

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI CHLEF

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Polycopié de Cours

Supports de Transmission

Destiné aux étudiants
de la 3^{ème} Licence en Télécommunications

Réalisé par
MOSTARI LATIFA

Décembre 2019

Table des Matières

Introduction Générale	1
 Chapitre I- Caractéristiques des Supports de Transmission	 3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Bande passante.....	3
I.3 Atténuation.....	4
I.4 Sensibilité aux bruits	7
I.5 Impédance caractéristique.....	7
I.6 Coefficient de réflexion	8
I.7 Rapport d'onde stationnaire	9
I.8 Utilisation de l'abaque de Smith	9
 Chapitre II- Conducteurs Electriques	 13
I.1 Introduction.....	13
II.2 Câbles coaxiaux	13
II.3 Câbles à paires torsadées	16
II.4 Normes et catégories	22
 Chapitre III- Fibres optiques	 24
I.1 Introduction.....	24
III.2 Caractéristiques	24
III.3 Types de fibres optiques.....	28
III.4 Avantages	31
III.5 Domaines d'application de la fibre optique	32
 Chapitre IV- Faisceaux Hertziens	 33
I.1 Introduction.....	33
IV.1 Généralité	33
IV.2 Principales fréquences et bandes	35
IV.4 Liaison satellitaire	38

Chapitre V- Faisceaux Infrarouges	43
I.1 Introduction.....	43
IV.1 Généralité	43
IV.2 Spectre de l'infrarouge	44
IV.3 Bandes spectrales des radiations infrarouges	44
IV.4 Source de l'infrarouge	47
IV.5 Historique	47
IV.6 Fonctionnement de l'infrarouge	48
IV.7 Application physique (Loi de Wien)	50
IV.8 Utilisations	51
 Conclusion Générale	 56
 Références	 57

Introduction Générale

En télécommunication, l'ensemble des procédés et d'équipements mise en place lors de la transmission de l'information depuis l'émetteur jusqu'au récepteur sont montrés par un système de communications. D'une manière simplifiée, le schéma général d'un système de communications peut être représenté comme suit :

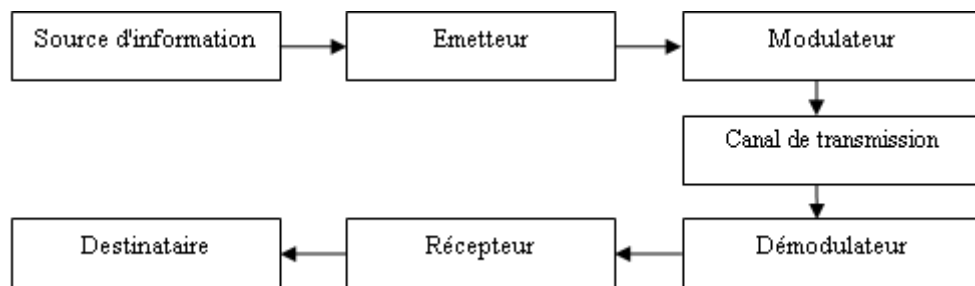


Figure- Schéma de base d'un système de communication

Un système de communication véhicule de l'information entre une source à un destinataire. La source d'information et le destinataire sont en général séparés par une distance considérable. Le canal de transmission, en même temps qu'il assure la connexion entre ces deux entités, dégrade le signal transmis. Il faut alors mettre en place un système d'émission-réception pour minimiser l'effet du canal sur le signal. Le canal constitue le support de transmission entre l'émetteur et le récepteur. Il représente le lien physique entre l'émetteur et le récepteur.

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : les supports matériels tels que : les supports métalliques et non-métalliques pour les transmissions filaires et les supports immatériels pour les transmissions non-filaires.

Les supports matériels, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés; ils transportent des courants électriques. Les supports de

verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent la lumière. Et les guides d'onde propagent des ondes électromagnétiques.

Tandis que les supports immatériels pour des communications sans fil propagent des ondes électromagnétiques (ondes radio, ondes hertziennes...) dans l'atmosphère ou dans le vide. Le dispositif de stockage est également un genre de support, lequel peut être envoyé à... par écrit et être reçu de... par lecture.

L'espace libre ou l'air est le milieu de transmission non-filaire. Les ondes électromagnétiques (ondes radio, ondes hertziennes...) se propagent dans l'atmosphère ou dans le vide.

Dans ce cours, on s'intéresse aux supports de transmission. Le chapitre I présente les caractéristiques de supports de transmission. Le deuxième chapitre discute les conducteurs électriques. Dans le troisième chapitre, on donne une description des fibres optiques. Le chapitre quatre vise à montrer les faisceaux hertziens. Enfin, le cours se termine avec les faisceaux infrarouges.

Chapitre I

Caractéristiques des Supports de Transmission

I.1 Introduction

Les supports de transmission affectent souvent les signaux transmis par différents types de perturbations et de dégradations dues essentiellement à leurs caractéristiques tels que: la bande passante, l'atténuation, sensibilité aux bruits,....

Dans ce chapitre, on présente les caractéristiques des supports de transmission : bande passante, atténuation, sensibilité aux bruits, impédance caractéristique, coefficient de réflexion et rapport d'onde stationnaire. Enfin, on termine par l'étude de l'Abaque de Smith permettant de déterminer graphiquement les paramètres d'un support de transmission.

I.2 Bande Passante

Les supports de transmission ont une bande passante (une gamme de fréquence) limitée. Certains signaux s'y propagent correctement (ils sont affaiblis mais reconnaissables à l'autre extrémité), alors que d'autres ne les traversent pas (ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les reconnaît plus à la sortie) (figure I.1).

Intuitivement, plus un support a une bande passante large, plus il transporte d'informations par unité de temps.

La largeur de la bande passante est la caractéristique essentielle d'un support de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse donc passer qu'une bande limitée de fréquence appelée bande passante. Toute fréquence en dehors de cette bande est fortement affaiblie.



Figure I.1- Sortie d'un support de transmission

La bande passante est la bande de fréquences dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support de transmission ont une puissance de sortie supérieure à un seuil donné après traversée du support. Le seuil fixé correspond à un rapport déterminé entre la puissance du signal d'entrée et la puissance du signal trouvé à la sortie P_e/P_s .

Un support de transmission, caractérisé comme on a vu précédemment par une bande passante limitée, ne peut donc en aucun cas transmettre fidèlement un tel signal et celui-ci ne peut être transmis qu'amputé de ses fréquences se trouvant en dehors de la bande passante du canal.

On montre cependant que pour garantir une transmission correcte du signal, il n'est pas nécessaire que le canal transmette fidèlement toutes les fréquences du signal, mais il suffit qu'il transmette correctement que la largeur de bande de ce signal, définie comme étant l'ensemble de fréquences où est localisé l'ensemble de l'énergie du signal.

I.3 Atténuation

Un canal de transmission atténue (affaiblit) l'amplitude du signal qui le traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à une perte d'énergie du signal pendant sa propagation sur le canal.

L'atténuation augmente avec la diminution de la fréquence et/ou de la distance. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la fréquence du signal et de la bande passante du système.

De plus lors de la collision avec un obstacle, la valeur de l'atténuation dépend fortement la nature des obstacles. Généralement les obstacles métalliques provoquent une forte réflexion, tandis que l'eau absorbe le signal.

Lorsqu'une onde électromagnétique rencontre un obstacle, ou un autre milieu différent, une partie de son énergie est absorbée et transformée, une partie continue à se propager de façon atténuée et une partie peut éventuellement être réfléchiée. Il y a réflexion d'une onde électromagnétique sur une surface quand celle-ci est électriquement différente de son milieu de propagation (changement d'impédance du milieu et passage de n_1 à n_2).

Si n_2 est peu différent de n_1 , il y a simplement réfraction d'un angle α ,), comme l'illustre la figure I.2.

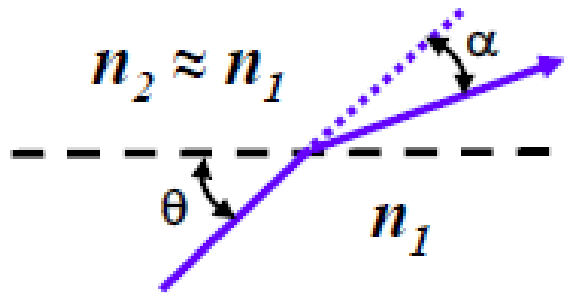


Figure I.2- Réfraction d'un signal

Si n_2 est très différent de n_1 , il y a réflexion comme l'illustre la figure I.3.

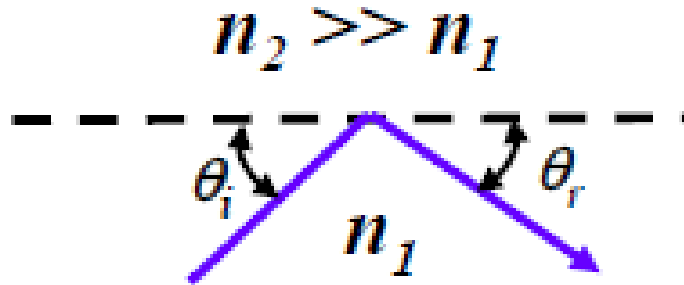


Figure I.3- Réflexion d'un signal

L'atténuation α est donnée par la formule :

$$\alpha = 10 \times \log_{10}(P_s/P_e) \quad [dB] \quad (I.1)$$

Avec: P_s est la puissance de sortie et P_e est la puissance d'entrée

Une onde radio est susceptible de se propager dans plusieurs directions, c'est le cas d'un canal de transmission à trajet multiple (canal à évanouissement) comme représente la figure I.4. Ce phénomène provient des réfractions et réflexions successives du signal émis dans un environnement changeant.

Un canal à trajets multiples introduit des atténuations et des retards variables avec le temps. Le signal résultant est égal à la somme des signaux, provient d'un même signal source, atténués et retardés différemment.

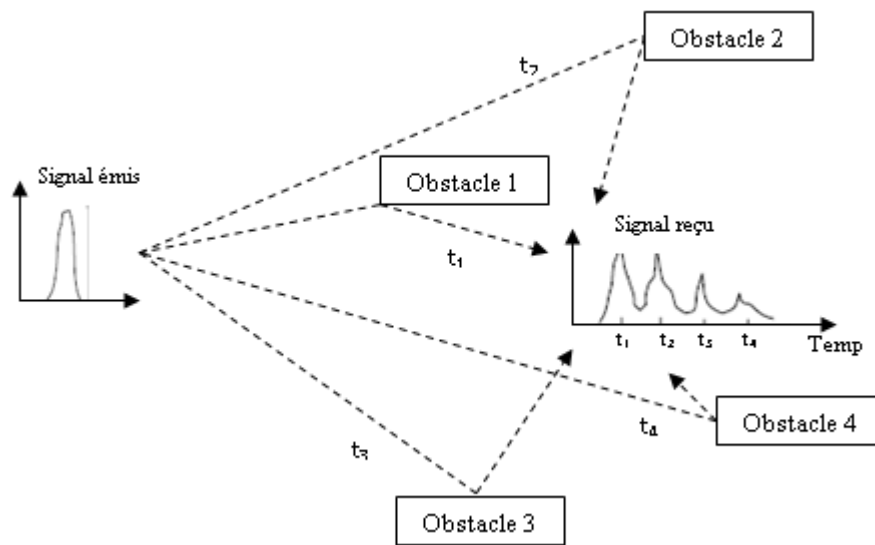


Figure I.4- Canal multi-trajet

Le signal atténué, à la sortie du canal (figure I.5), à l'instant nT , est modélisée à l'aide de l'expression suivante :

$$Y_n = \alpha_n X_n + z_n \quad (\text{I.2})$$

Où :

- X_n représente le signal transmis à l'instant nT ;
- Y_n est le signal reçu correspondant ;
- α_n est l'atténuation aléatoire caractérisant le canal à l'instant nT ;
- z_n est le bruit.

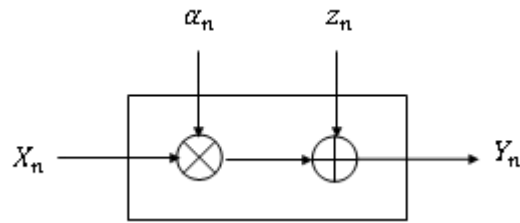


Figure I.5- Un trajet d'un signal dans un canal multi-trajet

I.3 Sensibilité aux bruits

Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent, même lorsque leurs fréquences sont adaptées. Diverses sources de bruit perturbent les signaux : parasites, phénomènes de diaphonie... Certaines perturbations de l'environnement introduisent également des bruits (foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers...).

Le bruit est un signal perturbateur provenant du canal lui-même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient s'ajouter au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les erreurs de transmission.

On distingue généralement deux types de bruit : le bruit blanc et le bruit impulsif.

I.4 Impédance caractéristique

La bonne transmission de l'information, via une ligne de transmission, suppose le bon transfert de l'énergie ce qui suppose une bonne adaptation des impédances à l'entrée et la sortie de la ligne de transmission. Cette bonne adaptation se produit quand l'impédance des terminaisons est égale à l'impédance caractéristique de la ligne.

