

Chapitre 2

Couche Physique

1. Introduction

Le rôle de la couche physique est de transformer une suite de bits en signaux (et inversement) pour les adapter au canal de communication et les transmettre d'une machine à une autre. Les bits transformés représentent des informations numérisées (codées) tel que le code ASCII pour les textes, avi pour le multimédia, etc.

Pour transformer les informations en suite binaire, on utilise des codes qui font correspondre à chaque caractère une suite précise d'éléments binaires. Ensuite, pour la transmission vers le récepteur, cette suite est introduite sur le support sous une forme spécifique, reconnaissable du récepteur.

2. Codes de représentation d'information

Toute information à transmettre (texte, image, son, vidéo, etc.) peut être vue comme une suite des symboles.

Un code fait correspondre à chaque caractère une suite précise d'éléments binaires. Dans un code, le nombre de bits utilisé pour représenter un caractère correspond au nombre de moments du code. Un code de n moments permet de représenter 2^n caractères distincts :

- En ASCII simple, chaque symbole (un caractère) utilise 7 bits. Donc, on peut représenter 128 (2^7) caractères distincts.
- En EBCDIC, chaque symbole (un caractère) utilise 8 bits. Donc, on peut représenter 256 (2^8) caractères distincts.
- En UNICODE (UTF-16), chaque symbole (un caractère) utilise 16 bits. Donc, on peut représenter 65536 (2^{16}) caractères distincts.

3. Les signaux utilisés

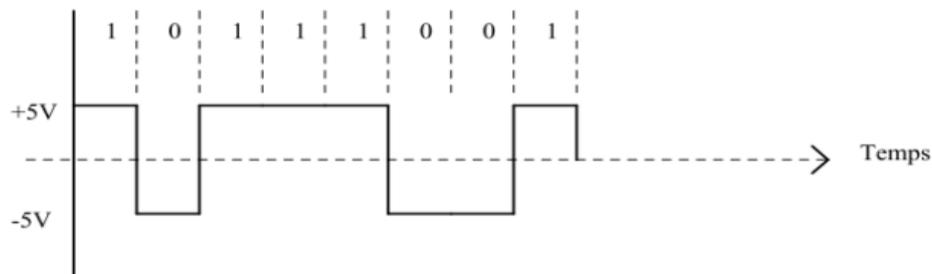
Lors de l'adaptation au support de transmission, l'émetteur transforme les informations à transmettre en variations temporelles d'une propriété physique (voltage, pression de l'air, champ électromagnétique) que le récepteur peut détecter de son côté. Ces variations temporelles sont des **signaux**.

On a deux sortes de signaux utilisés : signaux numériques et signaux analogiques.

3.1. Signaux numériques

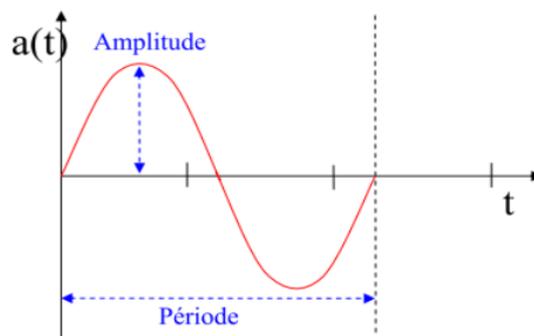
Le signal numérique ou digital est caractérisé par un nombre d'états fixe (puissance de 2). Il est représenté par une fonction discrète.

- *Avantage* : Il est proche de la représentation des données dans l'ordinateur.
- *Inconvénient* : La dégradation rapide (phénomène d'affaiblissement), et s'il n'est pas régénéré très souvent il prend une forme quelconque que le récepteur est incapable de comprendre. De ce fait, il ne peut pas être transmis que sur de courtes distances.



3.2. Signaux analogiques

Le signal analogique est caractérisé par un nombre d'états infini. Il est représenté par une fonction continue. Ce type de signal peut être transmis plus aisément sur de longues distances (le fait de ne pas avoir de fronts montants ni descendants protège mieux le signal des dégradations occasionnées par la distance parcourue, ceci car le signal est continu et non plus discret).



Le signal analogique le plus élémentaire est l'onde sinusoïdale, dont l'équation est la suivante :

$$a(t) = A \sin (\omega t + \Phi)$$

$a(t)$ = amplitude à l'instant t .

A : amplitude maximale.

ω : pulsation = $2\pi f$ (f : est la fréquence (nombre de périodes) en hertz)

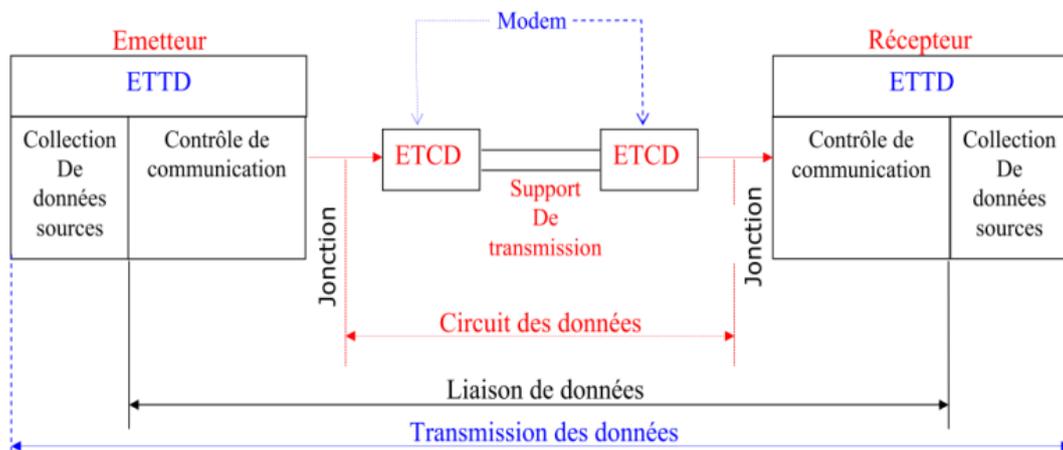
t : temps en seconde.

