

Chapitre I :

Introduction aux réseaux de transmission de données

I.1 – GÉNÉRALITÉS

I.1.1 – Définition

Un réseau est un ensemble de moyens matériels et logiciels géographiquement dispersés destinés à offrir un service, ou à assurer le transport de données. Comme : le réseau téléphonique, réseau Internet, réseau d'entreprise, ...etc.

Les techniques à mettre en œuvre diffèrent en fonction des finalités du réseau et de la qualité de service désirée.

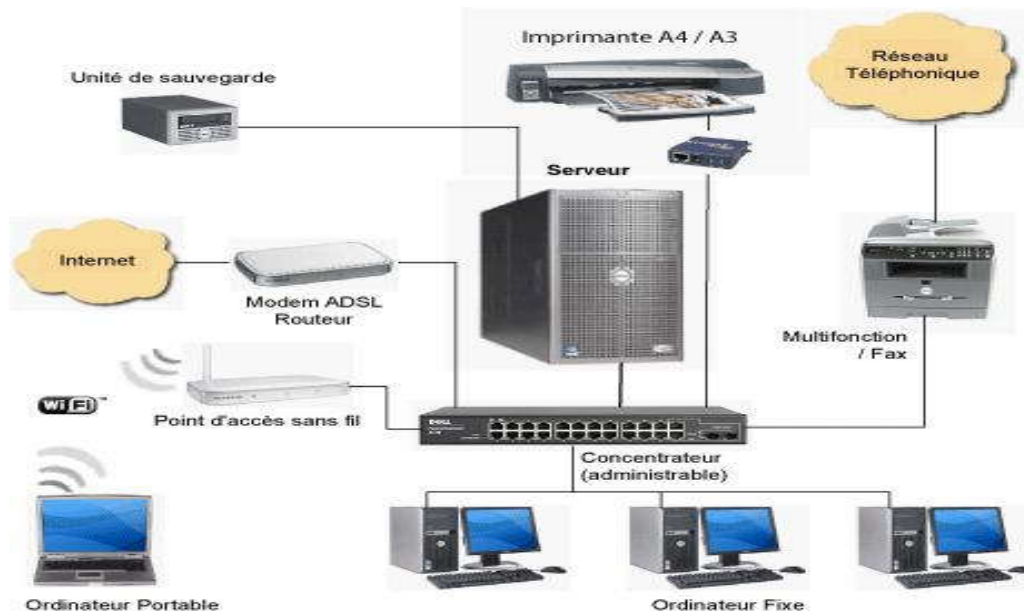


Figure I.1 – Le réseau : ensemble de ressources mises en commun.

I.1.2 – Les flux d'information

L'acheminement, dans un même réseau, d'informations aussi différentes que les données informatiques, la voix ou la vidéo implique que chacune de ces catégories d'information ait une représentation identique vis-à-vis du système de transmission (son rôle est la transmission des données sans avoir de connaissance sur le type d'information transmis) et que le réseau puisse prendre en compte les contraintes spécifiques à chaque type de flux d'information (*Figure I.2*).

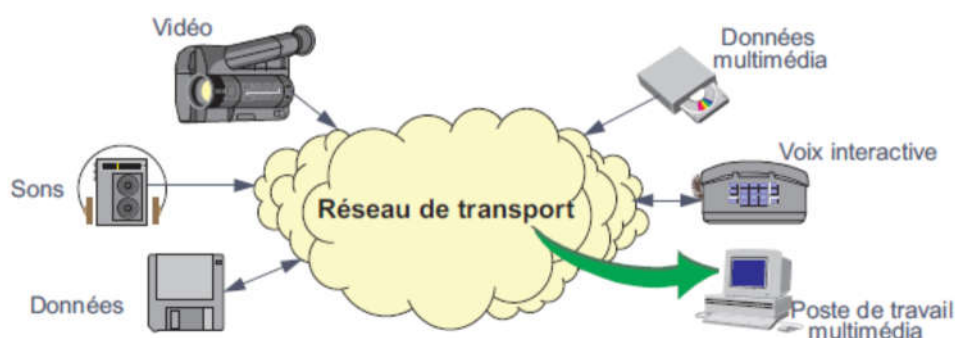


Figure I.2 – Le réseau et les différents flux d'information.

