

Centre Universitaire de Relizane
Spécialité : LMD MIAS
Année : 2ème (Semestre 4)
Module : Réseaux de communications

La couche physique

I. Introduction

La couche physique est la plus basse couche du modèle OSI. 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.

La couche physique fournit le moyen de transporter sur le support réseau les bits constituant une trame de couche liaison de données. Cette couche accepte une trame complète de la couche liaison de données et la code sous la forme d'une série de signaux transmis sur le support local, reconnaissable par le récepteur. Les bits codés composant une trame sont reçus par un périphérique final ou intermédiaire.

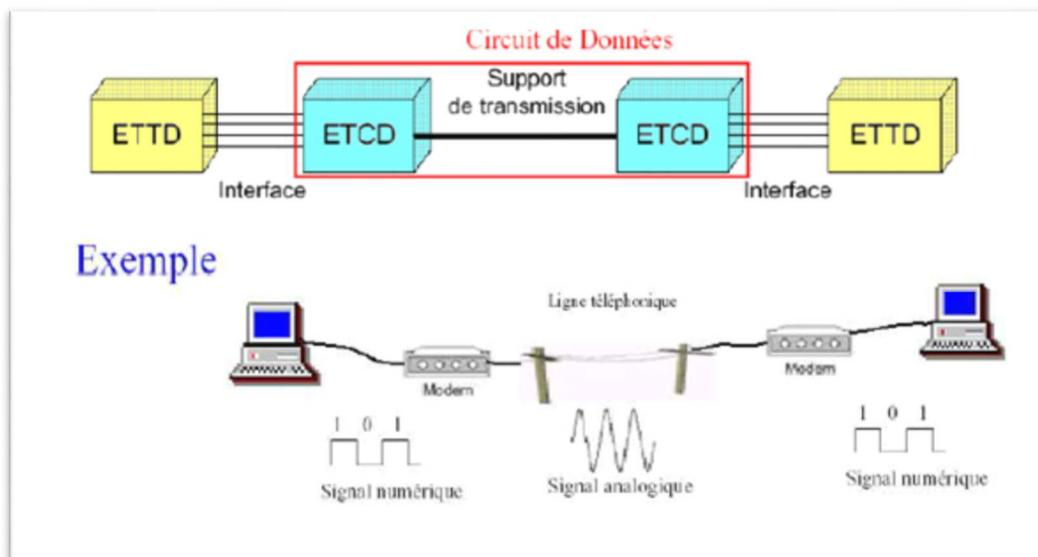
II. Éléments de transport d'information

Dans le cas des systèmes informatiques, l'information à transmettre est une suite de bits et les éléments composant le bipoint du système sont :

ETTD : Equipements Terminaux de traitement de données, se sont des équipements informatiques quelconques. Exemple : Ordinateur.

ETCD : Equipement Terminal Circuit de données, équipement permettant de transformer les bits en signaux, Exemple : Modem.

Un circuit de données est constitué d'une ligne de transmission et de deux équipements de terminaison de circuit de données (ETCD).



III. Le codage et la transmission

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 :

- A. Données discrètes** : suite discontinue de valeurs dénombrables : un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires).
- B. Données continues** : résultant de la variation continue d'un phénomène physique (voix, température, image, lumière, ...). Ces données représentent une infinité de valeurs dans un intervalle borné.

III.1 Le codage de l'information

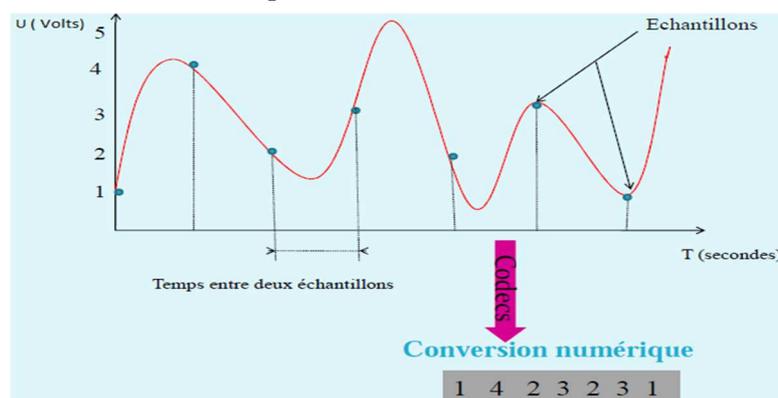
Pour traiter des informations par des équipements informatiques (codeur/décodeur) il est nécessaire d'associer à chaque élément d'information une valeur binaire.

- Les données discrètes : coder l'information consiste à faire correspondre à chaque symbole d'un alphabet (élément à coder) une représentation binaire (mot code).