Φ : phase (décalage de l'onde par rapport à l'origine).

4. Principe d'une transmission

Les différents éléments qui interviennent dans la transmission sont :

- L'ETCD : Equipement Terminal de Communication de Données, il adapte les données à transmettre au support de communication.
- L'ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données (exemple : l'ordinateur).
- Le support de transmission (médias de transport).



• Fonction d'un ETCD

Deux transformations fondamentales sont définies :

- Le codage : la transformation des suites des bits en des symboles.
- La modulation : transformation du signal numérique en signal analogique.

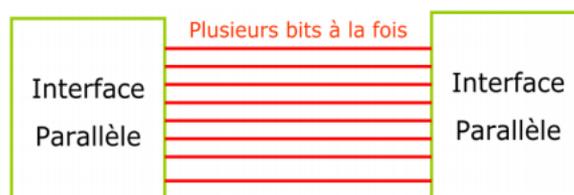
5. Caractéristiques de la transmission

5.1. Techniques de la transmission (type de liaison)

L'envoi des suites binaires de caractères pendant la transmission peut s'effectuer en parallèle ou en série.

5.1.1. La transmission parallèle

Les bits d'un même caractère sont envoyés sur des fils métalliques distincts pour arriver ensemble et simultanément à la destination. Elle pose parfois des problèmes de synchronisation, de ce fait elle n'est utilisée que sur de courtes distances, exemple : le bus de l'ordinateur.



5.1.2. Transmission série

Les bits sont envoyés les uns derrière les autres. La succession des caractères peut être synchrone ou asynchrone.



- **Le mode synchrone**

Dans ce mode, l'émetteur et le récepteur se mettent d'accord sur un intervalle de temps constant qui se répète sans arrêt. Les bits des caractères sont synchronisés avec les débuts des intervalles. Ce mode est utilisé pour les transmissions haut débit.

- **Le mode asynchrone**

Pendant la transmission, il n'y a pas de relation préétablie entre l'émetteur et le récepteur. Les bits d'un caractère sont limités par deux signaux START et STOP qui indiquent le début et la fin du caractère. Le début de la transmission peut se placer à un instant quelconque.

5.2. Types de communication d'une liaison

Il existe trois types de transmission entre deux points.

5.2.1. Simplex (unidirectionnelle)

Une transmission simplex a toujours le même sens, de l'émetteur vers le récepteur.

5.2.2. Half-duplex (bidirectionnelle à l'alternat)

Une transmission Half-duplex permet de transformer l'émetteur en récepteur et vice versa, la communication change de sens à tour de rôle.

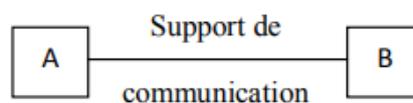
5.2.3. Full-duplex (bidirectionnelle simultanée)

Une transmission Full-duplex permet une transmission simultanée dans les deux sens.

5.3. Modes de liaison

5.3.1. La liaison point à point

Dans ce mode, chaque nœud est relié par un lien dédié à un seul nœud.



5.3.2. La liaison multipoints (diffusion)

Dans ce mode, un support commun est partagé entre un ensemble de nœuds, ce qui nécessite une politique d'accès pour éviter tous conflits.



5.4. Méthodes de transmissions

On a deux méthodes de transmission :

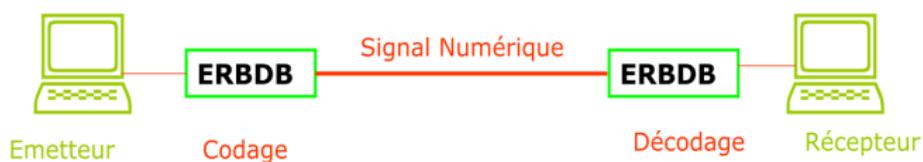
- Transmission en bande de base (numérique).
- Transmission en large bande (analogique).

5.4.1. La transmission en bande de base

Cette méthode consiste à émettre l'information sous sa forme digitale et elle ne subit aucune transposition de fréquence.

L'opération de base de cette technique est le **Codage** en bande de base. L'opération inverse est appelée **Décodage**.

L'équipement (ETCD) qui se charge de cette opération est appelée ERBDB (Emetteur Récepteur en Bande De Base), ou codec (Codeur/Décodeur).



- **Le codage**

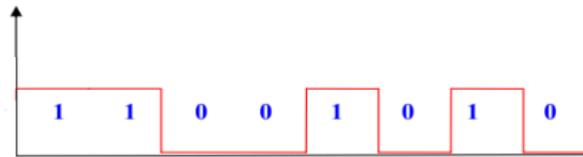
Toutefois, les informations numériques (suite binaire) ne peuvent pas circuler sous forme de 0 et de 1 directement, ce qui nécessite de les coder sous forme d'un signal possédant deux états, par exemple :

- Deux niveaux de tension.
- La différence de tension entre deux fils.
- La présence/absence de courant (ou de lumière) dans un fil.
- etc.

Une technique de codage définit comment un émetteur peut envoyer un signal que le récepteur reconnaîtra comme étant un 0 ou un 1. Elle transforme une suite binaire en une suite codée (de symboles) généralement binaire ou ternaire, afin d'adapter le signal sur le support.

La méthode la plus simple consiste à émettre sur la ligne des courants différents, un courant nul indiquant un 0 et un courant positif un 1. Cette méthode est appelée le codage binaire de base, elle permet d'obtenir une représentation sous forme de créneaux.

Exemple : La représentation de la suite binaire 11001010 est :



La réalisation de ces créneaux est fort complexe. De ce fait, différents codes ont été proposés dont l'objectif est :

- Il est difficile de faire passer du courant continu entre des stations.
- Adapter la suite de bits à transmettre aux caractéristiques de la transmission du support.
- Les longues séries de bits identiques (0 ou 1) provoquent un signal sans transition pendant une longue période de temps, ce qui peut engendrer une perte de synchronisation, car la récupération de l'horloge nécessaire en transmission synchrone est facilitée par des séquences qui présentent des changements d'états fréquents.

