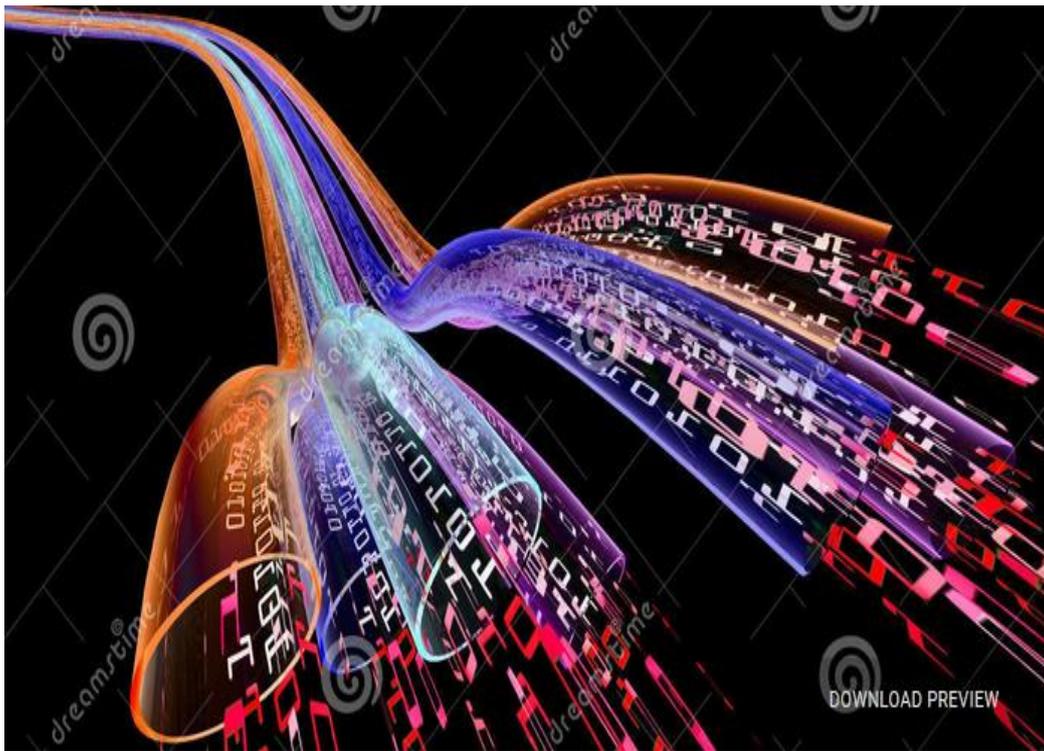


Chapitre 5

Systeme de transmission par fibre optique



Systeme de transmission par fibre optique

1. Introduction

Avec l'augmentation très rapide du nombre d'utilisateurs, ainsi que des nouveaux services implémentés, le besoin croissant de débit nécessitait des composants très performants. Pour répondre à ce problème, des techniques et des équipements ont été inventés. Plusieurs évolutions ont eu lieu et un nouveau type de support de transmission a été mis en place, la fibre optique, dans laquelle l'information codée sous forme de lumière délivrée par une source Laser.

Au début, les fibres optiques étaient essentiellement utilisées pour des liaisons poste à poste sur de longues distances, au fur et à mesure, elles deviennent beaucoup plus utilisées dans les entreprises, les bâtiments ainsi que dans les maisons, mais le passage des connections existantes classiques vers les fibres optiques, a entraîné la nécessité de remplacer plusieurs composants électroniques tel que les composants de routage, les émetteurs et les filtres par des composants photoniques.

L'idée d'utiliser des systèmes de communications optiques au lieu des systèmes de communications classiques à base d'électrons offre d'excellents avantages tels que: la rapidité de traitement de l'information, l'importance de la vitesse de propagation, la diminution rapport signal/ bruit, et le débit binaire élevé. Le développement croissant des performances en matière de transmission de l'information entraîne toujours plus d'exigences sur le plan de support de propagation des données. L'utilisation de la fibre optique comme un support de transmission étaient largement répandu grâce au concept de confinement de la lumière.

2. Schéma synoptique d'une chaine de transmission

Le transfert de l'information de données sous forme de lumière sur une longue distance, est assuré par un système de télécommunication optique. Ce système est composé de trois éléments fondamentaux: un émetteur, un canal de transmission (fibre optique) et un récepteur. La figure 1 représente le schéma synoptique général d'une chaine de transmission par fibre optique.

