



# MESURES ET RECETTE D'UN CABLAGE OPTIQUE



	Page	
1	Préambule	1
2	Les étapes du contrôle	2
3	Méthodologie de mesure et précautions opératoires	6
4	Sanctions applicables	14
5	Recette et documents de recette	16
6	Exploitation et maintenance des liaisons optiques	19
7	Types de fibres monomodes	22
8	Glossaire	23
9	Références	36
10	Document de Contrôle Optique - DCO	37
11	Caractéristiques des fibres	38

Tous droits de reproduction réservés sans autorisation.

Association Loi 1901, créée en 1993, le Cercle C.R.E.D.O, Cercle de Réflexion et d'Etude pour le Développement de l'Optique, s'est donné pour vocation de promouvoir le rôle et l'utilisation de la fibre optique dans le domaine des infrastructures et applications des télécommunications et réseaux.

Les travaux du Cercle s'appuient sur l'expertise technique de ses membres qui mettent en commun leurs expériences et savoir-faire spécifiques. Organisation interprofessionnelle, il réunit l'ensemble des acteurs impliqués dans le cycle de vie d'un câblage :

Donneurs d'ordre et Utilisateurs exploitants,  
Opérateurs,  
Industriels  
Prescripteurs et Cabinets d'Ingénierie,  
Formateurs,  
Installateurs.

C.R.E.D.O est structuré autour de commissions techniques spécialisées (câble, connectique, mesure, applications, standards, ingénierie, formation, réseaux étendus) qui réunissent des spécialistes du domaine en association avec les différentes parties concernées et éditent des recommandations et spécifications dans leur domaine.

L'objectif de C.R.E.D.O est le développement de recommandations concernant l'utilisation de la technologie optique. Sa démarche se veut globale et prend en compte non seulement des choix de composants, mais aussi les règles d'ingénierie et d'installation associées, les règles de contrôle (mesure), les applications et le niveau de qualification des prestataires.

C.R.E.D.O représente aujourd'hui une force d'expertise spécifique au service de ses adhérents et plus généralement de la technologie fibre optique.

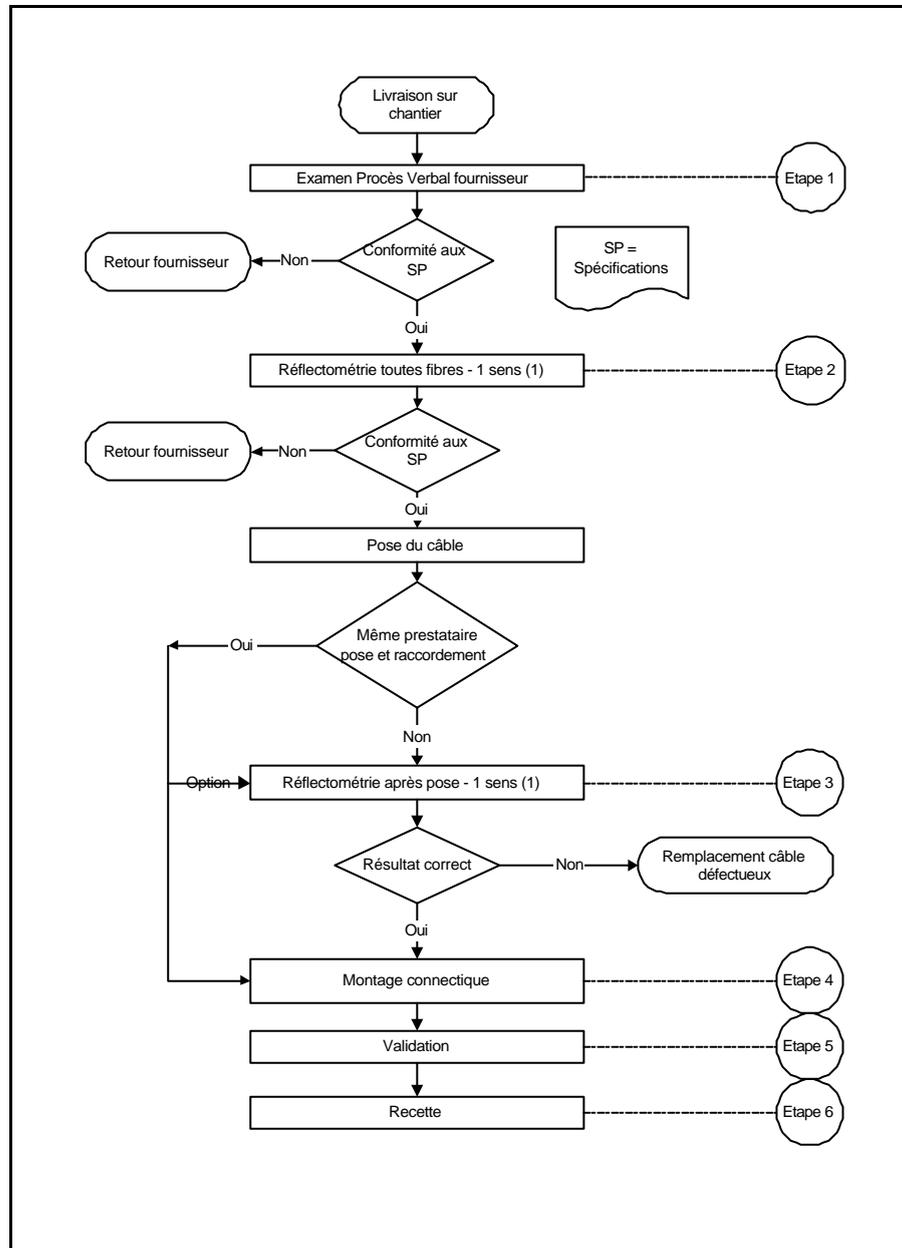
Cet ouvrage est le fruit de l'« Atelier Mesure » du C.R.E.D.O. Nous avons voulu à travers lui, préciser les principes et la méthodologie de contrôle des installations à fibres optiques.

Dans un domaine en perpétuel progrès, un tel sujet ne peut en aucun cas être considéré comme définitivement traité. Cet ouvrage constitue néanmoins, dans le cadre de l'état de l'Art actuel, la réponse à l'attente du marché, pour définir un référentiel, par rapport auquel les professionnels puissent clarifier leurs prestations.

## 2 - LES ETAPES DU CONTRÔLE



A chaque étape de la réalisation du câblage par l'installateur, des contrôles et mesures doivent être effectués. Ils ont pour objet de délimiter les responsabilités de chaque intervenant.



Etape	Type Contrôle	Point de contrôle
1 Réception Câble	Visuel + PV Fournisseurs	Obligatoire
2 Avant tirage	Réflectométrie fibre nue	Obligatoire si fourniture et pose sont dissociées. Conseillée dans tous les cas de liaisons longues
3 Après tirage, avant pose connecteurs et épissures en ligne	Réflectométrie fibre nue	Obligatoire si pose et raccordement sont dissociés
4 Pendant connectorisation et épissurage	Visuel - fiches connecteurs	Obligatoire
5 Après pose connecteurs - validation	Visuel + réflectométrie fibre connectorisée	Obligatoire
6 Recette	Visuel + mesures par prélèvement en option	Obligatoire

(1) Compte-tenu du type de connectique (provisoire) employé pour cette mesure sur fibre nue (grande zone morte engendrée), il est possible qu'un défaut proche de l'extrémité soit masqué. Une réflectométrie dans les deux sens lèverait cette réserve.

### ETAPE 1 : CONTRÔLE DE RÉCEPTION CÂBLE

Ce contrôle a pour objet de vérifier la conformité de la livraison. Deux types de contrôle sont prévus :

#### **Inspection visuelle :**

Celle-ci permet de vérifier que le câble livré a bien les caractéristiques attendues :

- état général du touret,
- nombre de fibres, code couleur, nombre de faisceaux,
- éléments de protection extérieurs (gaine).

#### **Examen des procès verbaux du câble :**

Le câble doit être livré avec un procès verbal de contrôle de sortie d'usine. Ce document doit fournir les éléments suivants :

- références de la commande,
- longueur de câble,
- caractéristiques et origine de chaque fibre,
- affaiblissement linéique de chaque fibre, aux longueurs d'onde d'utilisation,
- trace réflectométrique attestant de l'absence de défaut et d'épissure le long du câble. Le choix des échelles doit permettre une présentation exploitable.

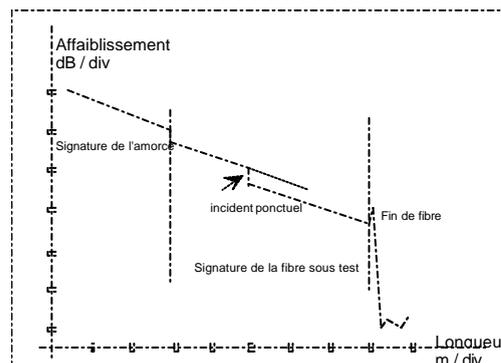
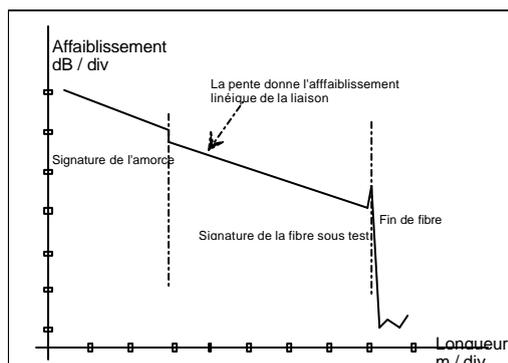
### ETAPE 2 : MESURE AVANT TIRAGE

Avant tirage, un contrôle sur le câble peut être nécessaire pour attester que depuis la sortie d'usine, il n'a été affecté ni au cours du transport, ni au cours du stockage sur le chantier. Cette vérification est obligatoire, pour délimiter les responsabilités, notamment dans le cas où les prestations de fourniture et de pose sont dissociées.

Attention, le stockage sur chantier n'est en aucun cas de la responsabilité du fournisseur, ni du transporteur. Dans le cas d'un stockage de longue durée, il est nécessaire de lever la responsabilité du transporteur, par la mesure du touret à la réception. Le câble pourra ensuite éventuellement subir un nouveau contrôle avant l'opération de tirage.

La vérification consiste en une mesure par réflectométrie de l'ensemble des fibres du câble, à une seule longueur d'onde et dans un seul sens. Cette mesure est effectuée sur fibre nue (non encore équipée de connecteurs). La mesure permet de valider les points suivants :

- la longueur de la liaison,
- l'affaiblissement linéique de chaque fibre, dans la limite des paramètres « mesurables »,
- l'absence de contrainte subie par la fibre - incident ponctuel.



D'une façon générale aucun défaut n'est acceptable. Cependant, dans le cas de défaut limité et après expertise (câblier, expert tiers) montrant que la durée de vie de l'installation n'est pas impactée, la décision finale peut être laissée au client. Dans ce cas, des réserves seront faites dans le procès verbal.

La vérification s'effectue dans les conditions suivantes :

<u>Fibre</u>	<u>Longueur d'onde de mesure</u>
Multimode	850 nm
Monomode	1550 nm

**Attention :**

Dans le cas où le cahier des charges spécifie explicitement des paramètres à une longueur d'onde différente, il peut être conseillé de réaliser le test également à cette longueur d'onde, notamment dans le cas où les traces réflectométriques fournies par le câblier ne sont pas suffisamment exploitables.

ETAPE 3 : MESURE APRÈS POSE DU CÂBLE. AVANT MISE EN PLACE DE LA CONNECTIQUE

Cette étape reprend, après tirage, les contrôles précédents. Elle est nécessaire si les prestataires qui effectuent les opérations de pose et de raccordement sont différents. Dans le cas où le prestataire est le même, cette étape n'est pas obligatoire, mais néanmoins conseillée, dans l'intérêt de celui-ci, en fonction des conditions de pose (tronçons de grande longueur, conditions de pose difficiles, fragilité du câble) ; elle permettra d'identifier les défauts de tirage et de remplacer les tronçons en défaut avant mise en place des fiches optiques. A cette étape, les contrôles suivants sont entrepris, après une période de relaxation du câble, allant de quelques heures à quelques jours dépendant des paramètres du câble :

- contrôle visuel : le câble ne doit pas présenter de « blessure » visible,
- mesure sur fibre - selon les modalités de l'étape 2, à une longueur d'onde.

ETAPE 4 : CONTRÔLE EN COURS DE POSE DES CONNECTEURS

Cette étape est réalisée par l'installateur qui met en place la connectique optique en extrémité de câble. Conformément aux notices de montage des constructeurs, il doit s'assurer visuellement, à l'aide d'un outil d'inspection des faces optiques, que les fiches de connecteurs sont correctement montées :

- état de surface propre et correctement poli,
- absence de rayure ou fracture sur le « cœur de fibre »,
- absence de colle.