- **Les codes usuels en bande de base**

Il existe différents systèmes de codage pouvant se classer en deux catégories :

- Le codage à deux niveaux: le signal peut prendre uniquement une valeur strictement négative ou strictement positive ($-V$ ou $+V$, V est la valeur de la grandeur physique permettant de transporter le signal).
- Le codage à trois niveaux: le signal peut prendre une valeur strictement négative, nulle ou strictement positive ($-V$, 0 ou $+V$).

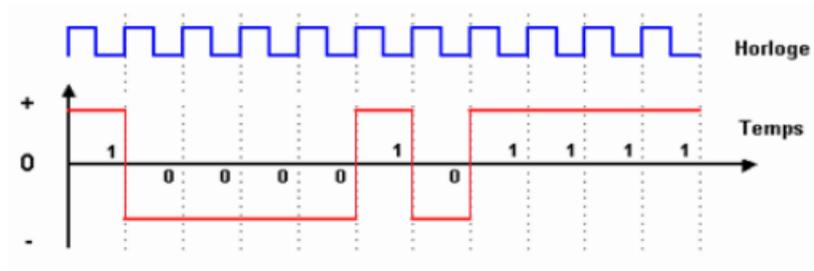
- a) **Les codes à deux niveaux**

Dans les codes suivants, on prend comme exemple la suite binaire : 10000101111.

- **Le code NRZ (Non Return to Zero)**

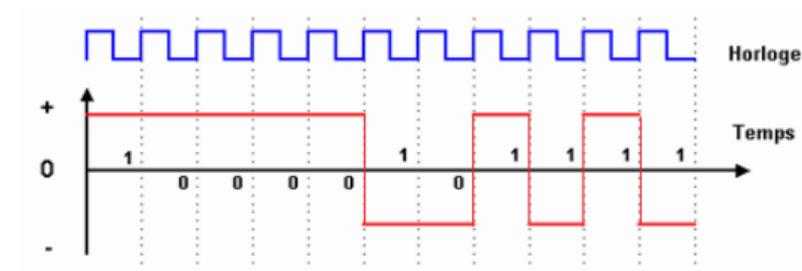
Il est proche du codage binaire de base, il code un 1 par $+V$, un 0 par $-V$.

Ce codage améliore légèrement le codage binaire de base en augmentant la différence d'amplitude du signal entre les 0 et les 1. Cependant, le problème du courant continu reste posé.



▪ **Le code NRZI (Non Return to Zero Invert)**

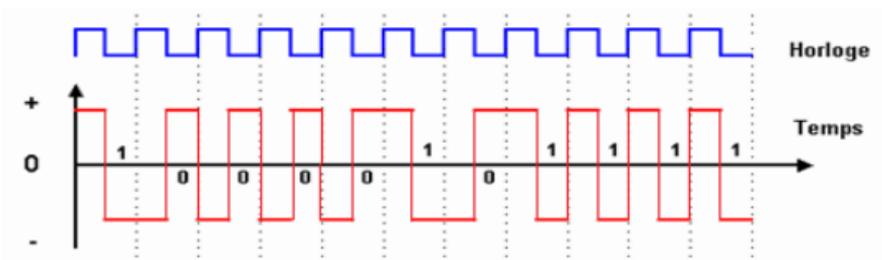
Avec le codage NRZI, si le bit est à 1, le signal change d'état, sinon, le signal ne subit aucun changement d'état.



Avec ce codage, seulement une longue série de 0 provoque un signal sans transition sur une longue période.

▪ **Le code Manchester (Biphase)**

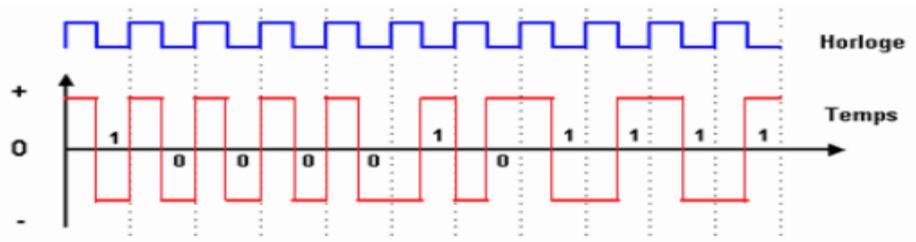
Il provoque une transition du signal pour chaque bit transmis. Un 1 est représenté par le passage de +V à -V, un 0 est représenté par le passage de -V à +V.



Dans ce code, le non passage par zéro, rend possible par le récepteur la détection d'un signal, ainsi le spectre occupe une large bande, ce qui constitue un avantage pour ce code.

▪ **Le code Manchester (Biphase) différentiel**

C'est la présence ou l'absence de transition au début de l'intervalle du signal d'horloge qui réalise le codage. Un 1 est codé par l'absence de transition, un 0 est codé par une transition au début du cycle d'horloge.



▪ **Le code Delay Mode (Miller)**

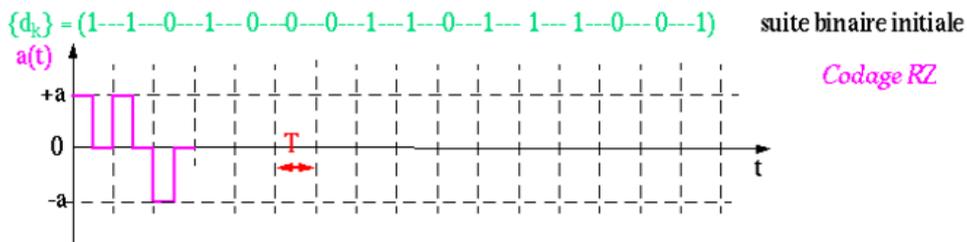
Il est proche du codage de Manchester, à la différence près qu'une transition apparaît au milieu de l'intervalle uniquement lorsque le bit est à 1, ce qui permet de plus grands débits.

b) **Les codes à trois niveaux**

▪ **RZ (Return to Zero)**

Code ternaire simple, limite les interférences entre symboles.

