

Cours N° 4 : La couche physique

INTRODUCTION

La couche physique est la couche la plus basse du modèle OSI. Son rôle est de permettre la transmission de bits des données et l'adaptation de cette transmission au support de transmission. L'objectif de ce chapitre est de connaître les éléments d'une liaison informatique, les modes de transmission, le principe de la sérialisation et du multiplexage, comprendre la notion des signaux et leurs caractéristiques et comprendre le principe de codage et le principe de modulation.

I. Rôle de la couche physique

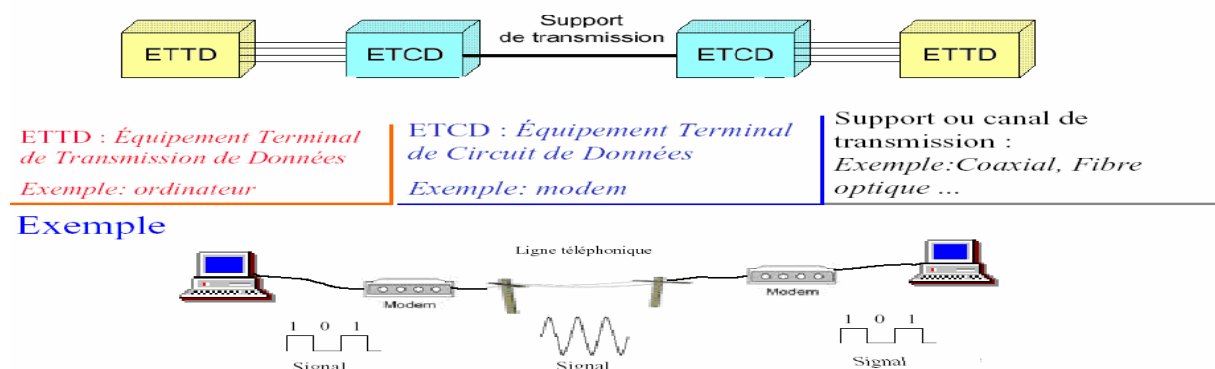
couche physique	Sérialisation	Désérialisation
	Codage	DéCodage
	Modulation	DéModulation

II. Les éléments d'une liaison informatique

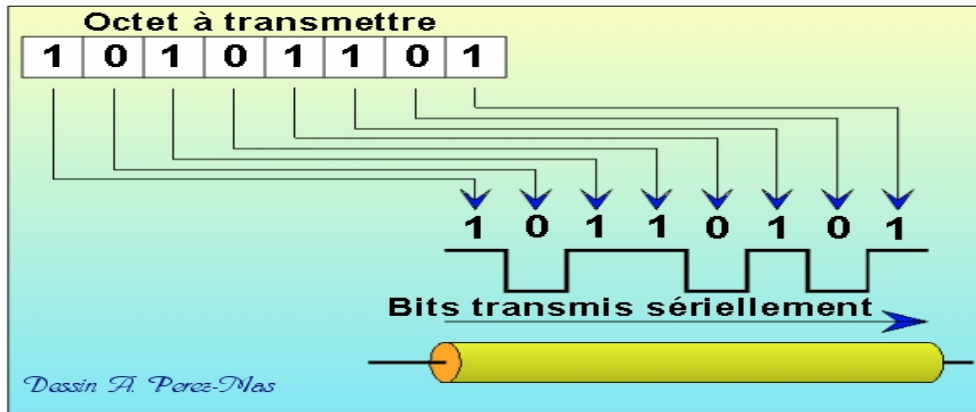
Pour que deux entités quelconques puissent communiquer à travers un réseau informatique, il faut qu'une liaison informatique soit établie entre elles. Les éléments qui composent cette liaison:

- ☞ **ETTD** : Equipement Terminal de traitement de données, il recouvre tout type d'équipement susceptible de transmettre ou de recevoir des informations numériques y compris le contrôle de la communication (la sérialisation et la désérialisation)¹, il peut désigner tout aussi bien une machine de traitement, par exemple *un ordinateur*, qu'une *console d'entrée sortie*.
- ☞ **ETCD** : Equipement Terminal Circuit de données, équipement permettant d'adapter le signal émis du ETTD au support de transmission ou d'adapter le signal reçu du support de transmission au ETTD, par exemple un modem pour la connexion de l'ordinateur au réseau téléphonique.
- ☞ **Support de transmission**: Liaison de communication proprement dite qui assure le transport dans le monde physique

Le schéma type d'une liaison informatique est représenté ci dessous :



¹ A l'intérieur d'un ordinateur les informations sont, en général, traitées sous forme de mots de 32, 16, ou 8 bits. Comme elles sont transmises bit par bit il faut introduire une fonction de Sérialisation/Désérialisation capable de passer d'une représentation sous forme de mots à une séquence de bit et réciproquement.



