**Partie 2**

**LES CABLES OPTIQUES ET LEURS APPLICATIONS**

Après sa fabrication, la fibre seule, c'est-à-dire les deux couches actives (cœur-gaine) et la couche de protection plastique, a un diamètre extérieur de 250µm, elle est donc fragile. Afin de la renforcer et de la rendre manipulable plus facilement, il faut constituer des câbles qui assurent le conditionnement, la protection mécanique et chimique de la fibre.

Dans cette partie nous allons présenter, les différentes structures des câbles à fibre optique pour la télécommunication en général et aussi des câbles sous-marins. Enfin, nous décrivons, les techniques de raccordement des câbles à fibres optiques et les pertes apportées.

**2.1 Câbles à fibre optique**

Un câble en fibre optique, permet la transmission de grandes quantités d’informations (voix, données, images) sur de longues distances.

Les structures des câbles varient selon le nombre de fibres, l’environnement d’installation (intérieur, extérieur, protection anti rongeur, tenue au feu..), et selon l’application voulue.

Le rôle d’un câble est donc de protéger la fibre contre les agressions mécaniques (chocs, contraintes, courbures…), chimiques et thermiques.

En télécommunications, les câbles ont beaucoup évolué depuis la structure à jonc rainuré, où les fibres étaient déposées dans les rainures hélicoïdales d’un jonc cylindrique.

On peut cependant distinguer trois grandes catégories, suivant la manière dont on dépose la fibre dans le câble.

* + 1. **Différents types de câbles**

***2.1.1.a Câble à structure serrée*** MBO : (Mini break out)

En structure serrée, chaque fibre est recouverte d'une couche de plastique qui porte son diamètre extérieur de 250 à 900 microns.

Ce câble ne contient qu’une seule fibre optique où plusieurs couches de matériaux sont disposées concentriquement autour de la fibre optique. Figure (2.1).

Les structures serrées ont une application limitée aux câblages internes à courte distance,  aux systèmes informatiques, aux câblages intérieurs de bâtiments, notamment lorsque la fibre est en opposition verticale.

En revanche, la fibre n’est pas isolée des contraintes (compression ou allongement).



*Figure (2.1) : Câble à structure serrée*

***2.1.1.b Câble à structure libre*** CLT : (Central loose tube)

Dans ce type de câble, la fibre avec revêtement flotte dans un tube (1 à 2mm) surdimensionné, endurci, résistant à l’abrasion et rempli de gel optique. Dans la mesure où le tube n’est pas directement en contact avec la fibre, cette dernière ne sera contrainte par aucune expansion ou contraction matérielle du câble. Elle ne subit plus les contraintes (compressions) mécaniques s’exerçant transversalement sur le tube, celui-ci doit cependant être renforcée de porteurs en Aciers ou en Kevlar (aramide), empêchant son allongement ou sa mise en compression. Il ya en général une fibre par tube, deux ou plus. Figure (2.2)

Les câbles à structure libre sont robustes et appréciés pour les solutions d’accès et de distribution dans des environnements de type campus.

Ces câbles sont très utilisés dans les applications industrielles et informatiques, liaisons vidéo, réseaux locaux et pour le raccordement d’abonnés.

Il existe deux type de structures: les uni-tubes pour les nombres de fibres faibles (jusqu’à 12 fibres) et les multitubes composés d’un ensemble de tubes autour d’un porteur central pour les quantités de fibres plus importante, Figure (2.3)



*Figure (2.2) : Câble à structure libre (uni-tube)*



*Figure (2.3) : câbles à structure libre multitube*

Les câbles intérieurs sont fabriqués avec des matériaux qui limitent les risques liés aux problèmes d’incendie.

La gaine est du type LSZH-FR, qui signifie:

* **LS (Low Smoke – peu de fumées)**: Emission réduite de fumées lorsque le câble est soumis à la flamme.
* **ZH (Zéro Halogène – Absence de corps chimique halogéniques)**: Le matériau ne contient pas de composants qui pourraient créer des fumées toxiques ou corrosives lors de la combustion,
* **FR (Flame Retardant – Non propagation de la flamme)**: Le matériau ne propage pas la flamme, et s’éteint de lui-même quand la gaine est soumise à une flamme.

Les câbles pour une installation extérieure sont surtout concernés par des critères relatifs à la résistance de la gaine extérieure, généralement réalisée avec du polyéthylène pour supporter différentes contraintes environnementales (abrasion, variation de température, résistance à l’écrasement, …). Ils possèdent une conception étanche obtenue par des éléments gonflants ou de la graisse qui stoppent la propagation de l’eau à l’intérieur du câble en cas de rupture accidentelle. Ils sont principalement installés en conduite ou directement enterrés.

