



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.650

(03/93)

**SUPPORTS DE TRANSMISSION –
CARACTÉRISTIQUES**

**DÉFINITION ET MÉTHODES D'ESSAI
DES PARAMÈTRES POUR LES FIBRES
MONOMODES**

Recommandation UIT-T G.650

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

AVANT-PROPOS

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

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes que les Commissions d'études de l'UIT-T doivent examiner et à propos desquels elles doivent émettre des Recommandations.

La Recommandation UIT-T G.650, élaborée par la Commission d'études XV (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Helsinki, 1-12 mars 1993).

NOTES

1 Suite au processus de réforme entrepris au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), le CCITT n'existe plus depuis le 28 février 1993. Il est remplacé par le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T) créé le 1^{er} mars 1993. De même, le CCIR et l'IFRB ont été remplacés par le Secteur des radiocommunications.

Afin de ne pas retarder la publication de la présente Recommandation, aucun changement n'a été apporté aux mentions contenant les sigles CCITT, CCIR et IFRB ou aux entités qui leur sont associées, comme «Assemblée plénière», «Secrétariat», etc. Les futures éditions de la présente Recommandation adopteront la terminologie appropriée reflétant la nouvelle structure de l'UIT.

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

© UIT 1994

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1	Définition des paramètres relatifs aux fibres monomodes 1
1.1	Définitions générales 1
1.2	Caractéristiques mécaniques 1
1.3	Caractéristiques du champ de mode 2
1.4	Caractéristiques de la gaine 3
1.5	Définitions de la dispersion chromatique 4
1.6	Autres caractéristiques 4
2	Méthodes de mesure pour les fibres monomodes 5
2.1	Méthodes de mesure de référence du diamètre du champ de mode 5
2.2	Méthodes de mesure du diamètre de la gaine, de l'erreur de concentricité du champ de mode et de la non-circularité de la gaine 10
2.3	Méthodes de mesure de la longueur d'onde de coupure 19
2.4	Méthodes de mesure de l'affaiblissement 25
2.5	Méthodes de mesure de la dispersion chromatique 34
2.6	Méthodes d'essai à des fins de contrôle 42

DÉFINITION ET MÉTHODES D'ESSAI DES PARAMÈTRES POUR LES FIBRES MONOMODES

(Helsinki, 1993)

Le CCITT,

considérant

- (a) que des fibres monomodes de conception différente sont largement utilisées dans les réseaux de communication;
- (b) que trois Recommandations (G.652, G.653 et G.654) relatives à différents câbles à fibres optiques ont déjà été élaborées;
- (c) que la définition des paramètres pertinents donnée dans les Recommandations précitées, ainsi que les méthodes d'essai destinées à vérifier les différentes caractéristiques, sont étroitement liées aux Recommandations elles-mêmes;
- (d) que ces définitions et méthodes d'essai ne diffèrent dans les diverses Recommandations que par quelques détails;
- (e) que de nouvelles Recommandations concernant des fibres optiques monomodes de conception différente pourraient être élaborées dans l'avenir et que ces textes pourraient faire référence essentiellement aux mêmes définitions et aux mêmes méthodes d'essai,

recommande

l'utilisation des définitions des paramètres concernés énumérés en 1 ci-après, et des méthodes d'essai pour lesdits paramètres décrites 2, pour les fibres monomodes visées dans les Recommandations G.652, G.653 et G.654.

1 Définition des paramètres relatifs aux fibres monomodes

Pour les besoins de la présente Recommandation, les définitions suivantes s'appliquent.

1.1 Définitions générales

1.1.1 profil d'indice de réfraction: indice de réfraction le long d'un diamètre de la fibre.

1.1.2 méthode d'essai de référence (RTM) (*reference test method*): méthode d'essai dans laquelle une caractéristique donnée d'une classe spécifiée de fibres optiques ou de câbles à fibres optiques est mesurée d'une manière strictement conforme à la définition de cette caractéristique et qui donne des résultats précis, reproductibles et utilisables à des fins pratiques.

1.1.3 méthode d'essai de remplacement (ATM) (*alternative test method*): méthode d'essai dans laquelle une caractéristique donnée d'une classe spécifiée de fibres optiques ou de câbles à fibres optiques est mesurée d'une manière conforme à la définition de cette caractéristique et qui donne des résultats reproductibles, comparables à ceux obtenus par la méthode d'essai de référence et utilisables à des fins pratiques.

1.1.4 suppresseur de mode de gaine: dispositif ou matériau qui facilite la conversion des modes de gaine en modes de rayonnement.

1.1.5 filtre de mode: dispositif conçu de manière à accepter ou rejeter un certain mode ou plusieurs modes.

1.2 Caractéristiques mécaniques

1.2.1 revêtement primaire: application, à la gaine de la fibre, d'une ou de plusieurs couches du matériau de protection pendant ou juste après la phase d'étirage, l'objectif étant de préserver l'intégrité de la surface de la gaine et d'offrir le minimum de protection nécessaire (par exemple, une protection de 250 µm).

1.2.2 revêtement secondaire: application d'une ou de plusieurs couches du matériau de protection sur une ou plusieurs fibres primaires revêtues, afin de renforcer la protection ou de disposer les fibres ensemble dans une structure donnée (par exemple, gainage, structure serrée ou en ruban de 900 µm).

1.2.3 niveau d'essai de contrôle: le niveau d'essai de contrôle est la valeur spécifiée de l'effort de traction/l'étirage auquel une fibre est soumise, généralement d'une manière séquentielle sur toute sa longueur, pendant une courte période de temps spécifiée.

1.2.4 paramètre de résistance à la corrosion: le paramètre de résistance (sensibilité) à la corrosion n est un coefficient sans dimension lié empiriquement à la variation de l'accroissement des fissures en fonction de la contrainte appliquée. Il dépend de la température ambiante, de l'humidité et d'autres conditions d'environnement.

Une valeur aussi bien statique que dynamique peut être définie pour ce paramètre.

Une valeur statique n_s est la partie négative de la pente d'une courbe logarithmique-logarithmique de fatigue statique du temps de défaillance en fonction de la contrainte appliquée.

La valeur dynamique est n_d , où $1/(n_d + 1)$ est la pente d'une courbe logarithmique de fatigue dynamique de la résistance à la défaillance en fonction du taux de contrainte appliquée.

NOTE – La valeur n n'est pas nécessairement un nombre entier.

1.3 Caractéristiques du champ de mode

1.3.1 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.

1.3.2 diamètre du champ de mode (MFD) (*mode field diameter*): le diamètre du champ de mode (MFD), $2w$, se définit à partir de la distribution d'intensité du champ lointain, $F^2(q)$ [$q = (1/\lambda) \cdot \sin \theta$, où θ est l'angle du champ lointain et λ la longueur d'onde], à partir de l'équation:

$$2w = (2/\pi) [2 \int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq / \int_0^{\infty} q F^2(q) dq]^{-1/2} \quad (1-1)$$

Les limites d'intégration indiquées sont 0 et ∞ , 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 $1/\lambda$, les intégrales tendent rapidement vers zéro, avant que cette valeur ne soit atteinte.

NOTE – Cette définition correspond en toute rigueur à une configuration de mesure fondée sur l'exploration du champ lointain. Des équations équivalentes donnant le MFD peuvent être déduites de l'équation (1-1) pour les autres configurations de mesure ci-après:

- 1) *technique de l'ouverture variable:* soit $\alpha(x)$ la fonction de transmission complémentaire de l'ouverture ($x = D \cdot \tan \theta$ étant le rayon de l'ouverture et D la distance entre l'ouverture et la fibre). On obtient alors pour MFD:

$$2w = (2/\pi) [4 \int_0^{\infty} \alpha(x) q dq]^{-1/2} \quad (1-2)$$

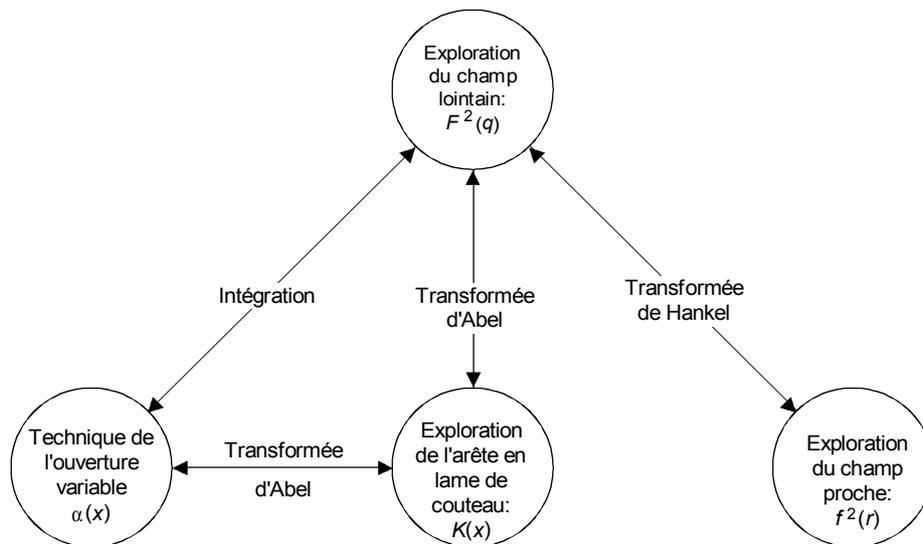
- 2) *exploration d'une arête en lame de couteau:* soit $K(x)$ la fonction de transmission de puissance «arête en lame de couteau» ($x = D \cdot \tan \theta$ étant le décalage latéral de l'arête en lame de couteau et D la distance entre l'arête et la fibre). On obtient alors pour MFD:

$$2w = (2/\pi) [4 \int_0^{\infty} [dK(x)/dx] q^2 dq / \int_0^{\infty} [dK(x)/dx] dq]^{-1/2} \quad (1-3)$$

- 3) *exploration du champ proche:* soit $f^2(r)$ la distribution de l'intensité du champ proche (r étant la coordonnée radiale). On obtient alors pour MFD:

$$2w = 2 [2 \int_0^{\infty} r f^2(r) dr / \int_0^{\infty} r [df(r)/dr]^2 dr]^{1/2} \quad (1-4)$$

L'équivalence mathématique de ces définitions résulte de relations de transformation entre les distributions ou les fonctions obtenues dans les différentes configurations de mesure. Celles-ci sont résumées dans la Figure 1.



T1507590-92/d01

FIGURE 1/G.650

Relations mathématiques entre les configurations de mesure

1.3.3 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.

NOTES

1 Le centroïde est situé à \bar{r}_c , qui est l'intégrale d'intensité pondérée normalisée du vecteur d'intégration \vec{r} .

$$\bar{r}_c = \frac{\iint_{\text{SURFACE}} \vec{r} I(\vec{r}) dA}{\iint_{\text{SURFACE}} I(\vec{r}) dA} \quad (1-5)$$

2 La correspondance entre la position du centroïde définie ci-dessus et la position du maximum de la distribution d'intensité spatiale nécessite des études complémentaires.

1.3.4 erreur de concentricité du champ de mode: distance entre le centre du champ de mode et le centre de la gaine.

1.3.5 Non-circularité du champ de mode

Etant donné qu'il est inutile, en général, de mesurer la non-circularité du champ de mode dans les essais de recette (comme indiquée en 1.4.1/G.652, G.653 et G.654), une définition de la non-circularité du champ de mode n'est pas nécessaire ici.

1.4 Caractéristiques de la gaine

1.4.1 gaine: région extérieure de la section transversale de la fibre, qui présente un indice de réfraction constant.

1.4.2 centre de la gaine: pour une section transversale d'une fibre optique, le centre de la gaine est le centre du cercle qui s'adapte le mieux à la limite extérieure de la gaine.

NOTE – La méthode de meilleure adaptation doit être spécifiée. Une méthode possible est décrite dans l'Appendice I de la section I de l'Annexe B/G.651.

1.4.3 diamètre de la gaine: diamètre du cercle définissant le centre de la gaine.

1.4.4 écart sur le diamètre de la gaine: différence entre la valeur effective et la valeur nominale du diamètre de la gaine.

1.4.5 champ de la tolérance de la gaine: pour une section transversale de la fibre optique, le champ de tolérance de la gaine est la région comprise entre le cercle entourant la limite extérieure de la gaine et le cercle le plus grand, concentrique au premier, qui s'adapte dans la limite extérieure de la gaine. Ces deux cercles ont le même centre que la gaine.

1.4.6 non-circularité de la gaine: différence entre les diamètres des deux cercles définis par le champ de tolérance de la gaine, divisée par le diamètre nominal de la gaine.

1.5 Définitions de la dispersion chromatique

1.5.1 dispersion chromatique: dispersion d'une impulsion lumineuse dans une fibre optique, par unité de largeur spectrale de la source, causée par la différence des vitesses de propagation de groupe des diverses longueurs d'onde qui constituent le spectre de la source.

NOTE – 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.

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

1.5.3 pente de dispersion nulle: pente de la courbe du coefficient de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde, à la longueur d'onde pour laquelle la dispersion est nulle.

1.5.4 longueur d'onde de dispersion nulle: longueur d'onde à laquelle disparaît la dispersion chromatique.

1.5.5 décalage de la longueur d'onde de la source: (seulement pour les fibres G.653) différence, en valeur absolue, entre la longueur d'onde de la source utilisée et 1550 nm.

1.5.6 décalage de la dispersion: (seulement pour les fibres G.653) déplacement, en valeur absolue, de la longueur d'onde correspondant à une dispersion nulle et 1550 nm.

1.6 Autres caractéristiques

1.6.1 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 élevé, et la puissance du mode fondamental a diminué jusqu'au-dessous d'une valeur spécifiée, l'excitation des modes étant pratiquement uniforme.

NOTES

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 mm. Selon cette définition, l'affaiblissement du mode LP₁₁ dans l'échantillon d'essai est de 19,3 dB à la longueur d'onde de coupure.

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.

3 Deux types de longueur d'onde de coupure sont décrits en 1.5/G.652:

- i) une longueur d'onde de coupure λ_c mesurée dans une longueur courte de la fibre à revêtement primaire non câblée;
- ii) une longueur d'onde de coupure λ_{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 λ_{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, λ_s :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1-6)$$

Dans ces conditions, chaque section de câble individuelle est suffisamment monomode. Tout raccord imparfait créera une certaine puissance de mode d'ordre élevé (LP₁₁), 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 LP₁₁ avant que celui-ci ne parvienne au raccord suivant. Si l'inégalité (1-6) 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 λ_c , ce qui ne demande qu'une longueur de deux mètres de fibre non câblée. λ_c dépend du type, de la longueur et du rayon de courbure de la fibre, tandis que λ_{cc} dépend en outre de la structure particulière du câble. La relation entre λ_c et λ_{cc} dépend donc à la fois de la conception de la fibre et de celle du câble. En général, λ_c dépasse λ_{cc} de plusieurs dizaines de nm; λ_c peut même être plus grande que la longueur d'onde du système, sans violer l'inégalité (1-6). Des valeurs supérieures de λ_c produisent un confinement plus serré du mode LP₀₁ et contribuent ainsi à réduire les pertes potentielles de courbure dans la région de la longueur d'onde 1550 nm.

De courtes longueurs de fibre (< 20 m) sont fréquemment fixées 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 λ_s . Parmi les moyens disponibles pour éviter le bruit de mode dans ce cas, on relève:

- a) choisir exclusivement des fibres ayant une valeur λ_c assez basse pour ces utilisations;
- b) monter ces fibres avec de faibles rayons de courbure.

L'option a) ci-dessus est traitée dans les Recommandations G.652, G.653 et G.654.

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

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda) / P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1-7)$$

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 λ .

Pour une fibre uniforme, il est possible de définir un affaiblissement par unité de longueur, ou un coefficient d'affaiblissement indépendant de la longueur de la fibre:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda) / L \quad (\text{dB/unité longueur}) \quad (1-8)$$

2 Méthodes de mesure pour les fibres monomodes

On spécifie en général la méthode de mesure de référence (RTM) ainsi que des méthodes de mesure de remplacement (ATM) 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.

NOTE – L'équipement et la procédure indiqués permettent d'obtenir seulement les caractéristiques de base essentielles des méthodes de mesure. On admet que l'instrumentation offrira toutes les dispositions nécessaires pour assurer la stabilité, l'élimination du bruit, et le rapport signal/bruit, etc.