I.2 – REPRESENTATION DE L'INFORMATION

I.2.1 – Les différents types d'information

Les informations transmises peuvent être réparties en deux grandes catégories selon ce qu'elles représentent et les transformations qu'elles subissent pour être traitées dans les systèmes informatiques. On distingue :

- Les données discrètes : l'information correspond à l'assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (suite discontinue de valeur) et dénombrables (ensemble fini). Par exemple, un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires).
- Les données continues ou analogiques : résultent de la variation continue d'un phénomène physique (*Figure I.3*) : température, voix, image... Un capteur fournit une tension électrique proportionnelle à l'amplitude du phénomène physique analysé : signal analogique (signal qui varie de manière analogue au phénomène physique). Un signal analogique peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle déterminé (borne).

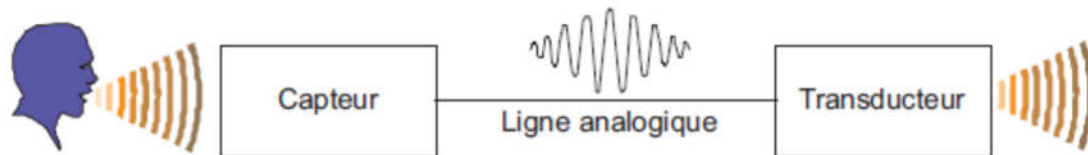


Figure I.3 – Le signal analogique.

Pour traiter ces informations par des équipements informatiques, il est nécessaire de substituer à chaque élément d'information une valeur binaire représentative de l'amplitude de celui-ci. Cette fonction (opération) porte le nom de codage de l'information (codage à la source) pour les informations discrètes et numérisation de l'information pour les informations analogiques.

I.2.2 – Codage des informations

a) Définition

Comme définition, le codage consiste à transformer, à transcrire et à faire correspondre à chaque symbole d'un alphabet (élément à coder) une représentation binaire (*mot-code*). L'ensemble des mots codes constitue le code (*Figure I.4*). Ces informations peuvent aussi bien être un ensemble de commandes d'une machine outil que des caractères alphanumériques...

Un code peut contenir :

- Les chiffres : [0, ...,9];
- Les lettres de l'alphabet : [a, ...,z, A, ...,Z];
- Les symboles : [é, è, à, ...];
- Les symboles de ponctuation : [, ; . ? !];
- Les symboles semi-graphiques : [¶ ≡ || ...];
- Les commandes nécessaires au système : [Saut de ligne, Saut de page, Fin de fichier, ...].

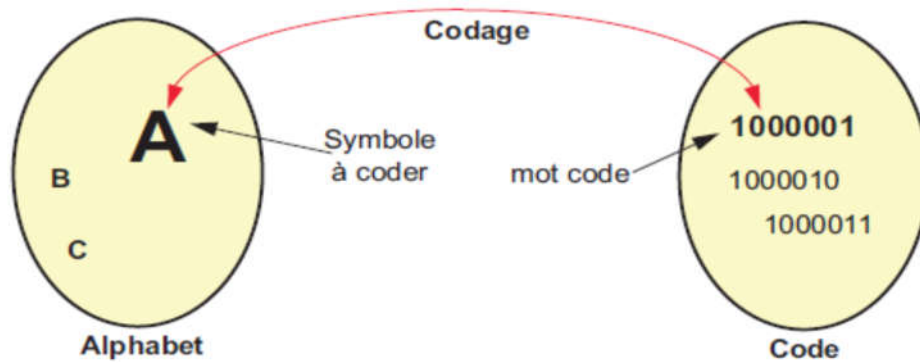


Figure I.4 – Principe du codage des données.

b) Puissance lexicographique d'un code

On appelle puissance lexicographique d'un code, le nombre de symboles qu'il est possible de représenter à l'aide de ce code.

Avec le code binaire on peut coder 2^n symboles, pour n éléments binaires (bits). Donc avec n bits, on peut coder N symboles car : $2^{n-1} < N \leq 2^n$.

Le nombre de bits nécessaire pour coder N symboles est donc : $n = \log_2 N$

c) Quantité d'information

La quantité d'information transmise par une lettre est :

$$H = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right)$$

Où : P est la probabilité d'apparition de chaque lettre.

Exemple : Combien de bits sont nécessaires pour coder toutes les lettres de l'alphabet française et qu'elle est la quantité d'information transmise par une lettre, en supposant équiprobable l'apparition de chaque lettre ?

