

ÉPREUVE COMMUNE DE TIPE - PARTIE D

TITRE :

Mesures sur les fibres optiques

Temps de préparation :2 h 15 minutes

10 Temps de présentation devant le jury :10 minutes

Entretien avec le jury :10 minutes

GUIDE POUR LE CANDIDAT :

Le dossier ci-joint comporte :

- Un texte principal de 11 pages présentant la théorie de la rétrodiffusion et ses applications pour les mesures sur les fibres optiques.

- Un texte complémentaire comportant un glossaire.

20

Travail suggéré au candidat :

On suggère au candidat de faire un exposé de synthèse du texte principal en présentant la méthode de caractérisation des fibres optiques, de dégager les avantages de la méthode de rétrodiffusion et d'analyser les difficultés liées à cette technique.

CONSEILS GENERAUX POUR LA PREPARATION DE L'EPREUVE :

* Lisez le dossier en entier dans un temps raisonnable.

30 * Réservez du temps pour préparer l'exposé devant le jury.

- Vous pouvez écrire sur le présent dossier, le surligner, le découper ... mais tout sera à remettre au jury en fin d'oral.
- En fin de préparation, rassemblez et ordonnez soigneusement TOUS les documents (transparents, *etc.*) dont vous comptez vous servir pendant l'oral, ainsi que le dossier, les transparents et les brouillons utilisés pendant la préparation. En entrant dans la salle d'oral, vous devez être prêts à débiter votre exposé.
- A la fin de l'oral, vous devez remettre au jury le présent dossier, les transparents et les brouillons utilisés pour cette partie de l'oral, ainsi que TOUS les transparents et autres documents présentés pendant votre prestation.

40

MESURE SUR LES FIBRES OPTIQUES

1) INTRODUCTION

Comme tout support de transmissions, les fibres optiques (*voir annexe*) apportent certaines distorsions aux signaux transmis, limitant par conséquent la portée et la capacité de transmission des systèmes envisagés.

La portée est limitée par l'atténuation que subit la lumière porteuse de l'information durant sa propagation dans la fibre.

50 La capacité de transmission (ou bande passante de la fibre), qui concerne le signal modulant la porteuse optique est limitée :

- **Par la dispersion "intermodale"** : différence des temps de propagation des groupes de modes, que l'on peut assimiler en première approche à des rayons lumineux.

- **Par la dispersion "chromatique"** : différence des temps de propagation des diverses longueurs d'onde composant le spectre de l'émetteur optique.

Pour les fibres multimodes*, les deux types de dispersion contribuent à la limitation de la bande passante, qui était mesurée sur les liaisons installées.

60 Pour les fibres unimodes*, la limitation de la bande par les différences de temps de propagation entre les différents modes disparaît du fait de la propagation d'un mode unique. Le seul phénomène limitatif pour ce type de fibres reste donc la dispersion chromatique.

Les caractéristiques de transmission vérifiées sur les liaisons installées sont principalement :

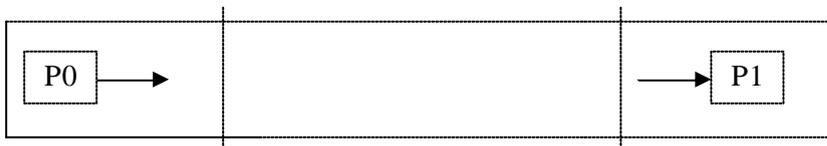
- L'atténuation linéique des fibres.
- L'atténuation due aux raccordements.
- Le bilan de la liaison
- La régularité de la courbe de rétrodiffusion (*voir annexe*) :
- Les mesures de longueurs.

Les mesures de dispersion chromatique restent délicate et nécessitent des appareils relativement onéreux.

70 2) ATTENUATION

L'atténuation $A(\lambda)$ (*voir annexe*) pour une longueur d'onde λ entre deux plans de section droite d'une fibre optique séparés d'une distance L est par définition le rendement P_1/P_0 des puissances optiques P_0 traversant la section 0 et P_1 la puissance traversant la section 1, ce rendement est exprimé en dB sous la forme :

$$A(L)_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$



80

2.1) Mécanisme de l'atténuation

L'atténuation de la puissance optique dans une fibre est due principalement à deux phénomènes dont les effets se cumulent. Il s'agit de :

- Pertes provoquées par "**l'absorption**" du matériau constituant la fibre.
- Pertes provoquées par la "**diffusion**" de ce matériau.

90

$$a = a_a + a_d$$

ou α est le coefficient d'atténuation linéique exprimé en dB/km (*voir annexe*), α_a le coefficient d'absorption et α_d le coefficient de diffusion

2.1.1) Les pertes par absorption

Les phénomènes mis en jeu ici sont régis par les lois des échanges d'énergie au niveau des atomes constituant le matériau de la fibre (absorption intrinsèque) ou ceux constituant les "impuretés" de ce matériau, comme les ions hydroxydes OH (absorption extrinsèque). Le résultat de ces deux types d'absorption se traduit par une courbe du type représenté ci dessous :

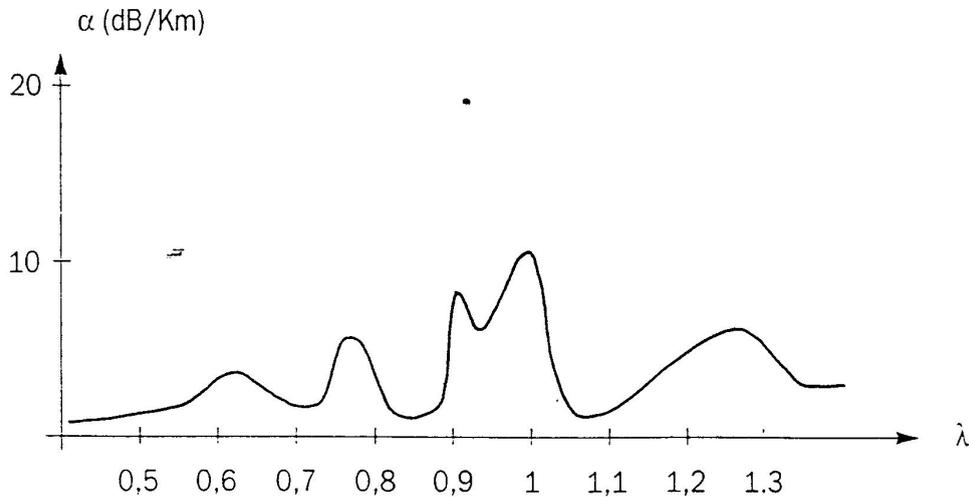


Figure 1 : Atténuation par absorption

2.1.2) Les pertes par diffusion

Les pertes d'énergie optique par diffusion sont dues essentiellement à la diffusion de Rayleigh (voir annexe) et aux imperfections des fibres et leur support :

a) La diffusion de Rayleigh est produite par des inhomogénéités du matériau sur des distances inférieures à la longueur d'onde de la lumière, telles que les fluctuations locales de densité figées pendant le processus de fabrication de la fibre, ou des fluctuations de concentration des dopants. Cette diffusion se traduit par la propagation d'une infime partie de l'énergie incidente dans toutes les directions de l'espace, ceci en tout point de la fibre. C'est d'ailleurs sur cette propriété (une partie de cette énergie est rétrodiffusée vers l'entrée de la fibre) qu'est basée la réflectométrie optique.