III. Nature et représentation de l'information à transmettre

Les informations qui transitent sur les réseaux informatiques existent sous des formes diverses (textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc.....). Ces informations peuvent être réparties en 2 grandes catégories :

- **Les informations discrètes** : l'information correspond à un assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (c'est une suite discontinue de valeurs) et dénombrable (c'est un ensemble fini). Par exemple : un texte, qui est un ensemble de lettres (ou de symboles) qui forment des mots, une image, qui est un ensemble de pixels.
- **Les informations continues ou analogiques** : résultent de la variation continue d'un phénomène physique. Exemples le son : le son se propage dans l'air sous forme d'une onde de pression, transmise par le mouvement des molécules. En gros c'est une déformation de l'air dû à un phénomène physique.

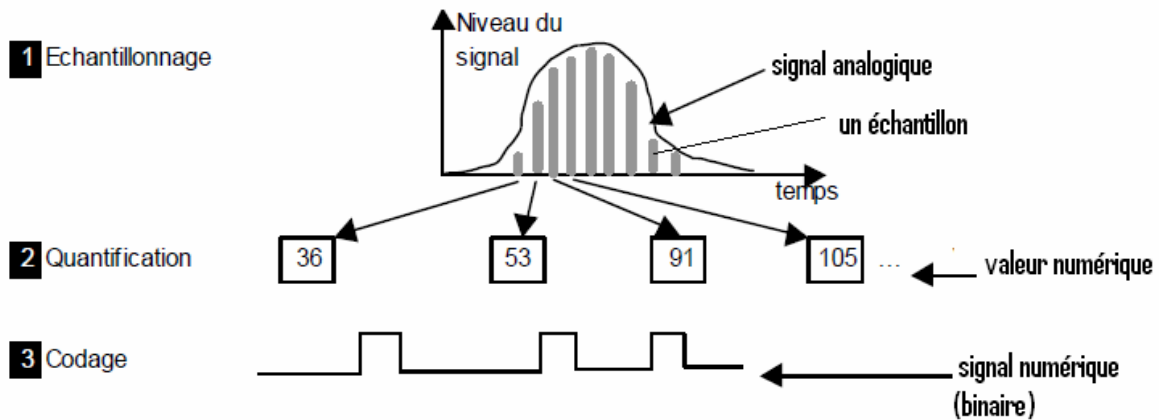
Pour pouvoir transporter ces informations à travers les réseaux informatiques, chaque information doit être substituée par une suite d'éléments binaires (une suite de 0 et de 1). Cette opération porte le nom de :

- **Codage** de l'information pour les informations discrètes.
- **Numérisation** de l'information pour les informations analogiques.

III.1. la numérisation

La numérisation comporte trois phases : l'échantillonnage, la quantification et le codage.

- **L'échantillonnage** consiste à prélever des échantillons du signal à intervalles de temps réguliers.
- **La quantification** fait correspondre une valeur numérique à l'amplitude d'un échantillon par rapport à des valeurs étalons appelées niveaux de quantification.
- **Le codage** consiste à remplacer chaque valeur de la suite des valeurs numériques d'échantillons par une suite binaire sur un octet.



Après l'étape de codage/numérisation intervient l'étape de transmission des suites binaires de données.

V. Transmission de données

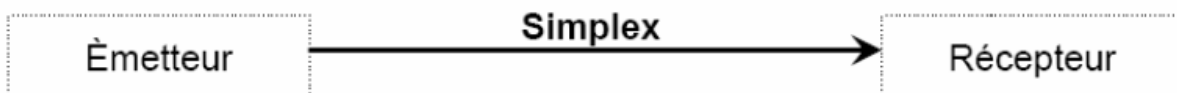
La transmission des données sur une liaison de communication peut s'effectuer de différentes manières selon:

- le sens des échanges (Mode d'exploitation de la liaison de communication)
- le nombre de bits envoyés simultanément.