***2.1.1.c)Câble à structure compacte (Rubans)***

Pour les réseaux de longues distances ou dans les réseaux de distribution, on utilise des câbles ayant une très grande capacité (plus que 1000 Fibres optiques). Les câbles à structure à ruban sont actuellement dominants sur le marché des câbles à grandes capacité, leur principe est d’empiler des rubans de polymères, contenant chacun de 8 à 10 fibres parallèles. Une pile de ruban, logée dans un petit tube contient une centaine de fibre optique permettant d’assembler un grand nombre de tubes. Figure (2.4)



*Ruban en détail*

*Figure (2.4) : Câble à structure compact*

 **2.1.2 Câbles sous marins**

 Comme si la terre ne suffisait pas ! Le monde de télécommunications a dû s'approprier les océans. En effet, 90% du trafic communiquant (principalement internet et téléphone), est écoulé par des câbles sous-marins. Ils constituent donc l’infrastructure d’un réseau mondial de communication dont l’étendue et la capacité ne cessent de croitre. A coté des grandes liaisons transocéaniques, les liaisons sous marines à courte ou moyenne distance sans répéteur (entre îles et côtes), ou en festons entre villes côtières, plus économique que par la terre, constituent une part de plus en plus importante du marché.

Comme les câbles sous marins sont soumis à des tractions considérables en particulier la pression du fond de mer, ils doivent présenter une résistance mécanique considérable. Ils sont constitués d’un cœur optique, généralement un tube contenant des fibres ou des rubans, placé à l’intérieur d’un toron de fils d’acier, ceci lui confère une excellente résistance à la traction. Cette éventuelle répartition est cependant difficile et coûteuse.

Dans les câbles sous marins longue distance, une couche de cuivre conduit le courant de télé-alimentation des répéteurs, de l’ordre d’un ampère, le retour se faisant par la mer. Le câble est électriquement isolé par du polyéthylène. Figure (2.5), la différence de potentiel atteignant des dizaines de kV en extrémité de liaison transocéanique. L’ensemble ne fait que quelques centimètres de diamètre. Les câbles immergés à moyenne profondeur (800m) sont protéger contre les risque de coupures (ancres, outils de pêche) par une couche de fils d’acier, et ensouillés, enterrés dans le sable du fond au voisinage des côtes.

****

*Figure (2.5) : Structure d’un câble sous marins*

**2.2 Raccordement des fibres optiques**

En montant un réseau de fibres optiques pour de longues distances, il faut à un moment ou à un autre connecter des fibres entre elles. Autant en électronique, il est facile de connecter deux fils de cuivre par soudure ou épissure, autant joindre parfaitement deux fibres est une tâche contraignante et minutieuse. Il est essentiel de minimiser les pertes car c'est aux connexions que le signal perd l'essentiel de sa puissance.

Il existe deux manières de raccorder entre elles deux fibres optiques: l’épissure ou l’utilisation de connecteurs.

Une épissure est une jonction permanente entre deux fibres (raccordement définitif).

Dans la constitution des réseaux, on peut raccorder les éléments (interface d’extrémité, coupleur…) par des connecteurs, si la liaison doit pouvoir être démontée.

Le raccordement définitif définit bout à bout de deux fibres optiques peut alors se faire :

**2.2.1 Par épissurage**

Cette technique colle définitivement les deux fibres entre elles, pour permettre au signal lumineux de circuler sans pertes optiques.

L’épissurage désigne deux techniques: mécaniques ou par fusion. L’épissurage mécanique se réalise via un composant qui aligne et maintient en contact les fibres préparées. L’épissurage par fusion ou par soudure est réalisé à l’aide d’une soudeuse (épissureuse) qui, grâce à un arc électrique, aligne et raccorde par fusion deux fibres préparées.

Avant de pouvoir les souder, les deux fibres doivent soigneusement dépouillées de leur gaine isolante, nettoyées et fondues avec précision perpendiculairement l’une par rapport à l’autre. Placer ensuite les deux fibres dans la fusionneuse et la machine fera le reste en trois étapes:

* ***Alignement***: en utilisant des petits moteurs de précision, la machine fera des ajustements pour que les fibres soient bien alignées l’une en face de l’autre, cela doit être très précis.
* ***Nettoyage***: il faut savoir que même la plus petite poussière et autre impuretés peut altérer la transmission optique. Aussi et avant de fusionner, la machine produira une petite étincelle qui brulera la poussière et l’humidité restante.
* ***Fusion***: suite à ces deux étapes, les fibres optiques sont prêtes à être fusionnées. La machine émet une seconde étincelle qui soudera durablement les faisceaux des deux fibres ainsi leur gaine isolante, cela formera l’épissure.

Cette méthode de raccordement (Epissurage) est d’une part rapide, relativement simple à mettre en œuvre, et d’autres part limite la perte de lumière engendrée par épissure environ (0.1 dB par soudure).

**2.2.2 Connecteurs optiques**

Dans ce cas, il faut réaliser le câblage d’un connecteur à chacune des extrémités des fibres à raccorder. Cette technique est utilisée lorsque les raccordements doivent pouvoir être démontés, comme aux nœuds des différents réseaux ou, à l’interface d’émission et de réception. Le raccordement est donc amovible ce qui rend possible et sans détérioration la connexion et la déconnection répétitives des deux fibres plusieurs centaines de fois.