2.1 Méthodes de mesure de référence du diamètre du champ de mode

2.1.1 Méthode de mesure de référence: exploration du champ lointain

2.1.1.1 Considérations générales

Le diamètre du champ de mode se détermine à partir de la distribution d'intensité du champ lointain, $F^2(q)$, conformément à la définition figurant au 1.3.2.

2.1.1.2 Equipement de mesure

2.1.1.2.1 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.

2.1.1.2.2 Modulation

Il est d'usage de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit dans le récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur sera relié à un 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.

2.1.1.2.3 Conditions d'injection

Les conditions d'injection appliquées 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 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.

2.1.1.2.4 Suppresseur de mode de gaine

Des précautions doivent être prises pour empêcher la propagation et la détection des modes de gaine.

2.1.1.2.5 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° près.

2.1.1.2.6 Appareillage d'exploration

On utilisera un mécanisme pour explorer la distribution d'intensité du champ lointain (par exemple, un photodétecteur à balayage ayant une ouverture en «trou d'aiguille» ou un photodétecteur à balayage muni d'une amorce). Le détecteur doit être placé à 10 mm au moins 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 $2wb/\lambda$, $2w$ étant le diamètre du champ de mode attendu de la fibre à mesurer et b le diamètre de la zone active du détecteur.

La gamme dynamique minimale de la mesure devrait être au minimale de 50 dB. Cette valeur correspond à un demi-angle d'exploration maximal de 20° et 25° , ou plus, pour les fibres auxquelles s'appliquent respectivement les Recommandations G.652 et G.653.

NOTES

1 En diminuant la gamme dynamique nécessaire (ou le demi-angle d'exploration maximal), on risque d'introduire des erreurs. Par exemple, si on limite ces valeurs à 30 dB et $12,5^\circ$ pour les fibres G.652, et à 40 dB et 20° pour les fibres G.653, la détermination du MFD risque d'être entachée d'une erreur relative de plus de 1%.

2 Les considérations développées pour les fibres G.652 s'appliquent aussi aux fibres G.654.

2.1.1.2.7 Détecteur

On utilisera un détecteur approprié. Les caractéristiques de sensibilité de ce détecteur doivent être linéaires.

2.1.1.2.8 Amplificateur

Il convient d'employer un amplificateur afin d'augmenter le niveau du signal.

2.1.1.2.9 Acquisition des données

Le niveau du signal mesuré doit être enregistré et traité de façon appropriée.

2.1.1.3 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 la procédure suivante: en explorant le détecteur par échelons fixes, on mesure la distribution d'intensité du champ lointain, $F^2(q)$, et on calcule le diamètre du champ de mode à partir de l'équation (1-1).

2.1.1.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) le montage de mesure, la dynamique du système de mesure, les algorithmes de traitement, ainsi qu'une description des appareils destinés à l'exploration (y compris l'angle d'exploration);
- b) les conditions d'injection;
- c) la longueur d'onde et la largeur de raie spectrale FWHM de la source;
- d) l'identification de la fibre et sa longueur;
- e) le type de supprimeur de mode de gaine;
- f) le type et les dimensions du détecteur;
- g) la température de l'échantillon et les conditions ambiantes (lorsque cela est nécessaire);
- h) l'indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- i) le diamètre du champ de mode.

2.1.2 Première méthode de mesure de remplacement: technique de l'ouverture variable

2.1.2.1 Considérations générales

On détermine le diamètre de champ de mode d'après la fonction de transmission de puissance complémentaire, $\alpha(x)$ (voir 1.3.2).

2.1.2.2 Equipement de mesure

2.1.2.2.1 Source lumineuse (comme au 2.1.1.2.1)

2.1.2.2.2 Modulation (comme au 2.1.1.2.2)

2.1.2.2.3 Conditions d'injection (comme au 2.1.1.2.3)

2.1.2.2.4 Supprimeur de mode de gaine (comme au 2.1.1.2.4)

2.1.2.2.5 Echantillon (comme au 2.1.1.2.5)

2.1.2.2.6 Appareil de réglage de l'ouverture

On utilisera un mécanisme contenant au moins douze ouvertures, couvrant la gamme des demi-angles d'ouverture numérique allant de 0,02 à 0,25 (0,4 pour les fibres auxquelles s'applique la Recommandation G.653). La lumière transmise par l'ouverture est collectée et focalisée sur le détecteur.

NOTE – L'ouverture numérique (NA) (*numerical aperture*) de l'optique collectrice doit être suffisamment grande pour ne pas influencer les résultats de mesure.

2.1.2.2.7 Détecteur (comme au 2.1.1.2.7)

2.1.2.2.8 Amplificateur (comme au 2.1.1.2.8)

2.1.2.2.9 Acquisition des données (comme au 2.1.1.2.9)

2.1.2.3 Procédure de mesure

L'extrémité d'injection de la fibre est alignée avec le faisceau d'injection, et l'extrémité de sortie de la fibre avec le dispositif de sortie approprié.

La procédure est la suivante: on mesure la puissance $P(x)$ transmise par chaque ouverture et on calcule la fonction complémentaire de transmission d'ouverture, $\alpha(x)$, à l'aide de la formule:

$$\alpha(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{max}} \quad (2-1)$$

où P_{max} désigne la puissance transmise par la plus grande ouverture et x , le rayon de l'ouverture. Le diamètre du champ de mode se calcule à l'aide de l'équation (1-2).

2.1.2.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) le montage de mesure, la dynamique du système de mesure, les algorithmes de traitement, ainsi qu'une description de l'appareil de réglage de l'ouverture (y compris la NA);
- b) les conditions d'injection;
- c) la longueur d'onde et la largeur de raie spectrale FWHM de la source;
- d) l'identification de la fibre et sa longueur;
- e) le type de supprimeur de mode de gaine;
- f) le type et les dimensions du détecteur;
- g) la température de l'échantillon et les conditions ambiantes (lorsque cela est nécessaire);
- h) l'indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- i) le diamètre du champ de mode.

2.1.3 Deuxième méthode de mesure de remplacement: exploration d'arête en lame de couteau

2.1.3.1 Considérations générales

On détermine le diamètre du champ de mode d'après la fonction de transmission d'arête en lame de couteau, $K(x)$, selon 1.3.2.

2.1.3.2 Equipement de mesure

2.1.3.2.1 **Source lumineuse** (comme au 2.1.1.2.1)

2.1.3.2.2 **Modulation** (comme au 2.1.1.2.2)

2.1.3.2.3 **Conditions d'injection** (comme au 2.1.1.2.3)

2.1.3.2.4 **Supprimeur de mode de gaine** (comme au 2.1.1.2.4)

2.1.3.2.5 **Echantillon** (comme au 2.1.1.2.5)

2.1.3.2.6 Appareil d'exploration

On doit utiliser un mécanisme qui explore linéairement une lame de couteau dans une direction orthogonale à l'axe de la fibre et au tranchant de la lame. La lumière transmise par la lame de couteau est collectée et focalisée sur le détecteur. Pour les fibres auxquelles s'applique la Recommandation G.653, l'optique collectrice doit avoir une ouverture numérique (NA) au moins égale à 0,4.

NOTE – L'ouverture numérique de l'optique collectrice doit être suffisamment grande pour ne pas influencer les résultats de mesure.

2.1.3.2.7 **Détecteur** (comme au 2.1.1.2.7)

2.1.3.2.8 **Amplificateur** (comme au 2.1.1.2.8)

2.1.3.2.9 **Acquisition des données** (comme au 2.1.1.2.9)

2.1.3.3 Procédure de mesure

L'extrémité d'injection de la fibre est alignée avec le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre avec le dispositif de sortie approprié.

La procédure est la suivante: on mesure la puissance transmise par la lame de couteau en fonction de la position de la lame. On prend la dérivée de cette fonction, $K(x)$, et on calcule le diamètre du champ de mode à l'aide de l'équation (1-3).

2.1.3.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage de mesure, la dynamique du système de mesure, les algorithmes de traitement, ainsi qu'une description du dispositif d'exploration utilisé (y compris la NA);
- b) conditions d'injection;
- c) longueur d'onde et largeur de raie spectrale FWHM de la source;
- d) identification de la fibre et sa longueur;
- e) type de suppresseur de mode de gaine;
- f) type et dimensions du détecteur;
- g) température de l'échantillon et conditions ambiantes (lorsque cela est nécessaire);
- h) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- i) diamètre du champ de mode.

2.1.4 Troisième méthode de mesure de remplacement: exploration du champ proche

2.1.4.1 Considérations générales

On détermine le diamètre du champ de mode à partir de la distribution de l'intensité du champ proche, $f^2(r)$, selon 1.3.2.

2.1.4.2 Equipement de mesure

2.1.4.2.1 Source lumineuse (comme au 2.1.1.2.1)

2.1.4.2.2 Modulation (comme au 2.1.1.2.2)

2.1.4.2.3 Conditions d'injection (comme au 2.1.1.2.3)

2.1.4.2.4 Suppresseur de mode de gaine (comme au 2.1.1.2.4)

2.1.4.2.5 Echantillon (comme au 2.1.1.2.5)

2.1.4.2.6 Appareil d'exploration

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.

2.1.4.2.7 Détecteur (comme au 2.1.1.2.7)

2.1.4.2.8 Amplificateur (comme au 2.1.1.2.8)

2.1.4.2.9 Acquisition des données (comme au 2.1.1.2.9)

2.1.4.3 Procédure de mesure

L'extrémité d'injection de la fibre est alignée avec le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre avec le dispositif de sortie approprié.

La procédure est la suivante: le champ proche de la fibre est agrandi par un système optique grossissant et projeté sur le plan du détecteur. La focalisation 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 de l'équation (1-4). A titre de variante, la distribution d'intensité du champ proche $f^2(r)$ peut être transformée dans le domaine du champ lointain en utilisant une transformation de 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 de l'équation (1-1).

2.1.4.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) le montage de mesure, la dynamique du système de mesure, les algorithmes de traitement, ainsi qu'une description des dispositifs d'imagerie et d'exploitation utilisés;
- b) les conditions d'injection;
- c) la longueur d'onde et la largeur de raie spectrale FWHM de la source;
- d) l'identification de la fibre et sa longueur;
- e) le type de supprimeur de mode de gaine;
- f) le grossissement de l'appareil;
- g) le type et les dimensions du détecteur;
- h) la température de l'échantillon et les conditions ambiantes (lorsque cela est nécessaire);
- i) l'indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- j) le diamètre du champ de mode.

2.2 Méthodes de mesure du diamètre de la gaine, de l'erreur de concentricité du champ de mode et de la non-circularité de la gaine

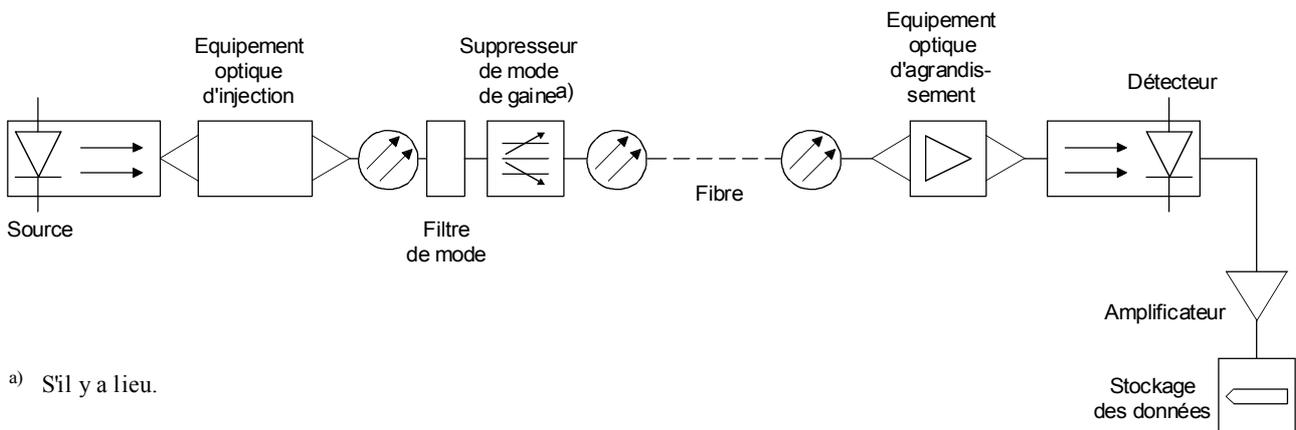
2.2.1 Méthode de mesure de référence: technique du champ proche émis

2.2.1.1 Considérations générales

Les caractéristiques géométriques sont déterminées à partir de la distribution d'intensité du champ proche, selon les définitions données en 1.3.4, 1.4.3 et 1.4.6.

2.2.1.2 Equipement de mesure

Un schéma de l'équipement de mesure est représenté à la Figure 2.



T1507600-92/d02

FIGURE 2/G.650

Montage type de mesure du champ proche émis

2.2.1.2.1 Source lumineuse

Pour éclairer le cœur, on utilisera une source lumineuse de 1310 nm ou 1550 nm nominal, d'intensité réglable, pour les fibres visées respectivement par les Recommandations G.652 ou G.653 et G.654. 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 doit choisir les caractéristiques spectrales de manière 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.

2.2.1.2.2 Conditions d'injection

L'optique d'injection, qui sera utilisée pour la surinjection de la fibre, donnera un faisceau de lumière focalisé sur l'extrémité d'entrée plate de la fibre.

2.2.1.2.3 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} .

2.2.1.2.4 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 ne doit pas être en fonction si l'on mesure les caractéristiques géométriques de la seule gaine.

2.2.1.2.5 Echantillon

L'échantillon doit être un court segment de la fibre optique à mesurer. Les extrémités de la fibre doivent être propres, lisses et perpendiculaires à l'axe.

2.2.1.2.6 Equipement optique d'agrandissement

L'équipement optique d'agrandissement sera composé d'un système optique (par exemple un objectif de microscope), qui agrandit le champ proche à la sortie de l'échantillon, en le focalisant dans le plan du détecteur d'exploration. L'ouverture numérique, et par conséquent le pouvoir 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.

2.2.1.2.7 Détecteur

Il faut employer un détecteur approprié qui fournit l'intensité point à point du ou des diagrammes du champ proche émis. Par exemple, l'une des techniques suivantes peut être utilisée:

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

Le détecteur doit avoir un fonctionnement linéaire (ou linéarisé) pour toute la gamme des intensités rencontrées.

2.2.1.2.8 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'exploration utilisé. Lorsqu'on explore l'extrémité de sortie de la fibre avec des systèmes mécaniques ou optiques, on module généralement la source optique. Si cette procédure est adoptée, l'amplificateur doit être calé sur la fréquence de modulation de la source.

2.2.1.2.9 Acquisition des données

On peut enregistrer la distribution d'intensité mesurée, la traiter et la présenter sous une forme appropriée, conformément à la technique d'exploration et aux spécifications.

2.2.1.3 Procédure de mesure

2.2.1.3.1 Etalonnage de l'équipement

Pour l'étalonnage de l'équipement, il faut mesurer l'agrandissement du système optique en explorant l'image d'un échantillon dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision.

Cet agrandissement doit être enregistré.

2.2.1.3.2 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 du 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.

Les algorithmes pour la définition des arêtes et le calcul des paramètres géométriques sont à l'étude.

2.2.1.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage de mesure, avec indication de la technique d'exploration utilisée;
- b) conditions d'injection;
- c) caractéristiques spectrales de la ou des sources;
- d) identification et longueur de la fibre;
- e) type de filtre de mode (le cas échéant);
- f) agrandissement de l'optique utilisée;
- g) type et dimensions du détecteur d'exploration;
- h) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire);
- i) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- j) paramètres dimensionnels qui en résultent tels que le diamètre de la gaine, la non-circularité de la gaine, l'erreur de concentricité du champ de mode, etc.

2.2.2 Première méthode de mesure de remplacement: technique du champ proche réfracté

2.2.2.1 Considérations générales

La mesure de l'indice de réfraction du champ proche donne directement la distribution de l'indice de réfraction dans toute la fibre (cœur et gaine). On peut obtenir les caractéristiques géométriques de la fibre à partir de la distribution de l'indice de réfraction en utilisant des algorithmes appropriés.