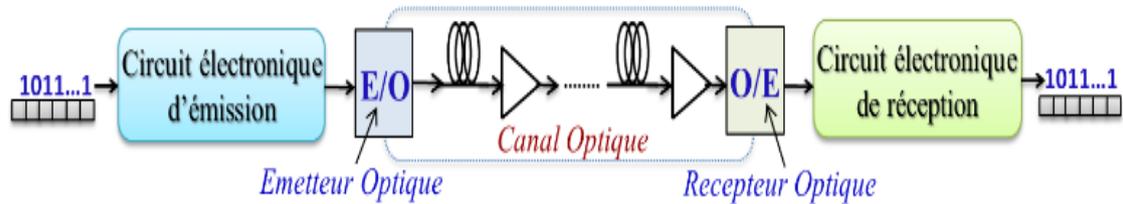


Figure 1: Schéma représentatif d'une chaîne de transmission optique.

3. Le bloc d'émission et de réception

3.1. L'émetteur optique

Dans un système de transmission, le bloc d'émission est un dispositif qui a deux fonctions essentielles: la génération d'un signal optique et la modulation de l'information à transmettre. La source optique utilisée est constituée d'une diode laser, elle est la mieux adaptée pour les systèmes de télécommunications optiques (figure 2).

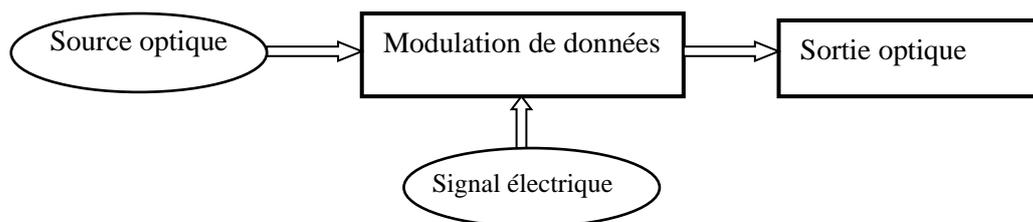


Figure 2 : Schéma représentatif d'un émetteur optique.

3.1.1. Source optique

Dans les systèmes de communication les sources optiques utilisées sont les diodes électroluminescentes et les diodes lasers. Leur fonction est de convertir une énergie

électrique en énergie optique. Les diodes laser sont les plus utilisées pour la transmission de l'information par fibre optique.

3.1.1.1. Diode électroluminescente

La diode électroluminescente connue sous l'appellation DEL ou LED (*light-emitting diode*) est une jonction PN polarisée en direct. C'est un composant optoélectronique simple, capable d'émettre un rayonnement monochromatique incohérent pour des applications bas débit. Le principe d'émission est basé par la recombinaison des paires électron-trou, lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique. Elle émet dans des bandes de fréquences autour des longueurs d'onde de 0.85 μ m, 1.3 μ m et 1.55 μ m.

3.1.1.2. Diode laser

La diode laser est une source cohérente et monochromatique et cohérente grâce à l'émission stimulée. Elles sont utilisées dans les systèmes de transmission à très grande distance. Les diodes lasers sont caractérisées par une large bande spectrale, une faible consommation énergétique, un spectre relativement étroit et une meilleure efficacité de couplage avec la fibre optique. Elles sont utilisées dans les systèmes WDM.

❖ Bruit des lasers

A la sortie d'un laser à semi-conducteur le signal optique est affecté par des bruits. Les fluctuations en d'amplitude, phase et fréquence sont dus par l'émission spontanée et la recombinaison électron trou (bruit de grenaille). Le signal émis par l'émission stimulée sera perturbé et déformé grâce à l'ajout à ce signal une composante d'un champ aléatoire par le photon émis de l'émission spontanée. Les fluctuations de phase conduisent à l'élargissement du spectre de la raie émise à la sortie du laser par contre celle de l'amplitude conduisent à un rapport signal à bruit SNR.

3.1.2. Modulation directe

La modulation directe est la modulation la plus simple à mettre en œuvre (figure 3). Le courant d'alimentation qui traverse la diode laser sera modulée directement en intensité émise par celle-ci (figure 4). Cette solution requiert peu de composants et peu coûteuse. Mais son inconvénient est c'est lorsqu'on module en amplitude le courant d'alimentation d'un laser, il

est accompagné d'une modulation de fréquence parasite appelée chirp. La figure 4 montre le schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe.

