

# **CHAPITRE 4 :**

# **TRANSMISSION OPTIQUE**

# TRANSMISSION OPTIQUE

- ▶ Contrairement aux transmissions numériques classiques qui utilisent des signaux électriques pour transmettre les informations, les systèmes de communication optiques utilisent des ondes lumineuses pour transmettre les informations d'un émetteur à un récepteur, cela se fait par des fibres optiques.
- ▶ Les systèmes de communication à base de fibres optiques ont une conception similaire à tout système de communication classique.
- ▶ Les informations transmises sont d'abord converties en un signal électrique en utilisant une modulation ou un codage, puis le signal modulé est converti en un signal optique. Enfin, le signal optique est injecté dans la fibre optique pour l'envoyer vers le récepteur.



# TRANSMISSION OPTIQUE

Le signal électrique dans la transmission optique est obtenu soit par modulation ASK, soit par différents des codages en ligne tels que NRZ, RZ, et Manchester.

La transmission optique comporte plusieurs composants en plus de la transmission électrique. Ces composants sont : l'émetteur optique, la ligne de transmission et un récepteur.

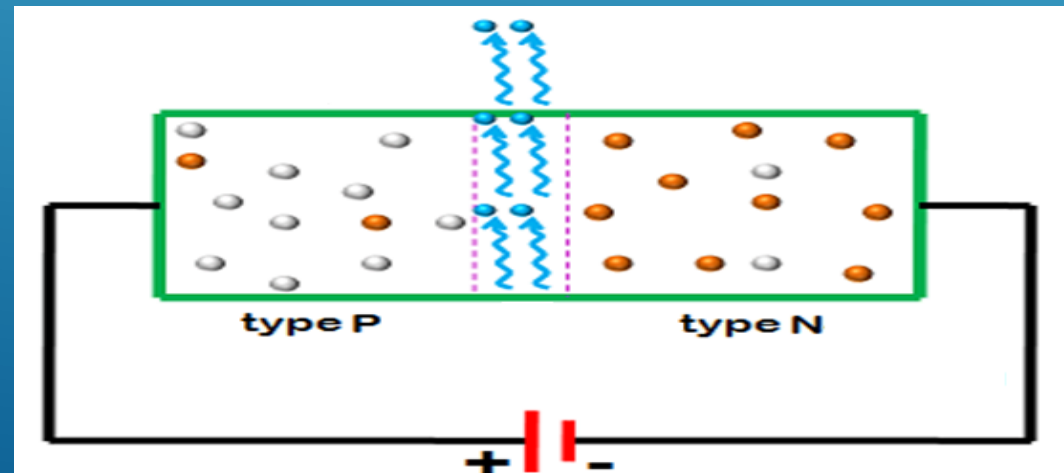
- ▶ Émetteur optique utilisé dans les communications optiques pour transformer le signal électrique en signal optique. Il contient le composant d'émission optoélectronique tel qu'une diode électroluminescente ou une diode laser.
- ▶ La ligne de transmission composée de fibres optiques et parfois d'amplificateurs optiques.



# TRANSMISSION OPTIQUE

La lumière de la diode laser ne contient qu'une seule longueur d'onde, et il peut être focalisé même par un simple système de lentilles sur un point extrêmement petit, où toute l'énergie de la source lumineuse est concentrée dans un très petit point de lumière pour produire laser.

Lorsqu'une tension continue est appliquée aux bornes de la diode laser, les électrons libres se déplacent à travers la région du matériau de type N vers la région P. Certains électrons interagissent directement avec les autres électrons et les exciteront à un niveau d'énergie plus élevé, tandis que d'autres électrons se recombineront avec les trous dans type P et libéreront de l'énergie sous forme de lumière (photon). Les photons générés traversent la région de jonction, et donc, cette lumière peut parcourir de longues distances sans se propager dans l'espace.



# TRANSMISSION OPTIQUE

L'utilisation de la diode laser présente plusieurs avantages tels que :

- ▶ La lumière obtenue par la diode laser a une puissance optique élevée.
- ▶ La production de lumière peut être contrôlée avec précision, ce qui signifie que la longueur d'onde de la lumière peut être contrôlée.
- ▶ La diode laser consomme moins d'énergie que les autres dispositifs optoélectroniques.
- ▶ Le système utilisant la diode laser peut fonctionner pendant de longues heures.

