

Chapitre 2 : Transmission de données

Dans un réseau téléinformatique, les ordinateurs s'échangent des informations qui consistent en messages de types divers : texte, son, image, vidéo. En fait, ces informations sont de nature numérique, çad **encodés** sous forme d'éléments binaires ou bits. Cette opération de **codage** est nécessaire avant tout traitement ou transmission. Différents types de codes existent dont les codes ASCII, EBCDIC, ...

Pour pouvoir effectuer un transfert d'informations, il est nécessaire de les **encoder** en **signaux**. Les signaux sont ainsi les véhicules de l'information dans un réseau de communication.

La transmission physique de l'information est prise en charge par la couche la plus basse du modèle OSI dans un réseau informatique, sur **un canal de transmission** physique.

1. Canal de transmission

1.1 Qu'est ce qu'un canal de transmission ?

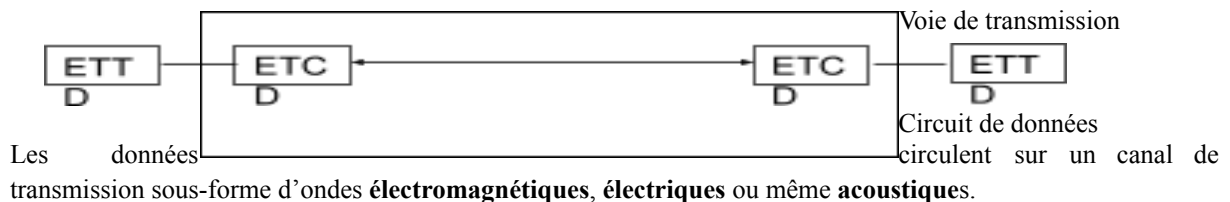
Pour que la transmission de données puisse s'établir entre deux machines, il doit exister une ligne de transmission appelée **canal** ou **voie de transmission** entre elles.

Un canal de transmission est une liaison entre deux machines. Il n'est pas forcément constitué d'un seul support physique de transmission : en effet, les machines d'extrémités (les ETTD) utilisent chacun un ETCD adapté au type de support auquel il est relié.

L'ETCD a deux fonctions essentielles :

- L'adaptation du signal numérique entre l'ETTD et la ligne de transmission, ce qui correspond soit à un codage et une modulation (dans le cas où il envoie des données), soit à une démodulation et un décodage (dans le cas où il reçoit des données).
- La gestion de la ligne, çad établissement, maintien et libération de la liaison.

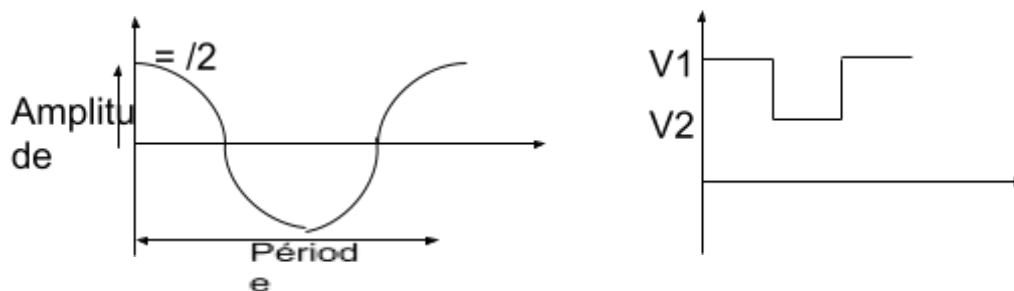
On appelle **circuit de données** l'ensemble constitué des ETCD de chaque machine et de la ligne de données.



1.2 Comment sont transmises les données sur un canal ?

La transmission de données sur un support physique se fait par propagation d'un phénomène vibratoire (lumière, son, électricité). Il en résulte un signal ondulatoire de la grandeur physique que l'on fait varier :

- Dans le cas de la lumière, il s'agit d'une onde lumineuse.
- Dans le cas du son, il s'agit d'une onde acoustique.
- Dans le cas de la tension ou l'intensité d'un courant électrique, il s'agit d'une onde électrique.