$$\begin{cases} (d_k = 0) \Leftrightarrow (a_k = [-a, 0]) & 1 \Leftrightarrow \square \\ (d_k = 1) \Leftrightarrow (a_k = [a, 0]) & 0 \Leftrightarrow \square \end{cases}$$

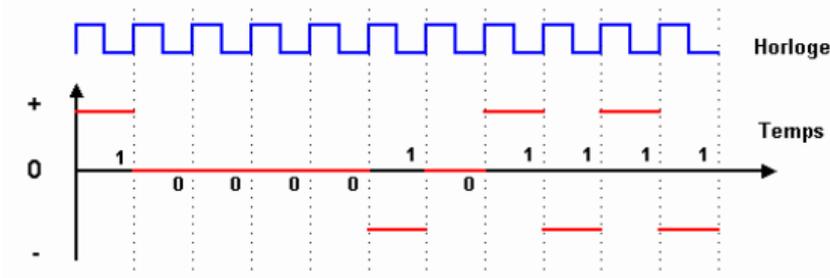


▪ **Bipolaire**

C'est un codage sur trois niveaux. Il propose donc trois états de la grandeur transportée sur le support physique :

- La valeur 0 lorsque le bit est à 0
- Alternativement X et -X lorsque le bit est à 1

Il peut y avoir de longues séquences sans transition et donc perte de synchronisation (courant continu).



5.4.2. La transmission en large bande

Consiste à faire circuler des informations sous la forme d'une onde (analogiques) afin que ces derniers puissent être transportées à une longue distance.

Les données sont sous forme numérique, ainsi pour les transmettre de façon analogique, il faut une transformation. L'opération de base de cette méthode de transmission est la **Modulation**.

L'équipement utilisé dans cette transmission est le Modem (acronyme de Modulateur/Démodulateur), son rôle est:

- A l'émission: Convertir des données numériques (un ensemble de 0 et de 1) en signaux analogiques. On appelle ce procédé la Modulation.
- A la réception: Convertir le signal analogique en données numériques. Ce procédé est appelé Démodulation.

La transmission en large bande permet :

- Une bonne protection contre le bruit.
- La possibilité de multiplexage fréquentiel en vue d'optimiser l'utilisation du support.

a) Modulation

Les techniques de transmission en bande de base ne sont pas fiables dès que la distance dépasse quelques centaines de mètres. Pour que le signal puisse se transmettre sur de longues distances, il faut lui donner une forme spéciale en le modulant.

La modulation consiste à transformer des suites de symboles en suite de signaux sinusoïdale à l'aide d'un modem. Le Modem reçoit un signal en bande de base et le module (lui attribue une forme analogique sinusoïdale).

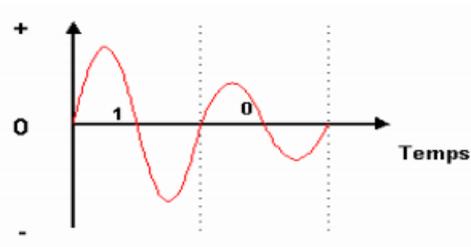


On distingue trois types de modulation :

- Modulation d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying).
- Modulation de phase PSK (Phase Shift Keying).
- Modulation de fréquence FSK (Frequency Shift Keying).

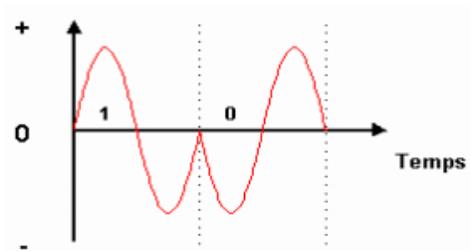
• La modulation d'amplitude

Ce type de modulation s'applique en faisant varier l'amplitude du signal. La distinction entre 0 et 1 se fait par une différence d'amplitude du signal.



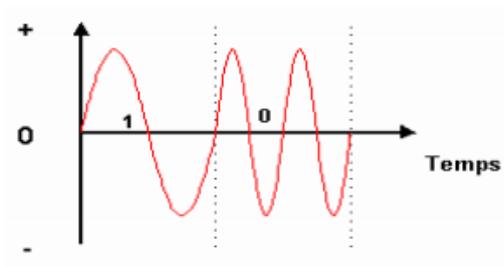
- **La modulation de phase**

La distinction entre le 0 et le 1 s'effectue par une différence dans l'emplacement de commencement du signal, appelé phase.



- **La modulation de fréquence**

La distinction entre le 0 et le 1 se fait par la variation de la fréquence de la porteuse. Deux fréquences utilisées une pour représenter le 0 et l'autre le 1.



b) Numérisation (démodulation)

La numérisation consiste à transformer un signal analogique (continu) en signal numérique (discret), en capturant des valeurs à intervalle de temps régulier. On prélève à des instants significatifs un échantillon du signal analogique pour avoir son équivalent en numérique.

La transformation analogique/numérique est appelée la technique PCM (Pulse Code Modulation) ou MIC (Modulation par impulsion et codage). Elle consiste en trois étapes : échantillonnage, quantification et codage.

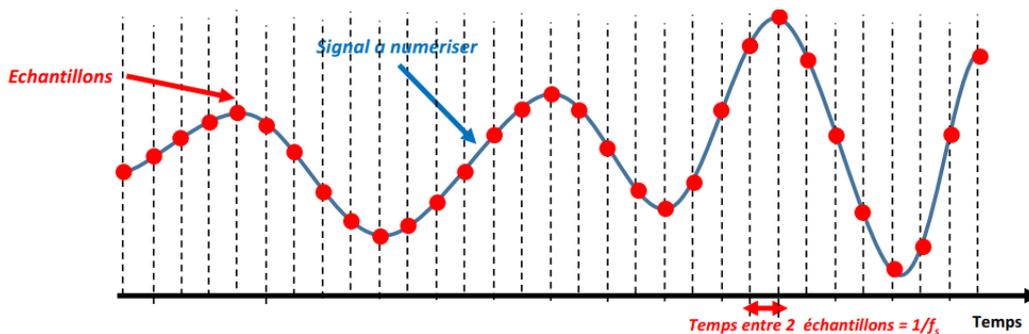
N.B : la numérisation est nécessaire pour pouvoir traiter un signal par ordinateur, car celui-ci ne peut traiter que des signaux numériques.