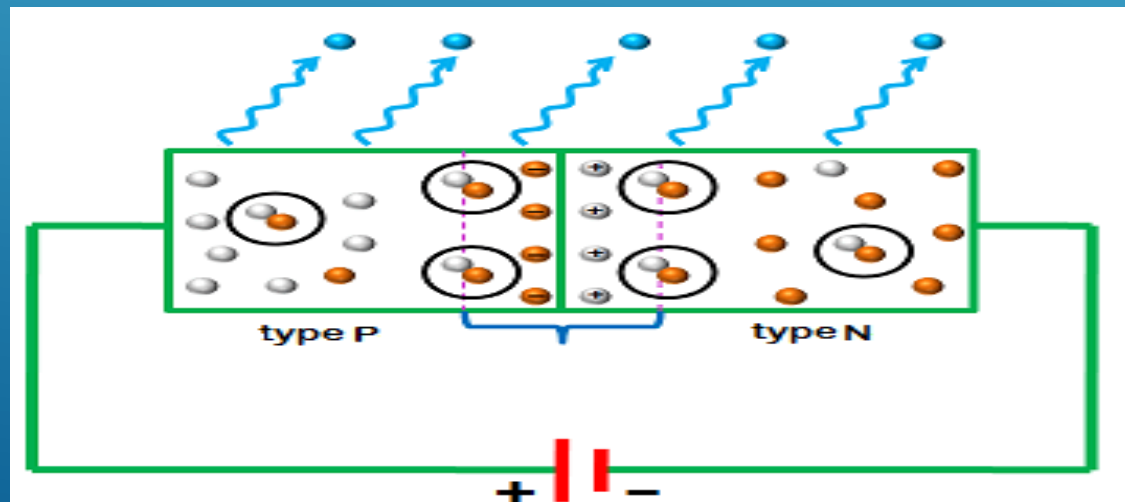
Cependant, l'utilisation de la diode laser présente des inconvénients tels que :

- ▶ Les performances d'une diode laser sont affectées par l'augmentation de la température.
- ▶ Lorsque la diode laser doit fonctionner en continu, elle nécessite l'utilisation d'un refroidissement et d'une stabilisation de puissance.

# TRANSMISSION OPTIQUE

Les diodes électroluminescentes (LED) sont les diodes semi-conductrices les plus utilisées, qui convertit l'énergie électrique en énergie lumineuse. Les LED émettent soit de la lumière visible, soit de la lumière infrarouge invisible, qui sont utilisées pour les télécommandes.

Lorsqu'une tension continue est appliquée aux bornes de LED, les électrons libres de la région N et les trous de la région P sont poussés vers l'épuisement. Les électrons libres libèrent de l'énergie sous forme de lumière (photon) avant de se recombiner avec des trous.



# TRANSMISSION OPTIQUE

L'utilisation de LED présente plusieurs avantages tels que :

- ▶ La LED est plus efficace et produit plus de lumière par watt.
- ▶ La LED dépend moins de la température que la diode laser, même à basse température.
- ▶ La LED est généralement moins chère que les autres lasers.
- ▶ La LED a une fabrication plus simple par rapport aux autres dispositifs optoélectroniques.
- ▶ La LED a une taille très petite.

Cependant, la LED a des inconvénients tels que :

- ▶ La bande passante de la lumière obtenue à partir des LED est limitée à seulement quelques centaines de mégahertz.
- ▶ Les LED ont une puissance de sortie inférieure à celle des diodes laser, ce qui limite leur portée et le nombre de fibres qu'elles peuvent prendre en charge.