ETAPE 5 : CONTRÔLE APRÈS MISE EN PLACE DES CONNECTEURS

Cette étape réalise la validation finale de l'installation. Elle effectue un contrôle des liens constitués et raccordés. Elle s'appuie sur des mesures réflectométriques qui permettent d'apprécier en une prise de mesure :

- la longueur de la liaison,
- l'affaiblissement global de la liaison,
- l'affaiblissement des différents éléments qui la composent,
- en monomode, la réflectance des éléments susceptibles de réfléchir une partie de l'énergie lumineuse,
- la visualisation des contraintes subies par la fibre,
- une cartographie complète de la liaison.

Les relevés s'effectuent dans les deux sens de transmission.

Ces contrôles sont effectués obligatoirement à la « longueur d'onde de mesure ». Ils peuvent être effectués, en option, à la longueur d'onde complémentaire, notamment, dans le cas où l'application envisagée travaille sur cette longueur d'onde:

Fibre	Longueur d'onde de mesure	Longueur d'onde complémentaire optionnelle
Multimode	<b>850 nm</b>	1310 nm
Monomode	<b>1550 nm</b>	1310 nm

#### ETAPE 6 : RECETTE

La recette de l'installation est prononcée par le client après analyse des documents de validation fournis par l'installateur. Le client pourra le cas échéant se faire assister par un expert tiers pour prononcer cette recette et faire au besoin des contre-mesures.

# 3 - METHODOLOGIE DE MESURE ET PRÉCAUTIONS OPÉRATOIRES



## 3.1 DÉFINITIONS

La procédure de qualification et de recette consiste à tester et mesurer des tronçons de fibre optique terminés par une connectique.

Une liaison optique est caractérisée par des paramètres mécaniques, géométriques, de résistance à l'environnement et de transmission.

Les trois premiers paramètres seront validés en usine. En effet, le câblage possède une organisation qualité interne et délivre un certificat de conformité du câble à la spécification produit (cf. paramètres listés Chapitre 11).

Seuls les paramètres de transmission (longueur, affaiblissement entre deux points, affaiblissement linéique, réflectance...) sont mesurés au cours des différentes étapes de la mise en oeuvre des liaisons.

## 3.2 MÉTHODES DE MESURE DE PERTES OPTIQUES

A titre de rappel, deux méthodes de mesure d'affaiblissement sont utilisables dans le domaine de la fibre optique: la réflectométrie et la photométrie (mesure par insertion).

La première méthode consiste à mesurer la puissance optique rétrodiffusée vers l'origine de la fibre à partir des différents points de celle-ci. Cette mesure permet d'obtenir une « cartographie » détaillée du lien.

Les informations de longueur, affaiblissement linéique et ponctuel, réflexion apparaissent sur le réflectogramme.

La seconde consiste à injecter à l'aide d'une source lumineuse, cohérente ou non, une puissance P1 à l'entrée du lien et à mesurer le niveau de puissance P2 reçu à l'autre extrémité. La différence entre les deux puissances exprimée en dB est l'affaiblissement du lien.

### MESURE PRÉCONISÉE :

La méthode de mesure préconisée par le C.R.E.D.O est la réflectométrie. Celle ci permet d'obtenir en une seule opération :

- la longueur de la liaison,
- l'affaiblissement global de la liaison,
- l'affaiblissement des différents éléments la composant,
- la réflectance des éléments susceptibles de réfléchir une partie de l'énergie lumineuse,
- une cartographie complète de la liaison et notamment la visualisation de l'ensemble des contraintes subies par la fibre et des défauts.

La mesure par insertion pourra être effectuée, en option et en complément de la mesure précédente. Cette méthode sera par exemple employée dans le cas d'une vérification de liaisons très courtes :

fibre multimode	<10m
fibre monomode	<30m
Remarque: la source utilisée doit être stable en intensité et en longueur d'onde dans le temps.	

Les mesures de la bande passante et de la dispersion chromatique ne seront pas réalisées sur le site, toutefois dans le cas des liaisons de transport haut débit et longue distance (opérateurs), ces mesures peuvent être exigées par le maître d'ouvrage.

### 3.3 LONGUEUR D'ONDE RETENUE

Le test s'effectue à la « longueur d'onde de mesure ». Cette longueur d'onde permet, dans la majorité des cas, à elle seule, de qualifier le réseau. Un défaut présent sur le réseau sera mieux détecté à cette longueur d'onde. Le test peut également être effectué, en complément, dans les autres fenêtres d'utilisation de la fibre, en particulier si celle-ci est destinée à recevoir des applications fonctionnant dans ces fenêtres.

Fibre	Longueur d'onde de mesure	Longueur d'onde complémentaire optionnelle
Multimode	<b>850 nm ± 20 nm</b>	1310 nm ± 20 nm
Monomode	<b>1550 nm ± 20 nm</b>	1310 nm ± 20 nm

Le choix de la longueur d'onde de mesure (associé aux performances des appareils actuels - pouvoir séparateur en événements et à la largeur d'impulsion choisie) permet d'identifier deux défauts voisins en moyenne de 10 m. Il sera possible, par ailleurs, en général, de séparer deux défauts distincts de moins de 10 m, mais pas de les quantifier.

Il est nécessaire cependant de fixer une largeur d'impulsion présentant le meilleur compromis entre le pouvoir séparateur en événements et la dynamique.

### 3.4 CHOIX DE L'APPAREILLAGE ET PARAMÈTRAGE

L'appareillage de mesure à utiliser est un réflectomètre.

Pour la qualification des liaisons multimodes, celui-ci devra posséder une largeur d'impulsion pouvant descendre jusqu'à 2 ns (20cm) pour la plus haute résolution spatiale.

Pour la qualification des liaisons monomodes, il devra posséder une largeur d'impulsion pouvant descendre jusqu'à 5 ns (50cm) pour la plus haute résolution spatiale.

L'indice de réfraction du cœur de la fibre doit être paramétré sur l'appareil. Il est impératif de rentrer correctement ce paramètre, pour éviter des erreurs au niveau de la distance et de l'atténuation linéique.

Le calcul de la distance est en effet effectué par l'appareil à partir des mesures de temps sur les ondes réfléchies et dépend de l'indice de réfraction du cœur :

**$d=ct/(2n)$**

- d : distance
- c : célérité de la lumière
- n : indice de réfraction de la fibre
- t : temps écoulé entre l'émission de l'impulsion et la réception de l'impulsion réfléchie par l'événement à localiser

On veillera à afficher un indice réaliste qui se rapproche de la moyenne des indices donnés par les fabricants de fibre.

Sauf stipulation précise du câblage, les valeurs moyennes suivantes seront employées :

FIBRE	Longueur d'onde	Diamètre de cœur	Indice moyen
Multimode	850 ou 1310 nm	62.5 µm	1.490
		50 µm	1.475
Monomode	1310 nm	9 µm	1.465
	1550 nm	9 µm	1.475

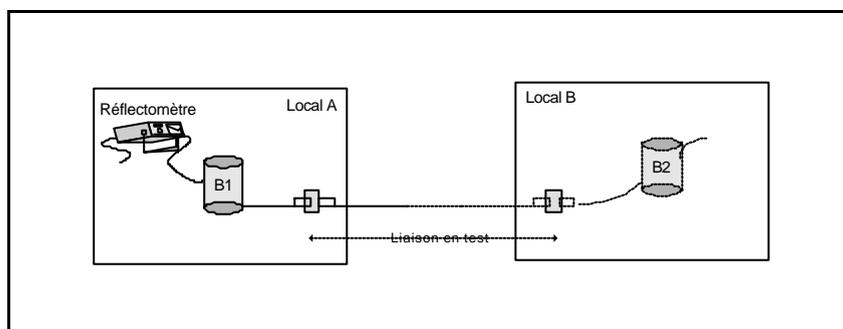
### 3.5 PRÉCISION DES MESURES

Les incertitudes de mesure n'étant pas négligeables et leurs origines diverses ( imprécision de la mise en place des curseurs en mode manuel, répétabilité de la mesure, etc.), on admettra une incertitude de  $\pm 0.05$  dB sur chaque valeur d'affaiblissement relevée avec l'appareillage.

### 3.6 BOBINES AMORCES

Le branchement du réflectomètre sur le lien à qualifier s'effectue au travers d'une bobine amorce qui joue plusieurs rôles. Elle permet notamment :

- de qualifier le connecteur d'entrée,
- de s'affranchir de la zone morte du réflectomètre,



Afin d'obtenir de bonnes conditions d'injection, la bobine amorce doit avoir les mêmes caractéristiques que la fibre testée. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Caractéristiques de la bobine	Liaison Multimode	Liaison monomode
Longueurs conseillées	Min. 100 m - Max. 500 m	Min. 500 m - Max. 2400 m
Type de fibre	Ø cœur identique au Ø cœur de la fibre testée	Ø de champ de mode identique au Ø champ de mode de la fibre testée
Affaiblissement linéique max.	3,5 dB/Km à 850 nm	0,3 dB/Km à 1550 nm
Affaiblissement max. des connecteurs	1 dB	1 dB
Affaiblissement global max. de la bobine	4 dB	1,5 dB

Une bobine doit également être placée en sortie du lien pour qualifier le connecteur de sortie.

Typiquement, les longueurs proposées satisfont les exigences :

- de qualification des connecteurs d'entrée,
- de sortie de la zone morte du réflectomètre.

Le choix définitif de la longueur de bobine tiendra compte de :

- la longueur de bobine disponible,
- la largeur d'impulsion retenue,
- la longueur de lien testé,
- la valeur de dynamique nécessaire.

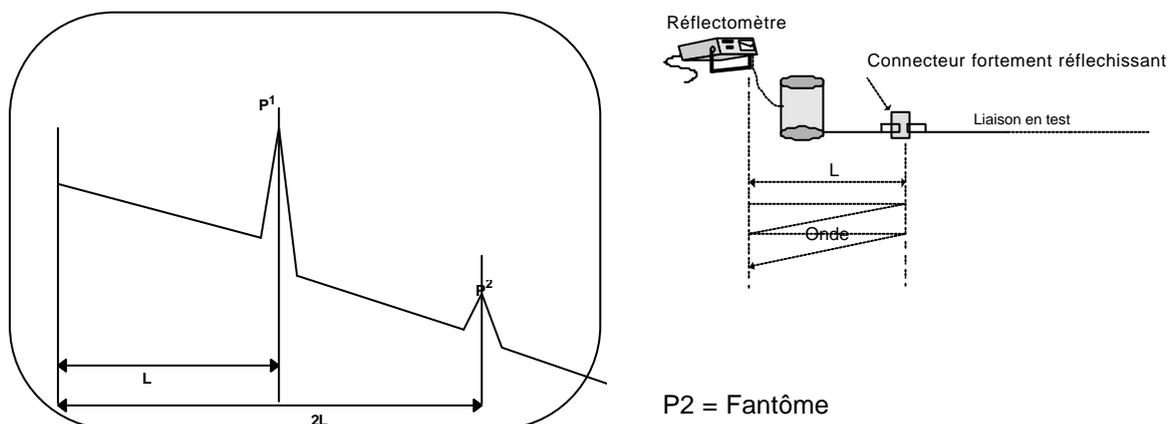
**Nota** : Il est possible que dans des cas spéciaux les longueurs de bobines amorces ne soient pas les mieux adaptées, entre autres dans les cas d'emploi d'une grande longueur d'impulsion (validation de liaisons de transport longues distances monomodes). Dans la grande majorité des cas, les longueurs proposées donnent satisfaction.

### Remarque concernant l'équilibrage des modes, sur fibre multimode

Certains acteurs de la profession préconisent de se préoccuper, tout comme en photométrie, de l'effet d'équilibrage des modes, en imposant des longueurs de bobine importantes (500 m minimum).

## 3.7 FANTÔMES

Sur un réflectogramme, de faux événements peuvent se présenter sous la forme de pics de Fresnel, alors qu'ils n'existent pas réellement sur la liaison. De tels pics, liés à la mesure, sont appelés "fantômes" et sont facilement détectables :

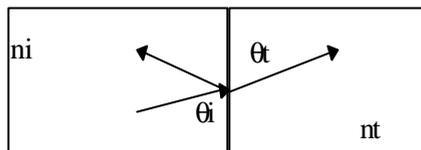


Pour plus de précision se reporter au chapitre 8.

### 3.8 RÉFLECTANCE (MONOMODE UNIQUEMENT)

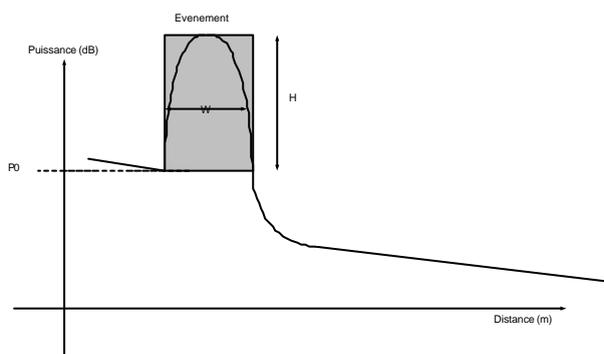
La réflectance est un rapport de puissance exprimée en dB permettant de caractériser le coefficient de réflexion d'un élément optique réfléchissant.