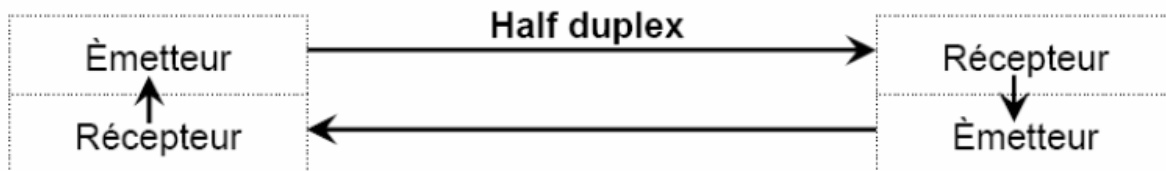
V.1. Mode d'exploitation de la liaison de communication

Une liaison de transmission de données peut être exploitée de différentes manières:

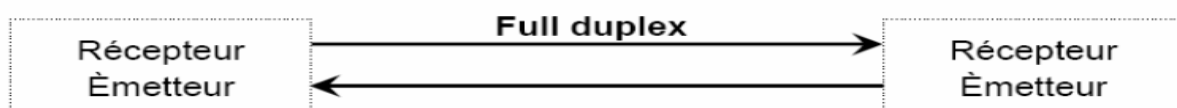
Unidirectionnelles (simplex): Les données sont transmises dans une seule direction. Par exemple de votre ordinateur vers l'imprimante ou de la souris vers l'ordinateur...).



Bidirectionnelles à l'alternat (half duplex): Les données sont transmises dans les deux directions, mais pas les deux simultanément. Par exemple une communication avec le talkie-walkie.



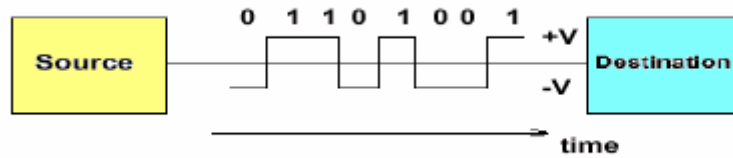
Bidirectionnelles simultanées (full duplex): Les données sont transmises dans les deux directions et simultanément. Par exemple une communication avec le téléphone.



V.2. Modes de transmission des données

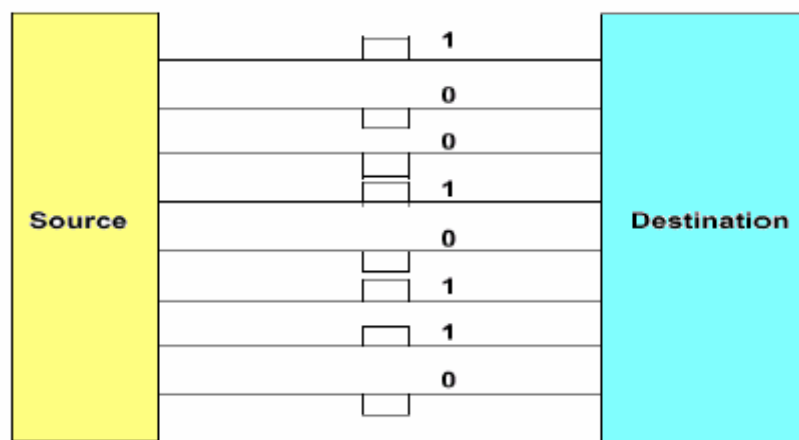
La transmission de plusieurs bits peut s'effectuer en série ou en parallèle.

- ✎ **Transmission série:** Les bits sont transmis "un par un" (successivement)



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

- ✎ **Transmission parallèle:** Plusieurs bits sont transmis simultanément



(b) Transmission // d'un caractère "01101001"

IV. Le Principe de la sérialisation et du multiplexage

IV.1. La sérialisation

En transmission série, un seul support est utilisé. Les bits sont envoyés les uns à la suite des autres, ce qui nécessite une fonction de «sérialisation/désérialisation» effectuée au niveau ETTD par une logique de transmission qui n'est autre qu'un registre à décalage dont le fonctionnement est rythmé par une horloge.