2.2.2.2 Equipement de mesure

Un diagramme schématique de la méthode de mesure est représenté à la Figure 3. Cette technique consiste à balayer une tache focalisée sur l'extrémité de la fibre. L'équipement optique est disposé de manière à surcharger à l'injection l'ouverture numérique de la fibre. L'extrémité de la fibre est plongée dans un liquide dont l'indice est légèrement supérieur à celui de la gaine. Une partie de la lumière est en modes guides dans la fibre et l'autre partie apparaît sous la forme d'un cône creux modes de fuite et réfractés à l'extérieur de la fibre. Un disque opaque est placé sur l'axe optique du cœur, de sorte que seule la lumière réfractée atteigne le détecteur.

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

2.2.2.2.1 Source

Il faut un laser stable, par exemple un laser HeNe, fournissant une puissance d'environ 1 mW dans le mode TEM₀₀.

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

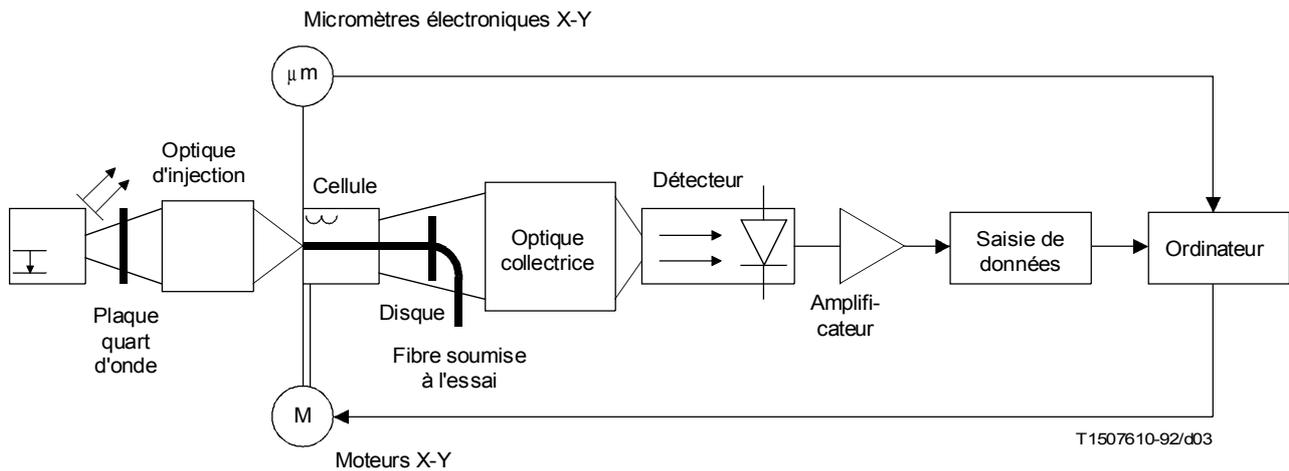


FIGURE 3/G.650

Configuration typique du dispositif de mesure du champ proche réfracté

2.2.2.2.2 Conditions d'injection

L'optique d'injection, conçue de manière à surcharger l'ouverture numérique de la fibre, focalise le faisceau de lumière sur l'extrémité plate de la fibre. L'axe optique du faisceau de lumière doit être situé à moins d'un degré de l'axe de la fibre. La résolution de l'équipement est déterminée par la dimension de la tache focale, qui doit être la plus petite possible pour maximiser la résolution, c'est-à-dire inférieure à 1,0 μm . L'équipement permet d'explorer par balayage du spot lumineux tout le diamètre de la fibre.

2.2.2.2.3 Cellule liquide

Le liquide de la cellule doit avoir un indice de réfraction légèrement plus élevé que celui de la gaine. La position de la cellule sera réglée par des moteurs X-Y pilotés par l'ordinateur et détectée par des micromètres X-Y.

2.2.2.2.4 Détection

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

2.2.2.2.5 Acquisition des données

La distribution d'intensité mesurée peut être enregistrée, traitée et présentée sous une forme adéquate, en fonction de la technique d'exploitation et des spécifications. On utilisera un ordinateur pour piloter les moteurs X-Y, enregistrer la position X-Y de la cellule ainsi que les niveaux de puissance correspondants et traiter les données mesurées.

2.2.2.3 Procédure

Il faut se reporter au diagramme schématique de l'équipement de mesure (Figure 3).

2.2.2.3.1 Préparation de la fibre à mesurer

Il faut une longueur de fibre d'environ 0,5 m.

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

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

2.2.2.3.2 Etalonnage de l'équipement

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

Des méthodes d'étalonnage plus commodes peuvent être mises en œuvre à l'aide d'une tige mince dont on connaît l'indice de réfraction constant ou d'une fibre multimode à plusieurs échelons d'indice dont les diverses valeurs d'indice de réfraction sont connues avec une grande précision. Cette dernière technique peut être également utile pour vérifier la linéarité des appareils. Il peut être également utile, à cet égard, de vérifier la température du liquide dans la cellule liquide.

2.2.2.3.3 Balayage récurrent

L'extrémité d'injection de la fibre à mesurer est plongée dans la cellule liquide et le faisceau laser est simultanément centré et focalisé sur l'extrémité de la fibre.

Le disque est centré sur le cône de sortie. Les modes réfractés passant par le disque sont recueillis et focalisés sur le détecteur.

A l'aide du faisceau laser focalisé, on explore la section de l'extrémité de la fibre et on obtient directement une distribution bidimensionnelle de l'indice de réfraction de la fibre. A partir de cette distribution, on calcule les caractéristiques géométriques de la fibre.

2.2.2.3.4 Caractéristiques géométriques

Une fois que l'exploration récurrente de l'indice de réfraction a été effectuée, on obtient le contour du cœur en prenant les points à l'interface gaine-cœur de l'indice de réfraction qui coïncident avec la valeur médiane entre les indices de réfraction moyens du cœur, d'une part, et de la gaine, d'autre part. Le contour de la gaine est déterminé d'une manière similaire mais à l'interface gaine-liquide adaptateur d'indice. On effectuera, à partir des données relatives aux contours du cœur et de la gaine, des analyses de géométrie conformément aux dispositions de l'article 1. L'erreur de concentricité du champ de mode sera évaluée sur la base de l'erreur de concentricité cœur-gaine.

2.2.2.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) dispositif de mesure avec indication de la technique d'exploration utilisée;
- b) identification de la fibre;
- c) diamètre de la gaine;
- d) erreur de concentricité du champ de mode;
- e) non-circularité de la gaine;
- f) diamètre du cœur (le cas échéant);
- g) exploration récurrente de la section complète de la fibre (le cas échéant);
- h) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- i) température de la cellule et conditions d'environnement (le cas échéant).

2.2.3 Deuxième méthode de mesure de remplacement: technique de la visée latérale

2.2.3.1 Considérations générales

La méthode de la visée latérale est appliquée aux fibres monomodes afin de déterminer les paramètres géométriques [l'erreur de concentricité du champ de mode (MFCE) (*mode field concentricity error*), 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.

2.2.3.2 Equipement de mesure

Un schéma de l'équipement de mesure est représenté à la Figure 4.

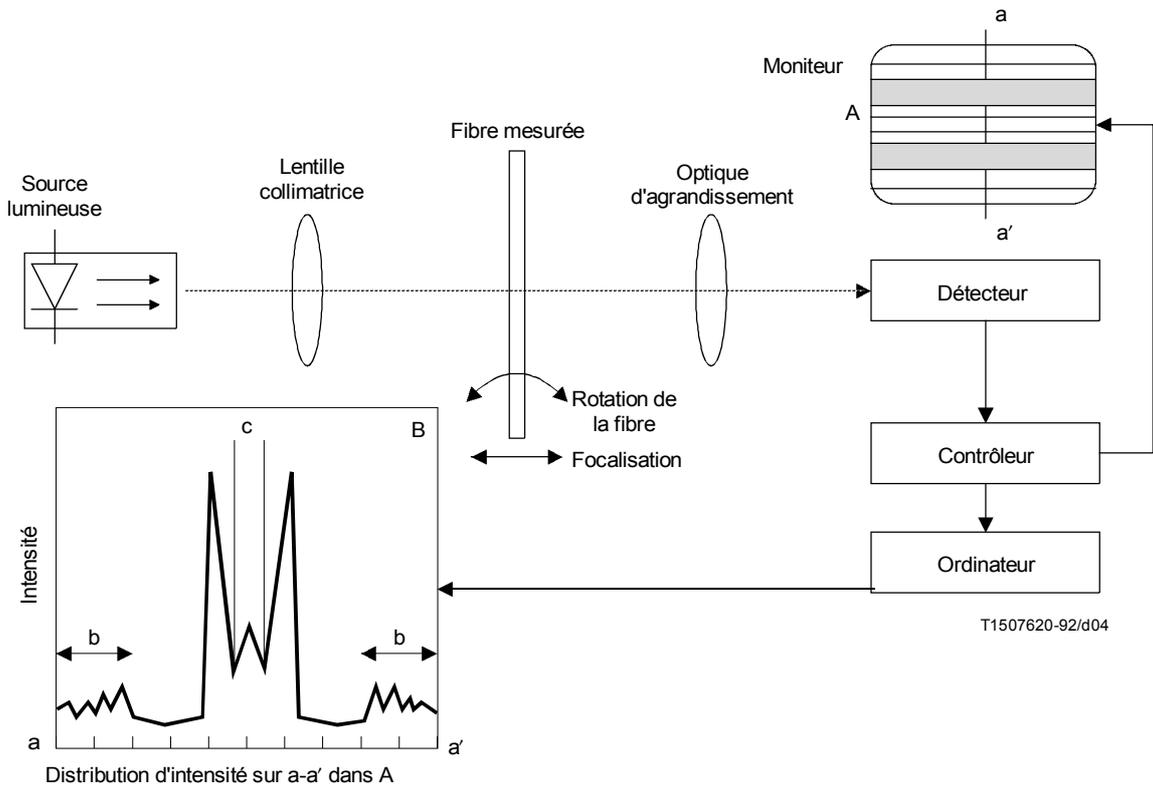


FIGURE 4/G.650

Schéma de principe du système de mesure en visée latérale

2.2.3.2.1 Source lumineuse

La lumière émise doit être collimatée et réglable en intensité; sa position, 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 électroluminescente (LED) (*light emitting diode*) peut être utilisée.

2.2.3.2.2 Echantillon

L'échantillon à mesurer doit être une fibre monomode de faible longueur. Le revêtement primaire sera éliminé de la section observée. La surface de la fibre doit être maintenue propre pendant les mesures.

2.2.3.2.3 Optique d'agrandissement

L'optique d'agrandissement doit se composer d'un système optique (par exemple, un objectif de microscope) qui agrandit la distribution d'intensité de la lumière réfractée à l'intérieur de la fibre dans le plan du détecteur d'exploration. 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.

2.2.3.2.4 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 couplage par charges. 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.

2.2.3.2.5 Traitement des données

On utilisera un ordinateur et le logiciel approprié pour analyser les distributions d'intensité.

2.2.3.3 Procédure de mesure

2.2.3.3.1 Etalonnage de l'équipement

Pour étalonner l'équipement, on mesurera l'agrandissement de l'optique en balayant la longueur d'un échantillon dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision. Cet agrandissement doit être enregistré.

2.2.3.3.2 Mesure

La fibre à mesurer est fixée dans le porte-échantillon et placée dans le système de mesure. Elle est positionnée 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 4) sont enregistrées (indiquées comme B) pour différentes directions de visée, 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 dans B). La position centrale du cœur 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 du cœur correspond à la valeur nominale observée de l'erreur de concentricité du champ de mode (MFCE).

Comme le montre la Figure 5, en ajustant la courbe de la fonction sinusoïdale aux valeurs de MFCE obtenues expérimentalement en fonction de l'angle de rotation, on peut calculer la MFCE effective 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 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.

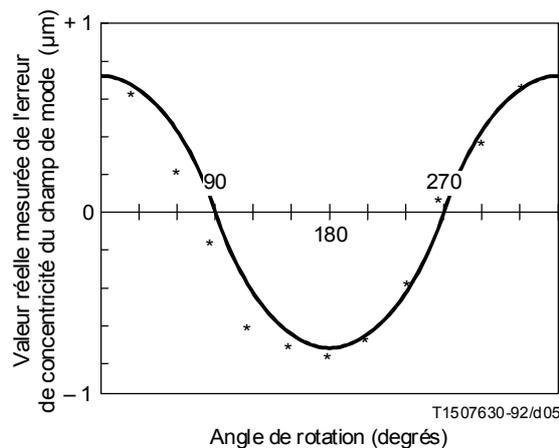


FIGURE 5/G.650

Valeur mesurée de la MFCE en fonction de l'angle de rotation

2.2.3.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- montage de mesure;
- identification de la fibre;
- caractéristiques spectrales de la source;
- indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- courbe de l'erreur de concentricité du champ de mode en fonction de l'angle de rotation;
- erreur de concentricité du champ de mode, diamètre de la gaine optique et non-circularité de la gaine optique;
- température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

2.2.4 Troisième méthode de mesure de remplacement: technique de l'image du champ proche émis

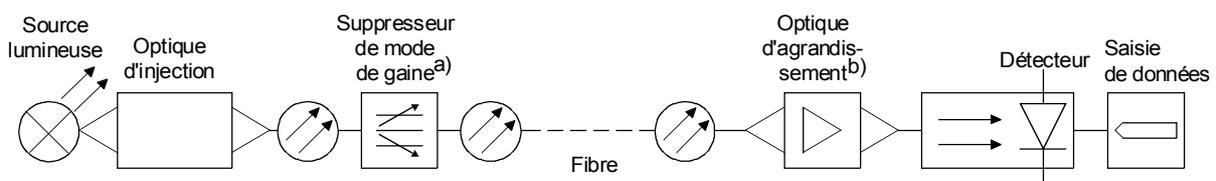
2.2.4.1 Considérations générales

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 en conformité avec les définitions correspondantes.

La mesure est fondée sur l'analyse de l'image ou des images agrandie(s) de l'extrémité de sortie de la fibre mesurée.

2.2.4.2 Equipement de mesure

Un schéma de l'équipement de mesure est représenté à la Figure 6.



a) S'il y a lieu.

b) Y compris l'optique de cisaillement d'image, s'il a lieu.

T1507640-92/d06

FIGURE 6/G.650

Montage type pour la mesure du champ proche émis

2.2.4.2.1 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.

2.2.4.2.2 Conditions d'injection

L'optique d'injection, qui sera utilisée pour la surinjection des fibres, donnera un faisceau de lumière focalisé sur l'extrémité d'entrée plate de la fibre.

2.2.4.2.3 Suppresseur de mode de gaine

Un suppresseur de mode de gaine approprié peut être utilisé pour supprimer toute propagation d'énergie optique dans la gaine. Si l'on mesure seulement les caractéristiques géométriques de la gaine, le suppresseur de mode de gaine sera déconnecté.

2.2.4.2.4 Echantillon

L'échantillon doit être un court segment de la fibre optique à mesurer. Les extrémités de la fibre doivent être propres, lisses et perpendiculaires à l'axe.

2.2.4.2.5 Optique d'agrandissement

L'optique d'agrandissement sera composée d'un système optique (par exemple, un objectif de microscope), qui agrandit le champ proche à la sortie de l'échantillon. L'ouverture numérique, et par conséquent le pouvoir de résolution de l'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 favoriser la précision des mesures.

2.2.4.2.6 Détection

L'image de la fibre sera examinée et/ou analysée. On peut, par exemple, appliquer l'une des techniques suivantes:

- a) cisaillement d'image;
- b) analyse de l'échelle des gris d'une image enregistrée électroniquement.

2.2.4.2.7 Acquisition des données

Les données peuvent être enregistrées, traitées et présentées sous une forme appropriée, en fonction de la technique utilisée et des spécifications.

2.2.4.3 Procédure de mesure

2.2.4.3.1 Etalonnage de l'équipement

Pour l'étalonnage de l'équipement, il faut mesurer l'agrandissement du système optique en explorant l'image d'un échantillon dont les dimensions sont déjà connues avec une bonne précision. Cet agrandissement doit être enregistré.

2.2.4.3.2 Mesure

L'extrémité d'injection de la fibre doit être alignée avec le faisceau d'injection et l'extrémité de sortie de la fibre avec l'axe de l'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 erreurs dues à une défocalisation devraient être minimisées afin de réduire les erreurs sur la mesure des dimensions. Les paramètres géométriques souhaités sont alors calculés.

Les algorithmes pour la définition des arêtes et le calcul des paramètres géométriques sont à l'étude.

2.2.4.4 Présentation des résultats

- a) montage 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'optique;
- f) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire);
- g) indication de la précision et de la reproductibilité des mesures;
- h) paramètres dimensionnels qui en résultent, tels que le diamètre de la gaine, la non-circularité de la gaine, l'erreur de concentricité du champ de mode, etc.