Solution :

1- Le nombre de bits nécessaires pour coder les 26 lettres de l'alphabet est donné par :

$$2^{n-1} < N \leq 2^n \text{ Avec } N = 26.$$

$$n = \log_2 26 = 5 \quad \rightarrow \quad 2^4 < 26 \leq 2^5$$

Donc il faut 5 bits pour coder les 26 lettres de l'alphabet.

$$\text{Soit } P = 1/26 \quad \rightarrow \quad H = \log_2(26) = \frac{\log_{10}(26)}{\log_{10}(2)} = \frac{1,41497}{0,30102999} \quad \rightarrow \quad H = 4,66 \text{ bits.}$$

d) Les différents types de codes

Généralement, on utilise les codes de *longueur fixe*, c-à-d que le nombre de symboles binaires (nombre de bits) utilisés pour représenter un élément du code est identique pour tous les éléments du code. Certain technique comme la compression de données utilise des codes de *longueur variable*.

- Les codes de longueur fixe : Chaque état du système est codé par un certain nombre de bits, appelé longueur du code, longueur du mot code ou encore code à n moments, par exemple :

- **Le code BAUDOT** : à 5 moments (éléments) binaires, il est utilisé dans les réseaux Télec (Télégraphique). Ce code autorise : $N = 2^5 = 32$ symboles (ou caractères).
Ce qui est insuffisant pour représenter les 26 lettres de l'alphabet plus les 10 chiffres plus les commandes annexes (Saut de ligne, Fin de fichier, ...).
 - **Le code ASCII** : (American Standard Code for Information Interchange), est un code à 7 moments (éléments binaires). Il autorise $2^7 = 128$ caractères. Ce code étendu à 8 moments, constitue l'alphabet de base des micro-ordinateurs du type PC.
 - **Le code EBCDIC** : (Extended Binary Decimal Interchange Code) code à 8 moments d'origine IBM est utilisé dans les ordinateurs du constructeur IBM. Ce code a été adopté par d'autres firmes telles que (BULL, ...).
- Les codes de longueur variable : Les codes des longueurs variables sont utilisés dans la compression des données par exemple : le code HUFFMAN. La longueur binaire (nombre de bits) d'un *mot-code* (symbole) est autant plus faible que l'apparition de symbole codé est importante.

1- Construction du code HUFFMAN :

Soit par exemple à coder un message dont la probabilité d'apparition des caractères (symboles) est donné par le tableau suivant :

| A | E | U | S | Y | T |
|------|------|------|------|------|------|
| 0,28 | 0,34 | 0,08 | 0,13 | 0,05 | 0,12 |

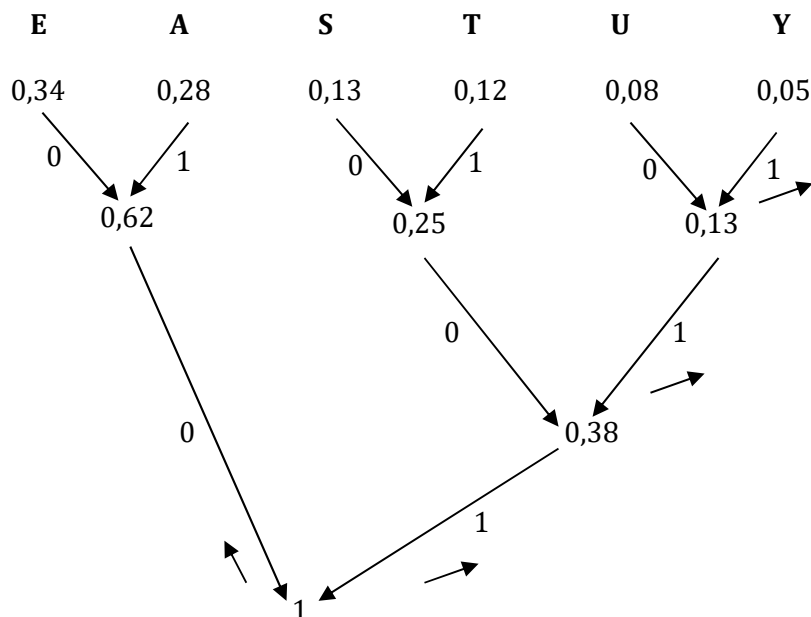


Figure I.5 – L'arbre de HUFFMAN.

2- Méthode :

- Ecrire dans l'ordre décroissante les symboles des codes HUFFMAN (ici : E, A, S, T, U, Y).
- Indiquer la probabilité d'apparition du symbole (0,34 ; 0,28 ; ...).
- Regrouper deux à deux les termes pour obtenir la combinaison la plus petite (0,08+0,05 = 0,13).
- Construire l'arbre et le remonté en attribuant les valeurs zéro au branche gauche et 1 au branche droite.
- Lire de la racine de l'extrémité, par exemple la lettre A se lit 01.