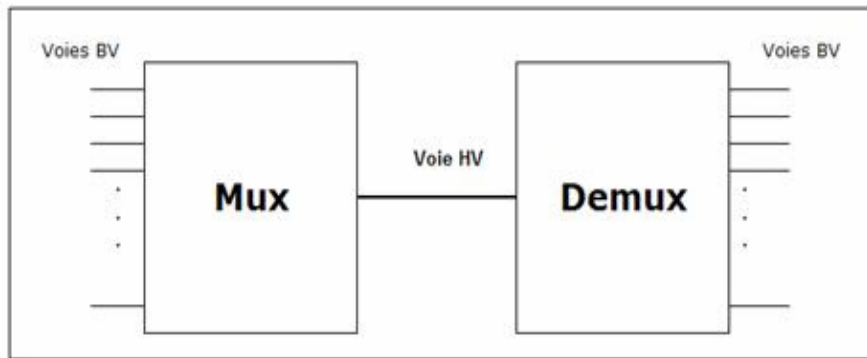


sérialisation et la désérialisation

IV.2 Le multiplexage

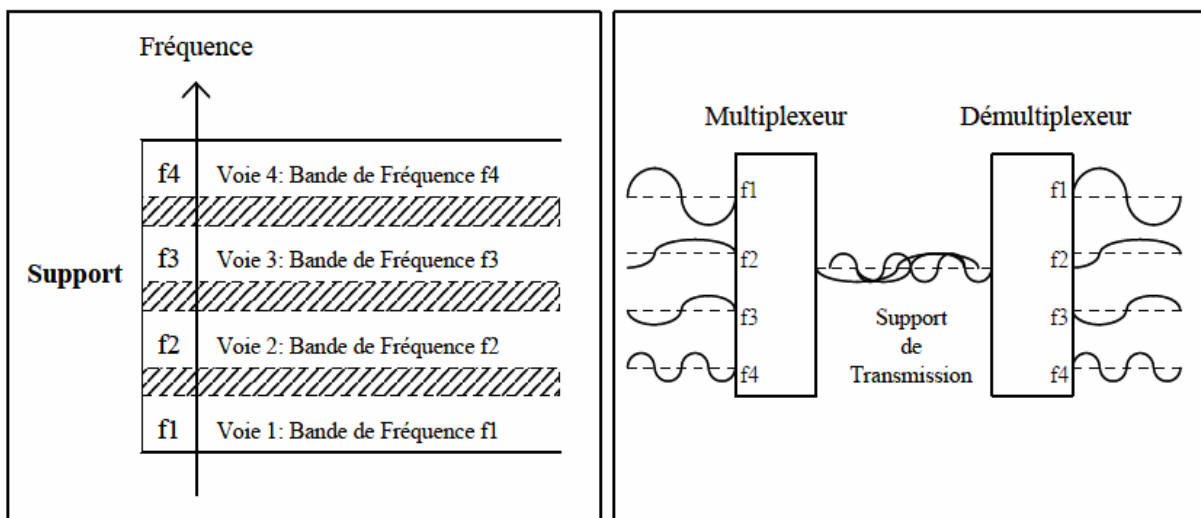
Dans le cas d'une transmission parallèle ou transmission full duplex : la liaison peut être :

- **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**.

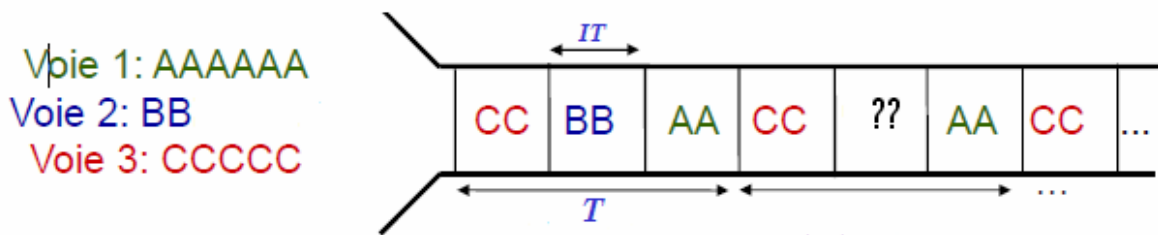


Il existe des techniques principales de multiplexage parmi lesquelles on cite:

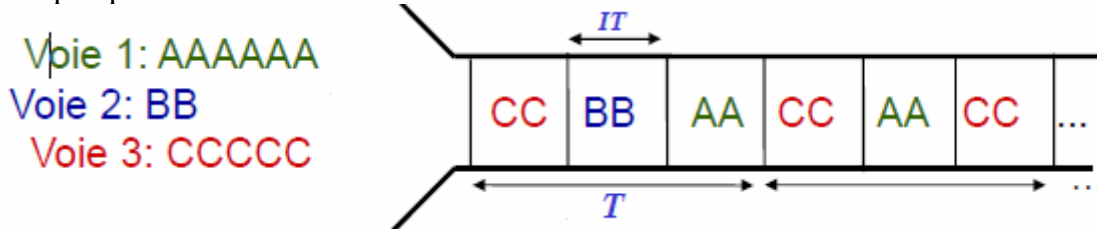
- ✎ **Le multiplexage fréquentiel** qui consiste à diviser la bande passante de la ligne en plusieurs sous-canaux. Ainsi chaque utilisateur transmet sur un sous canal particulier de fréquences).



