



Introduction

Cours 1

INTRODUCTION

La communication par fibre optique est le mode de communication de données le plus moderne et le plus avancé qui a des racines très récentes qui remontent à pas plus de 50 ans. Les scientifiques de le domaine des télécommunications du monde entier étaient à la recherche incessante d'un moyen de communication de données à large bande et à faible perte qui pourrait être utilisé à des débits de données élevés avec le moins de pertes possible. Cette recherche constante, pour un tel support, a conduit au développement de la communication par fibre optique. Laissez-nous avoir un bref aperçu de l'histoire des télécommunications.

HISTOIRE

La première révolution dans le domaine des télécommunications est survenue lorsque Sir Alexander Graham Bell a réussi à convertir les signaux vocaux en signaux électriques qui ont été transmis sur des fils électriques puis reconvertis en signaux vocaux. Ce fut la percée majeure dans le domaine de la communication. Depuis cette époque, le besoin de bande passante pour la communication augmente en raison de l'augmentation constante du nombre d'utilisateurs. Plus de gens voulaient communiquer et donc de larges bandes passantes étaient nécessaires, forçant ainsi les scientifiques de la communication à rechercher de nouvelles possibilités. Cette tendance à la hausse, de besoin de larges bandes passantes, se poursuit même aujourd'hui.

SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

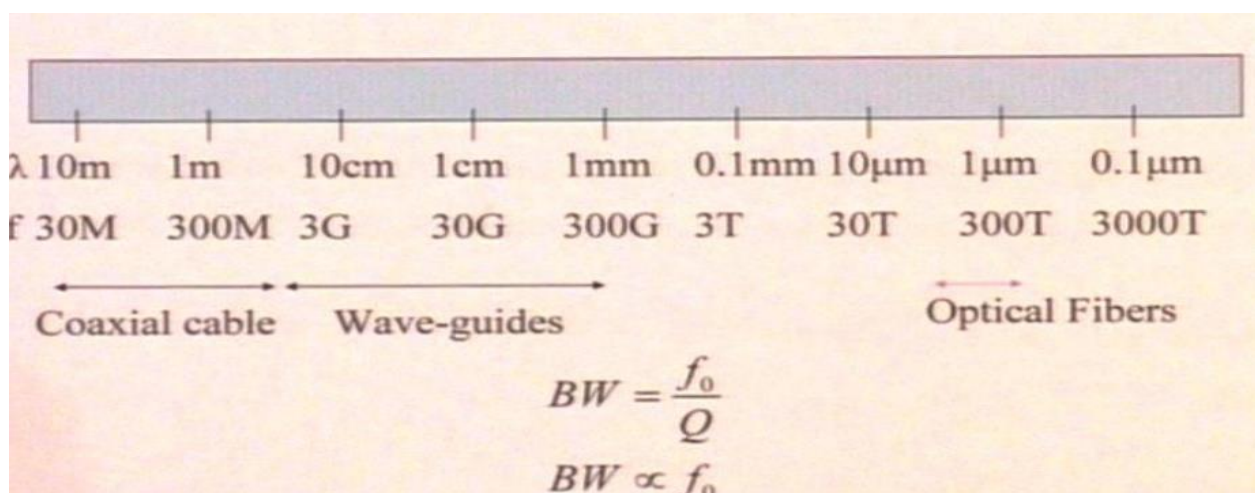


Fig.1.1: Spectre électromagnétique

Les communications initiales ont commencé à des fréquences de fonctionnement inférieures d'environ 30 MHz. Les bandes passantes alors nécessaires étaient également faibles. Depuis lors, les fréquences de fonctionnement ont considérablement augmenté en raison des besoins importants en bandes passantes. Jetons un œil au spectre électromagnétique pour avoir une idée de notre discussion.