Pour une ligne de transmission réelle (avec pertes), l'impédance caractéristique est donnée par la formule suivante:

$$Z_c = \frac{\sqrt{R+jLw}}{\sqrt{G+jCw}} \quad (\text{I.3})$$

Où R , G , L et C sont respectivement la résistance, la conductance, l'inductance et la capacité d'un seul tronçon élémentaire de la ligne comme l'illustre la figure I.6. Rappelons que toute ligne régulière et uniforme se laisse représenter électriquement par une somme de tronçons élémentaires très petits (longueur dx).

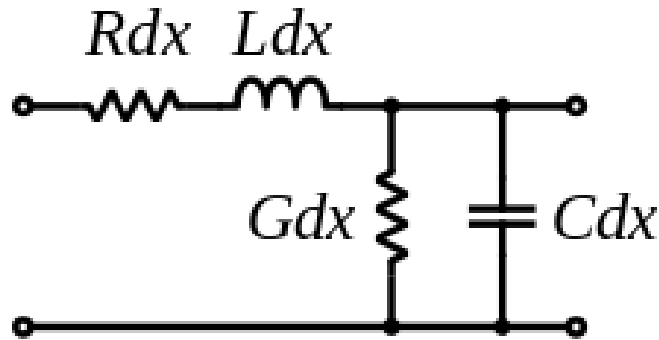


Figure I.6- Circuit d'un tronçon élémentaire d'une ligne de transmission

L'impédance caractéristique d'une ligne de transmission idéale (c'est à dire une ligne sans perte $R = 0$ et $G = 0$) est définie par:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{I.4})$$

I.5 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion en un point d'abscisse x quelconque est défini comme étant le rapport de l'amplitude de l'onde réfléchie sur l'amplitude de l'onde incidente.

An niveau du récepteur, le coefficient de réflexion est donné par:

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} \quad (\text{I.5})$$

Où Z_R est l'impédance de charge au niveau du récepteur.

I.6 Rapport d'onde stationnaire (ROS)

Le rapport d'onde stationnaire peut être exprimé en fonction du coefficient de réflexion.

$$\rho = \frac{1+|\Gamma_R|}{1-|\Gamma_R|} \geq 1 \quad (\text{I.6})$$

I.7 Utilisation de l'abaque de Smith

L'abaque de Smith permet de déterminer graphiquement en régime harmonique, l'impédance et le coefficient de réflexion le long d'une ligne désadaptée et sans pertes.

L'abaque de Smith est constituée de deux famille de cercles ont un point commun est ($p = 1; q = 0$) coïncident avec $x \rightarrow \infty$ et $r \rightarrow \infty$ et sont orthogonaux entre eux. Avec x et r sont respectivement les parties réelle et imaginaire de l'impédance de la ligne réduite z :

$$z = \frac{Z}{Z_c} = r + jx \quad (\text{I.7})$$

Sur l'abaque de Smith, on travaille sur des valeurs réduites (normalisées) qui sont égales au rapport entre la valeur réelle et la valeur de l'impédance caractéristique.

I.5.1 Détermination du Γ_R et l'impédance de la ligne Z

Le ROS, Γ_R , peut être défini sous la forme suivante:

$$\Gamma_R = |\Gamma_R|e^{j\varphi} \quad (\text{I.8})$$

Le terme $|\Gamma_R|e^{j\varphi}$ est un nombre complexe qu'on pourra représenter de deux façons différentes, en coordonnées polaires et dans le plan complexe ($p ; q$).

- La connaissance de Γ_R c'est à dire $|\Gamma_R|$ et φ nous donnera la valeur de z c'est à dire r et x en traçant $|\Gamma_R|$ à partir du plan complexe et en le tournant de l'angle correspondant φ (le tour correspond à un déplacement sur la ligne d'une distance $\lambda/2$. Le point trouvé correspondra à l'intersection des cercles de r et x

qui sont en fin de compte l'impédance recherchée (voir le diagramme qui suivra);

- La connaissance de z nous permettra de déterminer Γ_R et cela en déterminant le point d'intersection des cercles des valeurs de r et x correspondant de z (voir le diagramme qui suivra). Les valeurs trouvées de z sont des valeurs réduites donc il faudrait multiplier par Z_c pour déduire finalement Z réelle.

I.5.2 Détermination du ROS (ρ)

Les impédances maximales Z_M et minimales Z_m peuvent être exprimées en fonction de ρ :

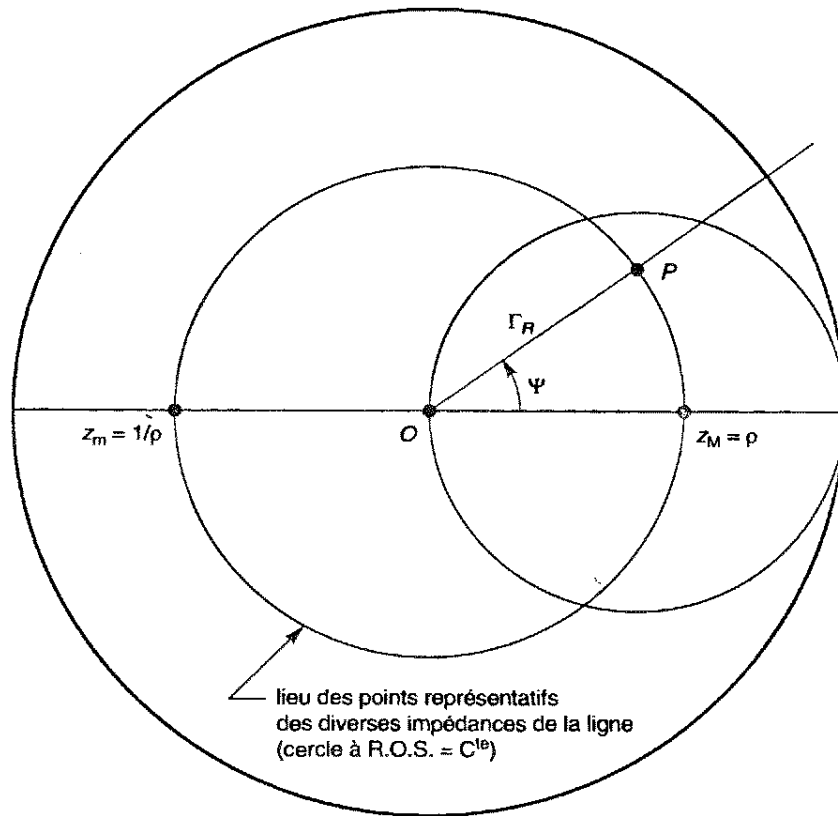
$$Z_M = Z_c \rho \quad \rightarrow \quad z_M = \frac{Z_M}{Z_c} = \rho : \text{valeur réduite} \quad (\text{I.9})$$

$$Z_m = \frac{Z_c}{\rho} \quad \rightarrow \quad z_m = \frac{Z_m}{Z_c} = \frac{1}{\rho} : \text{valeur réduite} \quad (\text{I.10})$$

Z_M et Z_m sont purement réelles, elles seront donc contenues dans l'axe $x = 0$ c'est à dire confondues avec l'axe des réels p .

La connaissance donc du $|\Gamma_R|$ ou de la charge réduite z_R nous permettra de déduire directement la valeur du ρ ou son inverse $\frac{1}{\rho}$ en traçant le cercle de rayon $|\Gamma_R| = \text{constante}$ qui coupera l'axe des réels (voir le diagramme de la figure I.7).

- Le point M situé entre $r = 0$ et $r = 1$ correspond à z_m donc à $\frac{1}{\rho}$.
- Le point N situé entre $r = 1$ et $r \rightarrow \infty$ correspond à z_M donc à ρ .



I.7- Détermination du ROS à l'aide de l'abaque de Smith

I.5.3 Détermination de l'impédance de charge

Connaissant ρ et la distance de la charge à un minimum ou un maximum, on déduira rapidement l'impédance de charge.

- On trace tout d'abord le cercle correspond à ρ ;
- On pointe le point M (ou N) qui correspond à un minimum (ou maximum) d'impédance;
- On tourne de l_m/λ de 0 (ou ∞) vers la charge (ou le générateur);
- On trace la droite joignant le centre du cercle $\rho(1)$ à la graduation de x_m/λ ;
- On pointe le point d'intersection de cette droite avec le cercle de ρ et on trouve le point p qui correspond à l'impédance de charge réduite z_R dont on lira r et x d'après les cercles qui passent par le point P (voir le diagramme de la figure I.8).

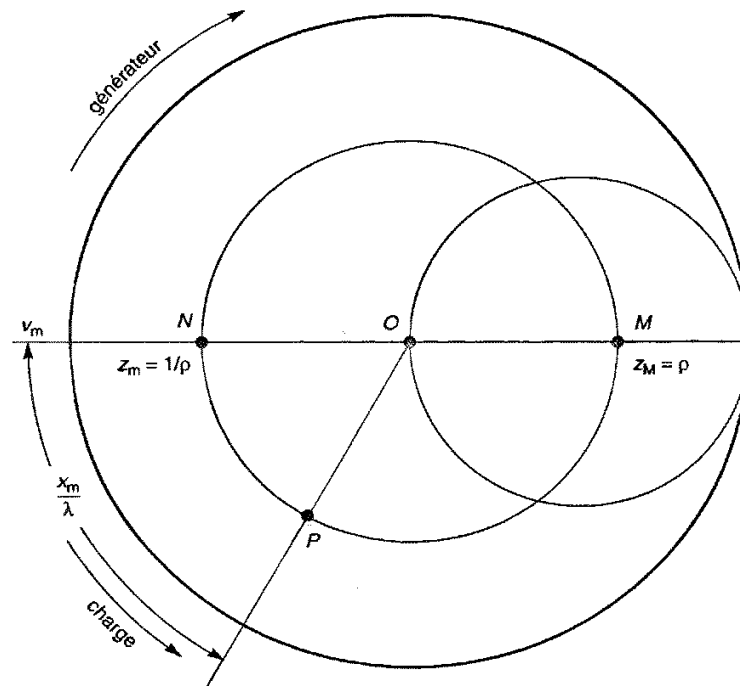


Figure I.8- Détermination de l'impédance de charge à l'aide de l'abaque de Smith

Chapitre II

Conducteurs Electriques

II.1 Introduction

Les conducteurs électriques sont des supports matériels, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés; ils transportent des courants électriques.

Ce chapitre présente deux types de conducteurs électriques : les câbles coaxiaux et les paires torsadées. Ensuite, on donne les normes et les catégories.

II.2 Câbles coaxiaux

Le câble coaxial a longtemps été le câblage de prédilection, pour la simple raison qu'il est peu coûteux et facilement manipulable (poids, flexibilité, ...).

Un câble coaxial est constitué d'un conducteur central (âme), c'est-à-dire un fil de cuivre, enveloppé dans un isolant (diélectrique), puis d'un blindage métallique tressé et enfin d'une gaine extérieure. Le rapport des diamètres du conducteur central et du blindage étant constant afin de garantir une impédance caractéristique constante tout au long du câble.

Chaque câble coaxial à des caractéristiques mécaniques et électriques. Les caractéristiques mécaniques, schématisés dans la figure II.1, sont les suivants :

- **L'âme** ou le conducteur central peut être massif ou en fils torsadés.

Les âmes massives en cuivre recuit argenté sont plus rigides que les âmes multibrins et permettent d'obtenir des câbles à faibles atténuation. Si la flexibilité du câble est une caractéristique importante pour l'utilisateur, celui-ci devra de préférence utiliser un câble à conducteur central multibrins.

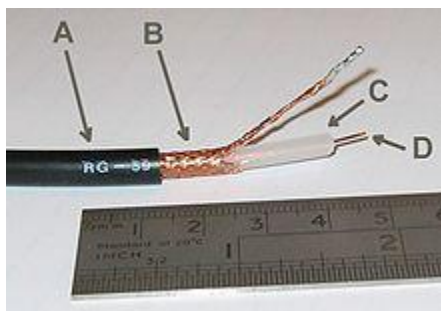
Il existe aussi des âmes en acier cuivré, en acier étamé ou argenté. Elles sont utilisées dans le cas où l'on recherche une résistance mécanique importante.

- **L'isolant** entourant le conducteur central est constitué d'un matériau diélectrique permettant d'éviter tout contact avec le blindage. Les diélectriques les plus utilisés sont le téflon (PTFE) et le polyéthylène (PE). Le téflon microporeux (TM) et le polyéthylène cellulaire permettent d'obtenir des câbles à faibles atténuation.

- **Le blindage** (enveloppe métallique) entourant les câbles permet de protéger les données transmises sur le support des parasites (autrement appelés *bruit*).

Grâce à son blindage, le câble coaxial peut être utilisé sur des longues distances et à haut débit (contrairement à un câble de type pair torsadé), on le réserve toutefois pour des installations de base.

- **La gaine** permet de protéger le câble de l'environnement extérieur. Elle est habituellement en caoutchouc (parfois en Chlorure de polyvinyle, éventuellement en téflon).