- **Echantillonnage**

L'échantillonnage consiste à prélever un nombre déterminé de fraction du signal (échantillons). La fréquence à laquelle les échantillons sont capturés est appelée fréquence (ou cadence) d'échantillonnage, exprimée en Hz. Par exemple, un CD audio contient des données échantillonnées à 44,1 kHz i.e. 44 100 échantillons par seconde.

L'échantillonnage réduit le signal à une suite de points discrets. Cela comporte deux conséquences distinctes :

- Seules les informations présentes sur les points de capture sont enregistrées ;
- Tout le reste est perdu.



- Théorème de Shannon (la numérisation) : Dans ce théorème, Shannon affirme que : la fréquence minimale d'échantillonnage d'un signal doit être au minimum le double de la fréquence maximale du signal à échantillonné.

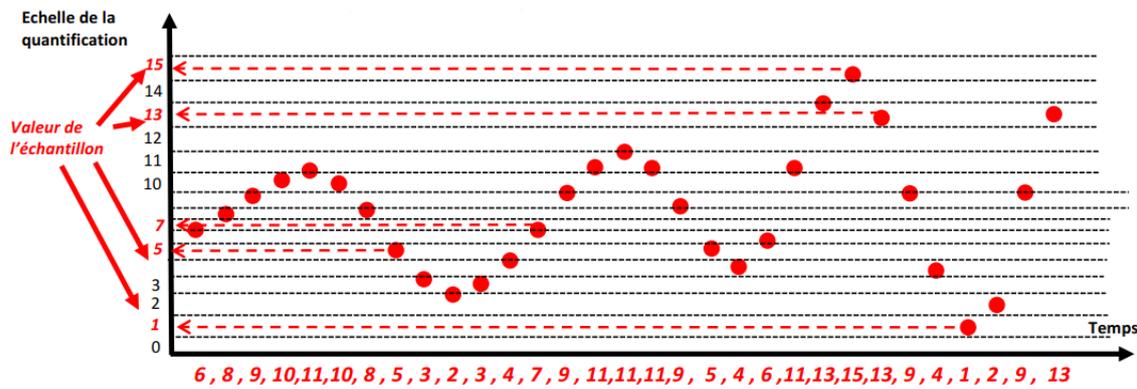
$$F_{\text{échantillon}} \geq 2 * F_{\text{max signal}}$$

Exemple: Pour un signal de la parole, l'information est contenue dans une bande de 4000 Hz, un échantillonnage à 8000 Hz suffit → C'est à dire toutes les 125 µs.

Remarque : Echantillonner à une fréquence plus faible conduit à un signal restitué de mauvaise qualité, et un échantillonnage plus élevé augmente le volume de données à transmettre sans augmentation significative de la qualité.

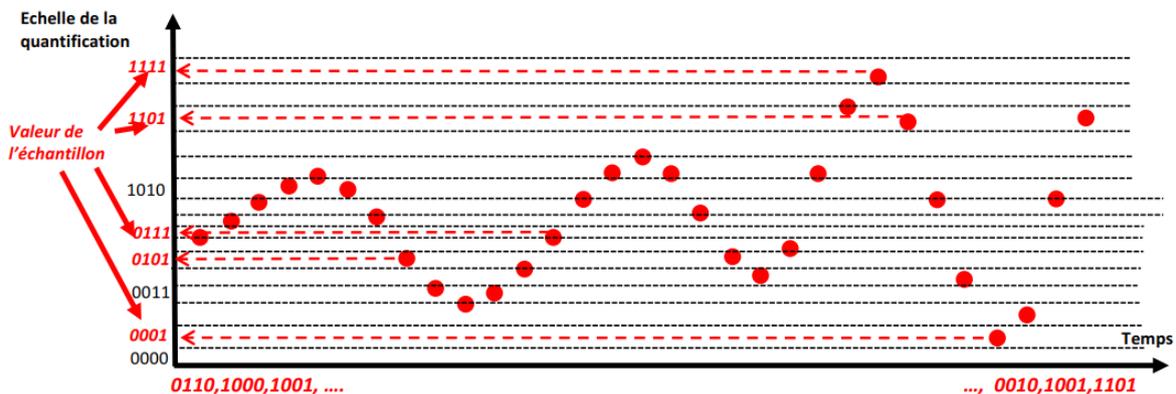
- **Quantification**

Elle consiste à donner à chaque échantillon une valeur prise dans une échelle de valeurs.



• **Codage**

Chaque échantillon ou bien valeur de quantification sera codée sur un ensemble de bits. Pour permettre le codage des différentes valeurs, 8 bits sont nécessaires.



c) **Multiplexage**

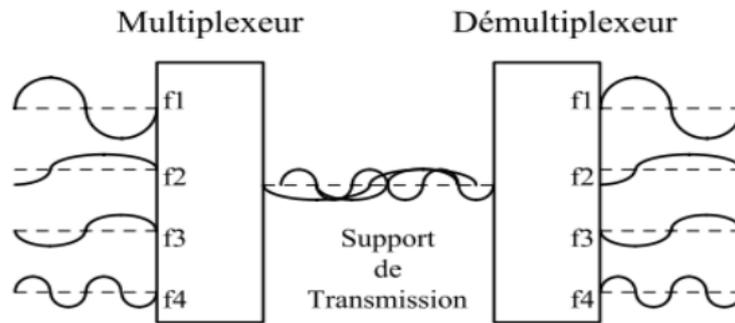
Dans le cas d'une transmission parallèle ou transmission full duplex : la liaison peut être :

- Plusieurs lignes physiques de données : dans ce cas, chaque bit est envoyé sur une ligne physique. C'est la raison pour laquelle les liaisons parallèles sont composées de plusieurs fils (les nappes).
- Une seule ligne physique de données, dite voie haute vitesse HV, à travers laquelle on applique une des techniques de multiplexage qui permet de partager cette ligne entre plusieurs utilisateurs, dite voies basse vitesse BV.