Le moyen de transmission utilisé pour les fréquences de fonctionnement jusqu'à environ 1 GHz était des câbles coaxiaux dans lesquels il y avait un conducteur central entouré d'une couche de matériau diélectrique et le matériau diélectrique était entouré d'une couche métallique externe. L'énergie électromagnétique a transporter le long de ces câbles et s'est confinée entre les deux couches métalliques. Ces câbles avaient une perte d'environ 20 dB / km. Lorsque les fréquences de fonctionnement augmentaient encore, les câbles coaxiaux se sont révélés inadéquats et avec perte, ce qui a nécessité un autre support appelé guides d'ondes. Ce sont essentiellement des structures creuses qui guident l'énergie électromagnétique d'un point à un autre à travers elles. Mais à mesure que la fréquence de fonctionnement augmentait à quelques centaines de gigahertz, ces guides d'ondes se sont également révélés inadéquats car il n'existait aucun circuit électronique de support pouvant fonctionner à des fréquences aussi élevées. La raison derrière cela était qu'à des fréquences aussi élevées, même la taille du composant électronique commençait à montrer quelques variations dans le comportement du circuit et les composants électroniques ne pouvaient plus être traités comme des éléments localisés. Par conséquent, cela a conduit à un fort besoin de rechercher d'autres alternatives, car bien qu'il semble y avoir eu un arrêt de la technologie disponible, mais il n'y a pas eu d'arrêt de la demande toujours croissante de bande passante.

Des scientifiques du monde entier ont commencé à explorer de nouvelles possibilités et ont cherché dans le domaine optique qui était déjà utilisé dans des expériences de laboratoire. L'idée était que, si la relation déjà bien établie entre la bande passante (BW) et la fréquence de fonctionnement (f_0) se maintenait aux fréquences optiques, nous émergerions avec une nouvelle option de communication qui augmenterait la bande passante existante de 1000 à 10000 fois. Des recherches approfondies ont montré que le domaine optique avait le potentiel d'être utilisé pour la communication. Deux questions très évidentes viennent alors à l'esprit: existe-t-il ou non des émetteurs et des récepteurs disponibles pour cette nouvelle technologie de communication et la deuxième question de savoir s'il existe ou non un support à large bande et sans perte pour transporter des signaux optiques.

À première vue, les deux questions semblent triviales. En effet, nous avons déjà beaucoup de sources de lumière dans notre vie quotidienne, par exemple ampoules à incandescence, ampoules à gaz, LED, lampes fluorescentes, etc. Alors pourquoi se soucier des sources? De même, la deuxième question a également une réponse très évidente. La lumière brillante du soleil, qui se trouve à des millions d'années de notre lumière, nous parvient, même par le vide (dans l'espace) et aussi l'atmosphère terrestre. L'air semble donc être un milieu très efficace pour la propagation de la lumière. Alors pourquoi avoir besoin d'un support spécial pour les signaux optiques? Mais si les questions semblent simples à répondre, elles ne le sont pas.

Une lampe à incandescence normale émet de la lumière dans toutes les directions. Si nous gardons une lampe à incandescence allumée sur le toit et que nous nous éloignons lentement de celle-ci, nous verrons sa lueur même d'un kilomètre ou peut être de 10 km. Mais si nous allons au-delà, nous observerons sa luminosité s'estomper et après une certaine distance, elle deviendra pratiquement invisible à la vue. Ainsi, nous constatons que même si nous pensons que l'air est un milieu lumineux très efficace, son efficacité se réduit à zéro après quelques kilomètres. Nous ne pouvons donc pas accepter le milieu aérien comme nous le pensions auparavant, car dans le domaine des télécommunications, nous ne parlons pas seulement d'une centaine de kilomètres mais de milliers de kilomètres. Cette notion implique donc la nécessité d'un support spécial pour transporter la lumière sur des longues distances. Compte tenu de ce besoin, l'option suivante de la liste était le verre qui semblait également être un milieu très transparent et était peut-être déjà utilisé dans les expériences de laboratoire pour transporter la lumière. Les physiciens utilisent déjà verre sous forme de prismes ou de lentilles pour guider et focaliser les lumières dans différentes expériences en laboratoire. Cependant, lorsque le verre était utilisé en laboratoire pour guider ou focaliser la lumière, on parle ici encore de distances qui peuvent être de l'ordre de quelques mètres seulement, sur lesquelles la lumière a été transportée, et quelle que soit la perte de verre, elle est relativement petite sur de si petites distances. La question est donc que si le verre est utilisé comme support pour transporter la lumière sur les distances nécessaires à la communication, fournira-t-il un support à faible perte et répondra-t-il également aux exigences d'une communication fiable? Un oui aurait déjà facilité le travail. Mais malheureusement, la réponse à cette question est non. La raison de cette déception est que lorsque des expériences ont été effectuées sur les caractéristiques de perte du verre, il s'est avéré que le verre avait une très forte atténuation d'environ 1000 dB / Km. Ainsi le verre, qui nous paraît si transparent, ne