Câble coaxial flexible de type RG-59

A : Gaine extérieure en plastique

B : Blindage en cuivre

C : Diélectrique

D : Conducteur central (âme) en cuivre

Figure II.1- Caractéristiques mécaniques d'un câble coaxial

Les caractéristiques électriques du câble sont donc très importantes et très liées aux caractéristiques mécaniques. Les principales caractéristiques électriques sont :

- La fréquence d'utilisation ou la fréquence de coupure du câble.
- Les pertes ou affaiblissement en dB/m .
- L'impédance caractéristique (généralement 50 ou 75 ohms).
- La puissance admissible (la plus élevée avec un diélectrique aéré).
- La vitesse de propagation et le retard linéique (liés au diélectrique).
- La rigidité diélectrique (lié au diamètre de l'isolant).

Il est possible de trouver un câble coaxial :

- entre une antenne TV et un récepteur de télévision;
- dans les réseaux câblés urbains;
- entre des équipements de traitement du son (microphone, amplificateur, lecteur CD...)
- pour le transport d'un signal vidéo, exemple caméra filaire déportée, sur des distances significatives (plusieurs dizaines de mètres).

II.2.1 Connecteurs pour un câble coaxial

Deux types de connecteurs sont généralement utilisés avec le câble coaxial. Le plus courant est le connecteur BNC (*British Naval Connector*) (figure II.2).

Une caractéristique de ce type de câblage est que les extrémités du segment de câble doivent être terminées par un connecteur spécial, le terminateur (bouchon). Ce dernier contient une résistance adaptée aux caractéristiques du câble qui empêche les signaux atteignant l'extrémité du câble de rebondir et de provoquer une interférence.

- Un connecteur BNC en T connecte la carte réseau de l'ordinateur au réseau. Il est directement raccordé à la carte réseau ;
- Un connecteur BNC raccorde des segments de câble aux connecteurs en T
- Un connecteur BNC tubulaire se connecte aux câbles Ethernet fin.
- les deux extrémités du câble doivent recevoir une terminaison. Un terminateur BNC est un connecteur spécial qui contient une résistance soigneusement adaptée aux caractéristiques du système de câblage.
- Un des terminateurs doit être relié à la terre. Un fil partant du connecteur est raccordé à un point mis à la terre, comme sur une prise électrique raccordée à la terre.

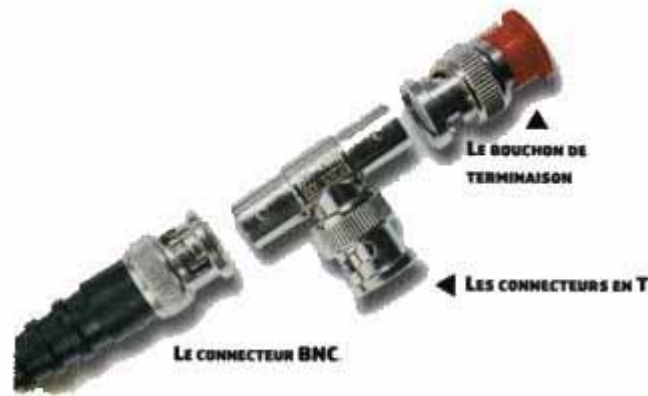


Figure II.2- Connecteurs pour les câbles coaxiaux

II.2.2 Quelques caractéristiques des câbles coaxiaux

- Vitesse et débit : 10 à 100 Mbits/s;
- Coût : Economique;
- Taille du connecteur du média : Moyenne;
- Longueur de câble maximale: 500 m.

II.3 Câbles à paire torsadée

Dans sa forme la plus simple, le câble à paire torsadée est constitué de deux brins de cuivre entrelacés en torsade et recouverts d'isolants. Un code de couleurs normalisé repère chaque fil.

Le câble à paire torsadée a été largement diffusé parce qu'il est à l'origine utilisé pour les lignes téléphoniques. Le câble à paire torsadée est le support le plus utilisé à l'intérieur d'un bâtiment.

L'entrelacement des brins de cuivre permet de limiter les interférences extérieures (moteur, relais, transformateur, ...), toutefois la protection d'un blindage est bien plus efficace pour diminuer les risques d'interférences.

Couramment il est utilisé pour desservir les usagers du service téléphonique abonné du service public ou usagers des réseaux privés. Les signaux transmis par l'intermédiaire des

paires torsadées peuvent parcourir plusieurs dizaines de kilomètres sans amplification ou régénération.

Quand plusieurs paires torsadées sont rassemblées dans un même câble, les signaux électriques qu'elles transportent interfèrent plus ou moins les uns sur les autres par rayonnement. Elle est souvent blindée à fin de limiter les interférences, le blindage peut être appliqué individuellement aux paires, ou à l'ensemble formé par celles-ci. De ce fait on distingue cinq types de paires torsadées.

II.3.1 Caractéristiques des câbles à paire torsadée

Les câbles à paires torsadées ont les caractéristiques suivantes :

- Répond aux spécifications de la norme « 10 base T » ;
- Très utilisé pour les réseaux locaux ;
- Une longueur maximale de 100 mètres ;
- Un débit de 10 à 100 Mb/s ;
- Un câblage peu coûteux, c'est le moins cher ;
- Une installation et des connexions simples ;
- La plus grande flexibilité du câble ;
- La plus grande vulnérabilité aux interférences ;
- Un choix fiable mais qui ne garantit pas l'intégrité des données transmises sur de longues distances et à des débits élevés...

II.3.1 Types de câbles à paires torsadées

Il existe deux types de câbles à paires torsadées :

- Câble à paire torsadée non blindée (UTP : Unshielded Twisted-Pair)
- Câble à paire torsadée blindée (STP : Shielded Twisted-Pair)

II.3.1.1 Câble à paire torsadée non blindée (UTP)

Les composants d'un câble à paire torsadée non blindée (figure II.3):

- Deux ou quatre brins de cuivre entrelacés (torsadés) ;
- Une enveloppe isolante.

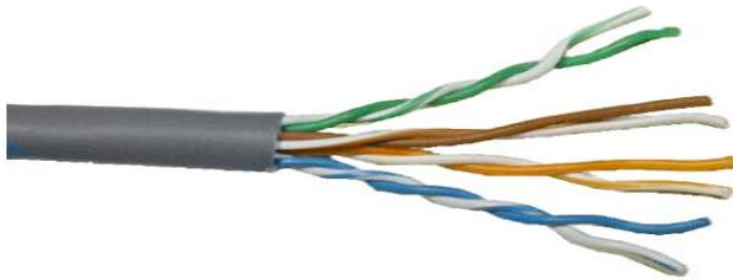


Figure II.3- Câble à paires torsadées non blindées

Les caractéristiques du câble à paire torsadée non blindée (UTP) :

- Utilisé à l'origine pour les lignes téléphoniques ;
- Répond aux spécifications de la norme « 10 base T » des réseaux Ethernet ;
- Très utilisé pour les réseaux locaux ;
- Une longueur maximale de 100 mètres.

II.3.1.2 Câble à paire torsadée blindée (STP)

Le câble STP (figure II.4) utilise une gaine de cuivre de meilleure qualité et plus protectrice que la gaine utilisée par le câble UTP.



Figure II.4- Câble à paires torsadées blindées

Les composants d'un câble à paire torsadée blindée (STP) :

- Quatre brins de cuivre entrelacés deux par deux ;
- Deux blindages autour de chaque couple de brins ;
- Une enveloppe isolante.

Le blindage permet de réduire les interférences (mélanges des signaux électriques de plusieurs lignes,...). Le blindage (STP) permet des transferts de données à des débits plus importants et sur des distances plus grandes que l'UTP.

II.3.2 Connecteurs des câbles à paires torsadées (RJ45)

Les connecteurs sont les mêmes pour les câbles à paires torsadées blindées (STP) ou non blindées (UTP) (figure II.3).

Le connecteur RJ45 comporte 8 broches ou 8 conducteurs. Le connecteur RJ45 ressemble au connecteur RJ11 du téléphone, mais celui-ci est plus petit et ne comporte que 4 broches. Certaines topologies réseaux propriétaires (le pré10 base T) utilisent la paire torsadée avec des connecteurs RJ11, mais ces architectures sont relativement rares.

De nombreuses solutions existent pour centraliser et organiser les câbles et les connexions d'un réseau :

- Des armoires et des étagères de distribution ;

- Des tableaux de connexion extensibles jusqu'à 96 port RJ45 et jusqu'à 100 Mb/s ;
- Des coupleurs de prises ;
- Des prises murales
- Etc...

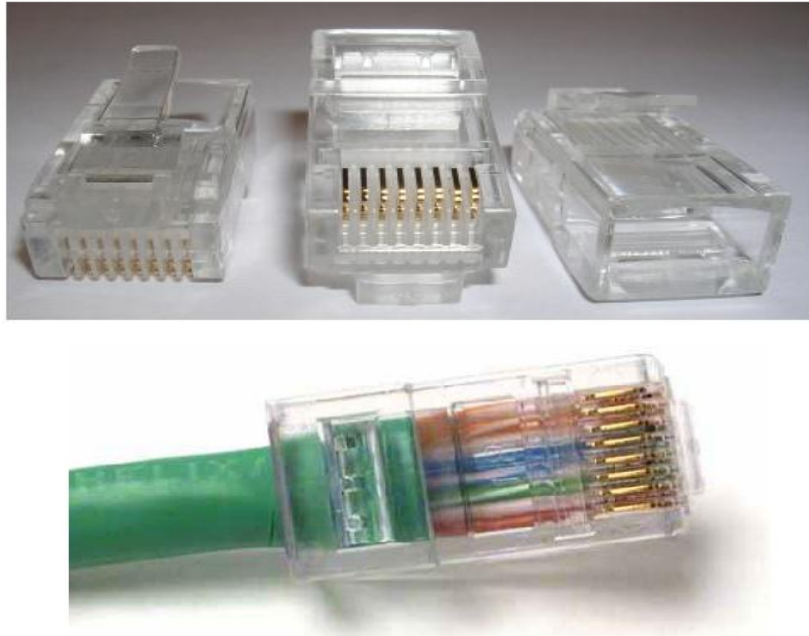


Figure II.3- Connecteurs pour les câbles à paires torsadées

En fonctions de l'usage il y a deux manières d'organiser le câble à paires torsadées

1. **Câbles droits** (figure II.4) sert à connecter deux terminaux différents
 - PC à Hub;
 - PC à Switch
 - Switch à Routeur

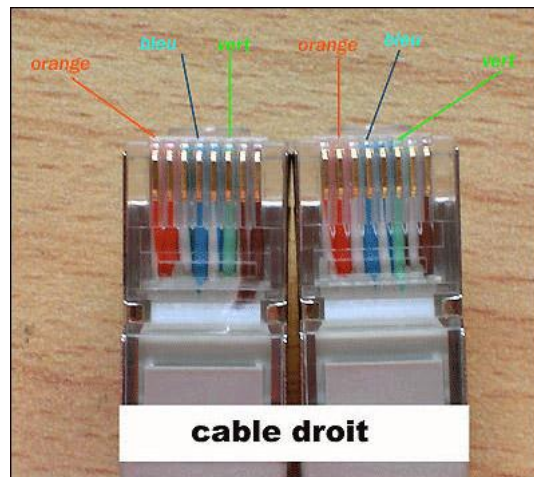


Figure II.4- Câble droit

2. **Câble croisé** (figure II.5) par contre permet de connecter deux terminaux de même nature

- Switch à Switch;
- Hub à Hub;
- Routeur à Routeur
- PC à PC
- Hub à Switch
- PC à Routeur

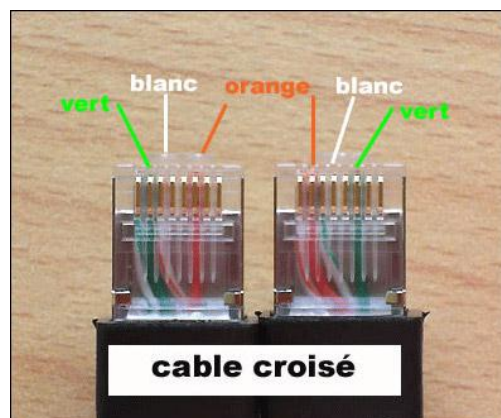


Figure II.5- Câble croisé

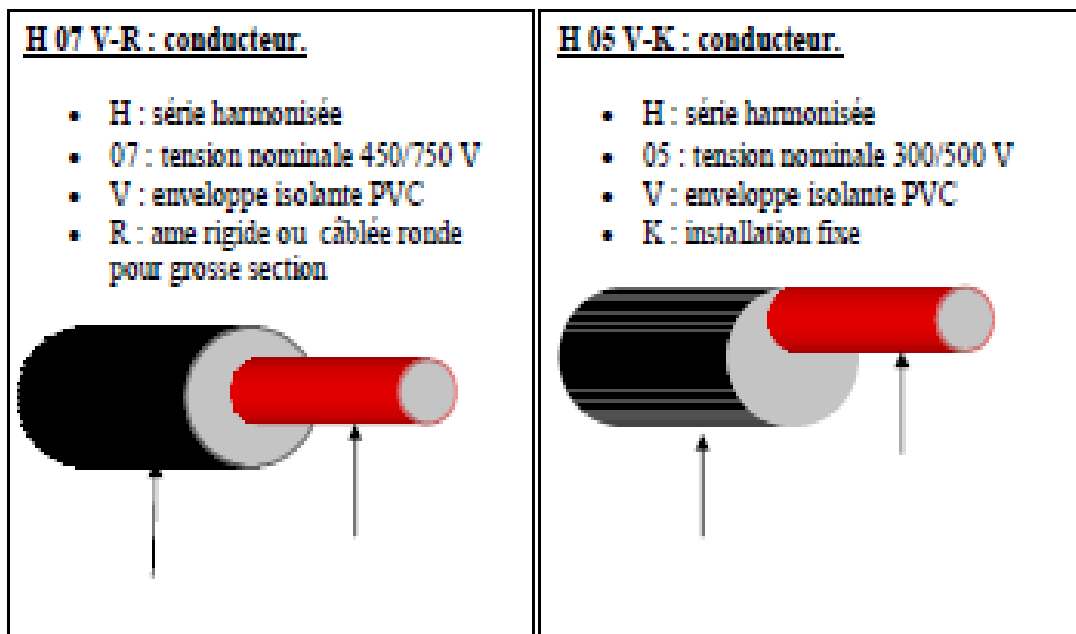
II.4 Normes et catégories

Il existe une diversité importante de conducteur et de câbles en fonction des applications auxquelles ils sont destinés. Il est donc nécessaire de les différencier, d'après leur constitution.