Caractère	BCD	ASCII	EBCDIC
0	000000	0110000	11110000
1	000001	0110001	11110001
2	000010	0110010	11110010
...
9	001001	0111001	11111001
A	010001	1000001	11000001
B	010010	1000010	11000010
C	010011	1000011	11000011
	(6 bits)	(7 bits)	(8 bits)

- Les données continues : coder l'information consiste à faire une numérisation de l'information (échantillonnage).

L'échantillonnage consiste à transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie : on prélève, à des instants significatifs, un échantillon du signal et on exprime son amplitude par rapport à une échelle finie (quantification).



III.2 La transmission de l'information

Une fois le codage de données est établi, il faut transmettre ses bits sur le réseau.

Comment l'émetteur peut-il envoyer un signal que le récepteur reconnaîtra comme étant '0' ou '1' ?

Selon deux techniques :

- Transmission en Bande de base.
- Transmission par Modulation (large bande).

IV. Transmission de l'information

La transmission correspond à l'envoi de 0 et 1 entre l'émetteur et le récepteur sur un support de transmission. La transmission est assurée par l'ETCD (équipement terminal de circuit de données) qui a pour rôle :

- Etablir la communication
- Assurer la mise en forme des données numériques
- Transmettre les données
- Terminer la transmission

La transmission est caractérisée par :

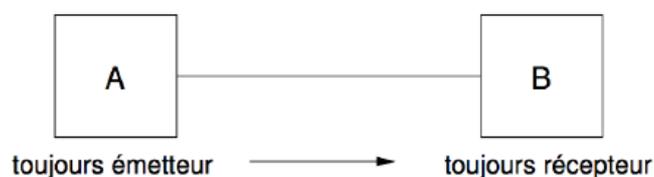
1. le sens des échanges.
2. le mode de transmission: il s'agit du nombre de bits envoyés simultanément.
3. la synchronisation: il s'agit de la synchronisation entre émetteur et récepteur.

IV.1 Le Sens des échanges

➤ **Transmission en simplexe (Unidirectionnelles)**

Dans certains cas d'échange d'information une partie est toujours émettrice et l'autre est toujours réceptrice. Les données circulent toujours dans le même sens. L'exploitation du canal de transmission est appelée dans ce cas en simplexe.

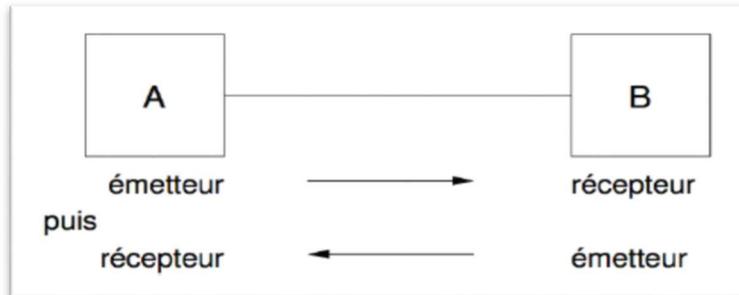
Exemple: Télévision



➤ **Transmission en half duplex (Bidirectionnelles à l'alternat)**

Dans la transmission en semi-duplex (half-duplex), le canal est exploité à l'alternat pour l'émission : les deux parties émettent tous les deux mais pas en même temps.

Exemple: radio de police.



➤ **Transmission en full duplex (Bidirectionnelles simultanées)**

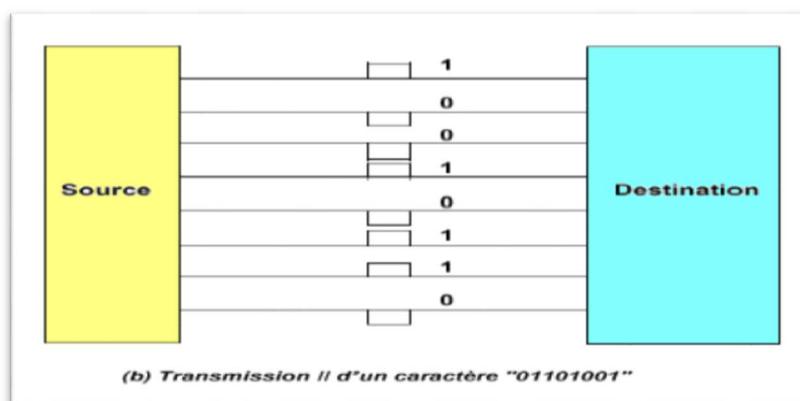
La transmission en full-duplex est bidirectionnelle simultanée. Cela est possible en partageant la bande passante et affecter une partie pour un sens et l'autre pour l'autre sens.

Exemple: téléphone.

IV.2 Le Mode de Transmission

Les blocs d'informations transmis sur des fils peuvent l'être en parallèle ou en série.