[Figure II.1 : Types de Transmission]

Lorsque l'information est représentée par la variation d'une seule grandeur physique (tension électrique, intensité lumineuse, etc.), on parle alors de **transmission numérique**.

Lorsque l'information est représentée par des ondes électromagnétiques, on parle alors de **transmission analogique**. Les **ondes électromagnétiques** sont caractérisées par leur **fréquence**, leur **amplitude** et leur **phase**. Le signal est obtenu par la fonction :

$$y = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

où A est l'amplitude, $f = 1/p$ la fréquence (en Hertz) et p la période (en secondes), ϕ la phase (en radian).

1.3 Caractéristiques d'une transmission

Une transmission de données est caractérisée par :

- des perturbations que peut subir le signal résultant,
- un taux d'erreurs induits,
- une vitesse de transmission et
- un temps de transfert de l'information.

a) Perturbations

La transmission de données sur une ligne ne se fait pas sans pertes. Tout d'abord, le temps de transmission n'est pas immédiat, ce qui impose une certaine « **synchronisation** » des données à la réception. D'autre part, des parasites ou des dégradations du signal peuvent apparaître.

a1. Le bruit : est l'ensemble des perturbations modifiant localement la forme du signal. Concrètement, il consiste en signaux **parasites** qui se superposent au signal transporté et qui donnent un signal déformé.

On distingue généralement deux types de bruit :

- **Le bruit blanc** : est une perturbation uniforme du signal, c'est à dire qu'il rajoute au signal une petite amplitude dont la moyenne sur le signal est nulle. Le bruit blanc est généralement caractérisé par un ratio appelé « **rapport signal / bruit** » qui traduit le pourcentage d'amplitude du signal par rapport au bruit. Celui-ci doit être le plus élevé possible. Le bruit blanc est induit généralement par les connecteurs, les amplificateurs et les équipements intermédiaires interfaçant les câbles. Ce bruit est le plus gênant. Il peut modifier notablement le signal à certains moments et produire des confusions entre "0" et "1". Pour cette raison, il faut veiller à ce que la puissance du signal soit supérieure à celle du bruit.
- **Les bruits aléatoires ou impulsifs** : sont des petits pics d'intensité ou perturbations accidentelles, provoquant des erreurs de transmission. Ce type de bruits est induit par une source électromagnétique externe affectant momentanément ou de manière aléatoire le signal.

a2. L'affaiblissement : représente la perte de signal en énergie dissipée dans la ligne. L'affaiblissement se traduit par un signal de sortie plus faible que le signal d'entrée et est caractérisé par la valeur suivante :

$$A = 10 \log_{10} (\text{rapport d'affaiblissement}) \text{ où rapport d'affaiblissement} = \frac{\text{Amplitude du signal reçu}}{\text{Amplitude du signal émis}}$$

L'affaiblissement est proportionnel à la longueur de la voie de transmission et à la fréquence du signal. En d'autres termes, le signal s'affaiblit en fonction de la distance parcourue. Par ailleurs, certaines fréquences tendent s'affaiblir plus rapidement que d'autres.

Pour compenser cet affaiblissement et pour permettre des transmissions sur de longues distances, on dispose un certain nombre d'amplificateurs ou répéteurs à des distances fonctions des caractéristiques de la ligne de transmission.

a3. La distorsion de phase : caractérise le déphasage entre le signal en entrée et le signal en sortie. Ces erreurs sont dues en général à une mauvaise synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.

b) Taux d'erreurs

C'est la probabilité de perte ou d'altération d'une information (1 bit). On peut la mesurer en calculant pendant un temps significatif le rapport du nombre de bits erronés sur le nombre de bits émis.

c) Vitesse de transmission

La façon la plus naturelle de transmettre une suite d'éléments binaires 0 et 1 consiste à faire correspondre aux états 0 et 1 deux valeurs de signaux possibles. Par un exemple, avec un signal électrique, il est possible d'utiliser les valeurs de tension 0volts et +5 volts pour les états 0 et 1 respectivement. On parle alors de transmission d'un **état** ou portion de signal.