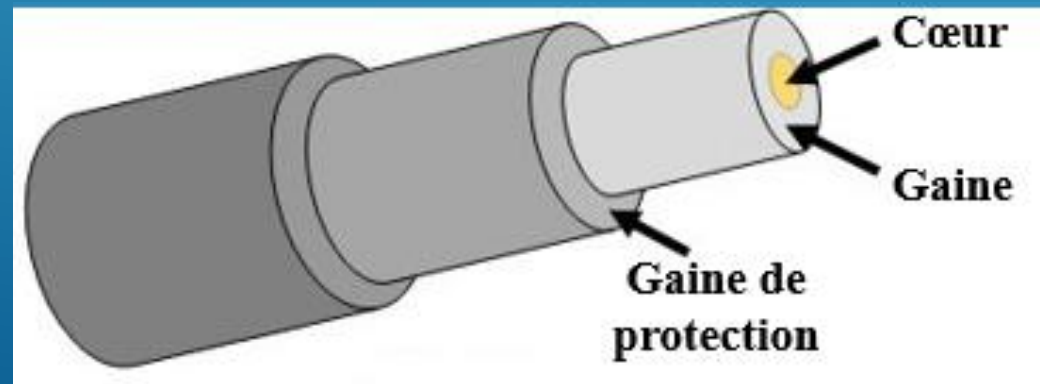
# TRANSMISSION OPTIQUE

La ligne de transmission optique est généralement constituée de plusieurs câbles à fibres optiques. Un câble à fibre optique est constitué d'un fil (cœur), d'une gaine optique, et le tout est protégé par une gaine extérieure.

Le cœur d'un câble à fibre optique est un cylindre en plastique ou en verre qui s'étend sur toute la longueur du câble à fibre optique. La lumière envoyée à l'intérieur du cœur se reflète à partir du cœur et de la limite de la gaine.

La gaine est un matériau optique externe qui protège le cœur. Sa fonction principale est de refléter la lumière vers le cœur.

La fonction principale du gaine extérieure est de protéger la fibre contre les dommages.





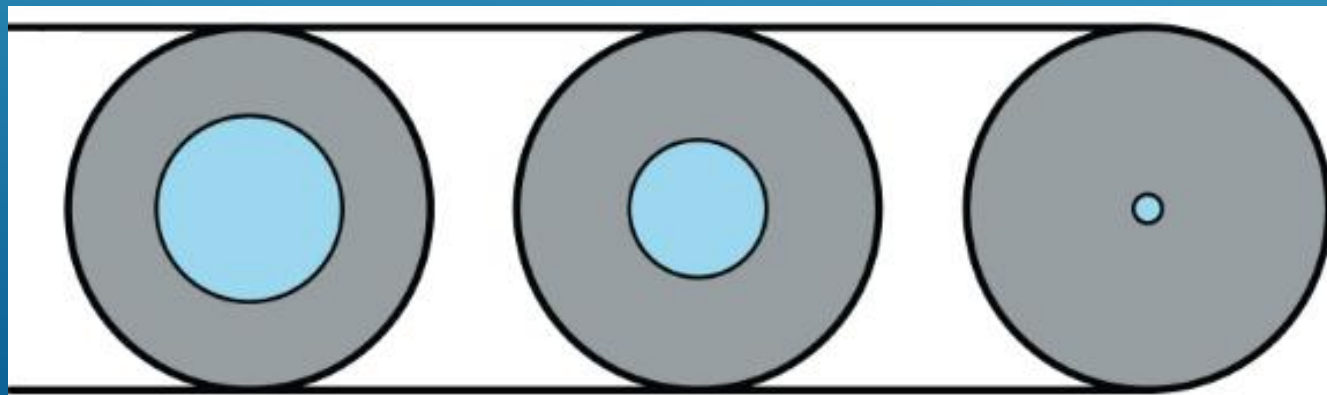
# TRANSMISSION OPTIQUE

Dans le cœur , il y a trois dimensions du diamètre. Ce diamètre dépend de l'application utilisée. De plus, lorsque la lumière pénètre dans la gaine à travers le cœur, elle change d'angle, puis se reflète vers le cœur.

Selon les dimensions du cœur et les valeurs des indices de réflexion, les câbles à fibres optiques peuvent être classés en deux catégories : fibres optiques multimodes, et fibre optiques monomode.

Si la lumière n'a qu'une seule direction à travers le câble à fibre optique, on dit alors qu'il s'agit d'une fibre monomode. Si la lumière a plus d'une direction à travers le câble à fibre optique, on dit alors qu'il s'agit d'une fibre multimode.