- **Transmission en parallèle :** Dans la transmission parallèle, les bits d'une même entité (octet, mot, ...) sont envoyés sur des fils distincts pour arriver ensemble à destination. On peut avoir 8, 16, 32 ou 64 fils parallèles

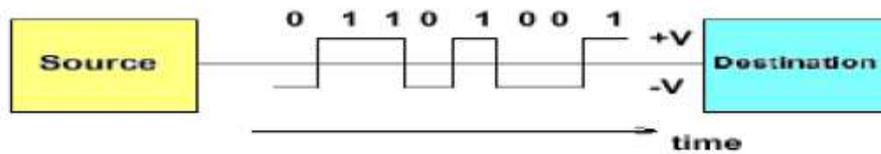


La transmission parallèle pose de nombreuses difficultés dont les principales sont :

- problèmes de synchronisation à cause des déphasages possibles entre les différents fils. C'est pour cette raison que ce mode n'est utilisé que sur de très courtes distances telles que le bus d'un ordinateur.

- le rayonnement des conducteurs l'un sur l'autre (diaphonie)
- un cout élevé (nombre de conducteurs)

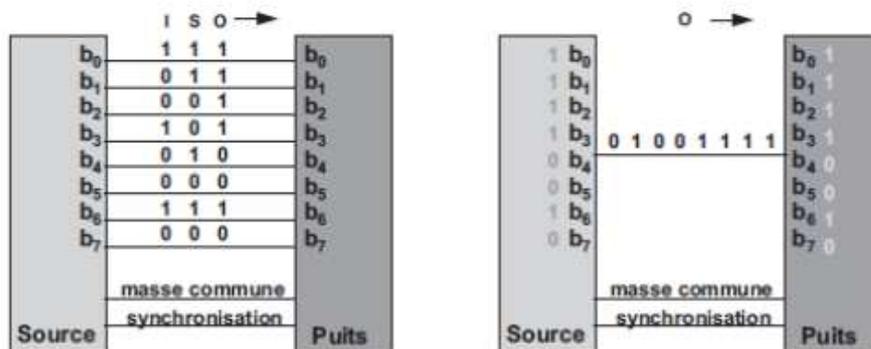
➤ **Transmission série** : Dans ce mode de transmission, les bits sont émis les uns après les autres. C'est le mode utilisé dans les réseaux informatiques, il peut être asynchrone ou synchrone.



(a) Transmission série d'un caractère "01101001"

Comparaison

Si on désigne par temps bit le temps d'émission d'un bit sur le support. En considérant que ce temps (temps bit) est identique pour la transmission parallèle et série, On constate qu'il faut seulement 3 temps bit pour transmettre le mot « ISO » en transmission parallèle, alors que la transmission série nécessite 8 temps bit pour transmettre la seule lettre « O ».

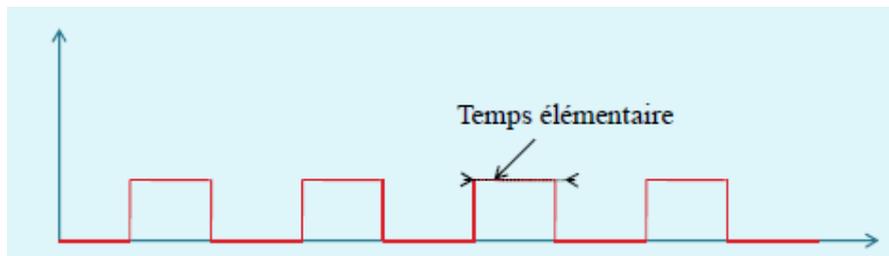


IV.3 La Transmission Synchrone/Asynchrone

➤ **Transmission synchrone**

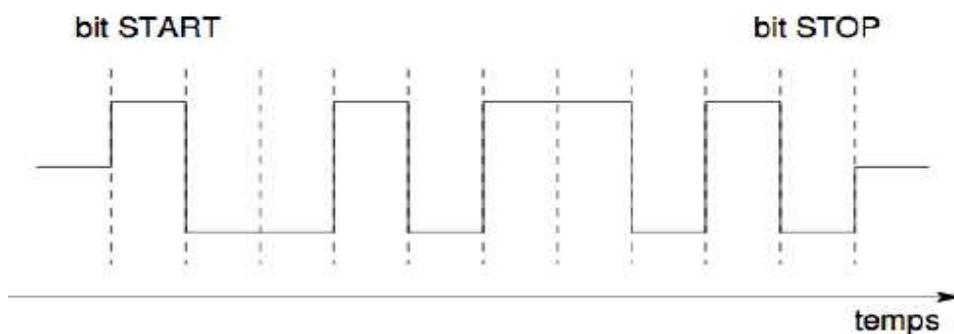
- L'horloge est un dispositif permettant d'obtenir des signaux périodiques et servant de base aux techniques de synchronisation et d'échantillonnage
- Sur une ligne de communication la transmission est cadencée (rythmée) par une horloge.
- Les bits sont émis sur la ligne à une certaine cadence. Cette cadence est définie par une horloge dite horloge émission.
- Pour décoder correctement la suite de bits reçue, le récepteur doit examiner ce qui lui arrive à une cadence identique à celle de l'émission des bits sur le support.
- Donc, les horloges récepteur et émetteur doivent battre en harmonie.