Pour calculer la vitesse de transmission sur un circuit de données, il est nécessaire de connaître d'une part la rapidité avec laquelle sont transmis les portions de signal (**états**), et d'autre part, le débit binaire sur le canal de transmission.

- Un **état** est la plus petite portion du signal échangée entre deux ETCD.
 - La durée d'un état est notée **t ou Δ** .
 - Un état contient un nombre d'informations (bits) **n**.
 - Le nombre d'états différents possibles dans un signal est dit **valence** du signal.

On a :

$$n = \log_2 V$$

Exemples :

$V=2 \Rightarrow 2$ états à représenter 0 et 1

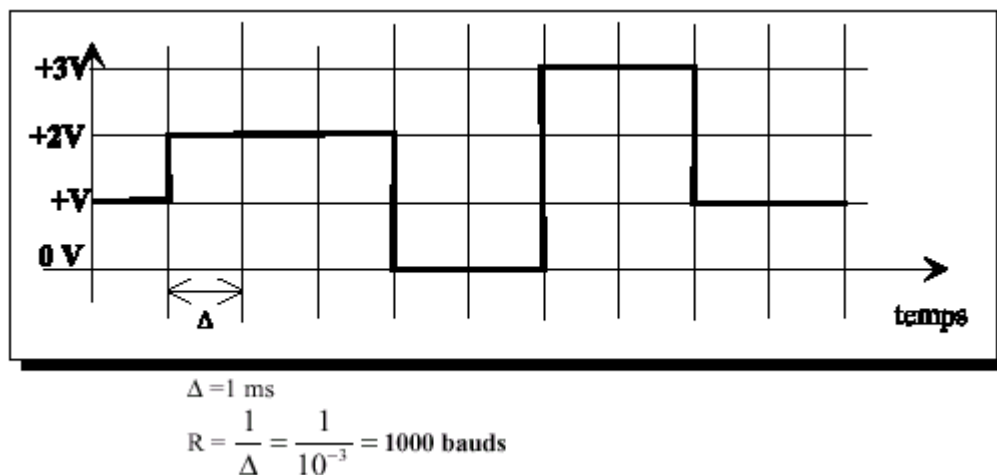
$V=4 \Rightarrow 4$ états e_i à représenter en combinant 2 bits .

- La **rapidité ou vitesse de modulation R** est la quantité d'états transmis en une seconde : **$R = 1 / t$ (bauds)**
- Le **débit binaire D d'une voie de transmission** est le nombre maximum de symboles binaires transmis par seconde sur cette voie.

La relation entre **D** et **R** peut s'exprimer de la façon suivante: **$D = R \cdot n$** en bits/s

Remarque: Dans le cas où l'on transporte 1 bit (cas où $V=2$) par état, nous obtenons : **$R = D$** .

Exemple : On considère le signal numérique dont on relève l'échantillon représentatif suivant :



$V=4$

$n = \log_2 V = 2$

$D = R \cdot n = 2000 \text{ bits/secondes}$

d) Temps de transfert

C'est la durée de temps qui sépare le début de l'émission de la fin de réception, çàd c'est le temps de traversée ou délai d'acheminement nécessaire mis par un message envoyé pour parvenir d'un point à un autre :

$$T_{\text{transfert}} = T_{\text{émission}} + T_{\text{propagation}}$$

Le **temps d'émission ou transmission** dépend du débit binaire; c'est égal au délai qui s'écoule entre le début et la fin de la mise d'un message sur une ligne de transmission :

$$T_{\text{émission}} = \text{Taille du message envoyé} / \text{Débit binaire.}$$

Le temps de propagation consiste en 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 couverte et de la fréquence du signal :

$$T_{\text{propagation}} = \text{distance parcourue par le message} / \text{vitesse de propagation sur le support}$$

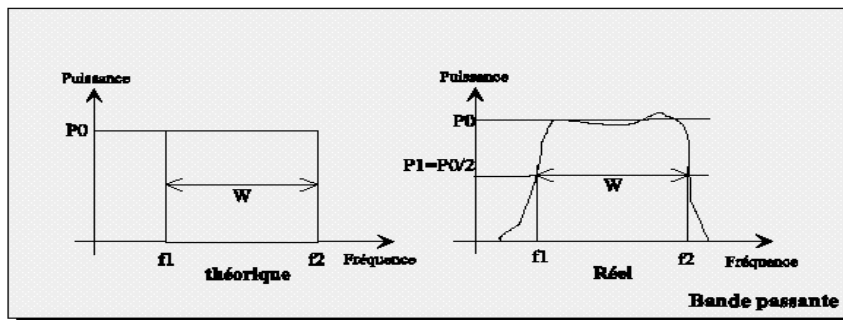
1.4 Caractéristiques d'un canal de transmission

Un canal de transmission est caractérisé par :

a) **La bande passante W** d'une voie de transmission (**bandwith**) est l'intervalle de fréquences sur lequel le signal ne subit pas un affaiblissement supérieur à une certaine valeur (généralement 3db, car 3db correspond à un affaiblissement du signal de 50%). On parle de **bande de fréquences** ou **bande passante**, ou encore **largeur de bande** dans laquelle les signaux sont convenablement reçus.

Concrètement, 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 appelée *largeur de bande* du circuit) par : $W = f_2 - f_1$, où les fréquences f_1 et f_2 , limitant la bande passante, correspondent à une puissance transmise $P_1 = P_0/2$, avec P_0 représentant la **puissance** dans la bande. Cet affaiblissement est dit à 3 dB (décibel) :

$$10 \log_{10} (P_0 / P_1) = 10 \log_{10} (2) = 3 \text{ dB.}$$



[Figure II.2 : Bande passante d'une voie de transmission]

Dans la pratique, la bande passante est souvent exprimée comme étant une plage de fréquences allant de 0 à la fréquence à laquelle au moins la moitié de la puissance du signal (P_1) est préservée.

La bande passante est très importante pour un circuit de données, puisqu'elle détermine directement sa capacité de transmission. C'est une caractéristique physique du support de transmission et dépend généralement de la construction, de l'épaisseur et de la longueur de ce support.

Exemple : La ligne téléphonique ne laisse passer que les fréquences entre 30 et 3400 hz, ce qui donne une bande passante $W = 3400 - 300 = 3100 \text{ hz}$.

Dans certains cas, un filtre est introduit dans le circuit pour limiter la largeur de la bande passante mise à disposition du client. Par exemple, le câble téléphonique peut avoir une bande passante de 1MHz sur de courtes distances, mais les opérateurs ajoutent un filtre qui limite la largeur de bande à environ 3100Hz, qui convient à l'entretien d'une conversation audible.

b) **Rapport signal sur bruit S/B** est une caractéristique du canal ; c'est le rapport de l'énergie ou puissance du signal sur l'énergie du bruit. Ce rapport varie dans le temps puisque le bruit n'est pas constant, mais on l'estime par une valeur moyenne sur un intervalle de temps. Son unité est le décibel (db).

c) **La capacité C** d'une voie de transmission est la quantité d'informations en (bits) pouvant être transmise sur la voie en une seconde.

En 1948, C.Shannon montre que la capacité (en bits/seconde) d'un canal est limité non seulement à par sa bande passante W , mais aussi par le rapport S/B de la manière suivante :

Théorème ou formule de Shannon : $C = W \log_2 (1 + S / B)$

où : C la capacité en bps, $W = f_2 - f_1$ la largeur de bande en (HZ), S/B le rapport **signal sur bruit** de la voie.

Exemple: Avec une ligne téléphonique usuelle de largeur de bande $W = 3100 \text{ Hz}$ 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'excédaient guère 9600 bits/s.

De manière empirique, il a été constaté aussi que la rapidité maximale que peut atteindre un ETCD est contrainte par la bande passante du support physique auquel il est connecté :

$$R \leq 2 W, \text{ i.e } R_{\text{max}} = 2 W \text{ (Théorème de Nyquist).}$$

2. Types de transmission

Lorsque des données sont transmises, elles peuvent se trouver sous deux formes : **analogique** ou **numérique**. D'où les deux types de transmission analogique et numérique.