- ✎ **Le multiplexage temporel** qui 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. .



- Le multiplexage statistique améliore le multiplexage temporel en n'attribuant la voie haute vitesse (la ligne) qu'aux voies basse vitesse (utilisateurs) qui ont effectivement quelque chose à transmettre.



VI. Les grandeurs physiques des bits transmis

La transmission des bits utilise un signal basé sur le principe de propagation d'ondes : ondes électriques, ondes lumineuses, ondes électromagnétiques (radio, micro onde, infrarouge, ultraviolets, rayons X /Y).

L'étude de la transmission des bits nécessite la connaissance de :

- la notion des signaux et leurs caractéristiques.
- les méthodes utilisées pour transmettre l'information sur ces supports : opération réalisée par un ETCD (adaptateur de ligne).
- les supports de transmission et de leurs caractéristiques.

VI. 1. Notion de signal

Le signal peut être une tension électrique transmise sur les fils électriques, une impulsion lumineuse transmise sur les fibres optiques ou une onde électromagnétique transmise dans l'air.

Exemple:

- ✓ 0 est codé par 0 volts et 1 est codé par +5 volts dans le cas d'un signal électrique.
- ✓ 0 est codé par une faible intensité et 1 est codé par une forte intensité dans le cas d'un signal optique.
- ✓ 0 est codé par une courte rafale d'onde et 1 est codé par une rafale d'onde plus longue dans le cas de transmission sans fil.

Un signal périodique : C'est un signal qui se reproduit de façon identique pour chaque durée de temps qui s'appelle **la durée d'une période T (en secondes)**.

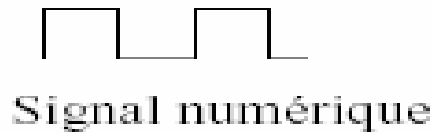
$$\text{Fréquence} = 1/T \text{ (en hertz)}$$

VI. 2. Types de signaux

Analogique : variation continue du signal dans le temps sous forme sinusoïdale



Numérique : variation discontinue du signal dans le temps sous forme carrée.



VI. 3. Caractéristiques des signaux

VI. 3.1. Le moment élémentaire (T_m)

C'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. Ce temps noté T_m est appelé aussi *intervalle significatif* et s'exprime en seconde.

VI. 3.2. La valence d'une voie (V)

Un codage associe une valeur physique (un signal physique) à une valeur logique (une information binaire). La valence notée V est le nombre de valeurs que peut prendre l'état physique à un instant t . Par exemple, dans les cas précédents, on parle de bivalence : le signal peut prendre 2 valeurs de tension $+V$ ou $-V$

VI. 3.3. La vitesse de modulation (R_m)

C'est le nombre de valeurs physiques que l'interface peut émettre par seconde. La vitesse de modulation (ou rapidité de modulation) se note R_m et s'exprime en bauds.

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

VI. 3.4. La bande passante (W)

La principale caractéristique d'une voie de transmission (câble, fibre optique, etc.) est sa bande passante.

c'est la largeur de bande allant de f_1 à f_2 . Elle est égale à la différence entre ces fréquences. Elle décrit le support comme elle décrit le signal.

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 RTC (Réseau Téléphonique Commuté) offre un intervalle de fréquence de 300 à 3400 Hz, ce qui limite la bande passante à 3,1 kHz.

VI. 3.5. Le débit binaire (D)

Également appelé vitesse de transmission. C'est la vitesse à laquelle l'émetteur dépose les bits sur le support, représente le nombre de valeurs logiques transmises par seconde. Il est noté D et s'exprime en bits/s.

$$D = n \cdot R_m$$

« n » correspond au nombre de bits (quantité d'information binaire) transportés par une signal physique.

Dans ce contexte, pour améliorer les performances, on cherchera à augmenter le débit binaire en augmentant

Soit « n », mais le bruit (voir le cours 5) est un frein important (difficulté à discerner les différents niveaux).

Soit « R », mais on ne peut dépasser une valeur R_{\max} .