La fibre optique multimode est divisée en deux types : fibre multimode à saut d'indice, et fibre multimode à gradient d'indice.

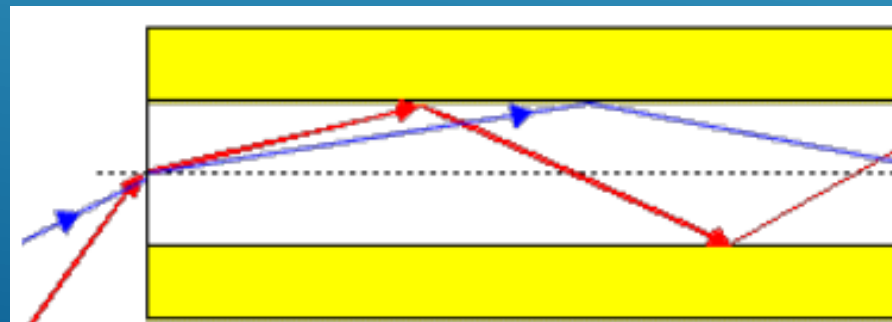
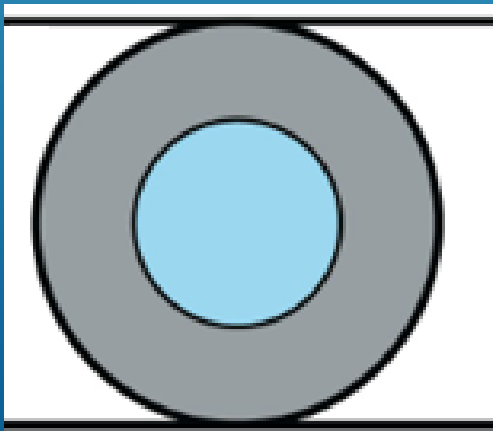


# TRANSMISSION OPTIQUE

Dans la multimode à saut d'indice, le diamètre du cœur est de 100 à 300  $\mu m$ , et le diamètre du gaine optique est de 140 à 400  $\mu m$ . Le cœur et la gaine ont un indice de réfraction uniforme mais différent (L'indice de réfraction constant varie brusquement), et elle est élevée dans le cœur et plus basse dans la gaine. La lumière dans la fibre se propage en rebondissant depuis l'interface cœur-gaine et en se propageant en zigzag.

La multimode à saut d'indice a une bande passante de 6 à 50 MHz, et une atténuation de 2,6 à 50  $dB/km$ , ce qui le rend non adapté à la transmission longue distance.

Ces fibres sont les mieux adaptées aux applications à courte distance, à bande passante limitée et aux applications relativement peu coûteuses.

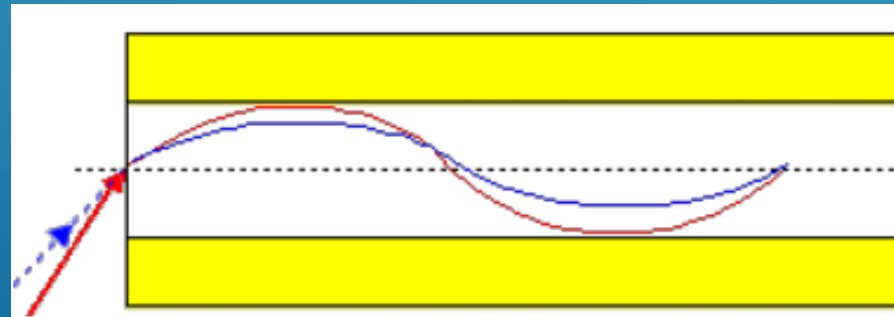
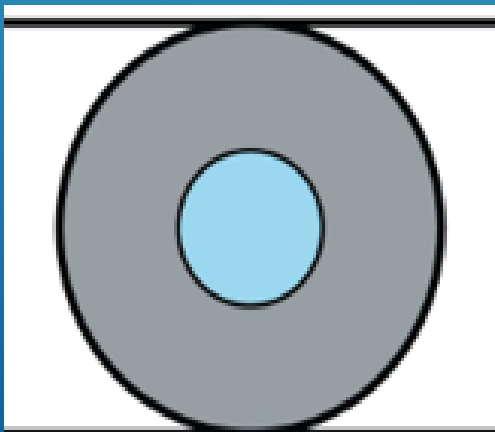