La perte de puissance engendrée varie en $1/\lambda^4$ (loi de Rayleigh) où λ est la longueur d'onde de la source optique utilisée. Le paramètre A est fonction des dopants utilisés et est généralement compris entre 0,65 et 1,1. La courbe ci-dessous traduit cette perte en fonction de la longueur d'onde :

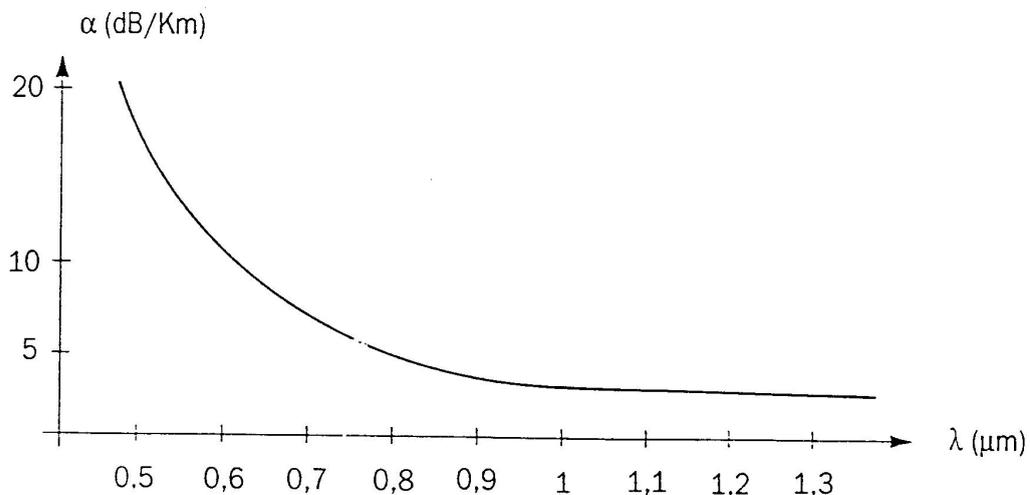


Figure 2 : Diffusion de Rayleigh

b) des imperfections des fibres telles que les microcourbures ou des variations aléatoires du diamètre du cœur (de l'ordre du micron sur quelques dizaines de cm) provoquent aussi des pertes de diffusion.

2.1.3) Atténuation totale

Pour une longueur d'onde donnée, les deux courbes précédentes s'additionnent point par point pour donner l'atténuation totale d'une fibre en fonction de λ comme le montre la figure 3.

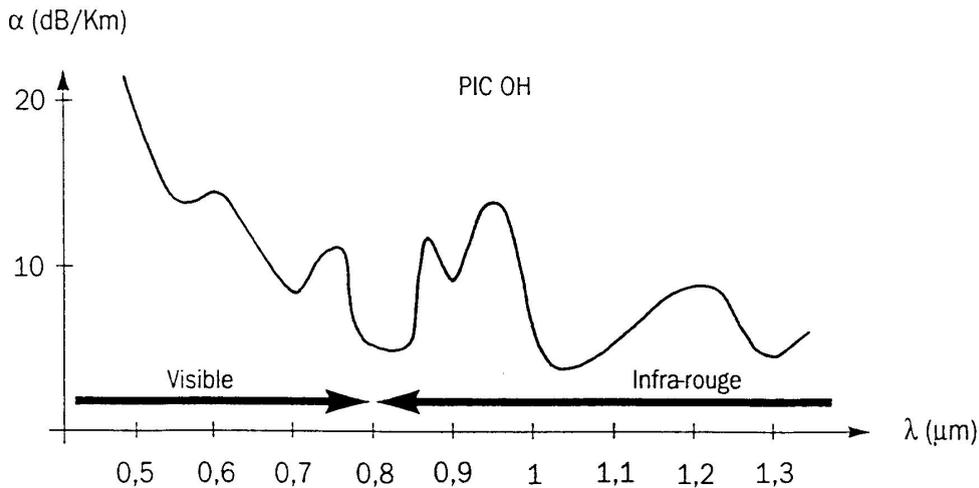


Figure 3 : Atténuation totale d'une fibre unimodale

En fait, les récents progrès technologiques dans la fabrication des fibres optiques ont rendu les pertes par absorption négligeables (les pics d'absorption extrinsèque et en particulier OH- ont fortement diminué). Pour ces longueurs d'ondes, on peut écrire : $a = a_d$

3) MESURE DE L'ATTENUATION : METHODE DE LA RETRODIFFUSION

3.1 principe :

Cette méthode consiste à injecter des impulsions de lumières calibrées à l'entrée d'une fibre optique et à observer depuis cette extrémité, l'intensité optique qui parcourt la fibre dans le sens inverse de la propagation des impulsions émises. Elles découlent directement de la propriété de diffusion des fibres. La structure hétérogène de la silice constituant la fibre présente des variations de concentration et densité, qui sont autant de "centres diffuseurs" pour la lumière incidente.

Cette diffusion a lieu dans toutes les directions de l'espace :

- une partie de l'énergie diffusée continue à se propager dans le sens direct.
- une partie contenue dans l'angle solide limité par l'ouverture numérique de la fibre (*voir annexe*), se propage en sens inverse du sens d'émission d'où le nom de "**retrodiffusion**" (*voir annexe*),
- enfin une troisième partie, est perdue par propagation à travers la gaine optique.

La figure 4 représente schématiquement ces phénomènes pour une fibre multimode. Les rayons retrodiffusés sont compris dans le cône d'angle θ déterminé par l'angle limite de réflexion totale I_0 .

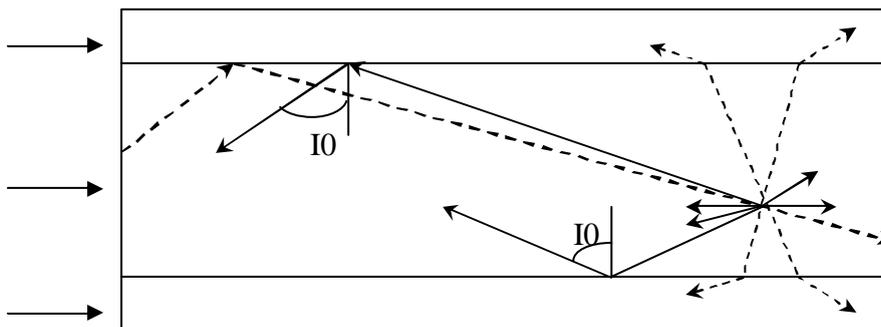


Figure 4 : Centre diffusant

3.2 Principe de la réflectométrie

Le schéma du principe commun à tous les réflectomètres (*voir annexe*), représenté sur la figure 5, comprend trois sous ensembles : un émetteur, un coupleur directif et un module détecteur associé à un ensemble d'acquisition et de traitement du signal ainsi qu'à un dispositif d'observation.

L'émetteur optique (diode laser de longueur d'onde proche de celle du système considéré), modulé à quelques Khz par un générateur, délivre des impulsions lumineuses calibrées en durée et en amplitude à la fibre sous test par l'intermédiaire d'une entrée du coupleur directif. Au cours de la propagation, la puissance lumineuse des impulsions subit une atténuation due aux pertes par absorption et diffusion du cœur de la fibre.