2.3 Méthodes de mesure de la longueur d'onde de coupure

2.3.1 Méthode de mesure de référence de la longueur d'onde de coupure (λ_c) d'une fibre (sous-revêtement primaire): technique de la puissance émise

2.3.1.1 Considérations générales

La mesure de la longueur d'onde de coupure des fibres monomodes a pour but de garantir leur fonctionnement monomodal effectif au-dessus d'une longueur d'onde spécifiée.

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 de référence émise. 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.

NOTE – En général, la présence d'un revêtement primaire sur la fibre n'influe pas sur la longueur d'onde de coupure. En revanche, la présence d'un revêtement secondaire peut donner une longueur d'onde de coupure nettement plus petite que celle d'une fibre à revêtement primaire.

La mesure peut être effectuée sur une fibre dotée d'un revêtement secondaire, si on a examiné le type de ce revêtement et si cet examen confirme que le revêtement en question n'influence pas de façon significative la longueur d'onde de coupure, à condition que le revêtement secondaire ait été convenablement déposé.

2.3.1.2 Equipement de mesure

2.3.1.2.1 Source lumineuse

On utilisera une source lumineuse dont la largeur de raie ne dépasse pas 10 nm (FWHM); 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 procédure de mesure. Elle doit également être capable de fonctionner dans une gamme de longueurs d'onde suffisante.

2.3.1.2.2 Modulation

Il est courant de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit dans le récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur doit être relié à un système de traitement du signal, synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit être très sensiblement linéaire.

2.3.1.2.3 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.

2.3.1.2.4 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} .

2.3.1.2.5 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.

2.3.1.3 Procédure de mesure

2.3.1.3.1 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 λ , dans une gamme suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure attendue.

2.3.1.3.2 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 petit pour filtrer le mode LP₁₁. Une valeur type pour ce rayon est de 30 mm.
- b) Avec une courte longueur (1 à 2 m) de fibre multimode, on mesure une puissance de sortie $P_3(\lambda)$ sur la même gamme de longueurs d'onde.

NOTE – 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 atténuer ce problème, les conditions d'injection de la lumière peuvent être restreintes de façon à ne remplir que 70% du cœur de la fibre multimode et on peut utiliser une NA ou un filtre de mode approprié.

2.3.1.3.3 Calculs

Le rapport logarithmique entre les puissances émises $P_1(\lambda)$ et $P_i(\lambda)$ se calcule comme suit:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda) / P_i(\lambda)] \quad (2-2)$$

où

$i = 2$ ou 3 , respectivement, pour les méthodes a) et b).

NOTE – 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 λ_c . Aux longueurs d'onde supérieures de plus de plusieurs centaines de nm à λ_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 LP₁₁, et la puissance du mode fondamental. Lorsque les modes sont uniformément excités, conformément au 2.3.1.2.3, $R(\lambda)$ donne aussi l'affaiblissement du mode LP₁₁, $A(\lambda)$, exprimé en dB, dans l'échantillon de mesure:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda) / P_2(\lambda) - 1) / 2] \quad (2-3)$$

2.3.1.3.4 Détermination de la longueur d'onde de coupure

Si l'on utilise la méthode a), λ_c est la plus grande longueur d'onde à laquelle $R(\lambda)$ est égal à 0,1 dB (voir la Figure 7).

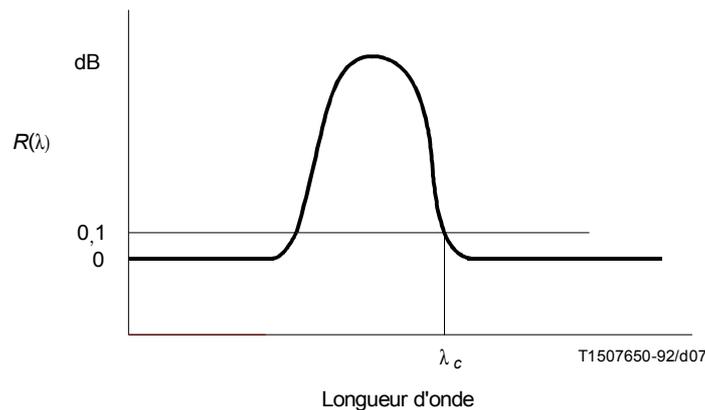


FIGURE 7/G.650

Courbe type de la longueur d'onde de coupure en cas d'utilisation d'une référence monomode

Si l'on utilise la méthode b), λ_c est déterminée par l'intersection d'une courbe 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 8).

NOTE – Conformément à la définition, l'affaiblissement du mode LP₁₁ dans l'échantillon de mesure est de 19,3 dB à la longueur d'onde de coupure.

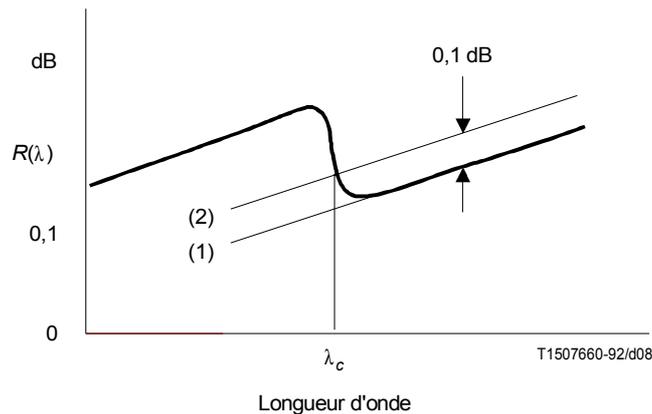


FIGURE 8/G.650

Courbe type de la longueur d'onde de coupure en cas d'utilisation d'une référence multimode

2.3.1.4 Présentation des résultats

- a) montage 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).

2.3.2 Méthode de mesure de remplacement de λ_c : technique du mandrin divisé

2.3.2.1 Considérations générales (comme au 2.3.1.1)

2.3.2.2 Equipement de mesure

2.3.2.2.1 Source lumineuse (comme au 2.3.1.2.1)

2.3.2.2.2 Modulation (comme au 2.3.1.2.2)

2.3.2.2.3 Conditions d'injection (comme au 2.3.1.2.3)

2.3.2.2.4 Suppresseur de mode de gaine (comme au 2.3.1.2.4)

2.3.2.2.5 Détecteur optique (comme au 2.3.1.2.5)

2.3.2.3 Procédure de mesure

2.3.2.3.1 Echantillon de mesure normal

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 indiqué dans la Figure 9, le mandrin semi-circulaire inférieur se déplace pour éliminer le mou de la boucle de la fibre, sans qu'il soit nécessaire de déplacer l'optique d'injection ou de réception ou d'appliquer une tension importante à l'échantillon de la fibre.

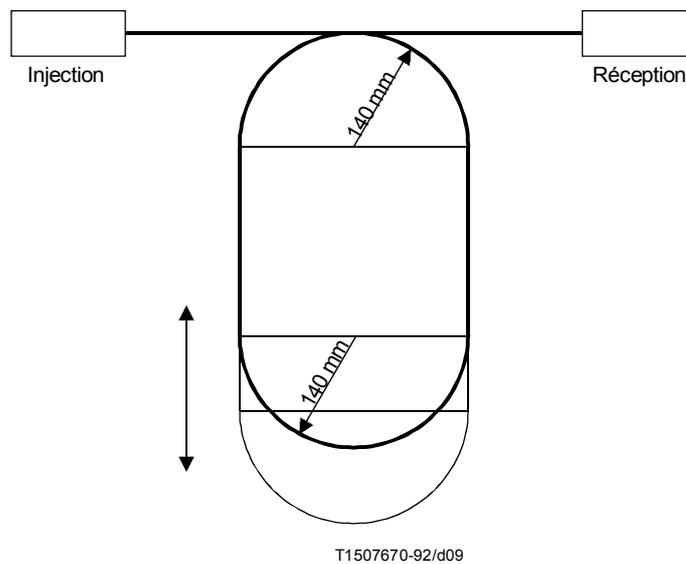


FIGURE 9/G.650

**Déploiement de la fibre: Longueur d'onde de coupure
par la technique du mandrin divisé**

2.3.2.3.2 Transmission à travers l'échantillon de référence (comme au 2.3.1.3.2)

2.3.2.3.3 Calculs (comme au 2.3.1.3.3)

2.3.2.3.4 Détermination de la longueur d'onde de coupure (comme au 2.3.1.3.4)

2.3.2.4 Présentation des résultats (comme au 2.3.1.4)

2.3.3 Méthode de mesure de référence de la longueur d'onde de coupure (λ_{cc}) de la fibre câblée: technique de la puissance émise

2.3.3.1 Considérations générales

Cette mesure de la 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.

Cette méthode utilise la variation, en fonction de la longueur d'onde, de la puissance émise sur un court segment de fibre à mesurer, dans des conditions définies, par rapport à une puissance émise de référence. Il existe deux façons d'obtenir cette puissance de référence:

- la fibre câblée à mesurer est dotée d'une boucle de rayon plus petit; ou
- on prend un court segment (1 à 2 m) d'une fibre multimode.

2.3.3.2 Equipement de mesure

2.3.3.2.1 Source lumineuse (comme au 2.3.1.2.1)

2.3.3.2.2 Modulation (comme au 2.3.1.2.2)

2.3.3.2.3 Conditions d'injection (comme au 2.3.1.2.3)

2.3.3.2.4 Suppresseur de mode de gaine (comme au 2.3.1.2.4)

2.3.3.2.5 Détecteur optique (comme au 2.3.1.2.5)

2.3.3.3 Procédure de mesure

2.3.3.3.1 Echantillon de mesure normalisé

La mesure est effectuée sur une fibre monomode dans un câble. Une longueur de câble de 22 m sera préparée en décordant du câble une longueur de fibre de 1 m à chaque extrémité; la portion câblée de 20 m ainsi obtenue sera installée en évitant les petits rayons de courbures ou pliures qui pourraient affecter la valeur de la mesure. Pour simuler les effets d'un système d'épissurage, une boucle de 40 mm de rayon sera formée à chaque extrémité de la fibre décordée (voir la Figure 10). La fibre sera dégagée de la gaine extérieure en préservant (s'il y a lieu) ses revêtements secondaires de protection. Bien que certaines courbures accidentelles de plus grand rayon soient admissibles dans la fibre ou le câble, elles ne doivent pas apporter de changement important aux mesures. On enregistre la puissance de sortie $P_1(\lambda)$ en fonction de λ dans une bande de longueur d'onde suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure probable.

NOTE – Les boucles sont prévues pour simuler les conditions d'installation.

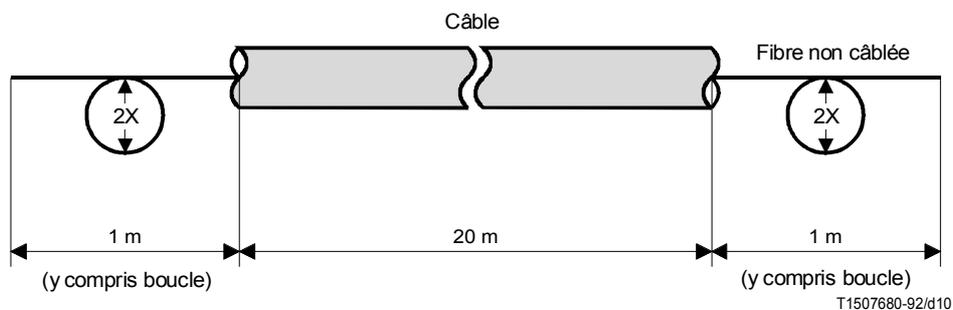


FIGURE 10/G.650

Conditions de déploiement pour la mesure de la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée

2.3.3.3.2 Transmission à travers l'échantillon de référence (comme au 2.3.1.3.2)

2.3.3.3.3 Calculs

Le rapport logarithmique entre les puissances émises $P_1(\lambda)$ et $P_i(\lambda)$, est calculé comme suit:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (2-4)$$

où

$i = 2$ ou 3 , respectivement, pour les méthodes a) ou b).

2.3.3.3.4 Détermination de la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée

Si l'on utilise la méthode a), λ_{cc} est la plus grande longueur d'onde à laquelle $R(\lambda)$ est égale à 0,1 dB (voir la Figure 7). Si l'on utilise la méthode b), λ_{cc} est déterminée par l'intersection d'une courbe 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 8).

2.3.3.4 Présentation des résultats

- a) montage 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 et du câble;
- f) gamme de longueurs d'onde de mesure;
- g) longueur d'onde de coupure de la fibre câblée (si nécessaire);
- h) courbe de $R(\lambda)$ (si nécessaire).

2.3.4 Méthode de mesure de remplacement de la longueur d'onde de coupure (λ_{cc}) de la fibre câblée

2.3.4.1 Considérations générales

Cette mesure de la longueur d'onde de coupure est effectuée sur des fibres monomodes non câblées dans une condition de déploiement qui garantit que les résultats obtenus pour λ_{cc} concordent bien avec les résultats fournis des mesures effectuées sur des fibres câblées.

Cette méthode utilise la variation, en fonction de la longueur d'onde, de la puissance émise sur un court segment de fibre à mesurer, 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 petit; ou
- b) on prend un court segment (1 à 2 m) d'une fibre multimode.

2.3.4.2 Equipement de mesure

2.3.4.2.1 Source lumineuse (comme au 2.3.1.2.1)

2.3.4.2.2 Modulation (comme au 2.3.1.2.2)

2.3.4.2.3 Conditions d'injection (comme au 2.3.1.2.3)

2.3.4.2.4 Suppresseur de mode de gaine (comme au 2.3.1.2.4)

2.3.4.2.5 Détecteur optique (comme au 2.3.1.2.5)

2.3.4.3 Procédure de mesure

2.3.4.3.1 Echantillon de mesure normalisé

On procède à la mesure sur une fibre monomode non câblée. La fibre sera décâblée en préservant (s'ils existent) ses revêtements secondaires de protection. Une longueur de fibre de 22 m est introduite dans l'appareil de mesure; on love les 20 m intérieurs de manière à former des boucles lâches ayant un rayon $r \geq 140$ mm.

Une boucle de 40 mm de rayon est formée à chaque extrémité de la fibre (voir la Figure 11). On enregistre la puissance de sortie $P_1(\lambda)$ en fonction de λ , sur une bande de longueur d'onde suffisamment large de part et d'autre de la longueur d'onde de coupure probable λ_{cc} .

NOTE – Les boucles sont prévues pour simuler les conditions d'installation.

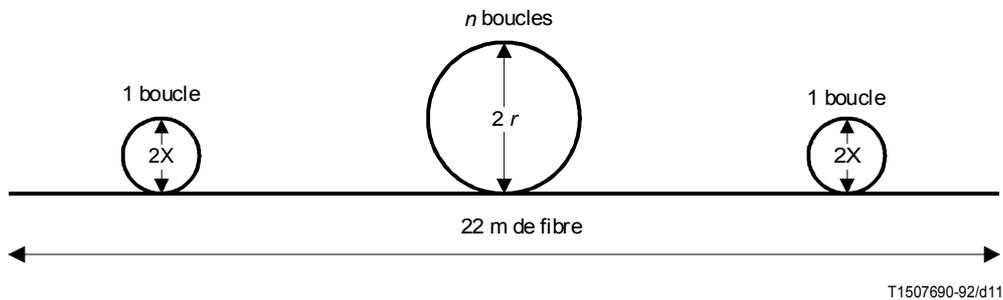


FIGURE 11/G.650

Conditions de déploiement pour la mesure de l_{cc} de fibres non câblées

2.3.4.3.2 Transmission à travers l'échantillon de référence (comme au 2.3.1.3.2)

2.3.4.3.3 Calculs (comme au 2.3.1.3.3)

2.3.4.3.4 Détermination de la longueur d'onde de coupure de la fibre câblée (comme au 2.3.3.3.4)

2.3.4.4 Présentation des résultats

Comme au 2.3.3.4, avec en plus:

- i) valeur de r .

2.4 Méthodes de mesure de l'affaiblissement

Le but des mesures d'affaiblissement est le suivant: attribuer 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.

NOTE – Les valeurs d'affaiblissement spécifiées pour les longueurs de fabrication doivent être mesurées à la température ambiante (une seule valeur comprise entre 10°C et 35°C).