Le nombre de bits pour 100 caractères est de :

- Pour le code HUFFMAN : $100 \times (2 \times 0,34 + 2 \times 0,28 + 3 \times 0,13 + 3 \times 0,12 + 3 \times 0,08 + 3 \times 0,05) = 238 \text{ bits}$.
Pour l'EBCDIC : $8 \times 100 = 800 \text{ bits}$. Donc la compression / à l'EBCDIC : $800/238 = 3,36$.
- Pour le code ASCII : $7 \times 100 = 700 \text{ bits}$. la compression / à l'ASCII : $700/238 = 2,94$.

1.2.3 – Numérisation des informations

a) Principe

Numériser une grandeur analogique consiste à transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie. A cet effet, on prélève, à des instants significatifs, un échantillon de signal (*Figure I.6*), c.-à-d. c'est de remplacer un signal $U_1(t)$ par un autre $U_2(t)$ qui est :

- Egal en valeur instantané à $U_1(t)$ ($U_1(t) = U_2(t)$) pendant un brève instant de durée τ répéter périodiquement avec F_e qui est dite fréquence d'échantillonnage ($1/T_e$).
- Nul entre ces instants

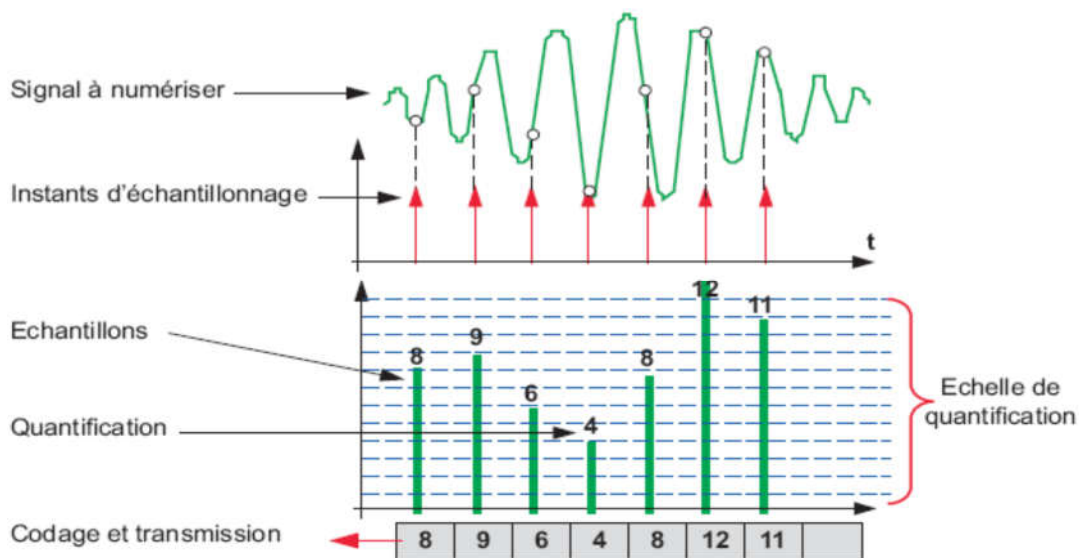


Figure I.6 – Numérisation d'un signal analogique.

Ensuite, on exprime son amplitude par rapport à une échelle finie (quantification). Le récepteur, à partir des valeurs transmises, reconstitue le signal d'origine. Une restitution fidèle du signal nécessite que soient définis :

- L'intervalle d'échantillonnage qui doit être une constante du système (fréquence d'échantillonnage).
- L'amplitude de l'échelle de quantification, celle-ci doit être suffisante pour reproduire la dynamique du signal (différence d'amplitude entre la valeur la plus faible et la valeur la plus forte).
- Que chaque valeur obtenue soit codée.

La figure I.6 représente les différentes étapes de la numérisation du signal. A intervalle régulier (période d'échantillonnage), on prélève une fraction du signal (échantillon). Puis, on fait correspondre à l'amplitude de chaque échantillon une valeur (quantification), cette valeur est ensuite transformée en valeur binaire (codification).

