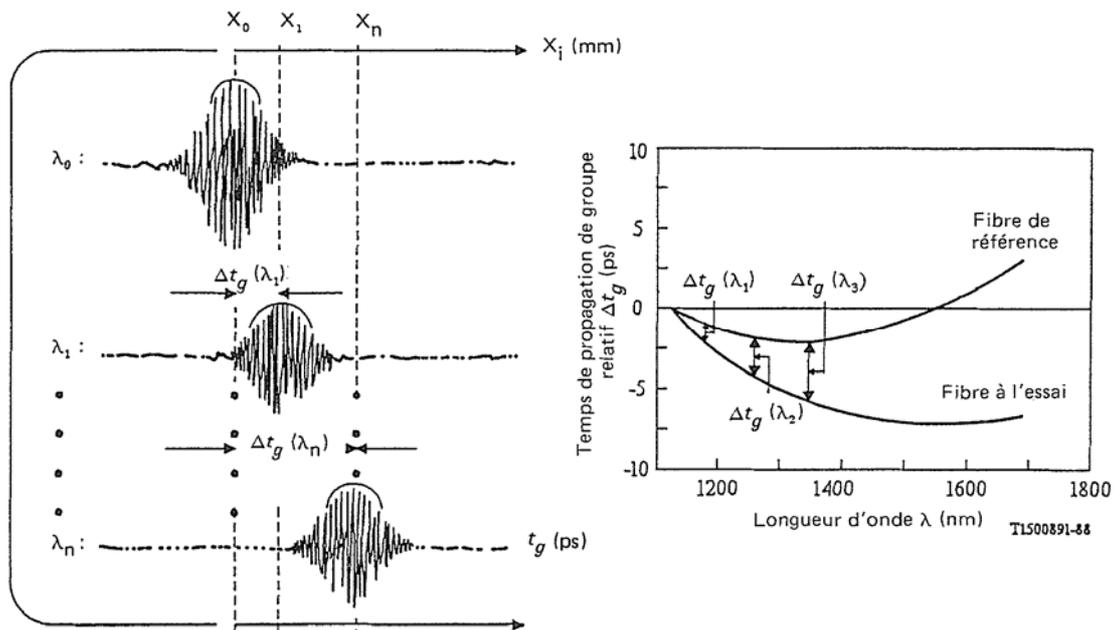


FIGURE B-14/G.652

**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).

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G  
**SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES**

**CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX**

Définitions générales	G.100–G.109
Généralités sur la qualité de transmission d'une connexion téléphonique internationale complète	G.110–G.119
Caractéristiques générales des systèmes nationaux participant à des connexions internationales	G.120–G.129
Caractéristiques générales d'une chaîne 4 fils formée par des circuits internationaux et leurs prolongements nationaux	G.130–G.139
Caractéristiques générales d'une chaîne 4 fils de circuits internationaux; transit international	G.140–G.149
Caractéristiques générales des circuits téléphoniques internationaux et des circuits nationaux de prolongement	G.150–G.159
Dispositifs associés aux circuits téléphoniques à grande distance	G.160–G.169
Aspects liés au plan de transmission dans les connexions et circuits spéciaux utilisant le réseau de communication téléphonique international	G.170–G.179
Protection et rétablissement des systèmes de transmission	G.180–G.189
Outils logiciels pour systèmes de transmission	G.190–G.199

***SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS***

**CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS**

Définitions et considérations générales	G.210–G.219
Recommandations générales	G.220–G.229
Équipements de modulation communs aux divers systèmes à courants porteurs	G.230–G.239
Emploi de groupes primaires, secondaires, etc.	G.240–G.299

**CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES**

Systèmes à courants porteurs sur paires symétriques non chargées, organisés en groupes primaires et secondaires	G.320–G.329
Systèmes à courants porteurs sur paires coaxiales de 2,6/9,5 mm	G.330–G.339
Systèmes à courants porteurs sur paires coaxiales de 1,2/4,4 mm	G.340–G.349
Recommandations complémentaires relatives aux systèmes en câble	G.350–G.399

**CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES**

Recommandations générales	G.400–G.419
Interconnexion de faisceaux avec les systèmes à courants porteurs sur lignes métalliques	G.420–G.429
Circuits fictifs de référence	G.430–G.439
Bruit de circuit	G.440–G.449

**COORDINATION DE LA RADIODÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES**

Circuits radiotéléphoniques	G.450–G.469
Liaisons avec les stations mobiles	G.470–G.499

***EQUIPEMENTS DE TEST***

***CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION***

Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
<b>Câbles à fibres optiques</b>	<b>G.650–G.659</b>

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



## SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
<b>Série G</b>	<b>Systemes et supports de transmission, systemes et reseaux numériques</b>
Série H	Systemes audiovisuels et multimédias
Série I	Reseau numérique à intégration de services
Série J	Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication