

LES NOTIONS DE BASE DES RESEAUX

Caractéristique d'une voie de transmission

Bande passante

Un circuit de données est assimilable à un filtre de type *Passe Bande*. Autrement dit, seule une certaine bande de fréquence est correctement transmise. La réponse spectrale d'un circuit parfait indique une atténuation totale de toutes les fréquences extérieures à la bande. Dans la pratique, la réponse n'est pas aussi franche, et on définit en général *la bande passante* (encore appelé *largeur de bande* du circuit par :

$$W = f_2 - f_1$$

W est exprimé en Hertz (Hz)

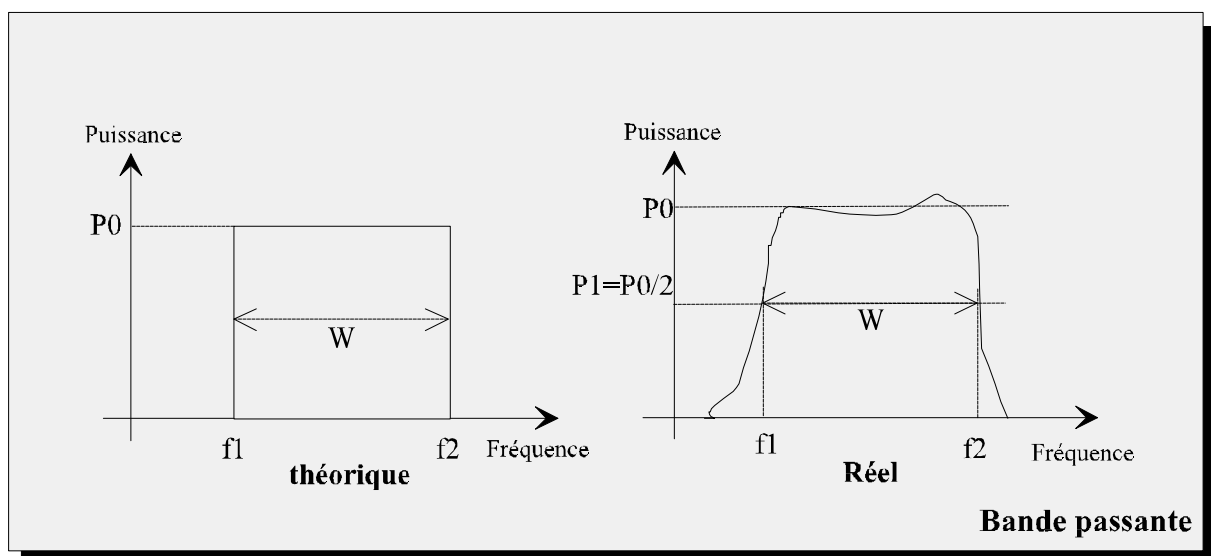


Fig. 1

Ces 2 fréquences f_1 et f_2 , limitant la bande passante, correspondent à une puissance transmise $P_1 = \frac{P_0}{2}$ avec P_0 représentant la puissance dans la bande. Cette largeur de bande est dite à 3 dB (décibel) : $10 \log_{10} \frac{P_0}{P_1}$
 $= 10 \log_{10} 2 = 3 \text{ dB}$

La bande passante est très importante pour un circuit de données puisqu'elle détermine directement sa capacité de transmission.

Exemple : La ligne téléphonique usuelle ne laisse passer que les signaux dont l'affaiblissement est inférieur à 6 dB ce qui correspond à une plage de fréquences allant de 300 Hz à 3400 Hz. La bande passante est donc égale à 3100 Hz.

Capacité d'une voie

Dés 1924, H. Nyquist prouvait de façon empirique que la capacité d'un circuit de donnée est limitée par sa bande passante :

$$C = 2 W$$

C'est C. Shannon qui en 1949 a prouvé que la capacité d'un canal de transmission n'était pas seulement limitée par **la bande passante** mais aussi par **le rapport Signal/Bruit** :

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{B} \right) \text{ en Bits/s}$$

Exemple : Avec une ligne téléphonique usuelle ($W = 3100 \text{ Hz}$) et un rapport Signal/Bruit de 30 dB, la capacité de transmission est d'environ **à déterminer** bits/s. En pratique, les débits binaires sur de telles voies n'excèdent guère 9600 bits/s.

Rapidité de modulation et Débit binaire :

La rapidité de modulation R est la quantité d'informations transmises par moments élémentaires.

$$R = \frac{1}{\Delta} \text{ en bauds}$$

Δ représente la durée (s) de l'intervalle significatif le plus court séparant deux instants significatifs successifs.

Dans une transmission asynchrone, il est préférable de se référer à la notion de rapidité de modulation.

Le débit binaire D d'une voie de transmission est le nombre maximum de symbole binaire d_i transmis par seconde sur cette voie.

Pour ce faire, il suffit de regarder dans chaque moment élémentaire le nombre de bits qui sont transmis, ou de déterminer sur la ligne le nombre de valeur ou d'états différents qui existent et d'appliquer la formule suivante :

$$I = \log_2 n \text{ (Karbowiak 1969)}$$

Avec

- I : La quantité d'information contenue dans un moment élémentaire,
- N : Le nombre de valeurs différentes sur la ligne de transmission.

La relation entre D et R peut s'exprimer de la façon suivante :

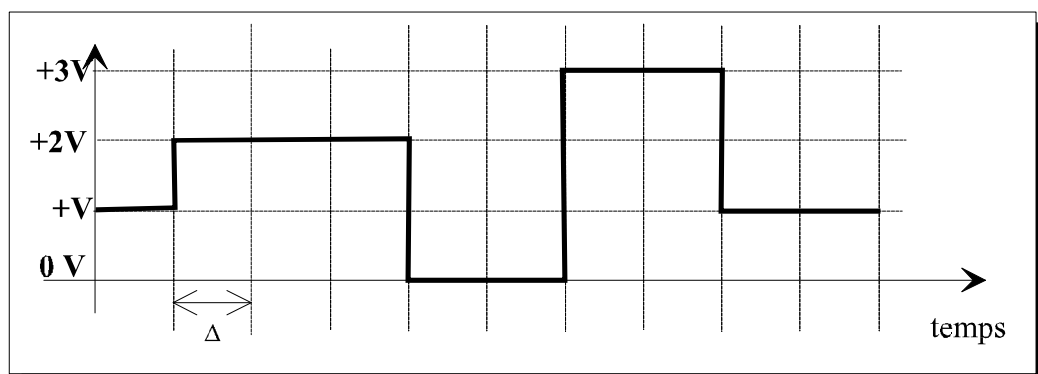
$$D = R \log_2 n \text{ en bits/s}$$

Remarque : Dans le cas où l'on transporte 1 bit (cas où $n=2$) par moments élémentaires nous obtenons :

$$R = D$$

Exemple :

On considère le signal numérique dont on relève un échantillon représentatif suivant :



$$\Delta = 1 \text{ ms}$$

$$R = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{10^{-3}} = 1000 \text{ bauds}$$

$$n = 4$$

$$I = \log_2 4 = 2$$

$$D = R \log_2 n = 2000 \text{ bits/s}$$

Sens de transmission :

Pour communiquer des informations entre deux points il existe différentes possibilités pour le sens de transmission :

- Liaisons unidirectionnelles,
- Liaisons bidirectionnelles,
- Liaisons bidirectionnelles simultanées.

La liaison unidirectionnelle ou simplex a toujours lieu dans le même sens Emetteur/Récepteur.

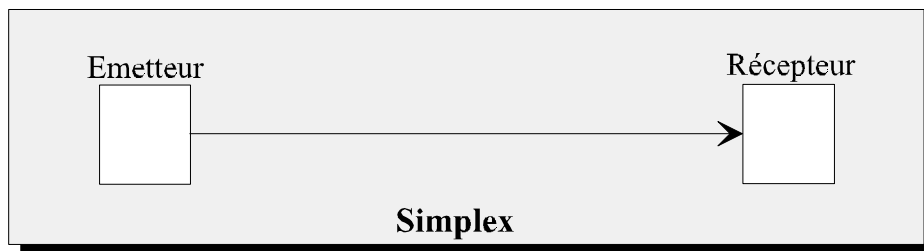


Fig. 3

La liaison bidirectionnelles ou à l'alternat ou semi-duplex ou half-duplex permet de faire dialoguer l'émetteur et le récepteur à tour de rôle;

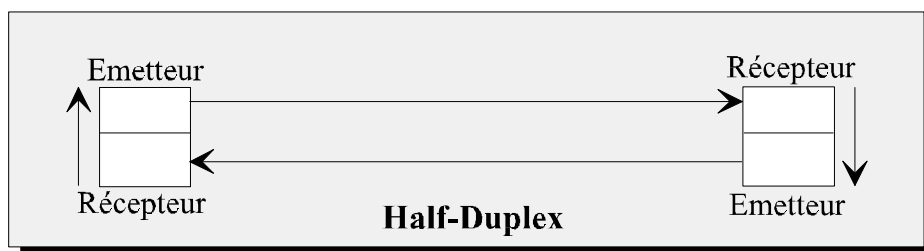


Fig. 4

La liaison bidirectionnelle simultanée ou duplex ou full-duplex permet une transmission simultanée dans les deux sens.

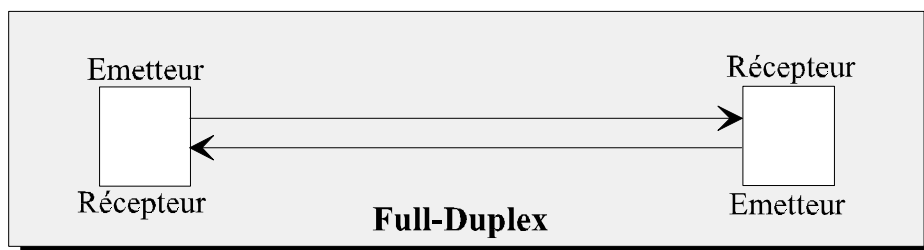


Fig. 5

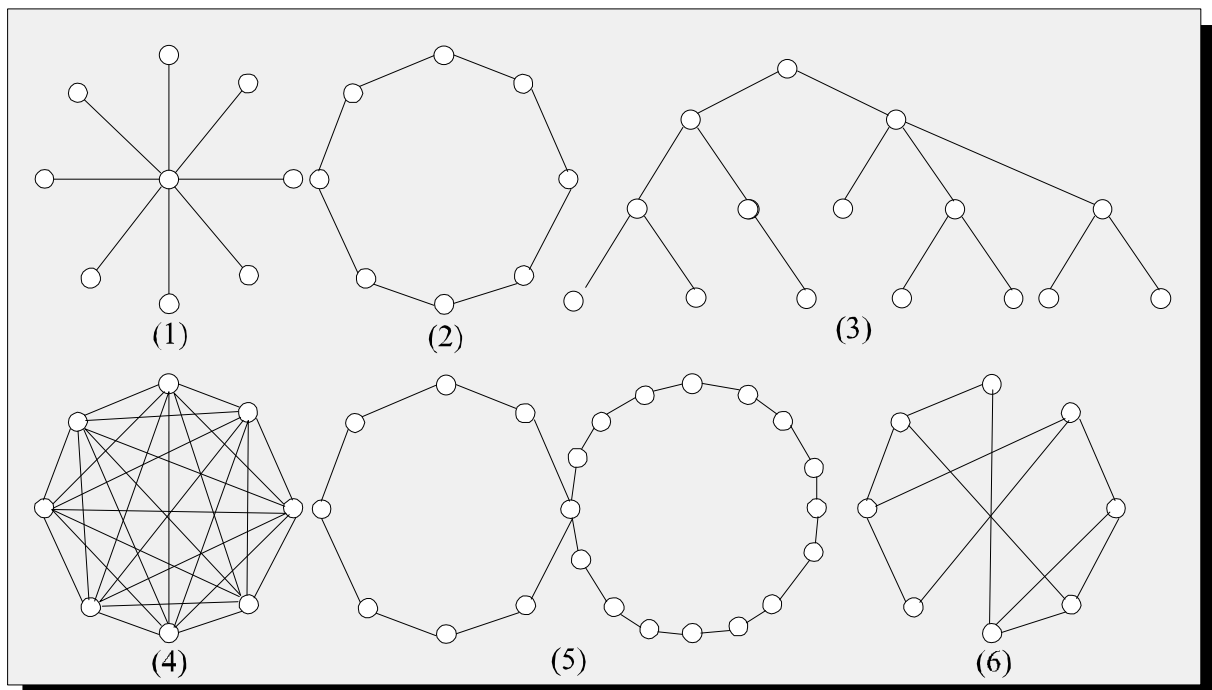
Topologie des réseaux :

Nous pouvons dire pour résumer la structure des réseaux de communication qu'il existe deux types de conception :

- *Les canaux en mode point à point.*
- *Les canaux de diffusion.*

Les canaux en mode point à point :

Ces réseaux contiennent de nombreux câbles ou lignes téléphoniques louées chacun reliant deux noeuds du réseau (ou encore IMP *Interface Message Processor*). Si deux noeuds veulent communiquer, ils peuvent le faire par l'intermédiaire d'autres noeuds. Dans ce cas les messages sont acheminés de noeud en noeud dans leur intégralité. Si un noeud n'est pas libre, le message est mémorisé puis réexpédié à la libération du noeud => Store and Forward (mode différé). L'interconnexion des noeuds entre eux est un des problèmes les plus importants dans la conception des réseaux. Dans les réseaux locaux du type point à point, on s'attache à réaliser des topologies symétriques, ce qui est en revanche totalement impossible pour des réseaux point à point étendus.

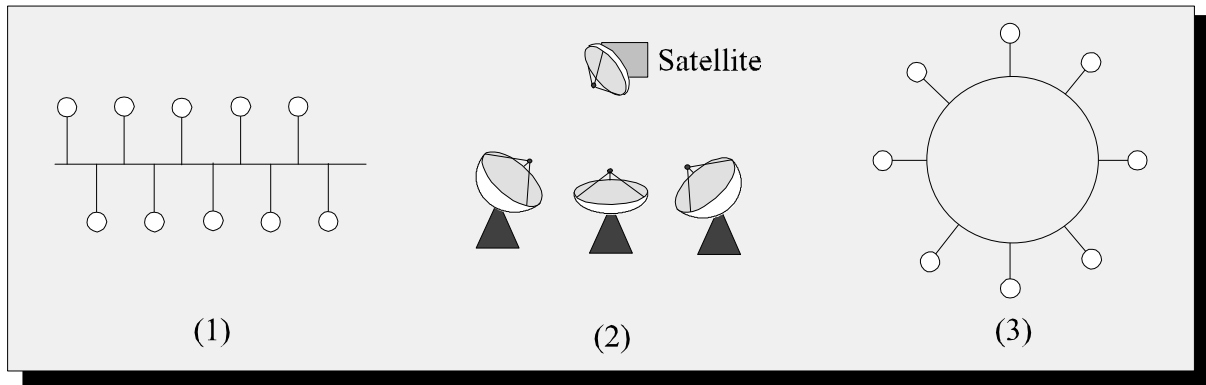


1 : étoile, 2 : anneau, 3 : arbre, 4 : maillage régulier, 5 : intersection d'anneau, 6 : maillage irrégulier.

Fig. 6

Les canaux de diffusion :

Ces systèmes ont un seul réseau de communication partagé par toutes les machines composant le réseau. L'information envoyée par une machine est reçue par toutes les autres. Une adresse de destination contenue dans le message transmis précise le destinataire. Dès réception d'un message, chaque machine teste l'adresse de destination et ignore le message si celui-ci ne lui est pas destiné.



1 : bus, 2 : satellite ou radio, 3 : anneau

Fig.7

La Transmission bande de base

La transmission bande de base consiste à émettre sur la ligne (médium) des courants qui reflètent les bits du caractère à transmettre. Dans le cadre de telle transmission, le **MODEM** (*MO*dulateur *DE*Modulateur) est réduit à un codeur dont le rôle est de substituer au signal initial un autre signal similaire mais dont le spectre est mieux adapté à la ligne.

Il s'agit en fait, pour résumer, de dire que la transformation qui a lieu est du type **NUMERIQUE/NUMERIQUE**.

Pour illustrer ce propos nous allons étudier quelques transformations particulières avec la suite de bits suivante :

100101101

Dont la représentation sous la forme d'un signal électrique est donnée par la figure suivante :

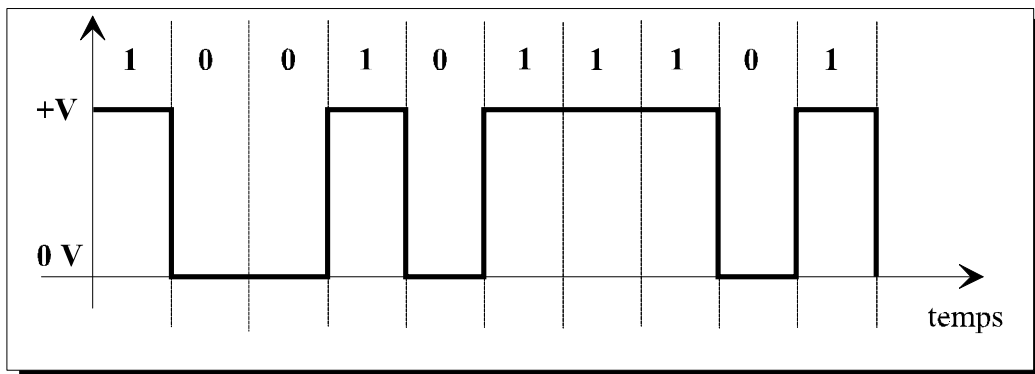


Fig. 8

Cette représentation est faite sous la forme de créneaux unipolaires avec une tension positive +V pour les niveaux logique '1', et une tension nulle 0V pour les niveaux logique '0'.

Le code NRZ :

Les niveaux '0' sont codés par une tension -V,
 Les niveaux '1' sont codés par une tension +V

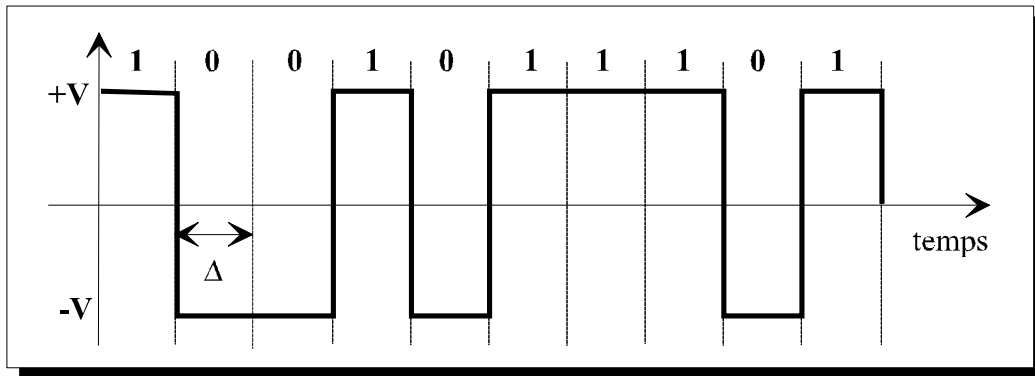


Fig. 10

Le code Bipolaire :

Les niveaux '0' sont codés par une tension Nulle (0V),

Les niveaux '1' sont codés alternativement par un niveau +V et -V

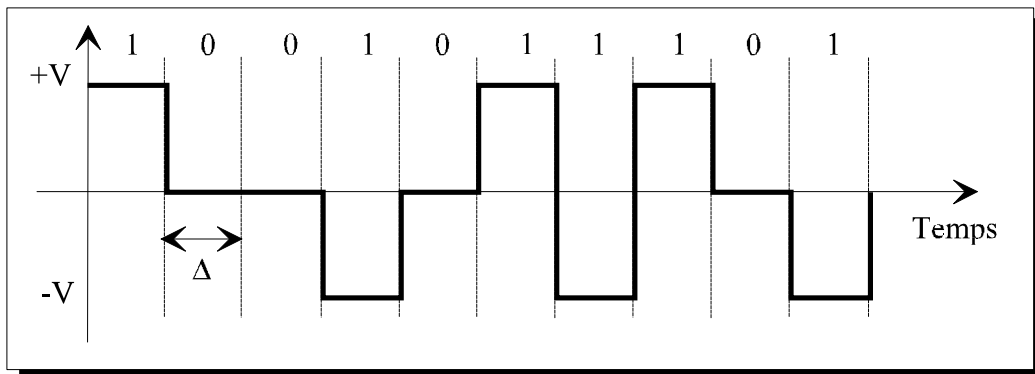


Fig.11

Le code Bipolaire à haute densité (BHD) :

Le niveau logique à coder pendant un moment élémentaire dépend des états précédents.

Le niveau logique '1' provoque un changement de polarité sur le signal,

Le niveau logique '0' fait passer le signal alternativement entre la polarité précédente et la valeur nulle (0V).

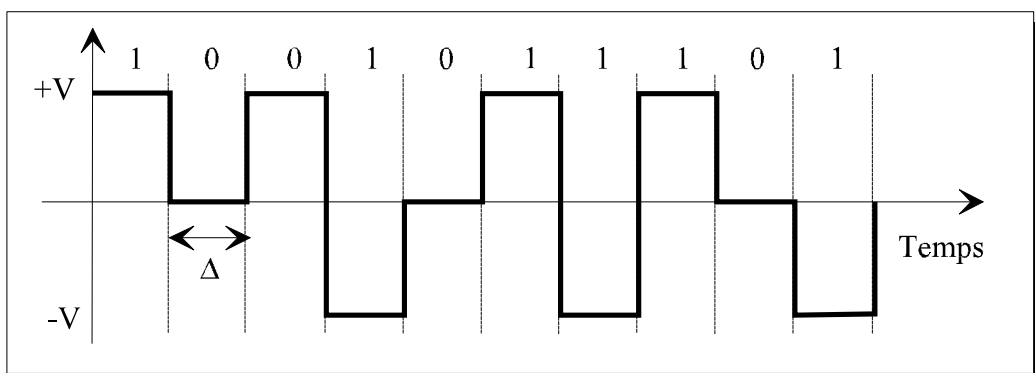


Fig. 12

Le code DELAY MODE :

Le niveau logique à coder pendant un moment élémentaire dépend de l'état précédent.

Le niveau logique '1' provoque un changement de polarité sur le signal au milieu du moment élémentaire,

Le niveau logique '0' provoque un changement de polarité sur le signal au début du moment élémentaire si le niveau logique précédent était un '0' ou laisse le signal constant si le niveau logique précédent était un '1'.

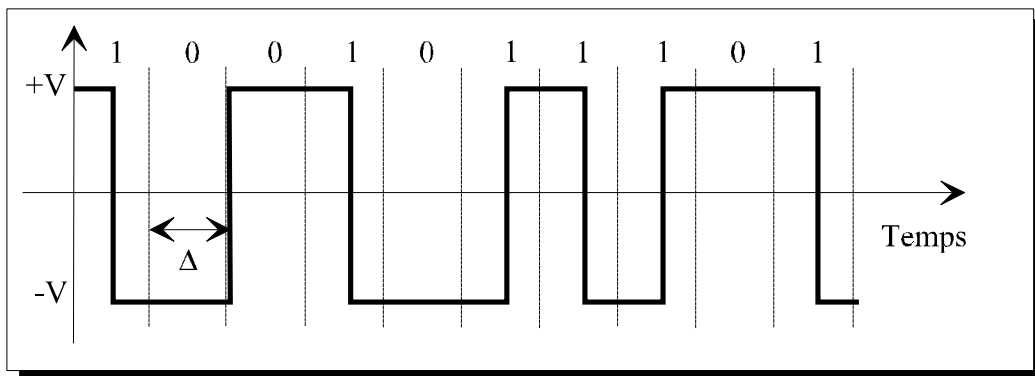


Fig. 13

Le code Manchester ou Biphasé-L :

Le niveau logique '0' provoque le passage de +V à -V au milieu du moment élémentaire,
Le niveau logique '1' provoque le passage de -V à +V au milieu du moment élémentaire.

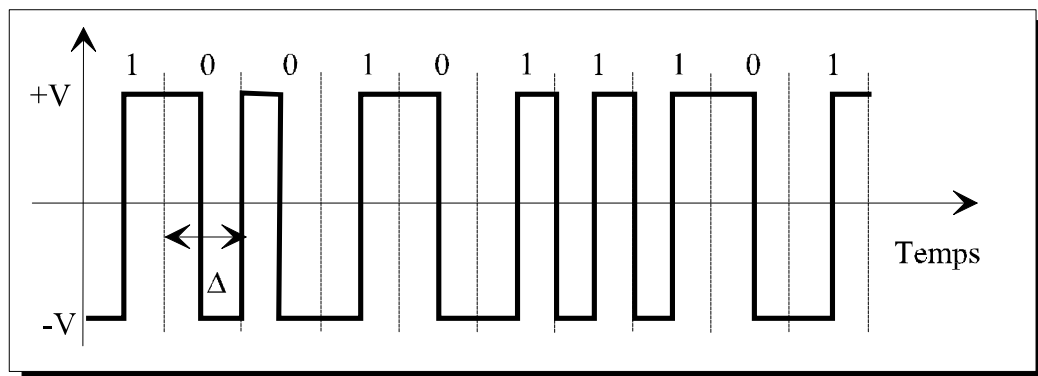


Fig. 14

Le code Biphasé M :

Le niveau logique '0' laisse le signal électrique constant pendant le moment élémentaire de manière alternative,

Le niveau logique '1' provoque le passage de +V à -V au milieu du moment élémentaire.

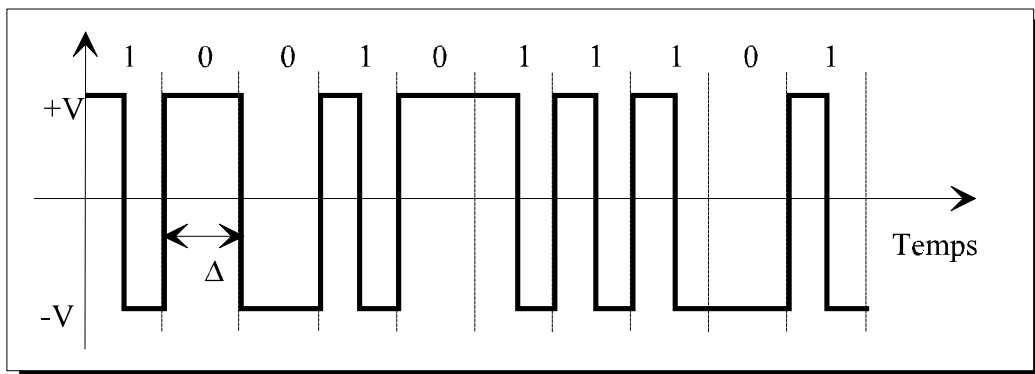


Fig. 15

Le code bipolaire RZ :

Le niveau logique '0' laisse le signal électrique constant à 0 V pendant le moment élémentaire,

Le niveau logique '1' fait passer la tension de 0 vers un pôle positif ou négatif pendant un court instant dans le moment élémentaire et ceci de manière alternative.

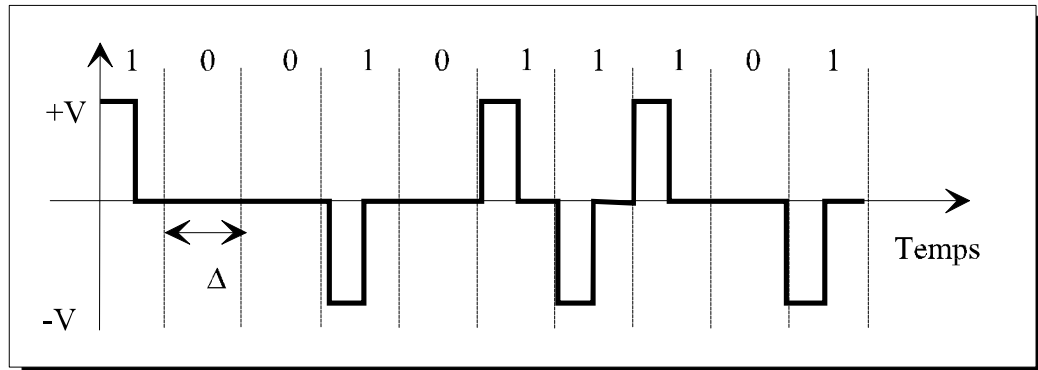


Fig.16

Le code Manchester différentiel :

Le niveau logique '0' du moment élémentaire t recopie le signal du moment élémentaire t-1.

Le niveau logique '1' du moment élémentaire t inverse le signal du moment élémentaire t-1.

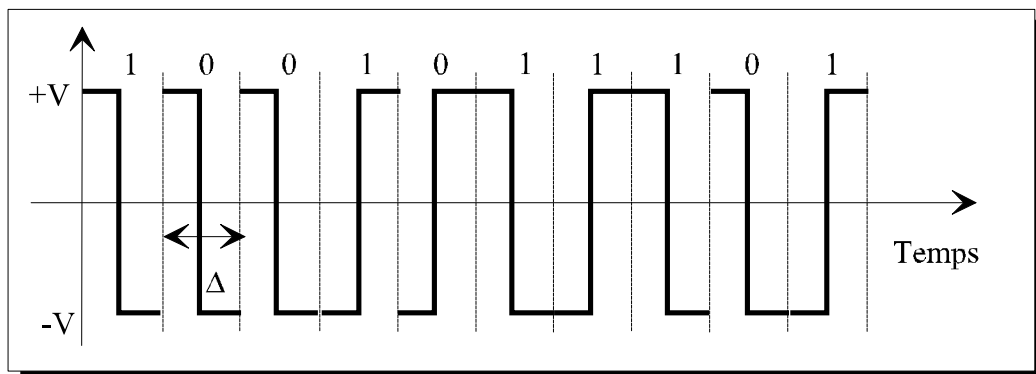


Fig.17

Le spectre du signal :

Il existe ainsi une multitude de signaux en bande de base autres que ceux présentés ci-dessus (Biphase S-1, Biphase S-2, MPDC, DM/A, DM/BR, BI-DI, etc...). Leur différence se voit essentiellement lorsque l'on étudie leur répartition de puissance en fonction de la fréquence (spectre de puissance obtenue avec la décomposition en série de Fourier).

La MODULATION

Le principal problème de la transmission en bande de base est la dégradation très rapide des signaux avec la distance. Si le signal n'est pas régénéré très souvent, il prend une forme quelconque, et récepteur sera incapable de comprendre. Cette méthode de transmission ne peut-être utilisée que sur de très courte distance (moins de 5 Km). Au delà, on utilise un signal de type sinusoïdal. Ce type de signal, même affaibli, pourra être décodé par le récepteur. Il existe trois grands types de modulation :

- **La modulation d'amplitude,**
- **La modulation de phase,**
- **La modulation de fréquence.**

Le MODEM prend un signal en bande de base et va le moduler, c'est à dire le mettre sous une forme analogique particulière. Cette transformation est du type **NUMERIQUE/ANALOGIQUE** et permet d'éliminer un certain nombre de dégradations qui sont occasionnées par la distance parcourue par le signal dans le câble.

Le signal de modulation est de forme sinusoïdale et les différents types de modulation sont obtenues en agissant sur les différents paramètres de l'équation suivante :

$$v(t) = V \sin (\omega t + \phi)$$

La modulation d'amplitude

Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur de V , en donnant une valeur V_1 pour un niveau logique '0' et en donnant une valeur V_h pour un niveau logique '1'.

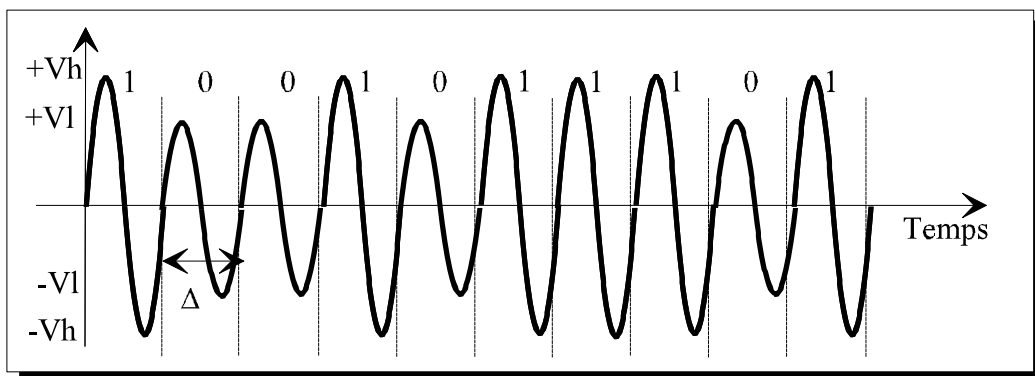


Fig.18

La modulation de phase :

Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur de ϕ , en donnant une valeur ϕ_0 pour un niveau logique '0' et en donnant une valeur ϕ_1 pour un niveau logique '1'.

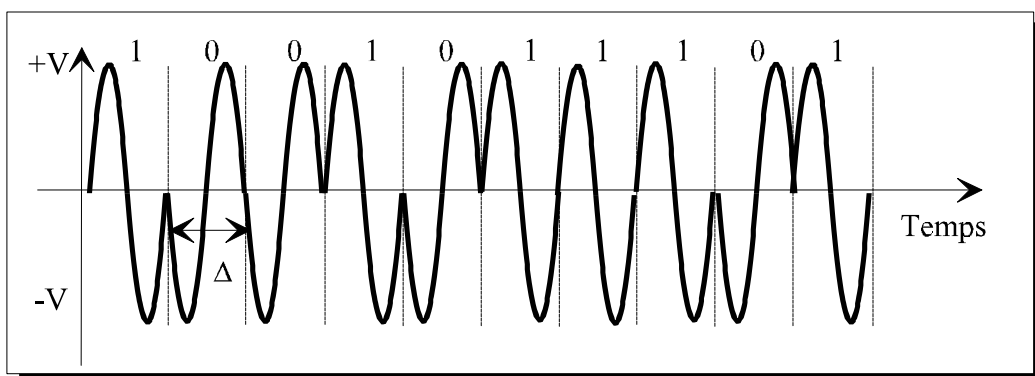


Fig. 19

La modulation de Fréquence :

Cette modulation est obtenue en jouant sur la valeur de ω , en donnant une valeur ω_0 pour un niveau logique '0' et en donnant une valeur ω_1 pour un niveau logique '1'.

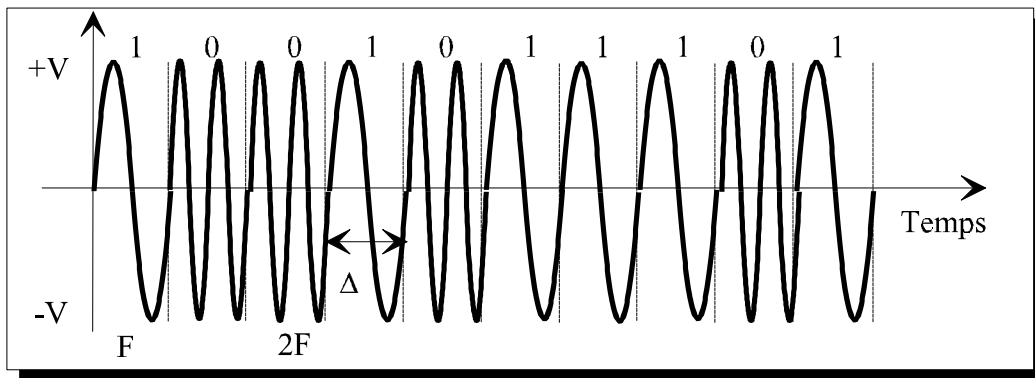


Fig. 20

Dans les 3 modulations précédentes, on code 1 bit donc, on cherche deux signaux différents pour coder les 2 possibilités (0 ou 1). Si on arrive au départ et à l'arrivée à coder et à décoder plus d'un bit à la fois on peut envisager de coder plusieurs bits par moment élémentaire en trouvant 2^n signaux différents.

Exemple : modulation de phase à 4 moments (codage de 2 bits avec les combinaisons 00, 01, 10, 11).

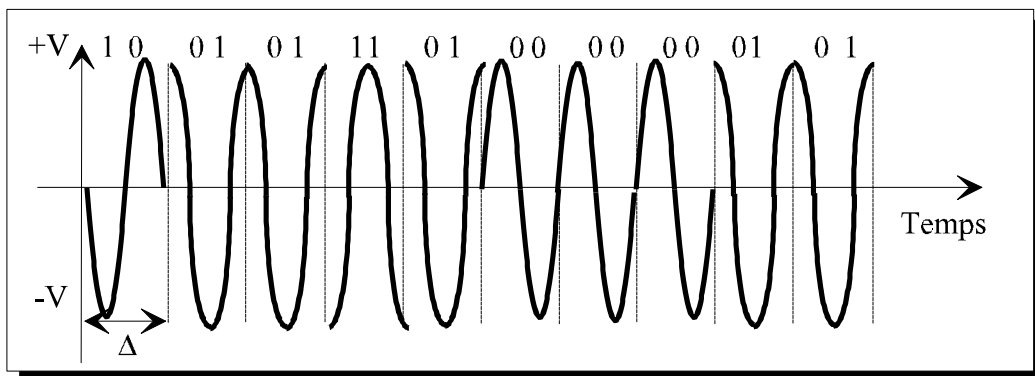


Fig. 21

On peut également combiner différents types de modulation pour coder plusieurs bits par moments élémentaires.

Exemple : Modulation d'amplitude et de phase à 8 moments (codage de 3 bits).

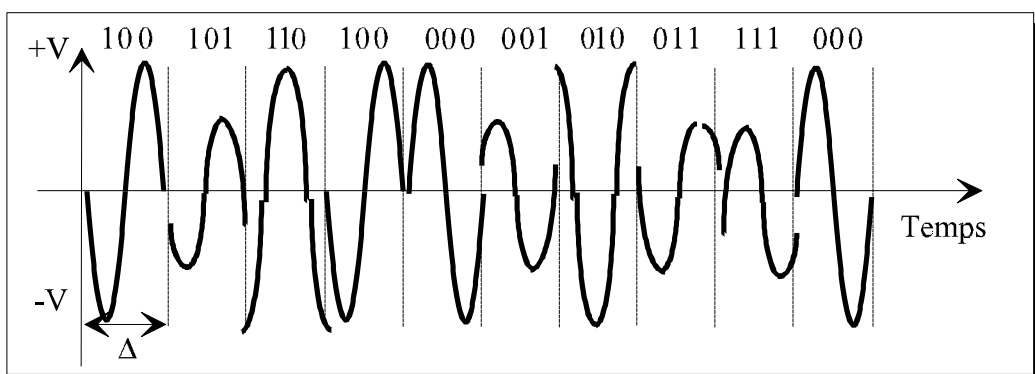


Fig. 22

Représentation du diagramme spatiale

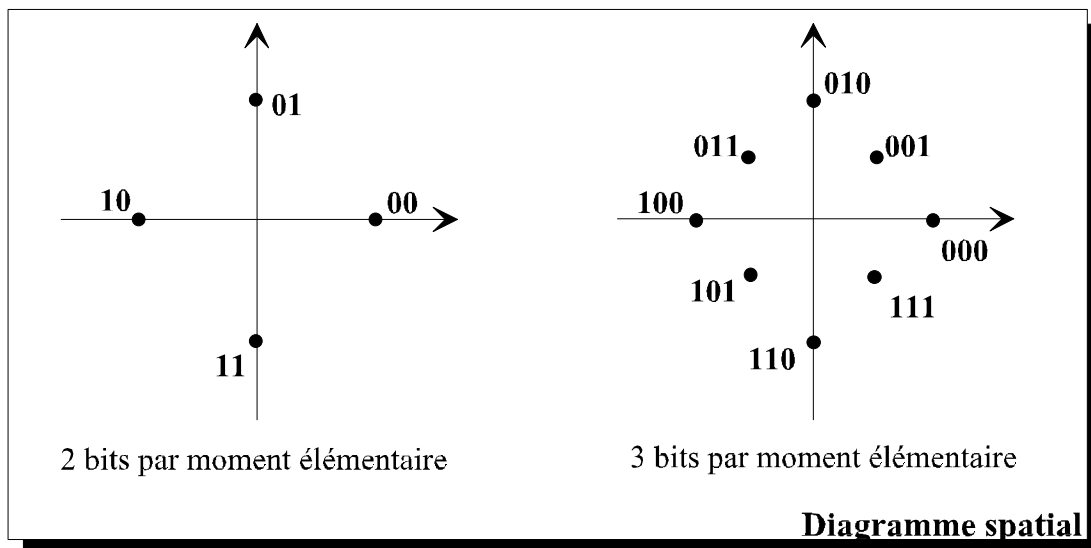


Fig. 23

Les supports de transmissions :

L'objectif de la couche physique est d'assurer le transfert de bits d'informations entre deux équipements terminaux et ceci à travers un support de transmission. De nombreux médiums peuvent être utilisés et on peut les séparer en deux catégories :

- **ceux avec guide physique :**
 - ☞ Les câbles électriques,
 - ☞ Les fibres optiques.
- **Ceux sans guide physique :**
 - ☞ Les ondes radio-électriques,
 - ☞ Les ondes lumineuses.

Les câbles électriques à paires torsadées :

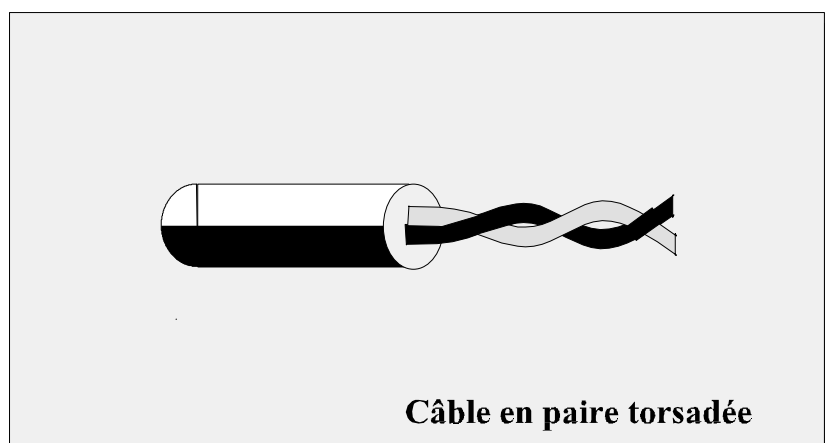


Fig.24

Ce support de transmission est composé de 2 conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre, et enroulé de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinale. Cette technique permet de réduire les phénomènes

d'inductions électromagnétiques parasites provenant de l'environnement proche (moteur électrique, néon, etc...).

L'utilisation la plus courante de ce type de câble est la desserte des usagers du téléphone abonnés au service public (FRANCE TELECOM en France) ou à des services privés. Les signaux transmis dans ce type de médium peuvent, selon leurs caractéristiques, parcourir plusieurs dizaines de kilomètres sans amplification ou régénération. Au-delà de ces distances, la remise en forme des signaux numériques en bande de base, et l'amplification des signaux analogiques en modulation sont nécessaires.

Généralement dans un même câble il y a rassemblement de plusieurs paires torsadées, et les signaux qui sont transportés dans ces diverses paires peuvent interférer les uns sur les autres par rayonnement. Ce phénomène est appelé **diaphonie**.

Si les distances entre deux entités de communication sont inférieures à 1 kilomètre les vitesses de transmissions peuvent atteindre plusieurs centaines de Kbit/s avec des taux d'erreurs très acceptables.

Sur des distances plus courtes, on atteint aisément le Mbit/s.

Il existe toute une variété de câbles à paires torsadées présentant des caractéristiques et des performances électriques différentes; leurs prix sont également liés à ces performances.

Taux d'erreurs sur les bits :

Taux d'erreurs sur les bits	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Débit en Bit/s				
2400	100	94	85	78
4800	98	87	68	56

Tab. 1

Les différents types de câble :

- 2 fils en qualité normale,
- 4 fils en qualité normale,
- 4 fils de qualité supérieure,
- 2 fils en bande de base,
- 4 fils en bande de base,
- Les groupes primaires à 1,5 ou 2 Mbits/s,
- Les groupes secondaires ...

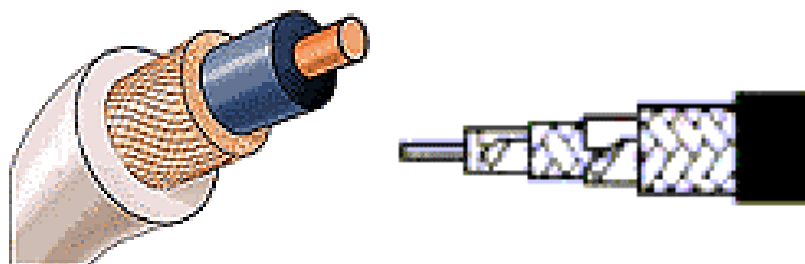
Nom	Ame / impédance	Couleur		Diamètre Ext. (mm)	Affaiblissement	Utilisation Jarretière téléphonique
Câble téléphonique	cuivre étamé 0,5	Rouge et blanc	Paire de câble			Installation téléphonique privée
Câble téléphonique SYT	Cuivre 0.6	gris	1 à 15 paires de câble			
IBM type 1	Cuivre 150 Ω	noir	2 paires à blindage individuel	9.9	2,16 dB /100m à 4 MHz	Réseau Token Ring

IBM Type 2	150 Ω	noir	4 paires torsadées + 2 paires à blindage individuel	12,83	4,49 dB/100m à 16 MHz	Réseau Token Ring
IBM Type 3	Mono brin 100 Ω	noir	4 paires torsadées	4,70	5,17 dB/100m à 4 MHz	Réseau Token Ring
IBM Type 6	Mono brin 150 Ω	noir	2 paires torsadées sous double blindage	8,38	5,17 dB/100m à 4 MHz	Réseau Token Ring
Twinax 105 Ω	Cuivre étamé Multi brins	noir		8,26	4,4 dB /100m à 10 MHz	

Les câbles électriques Coaxiaux :

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques de même axe, séparés par un isolant. Deux type de câble sont utilisés dans les réseaux :

- Le premier type possède une impédance caractéristique de 50 ohms, et il est employé dans la transmission de signaux bande de base (signaux numériques); câblage Ethernet.
- Le second présente une impédance de 75 ohms et, il est plutôt utilisé dans la transmission de signaux analogique;câblage pour les antennes TV.



*Câble coaxial
Fig. 26*

Ces câbles coaxiaux présentent de meilleures caractéristiques électriques que les câbles à paires torsadées. Il offre une bande passante de grande largeur, et une protection contre les rayonnements électromagnétiques parasites satisfaisantes. Les performances de ces types de câble dépendent eux aussi de la qualité des isolants des conducteurs et de la longueur des câbles. Les plus couramment utilisés sont des câbles de 2,6/9,5 et de 1,2/4,4.

Plus la distance à parcourir pour le signal est faible, plus la vitesse de transmission peut être élevée. On atteint des vitesses de transmission de 100 Mbit/s sur des distances inférieures au kilomètre. Sur plusieurs centaines de Km les vitesses de transmission sont de l'ordre de 100 Kbit/s à quelques Mbit/s.

On transmet généralement avec ce type de câble des signaux en bande de base (Manchester, BHD, NRZ, etc...) dans le cas d'une utilisation sur des réseaux locaux.

On transmet également des signaux analogiques (sinusoïdaux en modulation de phase, amplitude, fréquence) dans le cas d'une utilisation pour la distribution de la TV par câble et dans les grandes artères de raccordement interurbaines pour le téléphone. On peut transmettre avec ces derniers câbles des signaux pouvant atteindre une fréquence de 450 Mhz sur des distances de plusieurs kilomètres.

Caractéristiques physiques :

Nom	couleur	Impédance (Ω)	âme	Capacité (pF/m)	Diamètre Ext (mm)	Affaiblissement (DB/100m)	
Ethernet 802.3	jaune	50	Rigide	90.2	10.3	1,2 dB à 5 MHz	
Thin net (Ethernet fin)	noir	50	Rigide	83,6	4,57	6 dB/185m à 5 MHz	
Cheap Ethernet	jaune	50	19 brins de 0,2		5,46		
RG 58 Thin Ethernet 10 Mb/s	gris	50	Rigide	78,8		36dB à 400 MHz	150dB à 3 GHz
Câble T.V.	blanc	75	Rigide		7,2		

Les fibres optiques

Ces fibres optiques représentent une technologie relativement récente puisqu'il a fallu attendre la fin des années 60 et l'invention du laser pour voir émerger cette technologie. Cette technique est basée sur la transmission de signaux lumineux (un 1 étant codé par une impulsion lumineuse et un 0 par une absence). Cette lumière est transmise avec une onde de 10^8 Hz.