Elle peut-être définie comme le rapport entre l'énergie lumineuse incidente et celle réfléchié par un changement de milieu de propagation.



Les réflectomètres calculent et indiquent directement cette valeur.

La valeur de la réflectance est déduite de la hauteur du pic de Fresnel de l'élément réfléchissant, relevé sur le réflectogramme :



Certains appareils nécessitent de fournir le paramètre  $K_{dB}$ : coefficient de rétrodiffusion de la fibre.

Les valeurs suivantes de  $K_{dB}$  peuvent être considérées comme typiques:

Monomode 1310nm -  $K_{dB} = -79dB$

Monomode 1550nm -  $K_{dB} = -81 dB$

#### Valeurs limites de réflectance

La réflectance la plus forte est obtenue pour un passage fibre / air (typiquement une fibre non connectée).

A l'inverse la réflectance la plus faible est obtenue avec une connexion « idéale » ( $H = 0$  -pas de pic de Fresnel).

La réflectance R est comprise entre 14 et 80 dB

#### **Attention :**

La précision de la mesure de R est essentiellement liée à la mesure de H. On veillera pour ceci à ne pas travailler en saturation (pic écrêté). La valeur de H est également liée à la largeur d'impulsion. Plus la largeur est faible, plus H est grand. Les impulsions les plus fines donnent les meilleurs résultats; toutefois la dynamique des réflectomètres limite l'emploi des faibles largeurs d'impulsions.

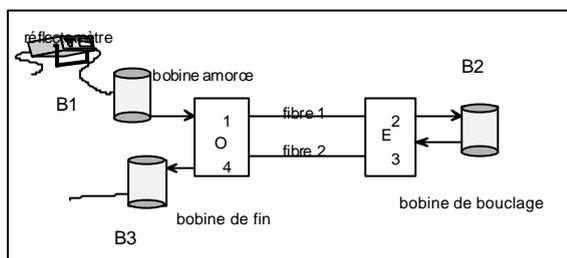
### 3.9 MÉTHODOLOGIE DE TEST D'UNE LIAISON OPTIQUE AVEC UTILISATION D'UNE BOBINE DE REBOUCLAGE

La mesure doit être effectuée dans les deux sens. Cette précaution permet d'observer la différence de comportement en rétrodiffusion de la fibre suivant le sens d'injection.

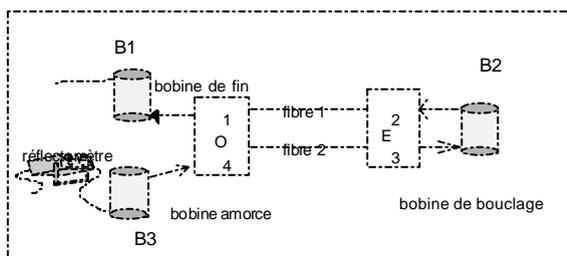
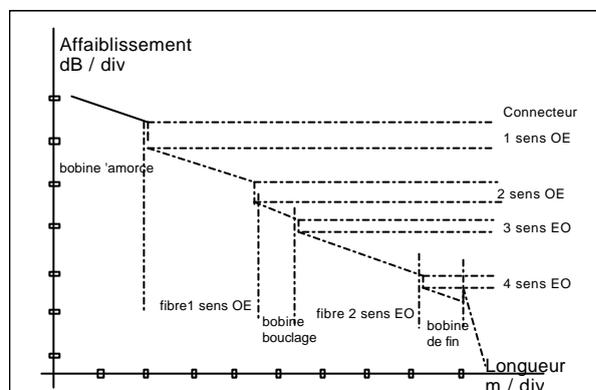
Au niveau de la connectique, une légère différence de coefficient de rétrodiffusion peut conduire à une connexion "pseudo amplificatrice".

Il est possible, pour limiter les prises de mesures, d'effectuer le test en bouclant les fibres du câble deux à deux au travers d'une bobine de bouclage. Ce dispositif permet :

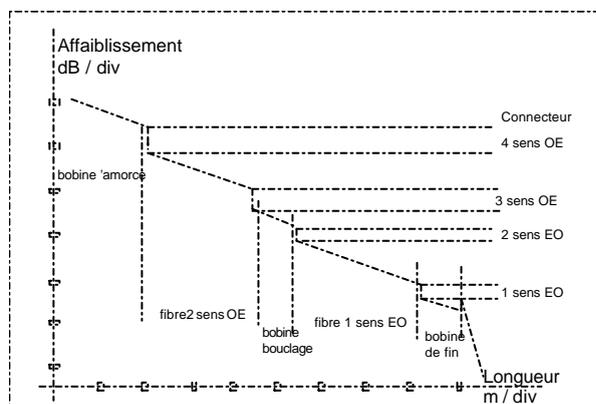
- de localiser l'appareil de test à une seule extrémité,
- de tester chaque fibre dans les deux sens,
- de limiter le nombre des acquisitions de mesure.



1ère Mesure



2ème Mesure



#### Notas :

1. Cette mesure par reboilage n'est pas applicable aux liaisons longues distances limitées par la dynamique de l'appareil. Dans ce cas, la mesure dans les deux sens s'effectue par déplacement du réflectomètre d'un local à l'autre.
2. Les connexions et déconnexions interviennent au niveau du connecteur de sortie du réflectomètre ; les bobines restent en place.
3. Une attention particulière doit être prêtée aux « échelles » retenues en « horizontal » et « vertical » sur le réflectomètre de manière à obtenir le maximum de précision dans la visualisation des différents événements.

### CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTES BOBINES :

Les bobines devront satisfaire les exigences définies au chapitre 3.6.

### VALIDITÉ DES MESURES :

Dans le cas des liaisons très courtes, la photométrie (mesure par insertion) sera préférée à la réflectométrie. C'est évidemment le cas lorsqu'il s'agit de tester des cordons.

	Liaison multimode	Liaison monomode
L <sub>min</sub>	10 m	30 m
L ≤ L <sub>min</sub>	Photométrie	Photométrie
L ≥ L <sub>min</sub>	Réflectométrie	Réflectométrie

Dans le cas des mesures de liaisons courtes par réflectométrie, le pouvoir séparateur en événements de l'appareil ne permet pas forcément de distinguer et de mesurer distinctement les éléments constitutifs de la liaison. En particulier, la valeur de « l'affaiblissement linéique » de la fibre, fournie par l'appareil après extrapolation est entachée d'erreur.

En fonction de la longueur de la liaison, (cf. tableau ci-dessous), on s'attachera à contrôler les paramètres suivants sur le lien.

		L < L <sub>min</sub>	L <sub>min</sub> < L < 100 m	100 m < L
Mesure		Photométrie	Réflectométrie	Réflectométrie
Paramètres contrôlés	Longueur du lien	NON	OUI	OUI
	Présence d'« incidents »	NON	OUI	OUI
	Affaiblissement total du lien optique	OUI	OUI	OUI
	Affaiblissement des connecteurs	NON	OUI	OUI
	Affaiblissement linéique	NON	NON	OUI

*Tableau de validité des mesures effectuées*

### 3.10 MESURES PAR PHOTOMÉTRIE

Des mesures par photométrie (mesures de pertes par insertion) peuvent être demandées, de manière optionnelle, en complément des mesures effectuées par réflectométrie.

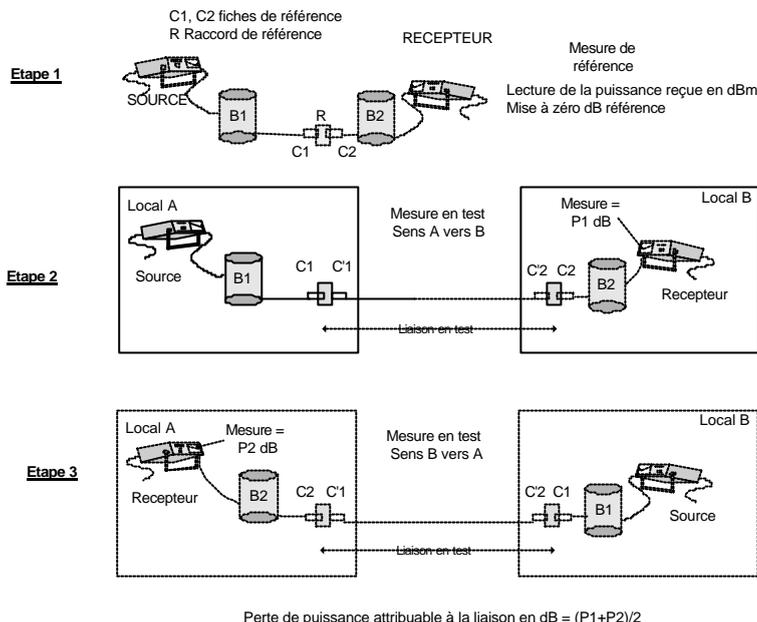
Ces mesures permettent d'apprécier, à une longueur d'onde donnée la perte globale de la liaison optique. Elles ne permettent pas, par contre d'en apprécier la qualité des différents constituants.

Deux méthodes différentes devront être mises en oeuvre, selon que la connectique aux deux extrémités de la liaison à mesurer est du même type ou non.

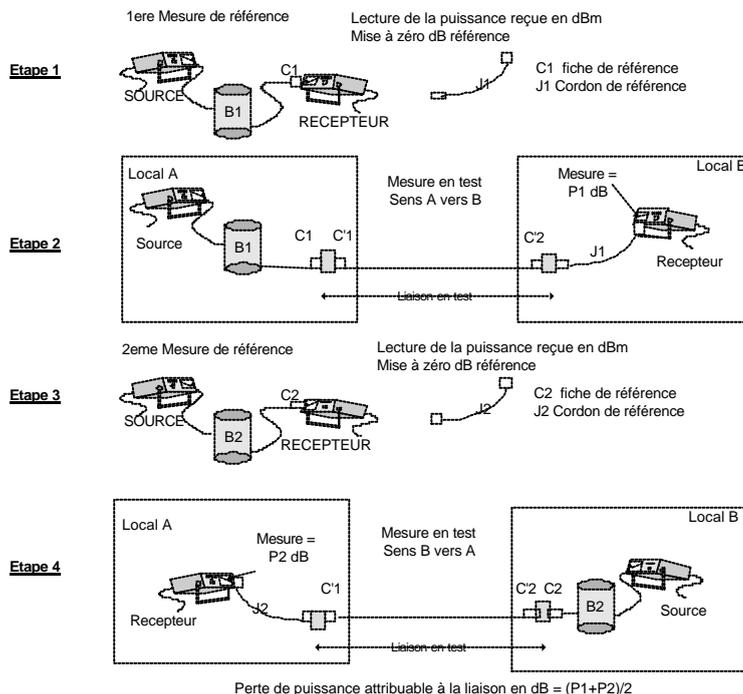
Dans le cas où les connecteurs sont de même type aux deux extrémités, on utilisera la méthode par insertion.

Dans le cas contraire, on utilisera la méthode dite de « demi insertion ».

La mesure par insertion doit être conduite d'après la méthodologie suivante :



La mesure par demi insertion doit être conduite d'après la méthodologie suivante :



**Attention :**

Sur fibre multimode, compte-tenu de la nature des sources utilisées, pour obtenir des résultats de mesure fiables et reproductibles, il est nécessaire que l'équilibre des modes soit réalisé ou « approché ». Il est donc impératif de mettre en oeuvre des bobines d'au moins 500 m.

Dans le cas des fibres monomodes, la bobine peut être remplacée par un cordon de courte longueur.

# 4 - SANCTIONS APPLICABLES

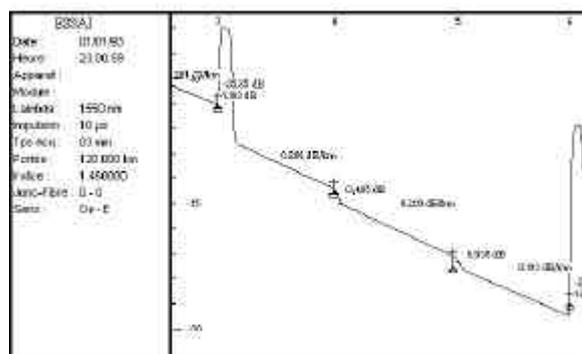
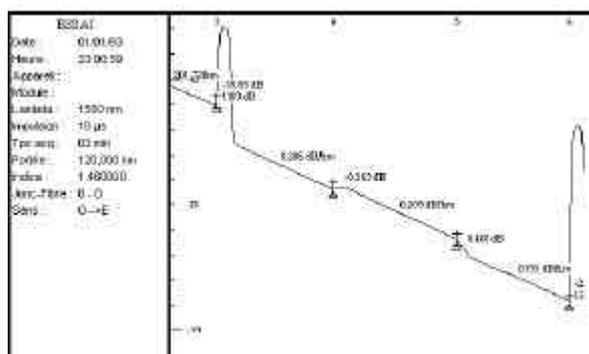


## 4.1 CONNECTIQUE

### PROCÉDURE DE CONTRÔLE DE LA CONNECTIQUE

Chaque élément de connectique (Connecteur, épissure) est mesuré dans les deux sens. Les valeurs des pertes dans chaque sens sont analysées.