# TRANSMISSION OPTIQUE

Dans la multimode à gradient d'indice, le diamètre du cœur est de 50 à 100  $\mu m$ , et le diamètre du gaine optique est de 125 à 150  $\mu m$ . Le cœur a un indice de réflexion variable en fonction de la distance radiale par rapport au centre (il décroît progressivement du centre à la périphérie). La lumière dans la fibre se propage suit une trajectoire courbée.

La multimode à gradient d'indice a une bande passante de 200 MHz à 3 GHz, et une atténuation de 2 à 10  $dB/km$ .

Ces fibres sont les mieux adaptées aux applications à moyenne distance et à bande passante moyenne.

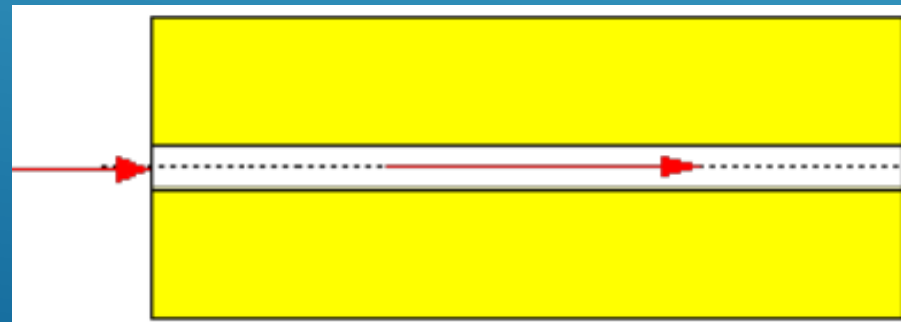
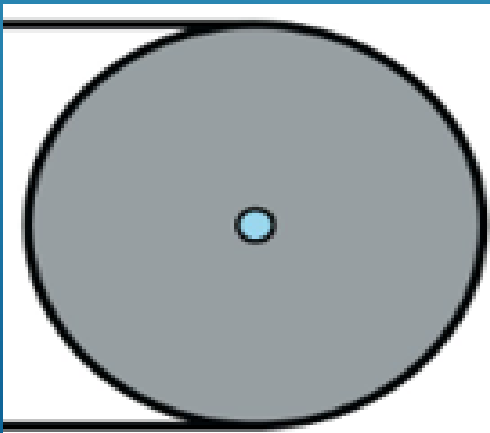


# TRANSMISSION OPTIQUE

Dans la monomode, le diamètre du cœur est de 7 à 11  $\mu m$ , et le diamètre du gaine optique est généralement 125  $\mu m$ . La lumière dans la fibre a un seul propagation possible (Le diamètre du cœur est presque égal à la longueur d'onde de la lumière émise, de sorte qu'elle se propage dans une seule direction).

La fibre monomode a une bande passante est supérieur à 500 MHz jusqu'à environ de THz, et une atténuation de 2 à 5  $dB/km$ .

Ces fibres conviennent parfaitement aux applications à large bande passante et à moyenne et longue distance. Cependant, sa fabrication est difficile et coûteuse.



# TRANSMISSION OPTIQUE

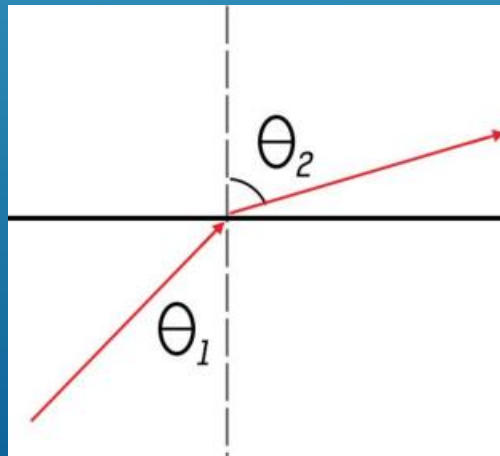
La lumière dans la fibre multimode se déplace en fonction de la réflexion et de la réfraction. La réflexion dépend du type de surface sur laquelle la lumière est incidente, et la réfraction est la courbure de la lumière dans un milieu particulier en raison de la vitesse de la lumière dans ce milieu. qui est représenté par un indice :

$$\text{Indice de réfraction} = \frac{c}{v}$$

$c$  est la vitesse de la lumière dans l'air et  $v$  est la vitesse de la lumière dans un support.