l'est pratiquement pas. Cela signifie que si la lumière est envoyée sur une tige de verre, elle s'atténue de 1000 dB sur une distance de seulement 1 km. Ainsi, à première vue, le verre semblait être très inefficace pour être utilisé comme moyen de communication optique, bien qu'il réponde aux exigences des expériences de laboratoire. Mais une étude approfondie et des expérimentations sur la nature du verre ont apporté une idée très intéressante aux scientifiques que le chiffre de perte de 1000 dB / Km de verre n'était pas dû à la nature intrinsèque du verre. En d'autres termes, une perte élevée n'était pas une caractéristique du verre en tant que substance et n'était pas due aux molécules de verre. En fait, la perte était due aux impuretés présentes dans le verre. Ces impuretés n'ont pas été retirées des prismes et lentilles en verre utilisés en laboratoire car leur présence n'a pas entraîné d'erreur dans les mesures. Dès que cela a été réalisé, le verre a commencé à être fabriqué avec la meilleure pureté possible avec la meilleure technologie de fabrication disponible au début des années 60. Lors de la première purification, le verre fabriqué avait une perte d'environ 20 dB / km. Bien que cette perte semble encore importante aujourd'hui, elle était comparable à l'époque aux autres supports de communication déjà disponibles comme les guides d'ondes et les câbles coaxiaux. Autrement dit, si nous utilisons une tige de verre purifié comme moyen de communication, elle fournirait presque la même perte (d'environ un facteur 100) que le ferait un câble coaxial ou un guide d'ondes, mais à des largeurs de bande de 1000 à 10000 fois plus grand qu'eux. Ainsi, il a attiré des scientifiques pour explorer davantage ce nouveau médium. C'est peut-être la raison pour laquelle le verre est moulé sous la forme de fibres (appelées fibres optiques) utilisées aujourd'hui pour la communication optique.

La deuxième question à laquelle il faut maintenant répondre concerne la disponibilité d'une source de lumière. Superficiellement, c'est une question très simple à laquelle il faut même répondre. Cette banalité est due au fait que nous voyons tant de sources de lumière différentes dans notre vie quotidienne qu'elles semblent presque omniprésentes. Par exemple, les ampoules à incandescence, les lampes à tube, les lampes fluorescentes, etc. La question est maintenant de savoir si une ampoule électrique ordinaire peut ou non être utilisée pour transporter ou transmettre des informations. Un signal porteur dans un système de communication transporte des informations grâce à une variation d'une ou plusieurs de ses caractéristiques comme l'amplitude, la fréquence ou la période de temp. Ainsi, si nous avons une source dont l'amplitude et la fréquence ne changent pas avec le temps, cette source ne peut pas être utilisée pour transporter des informations. Si nous voulons utiliser l'ampoule

électrique comme source, nous devons changer l'amplitude ou la fréquence (ou les deux) de la lumière émise par elle. La question est maintenant de savoir combien il est difficile de le faire. Les études ont montré que la vitesse à laquelle une ampoule électrique peut être allumée et éteinte, conformément au signal d'information, n'est pas assez rapide. En d'autres termes, la fréquence de fonctionnement ne peut être que de quelques cycles. Clairement alors, si nous voulons que nos bandes passantes soient grandes, ces ampoules et lampes à tube ne sont pas des sources appropriées.

La vitesse à laquelle une source de signal optique peut être activée et désactivée dépend de la largeur spectrale de la source. Cela signifie que, si nous étudions une source qui a une très grande largeur spectrale (disons, par exemple, de la lumière blanche), nous trouverions que cette source a une très faible fréquence de fonctionnement. En d'autres termes, afin d'avoir une source qui peut fonctionner à des fréquences de signaux optiques, sa largeur spectrale doit être aussi étroite que possible. Par coïncidence, les LASER ont été inventés presque au même moment que la recherche de sources spectrales étroites était en cours. Les LASER se sont avérés avoir des largeurs spectrales suffisamment étroites et une directivité de faisceau élevée, suffisantes pour être utilisées comme sources de signaux optiques. Nous avons donc eu une compatibilité des supports optiques et des sources optiques. Les premiers LASERS ont émis des lumières de longueurs d'onde d'environ 800 nm. Ainsi, les communications optiques initiales ont commencé avec une longueur d'onde de 800 nm en raison de laquelle elle a été appelée la «première fenêtre optique» de la communication optique.