Dans la plupart des cas, les valeurs mesurées sont positives (l'élément mesuré présente une perte). Compte tenu des variations possibles sur les valeurs de coefficient de rétrodiffusion, ouverture numérique et diamètre des fibres, il est possible qu'une des valeurs apparaisse comme négative (élément pseudo amplificateur, saut positif).



Dans tous les cas, la valeur d'affaiblissement à retenir est la demi somme des valeurs algébriques mesurées dans chaque sens  $(Val\ 1 + Val\ 2) / 2$ . C'est cette valeur qui doit rester inférieure à une valeur maximale donnée.

Val 1: Valeur de l'affaiblissement en dB d'un élément de connectique dans le sens OE.

Val 2: Valeur de l'affaiblissement en dB d'un élément de connectique dans le sens EO.

### VALEURS APPLICABLES

Les valeurs de sanction suivantes s'appliquent à la connectique. Les pertes étant mesurées dans les 2 sens, les critères s'appliquent à la demi somme des valeurs algébriques:

Connectique	MULTIMODE ET MONOMODE			MONOMODE UNIQUEMENT	
	Affaiblissement / pertes			Réflectance	
	Valeur moyenne (dB)	Ecart type $\sigma$ (dB)	Max. toléré (dB)	Max. toléré (dB)	Sur demande particulière (dB)
Connecteur niveau Répartiteur	0.5	0.2	(Typ + 3 $\sigma$ ) ou 1	- 30	- 55
Prise de bureau			1,5	- 30	N/A
Fusion - splice			0.15	N/A	N/A
Epissure mécanique			0.3	- 50	- 55
Bornier	0.15	0.1	0.5	- 30	N/A

Tableau des sanctions

### **Remarques :**

1 - Dans le cas de besoins justifiés (bilans de fonctionnement resserrés) la valeur maximum d'affaiblissement imposée au connecteur (2 fiches + 1 raccord) de répartiteur pourra être  $\leq 0,5$  dB.

2- Certains connecteurs qui disposent d'avantages particuliers (robustesse, facilité de mise en oeuvre) peuvent présenter des affaiblissements nominaux plus importants; la décision d'emploi de tels connecteurs, notamment au niveau des répartiteurs, relève du cahier de prescriptions spéciales.

3 - Le diamètre de coeur des fibres multimodes est défini à  $\pm 3 \mu\text{m}$ , l'ouverture numérique des fibres comporte elle-même une tolérance. Dans la cas d'un raccordement mettant en oeuvre des fibres aux limites opposées de la tolérance, une perte d'insertion supplémentaire supérieure à 1 dB peut être engendrée. Cet affaiblissement n'évolue pas dans le temps et n'entraîne pas de risque au niveau de la liaison. Dans ce cas, une analyse plus fine devra en définir les causes réelles, et la décision d'accepter ou de refuser la liaison pourra être prise.

4 - Demandes particulières en matière de réflectance : ces demandes concernent des réseaux mettant en oeuvre des émetteurs puissants, très sensibles aux taux de réflexion. On les rencontrera notamment sur les réseaux de télédistribution et très haut débit.

## 4.2 CÂBLE

Il est impératif de maîtriser parfaitement la constitution du câblage (longueurs et cheminements des différents câbles), de manière à pouvoir analyser le réflectogramme (pics, longueurs des fibres, extrémités). Ceci permet de détecter et localiser les éventuels défauts de la liaison.

Les affaiblissements linéiques maximum sont répertoriés dans les tableaux ci-dessous :

### LIAISONS MULTIMODES :

	Affaiblissement à 850 nm	Affaiblissement à 1310 nm
Fibre 62.5/125 $\mu\text{m}$	3.5 dB/km	1.5 dB/km
Fibre 50/125 $\mu\text{m}$	3.0 dB/km	1.0 dB/km

### LIAISONS MONOMODES :

	Affaiblissement à 1310 nm	Affaiblissement à 1550 nm
Fibre 9/125 $\mu\text{m}$	0,40 dB/km	0,30 dB/km

# 5 - RECETTE ET DOCUMENTS DE RECETTE



## 5.1 SPÉCIFICATIONS DE RECETTE

La phase de recette a pour but de vérifier que l'installation est conforme aux spécifications techniques. Une spécification de recette doit préalablement définir les différents contrôles à effectuer, les appareils de mesure nécessaires, les résultats à obtenir, ainsi que leur présentation à l'intérieur du cahier de recette.

## 5.2 CONTRÔLES

La recette se déroule conformément aux procédures définies et vise à tester tous les composants de l'installation.

Une partie des contrôles est effectuée en usine (caractéristiques géométriques, mécaniques, cf. Chapitre 11); la continuité optique ainsi que les valeurs d'affaiblissement, de réflectance, et longueurs sont contrôlées sur site tout au long de l'installation.

Outre les relevés et mesures, la recette comprend également les vérifications visuelles. Elles consistent à contrôler le cheminement des câbles (passage de câbles, état du câble, rayons de courbure), l'organisation des extrémités de répartiteurs (lovage des fibres dans répartiteurs, étiquetage, carnet de câbles, etc.), ainsi que, par prélèvement, l'état de surface des fiches optiques.

## 5.3 CAHIER DE RECETTE

Le cahier de recette de l'installation est un document de référence permettant de suivre l'évolution du réseau et d'en faciliter la maintenance. Il devra comprendre au minimum l'ensemble des documents suivants :

### PLANS DE L'INSTALLATION :

- plan de recollement ou de piquetage,
- plan de la constitution des baies et répartiteurs, pour chaque local technique.

### PIÈCES ÉCRITES :

Carnet de câbles comprenant	Identification, extrémités, longueur Références et spécifications du constructeur, Nombre de fibres, nature de fibre, Ø fibre, indice de réfraction, Procès Verbal constructeur.
Spécification de Connectique	Références et spécifications du constructeur.
Liste des contrôles effectués	
Matériel de mesure employé	Marque, caractéristiques techniques, performances, date du dernier calibrage.
Bobines amorces employées	Longueur, caractéristiques de fibre, Ø coeur et affaiblissement linéique.
Liasse de mesures	réflectogrammes de chacune des fibres, à chaque longueur d'onde dans les 2 sens. Papier et/ou disquette.
Résultats de mesures	Tableaux d'affaiblissement dans les 2 sens pour la fibre et connectique.
Signature des intervenants	

Il est important de conserver les acquisitions des réflectogrammes sur disquette, de façon à pouvoir effectuer une superposition de la courbe d'origine avec la courbe après vieillissement de la même liaison.

### PRÉSENTATION DES RÉFLECTOGRAMMES

Il est conseillé de regrouper les réflectométries des fibres d'un même câble, le premier réflectogramme représentant la fibre 1 dans le sens aller, le deuxième la fibre 1 dans le sens retour et ainsi de suite jusqu'à n ( n étant le nombre de fibres du câble).

Exemple :

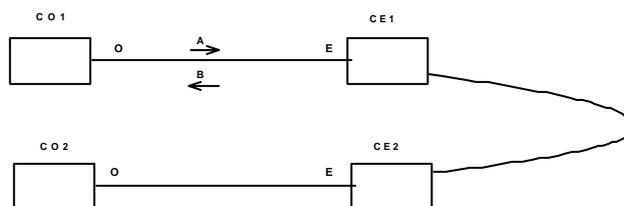
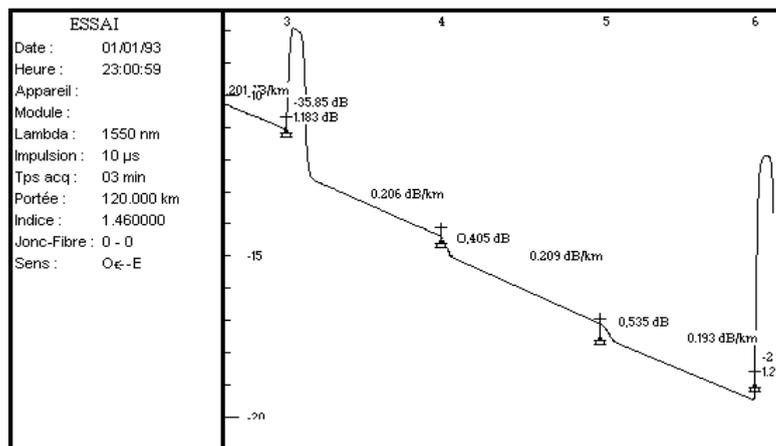
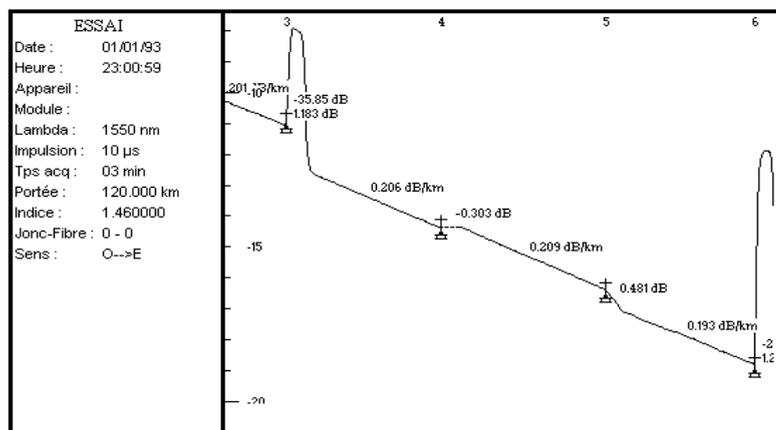


TABLEAU DES DONNÉES CONNECTEURS :

N° fibre	Origine vers Extrémité		Extrémité vers origine		Connecteur 0	Connecteur E
1	$C_{O1}$	$C_{E1}$	$C_{E1}$	$C_{O1}$	$((C_{O1})_{O-E} + (C_{O1})_{E-O})/2$	$((C_{E1})_{O-E} + (C_{E1})_{E-O})/2$
2	$C_{O2}$	$C_{E2}$	$C_{E2}$	$C_{O2}$	$((C_{O2})_{O-E} + (C_{O2})_{E-O})/2$	$((C_{E2})_{O-E} + (C_{E2})_{E-O})/2$
3						
n						
Moyenne par tête de câble						

TABLEAU DES DONNÉES FIBRE :

fibre n°	Origine vers Extrémité	Extrémité vers origine	Demi somme
1	A	B	$(A + B)/2$
2	A'	B'	$(A' + B')/2$
3			
n			

# 6 - EXPLOITATION ET MAINTENANCE DES LIAISONS OPTIQUES

---



## 6.1 LES CAUSES DE DÉFAILLANCE

Les dérives des performances des supports physiques peuvent être dues soit au vieillissement d'un composant, soit à l'amplification de défaut existant lors de la recette initiale mais n'ayant pas été décelé, soit à des modifications de l'environnement (VRD, chemin de câble, étanchéité, travaux divers).

Il n'existe pas aujourd'hui de consensus entre les divers acteurs de la profession au sujet de la maintenance préventive des câblages à fibres optiques.

Pour faire le point des diverses méthodes de suivi envisageables, il faut préalablement établir la liste des composants susceptibles de subir des dégradations entraînant un risque de panne.

### LES CÂBLES

Les éventuelles dégradations peuvent être dues :

- aux contraintes (mécanique, chimique, humidité),
- à la détérioration de la gaine protectrice (rongeurs, travaux).

### LES FIBRES

Hors environnement spécial (rayonnement magnétique nucléaire) la fibre optique ne voit que très peu ses paramètres intrinsèques évoluer au court du vieillissement. Les risques liés à la fibre sont en fait liés aux câbles (notamment au problème de pénétration d'humidité et contraintes mécaniques).

Il est à noter que le point délicat de la fibre est sa propriété hygroscopique (absorption de l'eau) conduisant même sur quelques mètres à des dégradations irréversibles.

### LES ÉPISSURES

Les épissures collées peuvent voir l'indice de réfraction de la colle différer de celui de la fibre (vieillissement).