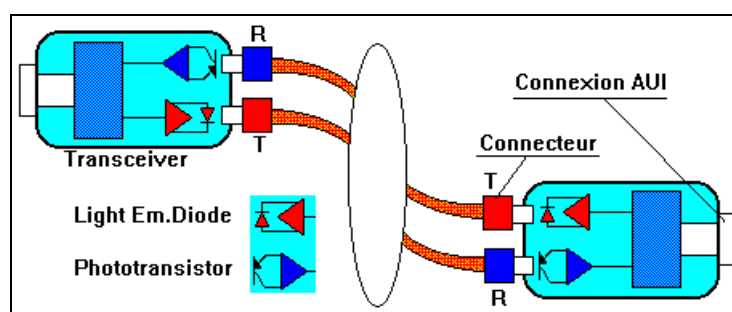


Figure 27

Un système de transmission optique comporte 3 composants principaux :

- *Un émetteur de lumière qui peut être :*
 - * Une diode électroluminescente (LED Light Emitting Diode), Diode qui fonctionnent dans le rouge visible (850nm). C'est ce qui est utilisé pour le standard Ethernet FOIRL
 - * Les diodes à infrarouge qui émettent dans l'invisible à 1300nm
 - * Les lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550nm
- *un guide cylindrique qui n'est autre qu'une fibre optique de 100 à 300 microns de diamètre et recouvert d'un isolant,*
- *un récepteur de lumière qui peut être :*
 - * une photo diode,
 - * un photo transistor (Phototransistor).

Conversion de signaux électriques en signaux optiques au moyen d'un transceiver Ethernet

Le transceiver optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux optiques véhiculés au cœur de la fibre. A l'intérieur des deux transceivers partenaires, les signaux électriques seront traduits en impulsions optiques par une LED et lus par un phototransistor ou une photodiode.

On utilise une fibre pour chaque direction de la transmission.

Les trois types de fibre optique

- La fibre à saut d'indice 200/380 constituée d'un coeur et d'une gaine optique en verre de différents indices de réfraction. Cette fibre provoque de par l'importante section du coeur, une grande dispersion des signaux la traversant, ce qui génère une déformation du signal reçu.

- La fibre à gradient d'indice dont le coeur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. On s'approche ainsi d'une égalisation des temps de propagation, ce qui veut dire que l'on a réduit la dispersion nodale. Bande passante typique 200-1500Mhz par km. C'est ce type de fibre qui est utilisé à l'intérieur des bâtiments de l'Université (62.5/125) et entre certains sites desservis par les PTT (50/125).

- La fibre monomode dont le coeur est si fin que le chemin de propagation des différents mode est pratiquement direct. La dispersion nodale devient quasiment nulle. La bande passante transmise est presque infinie (> 10Ghz/km). Cette fibre est utilisée essentiellement pour les sites à distance.

Le petit diamètre du coeur (10um) nécessite une grande puissance d'émission, donc des diodes au laser qui sont relativement onéreuses.

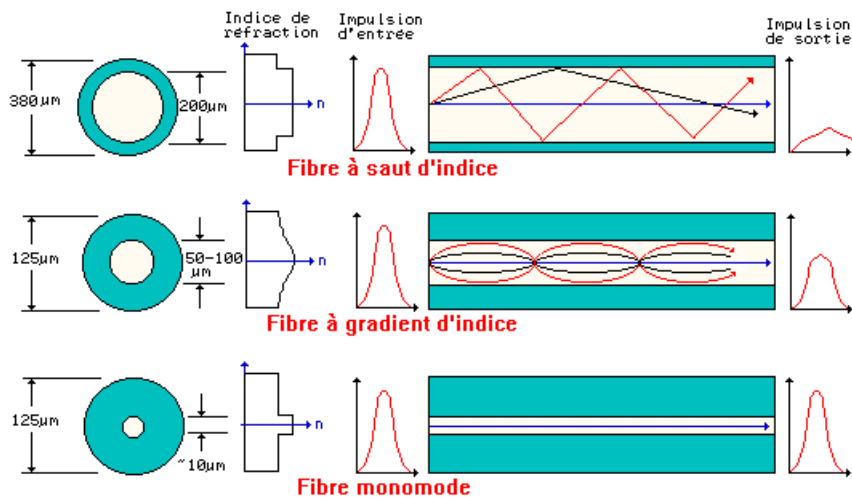


Figure 28 : Propagation de la lumière dans les trois types de fibres

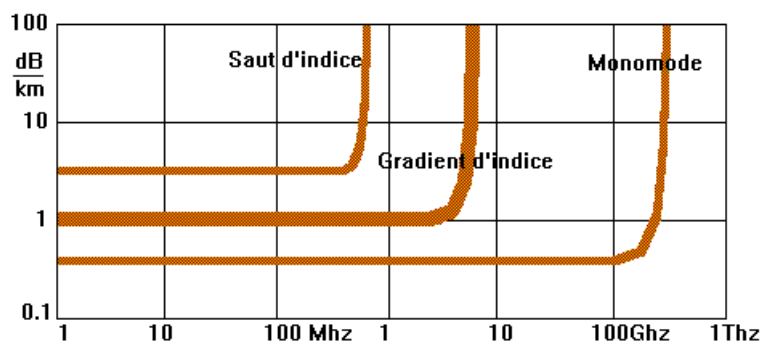


Figure 29 : L'atténuation est constante quelle que soit la fréquence

Le dessin ci-dessus indique comment se produit la réflexion des signaux lumineux en fonction de leur angle d'émission. Ce qui démontre que le chemin parcouru n'a pas la même longueur pour tous les rayons. C'est ce que l'on appelle la dispersion nodale.

Avantages :

- Très grande bande passante : 1Ghz pour 1 Km,
- Faible volume,
- Grande légèreté (quelques grammes par Km),
- Très faible atténuation(régénération > 10 Km) (voir 50 km avec 0,85 micron),
- Très bonne qualité de transmission,
- Résistance au chaud et au froid,
- pas de rayonnement (protection en cas d'application militaire),

Inconvénients :

- difficultés de raccordement entre 2 fibres.
- Dérivations difficiles,
- difficultés sur le multiplexage de l'onde.

Caractéristiques physiques :

Nom	Diamètre du coeur	Diamètre Cladding	Revêtement primaire	Diamètre Ext (mm)	Bande Passante		Affaiblissement (DB/1Km)	
					160 MHz/Km à 850 nm	500 MHz/Km à 1300 nm	3,5 à 850 nm	1,5 dB à 1300 nm
Câble simplex	62,5 µm	125 µm	250 µm	2,5	160 MHz/Km à 850 nm	500 MHz/Km à 1300 nm	3,5 à 850 nm	1,5 dB à 1300 nm

Les ondes en transmission à vue directe :

Ici le support de transmission est immatériel (pas de support physique entre deux extrémités du réseau). On retrouve dans cette catégorie les transmissions :

- Par faisceaux hertziens,
- Par rayons infrarouges,
- Par rayons lasers,
- Par ondes radio-électromagnétiques.

Liaisons Laser ou infrarouge



Figure 30 : liaison laser qui traverse une rue et une fenêtre.

On utilise les rayons infrarouges ou laser lorsque que l'on a pas la possibilité d'établir une liaison par fibre optique ou ligne téléphonique dédiée et que l'on souhaite relier entre eux des bâtiments avec des réseaux LAN.