La discussion ci-dessus, par conséquent, donne une très brève introduction à une technologie de communication très intéressante et fascinante appelée la "communication optique". Dans ce contexte d'information, la prochaine question évidente concernerait la structure d'une liaison de communication optique. Un lien de communication optique n'est pas différent de tout autre lien de communication. Il dispose également des trois modules de base: émetteur, récepteur et canal ou support de communication. Une liaison de communication optique typique est illustrée à la figure 1.2.

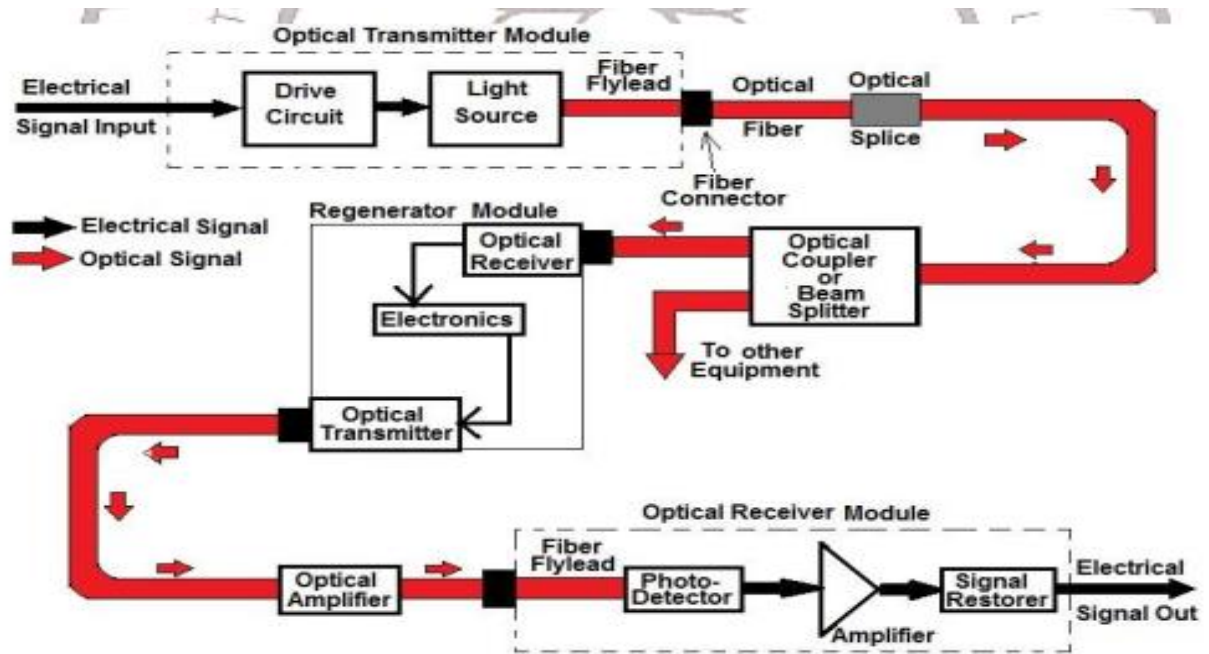


Fig. 1.2 : Modèle de base d'une liaison de communication optique

Le signal électrique, qui peut être un signal audio, vidéo transduit ou tout autre signal de données, est introduit dans le module émetteur en tant qu'entrée d'un circuit de commande. Le circuit interne du module émetteur convertit le signal de données du domaine électrique vers un domaine optique compatible et ce signal optique est ensuite transmis. Ce signal traverse ensuite le support optique qui est une fibre optique. Afin de récupérer le signal de données optique à partir du signal atténué sur la fibre, des répéteurs sont fournis pour assurer un SNR élevé à la sortie. Ce signal régénéré (récupéré) est ensuite retransmis à travers la fibre pour atteindre le module récepteur sous la meilleure forme possible et dans les plus brefs délais. Le module récepteur détecte (reçoit) le signal transmis dans le domaine optique, puis le reconvertit en signal électrique d'origine pour atteindre la destination prévue.