2.1. Transmission analogique (modulation de base)

La transmission analogique de données consiste à faire circuler des informations sur un support physique de transmission sous forme d'une **onde**. La transmission des données se fait par l'intermédiaire d'une onde porteuse, une onde simple dont le seul but est de transporter les données par modification de l'une de ses caractéristiques (amplitude, fréquence ou phase). C'est la raison pour laquelle la transmission analogique est généralement appelée "**transmission par modulation d'onde porteuse**".

Pour transmettre des signaux en analogique, on utilise des signaux avec une fréquence choisie, ce qui permet de limiter les pertes et donc de transmettre sur des distances plus longues.

Comme les signaux manipulés à l'intérieur d'un ordinateur ou ETTD sont numériques, pour transmettre ces données numériques sous forme analogique, on utilise un ETCD spécifique appelé **Modem**; son rôle est :

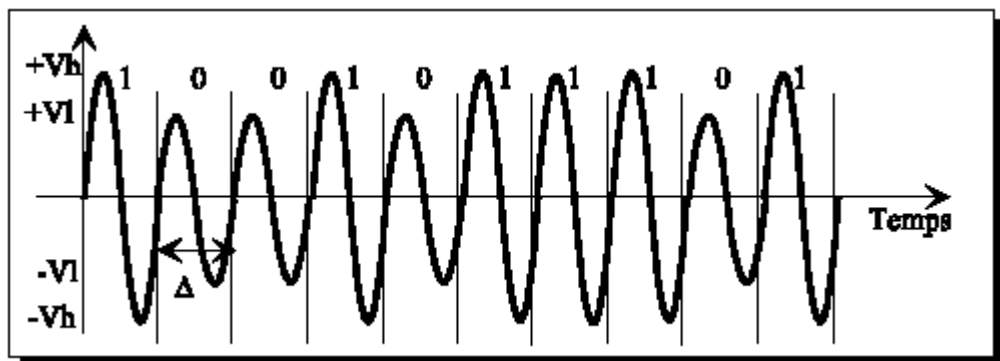
- **A l'émission** : de convertir des données numériques (un ensemble de 0 et 1) en signaux numériques en signaux analogiques. On appelle ce procédé « **la modulation** ».
- **A la réception** : de convertir le signal analogique en données numériques. Ce procédé est appelé « **démodulation** ».

C'est pour cela que le modem est en réalité l'acronyme de **Modulateur/Démodulateur**.

Dans un modem, selon le paramètre de l'onde porteuse que l'on fait varier, on distinguera trois types de transmission analogique :

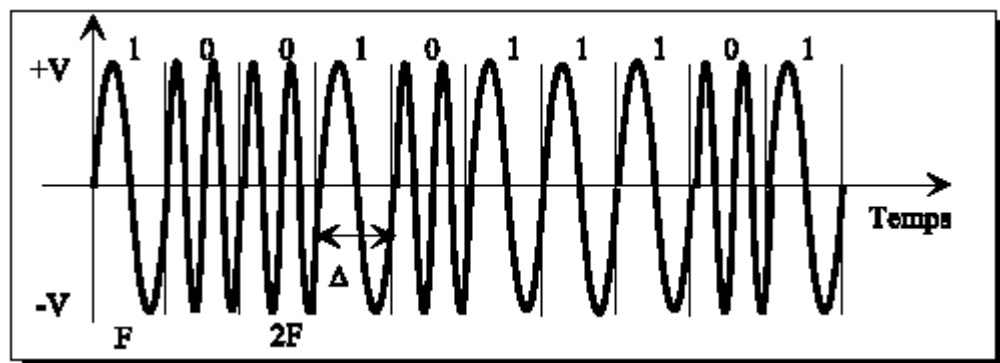
- Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying),
- Modulation de fréquence ou FSK (Frequency Shift Keying), et
- Modulation de la phase ou PSK (Phase Shift Keying).

- a) **La modulation d'amplitude** ou l'ASK: L'amplitude du signal varie du simple ou double suivant que l'on veuille transmettre un 0 ou un 1.