Cette technique est robuste, cependant la perte de lumière est plus élevée que dans le cas d’une épissure.

Aussi les connecteurs risquent de provoquer des rétro réflexions très gênantes si la lumière retourne vers une diode laser ou un amplificateur.

Le raccordement par connecteur se compose d’une fiche sur chaque section de câble, montée définitivement par le fournisseur ou l’utilisateur, et d’un raccord intermédiaire entre deux câbles ou encore d’une embasse contenant un composant optoélectronique (embase active).

La pièce essentielle du connecteur est la férule figure (2.6), dispositif d’alignement des fibres optiques de très haute précision qui sera guidée face à l’autre férule (ou un composant de l’embasse active), par un dispositif d’alignement. La fibre optique est colée ou sertie, dans la férule, celle-ci est découplée du dispositif d’accrochage qui assure une certaine résistance mécanique.



*Figure (2.6) : schéma d’une férule*.

Les critères de choix d’un connecteur optique sont essentiellement:

* La précision et la reproductibilité du positionnement, liée au matériau de la férule (plastique, métal ou en céramique).
* L’existence (ou non) d’un dispositif de type baïonnette imposant le repérage de l’orientation du connecteur, améliorant la reproductibilité du raccordement.
* Les moyens éventuellement utilisés pour empêcher les rétro réflexions.

**2.2.2 .1 Différents types de connecteurs**

Les connecteurs (fiches optiques) les plus répandus étant: Figure (2.7) :

-Le connecteur **ST** : (Straight Tip), nommé connecteur platine réseau optique, (polissage droit, baïonnette) ; il est appliqué dans les réseaux locaux sur fibres optiques multi modes.

-Le connecteur **SC :** (Standard Connector ou subscriber), il est de profil carré, autorise des densités de connexion plus élevées sur les instruments et les panneaux de raccordement. Les connecteurs SC sont préférés pour les applications de bureau, de TV câblés, de téléphonie câblée et d’application réseau. De plus, ils offrent à faible coût, la simplicité et la durabilité.

- Le connecteur **FC :** (Ferrule Connector), (vissage avec repérage), il est très utilisé dans le milieu des télécommunications ou de longs câbles optiques courent sur plus de 50Km.

-Le connecteur **LC :** (Lucent Connector ou local), de forme carré comme le SC, mais beaucoup plus petit, on le retrouve également en informatique. Il est placé dans des endroits plus difficiles d’accès.

-Le connecteur **MT RJ :** (Media Termination Recommended Jack): qui est une version améliorée du RJ 45 (type prise).

La flexibilité de ce connecteur lui permet une utilisation dans les réseaux locaux tout autant que dans les câblages de plus longue portée utilisant la SMF.

**ST SC**

**LC  FC MTRJ**

*Figure (2.7) : Différents types de connecteurs optiques*

**2.3 Défauts de connexions dans les fibres optiques**

***2.3.1 Connexions entre fibres optiques différentes:***

1. Lors du passage d’une fibre de diamètre de cœur φ1 à un diamètre de cœur φ2 avec φ1>φ2 ; la perte d’insertion sera : Aφ = -10 log (φ2/φ1)2
2. Lors du passage entre deux fibres optiques avec des ouvertures numériques différentes avec ON1>ON2, la perte d’insertion sera: AON = -10 log (ON2/ON1)2

***2.3.2 Défauts d’alignement***

L’alignement des fibres n’est jamais parfait, il existe donc une perte de lumière, lors du passage de celle-ci d’un coté à l’autre. Dans les épissures, ce défaut peut être décomposé en trois défauts :

* L’espacement entre les fibres l,



* L’excentrement entre fibres optiques d,



* Le désalignement angulaire d’angle θ.



***2.3.3 Pertes de Fresnel***

Ces pertes sont dues au passage de la lumière du verre à l’air et vice versa.

Les pertes de Fresnel sont donnés par :

$AF = -20 log RF$

Avec:

$$ RF= nc-1/nc+1$$

 $nc$: indice de réfraction de la fibre en silice, 1: indice de réfraction de l’air.

Pour diminuer les pertes de Fresnel, les fibres optiques doivent être maintenues en contact ou bien, il faut interposer entre les fibres un produit adaptateur d’indice, souvent à base de Silicone ou sous forme de Gel de façon à faire varier l’indice d’une manière continu au contact.

**Conclusion**

La fibre optique peut se raccorder actuellement de deux manières:

- L’utilisation de connecteurs : en réalisant le câblage d’un connecteur à chacune des extrémités des fibres optiques,

- L’épissurage : raccordement définitif réalisé par des soudeuses (fusionneuse) automatiques.

Malgré le progrès réalisé, les raccordements restent un point délicat de l’utilisation des fibres optiques, à cause des perturbations qu’ils apportent, de la très haute précision requise et du coût (en matériel et main-d’œuvre) de l’opération.