2.4.1 Méthode de mesure de référence: technique de la fibre coupée

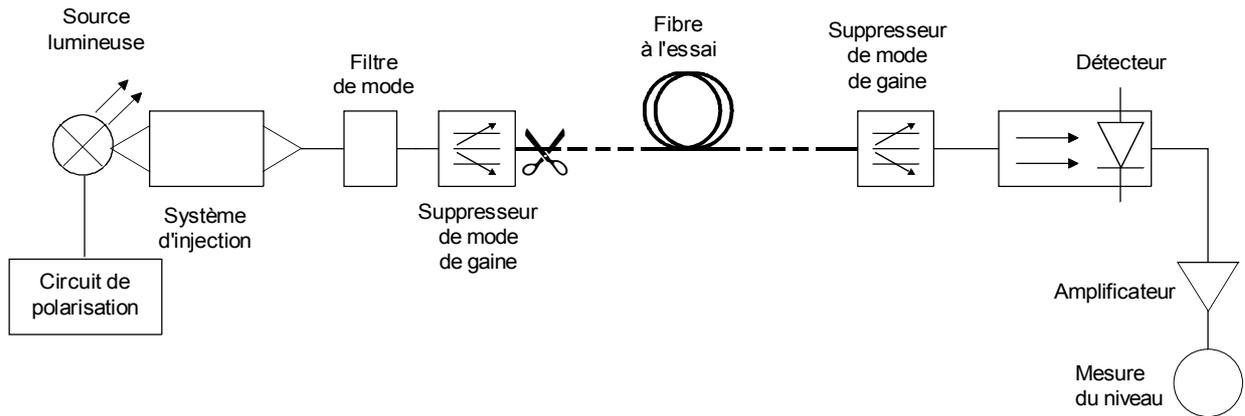
2.4.1.1 Considérations générales

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.

2.4.1.2 Equipement de mesure

Les mesures peuvent être faites à une ou plusieurs longueurs d'onde ponctuelles, à moins qu'une réponse spectrale soit exigée sur une série de longueurs d'onde. La Figure 12 montre des schémas d'équipements appropriés pour obtenir la mesure d'un affaiblissement ou du spectre d'affaiblissement.

a) Montage pour mesurer un affaiblissement



b) Montage pour mesurer le spectre d'affaiblissement

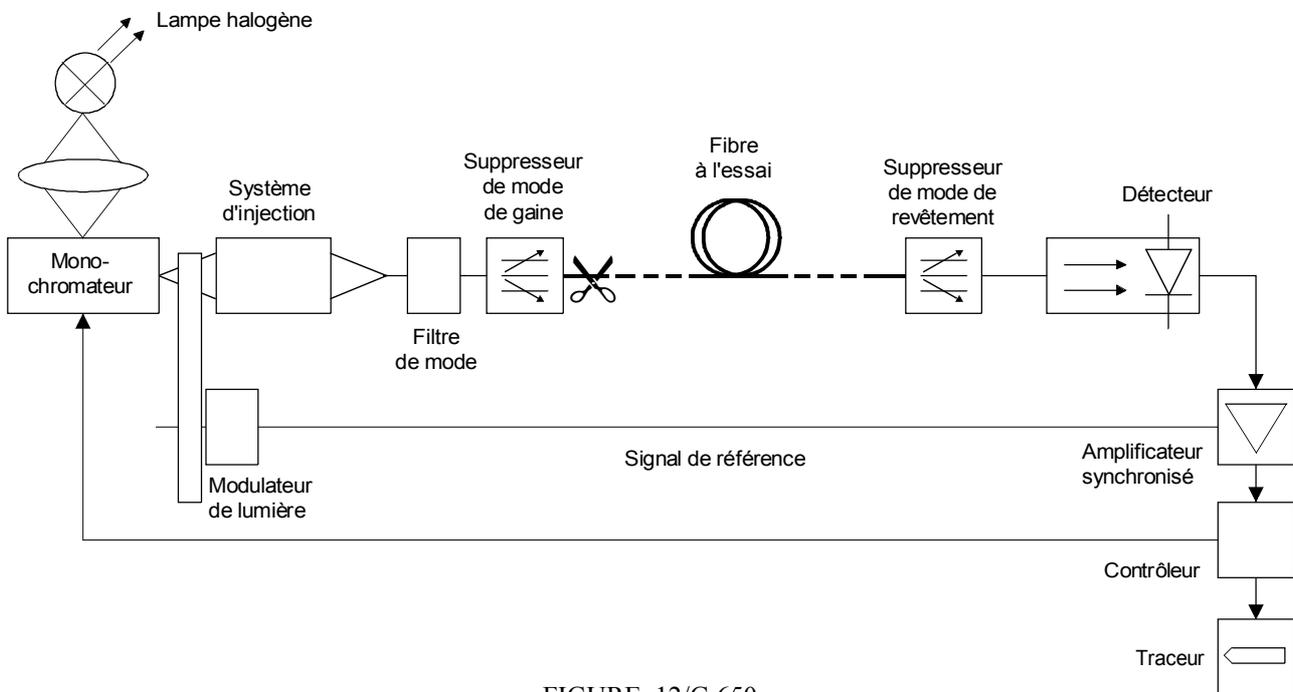


FIGURE 12/G.650

Technique de la fibre coupée

T1507700-92/d12

2.4.1.2.1 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 procédure de mesure. La largeur spectrale de la source FWHM doit être telle que la largeur de raie soit étroite par rapport à toute caractéristique de l'affaiblissement spectral de la fibre.

2.4.1.2.2 Modulation

Il est courant de moduler la source lumineuse pour améliorer le rapport signal/bruit au récepteur. Si cette procédure est adoptée, le détecteur devra être relié à un système de traitement du signal synchronisé avec la fréquence de modulation de la source. Le système de détection doit avoir une sensibilité très sensiblement linéaire.

2.4.1.2.3 Conditions d'injection

Les conditions d'injection doivent être suffisantes pour exciter le mode fondamental. Exemples de techniques d'injection appropriées:

- a) le raccordement avec une fibre;
- b) l'injection avec un système optique approprié.

2.4.1.2.4 Filtre de mode

Il faut veiller à ce que les modes d'ordre élevé ne se propagent pas dans la longueur de fibre coupée. A cette fin, il peut être nécessaire d'ajouter en amont une courbure pour éliminer les modes d'ordre supérieur.

2.4.1.2.5 Suppresseur de mode de gaine

Un suppresseur 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.

2.4.1.2.6 Détecteur optique

On utilisera un détecteur approprié, 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 caractéristique de sensibilité linéaire.

2.4.1.3 Procédure de mesure

2.4.1.3.1 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.

2.4.1.3.2 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 suppresseur 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 les équations (1-7) et (1-8).

2.4.1.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage de mesure, y compris le type de source, la longueur d'onde de la source et la largeur de raie (FWHM);
- 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 des mesures;
- g) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

2.4.2 Première méthode de mesure de remplacement: technique de la rétrodiffusion

2.4.2.1 Considérations générales

Cette méthode d'essai décrit la procédure à suivre pour la mesure de l'affaiblissement d'un échantillon homogène de câble à fibres optiques monomodes. 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.

2.4.2.2 Equipement de mesure

2.4.2.2.1 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 la mesure, il est donc courant 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 élevé ne se propagent pas.

Un exemple d'appareil est représenté sur le diagramme a) de la Figure 13.

2.4.2.2.2 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 la fréquence de répétition des impulsions doivent être compatibles avec la résolution voulue et la longueur de la fibre. Les effets optiques non linéaires sont à éliminer dans la partie à mesurer.

2.4.2.2.3 Conditions d'injection

Le faisceau doit être injecté coaxialement à l'extrémité d'injection de la fibre; divers dispositifs peuvent être utilisés tels que matériaux d'adaptation d'indice, par exemple, pour réduire les phénomènes de réflexion de Fresnel. L'affaiblissement de couplage devra être réduit à un minimum.

2.4.2.2.4 Dispositif de couplage

Il faut utiliser un dispositif de couplage pour coupler le rayonnement de la source avec la fibre et le rayonnement rétrodiffusé avec le 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.

2.4.2.2.5 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 signal ait un niveau suffisant pour pouvoir être traité. La largeur de bande choisie pour l'amplificateur doit représenter un compromis entre la résolution temporelle et la réduction du bruit.

2.4.2.2.6 Suppresseur de mode de gaine

Voir 2.4.1.2.5.

2.4.2.3 Procédure de mesure

- 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. Le diagramme b) de la Figure 13 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:

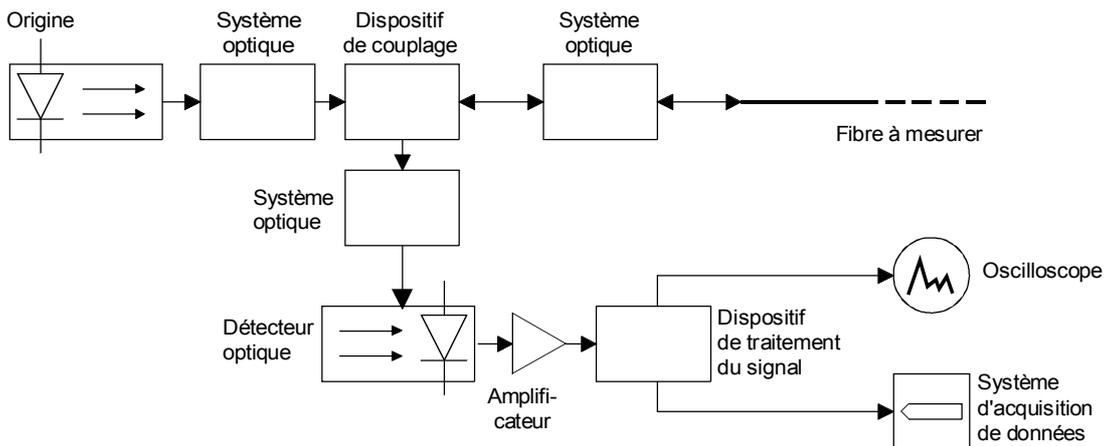
$$A_{A \rightarrow B}(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB} \quad (2-5)$$

dans laquelle V_A et V_B sont les niveaux de puissance respectifs indiqués sur l'échelle logarithmique.

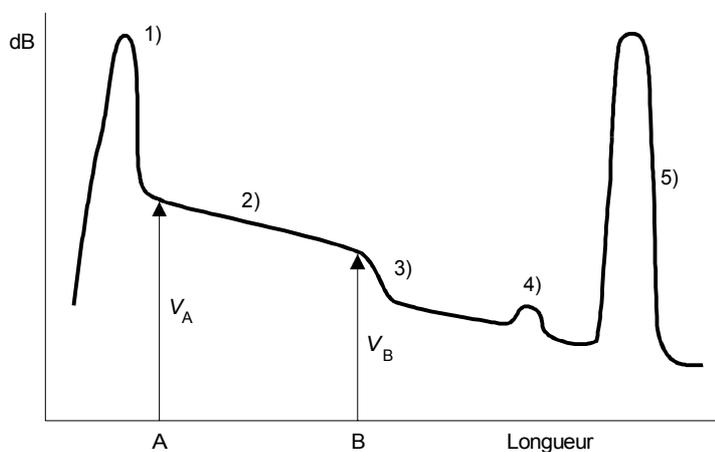
NOTE – Il faut tenir compte des conditions de diffusion aux points A et B quand on calcule l'affaiblissement de cette manière.

- 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.

a) Schéma de l'appareil



b) Exemple de courbe de la puissance rétrodiffusée



T1507710-92d/13

FIGURE 13/G.650
Technique de rétrodiffusion

2.4.2.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) types et caractéristiques de mesure;
- b) techniques d'injection;
- c) montage de mesure;
- 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 fréquence 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.

NOTE – L'analyse complète de la courbe enregistrée [diagramme b) de la Figure 13] montre que, indépendamment de la mesure de l'affaiblissement, de nombreux phénomènes peuvent être observés par la technique de rétrodiffusion:

- 1) réflexion due au dispositif de couplage à l'extrémité d'entrée de la fibre;
- 2) zone de pente constante;
- 3) discontinuité due à des défauts locaux (épissures ou couplage);
- 4) réflexion due à un défaut diélectrique;
- 5) réflexion à l'extrémité de la fibre.

2.4.3 Deuxième méthode de mesure de remplacement: technique de l'affaiblissement d'insertion

2.4.3.1 Considérations générales

La technique de l'affaiblissement d'insertion consiste à évaluer l'affaiblissement de puissance dû à l'insertion de la fibre étudiée entre un système d'injection et un système de réception qui étaient auparavant directement reliés (conditions de référence). Les puissances P_1 et P_2 sont alors évaluées d'une manière moins directe que par la méthode de la fibre coupée. Cette méthode n'est donc pas destinée à être utilisée sur les tronçons de fibres ou de câbles à la longueur de livraison.

La technique de l'affaiblissement d'insertion est moins précise que celle de la fibre coupée, mais a l'avantage de ne détruire ni la fibre étudiée ni les demi-connecteurs éventuellement fixés à ses deux extrémités. Cette technique est donc particulièrement adaptée aux essais sur le terrain, et elle est d'abord destinée à être appliquée aux tronçons de câbles munis de connecteurs.

Dans ce qui suit, on a envisagé deux formes possibles d'application de cette technique (voir la Figure 14): elles diffèrent par la nature des systèmes d'injection et de réception, comme cela est expliqué dans la suite. Des conditions de mesure hybrides tenant à la fois de l'option a) et de l'option b) sont possibles et sont examinées dans la Note 2 du 2.4.3.3.

Dans l'option a), la qualité des demi-connecteurs fixés à la fibre mesurée (et plus généralement la qualité des dispositifs d'interconnexion utilisés) a une incidence sur les résultats. Dans l'option b), cette incidence est quasiment nulle.

En conséquence, l'option b) est généralement plus précise, et convient donc mieux lorsqu'on désire obtenir l'affaiblissement effectif de la fibre seule. A l'inverse, lorsque le tronçon de fibre mesuré est équipé de demi-connecteurs et qu'il doit être raccordé sous cette forme à la suite d'autres éléments, les résultats de l'option a) sont plus significatifs puisqu'ils prennent en compte le biais introduit par les demi-connecteurs par rapport à l'affaiblissement nominal de la fibre seule.

2.4.3.2 Equipement de mesure

La Figure 14 schématise l'équipement de mesure. Les mesures sont réalisées à une ou plusieurs longueurs d'ondes; on peut également mesurer la réponse spectrale pour un intervalle donné de longueurs d'ondes.

2.4.3.2.1 Source optique

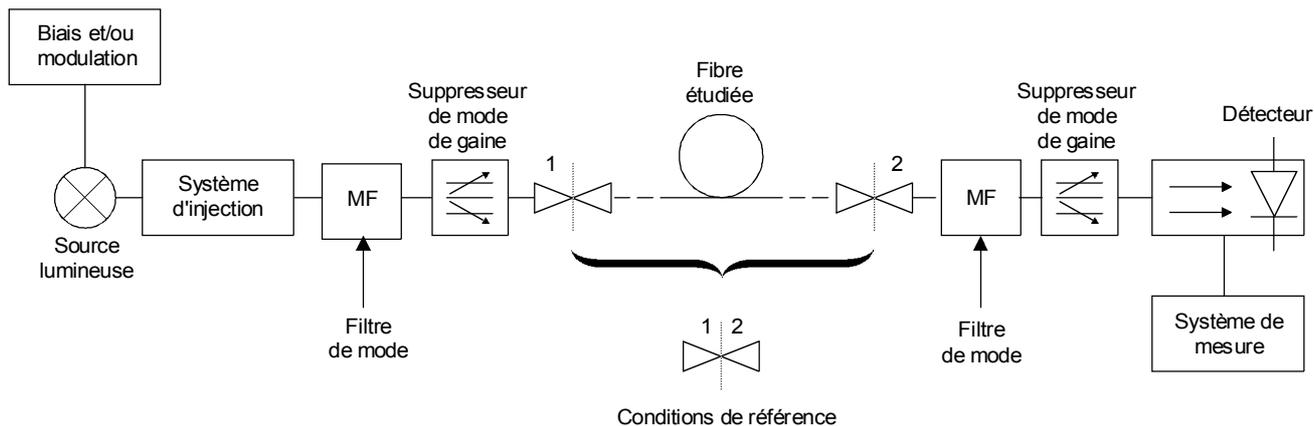
On utilisera une source d'émission convenable d'intensité stable, tels une lampe, un laser ou une diode électroluminescente. Si on utilise une source à large spectre, il faudra la faire suivre d'un filtre de longueur d'onde qu'il est également possible d'installer avant le détecteur. Dans tous les cas, il faudra connaître la longueur d'onde nominale de la source, en tenant compte s'il y a lieu du filtre.