- L'opération qui consiste à asservir l'horloge de réception sur celle d'émission s'appelle la synchronisation.
- Dans les transmissions synchrones, on maintient en permanence une relation de phase stricte entre les horloges émission et réception.
- Lorsque les systèmes terminaux sont reliés via un réseau de transport, c'est ce dernier qui fournit les horloges de référence.



➤ Transmission Asynchrone

- La transmission est asynchrone quand l'horloge du récepteur n'est synchronisée sur celle de l'émetteur qu'en début de transmission
- Le récepteur connaît le début et la fin de chaque bloc (doit le connaître) par le signal START qui précède l'envoi du bloc et le signal STOP qui signale la fin.



IV.4 Le Signal transmis

Le signal est le véhicule d'information entre deux équipements. Il se propage dans un canal (liaison), matériel ou immatériel sous forme d'onde électromagnétique ou lumineuse.

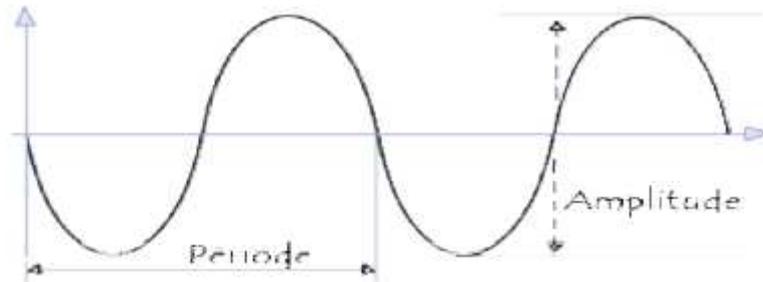
Le signal est une forme ondulatoire résultant de la propagation d'un phénomène vibratoire. Selon la grandeur physique que l'on fait varier, trois types d'ondes sont utilisées :

- ondes électriques (câbles, fils, ...),
- ondes radio (faisceau hertzien, satellite),
- ondes lumineuses (fibres optiques, infrarouge).

Dans le cas le plus simple une onde est exprimée par une sinusoïde :

$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi);$$

Où A est l'amplitude, f la fréquence et φ la phase.



Les signaux peuvent être de forme analogique ou numérique, les signaux analogiques sont utilisés généralement pour les longues distances, et les signaux numériques pour les courtes distances.

➤ Signal analogique

Un signal analogique est caractérisé par une variation continue, les niveaux de valeurs sont proportionnels aux valeurs de l'information (son, image).

➤ Signal numérique

Le signal numérique est caractérisé par une forme carrée, une variation discontinue et un faible nombre de niveaux de valeurs fixés.

V. Caractéristiques d'une ligne de communication

Certaines caractéristiques physiques des supports perturbent la transmission. La connaissance de ces caractéristiques (la bande passante, la sensibilité aux bruits, les limites des débits possibles) est donc nécessaire pour fabriquer de bons signaux, c'est-à-dire les signaux les mieux adaptés aux supports utilisés.

V.1 La Rapidité de modulation (R)

C'est le nombre de modulations par seconde (top horloge /seconde); C'est à dire le nombre de temps élémentaires/seconde. Elle est mesurée en baud.

Un baud représente le nombre de bit par modulation : 1 baud = 1 symbole de K bits

Exemple :

- Avec une modulation sur deux niveaux : 1 baud = 1 bits
- Avec une modulation sur 4 niveaux : 1 baud = 2 bits
- Avec une modulation sur 8 niveaux : 1 baud = 3 bits

V.2 La Valence (V)

La valence d'un signal est le nombre de bits transmis par temps élémentaire (par état physique).

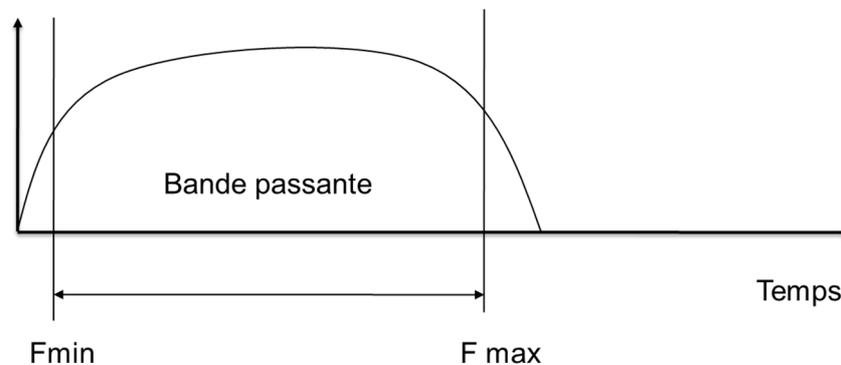
V.3 La Capacité (C)

La capacité d'une ligne est le nombre de bits qui peuvent être envoyés par seconde.