Ce dernier résultat a été démontré par le **théorème de Nyquist** (1928) qui établit un rapport entre la rapidité maximum et la bande passante W :

$$R_{\max} = 2 W$$

$$\implies D_{\max} = n \cdot 2 \cdot W$$

Remarque : Ce résultat est théorique et, dans la pratique, $R_{\max} = 1,25 W$

VI. 3.6. Calcul des temps

La vitesse de propagation (v) : C'est la vitesse à laquelle les bits se propagent sur le support, elle dépend du support de transmission et légèrement de la fréquence du signal (voir le cours 3).

Le temps de propagation t_p : C'est la durée de propagation d'un bit d'une extrémité à une autre distante de d mètre.

$$t_p = d/v \quad (\text{en seconde})$$

Le temps de transmission T_t : C'est le délai qui s'écoule entre le début et la fin d'émission d'un message de longueur L (en bits) sur une ligne physique.

$$t_t = L/D \quad (\text{en secondes})$$

Le temps de transfert t_{tr} : C'est délai entre l'émission du premier bit et la réception du dernier.

$$t_{tr} = t_t + t_p \quad (\text{en secondes})$$

VII. codage de base et les approches de transmission

Le codage basique utilisé à l'intérieur de la carte mère c'est un codage (0V pour coder l'inf 0, 2 jusqu'à 5V pour coder 1) qui n'est pas adapté à un support de transmission dans la mesure

où un signal à 0V est très sensible à toute perturbation électrique. Pour palier ce problème, Deux approches ont été utilisées :

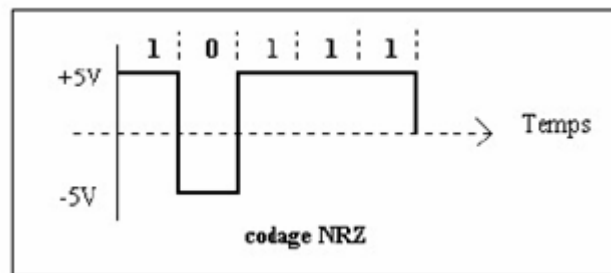
- **Transmission en bande de base (codage).**
- **Transmission en large bande (modulation).**

VII.1. Transmission en bande de base (codage)

Dans ce type de transmission, l'information est émise sous sa forme initiale (numérique), avec une codification et éventuellement une amplification. Ce type de transmission est également appelé transmission en bande de base. C'est celle qui est le plus utilisée pour des transmissions courtes (réseaux locaux).

VII.1.1. Le codage NRZ

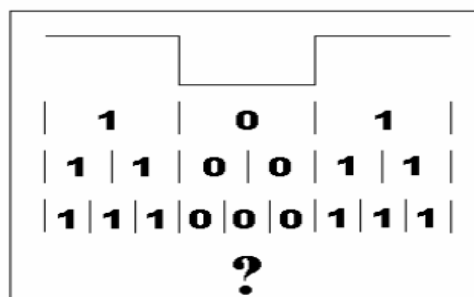
Le codage NRZ (Non Retour à Zéro) code le bit 1 par un signal positif, le bit 0 par un signal négatif.



VII.1.2. Le code NRZI

Le code NRZI (Non Retour to Zero Inverted) est en fait une variante inversée du code NRZ. Un bit 0 est codé par une tension positive, un bit à 1 par une tension négative.

L'inconvénient de ces types de codage réside dans la détection et la reconnaissance de longues chaînes de 0 ou de 1. Donc, ces codes n'assurent pas en permanence une synchronisation du récepteur avec l'émetteur.



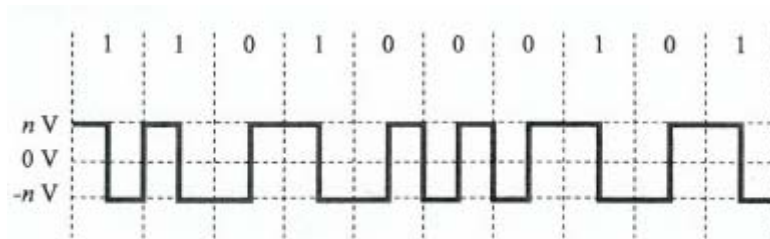
Pour chercher à amener une réponse à ce problème. Le code élaboré doit être basé sur la transition du signal pour représenter chaque bit, dans le but de garder une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur

VII.1.3. Le code Manchester

Le code Manchester est basé sur une variation du signal. Il s'agit d'observer la variation du signal entre le début et la fin du temps élémentaire.