La largeur spectrale FWHM doit être étroite par rapport aux caractéristiques d'affaiblissement spectral de la fibre.

2.4.3.2.2 Modulation

Voir 2.4.1.2.2.

a) Option a)



b) Option b)

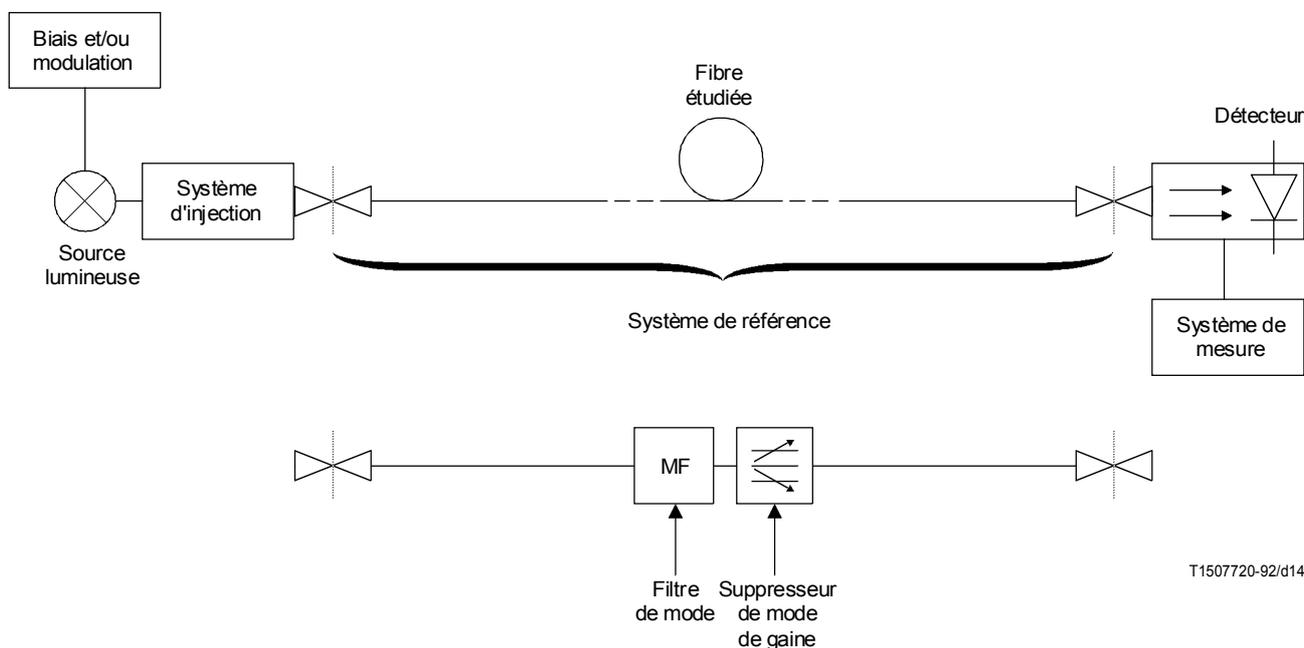


FIGURE 14/G.650

Configurations typiques pour la technique d'affaiblissement d'insertion

2.4.3.2.3 Conditions d'injection

Pour l'option a)

La source est raccordée à une courte longueur de fibre monomode ayant les mêmes caractéristiques nominales que la fibre étudiée, cette fibre amorce étant elle-même équipée d'un filtre de mode et d'un supprimeur de mode de gaine (voir ci-dessous).

Ce bout de fibre est raccordé à la fibre mesurée à l'aide d'un système de raccordement très précis afin de minimiser les pertes de raccordement et d'obtenir des résultats significatifs. Si la fibre mesurée est équipée d'un demi-connecteur, il faudra un demi-connecteur compatible de haute qualité à l'extrémité de l'amorce d'injection.

Pour l'option b)

La source d'injection est reliée à la fibre étudiée par un dispositif optique approprié de telle manière que le faisceau injecté à l'interface d'entrée de la fibre étudiée ait des intensités de champ proche et de champ lointain à peu près uniformes sur l'ensemble du diamètre du champ de mode et pour l'ouverture numérique de la fibre.

Le système peut utiliser des lentilles et un positionneur de fibre; il est possible également d'injecter la lumière par une fibre multimode à saut d'indice connectée à la fibre étudiée.

Ceci est réalisé grâce à un système de raccordement quelconque ou à un demi-connecteur compatible avec ceux qui équipent les extrémités de la fibre.

2.4.3.2.4 Système de référence [option b) seulement]

Ce système est composé d'une courte longueur de fibre monomode ayant les mêmes caractéristiques nominales que la fibre étudiée. Ce bout de fibre est équipé d'un filtre de mode et d'un suppresseur de mode de gaine; les deux dispositifs ne provoqueront aucun affaiblissement au mode fondamental.

2.4.3.2.5 Filtre de mode

Le filtre de mode n'autorisera la propagation que du mode fondamental. A titre d'exemple, il peut être réalisé par une courbure appropriée de la fibre.

2.4.3.2.6 Suppresseur de mode de gaine

Il faut utiliser un suppresseur de mode de gaine qui favorise la conversion des modes de gaine en modes radiatifs. Un tel système n'est pas nécessaire si la fibre empêche par elle-même la propagation des modes de gaine.

2.4.3.2.7 Détection optique

La réponse spectrale du détecteur optique sera compatible avec les caractéristiques spectrales de la source. Il devra avoir des caractéristiques de sensibilité linéaires.

Pour l'option a)

Le détecteur est relié à une fibre monomode ayant les mêmes caractéristiques nominales que la fibre étudiée. La fibre doit être équipée d'un filtre de mode et d'un suppresseur de mode de gaine.

Les dispositions du 2.4.3.2.3, option a), seront appliquées pour le raccordement avec la fibre étudiée.

Pour l'option b)

L'extrémité de la fibre étudiée est positionnée face au détecteur.

On utilisera un détecteur approprié de manière à intercepter toutes les radiations sortant de la fibre. Le détecteur sera spatialement uniforme.

Il est possible également de connecter le détecteur à une fibre multimode à saut d'indice. Cette amorce sera reliée à la fibre étudiée par un dispositif de couplage quelconque ou par un connecteur compatible avec ceux montés à l'extrémité de la fibre étudiée.

2.4.3.3 Procédure de mesure

2.4.3.3.1 Préparation de la fibre étudiée

Voir 2.4.1.3.1.

Si la fibre est équipée de connecteurs, il faut suivre une procédure de nettoyage appropriée.

2.4.3.3.2 Procédure

- 1) Une fois choisie la longueur d'onde de mesure, la puissance P_1 est d'abord mesurée de la manière suivante:

Pour l'option a)

La fibre amorce du système d'injection est connectée à la fibre du système de réception. On note alors la puissance reçue P_1 .

Pour l'option b)

Le système de référence est connecté entre l'amorce d'injection et le système de réception. On note alors la puissance reçue P_1 .

- 2) La fibre étudiée est ensuite connectée entre l'amorce d'injection et le système de réception. On note alors la puissance reçue P_2 .
- 3) On calcule enfin l'atténuation A du tronçon de fibre de la manière suivante:

Pour l'option a)

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) + C_r - C_1 - C_2 \quad (\text{dB}) \quad (2-6a)$$

où C_r , C_1 et C_2 sont respectivement les affaiblissements moyens nominaux (en dB) des connexions dans les conditions de référence, à l'entrée de la fibre étudiée, et à sa sortie.

Pour l'option b)

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) \quad (\text{dB}) \quad (2-6b)$$

NOTE 1 – L'utilisation de l'option b) suppose que la fibre étudiée empêche la propagation des modes autres que le mode fondamental vers l'extrémité de réception.

NOTE 2 – Il est également possible de mesurer l'atténuation de la fibre à l'aide d'un dispositif de mesure hybride en utilisant le système d'injection de l'option a) et le système de réception de l'option b), ou l'inverse.

La procédure de mesure de la puissance P_1 est dans les deux cas similaire à celle décrite pour l'option a); il n'est pas nécessaire d'utiliser un système de référence et le système d'injection est directement relié au système de réception.

Dans les deux cas, l'atténuation du tronçon de fibre est calculée d'après la formule suivante:

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) - C_a \quad (\text{dB}) \quad (2-7)$$

où C_a est l'atténuation moyenne nominale (en dB) de la connexion entre la fibre mesurée et l'élément de l'installation de mesure (injection ou réception) relevant de l'option a).

NOTE 3 – La capacité intrinsèque de l'option a) à évaluer le comportement des demi-connecteurs n'impose pas nécessairement son adoption chaque fois que cette évaluation est demandée.

En effet, et même à une extrémité où la mesure du connecteur est demandée, il est tout aussi possible d'utiliser une installation du type de l'option b), après avoir préalablement connecté un cordon de fibre monomode à la fibre mesurée. L'affaiblissement nominal du connecteur fibre-cordon est à soustraire de l'affaiblissement mesuré.

Dans la pratique, on choisit les appareils de mesure de façon à minimiser les sources d'erreurs, en tenant compte des appareils et des dispositifs de raccordement disponibles. L'adoption d'une installation hybride (injection «a», réception «b») plus un cordon à l'extrémité de réception constitue d'habitude la meilleure solution lorsqu'il faut évaluer les deux demi-connecteurs.

2.4.3.4 Présentation des résultats

Il faudra fournir les précisions suivantes:

- a) installation de mesure, y compris le type de la source, sa longueur d'onde, la largeur spectrale (FWHM) utilisée pour la mesure et le type d'option [a) ou b)];
- b) identification de la fibre;
- c) longueur de la section de fibre et conditions aux extrémités (présence de demi-connecteurs);
- d) atténuation de la section en dB;
- e) coefficient d'atténuation en dB/km;
- f) indication de la précision et de la reproductibilité (en particulier, la reproductibilité de l'atténuation de la connexion sera correctement prise en compte);
- g) température de l'échantillon et conditions ambiantes (si nécessaire).

2.5 Méthodes de mesure de la dispersion chromatique

2.5.1 Méthode de mesure de référence: la technique du déphasage

2.5.1.1 Considérations générales

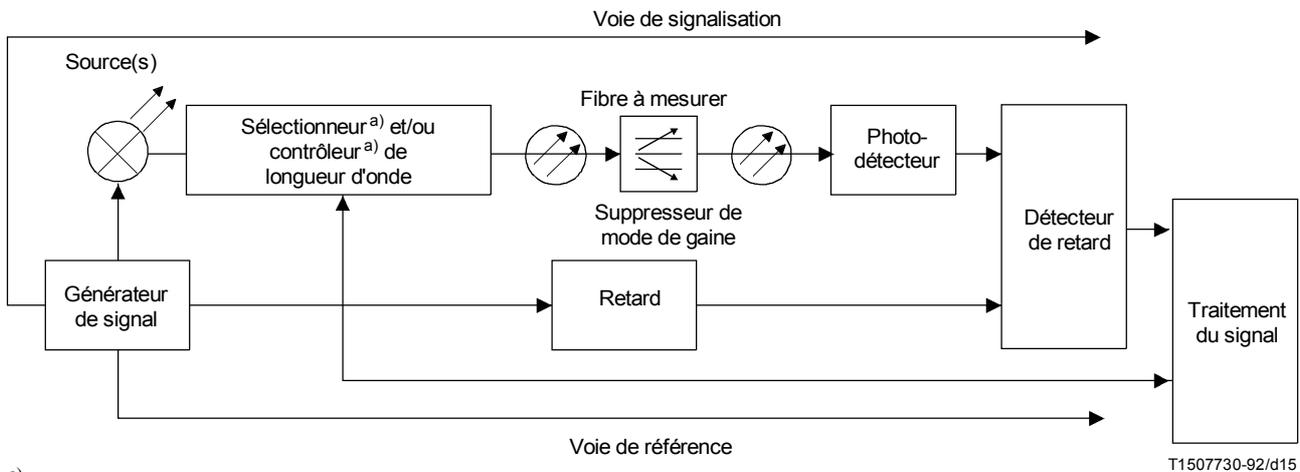
Le coefficient de dispersion chromatique de la fibre est obtenu à partir de la mesure du temps de propagation de groupe relatif enregistré aux diverses longueurs d'onde au cours de la propagation sur une longueur de fibre connue.

Le temps de propagation de groupe est mesuré dans le domaine fréquentiel par détection, enregistrement et traitement du déphasage d'un signal de modulation sinusoïdal.

La dispersion chromatique peut être mesurée à une longueur d'onde donnée ou sur toute une gamme de longueurs d'onde.

2.5.1.2 Equipement de mesure

La Figure 15 représente un schéma de l'équipement de mesure.



a) Si besoin est.

T1507730-92/d15

FIGURE 15/G.650
Configuration typique de l'équipement de test

2.5.1.2.1 Source optique

On utilisera une source optique dont l'assise, l'intensité et la longueur d'onde resteront stables pendant une durée suffisamment longue pour pouvoir mener à bien la procédure de mesure. Selon la gamme de longueurs d'ondes explorée, il est possible d'utiliser des diodes laser [barrette de diodes laser (*LD-array*)], des diodes laser à longueur d'onde réglable (WTL) (*wavelength tunable laser*) [par exemple un laser à cavité externe (ECL) (*external cavity laser*)], des diodes électroluminescentes ou des sources à large bande (par exemple un laser Nd:YAG avec fibre de Raman).

Dans tous les cas, le signal de modulation sera tel qu'il garantisse une résolution temporelle suffisante pour la mesure du temps de propagation de groupe.

2.5.1.2.2 Sélection et contrôle de la longueur d'onde

Le système de sélection et de contrôle de la longueur d'onde sert à choisir et à contrôler la longueur d'onde pour laquelle le temps de propagation de groupe sera mesuré. Comme système de sélection de longueur d'onde, et suivant le type de source optique et de dispositif de mesure installés, il est possible d'utiliser un commutateur optique, un monochromateur, des dispositifs à dispersion, des filtres optiques, des coupleurs optiques ou des connecteurs. La sélection peut être réalisée en commutant les signaux de commande électriques de sources lumineuses fonctionnant à différentes longueurs d'onde.

Le contrôle de la longueur d'onde peut être réalisé à l'aide d'un coupleur de fibres optiques et d'un ondemètre optique. Le système de sélection et de contrôle de la longueur d'onde peut être installé soit à l'entrée soit à la sortie de la fibre sous test.

2.5.1.2.3 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.

2.5.1.2.4 Canal de référence

Le canal 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 ce canal. Dans certains cas, la fibre à mesurer elle-même peut servir de canal de référence.

2.5.1.2.5 Détecteur du temps de propagation

Le détecteur du temps de propagation mesure le déphasage entre le signal de référence et le signal de canal. Un voltmètre vectoriel peut être utilisé.

2.5.1.2.6 Traitement des signaux

On peut adjoindre un dispositif de traitement des signaux afin de réduire le bruit et/ou la gigue dans la forme d'onde mesurée. Si nécessaire, on peut utiliser un ordinateur numérique pour procéder à la commande de l'équipement, au stockage des données et à l'évaluation numérique des données.

2.5.1.3 Procédure de mesure

La fibre de mesure est couplée de façon appropriée 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 longueur d'onde et le niveau du signal. A moins que la fibre à mesurer soit également utilisée comme la ligne de canal de référence, la température de la fibre doit être suffisamment stable pendant la mesure.

Le déphasage entre le signal de référence et le signal de canal à la longueur d'onde de fonctionnement doit être mesuré 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 correspondant à la longueur d'onde de fonctionnement. Si nécessaire, une analyse spectrale du temps de propagation de groupe en fonction de la longueur d'onde peut être exécutée; on peut obtenir une courbe d'ajustement à partir des valeurs mesurées.

Le temps de propagation de groupe sera déduit du déphasage correspondant ϕ par le biais de la relation $t = \phi / (2\pi f)$, f étant la fréquence de modulation.

2.5.1.3.1 Fibres visées par la Recommandation G.652

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par l'équation à trois termes de Sellmeier:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (2-8)$$

Dans cette relation, τ_0 est le temps de propagation relatif minimal à la longueur d'onde à dispersion nulle, λ_0 . Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé à partir de l'équation de Sellmeier différenciée:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (2-9)$$

S_0 est la pente de dispersion nulle, c'est-à-dire la valeur de la pente de dispersion $S(\lambda) = dD/d\lambda$ pour λ_0 .