Exemple: $C = 1000 \text{ bits/s} = 1 \text{ Mbits/s}$.

V.4 La Bande passante (W)

La Bande passante caractérise tout canal de transmission. C'est la plage de fréquences dans laquelle les signaux sont Correctement reçus.



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

F_{\min} : la fréquence transmise la plus basse

F_{\max} : la fréquence transmise la plus haute

Exemple: L'oreille humaine est sensible dans la bande 15-15 000 Hz

Lorsqu'on parle de la bande passante, on indique une largeur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle. Par exemple, la largeur de bande de la ligne téléphonique est 3100Hz.

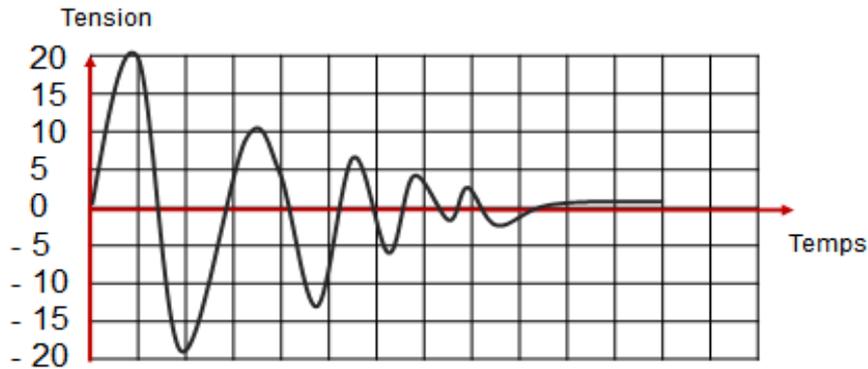
V.5 Le Délai de propagation (T_p)

C'est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre.

Ce temps dépend de la nature du support, de la distance, de la fréquence du signal,...etc.

V.6 L'Atténuation

Lors de la transmission d'un signal sur un support physique (un canal), Il subit une modification. Une partie de la force du signal est perdue lors de la transmission ; Cette perte s'appelle l'atténuation. Cela se produit, par exemple, lorsque les câbles dépassent la longueur maximale ou à cause de la présence d'une résistance électrique.



Atténuation

L'atténuation est calculée comme suit:

$$A = 10 \log_{10} (P_e / P_r)$$

Pe : la puissance émise par la source

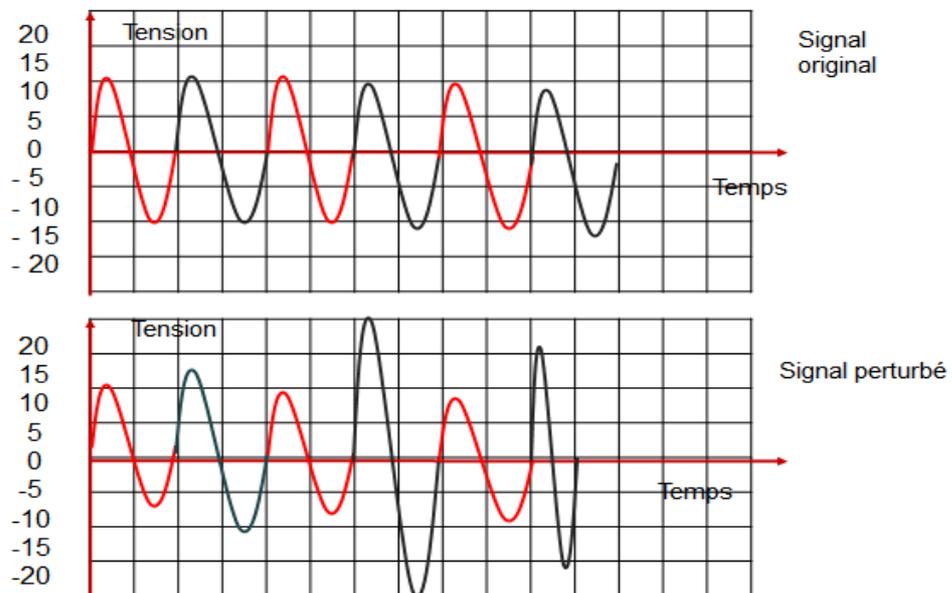
Pr : la puissance reçue par la cible

V.7 Le Bruit

Le bruit est un ajout d'un signal indésirable à un signal. Un bruit peut modifier les caractéristiques d'un signal : fréquence , amplitude ou phase

Aucun signal n'est exempt de bruit, mais, il est important de maintenir le rapport signal/bruit le plus élevé possible. Les principales causes du bruit :

- Intempérie (pluies, chaleur ,.....)
- Champs électrique , magnétique



V.8 La Relation entre le débit binaire et la bande passante

Soit un signal de bande passante W et d'une puissance S . On considère un bruit de puissance B