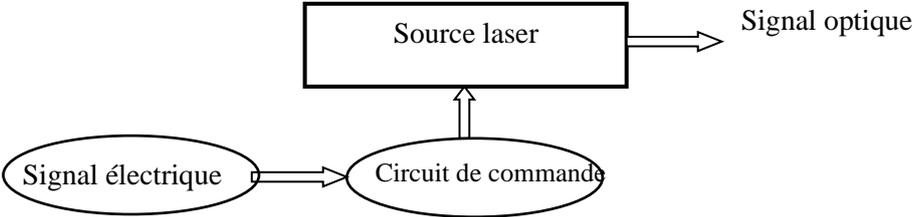


Figure 3 : Modulation directe.



Figure 4 : Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe.

3.1.3. Modulation externe

Dans cette modulation l'émetteur envoie un signal optique pur suivi d'un modulateur externe (figure5). Le courant injecté par le laser n'est plus modulé. Cette modulation est la plus favorisée pour les télécommunications à longue distance et à haut débit et pour des fréquences très élevées à partir de 5 à 10Ghz. Elle est plus rapide que celle de la modulation directe. Elle permet d'écrire les données électriques sur un signal optique continu et permet d'éliminer l'effet de chirp. Sa bande passante est de plus 80 GHz, plus importante que celle de la modulation directe qui est de 5 GHz. La figure 6 montre d'un module d'émission en modulation directe.

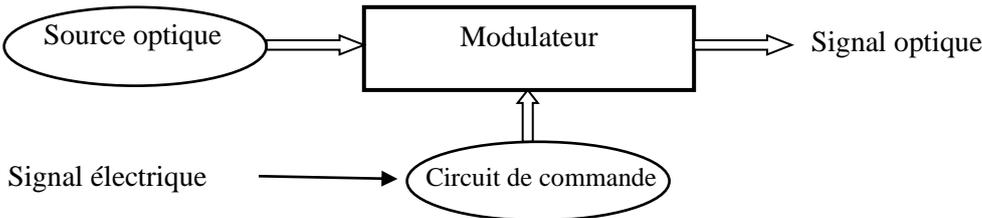


Figure 5: Schéma représentatif d'un module d'émission en modulation directe

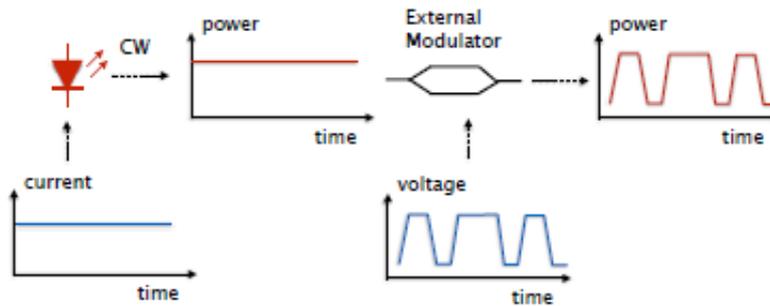


Figure 6 : Modulation externe.

Dans types de modulateurs sont les plus utilisés dans l'industrie des télécommunications optiques : le modulateur Mach-Zehnder (MZM) et le modulateur électro-absorption (EAM)

3.2. Le canal de transmission

Le canal de transmission est constitué par une fibre optique qui véhicule une porteuse optique modulée contenant de l'information.

3.3. Le récepteur optique

La fonction d'un récepteur dans une chaîne de transmission optique est de détecter le signal optique par une ou plusieurs photodiodes. Les photo-détecteurs les plus utilisées sont :

- ❖ *les photodiodes PIN*
- ❖ *les photodiodes APD.*

Leur rôle est de convertir le signal optique reçu en un signal électrique qui peut ensuite être traité par des systèmes électroniques plus conventionnels.

4. Structures et familles des liaisons numériques

4.1. Liaison point à point sans répéteur

Correspondant aux fenêtres de longueurs d'onde utilisées dans un système de transmission optique, Il existe 4 grandes familles de liaisons sur fibres optiques (figure 7). Leurs portées sont limitées : d'une part, par l'atténuation et d'autre part par la dispersion de la fibre.