Il existe deux systèmes de normalisations pour les conducteurs et les câbles:

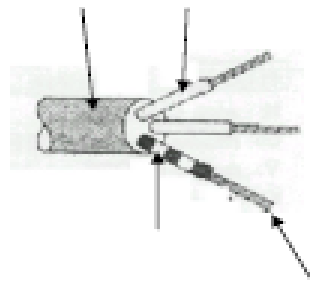
- La norme française UTE (Union technique de l'électricité);
- La norme européenne CENELEC (Comité Européen de Normalisation pour l'électrotechnique).

II.4.1 Codec CENELEC

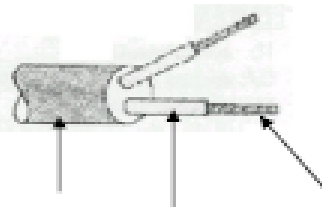


H 07 RN-F 2G25 : câble rond.

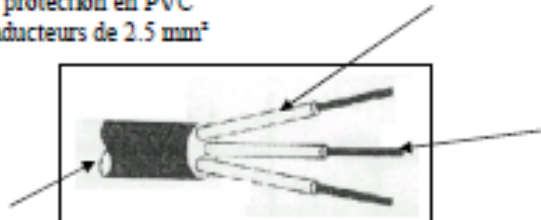
- H: série harmonisée
- 07: tension nominale 450/750 V
- R: isolant caoutchouc PRC
- N: gaine en polychloroprène
- F: ame souple classe 5
- 2: 2 conducteurs
- G: dont 1 vert/jaune
- 25: section de conducteur 25 mm²

**H 05 VV-F 2x2.5 : câble rond.**

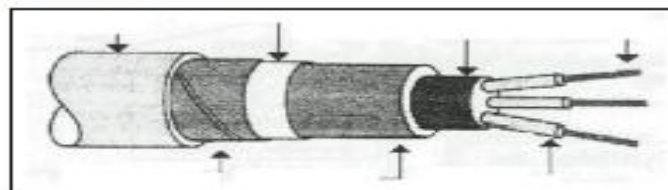
- H: série harmonisée
- 05: tension nominale 300/500 V
- V: isolant PVC
- V: gaine PVC
- F: ame souple classe 5
- 2: 2 conducteurs
- 2.5: section de conducteur 2,5 mm²

**II.4.2 Codec UTE****U 1000 R02V 3x2.5: câble constitué de 3 conducteurs :**

- U : norme UTE
- 1000 : tension nominale 1000V
- R : enveloppe isolante en polyéthylène réticulé
- 0 : aucun bourrage
- 2 : gaine de protection épaisse
- V : gaine de protection en PVC
- 3x2.5 : 3 conducteurs de 2.5 mm²

**U 1000 R G P F V 3x10: câble constitué de 3 conducteurs:**

- U: norme UTE
- 1000: tension nominale 1000V
- R: enveloppe isolante en polyéthylène réticulé
- G: gaine de bourrage
- P: gaine de bourrage avec revêtement en plomb
- F: feuillard d'acier
- V: gaine de protection en PVC
- 3x10: 3 conducteurs de 10 mm²



Chapitre III

Fibres Optiques

III.1 Introduction

Ce chapitre discute les fibres optiques qui transportent une onde lumineuse. Tous d'abord, on montre la propagation de la lumière et les phénomènes de la réfraction et de la réflexion qui s'effectuent dans les fibres optiques pour faire la transmission des informations. Puis, on présente les fibres optiques et leurs différents types. Enfin, on donne les avantages et les domaines d'application des fibres optiques.

III.2 Caractéristiques

Une fibre optique est un guide d'onde optique à symétrie circulaire. Elle permet de transporter des signaux sous forme d'impulsion de lumière.

- **Rappel sur la lumière et sa propagation**

La lumière est une superposition d'ondes électromagnétiques. Une telle onde comporte à la fois un champ électrique, noté E , et un champ magnétique, noté B , oscillant à la même fréquence. Ces deux champs sont perpendiculaires entre eux et se propagent dans la troisième direction z , orthogonale à leurs directions, comme le montre la figure III.1.

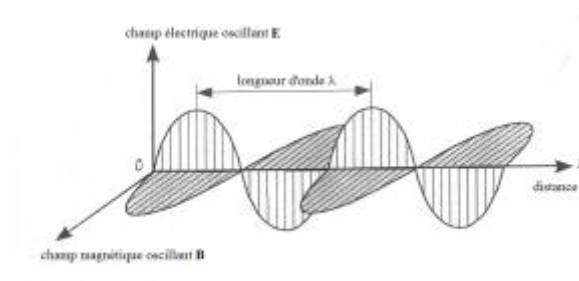


Figure III.1- Propagation d'une onde électromagnétique

La propagation des ondes électromagnétiques s'effectue à une vitesse, souvent appelée célérité, qui dépend du milieu considéré. Dans le vide cette célérité est $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.

La répartition de toutes les ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde ou de leur fréquence est représentée dans le spectre électromagnétique de la figure III.2.

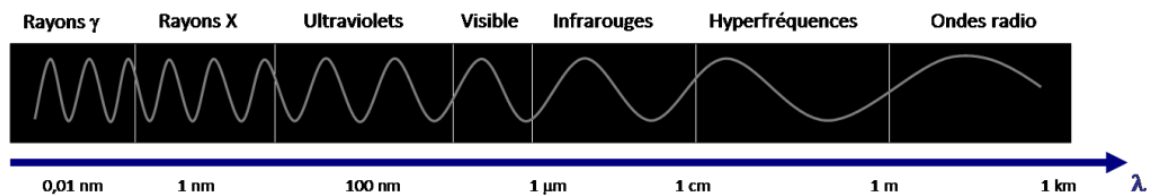


Figure III.2- Spectre électromagnétique

Le domaine visible correspond à la partie très étroite du spectre perceptible par notre œil, entre $\lambda = 0.4 \mu\text{m}$ pour la couleur violette et $\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ pour la couleur rouge (figure III.3). C'est dans ce domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum d'intensité, au voisinage de $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$. La lumière blanche est une superposition d'ondes de toutes les longueurs d'onde du spectre visible.

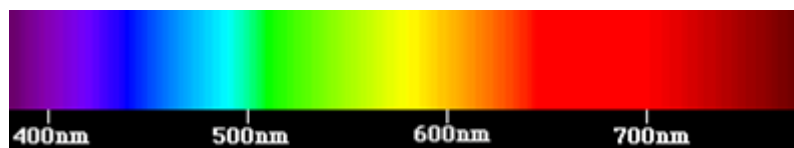


Figure III.3- Domain visible du spectre électromagnétique

La propagation de l'onde électromagnétique dépend de la fréquence de l'onde et du milieu de propagation considéré. Pour une onde à une fréquence donnée tel que la lumière, la propagation dépend du milieu de transmission.

Dans un milieu homogène et transparent, la lumière se propage en ligne droite. Quand la lumière, propageant dans un milieu non-homogène, frappe la surface de séparation de deux milieux transparents qui ont des indices de réfraction différents n_1 et n_2 : la lumière subit les phénomènes de la réflexion et de la réfraction, comme illustre la figure III.4.

On appelle réfraction de la lumière le changement de direction de la lumière à la traversée de la séparation entre deux milieux transparents. La loi de réfraction est donnée par la formule suivante :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

- n_1 : indice de réfraction du milieu 1 ;
- n_2 : indice de réfraction du milieu 2 ;
- i_1 : angle d'incidence ;
- i_2 : angle de réfraction.

Un milieu transparent homogène est caractérisé par un indice de réfraction n :

$$n = c/v \quad (\text{III.2})$$

Avec v est la vitesse de la lumière dans un milieu considéré. Sachant que n sera toujours supérieur ou égal à 1 (la longueur de la fibre).

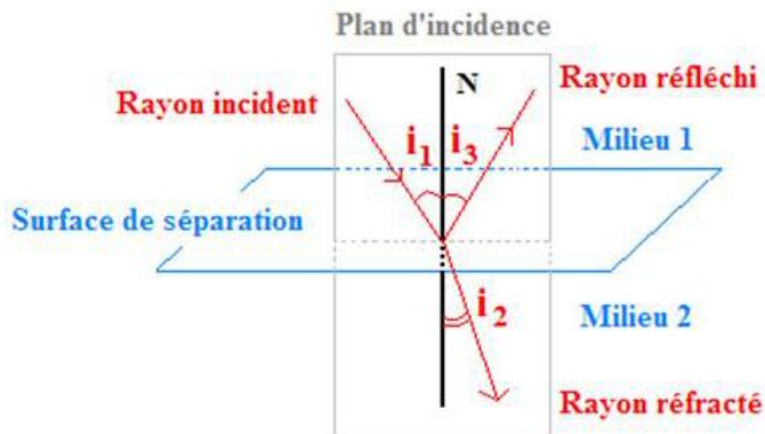


Figure III.4- Réflexion et réfraction des ondes électromagnétiques

La propagation de la lumière et les phénomènes de la réfraction et de la réflexion s'effectuent dans les fibres optiques pour faire la transmission des informations.

La fibre optique est constituée de deux couches de matériaux diélectriques transparents en verre ou en plastique. Le tous entouré d'un revêtement de protection, généralement en plastique (figure III.5). Elle comprend donc:

- La couche centrale dans laquelle se propage la lumière. C'est le cœur d'indice de réfraction n_1 .
- La couche périphérique: c'est la gaine optique d'indice de réfraction n_2 , inférieur à celui du cœur du cœur afin que les rayons lumineux qui se propagent dans le cœur soient réfléchit.
- Revêtement de protection a un double rôle de protéger la fibre mécaniquement et de piéger la lumière qui se propage dans la gaine optique. Plusieurs couches sont ajoutées, on a généralement:
 - Revêtement primaire, en résine époxydique.
 - Revêtement secondaire, en silicone.
 - Revêtement secondaire, en matière plastique.

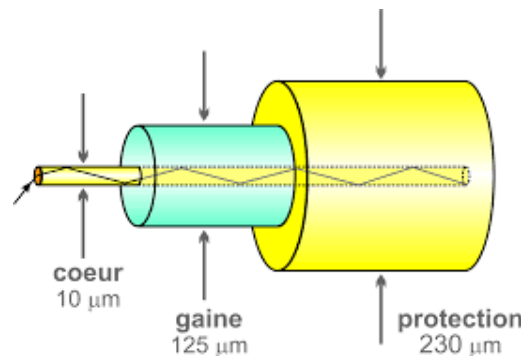


Figure III.5- Fibre optique

Les principaux paramètres qui caractérisent les fibres optiques utilisées pour les transmissions sont les suivants :

1. Atténuation et longueur d'onde

La lumière, lorsqu'elle se propage le long de la fibre, s'atténue progressivement. Cette atténuation s'exprime par une valeur en dB/km . Cette atténuation dépend de la longueur d'onde (λ), c'est à dire de la couleur (la fréquence) de la lumière.

En conséquence la longueur d'onde de la lumière utilisée pour transmettre un signal dans une fibre optique n'est pas choisie au hasard, elle correspond à un minimum d'atténuation.

2. Bande passante

C'est une mesure de la capacité de transport de données d'une fibre optique. Par exemple, une fibre peut avoir une bande passante de 400 MHz.km . Cela signifie qu'elle peut transporter 400 MHz sur 1 km . Elle dépend du type de fibre.

III.3 Types de fibres optiques

Selon le mode de propagation de la lumière, les fibres optiques peuvent se regrouper en deux catégories.

III.3.1 Fibres optiques multi-modes

Il s'agit de fibre optique ayant plusieurs modes de propagation. Dans les fibres multi-modes, les rayons lumineux se propagent de plusieurs façons en parcourant des trajets de longueurs différents en des temps de propagation eux aussi différents. Ceci entraîne un élargissement de l'impulsion optique reçue donnant lieu à une réduction de la vitesse de transmission maximale.

L'effet de l'élargissement de l'impulsion reçue est connu sous le nom de la dispersion modale.