Le multiplexage consiste à partager une voie de transmission entre plusieurs liaisons dont le but est d'exploiter au maximum les supports existants et diminuer les coûts relatifs.

Le multiplexeur reçoit donc un ensemble de voies (lignes) individuelles, dites à basse vitesse et les transmet toutes ensemble sur une liaison unique, la voie dite à haute vitesse. À l'autre extrémité un démultiplexeur effectue l'opération inverse (la séparation des voies basse vitesse).

L'équipement faisant le multiplexage/démultiplexage s'appelle un MUX.

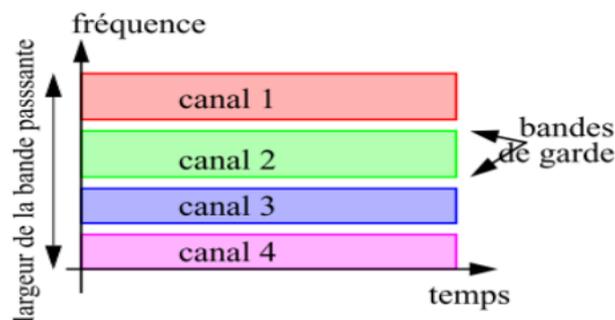


Il existe des techniques principales de multiplexage parmi lesquelles on cite :

- **Le multiplexage fréquentiel (FDM)**

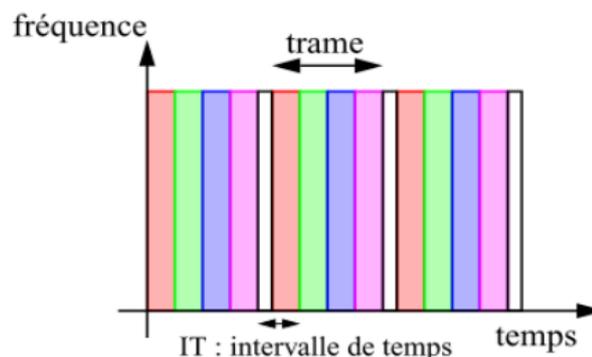
Consiste à diviser la bande passante de la ligne en plusieurs sous-canaux. Ainsi chaque utilisateur transmet sur un sous canal particulier de fréquences. Une bande de garde est généralement prévue entre les canaux pour éviter le problème d'interférence.

Ce type de multiplexage est utilisé dans les transmissions analogiques (orienté large bande).



- **Le multiplexage temporel (TDM)**

Consiste à répartir le temps d'utilisation de la bande passante de la ligne entre les différents utilisateurs même si ceux-ci n'ont rien à émettre. Dans ce type de multiplexage la voie haute vitesse est découpée en tranches de temps avec une affectation régulière des tranches à chaque voie basses vitesse. Le multiplexage temporel est utilisé dans les transmissions numériques (orienté bande de base).



6. Grandeurs caractéristiques d'une transmission

6.1. Moment élémentaire T_m (seconde)

Le moment élémentaire ou le temps d'horloge est la durée élémentaire pendant laquelle il est nécessaire d'émettre le signal physique sur le câble afin qu'il soit reconnu par le récepteur.

6.2. Vitesse (Rapidité) de modulation R_m (bauds)

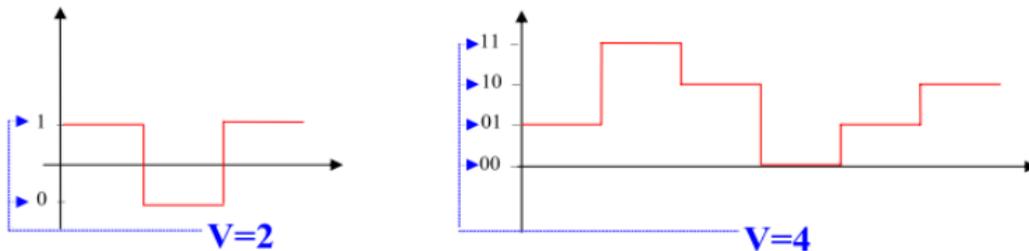
C'est le nombre de moments élémentaires par seconde, elle se mesure en bauds.

$$R_m = \frac{1}{T_m}$$

Exemple : Une ligne fonctionnant à 50 bauds indique qu'il y a 50 intervalles de temps élémentaires dans une seconde.

6.3. Valence V

C'est le nombre de valeurs que peut prendre l'état physique du signal à un instant t . Un signal à une valence de $n \rightarrow n$ symboles permettent d'exprimer le signal.



6.4. Bande passante B (Hertz)

C'est l'intervalle de fréquences à l'intérieur duquel les signaux seront correctement transmis.

$$B = F_{\max} - F_{\min}$$

Exemple : Le RTC (Réseau Téléphonique Commuté) offre un intervalle de fréquence de 300 à 3400 Hz, ce qui limite la bande passante à $B = 3400 - 300 = 3100 \text{ Hz} = 3,1 \text{ kHz}$.

Remarque : Pour les unités de calcul : 1 Kilo = $10^3 = 1000$. Ainsi :

Debit	Fréquence
1 Kb/s = 10^3 b/s	1 KHz = 10^3 Hz
1 Mb/s = 10^6 b/s	1 MHz = 10^6 Hz
1 Gb/s = 10^9 b/s.	1 GHz = 10^9 Hz

6.5. Relation de Nyquist (Le débit)

Elle permet de calculer le débit d'une transmission sans tenir en compte du bruit sur la ligne:

$$D = R_m * \log_2 V$$

$$R_m = 2 * B$$

Avec :

R_m : la rapidité de modulation.

V : valence de la voie.

B : bande passante.

6.6. Théorème de Shannon (Le débit)

Lors de la transmission, des perturbations de la ligne peuvent se produire de différentes origines (ligne, modem, multiplexeur, ondes électromagnétiques, etc.). Ces perturbations sont appelées **Bruit**. Il se mesure en Décibel.

Pour pouvoir calculer la capacité maximale réelle de la ligne, on calcule le rapport **S/B** (signal/bruit) qui caractérise le canal. Le théorème de Shannon donne le débit maximal d'un canal soumis à un bruit :

$$C = B * \log_2 (1+S/B)$$

Avec:

C : capacité du canal (Débit maximal).

S/B : rapport signal/bruit (en valeur).

Remarque : La relation entre S/B en valeur et S/B en décibel est la suivante :

$$S/B_{dB} = 10 \log_{10}(S/B_{val})$$

6.7. Temps de propagation T_p

C'est le temps qui s'écoule entre l'envoi d'un bit (de l'émetteur) et son arrivée au récepteur. Il dépend de plusieurs paramètres (équipement intermédiaire, vitesse de propagation).

$$T_p = d / V_p$$

Avec :

d : Distance (m)

V_p : Vitesse de propagation (m/s)

Remarque : Le T_p est souvent négligeable sur liaison terrestre, par contre il est important pour les liaisons satellitaires.

6.8. Temps de transmission T_t

C'est le temps qui s'écoule entre le début et la fin de la transmission d'un message sur la ligne physique. Il dépend du débit du canal.

$$T_t = L / D$$

Avec :

L : Taille du message (bits)

D : Débit (b/s)

6.9. Temps de transfert T_r

C'est le temps nécessaire pour que le message soit totalement envoyé par l'émetteur et complètement reçu par le récepteur.

$$T_r = T_t + T_p$$

7. Supports de transmission

7.1. Types des médias de transport

7.1.1. Les supports à guide physique

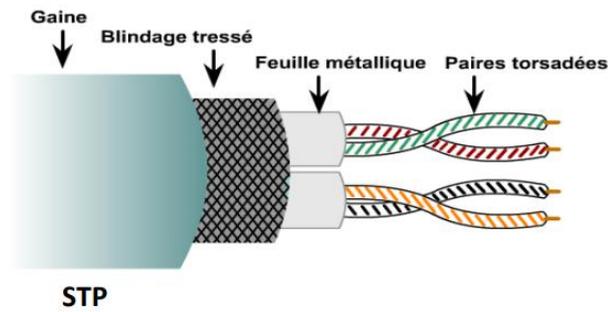
a) Les paires torsadées

La paire torsadée ou enroulée (twisted) est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. L'enroulement réduit les conséquences des parasites provenant de l'environnement. L'utilisation la plus courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (norme RJ11 : Registered Jack). Les réseaux locaux informatiques, où les distances se limitent à quelques kilomètres, utilisent la norme RJ45 utilisant des câbles contenant 4 paires torsadées.

- **La paire torsadée blindée (STP)**

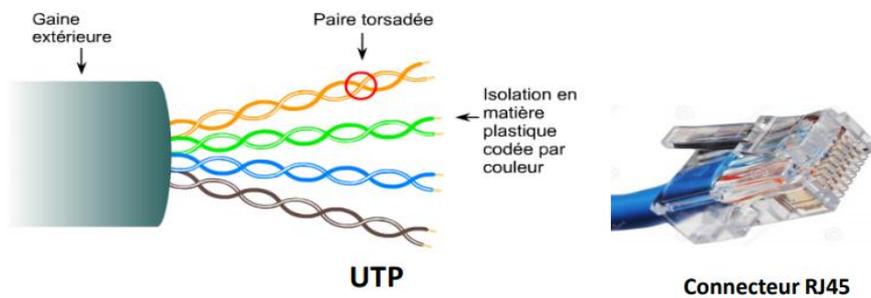
Le câble à paires torsadées blindées (STP) allie les techniques de blindage, d'annulation et de torsion des fils. Chaque paire de fils est enveloppée dans une feuille métallique et les deux paires sont enveloppées ensemble dans un revêtement tressé.

Les STP réduisent le bruit électrique à l'intérieur du câble (couplage paire à paire ou diaphonie), ainsi qu'à l'extérieur du câble (interférences électromagnétiques et radio).



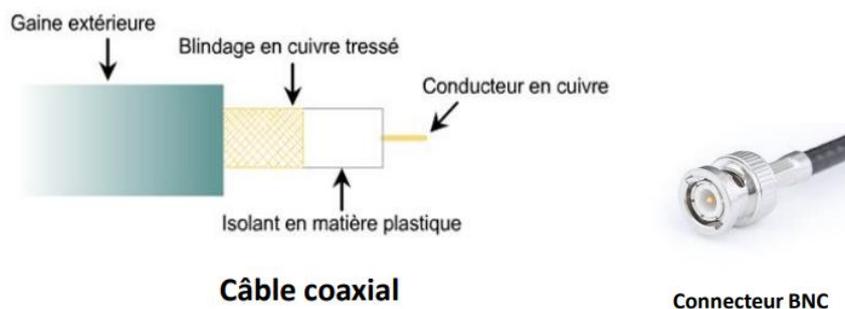
- **La paire torsadée non blindée (UTP)**

Le câble à paires torsadées non blindées (UTP) est un média constitué de quatre paires de fils en cuivre. Chacun des huit fils est protégé par un matériau isolant. Les paires de fils sont tressées entre elles. Ce type de câble limite la dégradation du signal due aux interférences électromagnétiques et radio. La réduction de la diaphonie entre les paires d'un câble UTP dépend du nombre de torsades.



b) Le câble coaxial

Un câble coaxial se compose d'un conducteur de cuivre entouré d'une couche de matériau isolant flexible. Sur ce matériau isolant, un revêtement de cuivre tressé constitue le second fil du circuit et protège le conducteur intérieur. Cette seconde couche, ou blindage, réduit les interférences électromagnétiques externes. La gaine du câble enveloppe ce blindage.