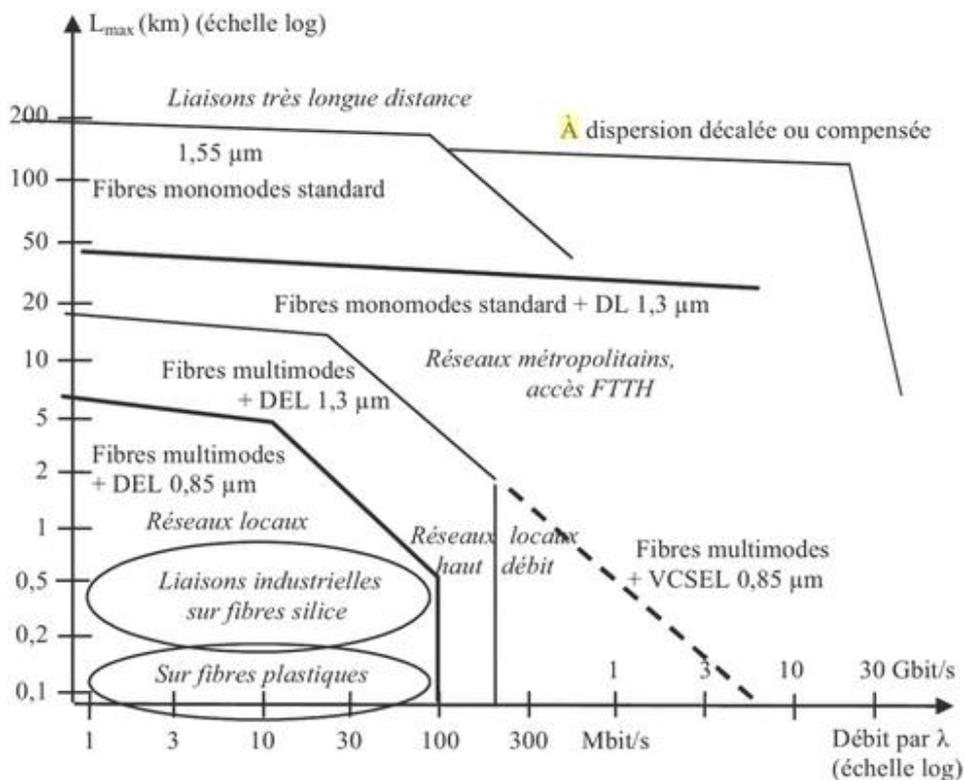


Figure 7 : Familles de liaisons numériques sur fibres optiques

4.1.1. Première famille

La première famille est celle des transmissions autour de $0,67\mu\text{m}$ sur fibres optiques en plastiques à très courte distance. Les applications utilisées sont des applications industrielles locales à très courte distance (liaison entre micro-ordinateur, câblage d'ateliers, etc...) et avec des débits jusqu'à 100 à 200 Mbits/s pour des raisons de sécurité électrique et des perturbations provenant des autres équipements, ou plus généralement de l'environnement. Elle s'implémente dans des domaines de la domotique, du multimédia et de l'équipement automobile.

4.1.2. Deuxième famille

Cette famille fonctionne à $0,85\mu\text{m}$ avec des DEL, sur courtes des distances de l'ordre du Km. Les fibres utilisées sont à base de silice, multimodes et à gradient d'indice. Ces systèmes sont peu coûteux au niveau des connections et interfaces. Les applications utilisées sont dans les domaines informatiques et industriels (réseau locaux, distribution, surveillance vidéo).

4.1.3. Troisième famille

La troisième famille est celle des liaisons autour de 1.3 μm , qui utilisent des fibres monomodes standards et des diodes lasers. L'atténuation est faible ce qui permet de faire des liaisons à haut débit jusqu'à 50 Km, sans répéteurs, ce qui correspond au marché des réseaux métropolitain et locaux à haut débit (à 1 et 10Gbits/s).

4.1.4. Quatrième famille

Cette famille fonctionne à 1.55 μm à longues distance, qui nécessitent des diodes lasers monochromatiques de type (DFB). Sans amplification du signal optique, les distances seront limitées à 200km à cause de l'atténuation, à des débits de 10 à 40 Gbit/s. Des fibres monomodes standard (G652) avec une compensation de dispersion chromatique et des répéteurs à amplification optique, sont utilisées pour des distances très longues (terrestres et sous-marines).