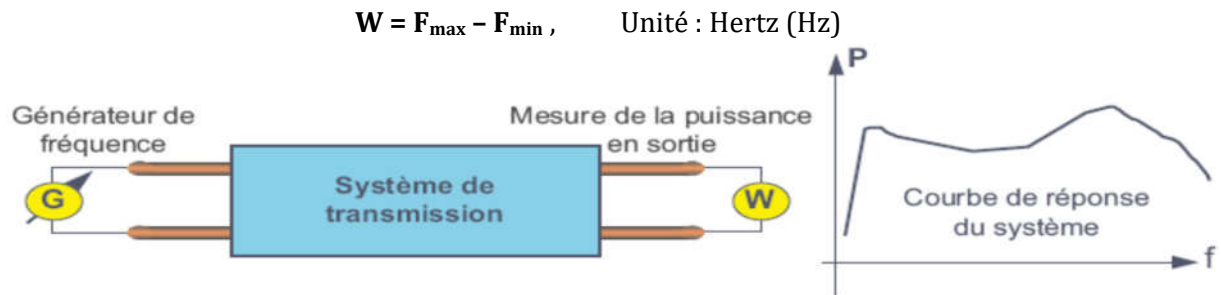
La fréquence minimale d'échantillonnage (fréquence de Nyquist) d'un signal doit être le double de la fréquence maximale du signal à échantillonner :

$$F_{\text{échantillon}} = 2 \times F_{\text{max_du_signal}}$$

I.3 – CARACTERISTIQUES DES RESEAUX DE TRANSMISSION

I.3.1 – Notion de la bande passante

La principale caractéristique d'une voie de transmission (câble, fibre optique, etc.) est sa bande passante. C'est l'intervalle de fréquences à l'intérieur duquel les signaux seront correctement transmis.



Pour transmettre des signaux numériques (signal carré), il faut que la ligne de transmission possède une grande bande passante, les signaux analogiques utilisent une bande passante plus étroite. Le réseau téléphonique RTC offre un intervalle de fréquence de 300 à 3400 Hz, ce qui limite la bande passante à 3,1 KHz.

I.3.2 – Notion de rapport Signal sur Bruit

Les signaux transmis sur un canal peuvent être perturbés par des phénomènes électriques ou électromagnétiques désignés sous le terme générique de *bruit*. Le bruit est un phénomène qui dénature le signal et introduit (engendre) des erreurs. Le rapport entre la puissance du signal transmis et celle du signal de bruit qualifie le canal vis-à-vis du bruit. Ce rapport, appelé rapport signal sur bruit (S/N avec N pour *Noise*), s'exprime en dB (décibel) :

$$S / N_{dB} = 10 \log_{10} (S / N)_{(linéaire)}$$

I.3.3 – Notion de débit binaire

On appelle débit binaire D , le nombre d'éléments binaires, ou nombre de bits, émis sur le support de transmission pendant une unité de temps. C'est l'une des caractéristiques essentielles d'un système de transmission. Le débit binaire s'exprime par la relation :

$$D = \frac{V}{t}$$

D : Débit en bits par seconde (bit/s).

V : Le volume à transmettre exprimé en bits.

t : La durée de la transmission en seconde.

Le débit binaire mesure le nombre d'éléments binaires transitant sur le canal de transmission pendant l'unité de temps.

$$D = 1/T_{\text{bit}}$$

T : temps pris pour transmettre un élément binaire.

Théorème de Shannon :

Il donne le débit théorique maximum (ou la capacité du canal) d'un support soumis à du bruit :

$$C = D_{\max} = W \cdot \log_2 (1 + S/N)$$

- C : capacité du canal (en bps)
- W : la largeur de bande (en Hz)
- S/N : le rapport signal sur bruit de la voie.

I.3.4 – Notion de taux d'erreur

Les perturbations propres au système de communication (bruit, distorsion), rayonnement E.M et les interférences peuvent entacher l'erreur des informations transmises (bit erroné). Une liaison qualifiée par son taux d'erreurs T_e , est défini par le rapport entre le nombre d'informations erronés et le nombre d'information transmise.

$$T_e = \frac{nb - bits - erronés}{nb - bits - transmis}$$

Exemple : Soit la transmission de la suite :

E → 011001001100100101001010

R → 011001101100101101000010

Quel est le taux d'erreurs de ce canal ?

Solution :

$$T_e = \frac{3}{24} = 0,125$$

Le taux d'erreurs varie en pratique de 10^{-4} (liaison RTC : Réseau Téléphonique Commuté) à 10^{-9} (Réseaux locaux).

Si τ_e est la probabilité pour qu'un bit reçu soit erroné, la probabilité de recevoir un bit correct est $(1 - \tau_e)$. Pour qu'un bloc (message) de n bits reçus soient corrects, la probabilité associée est de $(1 - \tau_e)^n$.

I.4 LES SUPPORTS DE TRANSMISSION

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique).