Selon le théorème de Shannon, le débit maximal est donné par la formule suivante :

$$C = W \cdot \log_2 (1 + S/B) , S/B_{dB} = 10 \log_{10} (S/B)$$

Exemple :

on considère une ligne téléphonique d'une bande passante $W=3000$ Hz .Si on considère un rapport $S/B = 20$ alors le débit maximal est de 20000 Bits/S

La limite de Shannon est une limitation théorique et elle est difficile à atteindre dans la pratique vu la variation des bruit et d'autres paramètres

V.9 La Relation entre la rapidité de modulation et le débit binaire

Selon le théorème de Nyquist, le débit binaire (Capacité en bits/s) est donné par la formule suivante :

$$C = R \cdot V = R \cdot \log_2 (\mathcal{U})$$

$$R = 2 \cdot W$$

R : est la modulation (débit en baud)

W : est la bande passante du canal

V : est la valence du signal (dépend du codage utilisé) ; un entier calculé par : $V = \log_2(\mathcal{U})$

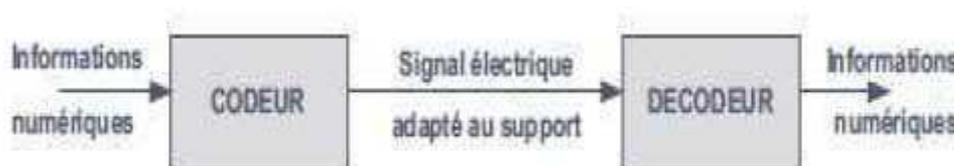
\mathcal{U} : est le nombre de variations (états) possibles du signal ; une puissance de 2 telle que $\mathcal{U} = 2^V$

VI. Techniques de transmission :

VI.1 Transmission en bande de base (Encodage de données)

On qualifie de systèmes de transmission en bande de base les systèmes qui n'introduisent pas d'écart de fréquence entre les signaux émis et ceux reçus. Les bits sont représentés par des valeurs de tension

On désigne par transcodage, ou codage en ligne, l'opération qui consiste à substituer au signal numérique (représentation binaire) un signal électrique mieux adapté à la transmission. Cette transformation est réalisée par un codeur/décodeur appelé Emetteur/Récepteur en Bande de Base



➤ **Problèmes des Signaux en bande de base :**

- Dégradation rapide au fur et à mesure de la distance parcourue.
- Si le signal n'est pas régénéré très souvent, il prend une forme quelconque que le récepteur est incapable de comprendre.

➤ **Solution : La Modulation**

Si distance (>5km) on utilise plutôt un signal sous forme sinusoïdal. Ce type de signal même affaibli, peut très bien être décodé par le récepteur

VI.2 Transmission en large bande (Modulation)

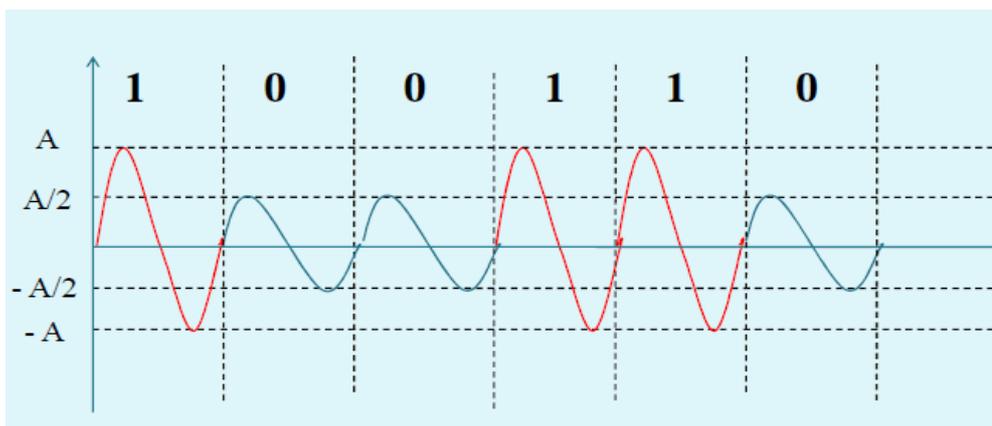
On distingue les trois grandes catégories de modulation suivantes :

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

On utilise, souvent, des modulations combinées des trois types précédents.