160

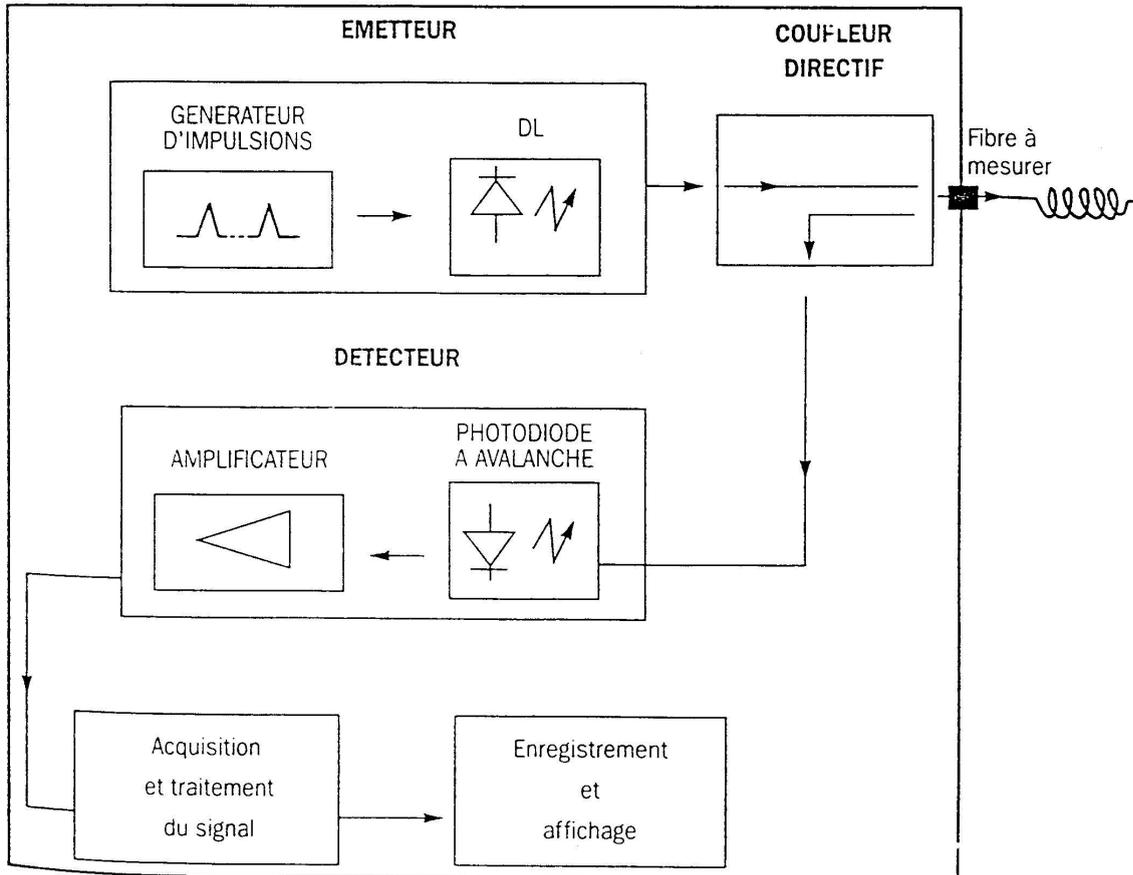


Figure 5 : Principe d'un réflectomètre

Le coupleur directif récupère l'énergie rétrodiffusée (elle même atténuée pendant sa propagation en sens inverse) pour l'orienter à travers son autre branche vers le photodétecteur. Celui-ci convertira enfin ce signal optique en un signal électrique adapté à la mesure.

170

Le signal obtenu après traitement donne une cartographique complète de la liaison testée. On verra plus loin que la courbe obtenue est exponentielle décroissante, mais pour des raisons de commodité d'exploitation, elle est représentée sous forme logarithmique. Les parties correspondantes à la rétrodiffusion dans la fibre optique sont alors des droites dont la pente donne l'atténuation linéique de la fibre à la longueur d'onde de mesure.

La figure 6 montre un exemple de synoptique ou ligne optique. Le réflectomètre est placé au début de la ligne (ACQ). Dans cette synoptique, on trouve aussi bien des connecteurs (C1, C2...) que des soudures (E1) ou épissures (*voir annexe*). Un calcul simple montre que le bilan total (atténuation totale) est de 7.5 dB.

180

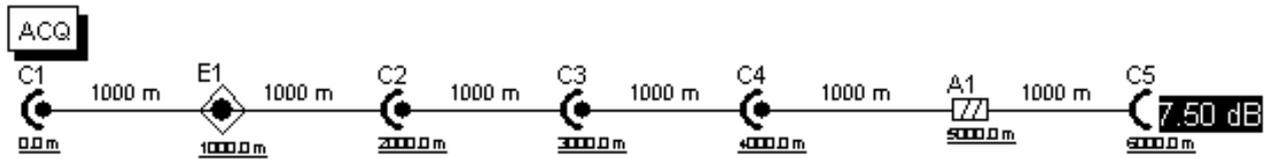


Figure 6 : exemple de synoptique (ligne optique), $\alpha = 0,25 \text{ dB/Km}$, pour les connecteur C1, C2, C3, C4, et C5 les atténuations sont 0.5 dB, 0.5 dB, 3 dB, 0.5 dB et 0.5 dB. Pour l'épissure E1, l'atténuation est de 0.5 dB et 0.5 dB pour l'atténuateur A1.

La figure 7 montre la courbe de rétrodiffusion, résultante des signaux rétrodiffusés (parties linéaires de la courbe), et des signaux réfléchis par des discontinuités (en particulier réflexions de Fresnel sur les connecteurs d'entrée et de sortie de liaison). Obtenue par simulation, cette courbe correspond à la synoptique de la figure 6.

190

On voit que l'on peut déduire de nombreuses informations de cette courbe :

- atténuation de la courbe linéique (1),
- atténuation des épissures (2) ou des connecteurs (3),
- mesure des longueurs (voir figure 7) des différentes sections (4).