Les épissures soudées ne peuvent théoriquement pas subir de dégradation de vieillissement. Les risques proviennent de soudures défectueuses dès l'origine mais non détectées à la recette (Par exemple, parce que les épissures et connecteurs sont confondus sur le réflectogramme).

### LES CONNECTEURS

Les pollutions au niveau des embouts de connecteurs peuvent être sources de dégradations ; il semble toutefois que les salissures concernent plutôt les connecteurs en attente que les connexions établies. Il est très important de respecter les règles d'obturation des raccords sur les connexions en attente.

L'utilisation d'une jarretière défectueuse (connecteur non poli) risque d'engendrer une détérioration irréversible du connecteur sur lequel elle est connectée.

L'emploi de gel d'indice peut nécessiter des précautions particulières (nettoyage, remplacement du gel, obturation permanente de raccord et fiche sur connexion en attente). Dans le cas de non respect de ces procédures d'utilisation, la connexion peut voir son atténuation augmenter de façon sensible.

### LES TERMINAISONS DE CÂBLE ET CONTENANTS INTERMÉDIAIRES

Les contraintes engendrées dans les têtes de câbles ou les manchons, diamètre de lovage trop faible, pincement et contraintes mécaniques diverses sur la fibre, sont susceptibles d'apporter un vieillissement prématuré de cette dernière (fatigue statique).

Les défauts d'étanchéité des contenants peuvent être cause de pénétration d'humidité et de dégradation de la fibre.

## 6.2. LES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La plupart des dégradations d'un composant s'accompagne d'un accroissement de l'affaiblissement constaté à la recette. Les opérations de maintenance préventive ont donc pour but de suivre l'évolution de l'affaiblissement des liens optiques composant le système de câblage.

On peut parfois intervenir avant qu'un affaiblissement soit constaté, par exemple en détectant de l'humidité à l'intérieur d'un câble.

### LES MÉTHODES

On peut distinguer les réseaux passifs et les réseaux intégrant une surveillance en ligne.

#### LES RÉSEAUX PASSIFS :

Il est possible de dédier à la maintenance, une ou deux fibres dans chaque lien optique. Dans ce cas, périodiquement, tous les ans par exemple, on compare les affaiblissements relevés avec ceux de la recette. Une dérive importante entre deux relevés entraînera une investigation complémentaire et la recherche d'éventuels défauts.

On pourra à titre d'exemple, s'appuyer sur le tableau suivant qui définit les dérives autorisées pour les différents composants :

		Dérive maximale autorisée				
		Multimode		Monomode		
Elément de liaison						
CAS 1	Connecteur	< 0,3 dB		< 0,3 dB		
	Épissure	< 0,1 dB		< 0,1 dB		
	Fibre	850 nm	< 0,2 dB/km	1310 nm	< 0,1 dB/km	
		1300 nm	< 0,2 dB/km	1550 nm	< 0,1 dB/km	
Défauts localisés		< 0,1 dB		< 0,1 dB		
CAS 2	Lien complet (Bilan de liaison)	10 % avec un maximum de 0,5 dB		0,6 dB (pour une liaison de 100 m par exemple)		

CAS 1: Liaisons « longues » - discrimination possible des différents « constituants » sur le réflectogramme.

CAS 2: Liaisons « courtes » - la discrimination des composants est impossible. Seule une mesure globale du bilan de liaison est possible.

Les contrôles sur liens opérationnels nécessitent des déconnexions et reconnexions physiques des circuits et ne recueillent pas l'unanimité des acteurs de la profession.

#### LES RÉSEAUX INTÉGRANT UNE SURVEILLANCE EN LIGNE :

Ces méthodes concernent davantage les réseaux d'opérateur, mais elles peuvent néanmoins être appliquées à certains tronçons sensibles d'un système de câblage.

Ces systèmes travaillent généralement en même temps que l'application opérationnelle mais à une longueur d'onde différente de celle-ci. L'utilisation du multiplexage en longueur d'onde permet d'effectuer des mesures comparatives sur la « fibre en service » sans dégradation de l'application.

Des systèmes actifs permettent également de détecter l'apparition d'humidité à l'intérieur des câbles.

# 7 - TYPES DE FIBRES MONOMODES



Toutes les fibres décrites ci-après sont des fibres monomodes, cependant, seules les fibres marquées d'un (\*) présentent des caractéristiques permettant leur utilisation dans le cadre des réseaux locaux ou étendus.

(\*) *Fibres monomodes conventionnelles* : la fibre monomode «classique» à saut d'indice, dont les applications typiques sont les communications longues distances et/ou hauts débits.

(\*) *Fibres monomodes à dispersion décalée (DSF)* : ces fibres sont nées du besoin de limiter le nombre de répéteurs d'une ligne de transmission longue distance à 1 550 nm. En effet, elles ont été conçues comme moyen de contourner la difficulté de réalisation de lasers parfaitement monochromatiques à 1 550 nm : la dispersion chromatique à 1 550 nm est éliminée en donnant à l'interface coeur-gaine de la fibre un profil à gradient d'indice. Les fibres à dispersion décalée sont aujourd'hui utilisées dans les systèmes de télécommunications.

(\*) *Fibres monomodes à dispersion plate (DFF)* : ces fibres sont conçues pour avoir une dispersion chromatique faible dans une plage de longueurs d'onde déterminée, au contraire des fibres à dispersion décalée qui offrent une dispersion nulle à une seule longueur d'onde. L'objectif de ces fibres est de permettre le multiplexage en longueur d'onde dans les systèmes de transmission hauts débits.

*Fibres monomodes à maintien de polarisation (PMF)* : le coeur de ces fibres est non plus circulaire mais elliptique, ce qui contraint les modes de propagation à conserver leur polarisation d'origine tout au long de leur trajet dans la fibre. On trouve également des coeurs circulaires enrobés ou entourés par des éléments de contrainte insérés dans la gaine (fibres « bow-tie » et « panda »). Ces fibres sont en général plus petites (coeur de 5  $\mu\text{m}$ ) que les fibres monomodes conventionnelles, et sont employées à des longueurs d'onde inférieures (proche infrarouge, 780 nm par exemple). On les trouve aujourd'hui principalement dans les gyroscopes et les capteurs et dans les systèmes de transmission hauts-débits (à 1 310 et 1 550 nm).

*Fibres monomodes à forte ouverture numérique* : ces fibres ont des ON de 0,16 voire plus, alors que les fibres monomodes conventionnelles ont une ON d'environ 0,10 à 0,12. Bien entendu, ce type de fibre est utilisé lorsque la garantie d'une injection parfaite est nécessaire : gyroscopes, capteurs, etc.

*Fibres monomodes « HCS »* : applications qui demandent une résistance à la fatigue élevée : câbles sous-marins, câbles aériens, gyroscopes embarqués.

*Fibres monomodes « 630 nm »* : transmission dans le domaine visible : capteurs, coupleurs.

*Fibres monomodes « infrarouge »* : peut-être la future révolution. Fibres en verre fluoré ou fibres chalcogénures qui permettraient grâce à leurs affaiblissements linéiques de 0,01 à 0,001 dB/km (100 fois moins que la meilleure des fibres silices actuelles) de réaliser des systèmes de télécommunications à très longue distance sans répéteur, dans des plages de longueurs d'onde allant de 200 à 700 nm. Ces fibres commencent à être fabriquées, mais sont pour l'instant réservées à des usages de laboratoire, car les difficultés de fabrication sont nombreuses: coût élevé des matériaux dopants (métaux fluorés, etc.), affaiblissements largement supérieurs aux fibres silice. Ces problèmes surmontés, les fibres infrarouge pourraient être un support extraordinaire pour les réseaux dits « très large bande ».

*Fibres monomodes dopées à l'Erbium* : ces fibres silices sont utilisées dans les amplificateurs optiques. Par un effet de «pompage» à certaines longueurs d'onde (980 ou 1 480 nm), elles amplifient les signaux à 1 550 nm. Tous les systèmes de télécommunications longue-distance (systèmes sous-marins par exemple) font aujourd'hui largement appel à ces ampli.

*Fibres monomodes dopées à la Praséodyme* : ces fibres silices sont utilisées dans les amplificateurs optiques à 1 310 nm. Attendue depuis longtemps, l'amplification à 1 300 nm devrait permettre le déploiement massif des réseaux d'accès optiques (FTTH en particulier).

Les définitions qui suivent sont extraites du « GLOSSAIRE DU CABLAGE OPTIQUE C.R.E.D.O »  
Réf 06/97-002 Fr.

Les définitions suivies de l'exposant ® sont extraites de la norme éditée par l'UTE intitulée  
VOCABULAIRE ELECTROTECHNIQUE - TÉLÉCOMMUNICATIONS PAR FIBRES OPTIQUES sous la  
référence UTE C 01-731 de décembre 1991.

<b>Absorption</b> ( <i>Absorption</i> )	Une des composantes de l'atténuation linéique d'une fibre. Phénomène de diminution de l'intensité lumineuse dans le cœur de la fibre plus ou moins important selon la longueur d'onde utilisée, dû à la présence d'impuretés ou d'ions OH- ( traces d'humidité ).
<b>Affaiblissement</b> ( <i>Attenuation</i> )	Les termes « Perte », « Affaiblissement » et « atténuation » peuvent être communément utilisés pour caractériser une liaison. Il faut savoir que : - Les pertes et affaiblissements caractérisent un phénomène indésirable. - L'atténuation peut être recherchée pour éviter la saturation d'un récepteur, par exemple.  L'affaiblissement « $\alpha$ » est la différence de puissance du signal lumineux entre deux points ( connecteurs, épissures, défauts, longueur de fibre ...). L'affaiblissement est exprimée en dB et calculée selon l'équation : $\alpha = 10 \log_{10} (P \text{ entrée ( ou } P_1 ) / P \text{ sortie ( } P_0 )).$
<b>Affaiblissement d'onde de retour</b>	<i>Voir Réflectance</i>
<b>Affaiblissement de Réflexion</b>	<i>Voir Réflectance</i>
<b>Affaiblissement de Réflexion</b> ( <i>Return-loss</i> )	Partie de l'énergie lumineuse réfléchie vers la source lors du passage d'un dioptre (Réflexions de Fresnel). Suivant la nature de l'émetteur on peut assister à une dégradation du signal émis.
<b>Affaiblissement Linéique</b>	Affaiblissement d'une fibre ramené à une unité de longueur. S'exprime en dB/km.
<b>Affaiblissement Spectral</b>	Affaiblissement d'une fibre dépendant de la longueur d'onde utilisée. Exemple : 3 dB/km à 850 nm & 1 dB/km à 1300 nm pour la même fibre.
<b>Angle critique</b> ( <i>critical angle</i> )	Angle d'incidence de la lumière dans une fibre sous lequel la réflexion totale est possible. Dans ce cas, la lumière est guidée par la fibre.

**Angle d'acceptance**  
( *Acceptance angle* )

*Voir Ouverture Numérique.*

**Atténuation**

*Voir Affaiblissement.*

**Bande passante**  
( *Bandwidth* )

La bande passante d'une fibre optique est définie comme étant la fréquence maximum de transmission en Mhz pour laquelle le signal transmis subit un affaiblissement de 3 dB. Plus la bande est large plus la capacité à supporter des transmissions hauts débits sera importante. Elle s'exprime en Mhz.km voire en Ghz.km. Elle dépend de la longueur d'onde de transmission, des paramètres physiques de la fibre ( diamètre de cœur, matériaux... ).

**Bilan de liaison**

Somme des pertes d'une ligne de transmission entre une source et un récepteur. Dans une liaison opérationnelle le bilan de liaison doit vérifier l'équation :

$P_o - S_o > \text{bilan de liaison dBm}$

avec  $P_o$  = la puissance de sortie de l'émetteur disponible dans la fibre (en dBm).

$S_o$  = seuil de sensibilité du récepteur en dBm.

$P_o - S_o$  représente la marge de fonctionnement et est aussi appelé Budget Optique.

**Bobine amorce  
fibre amorce**

### **1 - Mesure de perte par insertion, photométrie :**

*Cas d'une fibre multimode :*

La mesure des paramètres de transmission d'une fibre multimode impose que la lumière ait atteint un état d'équilibre (dit équilibre des modes ou modal) avant qu'elle ne soit injectée dans le segment de fibre à mesurer. Afin de parvenir à cet état d'équilibre, il convient d'insérer une fibre ou une bobine amorce (dummy fiber) de longueur suffisante (plusieurs centaines de mètres).

*Cas d'une fibre monomode :*

Dans le cas d'une fibre monomode, aucun état d'équilibre n'intervient; on pourra utiliser des cordons de quelques mètres.

### **2 - Réflectométrie :**

Afin :

- 1 - De décaler la zone aveugle de sortie du réflectomètre (mesure du premier connecteur),
- 2 - d'avoir une pente avant la première connectique, nécessaire à la technique de mesure utilisée par le réflectomètre (mesure de la rupture de pente).