Lorsqu'une lumière arrive à l'interface de deux milieux ayant des indices de réfraction différents, la réfraction peut être représentée par :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$



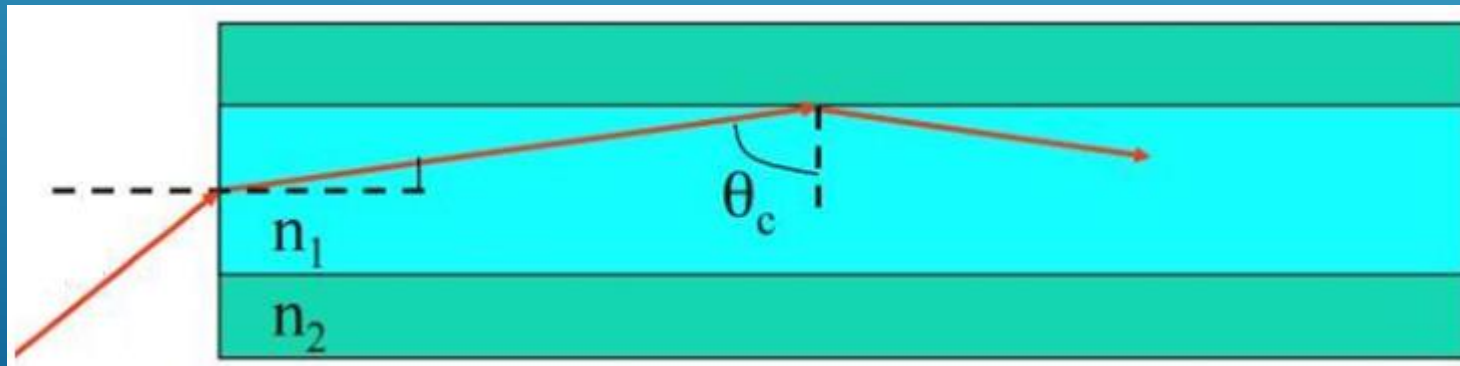
# TRANSMISSION OPTIQUE

Le cas limite de réfraction de la lumière est connu par un angle appelé angle critique, et la valeur de cet angle est donnée par :

$$\sin(\theta_c) = \frac{n_1}{n_2}$$

À des angles d'incidence supérieurs à l'angle critique, la lumière est réfléchie vers le milieu d'origine.

Dans une fibre optique, une lumière subit sa première réfraction à l'interface air-noyau. Cet angle particulier dictera si les réflexions internes suivront le principe de la réflexion interne. Cet angle est appelé angle d'acceptation.



# TRANSMISSION OPTIQUE

L'une des propriétés importantes de la fibre optique est l'atténuation du signal. L'atténuation est une mesure de la diminution de la force du signal ou de la perte de puissance lumineuse qui se produit lorsque les impulsions lumineuses se propagent sur toute la longueur de la fibre.

L'atténuation du signal de la fibre détermine la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur, ainsi que le nombre de répéteurs requis.

L'atténuation de la fibre est régie par les matériaux à partir desquels elle est fabriquée, le procédé de fabrication et le profil d'indice de réfraction choisi.

L'atténuation est mesurée en  $dB/km$ , et elle est donnée par :

$$A = \frac{10}{d} \log_{10} \left( \frac{P_s}{P_e} \right)$$

L'atténuation est également liée à la longueur d'onde. L'atténuation diminue avec l'augmentation de la longueur d'onde et augmente avec la diminution de la longueur d'onde.