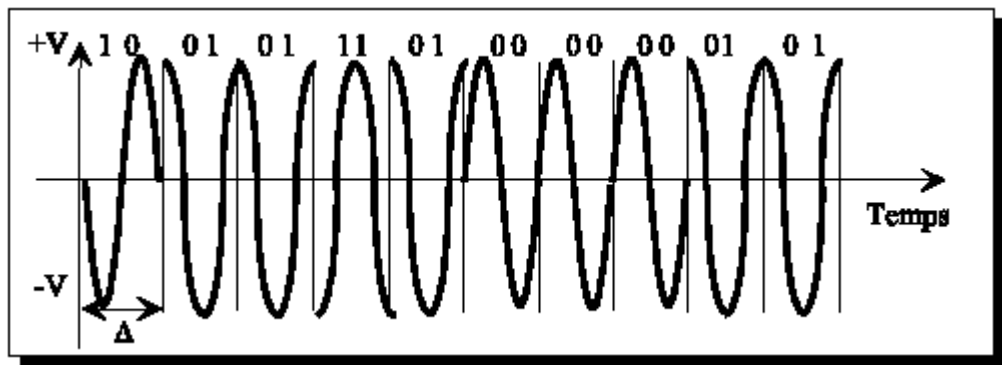


Exemple : Soit la suite de bits à émettre : 1001011101. On peut la représenter comme suit avec une modulation ASK

- b) **La modulation de fréquence** ou FSK : La fréquence du signal varie du simple ou double suivant que l'on transmette un 0 ou un 1.



c) **La modulation de phase ou PSK** : La phase du signal varie en fonction du bit à envoyer.



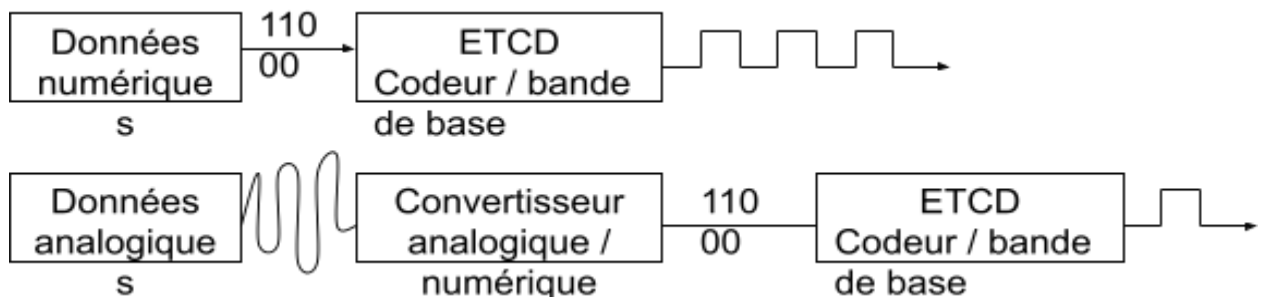
La composition de ces trois techniques de modulations est possible et permet d'augmenter la valence et donc le débit de la transmission. Certains modems utilisent ainsi la modulation combinée de phase et d'amplitude.

2.2. Transmission numérique

La transmission numérique consiste à faire transiter les informations sur le support physique de communication sous forme de signaux numériques (0 et 1). Pour faire passer 0 ou 1, il faut coder par un signal possédant deux états, comme par exemple :

- Deux niveaux de tension par rapport à la masse.
- La présence ou absence de courant dans un fil.
- La présence / absence de lumière,

Cette transformation de l'information binaire sous forme d'un signal à deux états est réalisée par l'ETCD, appelé aussi **codeur bande de base**, d'où l'appellation de **transmission en bande de base** pour désigner la transmission numérique.