On doit utiliser pour toute mesure par réflectométrie (multimode et monomode), une bobine amorce de longueur suffisante.

### Bobine de “fin de fibre”

L'ajout d'une bobine constituée de plusieurs centaines de mètres de fibre optique à l'extrémité d'un segment de fibre à mesurer est impératif. Il permet de reporter la réflexion de Fresnel créée à cette extrémité de plusieurs centaines de mètres. Ceci permet de visualiser et de mesurer par rétrodiffusion la qualité de la fiche optique et du raccord présents en fin de ligne.

### Calibrage

C'est vérifier, comparer à un étalon et régler, si nécessaire, les différents paramètres entrant dans les spécifications d'un appareil de mesure. Le calibrage, effectué régulièrement, permet de garantir la validité et la durée dans le temps des performances de ces appareils, ainsi que des mesures qui sont faites avec ces derniers.

### Champ Lointain ( *Far field distribution* )

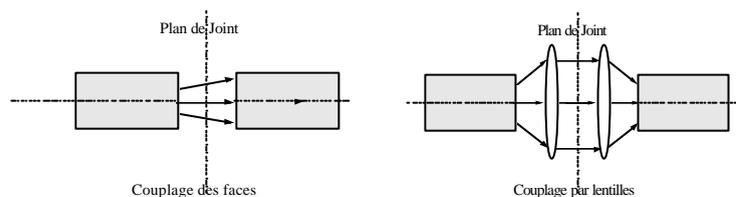
Le champ lointain d'une fibre optique correspond à la répartition de la puissance optique ( $I_F(\theta)$ ) rayonnée du bout de la fibre en fonction de l'angle  $\theta$ , formé par le rayon lumineux et l'axe optique de la fibre.

### Cône d'acceptance

*Voir Ouverture Numérique.*

### Couplage ( *Coupling* )

Opération consistant à récupérer un maximum de l'énergie lumineuse en sortie d'une fibre ou d'un composant d'émission dans une autre fibre ou dans un composant de réception.



### Décibel

Unité logarithmique ( base 10 ) d'un rapport :

- . *dB* : Unité utilisée pour caractériser l'atténuation optique.
- . *dBm*: Unité pour laquelle la puissance de référence est une constante fixée à 1 mW. Sert à exprimer la puissance d'une source lumineuse (PS), ou la sensibilité minimum d'un détecteur (SD) sous une forme pouvant permettre des calculs simples et rapides ( sommes ou différences des bilans énergétiques ) :  
 $PS (dBm) - SD (dBm) = \text{Marge de fonctionnement, bilan ou dynamique, en dB.}$

### Diamètre de champ de mode *Voir Diamètre de champ électromagnétique.*

**Diamètre de champ électromagnétique**

$2W_0$  ( *Spot size* ) :

La théorie électromagnétique montre que dans une fibre optique, pour un mode donné, une partie de la puissance optique transportée se trouve dans la gaine.

Pour une fibre multimode, presque toute la puissance optique est transportée dans le coeur de la fibre.

Pour une fibre monomode, la puissance optique transportée dans la gaine peut être relativement importante.

Le profil de puissance à l'intérieur d'une fibre monomode peut être comparé à une courbe de Gauss. Dans ce type de fibre, la lumière n'est plus «canalisée » dans le coeur, il est d'usage de définir un nouveau paramètre appelé **diamètre de mode,  $2W_0$** ,  $W_0$  représentant la demi largeur du mode pris à  $1/e^2$  dans la distribution gaussienne du champ.

Ce paramètre apparaît, en plus du diamètre de coeur, dans les documentations constructeurs sur les fibres monomodes, car c'est lui qui est porteur d'informations en terme de distribution lumineuse dans la fibre et non le diamètre de coeur qui est là un paramètre géométrique.

**Diaphonie**

Influence réciproque entre des conducteurs métalliques voisins; cet effet n'existe pas en fibre optique.

**Diaphotie**

Phénomène analogue à la diaphonie mais applicable à des guides d'ondes lumineux voisins. Ce phénomène ne concerne pas les fibres mono-coeur mais concerne les fibres multi-coeurs.

**Diffusion de Rayleigh**  
( *Rayleigh scattering* )

Phénomène provenant d'hétérogénéité du matériau du coeur d'une fibre et donc de son indice de réfraction. Ce phénomène entraîne :

1. Une partie prépondérante des pertes linéiques des fibres modernes.
2. Un effet dit de rétrodiffusion pour la partie d'énergie réfléchi vers la source d'émission. Ce phénomène est utilisé pour la technique de mesure par réflectométrie.

**Dispersion**  
( *Dispersion* )

Ecart entre les temps de parcours des modes dans une même fibre, entraînant une limitation de bande passante et composée de :

1. **Dispersion Modale** ou intermodales (*Modal Dispersion*) : due aux parcours différents effectués par les modes d'une fibre multimode.

2. **Dispersion Chromatique** (*Chromatic Dispersion*) : due à la dépendance entre longueur d'onde et indice de réfraction. Elle se traduit par une différence de vitesse de propagation. L'effet est surtout prépondérant dans les fibres monomodes, où son influence est aussi fonction de la largeur spectrale de la source lumineuse utilisée. S'exprime en ps/nm/km.

3. **Dispersion (chromatique) Décalée** (*Dispersion Shifted*) : Une fibre à dispersion décalée est une fibre construite telle que la zone où la dispersion chromatique est minimale, normalement située vers 1300 nm est décalée vers 1550 nm. Ceci pour bénéficier tout à la fois de l'affaiblissement minimum et de la bande passante maximum.

4. **Dispersion par mode de polarisation** : concerne les fibres monomodes, elle est due à la différence de temps de propagation entre deux modes orthogonaux sur une liaison longue. La mesure est spécifiée en pico-seconde par racine de kilomètre ( ps / km<sup>0.5</sup> ).

**Dopant**

Particule de matériau ajouté à la silice du cœur lors de la fabrication de la préforme et permettant ainsi de créer un verre différent d'indice de réfraction « n1 » plus ou moins élevé.

**Dynamique de Mesure**

*Voir Réflectomètre*

**Effet Photo-Electrique**

Phénomène d'émission d'électrons après absorption de photons par un matériau.

**Electroluminescence**

Transformation directe d'une énergie électrique en énergie lumineuse.

**Equilibre modal**

*Voir Etat d'Equilibre Modal.*

**Etat d'Equilibre Modal**  
( *Equilibrium mode distribution* )

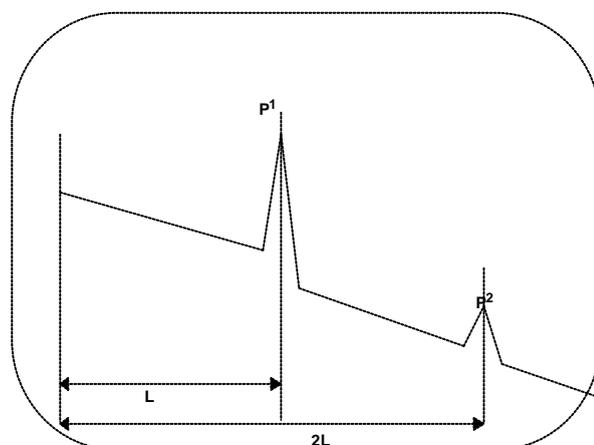
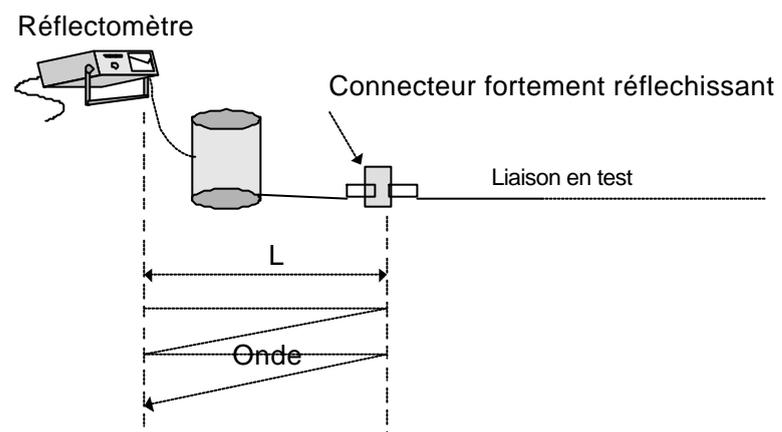
Dans une fibre multimode l'état d'équilibre de la lumière est atteint par un mélange de modes obtenu à une certaine distance. La répartition d'énergie lumineuse suivant les divers modes ne varie plus au delà de cette longueur. En laboratoire afin de s'affranchir de l'emploi de grandes longueurs de fibres, on peut également utiliser des mélangeurs ou des filtres de modes.

## Fantômes

Dans une mesure par réflectométrie, les réflexions de Fresnel au niveau des connecteurs peuvent être à l'origine de fausses images appelées images fantômes.

Il s'agit de *faux événements* dus au principe de mesure et qui ne sont pas préjudiciables à la qualité de la liaison.

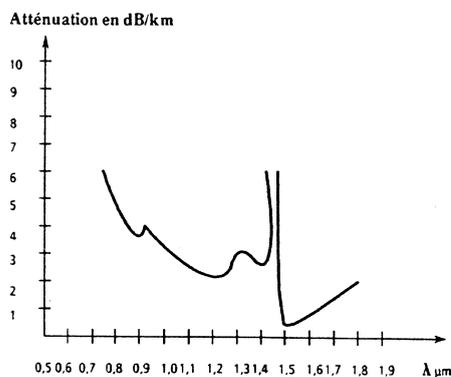
Le cas le plus courant est celui d'une liaison qui présente un connecteur d'entrée fortement réfléchissant. L'onde de mesure est réfléchiée sur le connecteur d'entrée (pic  $P_1$ ) et l'énergie lumineuse renvoyée se réfléchit à nouveau sur le connecteur d'entrée du réflectomètre. Cette énergie réfléchiée se comporte elle-même comme une source vis-à-vis de la cause qui lui a donné naissance, se réfléchit à nouveau sur le connecteur d'entrée et ce deuxième écho est interprété par le réflectomètre comme un événement situé à la distance double. On observe alors une nouvelle image due à  $P_1$  qui est une image fantôme  $P_2$ , située à une distance double. Une caractéristique de ces « faux événements » est qu'ils ne déterminent aucun affaiblissement.



P2 Fantôme

**Fenêtre**  
( *Window* )

Plage d'utilisation en longueur d'onde privilégiée d'un matériau pour le guidage de la lumière. Pour les fibres en silice (utilisées en télécommunication) trois plages, donc trois fenêtres sont utilisées : 850, 1300 & 1550 nm (Bonne transparence du matériau associée à la disponibilité d'une source produisant une émission de lumière compatible).



**Fresnel**

*Voir Pertes de Fresnel.*

**Guide d'onde**

Médium, diélectrique ou conducteur dans lequel se propagent des ondes électromagnétiques.

**Indice de réfraction**  
( *Refractive index* )

Rapport de la vitesse de la lumière dans le vide, à celle prise dans le médium considéré et noté «n».

- de la gaine optique d'une fibre : notée  $n_2$
- du cœur d'une fibre : noté  $n_1$  d'une valeur plus grande que celle de  $n_2$

- de groupe : indice moyen pondéré donné pour une fibre multimode gradient d'indice pour laquelle les influences de la vitesse fonction de la longueur d'onde et des vitesses différentielles des modes ne justifient pas d'utiliser des valeurs distinctes comme en monomode.

**Largeur d'impulsion**  
( *Pulse width* )

Temps d'émission d'une source lumineuse. Rencontrée notamment dans le réglage des paramètres d'un réflectomètre optique. Plus la largeur de l'impulsion est grande, plus l'énergie produite est importante.

**Largeur Spectrale**  
( *Spectral width* )

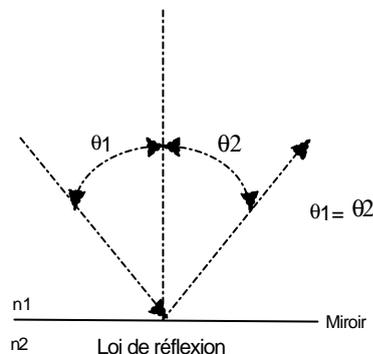
Ecart entre les valeurs de longueurs d'onde harmoniques émises par une source lumineuse autour de sa valeur centrale . Typiquement quelques dizaines de nm pour une diode électroluminescente et de < 1 à 2 nm pour les Lasers.

**Linéarité**

*Voir Réflectomètre.*

**Loi de Réflexion**  
( *Reflection law* )

Loi par laquelle tout rayon lumineux, à la frontière de deux matériaux d'indices de réfraction différents se réfléchit symétriquement par rapport à la perpendiculaire au plan formé par la surface de séparation de ces deux matériaux.