III.3.1.1 Fibre multi-modes à saut d'indice

C'est le type de fibre le plus simple. Ce type de fibre optique possède une région du cœur homogène relativement large comparativement à la gaine, comme l'illustre la figure III.6.

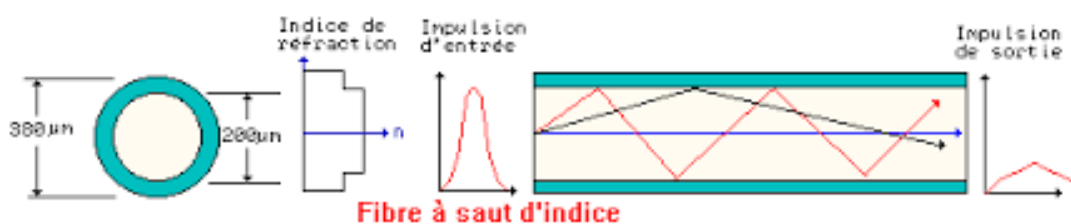


Figure III.6- Fibre optique à saut d'indice

La fibre optique à saut d'indice est efficace sur des courtes distances parce qu'elle ne déforme pas le signal par le principe de dispersion, ce qui manifestement ne convient pas à toutes les applications. Elle est donc limitée dans sa bande passante.

La capacité de transmission de ce type de fibre est assez faible car chaque rayon doit parcourir une distance différente. Par conséquent, il faut à l'extrémité "attendre" que tous les faisceaux soient arrivés.

III.3.1.2 Fibre multi-modes à gradient d'indice

Le cœur d'une fibre à gradient d'indice, contrairement à la fibre à saut d'indice, n'est pas homogène. Il est constitué de plusieurs couches de verres dont l'indice de réfraction est différent à chaque couche et diminue de l'axe jusqu'à la gaine (figure III.7).

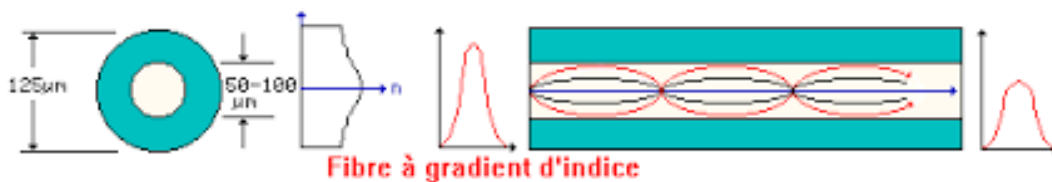


Figure III.7- Fibre optique à gradient d'indice

Le guidage est cette fois dû à l'effet du gradient d'indice. Les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale.

La fibre optique à gradient d'indice est la plus utilisée pour les moyennes distances.

Un des avantages est que la dispersion modale est diminuée avec cette fibre. Il y a donc meilleure réception du signal.

La capacité de transmission de cette fibre est plus élevée que celle à saut d'indice car la distance à parcourir des rayons est plus faible, donc il est possible d'augmenter en fréquence.

III.3.2 Fibre monomode

Dans une fibre monomode, illustrée dans la figure III.8, le cœur est très fin ce qui permet une propagation de faisceaux presque une ligne droite.

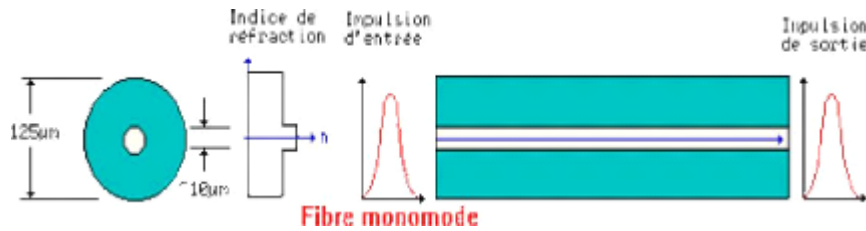


Figure III.8- Fibre optique monomode

De cette façon, elle offre peu de dispersion modale de signal et celle-ci peut être considérée comme nulle.

Comme on ne casse pas le faisceau lumineux la bande passante est donc augmentée, elle est presque infinie.

❖ Avantages et inconvénients de chaque type

Etant donné qu'il y a différentes structures de fibres, elles ont par conséquent des capacités et des caractéristiques différentes.

Le tableau III.1 donne un bref récapitulatif des avantages et des inconvénients de chaque structure.

Structures	Avantages	Inconvénients
<i>Multimode à saut d'indice</i>	- Faible prix - Facilité de mise en œuvre	- Perte et distorsion - Importance du signal
<i>Multimode à gradient d'indice</i>	- Bande passante raisonnable - Bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre
<i>Monomode</i>	- Très grande bande passante - Aucune distorsion	Prix très élevé

Tableau III.1- Avantages et inconvénients de chaque type de fibre optique

III.4 Avantages

Les fibres optiques présentent plusieurs avantages:

1. Vitesse

Comme nous l'avons amplement expliqué, la lumière qui voyage dans la fibre se propage à près de 300 000 km/s, ce qui crée une vitesse de transmission relativement instantanée. La seule restriction sur la vitesse se trouvant à être la dispersion, la rapidité des fibres reste incontestable plus grande que celle des fils de cuivre

2. Légèreté

Le deuxième grand avantage des fibres est la légèreté des matériaux utilisés pour leur conception. Un câble optique pèse beaucoup moins qu'un câble de cuivre. Ceci, en conjonction avec le type de matériaux utilisés, rend l'utilisation et la manipulation des fibres optiques énormément plus facile et avantageuse.

De plus, cette légèreté ne signifie pas nécessairement la fragilité. La gain protectrice du câble accomplit très bien sa tâche en rendant ce moyen de communication très rigide et très peu corrosif.

Il a aussi été observé plusieurs fois que la fibre optique est plus rentable à long terme que le fil de cuivre. La manutention est beaucoup moins nécessaire ce qui donne la possibilité d'établir un réseau plus fiable, plus rentable, et surtout plus efficace.

3. Insensibilité au bruit

Un troisième avantage majeur est que le signal qui voyage dans la fibre est insensible aux champs magnétiques ou divers bruits pouvant créer une distorsion sur les signaux voyageant dans des fils de cuivre.

III.5 Domaines d'application de la fibre optique

Les réseaux utilisent comme moyen de communication la fibre optique, son utilisation permet la réception et l'émission de données de manière très rapide et avec une plus grande sûreté de transmission:

- En téléphonie, les câbles coaxiaux sont remplacés peu à peu par des fibres optiques. En effet, la fibre optique est plus économique sur longue distances et le nombre de composant est moins important. La fibre optique a également été retenue dans ce domaine, car sur des longues distances, son affaiblissement faible évite des récepteur supplémentaires, à la différence du coaxial et des liaisons hertziennes.

- La première utilisation d'envergure de la fibre optique fut en médecine, domaine où elle toujours grandement utilisée aujourd'hui. La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies. En chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de: pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine... En endoscopie, pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'à la médecine.

- Avec la fibre optique on peut calculer la distance d'un objet par rapport à un autre, des vitesses de rotation, des vibrations. Mais tous ces petits systèmes sont plus précis que les autres systèmes de même utilité mais utilisant d'autre technologie de détection;

- L'éclairage (muséographique, architecturale, espace d'agrément publics ou domestiques);

- La décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines;

- La signalétique d'orientation et d'information (panneaux de signalisation et enseignes);

- la signalisation routière (rond-point, séparation de voies de circulation).

- Capteurs (température, pression,...).

Chapitre IV

Faisceaux Hertziens

IV.1 Introduction

Pour les transmissions sans fil, l'air représente le support de transmission et le signal transporter est une onde électromagnétique. Dans ce chapitre, on présente les faisceaux hertziens qui sont utilisés faire une transmission sans fil.

IV.2 Généralité

Un faisceau hertzien est un système de transmission entre deux points fixes, par ondes électromagnétiques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives (Figure IV.1). La transmission est assurée par la propagation dans l'atmosphère des ondes électromagnétiques de fréquences très élevées. La transmission est limitée à l'horizon optique, elle se fait entre des stations placées en hauteur pour éviter les obstacles.

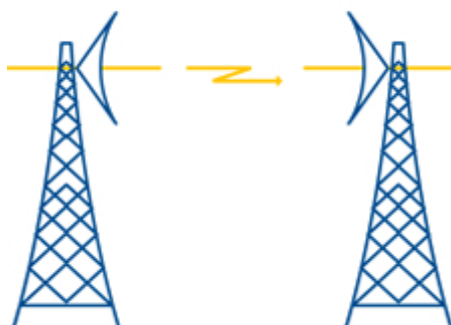


Figure IV.1- Transmission hertzienne

Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles

naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés, etc.

L'atmosphère constitue un milieu complexe pour la propagation des ondes électromagnétique. Contrairement aux lignes, il n'est pas optimisable, mais doit être accepté tel qu'il est.

Grossièrement, l'atmosphère est constituée de trois régions superposées principales :

1. Troposphère (altitude inférieure à 15 km de la terre), on y retrouve la biosphère et presque tous les phénomènes météorologiques. Ces phénomènes ont un important effet sur la propagation des ondes hertziennes, on y constate un gradient de l'indice de réfraction qui est pour effet de courber la trajectoire des ondes électromagnétiques en direction du sol. L'onde peut alors être réfractée au niveau de la troposphère (réfraction troposphérique), comme l'illustre la figure IV.2.

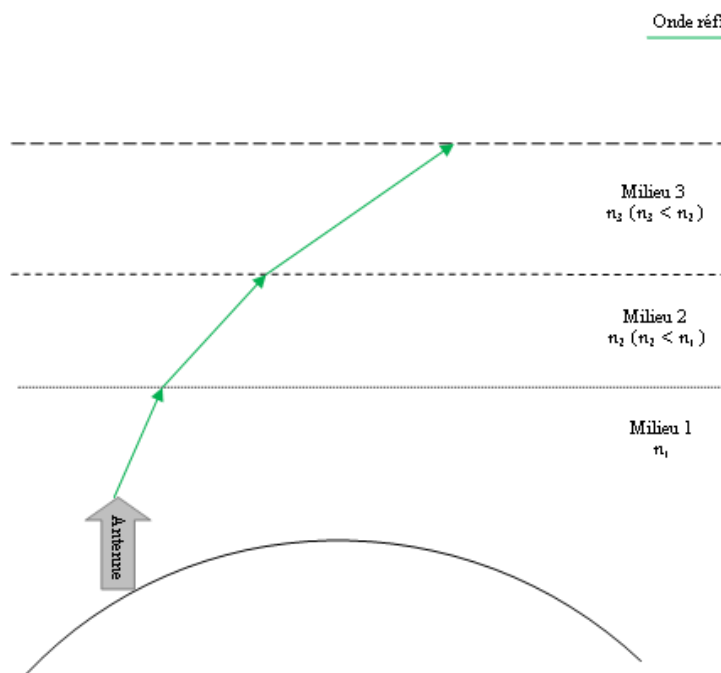


Figure IV.2- Réfraction troposphérique

2. Stratosphère à la limite supérieure de la troposphère (altitude de 15 à 40 km), pratiquement dépourvue de vapeur d'eau et dont la température croît graduellement (grâce à la formation d'ozone) avec l'altitude avant de se stabiliser. En effet, l'ozone absorbe la plus grande partie du rayonnement ultra-violet du soleil, qui est dangereux pour la vie, et donc son

énergie. Le contenu en vapeur d'eau est négligeable et l'air est stable à cause de l'inversion de température, ce qui limite les effets indésirables sur les ondes radio.

3. Ionosphère (altitude de 40 à 500 km) contient quatre couches de particules ionisées semblables à des nuages. Cette région joue un rôle important dans la propagation des ondes radio-électrique. Elle est le siège de phénomène de réfraction, de réflexion et d'absorption. Elles permettent aux ondes radio de se propager à de très grandes distances autour de la Terre (Figure IV.3).

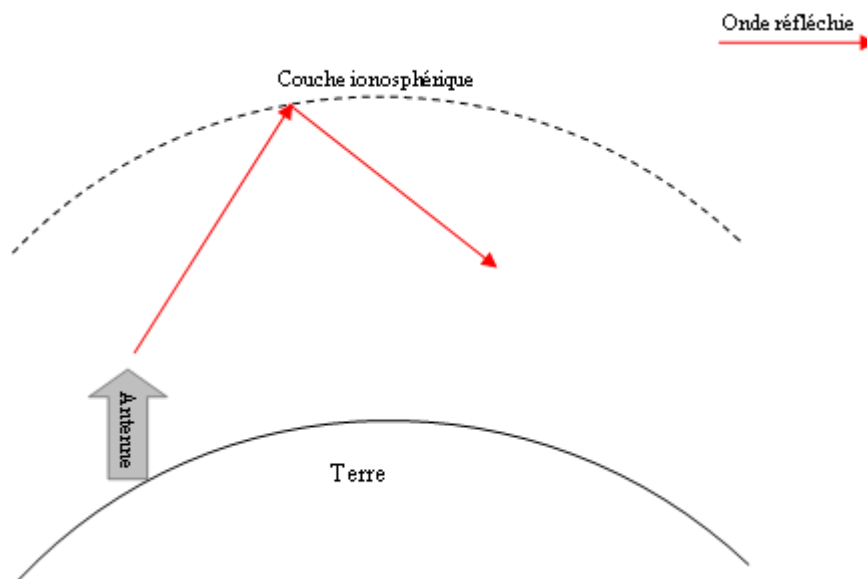


Figure IV.3- Réflexion des ondes par l'ionosphère

Pour une liaison hertzienne, on ne peut pas transmettre le signal directement, en reliant directement le générateur d'information à une antenne (liaison en bande de base). En effet, les signaux transmis généralement sont des signaux audio, vidéo ou numériques. Ces informations ont un spectre basse fréquence et assez étendu. Le canal hertzien a une atténuation qui varie fortement avec la fréquence et coupe les basses fréquences.