4.2. Liaison à amplification optique

En transmission point à point peut être réalisée par :

4.2.1. Le post- amplificateur

Dans un système de transmission optique, le post-amplificateur appelé aussi amplificateur de puissance (booster amplifier) il est placé, à la sortie de l'émetteur. Son rôle est d'augmenter la puissance de sortie afin de lui permettre d'être transmis sur une longue distance et d'accroître d'autant le budget total de la liaison (figure 8).



Figure 8 : Le post-amplificateur

4.2.2. Amplification en ligne

Dans les systèmes de transmission optiques, les signaux transmis seront amplifiés après une certaine distance, par des amplificateurs optiques placés sur ligne afin de lui permettre de parcourir une autre distance. Ces derniers ont pour fonction de compenser l'atténuation du signal par la fibre et les différentes pertes risquées (figure 9).

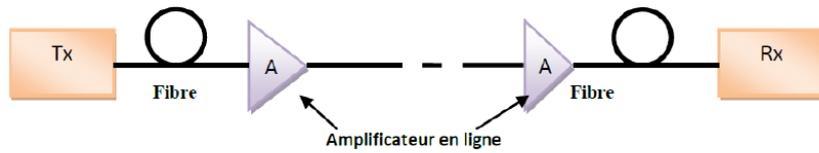


Figure 9 : Amplificateur en ligne

4.2.3. Le préamplificateur

Le préamplificateur est situé à l'entrée du module de réception juste avant les photo-détecteurs, ils sont le même principe de fonctionnement d'un laser. Son rôle est d'augmenter la sensibilité du récepteur et le budget de la liaison ; ici la minimisation du facteur de bruit est très recherchée (figure10).

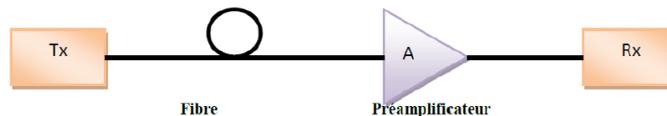


Figure 10 : Le préamplificateur

4.3. Liaison multiplexé WDM (MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE)

Une seconde évolution a vu le jour avec une nouvelle méthode de multiplexage, il s'agit du multiplexage en longueur d'onde (WDM), dont le principe consiste à utiliser plusieurs longueurs d'ondes pour transporter plusieurs canaux sur la même fibre optique tout en évitant d'utiliser de nouveaux câbles(figure 11).. Ce procédé permet d'augmenter la capacité de transmission. En utilisant N diodes lasers à spectre fin, afin d'envoyer les signaux optiques de longueurs d'ondes différentes. N est le nombre de voies utilisées, et chaque voie représente un canal de transmission. Grace à la technologie de multiplexage, ces longueurs d'ondes seront simultanément transmises dans une seule fibre optique monomode. Il faut que l'espacement $\Delta\lambda$ entre elles, ne soit pas assez faible pour qu'elles ne s'interfèrent pas. A

chaque intervalle régulier de 50 à 100 Lorsque Chaque 100 Km les signaux seront amplifiés. A la A la réception, les ondes optiques seront détectées par les N photodiodes, après avoir séparées par un démultiplexeur optique.

Il existe plusieurs systèmes de multiplexage en longueurs d'onde qui sont différenciés par le nombre de canaux utilisables dans la fibre optique. Nous parlerons de DWDM (Dense WDM) si l'intervalle entre deux longueurs d'onde est inférieur ou égal à 0.8nm (soit 100 GHz) ce qui autorise 40 longueurs d'onde dans la bande C. Lorsque 160 canaux peuvent être utilisables dans une même fibre avec un espacement de 0.2 nm et 0.4nm entre deux longueurs d'ondes, nous parlerons de UDWDM (Ultra Dense WDM). Une autre forme moins performante est le CWDM (Coarse WDM), pour ce système de multiplexage dix-huit canaux au maximum sont utilisés (figure 12).