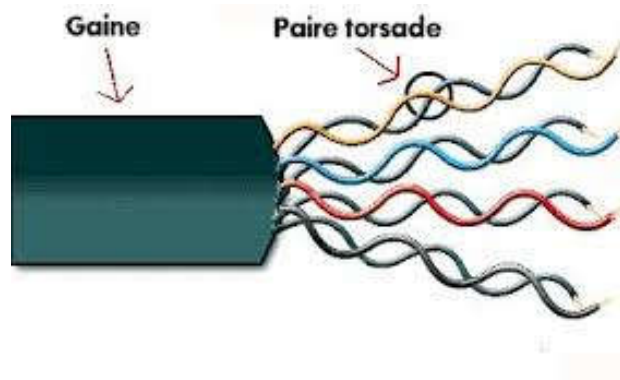
Généralement on classe les supports en deux catégories :

- Les supports guidés (supports cuivre et supports optiques) ;
- Les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites).

I.4.1 – Les supports guidés

I.4.1.1 – La paire torsadée : La paire torsadée ou symétrique est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. Les torsades réduisent l'inductance de la ligne (L). Généralement plusieurs paires sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée gaine pour former un câble.

Le taux d'erreur sur un tel câble est d'environ 10^{-3} à 10^{-5} , il autorise un débit de 100Mbits/s

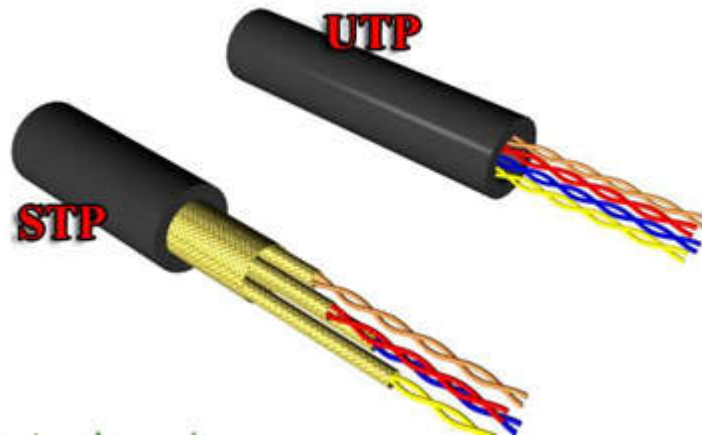


Paire torsadée ou paire symétrique.

Les câbles contiennent 1 paire (desserte téléphonique), 4 paires (réseaux locaux), ou plusieurs dizaines de paires (câble téléphonique).

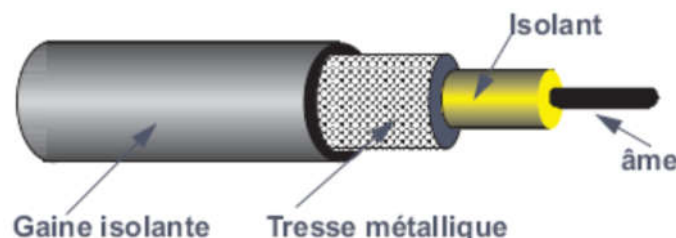
Type de câbles :

- Paires UTP (Unshielded Twisted Pair) : sont des câbles non blindés, c'est-à-dire aucune gaine de protection n'existe entre les paires des câbles. Théoriquement les câbles UTP peuvent transporter le signal jusqu'à environ 100m.
- Paires STP (Shielded Twisted Pair) : sont des câbles blindés. Chaque paire est protégée par une gaine blindée comme celle du câble coaxial. Théoriquement les câbles STP peuvent transporter le signal jusqu'à environ 150m à 200m.



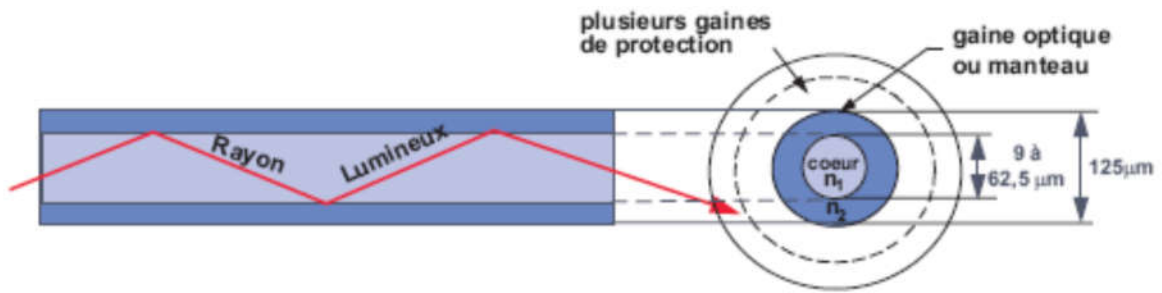
1.4.1.2 - Le câble coaxial : Une paire coaxiale ou câble coaxial est constituée de deux conducteurs concentriques maintenus à distance constante par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit appelée *blindage*, est mis à la terre. L'ensemble est protégé par une gaine isolante.