**Longueur d'onde**  
( *Wavelength* )

Mesure de l'oscillation d'une onde. Définie comme : Vitesse de l'onde divisée par sa fréquence. Elle est représentée par le symbole  $\lambda$  ( Lambda ) et exprimée en unité de longueur ( nm ).

**Longueur d'onde de coupure**  
( *Cut off wavelenght* )

Longueur d'onde à partir de laquelle une fibre se comporte en propagation unimodale en «coupant» tout autre mode hors le mode fondamental. Notée  $\lambda_c$

**Lumière**  
( *Light* )

Rayonnement optique susceptible de produire directement une sensation visuelle chez l'être humain. Attention, tous les rayonnements utilisés dans les fibres optiques ne sont pas nécessairement visibles.

**Mesure d'affaiblissement ou d'atténuation**

L'affaiblissement de la fibre optique est dû principalement à des causes physiques telles que l'absorption et la diffusion. L'importance de ces pertes lumineuses dépend notamment de la longueur d'onde de la lumière injectée et de la longueur de la ligne et de la qualité des points de connexion.

Afin de déterminer l'affaiblissement (ou l'atténuation) de la fibre optique plusieurs méthodes de mesures sont utilisées, dont notamment : la méthode de perte par insertion et la méthode par rétrodiffusion.

**Mesure d'ouverture numérique - champ lointain**

Cette technique ne concerne que les fibres multimodes. La mesure d'ouverture numérique de fibres optiques est toujours basée sur l'évaluation du **champ lointain** de lumière sortant effectivement de la fibre testée. L'analyse se fait sur la surface intérieure d'une sphère de rayon  $R$  ( 2 m environ) et dont le centre est déterminé par la position de la sortie de la fibre. La répartition de la lumière sur cette surface détermine l'ouverture numérique. L'intensité maximale enregistrée correspond au 0 dB de référence, quant à l'ouverture numérique elle est la mesure de l'angle qui correspond de part et d'autre de  $I_{max}$  à un affaiblissement de 13 dB soit un diminution de 95 % de l'intensité maximale  $ON = \sin \theta_{Max}$

## Mesure de la bande passante

Cette technique ne concerne que les fibres multimodes. Les deux paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique sont: **l'affaiblissement linéique** et **la bande passante**. Deux méthodes de mesure très différentes permettent de déterminer les valeurs de bande passante, il s'agit de **méthode fréquentielle** et/ou de **méthode temporelle**. Il s'agit de mesures principalement effectuées en laboratoire.

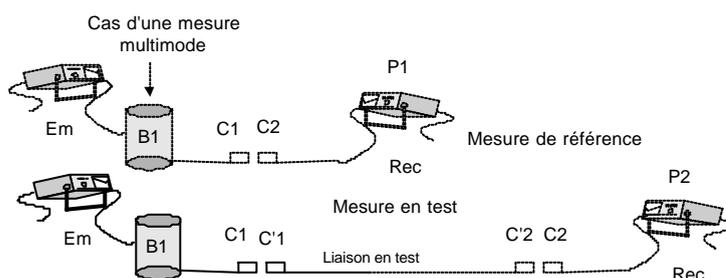
- **méthode fréquentielle** : l'amplitude de la puissance optique  $P_1$  d'une source à fréquence  $f_m$  continuellement croissante, est modulée. On dispose pour ce faire d'un émetteur LASER dans lequel l'amplitude de la puissance optique  $P_1(f_m)$  est maintenue constante et ceci indépendamment de la fréquence de modulation ( $f_m$ ). À la sortie de la fibre optique la puissance  $P_2$  est mesurée au moyen d'un détecteur. La bande passante B correspond à la fréquence ( $f_m$ ) pour laquelle l'énergie optique  $P_2(f_m)$  décroît de 3 dB par rapport à sa valeur nominale.

- **méthode temporelle** : cette méthode de mesure est utilisée pour étudier l'élargissement temporel des impulsions causé par des effets de dispersion dans la fibre optique. Pour l'obtenir on injecte une courte impulsion ( durée typique 100 ps) dans la fibre à mesurer. L'impulsion s'élargit pendant son parcours dans la fibre à cause de la **dispersion modale** et de la dispersion chromatique. L'impulsion de sortie résultante est reçue par la photodiode du récepteur, amplifiée puis transmise à l'entrée d'un oscilloscope à échantillonnage.

## Mesure de perte par insertion

Cette méthode est utilisée sur site pour effectuer des mesures de puissance de l'énergie lumineuse qui est émise et reçue via une liaison optique. Elle utilise un émetteur de lumière stabilisé et un récepteur (photomètre) étalonné ainsi qu'un jeu de bobines ou de cordons de référence.

*Mesure par insertion :*

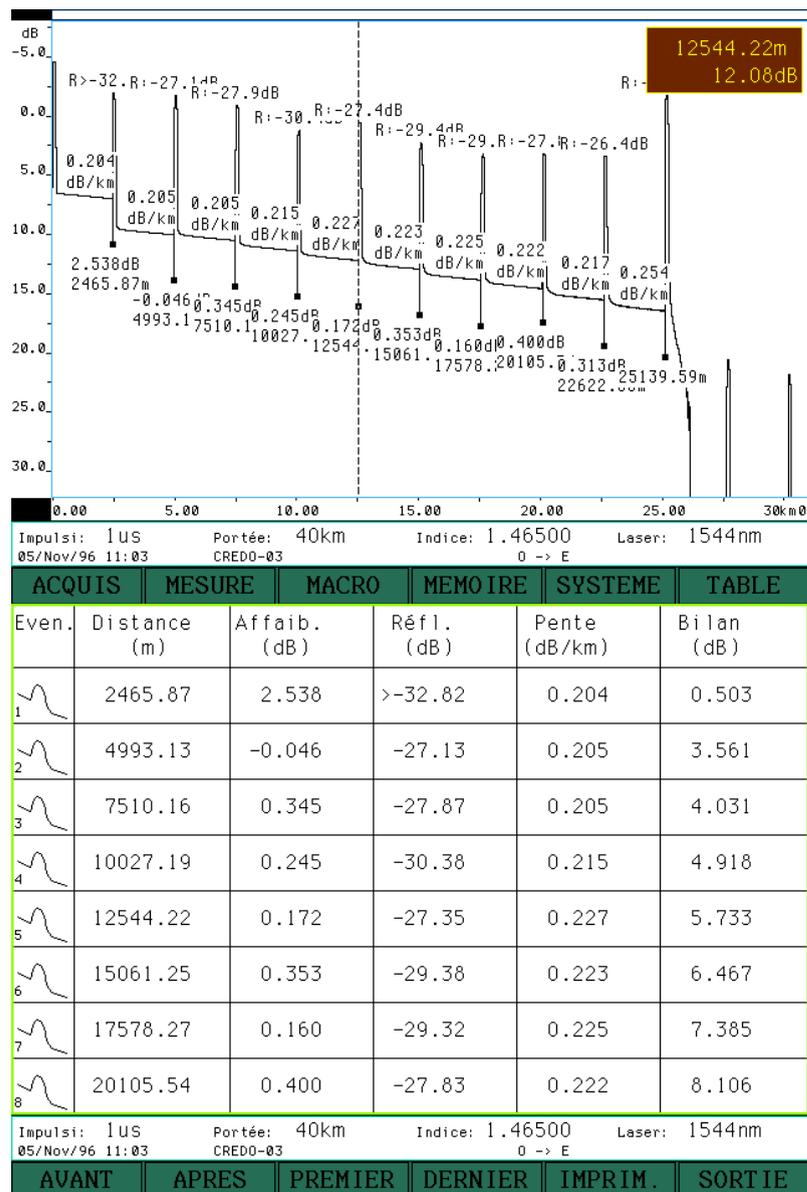


L'opérateur procède à une première mesure de perte P1 en raccordant C1 et C2. Il insère ensuite la liaison en test et procède à la mesure P2. Les pertes en dB de la liaison en test sont égales à  $a = 10 \log_{10} (P1/P2)$ . Dans la pratique les récepteurs permettent d'effectuer directement ce calcul.

**Mesure par rétrodiffusion**  
(backscattering technique)

Méthode de mesure basée sur l'injection et la réception d'une impulsion lumineuse à une même extrémité de la fibre. Cette méthode s'appuie sur les pertes engendrées par la diffusion de Rayleigh. Elle permet de visualiser et de caractériser l'ensemble des éléments constitutifs de la liaison optique (Cartographie).  
Principe : la majeure partie de la puissance optique se propage directement jusqu'à l'extrémité de la fibre, une faible quantité est **rétrodiffusée** vers l'émetteur, à chaque événement rencontré le long de la liaison.

Remarque : cette puissance lumineuse ainsi rétrodiffusée subit à son tour un affaiblissement pendant son trajet de retour.



**Mesure par rétrodiffusion**  
(backscattering technique )

Réalisées à l'aide d'un réflectomètre, ces mesures permettent d'apprécier les paramètres suivants :

**Mesure de distances** : consiste à déterminer la longueur de tout ou partie d'une liaison optique. Cette mesure de distance est obtenue par mesure du temps mis par l'impulsion lumineuse pour effectuer, dans la fibre, un trajet aller, retour.

**Mesure d'affaiblissement ou d'atténuation** : la pente de la courbe de rétrodiffusion est proportionnelle à la valeur de l'affaiblissement de la fibre. Il est donc possible de mesurer l'affaiblissement de segments de fibre, les pertes dues aux épissures, aux connecteurs ou à d'éventuels défauts ainsi que l'affaiblissement global de la liaison.

**Localisation des défauts** : le réflectomètre identifie et localise les défauts qui apparaissent sur la liaison par exemple: cassure, mauvaise épissure, mauvaise soudure, connecteur défectueux, contraintes, etc.

**Mesures automatiques** : certains réflectomètres disposent de cette fonction qui permet par l'action d'une seule touche de localiser et de mesurer toutes les caractéristiques de la liaison testée en quelques secondes (pertes aux épissures, atténuations linéiques, caractérisation).

**Méthode de la puissance transmise**

*Voir Mesure de perte par insertion*

**Méthode par photométrie**

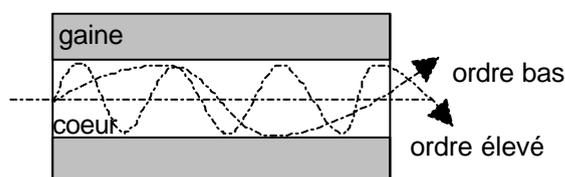
*Voir Mesure de perte par insertion*

**Mode d'ordre bas**

Mode qui se propage dans la fibre suivant un angle plat avec l'axe de la fibre.

**Mode d'ordre élevé**

Mode qui se propage dans la fibre suivant un angle aigu avec l'axe de la fibre.



**Mode de cœur**

Partie d'énergie qui se propage dans le cœur d'une fibre.

**Mode de gaine**

Partie d'énergie qui se propage dans la gaine optique d'une fibre.

**Mode fondamental**

Noté HE 11 ou LP 01 pour Linéairement Polarisé. Seul mode guidé dans une fibre satisfaisant à l'équation dans laquelle la fréquence normalisée  $V$  devient inférieure à une valeur de 2,405.

$V = 2 \pi \cdot 2 a \cdot O.N / \lambda$  ( ou  $O.N.$  = Ouverture Numérique;  $2 a = \varnothing$  cœur physique)

**Mode guidé à fuite**  
( *Leaky modes* )

Ondes qui se trouvent à la limite des modes guidés, et dont la propagation est limitée à cause d'un affaiblissement élevé.

**Modes**

Solutions physiques satisfaisant, pour le guide d'onde considéré, aux équations de Maxwell. Plus simplement : trajet que peuvent effectuer certains rayons lumineux à l'intérieur d'une fibre.

**Monomode**  
( *Single mode fibre* )

Fibre optique, dans laquelle un seul mode, le mode fondamental est capable de se propager à la longueur d'onde de fonctionnement.

**Multimode**  
( *Multimode fibre* )

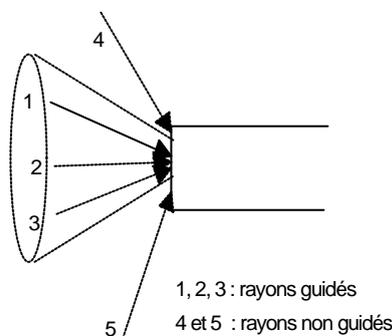
Fibre pour laquelle le guide d'onde formé, notamment avec une taille importante du cœur comparée à la longueur d'onde, permet la propagation de plusieurs modes. Le nombre de modes est plus important pour des fibres à saut d'indice (plusieurs centaines) que pour des fibres à gradients d'indice (deux fois moins) ce qui explique les meilleures performances des fibres à gradients d'indice en bande passante.