# TRANSMISSION OPTIQUE

Pour créer un système de communication optique, plusieurs considérations sont prises en compte :

- ▶ Décider de la longueur d'onde de fonctionnement du système, qui dépend de deux paramètres : la distance entre l'émetteur et le récepteur, et le deuxième paramètre est l'atténuation (en fonction du câble à fibre optique).
- ▶ La sélection du photo détecteur (qui convertit la lumière en signal électrique), qui repose sur : coût de conception, et la puissance optique minimale qui doit tomber sur le photo détecteur pour satisfaire le TEB au débit de données spécifié.
- ▶ Le choix d'une source optique adaptée, qui est basé sur : la dispersion du signal, le débit de données, la distance de transmission et le coût de la source optique.
- ▶ La sélection de fibre optique entre fibre monomode et fibre multimode avec fibre à saut d'indice ou à gradient d'indice, qui repose généralement sur les caractéristiques d'atténuation et l'environnement où se trouve le câble.

# TRANSMISSION OPTIQUE

La bande passante de la fibre optique est très grande, et l'utilisation de cette capacité rencontre de nombreux problèmes dans la transmission numérique, car le multiplexage TDM ne prend en charge que les signaux pour la transmission de MHz à GHz qui ont une seule longueur d'onde.

Un autre type de multiplexage est utilisé dans le câble à fibre optique, qui est WDM (Wavelength-division Multiplexing), ce qui permet de combiner simultanément un certain nombre de longueurs d'onde sur une même fibre.

Au niveau du récepteur, les données de chaque utilisateur sont obtenues à partir des signaux multiplexés par filtrage optique à une longueur d'onde correspondant aux données transmises



# TRANSMISSION OPTIQUE

Les systèmes WDM sont divisés en différents modèles de longueur d'onde : CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) et DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

CWDM prend en charge jusqu'à 18 sous-canaux de longueur d'onde transmis simultanément sur une fibre optique. Les différentes longueurs d'onde de chaque sous-canal sont espacées de 20 nm, et les longueurs d'onde transmises par CWDM peuvent atteindre une distance de 80 km, avec des vitesses allant jusqu'à 10 Gbit/s par sous-canal.

DWDM prend en charge jusqu'à 80 sous-canaux de longueur d'onde transmis simultanément sur une fibre optique. Les différentes longueurs d'onde de chaque sous-canal sont espacées de 0,8 nm, et les longueurs d'onde transmises par DWDM peuvent atteindre des milliers de kilomètres, avec des vitesses allant jusqu'à 100 Gbit/s par sous-canal.

# TRANSMISSION OPTIQUE

Les principaux avantages de la transmission par fibre optique sont :

- ▶ **Bande passante élevée** : Le câble à fibre optique a une bande passante très élevée par rapport à tous les autres câbles.
- ▶ **Longue distance** : La transmission par fibre optique présente une atténuation inférieure à celle des câbles électriques (0,2 dB/km), ce qui permet aux signaux d'être transmis sur une distance plus longue que les autres câbles.
- ▶ **Immunité à l'interférence électromagnétiques** : Contrairement aux câbles électriques, la fibre optique ne conduit pas l'électricité, ce qui la rend insensible aux interférences électromagnétiques.
- ▶ **Faible risque de sécurité** : Les données sont transmises par la lumière, ce qui signifie qu'il n'y a aucun moyen de détecter les données en écoutant l'énergie électromagnétique s'échappant à travers le câble, ce qui garantit la sécurité absolue des informations.

# TRANSMISSION OPTIQUE

- ▶ **Petite taille et poids léger** : Le câble à fibre optique a un très petit diamètre et est plus léger, ce qui permet une installation facile d'une fibre optique sur des conduits par rapport aux conducteurs électriques

Les principaux avantages de la transmission par fibre optique sont :

- ▶ **Fragilité** : les câbles à fibres optiques sont généralement fabriqués en verre, ce qui les rend plus fragiles que les fils électriques.
- ▶ **Difficile à installer** : Il n'est pas facile d'épisser un câble à fibre optique (il est très susceptible d'être coupé ou endommagé lors de l'installation).
- ▶ **Le coût est plus élevé que celui des câbles en cuivre** : L'installation de câbles à fibres optiques est plus élevée que celle des câbles en cuivre, car l'installation des câbles en cuivre ne nécessite pas de soins supplémentaires comme les câbles à fibres.