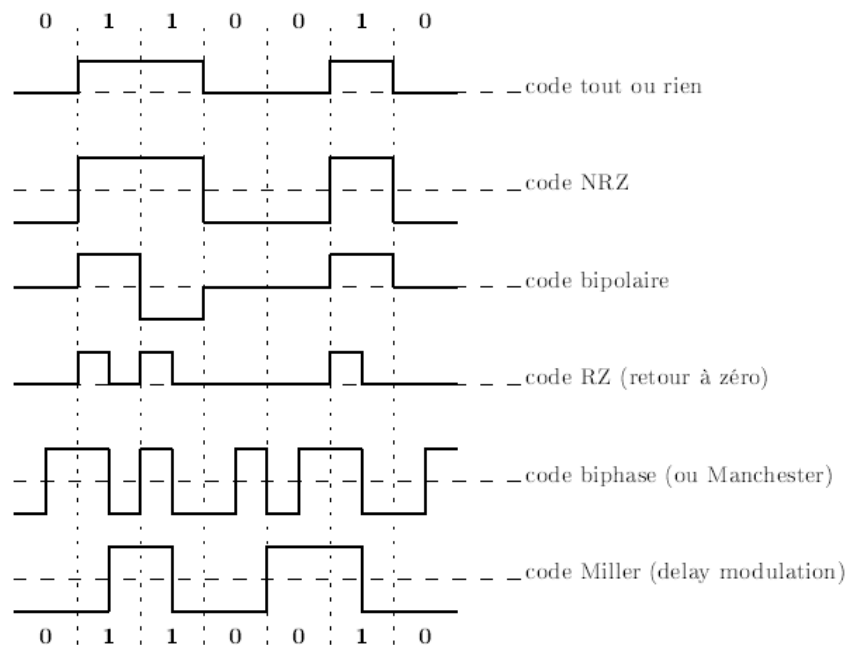


Codage des signaux : Pour que la transmission soit optimale, il est nécessaire que le signal soit codé de façon à faciliter sa transmission sur le support physique. Plusieurs catégories de codage existent :

- **Codage tout ou rien (unipolaire)** : c'est le plus simple, un courant nul code le 0 et un courant positif indique le 1. Ses inconvénients sont : consommation d'électricité importante dans le cas où on émet une série de 1, problème de détection du signal, problème de désynchronisation lors d'une longue série de 1 ou de 0.
- **Code bipolaire** : c'est aussi un code tout ou rien dans lequel le 0 est représenté par un courant nul, mais le 1 est représenté par un courant alternativement positif ou négatif pour éviter de maintenir des courants continus.
- **Codage NRZ (No Return to Zero)** : Le codage NRZ (signifiant *No return to zero*) est le premier système de codage et le plus simple. Il consiste à coder un 1 avec un signal +V et un 0 par un signal -V. De cette façon, la composante continue du signal est nulle (s'il y a globalement autant de 1 que de 0), ce qui donne une consommation moins importante. Comme le signal n'est jamais nul, cela permet au récepteur de détecter ou non l'absence du signal. Son défaut est que le signal continu gêne la synchronisation entre émetteur et récepteur.

- **Codage RZ (Return to Zero) :** Le 0 est codé par un courant nul et le 1 par un courant positif qui est annulé au milieu de l'intervalle de temps prévu pour la transmission d'un bit.
- **Codage Manchester :** L'idée de base est de provoquer une transition du signal pour chaque bit transmis. (inversion du signal systématique au milieu de la période de l'horloge), ce qui garantit l'impossibilité d'avoir un signal continu. Pour transmettre un 1, il s'agira par exemple de considérer un front montant et pour un 0 considérer un front descendant. La synchronisation des échanges entre émetteur et récepteur est toujours assurée, même lors de l'envoi de longues séries de 0 ou de 1. Par ailleurs, un bit 0 ou 1 étant caractérisé par une transition du signal et non par un état comme dans les autres codages, il est très peu sensible aux erreurs de transmission. La présence de parasites peut endommager le signal et le rendre incompréhensible par le récepteur, mais ne peut pas transformer accidentellement un 0 en 1 ou inversement. Toutefois, le codage Manchester présente un inconvénient : il nécessite un débit sur le canal de transmission deux fois plus élevé que le codage binaire. Pour 10 Mbit/s transmis, on a besoin d'une fréquence à 10 Mhz.
- **Codage Miller :** On diminue le nombre de transitions comparativement au codage Manchester en effectuant une transition (de haut en bas ou l'inverse) au milieu de l'intervalle pour coder un 1 et en n'effectuant pas de transition pour un 0 suivi d'un 1. Une transition est effectuée en fin d'intervalle pour un 0 suivi d'un autre 0.

Exemple



[Figure II.3 : Les principaux codages en bande de base]