Le bit 1 est codé par une variation de $+V$ à $-V$

Le bit 0 est codé par une variation de $-V$ à $+V$



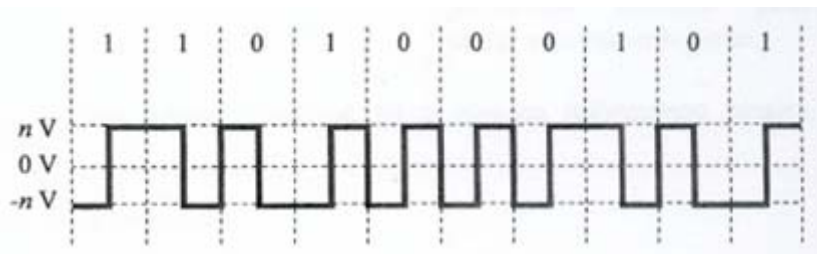
Ce code est celui adopté pour les réseaux Ethernet.

VII.1.4. Le code Manchester différentiel

De la même façon, ce code (biphase différentiel) est basé sur les transitions du signal.

Le bit 0 est codé par une transition en début du temps élémentaire

Le bit 1 est codé de la même façon par une transition en milieu du temps élémentaire



Ce code est celui utilisé dans la norme 802.5

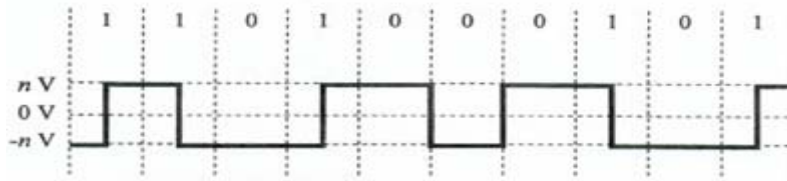
VII.1.5. Le code Miller

Le code Miller est également basé sur une codification à partir des transitions du signal

Le bit 0 est codé par l'absence de transition pendant le temps élémentaire

Le bit 1 est codé par une transition en milieu du temps élémentaire.

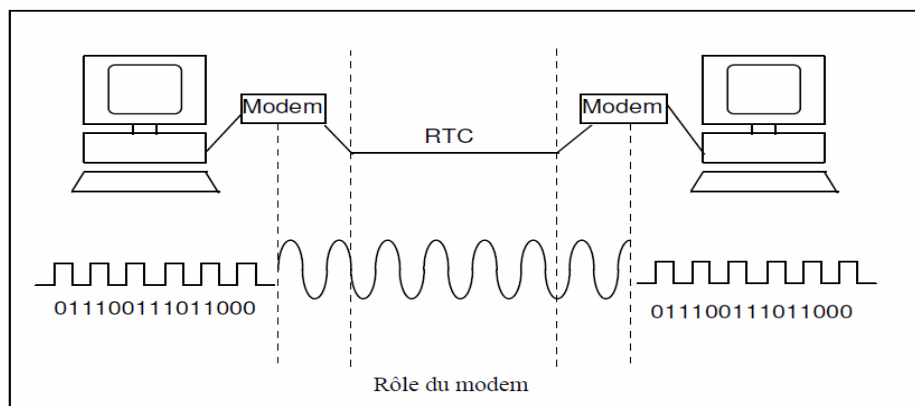
Dans ce code pour éviter le problème de synchronisation lié aux longues séquences de 0, une transition durant chaque temps élémentaire est réalisée en cas de succession de 0



VII.2. Transmission en large bande (Modulation)

Les limites de la transmission en bande de base sont fixées par les supports de transmission et par la distance. Au-delà d'un certain seuil, des dégradations sont observées, ce qui fait que la transmission ne peut plus être réalisée sans erreurs.

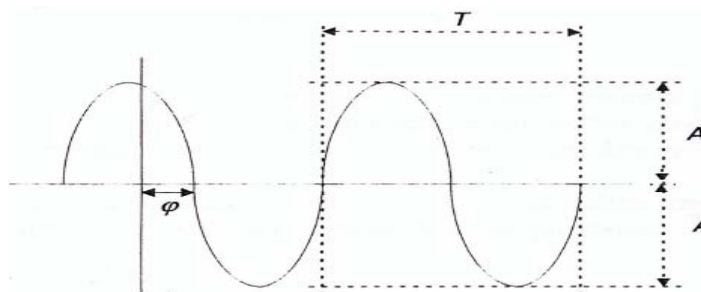
Il apparaît donc nécessaires d'utiliser d'autres types de transmission. Cet autre type est réalisé par une transformation analogique du signal. Cette transformation est assurée à l'aide d'appareils appelés Modem.