Le câble coaxial possède des caractéristiques électriques supérieures à celles de la paire torsadée. Il autorise des débits plus élevés et est peu sensible aux perturbations électromagnétiques extérieures. Le taux d'erreur sur un tel câble est d'environ 10^{-9} .

**Type de câbles :**

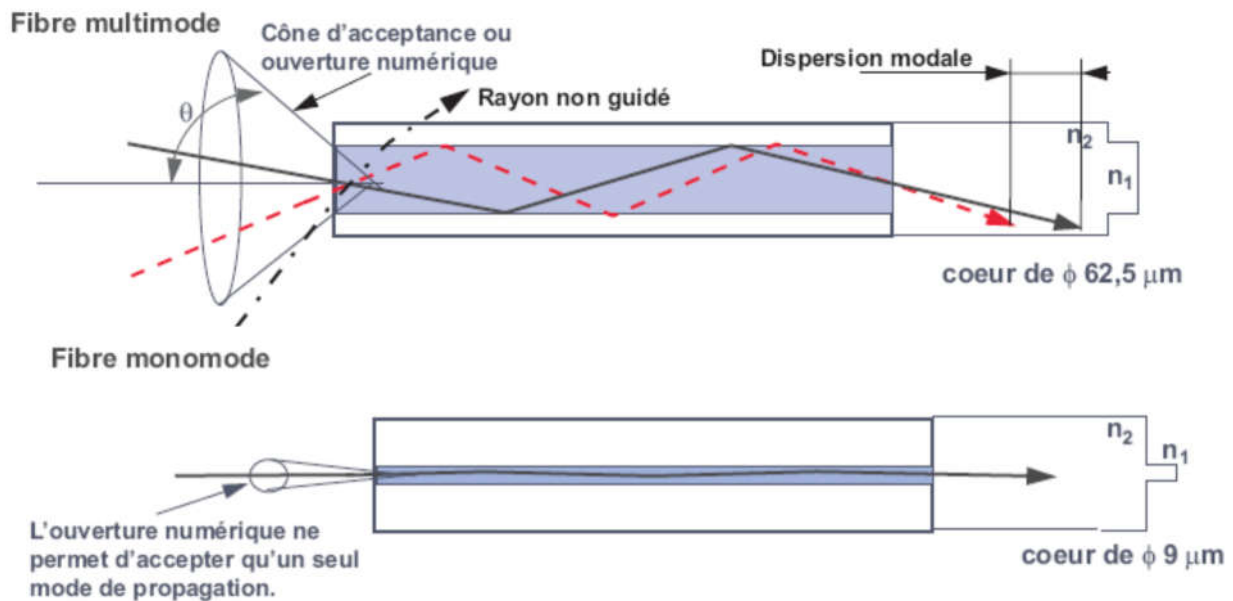
- Le câble coaxial à 75 **ohm** : est utilisé généralement en transmission analogique pour réaliser des liaisons longues distances. Son impédance est de 75 **ohm**. Ce câble, similaire au câble coaxial utilisé en télévision, est souvent dénommé câble CATV.
- Le câble coaxial à 50 **ohm** : est utilisé généralement en transmission numérique, notamment dans les réseaux locaux, on utilise des câbles d'impédance 50ohm à des débits pouvant atteindre 10 Mbit/s sur des distances de l'ordre du kilomètre.

1.4.1.3 - La fibre optique : Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.