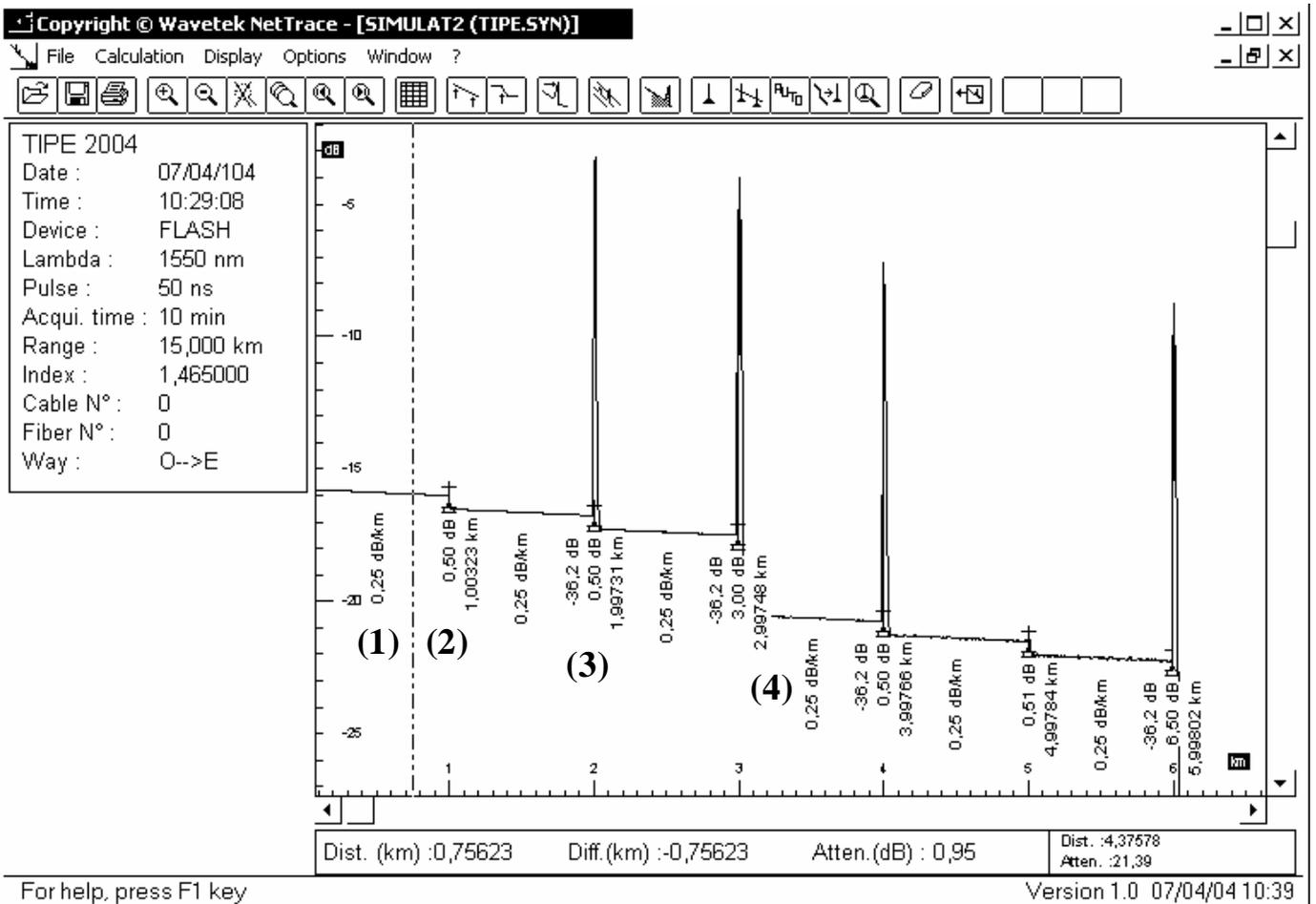


Figure 7 : Courbe de rétrodiffusion

200

Un autre exemple de courbe de rétrodiffusion est donné dans la figure 8. Cette courbe montre notamment ce qui se passe dans le cas d'une cassure de la fibre optique et donc de la disparition du signal lumineux.

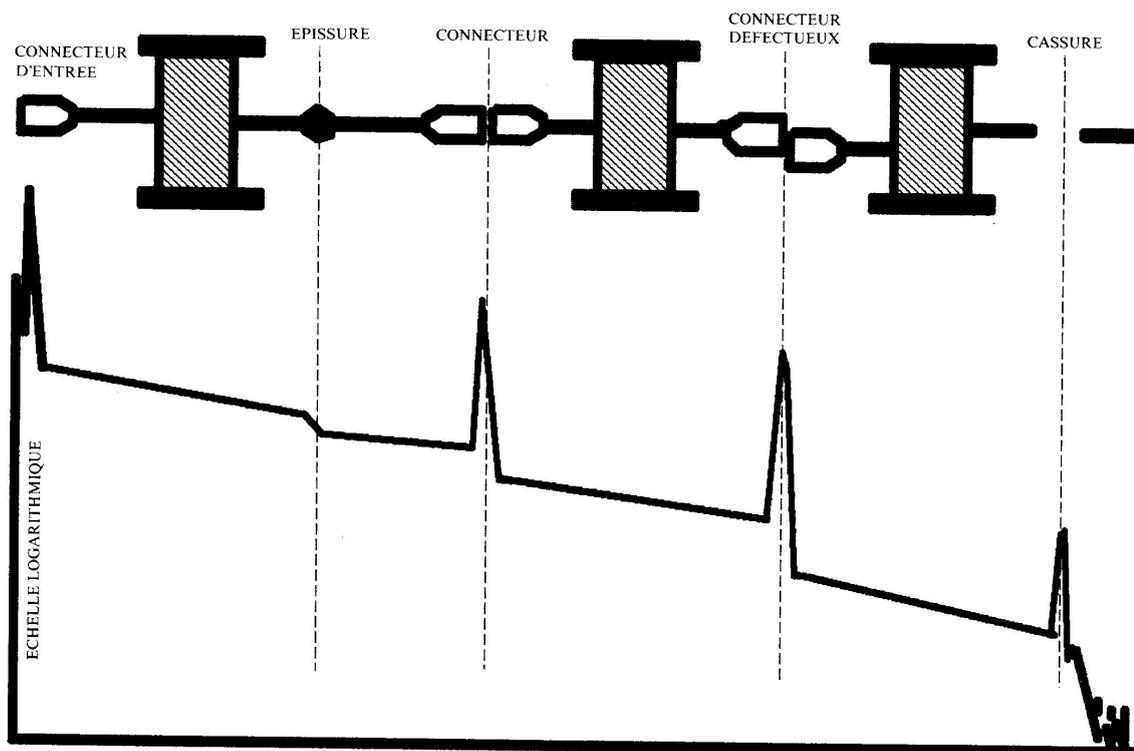


Figure 8 : autre exemple de courbe de rétrodiffusion

3.3 Calcul du signal rétrodiffusé.

210 Afin de bien comprendre les phénomènes liés à la rétrodiffusion, il est nécessaire de développer ici le calcul de l'expression mathématique du signal rétrodiffusé.

3.3.1 Énergie présente à la distance x de l'origine

Soit une impulsion d'énergie E_0 injectée au temps $t = 0$ sur la face de la fibre (abscisse $x = 0$).
 A la distance x de l'origine, cette énergie aura diminué exponentiellement et vaudra :

$$E(x) = E_0 e^{-\int_0^x \alpha'(x) dx}$$

$\alpha'(x)$ est le coefficient d'atténuation à la distance x .