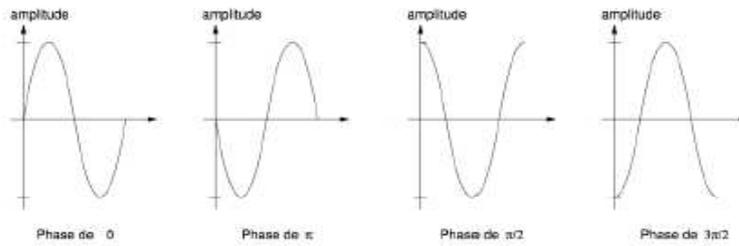
VI.2.1 ASK (Amplitude-Shift Keying)

Pour la modulation d'amplitude, la distinction entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence d'amplitude du signal. $1 \Rightarrow s(t) = A \sin(2\pi f t)$ et le $0 \Rightarrow s(t) = A/2 \sin(2\pi f t)$

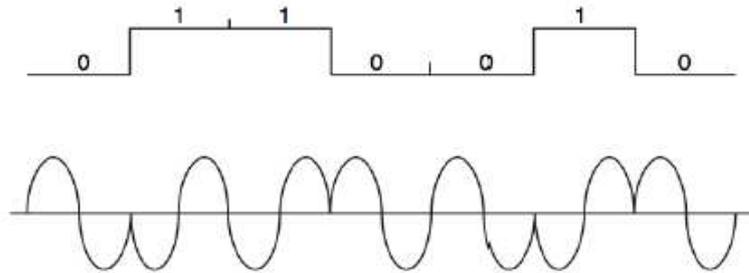


VI.2.2 PSK (Phase-Shift Keying)

Pour la modulation de phase, la distinction entre 0 et 1 est effectuée par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde, appelés phases.

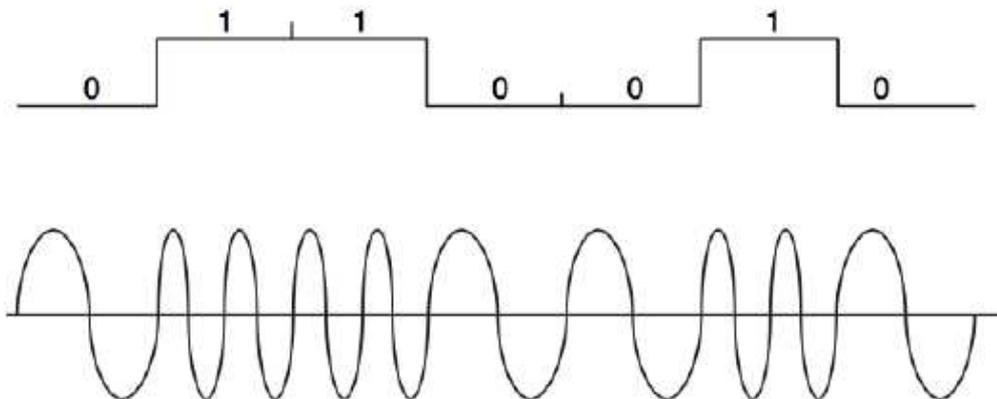


A la figure suivante, les valeurs 0 et 1 sont représentées par des phases respectives de 0 et de π .



VI.2.3 FSK (Frequency Shift Keying)

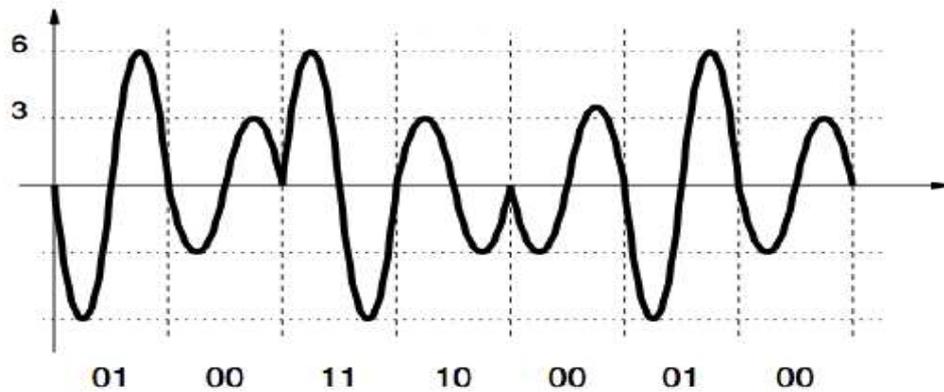
En modulation de fréquence, l'émetteur a la possibilité de modifier la fréquence d'envoi des signaux suivant que l'élément binaire à émettre est 0 ou 1.



VI.2.3 Modulation de phase et amplitude (PSK + AM)

Pour obtenir des vitesses de transmission encore plus élevées dans une modulation de type PSK, il est nécessaire de multiplier le nombre d'états de phase (couramment 4, 8, 16 états ou plus). En combinant une modulation de phase à une modulation d'amplitude, on obtient une meilleure répartition des points sur le diagramme spatial et donc une meilleure immunité au bruit. Par exemple, dans la figure suivante, on combine 2 phases et 2 amplitudes :

- 00 : phase de π et amplitude de 3
- 01 : phase de π et amplitude de 6
- 10 : phase de 0 et amplitude de 3
- 11 : phase de 0 et amplitude de 6