C'est pour ces raisons que les liaisons hertziennes sont réalisées à des fréquences élevées. Pour transmettre un signal par une liaison hertzienne, il faut accrocher le signal basse fréquence (le message à transmettre) à une onde de haute fréquence (la porteuse), c'est l'opération de modulation.

IV.3 Principales fréquences et bandes ou canaux

Lorsqu'on effectue sur une transmission entre un émetteur et un récepteur, le récepteur reçoit une onde directe émise par l'émetteur mais aussi une onde réfléchie. La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur l'ionosphère. La réflexion dépend de la fréquence et de l'environnement. Selon l'environnement d'onde et sa fréquence, l'onde électromagnétique peut suivre plusieurs chemins différents (figure IV.4) :

➤ Entre 3 *KHz* et 3 *MHz* : la propagation se fait par onde de sol. L'onde, dans la troposphère, peut se déplacer suivant le relief du sol (propagation superficielle par ondes de surface ou de sol);

➤ Entre 3 *MHz* et 30 *MHz* : la propagation se fait par réflexion sur l'ionosphère (l'onde peut être réfléchie par l'une ou l'autre des couches ionisées de l'ionosphère: propagation ionosphérique) mais l'onde de sol et l'onde directe existent aussi;

➤ Entre 30 *MHz* et 3 *GHz* : la propagation se fait par onde directe mais aussi par réflexion sur le sol;

➤ Entre 3 *GHz* et 30 *GHz* : la propagation se fait par onde directe, il y a peu de réflexions sur le sol car les antennes sont très directives.

Une onde hertzienne est classée en fonction de sa fréquence; l'ensemble de ces fréquences constitue le spectre des ondes hertziennes. Ce spectre est divisé en neuf bandes (tableau IV.1) conformément au règlement des radiocommunications de l'U.I.T. (Union Internationale des Télécommunications), édité à Genève en 1959.

Gamme de fréquences	Subdivision métrique	Utilisateurs	Type de propagation
VLF (Very Low Frequency) 3 <i>KHz</i> à 30 <i>KHz</i>	Ondes myriamétriques	Radionavigation	Ondes de sol
LF (Low Frequency) 30 <i>KHz</i> à 300 <i>KHz</i>	Ondes kilométriques	Radio GO (Europe)	Ondes de sol
MF (Medium Frequency) 300 <i>KHz</i> à 3 <i>MHz</i>	Ondes hectométriques	Radio AM, CB Radio PO (Europe)	Ondes de sol
HF (High Frequency) 3 <i>MHz</i> à 30 <i>MHz</i>	Ondes décamétriques	Radio OC, CB	Ondes réfléchies par l'ionosphère

VHF (Very High Frequency) 30 MHz à 300 MHz	Ondes métriques	Téléphone sans fil, Télévision, contrôle aérien, radio FM, CB	Ondes directes
UHF (Ultra High Frequency) 300 MHz à 3 GHz	Ondes décimétriques	Télévision, téléphone cellulaire, téléappel (paging), fours à micro-ondes, Radiodiffusion	Ondes directes
SHF (Super High Frequency) 3 GHz à 30 GHz	Ondes centimétriques	Satellites, radars	
EHF (Extremely High Frequency) 30 GHz à 300 GHz	Ondes millimétriques	Satellites	
300 GHz à 3000 GHz	Ondes submillimétriques	Satellites	

Tableau IV.1- Bandes de spectre des ondes hertziennes

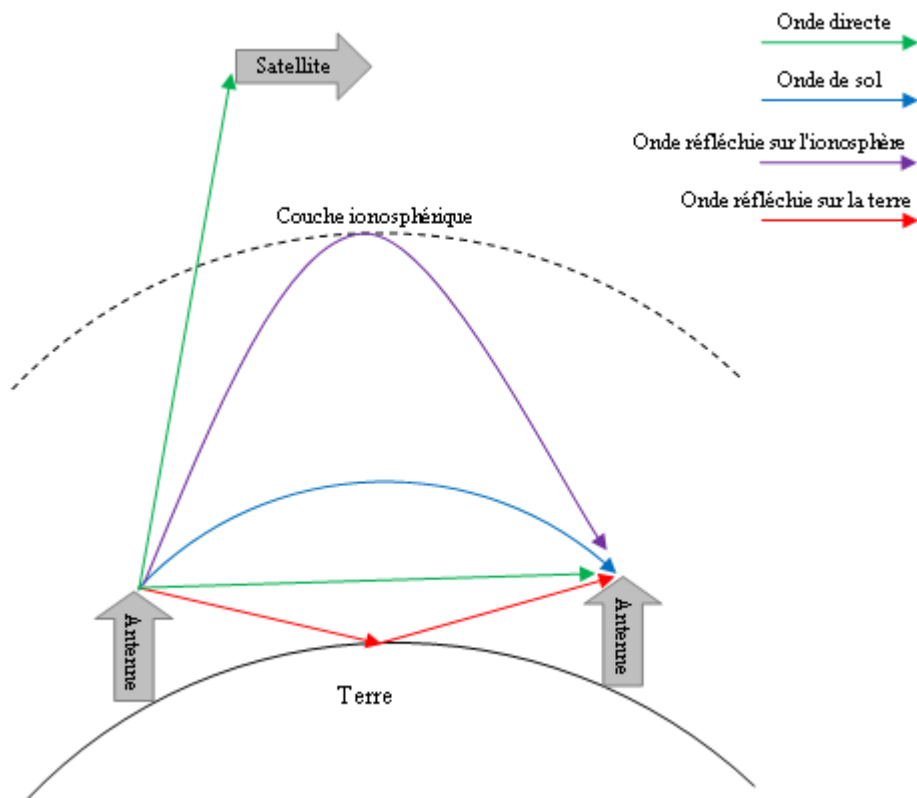


Figure IV.4- Types de propagation des ondes

IV.4 Liaison satellite

Un satellite de télécommunications est un relais actif hertzien. C'est un engin qui se sert des ondes électromagnétiques ou hertziennes pour relier deux points terrestres, soit deux pays ou deux continents.

Une station terrienne émet en direction du satellite installé dans l'espace libre des ondes électromagnétiques qu'il reçoit, amplifie et change la fréquence. A son tour, après ces traitements, ce satellite artificiel émet les ondes électromagnétiques en direction d'une autre station terrienne.

Ce type de communication est utile sur les longues distances, car un satellite géostationnaire peut couvrir un tiers de la terre. D'autres satellites d'une portée inférieure aux satellites géostationnaires peuvent couvrir une région ou tout un pays.

Les premiers satellites de télécommunications sont des satellites passifs : leur mission se résume à réfléchir un signal d'une station terrienne à l'autre. La mise au point des satellites actifs leur permet de recevoir les signaux hertziens, de les amplifier plusieurs milliards de fois et de les ré-émettre vers le sol. Les premières liaisons satellites entre les Etats-Unis et la France sont ainsi réalisées en 1965.

Un satellite de télécommunications est un satellite artificiel placé en orbite autour de la Terre pour des besoins de télécommunications. Il assure des communications à distance en relayant des signaux par ondes radio.

Ce type de satellites sert à transmettre des informations d'un point à l'autre de la Terre par l'intermédiaire de stations terrestres. Il transmet notamment les communications téléphoniques, les communications satellitaires et les programmes.

➤ Avantage des satellites

Le satellite présente des avantages :

- Il peut desservir de multiples stations terrestres alors que le câble ne peut aller que d'un point à un autre, son cout est indépendant de la distance et il n'est pas gêné par les obstacles physiques (océans) et les frontières politiques ;

- La transmission de grands volumes de données, la diffusion de chaînes de télévision sur l'ensemble de la planète sont des phénomènes inexistants.

➤ **Services de télécommunications par satellites**

Les satellites de télécommunications peuvent être classés en fonction des services qu'ils sont appelés à rendre. On distinguera ainsi les services de téléphonie, les services de télédiffusion et enfin les services de transmission de données. Une telle classification pourrait être rendue obsolète dans quelques années par le développement attendu des systèmes satellitaires multi-media qui pourraient, en théorie, véhiculer n'importe quel service.

1. Téléphonie

On peut distinguer les systèmes de téléphonie fixe par satellite et les systèmes de téléphonie mobile par satellite. La téléphonie fixe par satellite concerne essentiellement les appels internationaux qui mettent en jeu un satellite.

Les satellites utilisés sont de type géostationnaire. Ces systèmes sont de plus en plus remplacés, lorsque c'est rentable, par des câbles sous-marins. A côté de la téléphonie fixe par satellite on trouve la téléphonie mobile par satellite et dans ce domaine, deux familles de systèmes existent. Les systèmes de téléphonie mobile par satellite géostationnaires et les systèmes de téléphonie mobile par satellites MEO et LEO.

Parmi les systèmes utilisant des satellites GEO on peut citer Inmarsat qui a été le premier système de communications mobiles par satellites d'abord pour la desserte en mer puis en avion et en terrestre. Des systèmes sont actuellement en développement.

On peut ainsi citer le cas récent de Thuraya qui offre un service de téléphonie mobile sur l'Asie centrale, le Moyen Orient, l'Afrique centrale et l'Europe. Ce système a la particularité d'offrir de la téléphonie mobile au moyen d'un satellite Géostationnaire. Le terminal de taille raisonnable (à peine plus volumineux qu'un terminal GSM) a une antenne omnidirectionnelle mais réussit cependant à "passer" le bilan de liaison d'un système GEO.

Parmi les systèmes de téléphonie mobile par satellites LEO on citera Iridium qui n'a pas connu le succès commercial escompté et dont le service a été arrêté peu de temps après la

mise en service. On peut aussi mentionner Globalstar qui connaît aussi quelques difficultés commerciales. Ces deux systèmes sont à couverture mondiale ou quasi mondiale.

2. Télédiffusion

La transmission vidéo par satellite est la première application des satellites de télécommunications. Elle est estimée à 60% de la capacité du secteur spatial.

La transmission peut être faite en utilisant les normes vidéo analogiques (PAL, SECAM, NTSC) mais dans la plupart des systèmes actuels ce sont les normes vidéo numériques qui sont utilisées. On utilise essentiellement la norme DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite) qui utilise un codage MPEG-2 du flux vidéo et permet le transfert du signal entre les systèmes à satellites, les systèmes hertziens et les systèmes par câbles.

Tous les bouquets satellites européens utilisent (obligation réglementaire) la norme DVB-S. La norme numérique audio correspondante pour la diffusion de radio numérique s'appelle le DAB (Digital Audio Broadcasting)

Le premier système de télédiffusion directe numérique par satellite DirectTV aux Etats Unis est entré en service en 1994. En France deux bouquets ont été lancés en 1996 (TPS et Canal Satellite). Ces systèmes utilisent des satellites géostationnaires ce qui permet d'utiliser des antennes fixes chez les usagers.

DirectTV possède ses propres satellites alors que Canal Satellite utilise un satellite Astra à 19° Est et TPS un satellite Eutelsat Hot Bird à 13° Est. La télédiffusion directe par satellite est une activité en forte croissance. Fin 97, 70 millions de téléviseurs dans le monde utilisaient la réception directe par satellite et certaines estimations prévoient 200 millions d'utilisateurs en 2006.

3. Transmission de données

La transmission de données constitue la troisième grande application des satellites de télécommunication.

Le bilan de liaison Lors de la définition d'un système de communications avec un satellite, il est nécessaire de déterminer la taille des antennes d'émission et de réception, la

puissance d'émission et le rapport signal à bruit nécessaire pour pouvoir effectuer la transmission avec la qualité requise. Effectuer cet ensemble de déterminations constitue le Bilan de Liaison.

➤ **Système de communication par satellite**

Les systèmes de communication par satellite appliqués au SCS des pêches utilisent des satellites géostationnaires ou orbitaux :

1. Dans un système géostationnaire, le satellite reste dans une position fixe par rapport à une localisation géographique donnée (le satellite est en fait sur une orbite fixe et bouge selon la même vitesse de rotation que la terre). Avec ce type de système, le satellite peut, à tout moment, recevoir et transmettre des messages à n'importe quel émetteur ou émetteur-récepteur qui se trouve dans la zone de couverture géographique délimitée à portée visuelle du satellite. Un système de communication basé sur des satellites géostationnaires doit disposer de plus d'un seul satellite pour couvrir un pourcentage plus important de la surface terrestre.