220 L'intégrale représente l'atténuation cumulée de l'origine jusqu'au point x .

Si l'on considère la qualité des fibres actuelles, on peut dire que $\alpha'(x)$ est constant et indépendant de x . L'égalité précédente s'écrit :

$$E(x) = E_0 e^{-\alpha' x}$$

3.3.2 Diffusion de la lumière sur une petite partie dx de la fibre :

A la distance x de l'origine, une partie $dE(x)$ de $E(x)$ est diffusé dans toutes les directions de l'espace, sur l'intervalle dx . Cette partie diffusée est la puissance $E(x)$ parvenue en x , multipliée par un coefficient $\alpha_d(x)$, représentant la proportion d'énergie diffusée au point d'abscisse x :

230

$$dE(x) = \alpha_d \cdot E(x) \cdot dx = \alpha_d(x) \cdot E_0 \cdot e^{-\alpha' x} \cdot dx$$

3.3.3) Puissance repartant dans la fibre

Comme déjà vu plus haut, seule une fraction $S(x)$ de cette énergie diffusée va se trouver « piégée » dans le cône d'acceptance de la fibre et sera guidée vers l'arrière (Fig.4). L'énergie rétrodiffusé au point x vaut donc :

$$dE_r(x) = S(x)a_d E_0 e^{-a'x} dx$$

240 De même que pour le trajet $0 \Rightarrow x$, l'impulsion retour $x \Rightarrow 0$ va subir une nouvelle atténuation globale α'' (ou atténuation cumulée de x en 0). On considère aussi que pour le trajet retour $\alpha''(x)$ est constant et indépendant de x . L'énergie de retour à l'entrée de la fibre vaut donc :

$$dE(x) = S(x)a_d(x)E_0 e^{-a'x} \cdot e^{-a''x} dx$$

$$dE(x) = S(x) \cdot a_d \cdot E_0 \cdot e^{-(a'+a'')x} \cdot dx$$

Pour les fibres optiques de fabrication actuelle : $a_d = a' = a'' = \text{constante}$

250 L'équation précédente devient :

$$dE(x) = S(x)aE_0 e^{-2ax} dx \quad (1)$$

3.3.4) Équation de la rétrodiffusion en fonction du temps.

En effectuant un changement de variables sur E et x , on obtient :

- Si le temps mis pour parcourir le trajet aller retour de l'origine au point x , et V la vitesse de groupe (vitesse de l'énergie dans la fibre -voir annexe) que l'on supposera constante, on peut écrire :

$$x = \frac{1}{2} Vt \quad \text{d'où} \quad dx = \frac{1}{2} Vdt \quad (2)$$

$$\text{On a d'autre part les relations : } E_0 = P_0 T \text{ et } P(t) = \frac{dE}{dt} \quad (3)$$

260 (P_0 : puissance crête à crête et T la durée de l'impulsion)

En reportant (2) et (3) dans (1), l'équation cherchée s'écrit finalement :

$$P(t) = \frac{1}{2} P_0 T S a V e^{-avt}$$

270 Cette expression représente la puissance optique reçue par le détecteur, puissance correspondant à une impulsion ayant effectué un aller retour de l'origine au point x pendant le temps t . Elle a été établie en supposant que les fibres ont des qualités de transmission identiques dans le sens aller retour (coefficient α et S de même valeur en tout point x et dans les deux sens), ce qui est le plus courant mais pas toujours vrai.

On peut remarquer que $P(t)$ est proportionnelle :

- à la puissance de l'impulsion émise P_0
- à la durée de cette impulsion (voir annexe).
- aux deux paramètres propres à la fibre :

α , coefficient d'affaiblissement linéique

S , coefficient de rétrodiffusion, dépend de l'ouverture numérique ON pour les fibres monomodes ou du mode de propagation pour les fibres multimodes (voir annexe).

4) NIVEAU DE PUISSANCE DES SIGNAUX DETECTES.

280

Ce paragraphe donne une idée de l'ordre de grandeur des niveaux optiques mesurés par le réflectomètre.

4.1) Signal rétrodiffusé

On a établi au paragraphe précédent l'expression de la puissance optique rétrodiffusée en fonction du temps. Exprimée en fonction de la distance, cette expression devient :

$$P(x) = \frac{1}{2} P_0 T S \alpha V e^{-2\alpha x} \quad (5)$$

290

Un exemple classique, appliqué à une fibre multimode à gradient d'indice, va permettre de calculer le niveau du signal rétrodiffusé présent à l'origine de la fibre.

Considérons la fibre ayant les caractéristiques suivantes :

$$O.N \text{ (ouverture numérique)} = 0,18 \text{ et } n_c = 1,46 \text{ (indice du cœur de la fibre), } S = \frac{1}{4} \frac{ON^2}{n_c^2} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

La largeur T de l'impulsion du réflectomètre sera égale à 100 ns : $T = 10^{-7}$ s et :

$$V = \frac{c}{n_g} = 2,05 \cdot 10^8 \text{ m/s (on prendra } n_g \neq n_c)$$

Dans l'expression (5), les coefficients α doivent être exprimés en Neper par mètre (Np/m) sachant que : $1 \text{ dB/m} = 1 \text{ Np/m} \cdot 8,68$.

Pour une fibre à gradient d'indice, le coefficient α est de l'ordre de $0,6 \cdot 10^{-3}$ Np/m soit 5,2 dB/km.

Tous calculs faits, la puissance rétrodiffusée vaut dans cet exemple numérique :

300

$$P(x) = P_0 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2\alpha x}$$

Exprimé en dB, l'atténuation totale est donc :

$$A_{dB} = 10 \log \frac{P(x)}{P_0} = 10 \log_{10} (0,5 \cdot T \cdot S \cdot \alpha \cdot V) - 10 \log_{10} (e^{-2\alpha x})$$

$$A_{dB} = 10 \log \frac{P(x)}{P_0} = 10 \log_{10} (0,5 \cdot T \cdot S \cdot \alpha \cdot V) - 20 \alpha x \log_{10} (e)$$

$$\text{Soit : } A_{dB} = -46,3 - \alpha x \quad (6)$$

310

Ce calcul traduit le fait que le niveau de la puissance rétrodiffusée à l'origine ($x=0$) est inférieur de 46 dB à celui de la puissance P_0 injectée dans la fibre (Fig.8). Cette valeur est indicative et n'est valable que dans les conditions de l'application numérique ci-dessus.

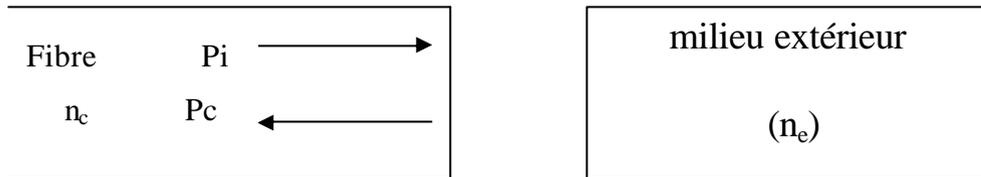
On remarque que d'après (6), le niveau rétrodiffusé dépend de la durée T de l'impulsion : pour une même fibre, ce niveau est d'autant plus faible que la durée T est petite.

4.2) Signal réfléchi

Réflexions de FRESNEL (voir annexe)

320

Ces réflexions apparaissent lorsque la liaison optique présente une discontinuité telle qu'une cassure, un connecteur ou une fin de fibre. L'impulsion lumineuse qui se propage dans la fibre optique subit une réflexion partielle due au changement brutal de l'indice de réfraction du milieu de propagation. Dans le cadre d'une cassure parfaite (perpendiculaire à l'axe de la fibre et polie), cette réflexion peut s'évaluer à partir du coefficient de Fresnel R, qui exprime le rapport entre la puissance réfléchie par la discontinuité (P_c) et la puissance incidente (P_i) :



330

n_c : indice de réfraction du cœur de la fibre
 n_e = indice du milieu extérieur

En incidence normale, on a :
$$R = \frac{\text{Puissance réfléchie}}{\text{Puissance incidente}} = \frac{P_c}{P_i} = \left(\frac{n_c - n_e}{n_c + n_e} \right)^2 \quad (7)$$

Niveau du signal réfléchi

Dans le cas où le milieu extérieur est l'air (fin de fibre ou connecteur sans adaptateur d'indice), on a $n_e = 1$ et $n_c = 1,46$:

340

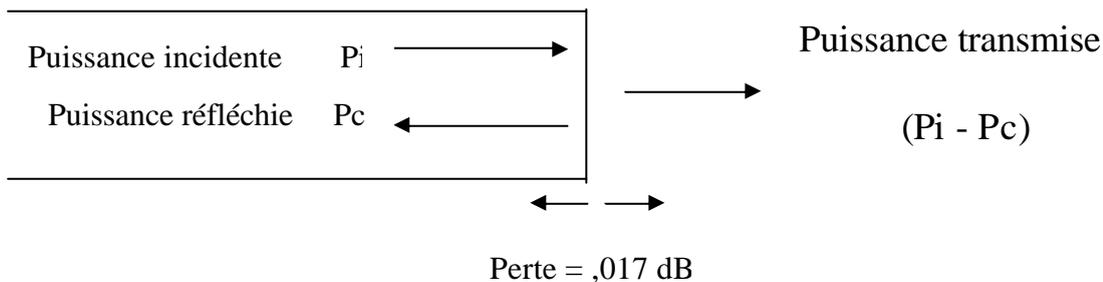
$R = P_c/P_i = ((1,46-1)/(2,46))^2 \approx 4\%$ Soit en dB : $10\log R = -14$ dB

Cela veut dire que le niveau de la puissance réfléchie (dans le cas d'une cassure) est très faible par rapport à la puissance incidente. La puissance est réfléchie sur la face d'entrée de la fibre, sur la face de sortie mais aussi en tout point où il y a passage de la lumière de la fibre dans l'air ou de l'air dans la fibre (connecteurs).

350

On peut déjà voir que ces puissances réfléchies, qui se traduisent sur les courbes par des «pics de Fresnel», vont être gênantes puisqu'elles ont un niveau nettement plus important que celui du signal rétrodiffusé. On notera d'après (7) que contrairement au niveau rétrodiffusé, le niveau du signal réfléchi est indépendant de la largeur T des impulsions. Sur la face d'entrée de la fibre, le signal est particulièrement gênant en ce point puisque son niveau élevé va saturer le détecteur du réflectomètre. Le temps de retour se traduit par une « zone aveugle » qui va cacher le signal utile. Sur un connecteur (cas d'une connexion sans gel d'indice et dont les fibres ne sont pas en contact), la réflexion sur les deux interfaces silice/air et air/silice se traduit dans les deux cas par une perte de 0,17 dB, soit au total 0,34 dB pour la connexion :

360



$$\begin{aligned} \text{Perte} &= 10\log(P_i - P_c/P_i) = 10\log(1 - P_c/P_i) \\ &= 10\log(1 - 4/100) \\ &= -0,17 \text{ dB} \end{aligned}$$

370

Cette perte de 0,34 dB est donc la valeur théorique minimale en dessous de laquelle l'atténuation d'un tel connecteur ne pourrait pas descendre malgré une mise en œuvre parfaite. Dans le cas d'équipements de transmission, ces puissances réfléchies peuvent de plus perturber les sources optiques fonctionnant à haut débit. Diverses méthodes sont actuellement étudiées pour diminuer ces réflexions ou atténuer leur propagation :

- coupe ou ponçage oblique de la fibre : dans ce cas, une partie de la lumière réfléchie ne sera plus contenue dans l'ON et par conséquent ne sera plus guidée par la fibre. On admet que le coefficient de Fresnel chute de 1% pour un angle de coupe de 4°.
- traitement chimique de la surface des fibres (acide fluorhydrique)

4.3) Comparaison des signaux réfléchis et rétrodiffusés.

Si R caractérise le coefficient de réflexion, on peut écrire la puissance réfléchie $P_c(x)$ par une cassure située à la distance x sous la forme :

$$P_c(x) = R \cdot P_0 e^{-2\alpha x}$$

La puissance rétrodiffusée $P(x)$ juste avant la cassure est :

$$P(x) = 0,5 \cdot P_0 \cdot T \cdot S \cdot \alpha \cdot V \cdot e^{-2\alpha x}$$

Le rapport entre ces deux puissances, exprimé en dB, représente donc l'écart de niveau Δ entre la puissance réfléchie et rétrodiffusée en un point de la fibre :

$$\Delta = 10 \log \frac{P_c(x)}{P(x)} = 10 \log \frac{R}{(0,5 \cdot T \cdot S \cdot \alpha \cdot V)} = 10 \log R - 10 \log(0,5 \cdot T \cdot S \cdot \alpha \cdot V)$$

Cet écart est donc fonction de la largeur d'impulsion et des caractéristiques de la fibre. Avec les valeurs numériques déjà utilisées, on obtient :

$$\Delta = -14 - (-46) = 32 \text{ dB}$$

Le signal réfléchi a un niveau supérieur de 32 dB à celui du signal rétrodiffusé.

Tous ces résultats sont résumés sur la figure 9.

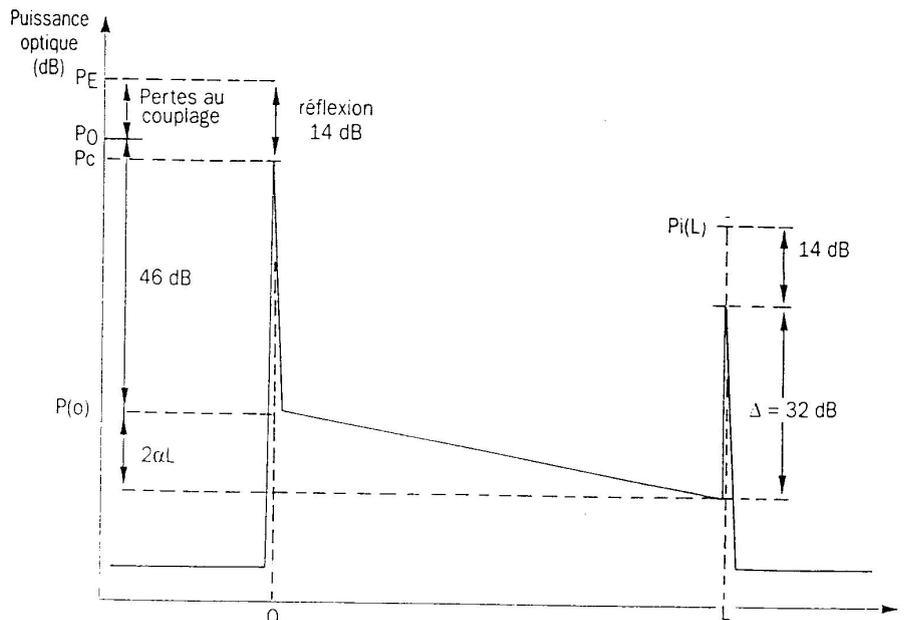


Figure 9 : Ordre de grandeur des signaux réfléchis et rétrodiffusés

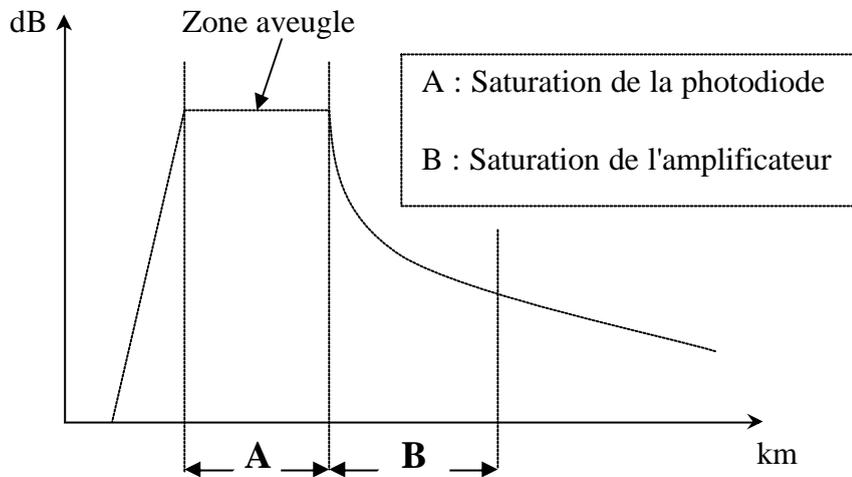
V) ZONE MORTE (OU ZONE AVEUGLE)