**Ouverture Numérique, O.N.**  
( *Numerical Aperture, N.A* )

Valeur qui correspond à la propriété d'une fibre à collecter la lumière pour la propager. Définie comme étant le sinus du demi-angle du cône d'acceptance ( appelé angle d'acceptance ou angle critique ). Pour une fibre donnée, calculée par son fabricant avec la formule :

$$O.N. = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

Exemple : si ON = 0,30 alors l'angle d'acceptance maximum est de 17 degrés



**Pertes**  
( *Losses* )

- **par absorption** : voir *Absorption*.
- **par courbures** ( *Bending Losses* ) : phénomène induit par les courbures des câbles prises pour franchir des obstacles mais également par le positionnement de la fibre elle-même à l'intérieur du câble. Typiquement : Rmin courbure = 45 mm pour une multimode et 20 mm pour une monomode.
- **par diffusion** : voir *Diffusion de Rayleigh*.
- **par microcourbures** ( *Microbending Losses* ) : dans le cas où une fibre est câblée, il peut y avoir contrainte physique entre la fibre et les éléments constitutifs du câble, qui peut entraîner des microcourbures.

**Pertes**  
( *Losses* )

Par microcourbures, on entend une perturbation géométrique de faible amplitude mais qui se répète le long de la fibre avec une période de quelques millimètres. Cette perturbation change l'angle de propagation de la lumière et provoque des couplages de modes c'est-à-dire des transferts d'énergie entre modes qui peuvent alors induire des pertes d'énergie pour les modes d'ordre élevé. La sensibilité d'une fibre aux microcourbures est principalement fonction des diamètres de cœur et de gaine ainsi que de son profil d'indice.

- **de Fresnel** ( *Fresnel Losses* ) : dans un connecteur, une épissure mécanique, certains coupleurs, et d'une façon générale lors de tout passage d'un dioptre, se produit non seulement un phénomène de réfraction de la lumière mais également un phénomène de réflexion sur le dioptre entraînant la perte pour la transmission de l'énergie correspondante.

**Photo-électrique**

*Voir Effet photo-électrique.*

**Photon**

Particule élémentaire, quantum d'énergie d'un champ électromagnétique.

**Pouvoir Séparateur**

*Voir Réflectomètre*

**Radiomètre - Photomètre**

Appareil qui mesure la puissance optique. Il existe plusieurs types de radiomètre dont le principe de fonctionnement diffère suivant le détecteur utilisé. Le plus courant est le radiomètre à photodiode.

- **Radiomètre à photodiode** constitué d'une photodiode, composant semi conducteur qui réagit à la lumière et qui transforme celle-ci en émettant un courant électrique proportionnel aux nombres de photons reçus. Ce courant électrique traverse une résistance électrique étalonnée aux bornes de laquelle se produit une chute de tension qu'il suffit de mesurer à l'aide d'un voltmètre.

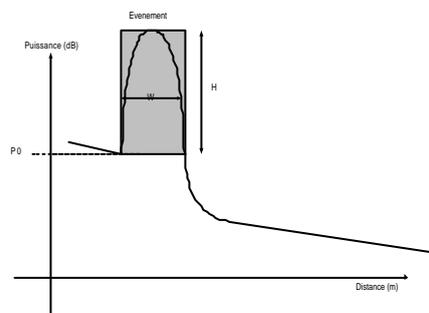
**Rayon de courbure**  
( *Bending Radius* )

*Voir Pertes par courbures.*

**Réflectance - Affaiblissement de réflexion**  
**Affaiblissement d'onde de retour**  
( *Optical return loss* )

Rapport de la puissance réfléchi sur la puissance incidente exprimé en dB. La puissance réfléchi est liée aux événements existants le long d'une ligne (par exemple : épissure mécanique, connecteur, etc..). La maîtrise du paramètre réflectance sera particulièrement importante dans les réseaux monomodes (exemples: télévision par câble FO - (réflectance meilleure que -60dB)).

Ce paramètre est mesuré au niveau du réflectomètre par analyse du pic de réflexion produit par un événement.



**Réflectomètre optique OTDR**  
( *Optical Time Domain Reflectometer* )

Un réflectomètre est un appareil de mesure destiné à analyser la réponse de la fibre optique afin de qualifier : l'affaiblissement, la linéarité, les pertes d'insertion, les épissures, les soudures, la longueur et la localisation des défauts des fibres optiques, d'en déduire la réflectance. La méthode de mesure est basée sur la technique de rétrodiffusion ou de réflectométrie optique dans le domaine temporel. Les réflectomètres sont différenciés suivant qu'ils sont destinés à mesurer des fibres optiques monomodes ou multimodes. Dans la plupart des cas le réflectomètre est spécifié pour une longueur d'onde déterminée, mais beaucoup d'appareils peuvent s'adapter à plusieurs longueurs d'ondes par des tiroirs interchangeables.

**Les performances d'un réflectomètre** dépendent de plusieurs de ses caractéristiques :

- **dynamique de mesure** : c'est une des caractéristiques d'un réflectomètre qui permet de déterminer la longueur maximale de fibre analysable. Cette caractéristique dépend de la largeur d'impulsion émise par le faisceau du laser.

- **linéarité** d'un réflectomètre se définit comme étant la constance de la dynamique tout au long de la ligne contrôlée.

- **zone aveugle** : ce paramètre représente la valeur de la zone non exploitable à partir du connecteur de sortie de l'appareil de mesure. Afin de minimiser les effets de cette zone et de conserver aux mesures une bonne reproductibilité, une fibre ou une bobine amorce est insérée entre le réflectomètre et la liaison à caractériser (voir fibre amorce).

- **zone morte** : ce paramètre donne la valeur de zone inexploitable qui suit tout défaut réfléchissant.

- **résolution spatiale, pouvoir séparateur d'un réflectomètre** : paramètre qui traduit l'aptitude d'un réflectomètre à identifier deux défauts proches l'un de l'autre.

Nota : ces caractéristiques sont fonction du défaut et de son amplitude et directement liés à la largeur d'impulsion laser utilisée.

**Réflexions de Fresnel**

*Voir Pertes de Fresnel.*

**Réfraction**  
( *Refraction law* )

Déviation angulaire de tout rayon lumineux, à la frontière de deux matériaux d'indices de réfraction différents. Le rayon se rapproche ou s'écarte de la perpendiculaire au plan formé par la surface de séparation de ces deux matériaux, ceci avec un angle défini par la relation :  $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$

**Résolution spatiale**

*Voir Réflectomètre.*

**Rétrodiffusion**

*Voir Diffusion de Rayleigh.*

**Return-loss**

*Voir Affaiblissement de réflexion.*

**Unimodale**

*Voir Monomode.*

**Zone aveugle, Zone morte**

*Voir Réflectomètre.*

# 9 - REFERENCES



Domaine	Organisme	Document	Contenu ou Titre
Mesure	CEI	1300-2-X	Méthodes de test sur les connecteurs montés
		1300-3-X	Méthodes de mesure sur les connecteurs montés
		1315	Etalonnage de radiomètres optiques
		1315-5	Etalonnage des analyseurs de spectre optique
		1746	Etalonnage de réflectomètres pour fibres unimodales ACDV
		1744	Etalonnage des systèmes de mesures de dispersion ACDV
Fibres et câbles	UIT/T	G650	Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres
		G651	Characteristics of a 50/125µm multimode graded index optical fiber cable
		G652	Characteristics of a single-mode optical fiber cable
		G653	Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fiber cable
		G654	Characteristics of a 1550nm wavelength loss-minimized single-mode optical fiber cable
	IEC	793-1	Optical fibres - generic specification
		793-2	Optical fibres - product specification
		794-1	Optical fibre cables - generic specification
		794-2	Optical fibre cables - product specification
		794-3	Optical fibre cables - Sectional specification
	CENELEC	EN188000	Generic specification - Optical fibres
		EN188100	Sectional specification - Single-mode (SM) Optical fibre
		EN188101	Family Specification- Single-mode dispersion unshifted (B.1.1.) Optical fibre
		EN188102	Family Specification- Single-mode dispersion shifted (B.2.) Optical fibre
		EN188200	Sectional specification - Optical fibres A1 category graded index multimode
		EN188201	Sectional specification - Optical fibres A1a category graded index multimode
		EN188202	Sectional specification - Optical fibres A1b category graded index multimode
		EN187000	Generic Specification - Optical Fibre Cables
		EN187100	EN 60 794-3 Identical to IEC 794-3
		EN187101	Family specification - Optical telecommunication cables to be used in ducts or direct buried application
		EN187102	Family Specification - Optical aerial telecommunication cables
Connecteurs	CEI	1754-2	BFOC / 2,5 - connecteur de type ST
		1754-4	Connecteur de type SC
		1754-8	Connecteur de type EC
		1754-5	Connecteur de type MT
		1754-xx	Différents types de connecteurs

CEI  
UIT

Commission électrotechnique internationale  
Union internationale des télécommunications

# 10 - DOCUMENT DE CONTROLE OPTIQUE



## - DCO

---

La Commission Réseaux de la **FICOME** - Fédération Interprofessionnelle de la **Communication d'Entreprise** - a mis au point un formulaire destiné à accompagner le cahier de recette optique : **Document de Contrôle Câblage Optique (D.C.O.)**

Ce document de recette est complémentaire du D.C.C. (Document de Contrôle Câblage Cuivre) déjà édité par la FICOME.

A travers ce document, l'installateur s'engage au respect des règles de l'art, de l'utilisation d'un protocole de contrôle rigoureux et fixe clairement les limites d'acceptation de ses mesures.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le C.R.E.D.O, dans l'esprit d'associer tous les partenaires impliqués dans la valorisation des missions de services que les adhérents de la FICOME rendent à la clientèle concernée.

Ce document de 4 pages peut être obtenu auprès de la :

FICOME  
5 rue Hamelin  
75116 PARIS

# 11 - CARACTÉRISTIQUES DES FIBRES



Caractéristiques	Type de mesure	Application/Restriction/ Commentaire
------------------	----------------	---

## DIMENSIONS GÉOMÉTRIQUES DES FIBRES :

Concentricité cœur /Gaine	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Diamètre de cœur	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Non-circularité du cœur et de la gaine	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Diamètre de gaine	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Diamètre du revêtement primaire	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Longueur de fibre	à voir sur câble	

## DIMENSIONS GÉOMÉTRIQUES DES CÂBLES:

Longueur du câble	Réflectométrie + Lecture du mètre sur gaine	
Dimensions d'ensemble	Contrôle visuel	(A.Q. du câblier)
Diamètre extérieur	Contrôle visuel	(A.Q. du câblier)
Épaisseur de gaine	Contrôle visuel	(A.Q. du câblier)
Autres dimensions	Contrôle visuel	(A.Q. du câblier)

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES FIBRES :

Résistance mécanique	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)
Facilité de manipulation et vieillissement	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblier)

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES CÂBLES :

Résistance mécanique	Traction	(A.Q. du câblier)
	Abrasion	( 1 )
	Ecrasement	(A.Q. du câblier)
	Chocs	(A.Q. du câblier)
	Pression	( 1 )
Facilité de manipulation	Courbures répétées	(A.Q. du câblier)
	Torsion	(A.Q. du câblier)
	Flexions	(A.Q. du câblier)
	Tenue au crochetage	( 1 )
	Pliure	( 1 )
	Rayon de courbure admissible	(A.Q. du câblier)

CARACTÉRISTIQUES OPTIQUES DES FIBRES EN CÂBLES :

Ouverture numérique	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblage)
Affaiblissement aux différents $\lambda$	Contrôle sur site	
Bande passante en multimode	Pas de mesure sur site	(A.Q. du câblage)
Dispersion chromatique totale	Pas de mesure sur site	(Sur fibres monomodes uniquement A.Q. du câblage)
Longueur d'onde de coupure	Pas de mesure sur site	
Diamètre de champ de mode	Pas de mesure sur site	

CARACTÉRISTIQUES DE RÉSISTANCE À L'ENVIRONNEMENT DES FIBRES ET CÂBLES

Comportement climatique	Pas de mesure sur site	( 1 )
Résistance chimique (acide et base)	Pas de mesure sur site	( 1 )
Résistance biologique	Pas de mesure sur site	( 1 )
Comportement au feu	Pas de mesure sur site	( 2 )
Comportement à la flamme	Pas de mesure sur site	( 2 )
Résistance à la pénétration de l'eau	Pas de mesure sur site	( 3 )
Flexibilité à basse température	Pas de mesure sur site	( 1 )
Résistance au gel	Pas de mesure sur site	( 1 )
Présence de produits halogènes	Pas de mesure sur site	( 2 )

(A.Q.) Assurance Qualité.

( 1 ) sur spécifications spéciales.

( 2 ) selon aspects réglementaires - surtout pour câblages intérieurs.

( 3 ) surtout pour câblages extérieurs.