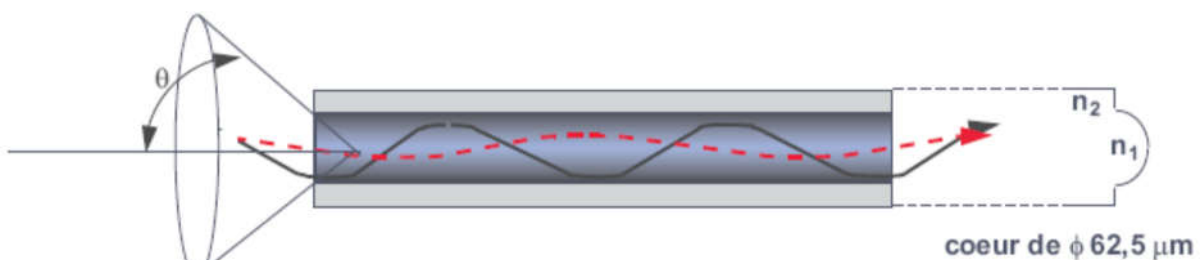
Les types de fibres

- **Les fibres à saut d'indice :** Dans les fibres à saut d'indice, le coeur d'indice n_1 est entouré d'une gaine d'indice n_2 . La variation d'indice entre le coeur et la gaine est brutale (saut d'indice). La propagation s'y fait par réflexion totale à l'interface coeur/gaine.



Les fibres à saut d'indice.

- **Les fibres à gradient d'indice :** Un compromis a été trouvé avec les fibres à gradient d'indice, l'indice du coeur décroît de façon continue, depuis le centre du coeur jusqu'à l'interface coeur/gaine suivant une loi parabolique.



Les fibres à gradient d'indice.

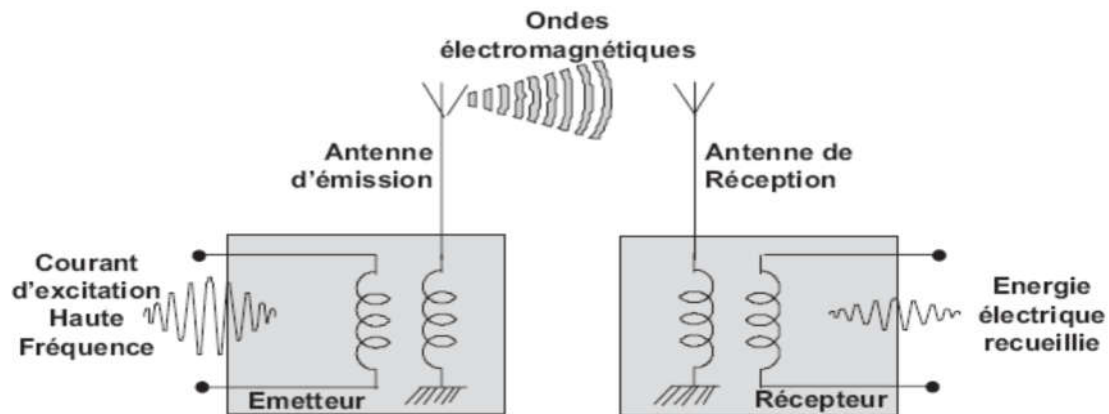
Les performances des fibres optiques sont :

- bande passante importante ;
- immunité électromagnétique ;
- faible taux d'erreur 10^{-12} ;
- faible affaiblissement (0,2 à 0,5 dB/km) ;
- faible encombrement et poids ;
- vitesse de propagation élevée (monomode) ;

Ces caractéristiques font des fibres optiques le support privilégié dans le domaine des télécommunications à haut débit et grande distance, dans les applications aéronautiques et navales (sous-marin) et dans les transmissions de données en milieu perturbé.

1.4.2 – Les supports non guidés (Les liaisons hertziennes)

Un conducteur rectiligne alimenté en courant haute fréquence ou radiofréquence peut être assimilé à un circuit oscillant ouvert. Un tel circuit ou antenne d'émission rayonne une énergie (onde électromagnétique). Cette énergie électromagnétique recueillie par un autre conducteur distant ou antenne de réception est transformée en un courant électrique similaire à celui d'excitation de l'antenne d'émission.



Principe d'une liaison radioélectrique.

Contrairement aux supports étudiés dans les paragraphes précédents, la liaison entre les deux entités émetteur et récepteur s'effectue sans support physique. Les ondes électromagnétiques (OEM) se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière. On appelle longueur d'onde (λ), la distance parcourue pendant une période du phénomène vibratoire.

Les ondes électromagnétiques subissent peu d'affaiblissement, leur mise en œuvre est assez aisée et le coût d'infrastructure généralement faible devant les coûts de génie civil engendrés par le passage de câbles physiques. Les transmissions par ondes électromagnétiques sont utilisées chaque fois qu'il est nécessaire :

- de diffuser une même information vers plusieurs utilisateurs (réseaux de diffusion),
- de mettre en relation des stations mobiles (réseaux de messagerie),
- de relier, à haut débit, deux entités éloignées (faisceaux hertziens) ou très éloignées (satellites de communication).

Chaque type de liaison ou d'application utilise des bandes de fréquences différentes. L'espace de fréquences utilisables est limité.