Lorsqu'une impulsion rencontre un défaut réfléchissant (connecteur par exemple), le signal réfléchi est beaucoup plus important que le signal rétrodiffusé.

Ces variations brusques de niveau sont plus grandes que la dynamique des sous-ensembles constituant la chaîne d'acquisition du signal : elle provoque un phénomène de saturation de la photodiode de réception et de l'amplificateur associé. La chaîne de réception ne revient à l'équilibre après un retard important qui se traduit sur la courbe par une zone aveugle (*voir annexe*) éliminant toute possibilité de

mesures d'atténuation. La longueur de cette zone est d'autant plus grande que la discontinuité rencontrée à un fort coefficient de réflexion et se trouve proche de l'origine.

La figure 10 montre schématiquement le signal dû à la réflexion sur la face d'entrée de la fibre : c'est le point de liaison où la zone morte est la plus importante, l'énergie antérieure émise y étant Maximale.



120

Figure 10 : Réflexion de l'impulsion lumineuse sur le connecteur d'entrée

VI) POUVOIR SEPARATEUR

Il caractérise l'aptitude du réflectomètre à identifier deux défauts proches l'un de l'autre et est directement lié à la largeur des impulsions émises.

Deux défauts ne sont distingués séparément sur le réflectogramme que si leur distance est supérieure ou égale à la valeur ΔL du pouvoir séparateur défini ci-dessous :

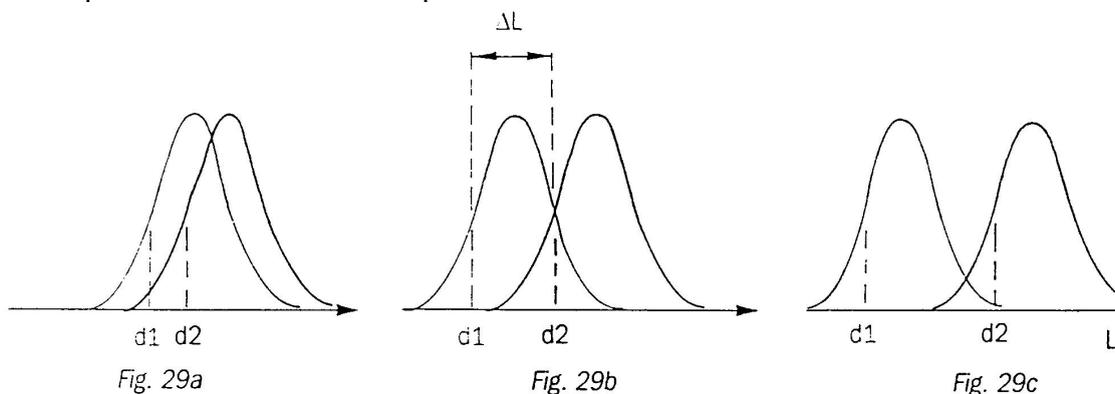
130

$$DL = \frac{C.T}{2n_g}$$

(T : largeur à mi-hauteur de l'impulsion émise, n_g : indice de groupe)

Exemple : Pour T = 100 ns $\Delta L = 10$ m, Pour T = 40 ns $\Delta L = 4$ m

La figure 10 représente les différents cas possibles



- a) $(d1, d2) < \Delta L$: défauts non séparés
- b) $(d1, d2) = \Delta L$: distance limite pour séparer les deux défauts
- c) $(d1, d2) > \Delta L$: défauts séparés

Figure 11 : Pouvoir séparateur

140

1) Atténuation.

L'atténuation totale résulte de l'absorption et de la diffusion de la lumière causées par les impuretés de la fibre, ses propriétés intrinsèques et des facteurs extrinsèques, tels que les épissures et les courbures physiques du câble. L'atténuation augmente avec la longueur de la fibre : l'amplitude du signal diminue à mesure que la longueur de la fibre augmente.

2) Coefficient d'atténuation.

Atténuation d'une fibre optique par unité de longueur, généralement exprimées en dB/km.

150

3) Rétrodiffusion.

Fraction de la diffusion de Rayleigh qui se propageant dans la direction opposée au signal incident (voir diffusion de Rayleigh).

4) Coupleur.

Dispositif utilisé pour fractionner le signal optique d'une fibre sur deux ou plusieurs fibres.

5) Zone Morte

160

La zone morte d'un événement (voir ci-dessous), dite aussi résolution spatiale entre deux points, est la distance minimale suivant une réflexion à partir de laquelle le réflectomètre optique peut effectuer une mesure précise de la distance précédent une 2^{ème} réflexion..

6) Événement.

Toute rupture ou connexion d'une fibre optique mise en évidence à l'écran d'un réflectomètre optique par une modification ou une discontinuité de la représentation de la rétrodiffusion normale de la fibre. Les événements peuvent être causés par des épissures mécaniques ou des soudures, des connecteurs, des courbures et des ruptures dans la fibre.

7) Réflexion de Fresnel

170

Réflexion résultant d'une discontinuité de l'indice de réfraction de la fibre. Elles sont causées, par exemple, par une extrémité de fibre clivée, un connecteur non raccordé ou une cassure. Sur un réflectomètre, les réflexions de Fresnel apparaissent comme des pics pointés vers le haut.

8) Mode de propagation

A chaque valeur de l'angle θ compris entre $\pi/2$ et θ_c (angle limite de réflexion totale – voir ouverture numérique), est associée un trajet particulier de l'onde. Chaque trajet de l'onde dans le guide est appelé mode de propagation. On a donc un nombre fini de modes guidés.

180

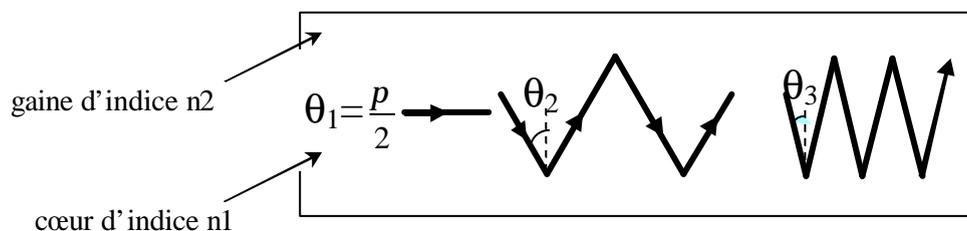


Figure 12 : mode de propagation

9) Fibre monomode

190

L'un des deux types fondamentaux de fibre (multimode et monomode). Le diamètre du cœur des fibres monomodes est compris entre 3 et 10 microns, soit moins que le diamètre des fibres multimodes.