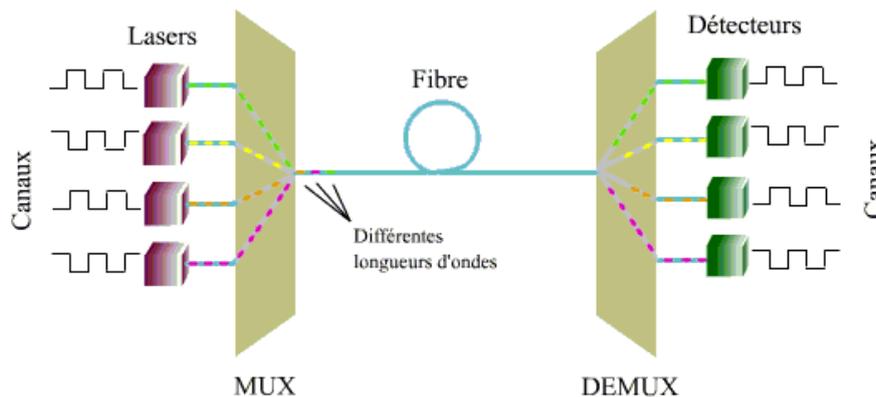


Figure 11: Principe d'une liaison WDM.

L'union Internationale de Télécommunication (ITU-TG-692), autorise l'utilisation de longueurs d'ondes comprises entre 1530 et 1565nm, tel que l'espacement entre les longueurs d'onde est en nm ou en GHz. Le tableau ci-dessous présente le nombre de canaux suivant l'espacement $\Delta\lambda$

Espacement	Nombre de canaux	
1000 GHz ($\Delta\lambda = 8 \text{ nm}$)	4	
400 GHz ($\Delta\lambda = 3,2 \text{ nm}$)	8	
200 GHz ($\Delta\lambda = 1,6 \text{ nm}$)	16	
100 GHz ($\Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}$)	32	
50 GHz ($\Delta\lambda = 0,4 \text{ nm}$)	80	
25 GHz ($\Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}$)	160	

Figure 12 : Les systèmes WDM

Le démultiplexeur optique est le dispositif dont nous avons besoin pour séparer ces canaux et les livrer à l'utilisateur approprié. Il fait appel à une fonction indispensable qui est le filtrage, pour sélectionner un canal parmi plusieurs porteuses du Multiplexeur. La lumière sera filtrée, ensuite elle sera extraite vers les canaux de sorties.

5. Structure de réseaux optiques

Pour qualifier une fibre optique, plusieurs technologies ont été développées. Plusieurs techniques existent de raccordement et de performances existent. Afin d'augmenter la qualité de service et le débit, une nouvelle technique a été utilisée, c'est la technologie FTTx (fiber to the x) . Cette technologie consiste à amener la fibre optique jusqu'à l'abonné. En fonction de la destination du réseau et de la technique de raccordement différentes configurations sont envisageables: FTTN (Fiber To The Node), FTTC (Fiber To The Curb), FTTB (Fiber To The Building), FTTH (fiber to the home). Ces systèmes sont les meilleurs candidats pour les réseaux d'accès de nouvelle génération, et cela est dû aux avantages qu'offre la fibre optique (figure 13).

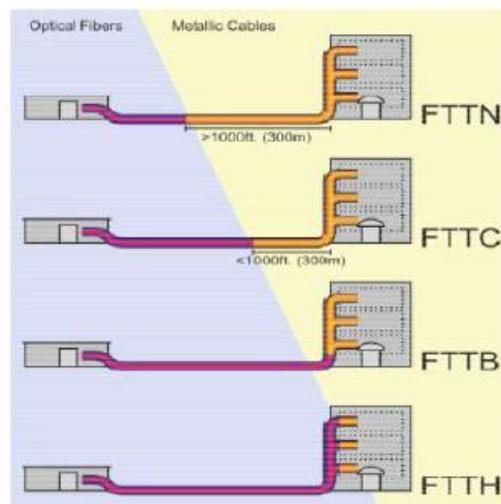


Figure 13 : Différents types de technologies.

5.1. FTTH – Fiber to the Home-Fibre jusqu'à l'abonné.

C'est un type de réseau de télécommunications physique qui permet l'accès à l'internet jusqu'à l'utilisateur à de très haut débit. Elle permet de transférer l'information sous forme de signaux optiques transmis dans des câbles en fibres de verre fines. Elle est principalement utilisée dans les zones urbanisées.

Deux types de topologies physiques qui permettent d'amener la fibre jusqu'au client final :

- ② L'architecture point à point passif (architecture active)
- ② L'architecture point multipoint (architecture passive)

5.1.1. Architecture point à point passif (P2P)

Les systèmes « point à point » sont les plus simples à mettre en œuvre. Chaque client est relié au central par une fibre optique qui lui est dédiée. Le déploiement de cette architecture est coûteuse, parce qu'elle nécessite de déployer un nombre important de fibres. Elle consiste à relier directement le client au central téléphonique (Central Office) en utilisant une fibre optique. De plus, si une nouvelle maison doit être ajoutée, une nouvelle fibre doit être mise en place. Cette technique permet une bande passante maximale et aucun partage de débit n'est possible (figure14).