Dans ce cours de "Systèmes de Transmission et Architectures Optiques", nous allons approfondir les détails des trois modules ci-dessus. l'émetteur, le récepteur et le régénérateur ainsi que les systèmes qui doivent être configurés autour de ces modules pour obtenir une liaison de communication optique fiable. Tout d'abord, nous commençons par les principes de propagation de la lumière dans une fibre optique et examinons les conditions de base requises pour une transmission à faible perte de lumière à travers la fibre optique. Nous discutons également de la question de la génération de porteuses de signaux optiques et de sa modulation.

Nous étudierons les deux sources optiques à savoir. Diodes électroluminescentes (LED) et diodes LASER. Par la suite, nous étudierons les détecteurs optiques dans le module récepteur et parlerons des rapports signal / bruit des signaux reçus ainsi que des différents aspects de la communication par fibre optique. Ayant compris ces concepts de base de la communication optique, nous discuterons de sujets avancés dans la communication par fibre optique comme les réseaux optiques; phénomènes de fibres optiques non linéaires et nous aurons également une idée de base de la technologie de multiplexage en longueur d'onde (WDM) qui est utilisée pour améliorer la capacité d'une liaison de communication optique. Autrement dit, en commençant par les bases mêmes de la communication optique au début, nous passerons aux sujets les plus avancés vers la fin de ce cours.

Il y a certaines conditions préalables que le lecteur doit bien connaître. Premièrement, afin de comprendre la propagation des signaux optiques dans des supports optiques comme les fibres optiques, le lecteur doit être très clair avec les principes fondamentaux de la lumière. Il faut comprendre la nature et les différentes caractéristiques de la lumière et aussi être clair avec la propagation de la lumière dans les supports optiques. En d'autres termes, il faut connaître certains concepts de base de la propagation et des caractéristiques des ondes électromagnétiques. Tout en discutant des différentes sources optiques comme les LASER et les LED, le lecteur est supposé avoir une compréhension des bases de la physique des particules et de la physique des semi-conducteurs. Enfin, tout en discutant des différents aspects de la communication optique, le lecteur est supposé avoir une compréhension de base des différentes caractéristiques d'un système de communication typique comme les schémas de modulation, le rapport signal / bruit (SNR), le taux d'erreur de bit (BER) etc.

RÉFÉRENCES

- 1) "*Optical Fiber Communication*"- G. Keiser, McGraw Hill, 3rd edition 2000.
- 2) "*Fiber Optic Communication Systems*"- G.P. Agrawal, Wiley, New York, 2nd edition 1997.
- 3) "*Optical Fiber Communications*"- J.M. Senior, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2nd edition 1992.
- 4) "*Optical Fiber Telecommunications*"-Volume-II, S.E. Miller and I.P. Kainow, eds., Academic, New York 1988.
- 5) "*Optical Fiber Telecommunications*"-Volume-III, Vols. A and B, I.P. Kainow and T.L. Koch, eds., Academic, New York 1997.
- 6) "*Fiber Optic Communications*"- J.C. Palais, Prentice Hall, New York, 4th edition

1998.

- 7) “*An Introduction to Fiber Optic Systems*”- J. Powers, Irwin, Chicago. 2nd edition 1997.
- 8) “*Non Linear Fiber Optics*”-G.P. Agrawal, Academic, New York, 2nd edition 1995.
- 9) “*Optical Networks*”- R. Ramaswami and K. Sivarajan, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1998.
- 10) “*Optical Communication Networks*”- B. Mukherjee, McGraw Hill, New York, 1997.
- 11)(a) “*Physics of Semiconductor Devices*”- S.M. Sze, Wiley, New York, 1981.
(b) “*Modern Semiconductor Device Physics*”- S.M. Sze, Wiley, New York, 1988
- 12) “*Optical Electronics*”-A.K. Ghatak and K. Thyagrajan, Cambridge Press.
- 13) “*Introduction to Fiber Optics*”- A.K. Ghatak and K. Thyagrajan.
- 14) “*Handbook on Fiber Optic Communication*”- Allard.
- 15) “*Semiconductor Optoelectronic Devices*”- Pallab Bhattacharya, Prentice Hall, 2nd edition 1997.

Ceci est une liste indicative. Au fur et à mesure que nous avancerons dans le cours, d'autres livres pourront être introduits en conséquence. Par conséquent, le programme de ce cours sur la fibre optique peut être grossièrement classé sous les chapitres suivants:

- Fibres optiques
- Sources optiques
- Détecteurs optiques
- Systèmes de communication optique
- Réseaux optique