NOTES

1 Les équations donnant $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont assez précises entre 1270 et 1340 nm; elles le sont moins dans la région des 1550 nm. La dispersion étant forte dans ce dernier cas, cette précision réduite peut être acceptable. Dans le cas contraire, on peut l'améliorer en incluant des données de la région des 1550 nm lors de l'ajustement. A noter cependant que cela peut réduire la précision autour de 1310 nm.

2 A titre de variante, le coefficient de dispersion chromatique peut être mesuré directement, par exemple par une méthode de décalage de phase différentielle. Dans ce cas, on ajustera l'équation Sellmeier différenciée directement au coefficient de dispersion pour déterminer λ_0 et S_0 .

2.5.1.3.2 Fibres visées par la Recommandation G.653

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par l'équation quadratique:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (2-10)$$

où τ_0 est le temps de propagation relatif minimal à la longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0 . Le coefficient de dispersion chromatique, $D\lambda = d\tau/d\lambda$, peut être déterminé à partir de l'équation quadratique différenciée:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0 \quad (2-11)$$

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 λ_0 .

NOTES

1 Les équations donnant $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises entre 1500 et 1600 nm. Elles ne peuvent pas être utilisées dans la région des 1310 nm.

2 A titre de variante, le coefficient de dispersion chromatique peut être mesuré directement, par exemple par une méthode de décalage de phase différentielle. Dans ce cas, on ajustera une ligne droite directement au coefficient de dispersion pour déterminer λ_0 et S_0 .

2.5.1.3.3 Fibres visées par la Recommandation G.654

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre en fonction de la longueur d'onde sera ajusté par l'équation quadratique suivante:

$$\tau(\lambda) = \tau_{1550} + (S_{1550}/2) (\lambda - 1550)^2 + D_{1550} \lambda \quad (2-12)$$

Dans cette équation, τ_{1550} représente le temps de propagation de groupe pour $\lambda = 1550$ nm. Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé par la dérivation de l'équation quadratique:

$$D(\lambda) = S_{1550} (\lambda - 1550) + D_{1550} \quad (2-13)$$

Dans cette relation, S_{1550} représente la pente (uniforme) de la dispersion à 1550 nm, c'est-à-dire aussi la valeur de la dérivée de la dispersion $S_{1550}(\lambda) = dD/d\lambda$ pour $\lambda = 1550$ nm. D_{1550} représente la valeur de la dispersion pour $\lambda = 1550$ nm.

NOTES

1 Les équations de $\tau(\lambda)$ et de $D(\lambda)$ sont suffisamment précises dans l'intervalle de 1500 à 1600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la région des 1310 nm.

2 Il est aussi possible de mesurer directement le coefficient de dispersion chromatique, par exemple par la méthode du déphasage différentiel. Dans ce cas, on ajustera le coefficient de dispersion par une droite pour déterminer S_{1550} et D_{1550} .

2.5.1.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage de mesure;
- b) type de modulation utilisé;
- c) caractéristiques de la source;
- d) identification et longueur de la fibre;
- e) caractéristiques du sélecteur de longueur d'onde (s'il en existe un);
- f) type de photodétecteur;
- g) caractéristiques du détecteur de temps de propagation;
- h) valeurs de la longueur d'onde de dispersion nulle et de la pente de dispersion nulle;
- i) procédure d'ajustement des données de temps de propagation relatif à la gamme de longueurs d'onde d'ajustement utilisée;
- j) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

2.5.2 Première méthode de mesure de remplacement: la technique interférométrique

2.5.2.1 Considérations générales

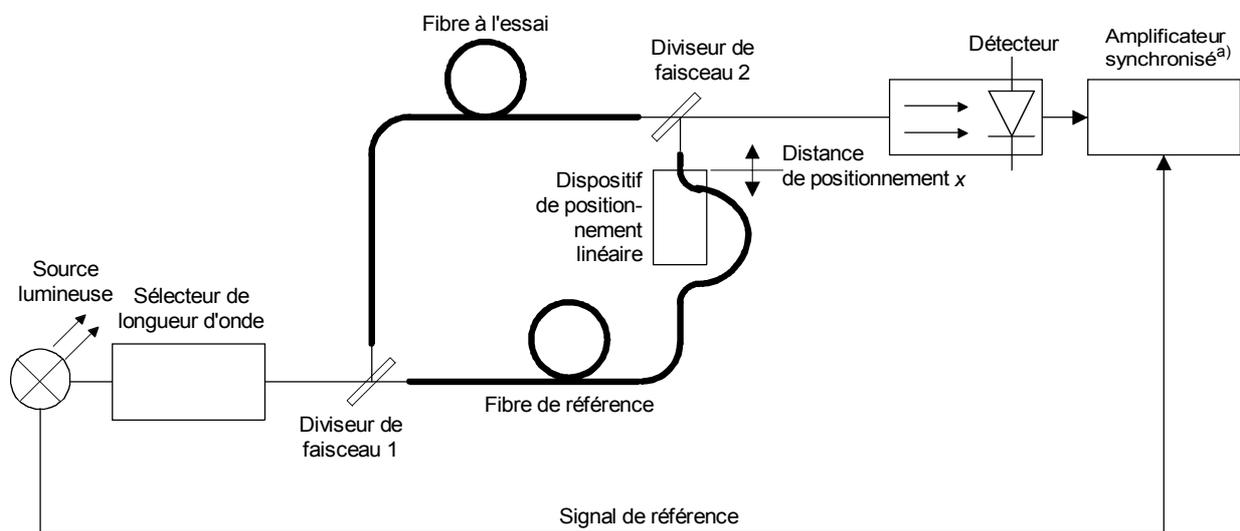
La méthode de mesure interférométrique permet de mesurer la dispersion chromatique en utilisant une courte longueur de fibre (quelques mètres). On peut ainsi mesurer l'homogénéité longitudinale de la dispersion chromatique des fibres optiques. On peut en outre mesurer l'effet de conditions générales ou locales, telles que les 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 ne pas être applicable dans tous les cas.

2.5.2.2 Equipement de mesure

Les Figures 16 et 17 représentent le schéma de l'équipement de mesure utilisé avec une fibre de référence et avec, comme référence, un trajet aérien.

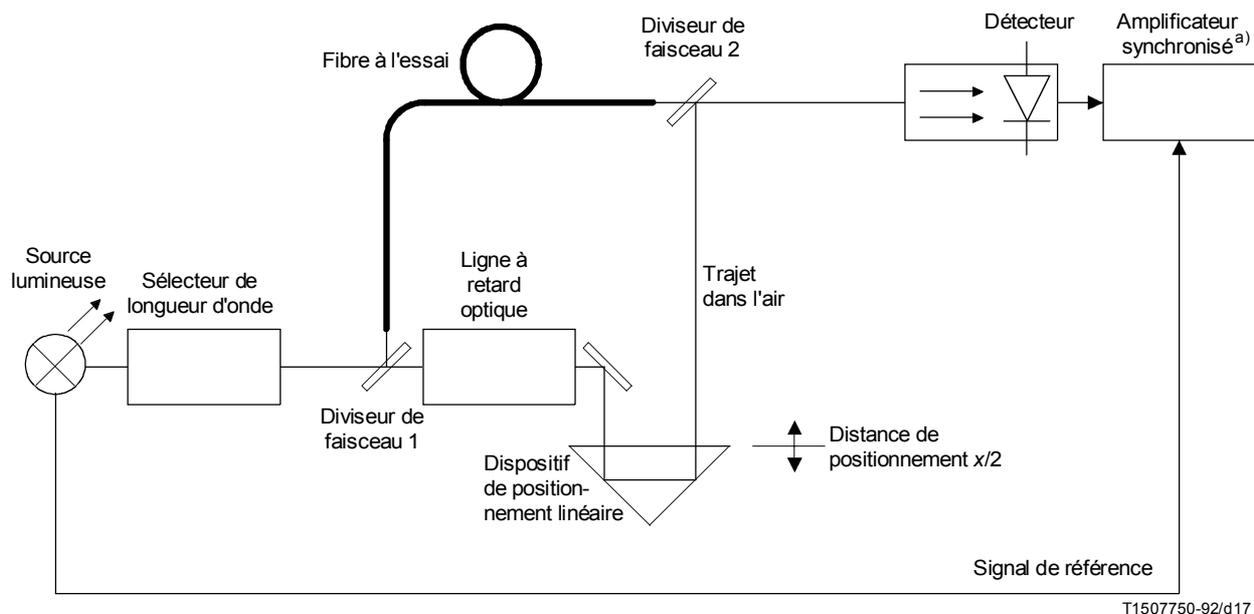


T1507740-92/d16

a) Si nécessaire.

FIGURE 16/G.650

Schéma du dispositif de mesure avec fibre de référence



a) Si nécessaire.

FIGURE 17/G.650

Schéma du dispositif de mesure avec référence de trajet dans l'air

2.5.2.2.1 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 procédure de mesure. La source doit être appropriée, par exemple, une source laser YAG avec une fibre Raman ou une lampe et des sources optiques de diodes électroluminescentes DEL, etc. Pour appliquer la technique d'amplification avec synchronisation, une source lumineuse à modulation basse fréquence (de 50 à 500 Hz) suffit.

2.5.2.2.2 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 à interférences optiques, 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 d'entrée, soit à l'extrémité de sortie de la fibre à mesurer.

La largeur spectrale des sources optiques doit être limitée par la précision de la mesure de dispersion; elle est d'environ 2 à 10 nm.

2.5.2.2.3 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.

2.5.2.2.4 Equipement 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 longueur doit couvrir la gamme comprise entre 20 et 100 mm, la tolérance étant d'environ 2 μm .

2.5.2.2.5 Echantillon

L'échantillon 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 ± 1 mm. Les faces d'extrémité de la fibre seront soigneusement préparées.

2.5.2.2.6 Traitement des données

Pour analyser les diagrammes d'interférence, on utilisera un ordinateur et un logiciel approprié.

2.5.2.3 Procédure de mesure

- 1) La fibre soumise à essai est placée dans l'équipement de mesure (Figures 16 et 17). Le positionnement des faces d'extrémité 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 gaine introduisent des erreurs.
- 2) La détermination du temps de propagation de groupe s'effectue en équilibrant les longueurs 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 d'interférence pour la longueur d'onde λ_i et la position x_0 (Figure 18) 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:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = (x_0 - x_i)/c_0 \quad (2-14)$$

où c_0 est la célérité 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.

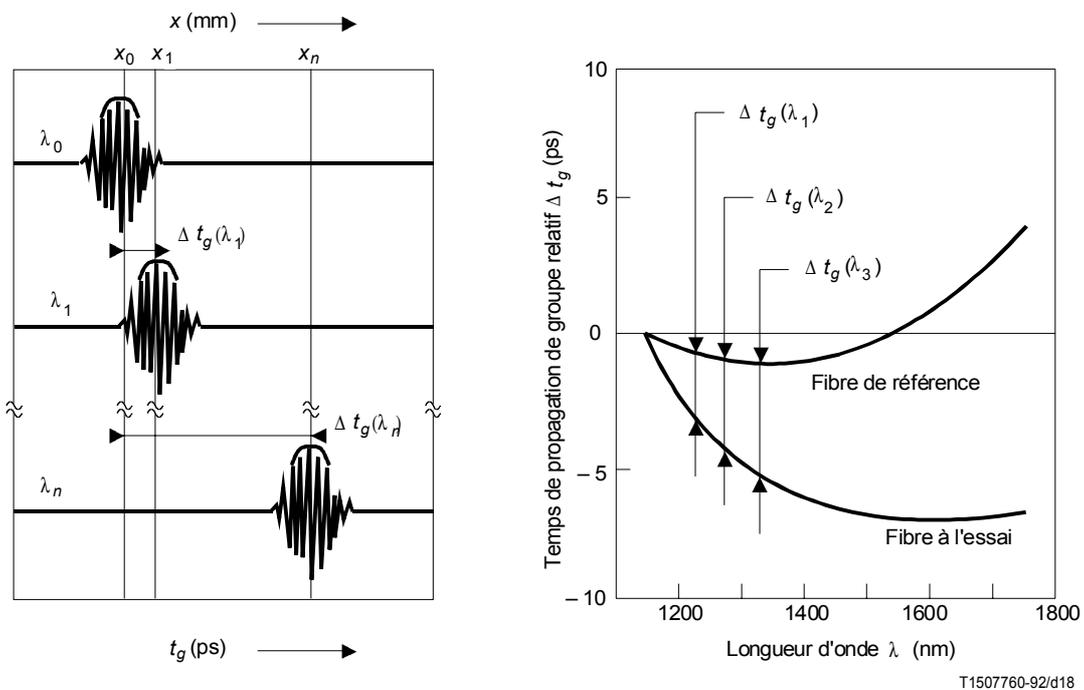


FIGURE 18/G.650

Détermination du temps de propagation de groupe spectral

2.5.2.3.1 Fibres visées par la Recommandation G.652

A partir des valeurs du temps de propagation de groupe propres de la fibre à mesurer, on peut trouver une courbe d'interpolation. Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par la formule de Sellmeier à trois termes (2-8).

Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé à partir de l'équation de Sellmeier différenciée (2-9).

NOTE – Les formules (2-8) et (2-9) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont assez précises entre 1270 et 1340 nm; elles le sont moins dans la région des 1550 nm. La dispersion étant forte dans ce dernier cas, cette précision réduite peut être acceptable. Dans le cas contraire, on peut l'améliorer en incluant des données de la région des 1550 nm lors de l'ajustement. A noter cependant que cela peut réduire la précision dans la région des 1310 nm.

2.5.2.3.2 Fibres visées par la Recommandation G.653

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par l'expression quadratique (2-10). Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé à partir de l'équation quadratique de Sellmeier différenciée (2-11).

NOTE – Les formules (2-10) et (2-11) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises entre 1500 et 1600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la région des 1310 nm.

2.5.2.3.3 Fibres visées par la Recommandation G.654

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre en fonction de la longueur d'onde sera ajusté par l'équation quadratique (2-12). Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé par la dérivation de l'équation quadratique différenciée (2-13).

NOTE – Les équations (2-12) et (2-13) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises dans l'intervalle de 1500 à 1600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la région des 1310 nm.

2.5.2.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage 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) valeur de la longueur d'onde de dispersion nulle et de la pente de dispersion nulle;
- g) procédure d'ajustement du temps de propagation relatif à la gamme de longueurs d'onde d'ajustement utilisée;
- h) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

2.5.3 Deuxième méthode de mesure de remplacement: la technique du temps de propagation d'impulsions

2.5.3.1 Considérations générales

Le coefficient de dispersion chromatique de la fibre est obtenu à partir de la mesure du temps de propagation de groupe relatif enregistré aux diverses longueurs d'onde au cours de la propagation sur une longueur de fibre connue.

Le temps de propagation de groupe est mesuré dans le domaine temporel par détection, enregistrement et traitement du temps de propagation d'impulsions à plusieurs longueurs d'onde.

La dispersion chromatique peut être mesurée à une longueur d'onde donnée ou sur toute une gamme de longueurs d'onde.

2.5.3.2 Equipement de mesure

Un schéma de l'équipement de mesure est représenté à la Figure 15.

2.5.3.2.1 Source optique

On utilisera une source optique dont l'assise, l'intensité et la longueur d'onde resteront stables pendant une durée suffisamment longue pour pouvoir mener à bien la procédure de mesure. Selon la gamme de longueurs d'ondes explorée, il est possible d'utiliser des diodes laser [barrette de diodes laser (*LD-array*)], des diodes laser à longueur d'onde réglable (WTL) (*wavelength tunable laser*) [par exemple un laser à cavité externe (ECL) (*external cavity laser*)], des sources à large bande (par exemple un laser Nd:YAG avec fibre de Raman).

Dans tous les cas, le signal de modulation sera tel qu'il garantisse une résolution temporelle suffisante pour la mesure du temps de propagation de groupe.

2.5.3.2.2 Sélection et contrôle de la longueur d'onde

Le système de sélection et de contrôle de la longueur d'onde sert à choisir et à contrôler la longueur d'onde pour laquelle le temps de propagation de groupe sera mesuré. Comme système de sélection de longueur d'onde, et suivant le type de source optique et de dispositif de mesure installés, il est possible d'utiliser un commutateur optique, un monochromateur, des dispositifs à dispersion, des filtres optiques, des coupleurs optiques ou des connecteurs. La sélection peut être réalisée en commutant les signaux de commande électriques de sources lumineuses fonctionnant à différentes longueurs d'onde.