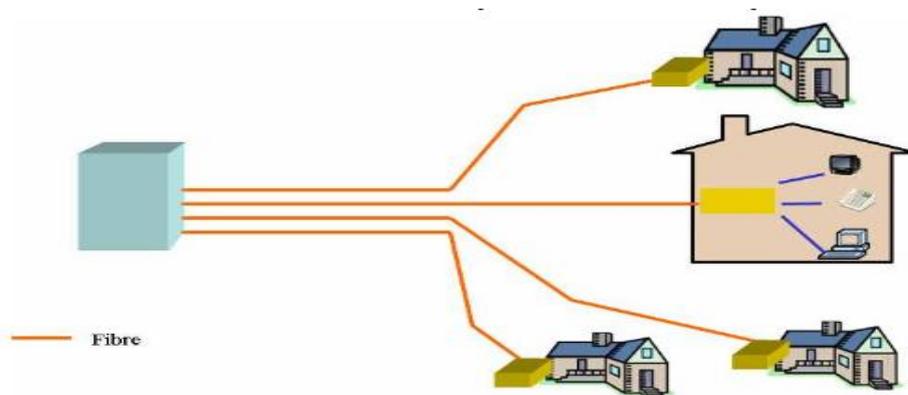


Figure 14: FTTH point à point passif

5.1.2. Architecture point -multipoint passif ou PON (Passive Optical Network)

Dans cette architecture connue sous le nom de PON, la fibre optique part du central et dessert plusieurs utilisateurs. Le raccordement de cette fibre aux différents usagers se fait par un composant passif qui est le coupleur ou splitter 1xN placé à proximité de la zone à desservir. Les pertes du coupleur sont l'inconvénient majeur de cette architecture, affectent le budget de liaison. Cette architecture offre l'avantage de limiter le nombre de fibres à déployer par contre elle est moins sécurisée (figure15).

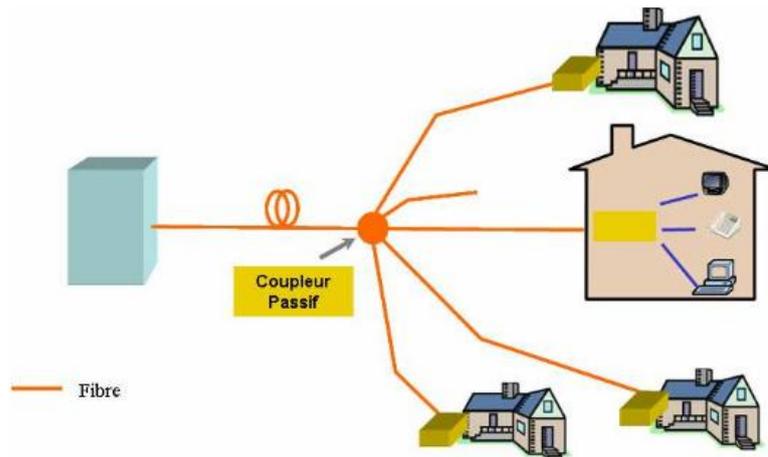


Figure 15: Architecture point -multipoint passif ou PON

La présence de coupleurs dans cette architecture forme un arbre optique, 32 ou 64 utilisateurs se partagent la même fibre optique.

5.1.3. Architecture point -multipoint actif

Cette architecture est similaire à l'architecture précédente (point multipoint passif), sauf que le composant passif (le coupleur) est remplacé par un composant actif.