2. Dans un système de communication orbital, le satellite se déplace sur une orbite de façon à passer sur une localisation géographique donnée à des intervalles de temps définis. Un tel système signifie que les émetteurs ou émetteurs-récepteurs installés à terre viennent à portée du satellite à ces intervalles de temps définis et ne transmettent ou reçoivent que lorsque le satellite passe à leur portée ou est «visible».

L'émetteur peut stocker les messages en attendant que le satellite passe à sa portée. Quand les messages sont transmis au satellite, ils peuvent également être stockés dans le satellite jusqu'à ce que le satellite passe à la portée d'une autre station terrestre réceptrice.

Contrairement au système géostationnaire, un seul satellite est capable de couvrir la totalité de la surface terrestre. Cependant, il y aura des moments sans aucune couverture lorsque le satellite n'est pas en vue des localisations géographiques données. L'accroissement du nombre de satellites augmentera la couverture du système en diminuant les intervalles de temps où le satellite n'est pas en vue de la localisation donnée.

Dans ces deux types de système de communication un émetteur mobile ou fixe peut être utilisé. Un tel émetteur est monté sur un navire, un avion, un immeuble, etc., et utilise un signal radio pour transmettre un message au transpondeur monté sur le satellite. Le message peut être stocké dans le satellite pour être transmis sur le champ ou ultérieurement à un récepteur ou à un autre émetteur capable à son tour de transmettre des messages, monté sur un navire, un avion, un immeuble, etc. Dans certains cas, la station réceptrice sera une grande station fixe («station terrestre») qui sera reliée au système téléphonique normal installé à terre.

Chapitre V

Faisceaux Infrarouge

V.1 Introduction

Ce chapitre, présente les faisceaux infrarouge qui sont aussi utilisés faire une transmission sans fil mais sans la présence des obstacles entre l'émetteur et le récepteur.

V.2 Généralité

L'infrarouge est un faisceau de lumière. Les transmissions en infrarouge doivent être très intenses afin qu'il n'y ait pas de confusion avec les nombreuses sources de lumière qui existent dans une pièce (fenêtres, néons, télévision, ampoules, ...)

La lumière infrarouge possède une large bande passante, les débits sont relativement importants, mais la portée est faible (10 Mb/s, 30 mètres). Un réseau infrarouge est commode, rapide, mais sensible aux interférences lumineuses. Le faisceau ne doit jamais être coupé sinon la transmission est interrompue.

La transmission infrarouge offre l'avantage d'être très économique par rapport à la HF. Pour les applications de type centre de congrès, visite guidée, musée, expositions, etc, la technique de transmission infrarouge est la mieux adaptée. La technique infrarouge permet également la confidentialité des transmissions.

La transmission infrarouge présente l'inconvénient que La modulation directe en amplitude de la luminosité des diodes IR (Infra Rouge) ne permet pas d'obtenir une couverture suffisante et a l'inconvénient d'être sensible aux interférences lumineuses. Il est par ailleurs impossible de transmettre plusieurs canaux. Afin de pallier à ces inconvénients et d'obtenir une couverture importante, on utilise une modulation combinée amplitude/fréquence.

V.3 Spectre de l'infrarouge

Le rayonnement infrarouge fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Hershel. Le rayonnement infrarouge est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde supérieure à celle du spectre visible mais plus courte que celle des micro-ondes.

Le nom infrarouge signifie « en dessous du rouge » (du latin *infra* : « plus bas »), car l'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière visible: le rouge.

Le domaine de l'infrarouge est beaucoup plus étendu que celui de la lumière visible puisqu'il va de 780 *nm* à 300 000 *nm* environ. Tout au long de cette vaste gamme, les radiations présentent des propriétés fort différentes mais aucune d'entre elles ne peut agir directement sur les surfaces sensibles argentiques « normales » : en effet, aucun photon infrarouge ne transporte une énergie suffisante pour produire spontanément une image latente. En revanche, la sensibilité naturelle des capteurs électroniques s'étend assez loin dans le proche infrarouge, ce qui n'est pas sans conséquences.

V.4 Bandes spectrales des radiations infrarouges

L'infrarouge est subdivisé en IR proche (PIR ou IR-A ou NIR pour Near-IR en anglais), IR moyen (MIR ou IR-B ou MIR pour Mid-IR en anglais) et IR lointain (LIR ou IR-C ou FIR pour Far-IR en anglais) (figure V.1).

1. Infrarouge proche : à sa longueur d'onde, les verres restent transparents, et ces rayons sont identifiables grâce à des récepteurs identiques ou similaires à ceux utilisés pour détecter la lumière visible (par exemple des photodiodes). Ce type d'infrarouge est utilisé pour la transmission d'informations par fibres optiques ou bien encore par les radiateurs destinés au chauffage ou au séchage.

2. Infrarouge moyen (ou thermique) : c'est ce type de rayonnement qui a une origine thermique. En effet, ce rayonnement a une source thermique, et plus la température d'un corps est élevée, plus le rayonnement infrarouge ainsi émis est intense. Les matériaux optiques utilisables pour la détection de cette partie d'infrarouges sont le germanium, ou bien encore le sélénium de zinc.

3. Infrarouge lointain : ce type de rayonnement est difficilement détectable et nécessite des capteurs très sensibles descendus à température très basse (grâce par exemple à l'hélium liquide). Ce type de rayonnement est utilisé notamment pour la spectroscopie moléculaire ou les expériences spatiales.

Cette classification n'est cependant pas universelle car les frontières varient d'un domaine d'étude à l'autre sans que l'on ne puisse donner raison à qui que ce soit.

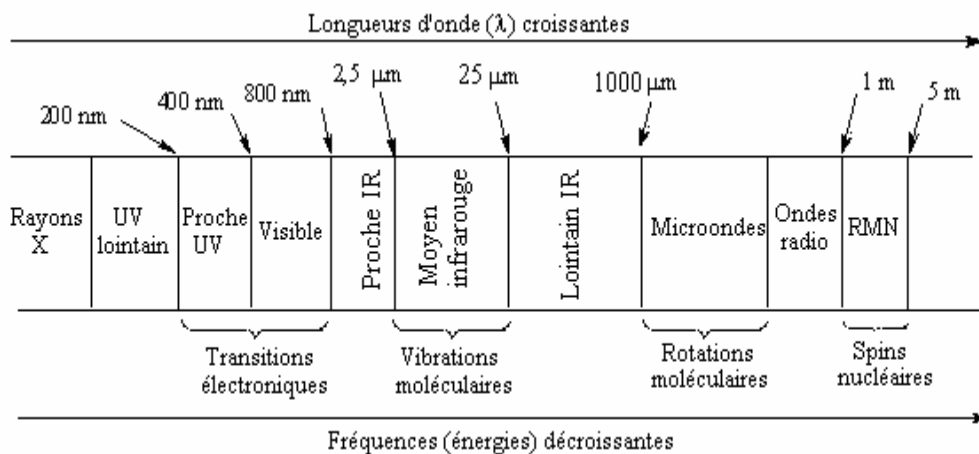


Figure V.1-Domains de l'IR dans le spectre électromagnétique

Le découpage peut être lié à la longueur d'onde (ou à la fréquence) des émetteurs, des récepteurs (détecteurs), ou encore aux bandes de transmission atmosphérique.

Le seul découpage qui a une raison rationnelle est celui marqué par l'opacité aux infrarouges de la vapeur d'eau et qui se situe entre 5,5 et 7,5 μm et qui est la frontière entre les ondes moyennes et les ondes longues mais ce n'est néanmoins pas très scientifique, seulement basé sur le fait que dans cette frange de longueurs d'onde l'observation infrarouge et la transmission sont quasiment impossibles parce que l'air y est presque opaque aux rayonnements infrarouges.

- **Découpage ISO**

L'ISO 20473:2007 spécifie la division du rayonnement optique en bandes spectrales pour l'optique et la photonique (tableau V.1). Elle ne s'applique pas aux applications

d'éclairage ou de télécommunications ou à la protection contre les risques de rayonnement optique dans les zones de travail.

Désignation	Abréviation	Longueur d'onde
Infrarouge proche	PIR	0,78 – 3 μm
Infrarouge moyen	MIR	3 – 50 μm
Infrarouge lointain	LIR	50 μm – 5 mm

Tableau V.1-Découpage ISO

- **Découpage CIE**

La Commission internationale de l'éclairage (CIE) recommande dans le domaine de la photobiologie et de la photochimie le découpage du domaine infra-rouge en trois domaines (tableau V.2).

Abréviation	Longueur d'onde	Fréquence
IR-A	700 nm – 1 400 nm (0,7 μm – 1,4 μm)	215 THz - 430 THz
IR-B	1 400 nm – 3 000 nm (1,4 μm – 3 μm)	100 THz - 215 THz
IR-C	3 000 nm – 1 mm (3 μm – 1 000 μm)	300 GHz - 100 THz

Tableau V.2-Découpage CIE

- **Découpage utilisé en astronomie**

Les astronomes divisent habituellement le spectre infrarouge de la façon montrée dans le tableau V.3.

Désignation	Abréviation (en anglais)	Longueur d'onde
Infrarouge proche	NIR	(0,7–1) à 2,5 μm
Infrarouge moyen	MIR	2,5 à (25–40) μm
Infrarouge lointain	FIR	(25–40) à (200–350) μm

Tableau V.3-Découpage utilisé en astronomie

Ces découpages ne sont pas précis et varient selon les publications. Les trois régions sont utilisées pour l'observation dans des domaines de température différents, et donc des environnements différents dans l'espace.

V.5 Sources de l'infrarouge

L'infrarouge constitue une partie très importante du rayonnement émis par le soleil, les sources lumineuses à incandescence et les arcs électriques.

Pour les éclairagistes, ce rayonnement correspond à une forte perte énergétique puisqu'il n'est pas perceptible par l'œil humain.

D'autres sources lumineuses comme les lampes au sodium, les tubes fluorescents ou les diodes électroluminescentes offrent de ce point de vue un rendement lumineux bien supérieur. Rappelons que le rendement lumineux s'obtient en faisant le rapport du flux lumineux émis par une source donnée et de la puissance fournie à cette source ; il s'exprime donc en lumens par watt (lm/W) dans le système international, contrairement à la conception habituelle du rendement mécanique, qui correspond à un nombre sans dimension.

V.6 Historique

Le rayonnement infrarouge est intuitivement perceptible par la simple exposition de la peau à la chaleur émise par une source chaude dans le noir, mais il ne fut prouvé qu'en 1800 par William Herschel, un astronome anglais d'origine allemande, au moyen d'une expérience très simple :

Un jour, Herschel a voulu savoir si toutes les couleurs qui forment la lumière solaire apportent la même quantité de chaleur. Il a donc l'idée, en déviant vers l'intérieur d'une pièce la lumière du soleil avec un petit miroir et en l'envoyant à travers un prisme, de poser un thermomètre devant chaque couleur de l'arc en ciel ainsi formé. Il pose d'abord son thermomètre sur le bleu, note la température, et répète la procédure ainsi de suite jusqu'au rouge.

Après avoir constaté que la température augmente régulièrement du bleu au rouge, il veut avoir un point de référence en mesurant la température ambiante de la pièce. Pour le

faire, il se contente de pousser son thermomètre un cran après le rouge, là où il n'y a normalement plus rien puisqu'il n'y a plus de couleur.

Quelle n'est pas sa surprise de constater que cela chauffe encore plus que dans le rouge ! Il vient de découvrir les infrarouges. Herschel a par la suite montré qu'il s'agissait bien d'une "lumière invisible", laquelle a exactement les mêmes propriétés que la lumière visible, puisqu'on peut par exemple la focaliser.

C'était la première expérience montrant que la chaleur pouvait se transmettre indépendamment d'une lumière visible (ce phénomène était parfois appelé à l'époque la chaleur obscure ou rayonnement sombre).

Il a dans le même temps montré qu'un prisme pouvait dévier un rayon calorique. Ceci a été complété par l'écossais John Leslie, un mathématicien et physicien qui mit au point le cube de Leslie, un dispositif destiné à démontrer et calculer la valeur d'émissivité thermique de chaque matériau selon sa nature et sa géométrie.

D'après les résultats d'étude de Grazyna Palczewska *et al.*, publiés en décembre 2014, l'être humain est capable, à certaines conditions, de voir en infrarouge. Cela peut se produire lorsqu'une paire de photons, appartenant au spectre infrarouge, heurtent (presque) simultanément une même cellule de la rétine d'un œil : « *si un unique pigment de la rétine est heurté par deux photons se succédant très rapidement, se caractérisant par une longueur d'onde de 1 000 nanomètres, explique Vladimir J. Kefalov, un des cosignataires de l'étude, alors ces particules lumineuses vont délivrer la même quantité d'énergie qu'un seul photon évoluant sur une longueur d'onde de 500 nanomètres, soit une longueur d'onde appartenant au spectre du visible. C'est pourquoi nous [les êtres humains] sommes capables de détecter de telles émissions lumineuses* »

V.7 Fonctionnement de l'infrarouge

La transmission infrarouge, c'est lorsqu'on utilise les rayons de lumières qui ont une longueur d'ondes plus basse que celle du rouge. Il y a différentes façons de transmettre des données par infrarouge (type de modulation), comme par exemple utiliser un code morse, ou encore faire varier la longueur de l'onde, ou mixer les deux, etc.