Le contrôle de la longueur d'onde peut être réalisé à l'aide d'un coupleur de fibres optiques et d'un ondemètre optique. Le système de sélection et de contrôle de la longueur d'onde peut être installé soit à l'entrée soit à la sortie de la fibre sous test.

2.5.3.2.3 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.

2.5.3.2.4 Canal de référence

Le canal 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 ce canal. Dans certains cas, la fibre à mesurer elle-même peut servir de canal de référence.

2.5.3.2.5 Détecteur du temps de propagation

Le détecteur du temps de propagation mesure le déphasage entre le signal de référence et le signal de canal. Un oscilloscope à grande vitesse ou un oscilloscope à échantillonnage peut être utilisé.

2.5.3.2.6 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 à la commande de l'équipement, au stockage des données et à l'évaluation numérique des données.

2.5.3.3 Procédure de mesure

La fibre à mesurer est couplée de façon appropriée 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 longueur d'onde et le niveau du signal. A moins que la fibre à mesurer soit également utilisée comme la ligne de canal de référence, la température de la fibre doit être suffisamment stable pendant la mesure.

Le temps de propagation entre le signal de référence et le signal de canal à la longueur d'onde de fonctionnement doit être mesuré 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 correspondant à la longueur d'onde de fonctionnement. Si nécessaire, une analyse spectrale du temps de propagation de groupe en fonction de la longueur d'onde peut être exécutée; on peut obtenir une courbe d'ajustement à partir des valeurs mesurées.

2.5.3.3.1 Fibres visées par la Recommandation G.652

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par la formule de Sellmeier à trois termes (2-8).

Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé à partir de l'équation de Sellmeier différenciée (2-9).

NOTE – Les formules (2-8) et (2-9) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont assez précises entre 1270 et 1340 nm; elles le sont moins dans la région des 1550 nm. La dispersion étant forte dans ce dernier cas, cette précision réduite peut être acceptable. Dans le cas contraire, on peut l'améliorer en incluant des données de la région des 1550 nm lors de l'ajustement. A noter cependant que cela peut réduire la précision dans la région des 1310 nm.

2.5.3.3.2 Fibres visées par la Recommandation G.653

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par l'expression quadratique (2-10). Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé à partir de l'équation quadratique différenciée (2-11).

NOTE – Les formules (2-10) et (2-11) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises entre 1500 et 1600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la région des 1310 nm.

2.5.3.3.3 Fibres visées par la Recommandation G.654

Le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre, en fonction de la longueur d'onde, sera ajusté par l'équation quadratique (2-12). Le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ peut être déterminé par la dérivation de l'équation quadratique différenciée (2-13).

NOTE – Les équations (2-12) et (2-13) donnant respectivement $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises dans l'intervalle de 1500 à 1600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la région des 1310 nm.

2.5.3.4 Présentation des résultats

On précisera les points suivants:

- a) montage de mesure;
- b) type de modulation utilisé;
- c) caractéristiques de la source;
- d) identification et longueur de la fibre;
- e) caractéristiques du sélecteur de longueur d'onde (s'il en existe un);
- f) type de photodétecteur;
- g) caractéristiques du détecteur du temps de propagation;
- h) valeurs de la longueur d'onde à dispersion nulle et de la pente à dispersion nulle;
- i) procédure d'ajustement du temps de propagation relatif à la gamme de longueurs d'onde d'ajustement utilisée;
- j) température de l'échantillon et conditions d'environnement (si nécessaire).

2.6 Méthodes d'essai à des fins de contrôle

2.6.1 Méthode d'essai de référence: traction longitudinale

2.6.1.1 Considérations générales

- a) Cette méthode d'essai décrit des procédures consistant à appliquer brièvement des charges de traction à une longueur de fibre totale continue. La longueur initiale peut se rompre et se diviser en plusieurs sections plus courtes; on considère alors que chacune de ces sections a subi l'essai de contrôle avec succès.
- b) Des conditions ambiantes normales doivent être appliquées pour le stockage et les essais de contrôle: température de $23 \pm 5^\circ\text{C}$ et humidité relative de $50 \pm 20\%$. La durée de stockage avant les essais de contrôle doit faire l'objet d'un complément d'étude.
- c) On peut utiliser l'effort de traction σ ou la contrainte de déformation ϵ pour la mesure. Ces deux valeurs sont liées par la formule suivante:

$$\sigma = E(1 + c\epsilon)\epsilon \quad (2-15)$$

où E est le module de Young à une contrainte nulle et où c est un paramètre (généralement compris entre 3 et 6). La détermination des paramètres E et c doit, si elle est nécessaire, faire l'objet d'un complément d'étude.

d) La contrainte σ est calculée à partir de la traction T comme suit:

$$\sigma = \frac{T}{\pi a^2} \quad (2-16)$$

où $2a$ est le diamètre de la fibre de verre ($125 \mu\text{m}$). Les effets de la non-uniformité de la section de la fibre et la contribution des revêtements et/ou manchons de la fibre doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

2.6.1.1.1 Paramètres de l'essai de contrôle

- Le comportement de l'effort de traction en fonction du temps est indiqué schématiquement sur la Figure 19. Ici, σ_p est la contrainte d'essai spécifiée pendant la durée de maintien t_d , tandis que t_ℓ et t_u sont respectivement les durées de charge et de décharge.
- Si on utilise une autre valeur t_a pour le temps de maintien, on peut utiliser une autre valeur pour la contrainte d'essai, comme suit:

$$\sigma_a = \sigma_p \left[\frac{t_d}{t_a} \right]^{n_d} \quad (2-17)$$

La valeur du paramètre de fatigue dynamique n_d est déterminée par une méthode d'essai de fatigue dynamique. Le paramètre de fatigue statique n_s peut être également utilisé si la valeur n_d n'est pas connue. Si aucun de ces deux paramètres n'est connu, on peut admettre implicitement une valeur de 20 pour ce calcul.

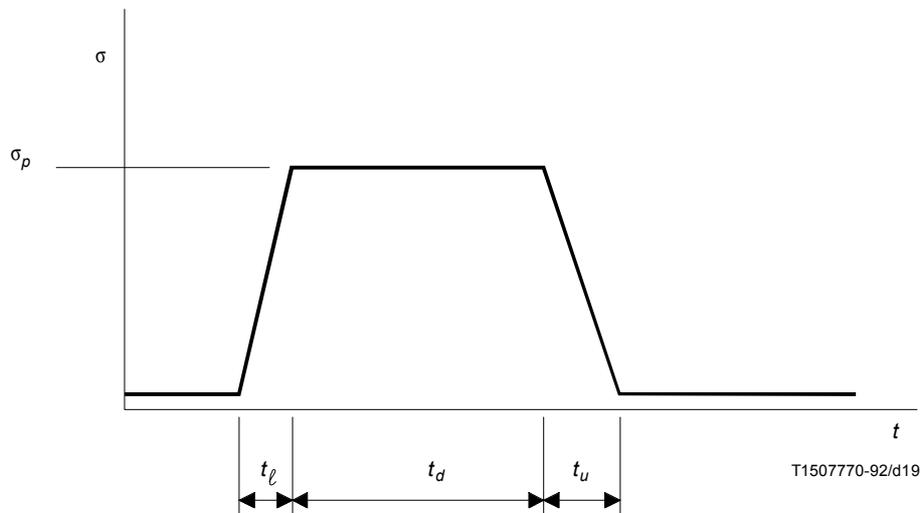


FIGURE 19/G.650
**Contrainte σ en fonction du temps t
 pendant l'essai de contrôle**

2.6.1.2 Appareil de contrôle

2.6.1.2.1 Mode opératoire

- Dans la zone de déroulement, la fibre est soumise à une faible contrainte ne dépassant généralement pas 10% de la contrainte d'essai.
- Dans la zone de charge, la contrainte de la fibre passe de la valeur faible maintenue dans la zone de déroulement à la contrainte d'essai maximale appliquée dans la zone de l'essai de contrôle. La durée de charge est t_ℓ .

- c) Dans la zone de contrôle, la contrainte d'essai σ_p est appliquée uniformément le long de la fibre pendant un temps de maintien t_d . Un tensiomètre peut contrôler la traction qui ne doit pas baisser de plus de 5% au-dessous de sa valeur moyenne. Le temps de maintien peut être ajusté selon la longueur de la fibre dans la zone de contrôle et la vitesse à laquelle la fibre traverse cette zone.
- d) Dans la zone de décharge, la contrainte de la fibre passe de la valeur maximale appliquée dans la zone de contrôle à une valeur faible maintenue dans la zone d'enroulement. Le temps de décharge est t_u .
- e) La charge doit augmenter et diminuer d'une manière aussi linéaire que possible; la décharge doit, quant à elle, s'effectuer aussi rapidement que possible.
- f) Dans la zone d'enroulement, la fibre est soumise à une faible contrainte ne dépassant généralement pas 10% de la contrainte d'essai.
- g) La traction lors du passage autour de mandrins ou de cabestans dans la zone d'enroulement ne doit généralement pas dépasser 10% de la contrainte d'essai.

2.6.1.2.2 Appareils d'essai

- a) *Machine à cabestan de freinage* (Figure 20)

Des poulies de guidage guident à l'entrée du premier tambour de cabestan et à la sortie du dernier tambour de cabestan. Un enduit isolant, ne présentant pas de risque d'endommagement pour les revêtements de la fibre, est appliqué sur les cabestans pour empêcher les glissements. Les tambours supérieur et inférieur de chaque paire de cabestans sont synchronisés mécaniquement. Les cabestans supérieurs sont légèrement inclinés afin que la partie descendante de la fibre qui revient au tambour inférieur ne frotte pas contre la partie montante de la fibre.

La contrainte d'essai est appliquée par un moteur qui entraîne la seconde paire de cabestans à vitesse constante tout en freinant uniformément la première paire de cabestans.

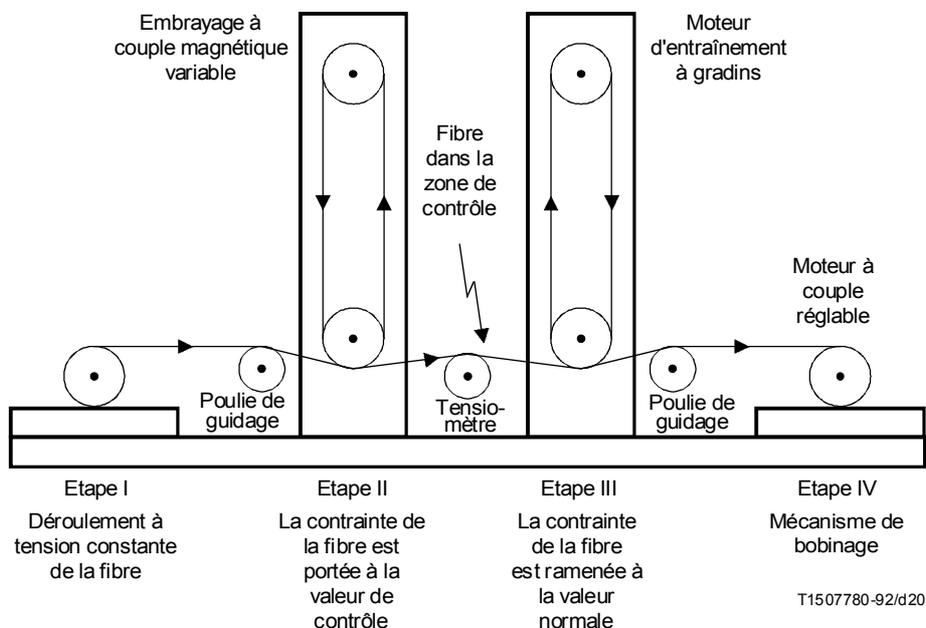


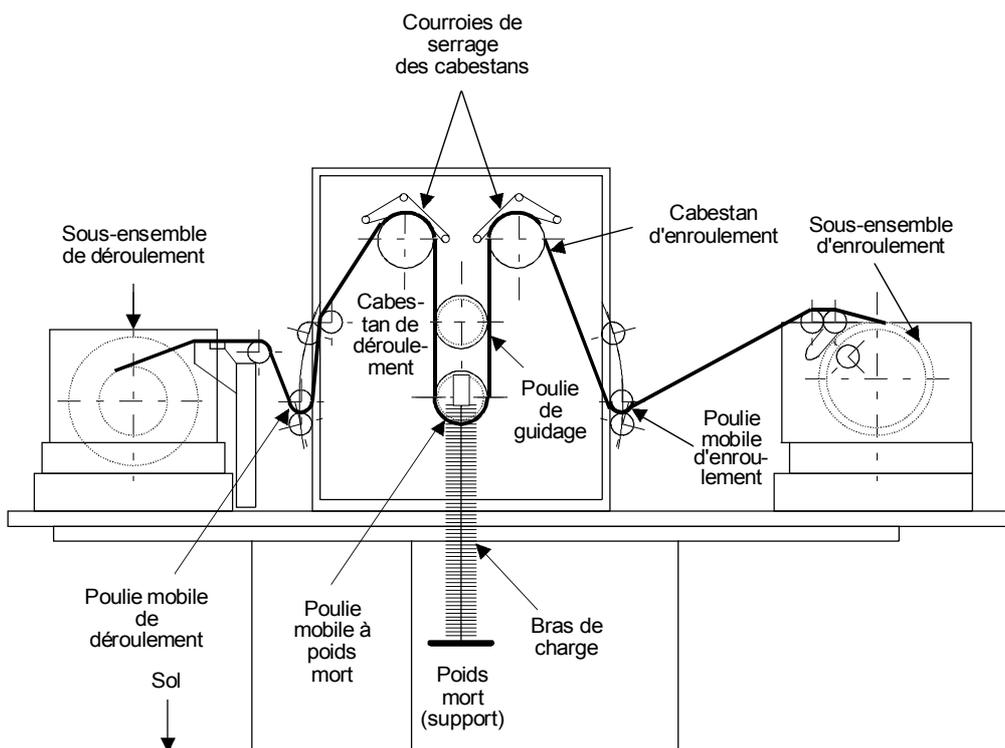
FIGURE 20/G.650

Configuration typique d'un appareil d'essai à cabestan avec freinage

b) *Machine à charge directe* (Figure 21)

La poulie mobile de déroulement et la poulie mobile d'enroulement sont suffisamment légères pour guider la fibre avec une tension minimale. Le cabestan de déroulement et le cabestan d'enroulement sont synchronisés. Les courroies de serrage des cabestans empêchent le glissement sur les cabestans sans toutefois créer de contrainte supplémentaire ou de risque d'endommagement des revêtements de la fibre.

Un bras de charge et un poids mort sur une plaque sont fixés à l'arbre d'une poulie mobile à poids mort afin d'appliquer la contrainte d'essai à la fibre. En cas de besoin, une poulie de guidage fournit, à titre facultatif, une plus grande longueur de fibre.



T1507790-92/d21

FIGURE 21/G.650

Configuration typique d'un appareil d'essai à charge directe

2.6.1.3 Méthode de mesure

2.6.1.3.1 Echantillon

- a) L'échantillon d'essai doit consister en une longueur totale de fibre optique, moins une section maximale de 10 m à chaque extrémité. Ces extrémités ne sont pas nécessairement soumises à la traction de contrôle maximale et doivent être rejetées.
- b) La non-conformité de la fibre doit être mise en évidence après essai par la rupture complète ou l'allongement brut du revêtement dans la zone de défaillance. Les méthodes d'examen comprennent un examen OTDR et éventuellement une inspection visuelle. Après retrait des parties brisées ou endommagées, on considère que les longueurs de fibre restantes ont subi l'essai avec succès.

2.6.1.3.2 Calculs

Si la traction appliquée par la machine est étalonnée, on calcule la contrainte à partir de l'équation (2-16). La déformation peut être obtenue à partir de l'équation (2-15).

2.6.1.4 Présentation des résultats

Les points suivants doivent être précisés:

- a) description générale de l'appareil;
- b) identification de la fibre;
- c) en cas de différence par rapport aux valeurs spécifiées, la contrainte (ou déformation) d'essai et le temps de maintien utilisés, ainsi que la valeur implicitement admise du coefficient de corrosion dynamique sous tension.

Imprimé en Suisse

Genève, 1994