Un Modem fait la transformation du signal numérique en analogique et la transformation du signal analogique en numérique

La modulation consiste à utiliser une onde "porteuse" sinusoïdale :

$$S(t) = A \sin (2\pi F t + \Phi)$$





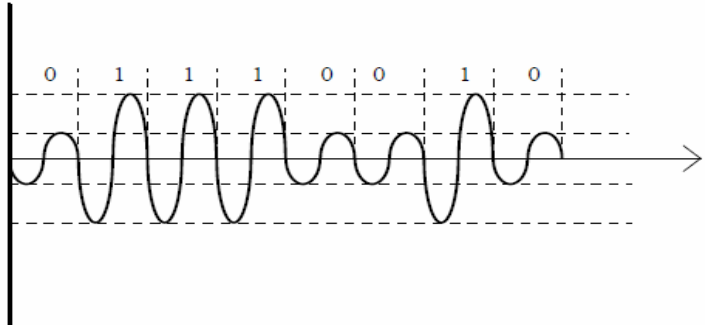
Dans laquelle on va modifier certains paramètres pour représenter les "0" et les "1" :

- **Modification de A (modulation d'amplitude).**
- **Modification de F (modulation de fréquence).**
- **Modification de Φ (modulation de phase).**

VII.2. 1. La modulation d'amplitude

Cette modulation (AM Amplitude Modulation) s'appuie sur l'utilisation de 2 amplitudes pour coder les 2 valeurs du signal. Dans ce cas, une seule fréquence est utilisée pour transmettre l'information.

Numérique	Analogique
0	Amplitude A1 
1	Amplitude A2 





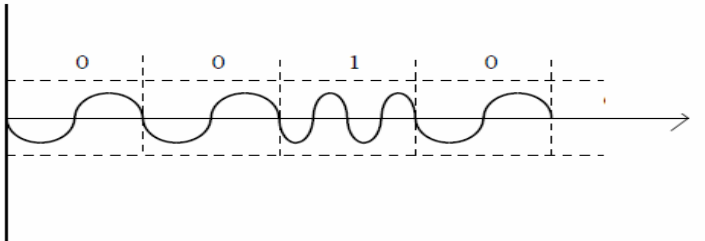
VII.2. 2. La modulation de fréquence

Cette modulation est également appelée saut de fréquence (FSK Frequency Shift Keying). Elle s'appuie sur l'utilisation de deux fréquences pour représenter les deux valeurs binaires.

0 → f1

1 → f2

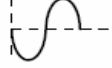
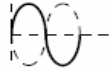
Numérique	Analogique
0	Fréquence f1 
1	Fréquence f2 

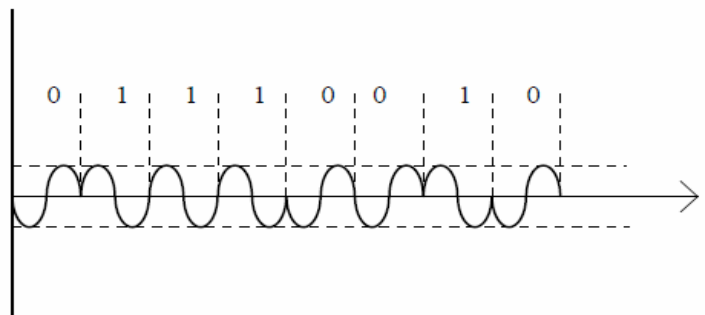


Par exemple, la norme V21 permet d'utiliser 4 valeurs de fréquences ce qui permet de réaliser une communication full duplex.

VII.2. 3. La modulation par saut de phase

Cette modulation (PSK= Phase Shift Keying) utilise la phase du signal, mais surtout le déphasage afin de coder les différentes valeurs du signal.

Numérique	Analogique
0	Phase 1 
1	Phase 2 



Cette modulation PSK peut être utilisée sur 4 phases différentes pour émettre les bits, 2 par 2 afin de doubler le débit binaire sur la ligne sans augmenter la rapidité de modulation.

Remarque :

On peut aussi imaginer une combinaison des différents types de modulation, par exemple, la combinaison d'une modulation d'amplitude à deux valeurs et d'une modulation de phase à quatre valeurs pour émettre les bits, 3 par 3.