Une transmission infrarouge consiste à envoyer un code à l'aide d'une diode infrarouge. La diode clignote et les durées allumée/éteinte correspondent à des 0 ou 1, ce code est de nature binaire.

Le récepteur (qui peut être une télé, un appareil photo, un portable...) contient une photo diode qui devient passante chaque fois qu'elle reçoit cette lumière infrarouge.

Un décodeur va transformer ces séries de 0 et 1 en codes correspondant à des actions (éteindre la télé, monter le volume, ajouter la lettre "A" au message du portable...). Un code spécial est parfois envoyé à la fin de la communication. Le principe de l'infrarouge vient de l'émission d'une lumière, diffuse ou focalisée, dont la longueur d'onde se situe dans la plage des infrarouges. Bien sûr, cette émission subit les mêmes règles physiques que toute lumière, diffraction, réfraction, absorption et réflexion.

Cette technique de transmission de données, a pour caractéristique principale le fait que l'émetteur et le récepteur soit à vue l'un de l'autre. De plus, du fait de la dispersion de la lumière, c'est une technique très gourmande en énergie, ce qui limite bien sûr la portée d'équipements qui doivent rester portables. Ainsi, la portée est directement proportionnelle à l'énergie consommée.

Chaque diode infrarouge a un certain angle d'ouverture au sein duquel elle émet. Pour obtenir des systèmes omnidirectionnels il faut répéter, de façon circconférentielle, les diodes d'émission et les cellules de réception. Cet accroissement du nombre de diodes, portant dans la même direction, permet d'augmenter la portée et la vitesse de transmission. Cette portée varie entre 20 mètres pour un terminal portable à plusieurs centaines de mètres en directionnel. Les systèmes omnidirectionnels, alimentés par le secteur, ont une portée moyenne d'environ 50 mètres.

La notion de portée utile, est particulièrement sensible dans les réseaux infrarouges. Celle-ci dépend de l'environnement lumineux (à 1000 Lux la portée est diminuée de 50% et par temps de brouillard, elle est augmentée de 15%), de la structure des locaux et des terminaux utilisés.

Dans le cadre de ce type de transmission, il existe de nombreuses sources de perturbation : lampes à éclats, tubes d'éclairage à décharge ou rayonnement solaire.

Tous réseaux infrarouges comportent deux types d'éléments :

1. les éléments statiques, qui sont chargés d'assurer le relais entre les autres éléments et le concentrateur. Ceux-ci se trouvent souvent sur les murs ou au plafond.

2. Les éléments mobiles que sont les terminaux portables, les chariots de manutentions, etc.

Un réseau infrarouge peut avoir deux types de connexion des éléments statiques avec le concentrateur :

1. Le réseau câble reliant les éléments statiques entre eux : Ce principe est adopté par la plupart des fabricants, présentant l'avantage de pouvoir couvrir des zones de communications discontinues.

2. Le réseau à relais infrarouges libres : Ce principe est d'utiliser des relais infrarouge pour capter l'émission d'un mobile et la transmettre aux relais avec lesquels il est en contact, jusqu'à atteinte du destinataire.

Pour ce qui est des surfaces de couverture, il faut, pour les augmenter, répéter les émetteurs/récepteurs en appliquant le même principe que pour l'éclairage, à savoir, qu'il ne doit pas rester de zone d'ombre.

Enfin, les vitesses de transfert des réseaux infrarouges peuvent atteindre la valeur de 115 Kbps, bien sûr dans d'excellentes conditions.

L'un des principaux inconvénients de l'infrarouge est une obligation permanente d'avoir l'émetteur et le récepteur en vue l'un de l'autre.

V.8 Application physique (Loi de Wien)

Elle tient son nom de William Herschel (1864-1928), physicien allemand connu pour ses travaux sur le rayonnement de la chaleur et qui reçut le prix Nobel de physique en 1911. Elle permet de calculer la température d'un corps en fonction de la longueur d'onde où le rayonnement du corps est le plus intense :

$$T = \frac{b}{\lambda_{max}} \quad (V.1)$$

Avec :

- T : température du corps en Kelvin ;
- λ_{max} : longueur d'onde où le rayonnement du corps est le plus intense
- b : constante de Wien - $b = 2,897.10^{-3}$ m.K

V.9 Applications

Les radiations infrarouges traversent facilement l'atmosphère, même brumeuse. On utilise cette propriété en :

- **Chauffage**

Les lampes à émission infrarouge sont utilisées dans la vie quotidienne, notamment dans les plaques de cuisson en vitrocéramique. Les secteurs de l'automobile, l'agroalimentaire, les textiles, la plasturgie, le formatage des matières, les soins du corps, etc. sont concernés par des applications de chauffage de matières.

Ces techniques de chaleur particulières et innovatrices permettent un gain de productivité et une économie du coût de production qui se caractérise en temps gagné et en énergie dépensée.

- **Vision nocturne**

Les équipements de vision de nuit utilisent les infrarouges lorsque la quantité de lumière visible est trop faible pour voir les objets. Le rayonnement est détecté, puis amplifié pour l'afficher sur un écran : les objets les plus chauds semblent être les plus lumineux.

Dans certains cas un projecteur d'infrarouge associé au système de vision, permet de visualiser des objets sans chaleur intrinsèque, par réflexion, cette lumière étant émise hors du spectre visible, elle est donc invisible à l'œil nu (actuellement ce sont souvent des spots LED qui sont utilisés).

- **Thermographie infrarouge**

Il faut également ajouter comme utilisation, en plus de la vision de nuit, tout le domaine de la thermographie infrarouge permettant de voir et de mesurer à distance et sans contact la température d'objets cibles.

Les satellites météorologiques récupèrent le rayonnement infrarouge émis par les sols, les océans et les nuages pour en tirer des informations sur leur température, qui permet de prévoir l'évolution du temps ;

- **Photographie infrarouge**

Des photographies argentiques et numériques, en couleur ou en noir et blanc, peuvent être faites sur les longueurs d'ondes correspondant à l'infrarouge proche (de 780 nm à 900 nm).

Ces photographies ont un intérêt artistique car elles montrent des scènes à l'ambiance étrange, et un intérêt biologique car elles permettent entre autres de repérer l'activité chlorophyllienne.

- **Réflectographie infrarouge**

La réflectographie infrarouge est une méthode d'investigation basée sur la lumière infrarouge et permettant de visualiser des couches de carbone cachées par des pigments de peinture.

Typiquement, elle permet en peinture d'étudier les dessins préparatoires de peintures sur toiles et des repentirs qui sont cachés par la peinture finale.

- **Guidage**

Les infrarouges sont également utilisés dans le domaine militaire pour le guidage des missiles air-air ou sol-air : un détecteur infrarouge guide alors le missile vers la source de chaleur que constitue le (ou les) réacteur de l'avion cible.

De tels missiles peuvent être évités par des manœuvres spéciales (alignement avec le Soleil) ou par l'utilisation de leurres thermiques.

- **Contre-mesure anti-missiles**

Il existe également des brouilleurs pour contrer les détecteurs infrarouges des missiles que l'on pose directement sur la carlingue. Ils servent à émettre une grande quantité de rayonnement infrarouge modulé de façon à diminuer les performances des missiles lancés sur leur cible.

- **Détecteur d'intrusion**

Certains capteurs de proximité (associés aux systèmes de détection d'intrusion) appelés IRP (pour Infra Rouge Passif), utilisent le rayonnement en infrarouge émis par l'ensemble des objets du local surveillé (y compris les murs).

La pénétration d'un individu provoque une modification du rayonnement. Lorsque cette modification est constatée sur plusieurs faisceaux (découpage du rayonnement total de la pièce par une lentille de Fresnel), un contact électrique envoie une information d'alarme à la centrale.

- **Communications**

Une utilisation plus commune des rayonnements infrarouges est leur usage dans les commandes à distance (télécommandes), où ils sont préférés aux ondes radio, car ils n'interfèrent pas avec les autres signaux électromagnétiques comme les signaux de télévision. Dans ce domaine, il existe plusieurs codages des informations (RC5 pour Philips, SIRCS pour Sony, etc.).

Les infrarouges sont aussi utilisés pour la communication à courte distance entre les ordinateurs et leurs périphériques. Les appareils utilisant ce type de communication sont généralement conformes aux standards IrDA.

Ils sont très utilisés dans le domaine de la robotique ou dans les appareils nécessitant des transmissions de données à courte distance avec peu ou pas d'obstacles.

Certaines étiquettes numériques industrielles utilisent aussi la technologie infrarouge pour transmettre les données de manière cryptée entre le transmetteur et l'étiquette.

Des systèmes de diffusion sonore, soit pour l'audiovisuel domestique, soit pour la diffusion de l'interprétation de conférence, utilisent des infrarouges, soit en analogique avec une fréquence porteuse modulée, soit en numérique. Leur usage limite par principe la diffusion au local où se trouvent les radiateurs infrarouge, facilitant la confidentialité et évitant les interférences.

- **Spectroscopie**

La spectroscopie infrarouge est une des méthodes utilisées pour l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles (en complément d'autres méthodes, la RMN et la spectrométrie de masse).

En effet, le rayonnement infrarouge excite des modes de vibration (déformation, élongation) spécifiques de liaisons chimiques. La comparaison entre rayonnement incident et transmis à travers l'échantillon suffit par conséquent à déterminer les principales fonctions chimiques présentes dans l'échantillon.

Le proche infrarouge peut être utilisé pour déterminer la teneur en lipides d'aliments ou d'animaux vivants (ex : saumon atlantique d'élevage vivant) par une technique non destructive.

- **Astronomie**

Il peut être intéressant d'analyser certains objets célestes par leur rayonnement infrarouge. Mais, L'astronomie infrarouge est en pratique impossible depuis la surface de la Terre car l'atmosphère terrestre intercepte les émissions lumineuses dans ces longueurs d'ondes. Pour cela, on utilise des télescopes placés dans l'espace, sur des satellites artificiels, pour les protéger de l'infrarouge terrestre ;

- **Banque**

Aujourd'hui, les rayons infrarouges sont aussi utilisés pour le contrôle d'authenticité de billets de banque. En effet, ils se prêtent particulièrement à la détection de faux billets.

- **Laser infrarouge**

Les lasers infrarouges peuvent être utilisés pour la gravure, la soudure ou la découpe de matériaux. On peut aussi les utiliser sous formes de télémètres laser avec statique pour mesurer une distance mais aussi dynamique, en rotations rapides sous formes de Lidars, afin de mesurer l'ensemble des distances autour de lui dans un plan, par exemple pour des véhicules autonomes.

On les trouve aussi sous formes de diodes dans les anciens lecteurs et graveurs optiques de CD. Mais cette technologie limite grandement la capacité de stockage de donnée et est aujourd'hui délaissée au profit de diodes bleu-violet (lecteur et disque Blu-ray).

L'infrarouge sert aussi au chauffage domestique ou industriel et au séchage des vernis et peintures, du bois, des cuirs, des papiers et pellicules photographiques, à la déshydratation des fruits et légumes. L'une des applications militaires les plus importantes concerne l'autoguidage par infrarouge des missiles. L'infrarouge peut aussi servir pour les appareils de visée nocturne. En thérapie, les rayons infrarouges activent les processus cellulaires, en particulier la cicatrisation.

Conclusion Générale

L'objectif de ce cours était d'étudier les supports de transmission et leurs différents types.

On a pour cela, au premier chapitre, identifié les caractéristiques des supports de transmission. Ensuite, on a présenté l'abaque de Smith permettant de déterminer graphiquement quelques paramètres des supports de transmission.

Le deuxième chapitre a été axé sur l'étude des conducteurs électrique, tels que les câbles coaxiaux et les câbles à paires torsadées, qui transportent des courants électriques

Le chapitre trois était orienté à l'étude des fibres optiques qui utilisent la lumière pour transmettre les informations.

Dans le chapitre quatre, on a présenté les faisceaux hertziens utilisé pour les transmissions sans fil à longue distance et qui transportent des ondes électromagnétiques.

Enfin, les faisceaux infrarouge sont présentés dans le chapitre cinq.

Références

- [1] Reynier Louis, « Télécommunications- Radiocommunications- Liaisons hertziennes, antennes, équipements » Cours, exercices corrigés, études de systèmes (Niveau B), Edition Ellipses
- [2] P.F. Combes, « Micro-ondes », 1995.
- [3] D. Dromard et D. Seret, « Architectures des réseaux », 2013.
- [4] https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782729887902_extrait.pdf
- [5] <https://www.robertponge.com/telechargements/ebooks/telecom-5.pdf>
- [6] <http://www.louisreynier.com/Radiocoms.html>
- [7] https://fr.wikibooks.org/wiki/Photographie/Techniques_scientifiques/Photographie_dans_1%27infrarouge.
- [8] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Infrarouge>.
- [9] <https://perso.esiee.fr/~vasseurc/cables.pdf>
- [10] <http://enzoorn.free.fr/lecable.htm>
- [11] <http://hautrive.free.fr/reseaux/supports/cables-paires-torsadees.html>
- [12] <http://www.fsr.ac.ma/cours/chimie/GUEDIRA/Master%20de%20Sciences%20Analytiques-M9%20Spectr.%20UV-visible/Word/Master%20Sc%20Anal%20Cours%20IR.pdf>