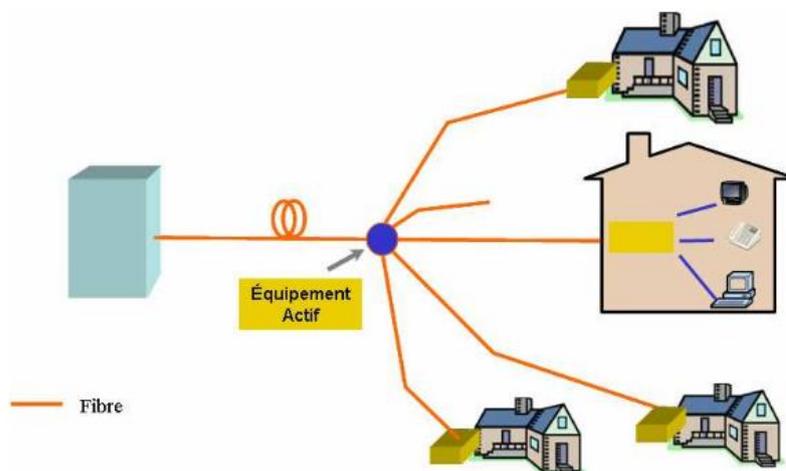


Figure 16: Architecture point - point -multipoint actif

Les données envoyées depuis le central sont traitées par le commutateur qui permet d'aiguiller le signal et le transmet uniquement sur la fibre de l'abonné destinataire. L'inconvénient

unique de cette architecture est la nécessité d'avoir une alimentation pour alimenter l'élément actif (figure16).

5.1.4. Architecture mixte

Une architecture, moins coûteuse a été envisagée pour faire venir la fibre optique proche de l'utilisateur : en FTTB ; FTTN ; FTTC, est de couvrir les derniers dizaines ou centaines de mètres qui restent avec un réseau cuivre (DSL avec le réseau téléphonique). Le débit de cette architecture est moins élevé qu'avec une architecture FTTH point à point ou point multipoint(figure17)..

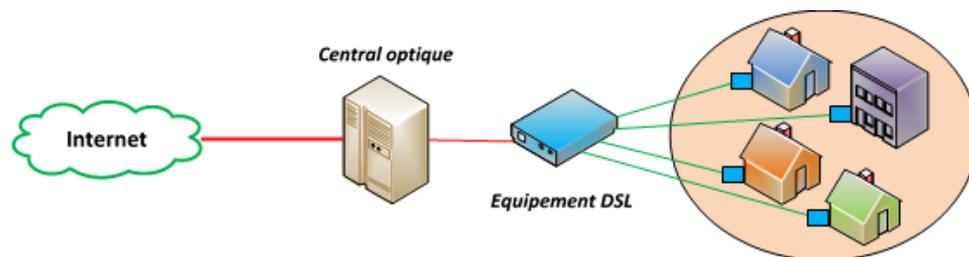


Figure 17: Architecture mixte

6. La multiplexage par répartition de code (CDMA)

La technique CDMA (Code Division Multiple Access), est une technique qui permet la transmission simultanée des signaux lumineux sur la même bande de fréquence. Cette technique permet d'étaler la bande spectrale de l'information transmise sur une bande N fois plus large, ou N est la longueur du code. D'où les différents signaux sont distingués par des codes différents associés à chacun des clients.

Références bibliographiques

1- Pierre Lecoy « *Communications sur fibres optiques* » 4eme édition, réseaux et systèmes et télécoms, édition Lavoisier, Paris 2015

2-Wassila BERROUANE « *Etude de conception d'une chaîne de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-Nitrures* » Thèse de doctorat, Université DJILALI LIASES, Sidi Bel-Abbès, 2018

3-Nassima BOUDRIOUA « *Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD* » Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine, Metz, France 2007

4- Mr. Djellouli Mohamed et Mr. Hamouda Abdelmadjid « *L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux des télécommunications* » mémoire de Master Université de Saida, 2016

5- Benbessem yesmine et Benidir Nouha « *Conception d'un modulateur Mach-Zehnder à base de cristaux photoniques* » mémoire de Master, encadré par Mme LABBANI, Université de Constantine, 2019

6-Max Frejus Owolabi Sanya « *Déploiement de réseaux optiques d'accès NGPON dans des métropoles de pays en développement : proposition de nouvelles techniques d'implémentation de l'OFDM* » Thèse de doctorat, Université de Limoges, France 2015.

7-Wei Shi "*Modulation Optique*" Département de génie électrique et de génie Informatique, Université de Laval, France 2016.

8- Sami Baraketi, Ingénierie des réseaux optiques SDH et WDM et Etude Multicouche IP /MPLS sur OTN sur DWDM, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2015.

Site web

https://www.researchgate.net/publication/305181019_Technologie_WDM_en_telecoms_optiques_avancees/figures

<http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2003ttnfa04/combet-guillaud/html/multiplexage.htm>

<https://www.cercle-credo.com/docs/developpement-des-reseaux-a-tres-haut-debit-ftth.pdf>