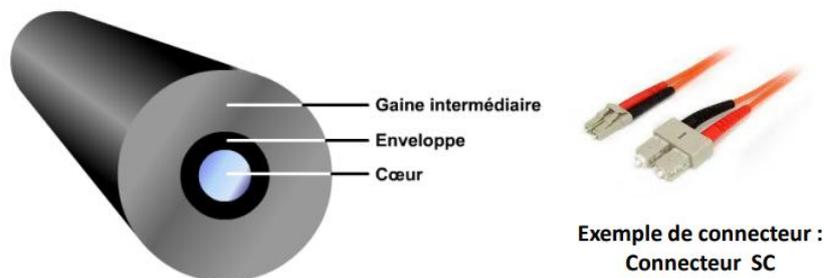


c) Les médias optiques

Les fibres optiques utilisent la lumière pour transmettre des données via des fibres en matière verre fin. Un émetteur à fibre optique doit produire des signaux lumineux dans la fibre, que l'hôte récepteur convertit en signaux électriques à l'autre extrémité de la fibre. Cependant, le courant électrique ne circule pas dans les câbles à fibre optique, car le verre utilisé dans ce type de câble est un excellent isolant électrique.

En général, un câble à fibre optique comprend cinq éléments : le cœur, l'enveloppe, une gaine intermédiaire, un matériau de résistance et une gaine externe.

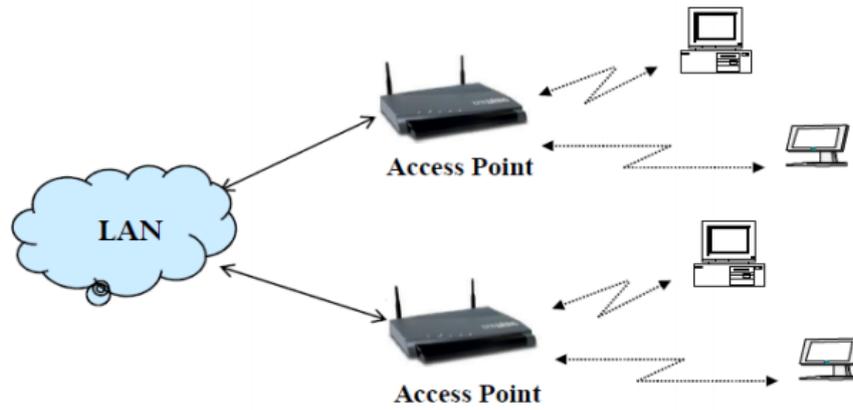
A une extrémité de la fibre optique on trouve une diode électroluminescente (LED, Light Emitting Diode) ou une diode laser qui émet un signal lumineux et, à l'autre une photodiode ou un phototransistor qui est capable de reconnaître le signal.



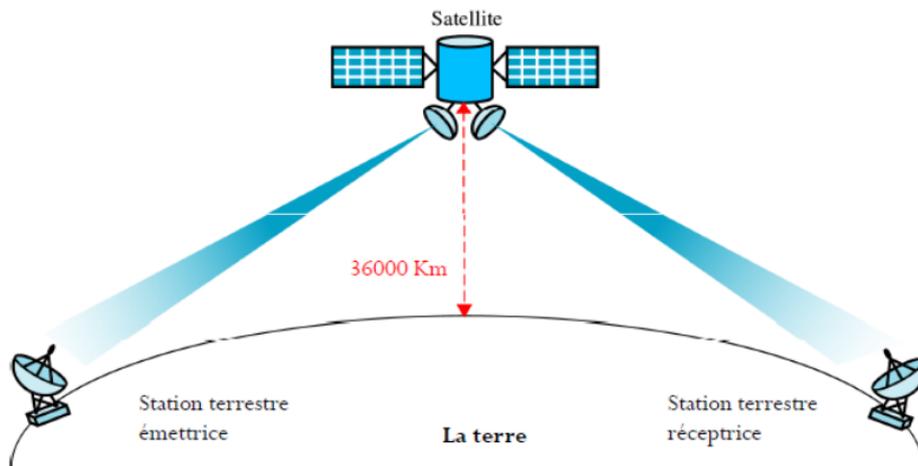
7.1.2. Les supports sans guide physique (sans fil)

Les médias sans guide physique utilisent des ondes hertziennes. Les différents types de communications sans fil sont :

- **A l'intérieur des bâtiments (indoor) :**
 - Portée (10 - 50 m) : BlueTooth, réseaux sans fil (WiFi).
- **A l'extérieur des bâtiments (outdoor) :**
 - Courte portée (50 - 200m) : réseaux sans fil (WiFi).
 - Moyenne portée (200m - 5 Km) : les réseaux mobiles de type : GSM, UMTS, HSPA.
 - Communication longues distance : Communications par satellite.



Liaison radio : WiFi (Wireless Fidelity)



Communication par satellite

7.2. Critères caractérisant les médias de transmission

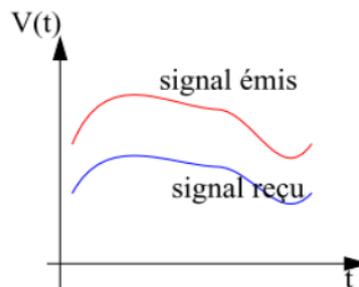
Un média de transmission (support de communication) est caractérisé par :

- La vitesse de transmission de données.
- Le type du signal utilisé pour la transmission : numérique ou analogique.
- La distance qu'un signal peut parcourir avant que l'atténuation l'atteint.
- La taille.
- L'épaisseur.
- La flexibilité.

7.3. Phénomènes caractérisant les médias de communication

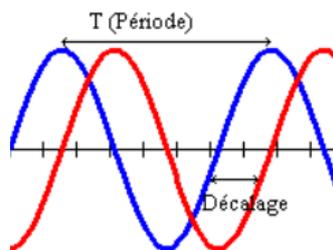
7.3.1. Affaiblissement (atténuation)

L'Affaiblissement est la transformation de l'amplitude du signal.



7.3.2. Déphasage

C'est la déformation de la phase.



7.3.3. Bruits

Deux types de bruits :

- Bruit blanc : Agitation thermique (température) par exemple.
- Bruit impulsif : Dû à des équipements électromécaniques.

7.3.4. Diaphonie

Couplage parasite entre lignes voisines.

7.3.5. Echo

Réflexion du signal.