VII. Multiplexage

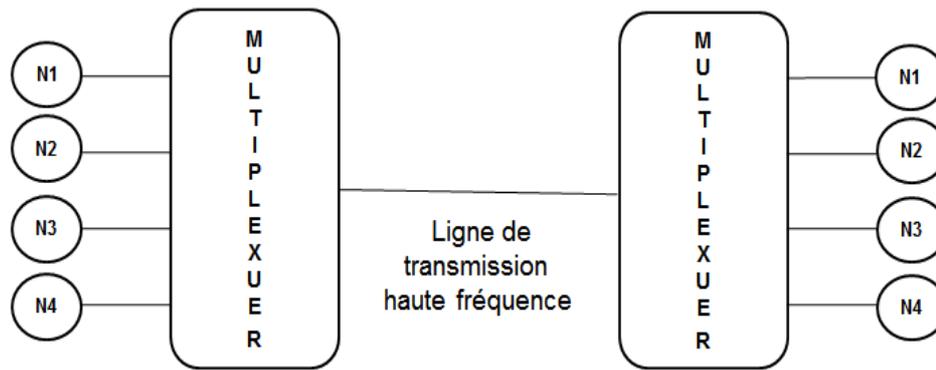
- **Problèmes:**

1. Si la bande passante du canal de transmission \gg bande passante nécessaire pour un signal \rightarrow mauvaise utilisation du canal.
2. Si toute la bande passante du canal est nécessaire pour un signal mais que l'utilisateur n'a pas besoin du canal tout le temps \rightarrow mauvaise utilisation du canal.

- **Solution:** regrouper plusieurs signaux provenant de plusieurs sources sur un même canal (**multiplexage**).



Le multiplexage consiste à faire transiter sur une seule et même ligne de liaison, dite voie haute vitesse, des communications appartenant à plusieurs paires d'équipements émetteurs et récepteurs comme représenté dans la figure:

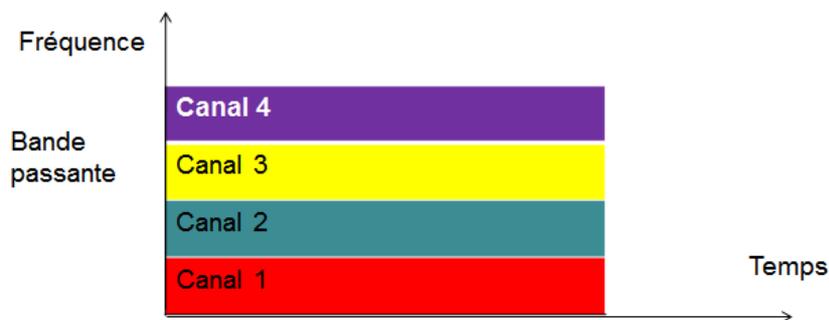


Chaque émetteur (resp. récepteur) est raccordé à un multiplexeur (resp. démultiplexeur) par une liaison dite voie basse vitesse.

Plusieurs techniques sont possibles :

VII.1 Le multiplexage fréquentiel (FDMA)

FDMA : “Frequency division multiple access”, consiste à affecter à chaque voie basse vitesse une bande passante particulière sur la voie haute vitesse en s'assurant qu'aucune bande passante de voie basse vitesse ne se chevauche. Le multiplexeur prend chaque signal de voie basse vitesse et le réémet sur la voie haute vitesse dans la plage de fréquences prévues. Ainsi plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières, et à l'arrivée, le démultiplexeur est capable de discriminer chaque signal de la voie haute vitesse pour l'aiguiller sur la bonne voie basse vitesse.



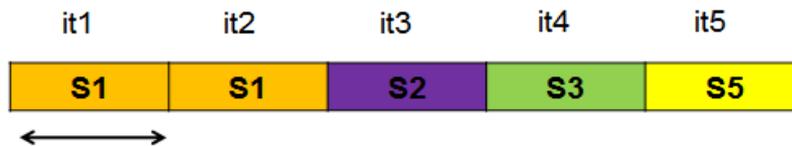
VII.2 Le multiplexage temporel (TDMA)

TDMA : “Time division multiple access”, partage dans le temps l'utilisation de la voie haute vitesse en l'attribuant successivement aux différentes voies basse vitesse même si celles-ci n'ont rien à émettre. Suivant les techniques, chaque intervalle de temps attribué à une voie lui permettra de transmettre 1 ou plusieurs bits.



VII.3 Le multiplexage statistique (ATDM)

ATDM (Asynchronous Time Division Multiplexing) améliore le multiplexage temporel en n'attribuant la voie haute vitesse qu'aux voies basse vitesse qui ont effectivement quelque chose à transmettre. En ne transmettant pas les silences des voies basses, cette technique implantée dans des concentrateurs améliore grandement le débit global des transmissions mais elle fait appel à des protocoles de plus haut niveau et est basée sur des moyennes statistiques des débits de chaque ligne basse vitesse.



Intervalle de temps