10) Fibre multimode

L'un des deux types fondamentaux de fibre (multimode et monomode). Une fibre multimode achemine plusieurs modes lumineux. Le diamètre du cœur des fibres multimodes est compris entre 50 et 100 microns, soit plus que les diamètres des fibres monomodes.

11) Epissure.

Soudures ou collages permettant de mettre bout à bout deux fibres, de manière fixe.

500 12) fibre optique

Brins de verre ultra pur conçu pour acheminer des impulsions lumineuses d'un émetteur vers un récepteur à très hauts débits. Les impulsions lumineuses sont des signaux optiques capables de véhiculer des informations vocales, informatiques et vidéo.

510

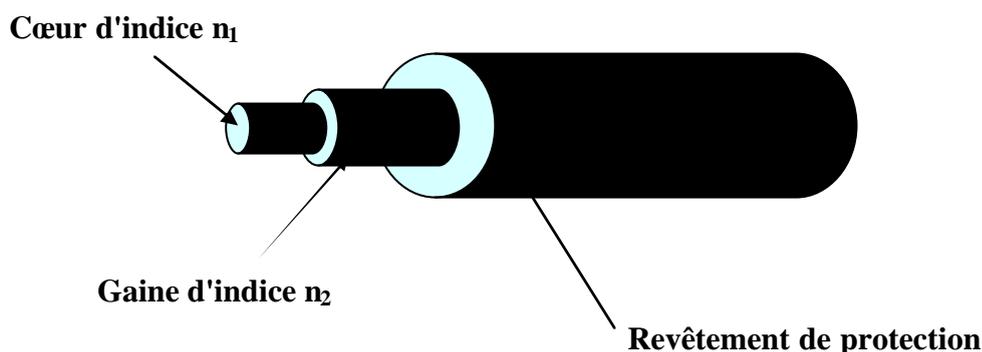


Figure 13 : Fibre optique

13) Réflectomètre optique

520 Instrument des tests optiques polyvalent effectuant des mesures de distance et de perte sur les événements des fibres optiques au moyen des tests réalisés depuis une extrémité de la fibre. Le réflectomètre optique envoie des impulsions lumineuses dans la fibre puis traite lumière diffusée et renvoyée au réflectomètre. Le réflectomètre optique affiche généralement une représentation graphique sous forme de courbe. En outre, les réflectomètres optiques de la dernière génération analysent la courbe, puis localisent chaque événement et en donne les pertes correspondantes.

14) Durée de l'impulsion.

530 Les impulsions sont acheminées par des impulsions de lumière transitant dans une fibre optique. À cet effet, la source lumineuse est activée et désactivée ou modulée. La durée d'impulsion est la période pendant laquelle le signal lumineux atteint son intensité maximale.

15) Diffusion de Rayleigh

Diffusion produite par les défauts microscopiques de la fibre optique, dont la taille est infime par rapport à la longueur d'onde de la lumière. Dans les fibres optiques, la diffusion de Rayleigh représente la limite fondamentale du coefficient d'atténuation. Les réflectomètres optiques mesurent la perte optique des composants en mesurant l'atténuation de la composante de la diffusion de Rayleigh rétrodiffusé par l'événement. La diffusion est inversement proportionnelle à la puissance 4 de la longueur d'onde.

540 **16) Ouverture Numérique (ON) :** L'ouverture numérique permet de chiffrer l'aptitude d'une fibre optique à collecter la lumière. En d'autres termes, l'angle γ_{\max} est le demi-angle au sommet d'un cône qui contient tous les rayons lumineux qui pourront pénétrer dans la fibre et se propager par réflexions internes totales.

Selon la loi de DESCARTES, l'angle d'incidence γ , pris par rapport à la normale à la surface d'entrée

de la fibre, est relié à l'angle de réflexion interne θ par la relation :

$$n_0 \sin g = n_1 \sin \left(\frac{p}{2} - q \right) = n_1 \cos q$$

550 Pour avoir propagation de la lumière dans la fibre, il faut satisfaire à la condition de réflexion interne totale, c'est à dire : $\theta \geq \theta_c$, avec θ_c défini par la relation : $\sin \theta_c = n_2/n_1$

Ce qui revient à dire qu'il existe un angle minimal pour θ (soit θ_c), donc un angle maximal pour γ . On en déduit ainsi une condition sur γ :

$$\sin \gamma \leq \frac{n_1}{n_0} \cos \theta_c \quad \text{soit encore, en remplaçant } \theta_c \text{ par sa valeur : } \sin \gamma \leq \frac{1}{n_0} (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

On définit ainsi l'**ouverture numérique** de la fibre optique par : $ON = n_0 \sin \gamma_{\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$

Et son **angle d'acceptance** γ_{\max} est donné par : $\gamma_{\max} = \arcsin \frac{1}{n_0} (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$

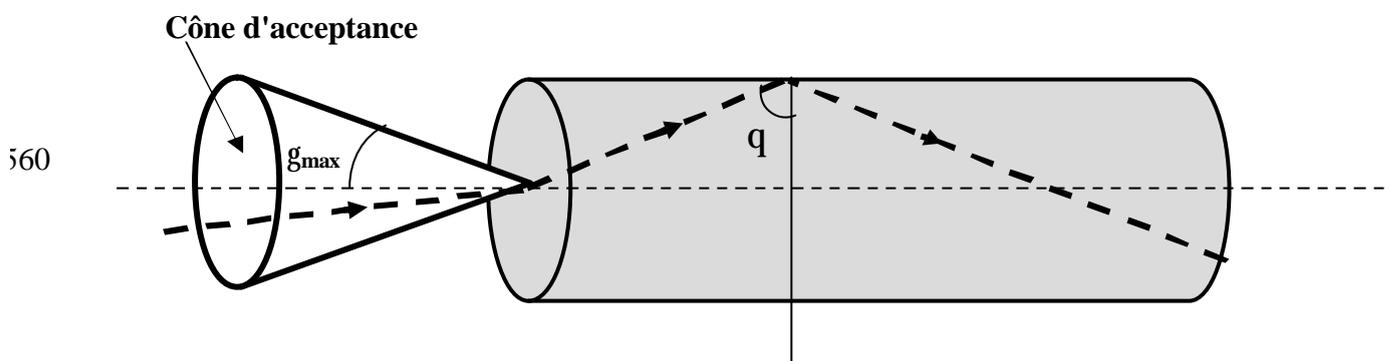


Figure 14 : Cône d'acceptance

17) vitesse de groupe

570 La vitesse de groupe est la vitesse de propagation de l'énergie, elle doit toujours être inférieure ou égale à la vitesse de la lumière ; alors que la vitesse de phase mesure la vitesse de déplacement des plans d'onde (voir Fig. 15).

- v_ϕ : **vitesse de phase** de l'onde; $v_\phi = \frac{w}{b} = \frac{c}{n}$ c'est la vitesse des fronts de phase.

n est l'indice de la fibre.

- v_g : **vitesse de groupe** de l'onde : $v_g = \frac{c}{n_g}$ Avec n_g , indice de groupe $n_g = n - l \frac{dn}{dl}$.

C'est la vitesse de propagation de l'énergie lumineuse.