

## Transmission numérique en bande de base

Pour transmettre des données numériques on passe par une adaptation électrique d'un symbole numérique sur un canal de transmission cette opération est appelé une modulation en bande de base. Les signaux bande de base subissent une atténuation qui dépend du support employé et qui doivent donc être régénéré périodiquement sur une longue distance. Les données stockées dans un ordinateur sont sous forme de 0 et de 1 transporter d'un endroit à un autre, c'est ce qu'on appelle la conversion numérique-numérique, dans ce type de codage, les 1 et 0 binaires générés par l'ordinateur sont traduits en séquence d'impulsions de tension qui peuvent se propager sur un fil.

### 1. Les différents codes en ligne

Un code de ligne est une affectation d'un symbole ou d'une impulsion à chaque bit d'une séquence de zéros ou des uns à transmettre sous forme d'un signal électrique.

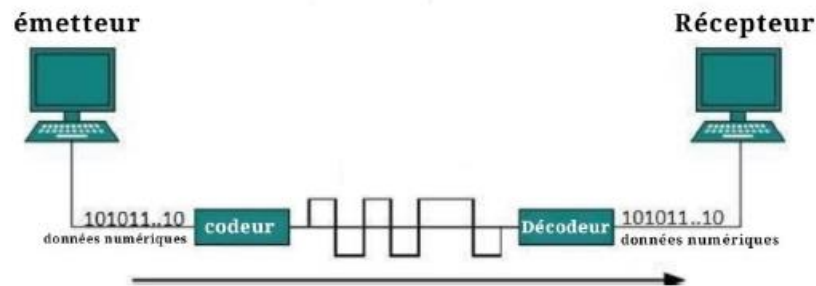


Figure I. 1 : principe de codage en ligne

Les données numériques sont représentées par des formats de données en bande de base appelés code de ligne.

- Le signal électrique est modulé en amplitude par un format de modulation OOk (on/off keying)
  - La vitesse des données est généralement exprimée en bits / seconde ou octets / seconde
  - Le débit de données  $D$  ou ( $R_b$ ) est lié à la période de bit  $T_b$  (durée d'un bit).  $D_b=1/T_b$
- Les systèmes de communication utilisent des symboles pour transmettre des informations.
- Un symbole peut être un bit par symbole (appelé binaire), ou un groupe de bits, ou une collection de niveaux de tension définis (symboles à plusieurs niveaux)
  - La forme d'un signal électrique à transmettre :

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} a_k g(t - kT)$$

( $t$ ) Fonction utilisé pour la transmission et  $a_k$  poids associée au codage.

Le taux de symbole  $R_{sym}$  est lié à la période (ou la durée)  $T_s$  du symbole par :  $R_{sym}=1/T_s$

Le débit de symboles est également appelé débit en bauds. Le débit binaire  $R_b$  peut-être écrit comme :

$$R_b = R_{sym} \times \log_2(\eta) = R_{sym} \times n$$

Où  $\eta = 2^n$  est le nombre de niveaux (pour n bits par symbole).

**Efficacité d'un code en ligne :** un code en ligne est dit efficace si il présente une largeur de bande minimal et un maximum de puissance d'émission. Il est efficace aussi si il ne représente pas de composante continue a  $f=0$  Hz.

**Remarques**

- Un signal électrique codé pour une transmission ne doit pas avoir de composante continue (la valeur moyenne du signal doit être de 0).
- Cette composante continue ne transporte aucune information et ne provoque qu'un échauffement du à l'effet Joule des organes d'extrémités, donc il faut diminuer sa valeur.
- S'il y avait une composante continue à la réception, ceci mènerait à une augmentation de la tension du signal, et causerait des erreurs lors du décodage.
- Du fait de l'absence de transition, lors de la transmission d'une longue suite de niveaux logiques (0 ou 1), un risque de perte de synchronisation des horloges apparaît.

**1.1 code NRZ (non-retour à zéro)**

C'est un format de codage le plus simple et intuitif qui existe, le signal modulé en NRZ est une forme du signal binaire électrique, c'est à dire il transforme tout simplement les zéros et les uns binaire en tension continue (+v ou -v).

- Bit de données à 0 -> tension négative
- bit de données à 1 -> tension positive

La figure II.2 représente le chronogramme du code NRZ bipolaire d'une suite binaire (1011010) avec :

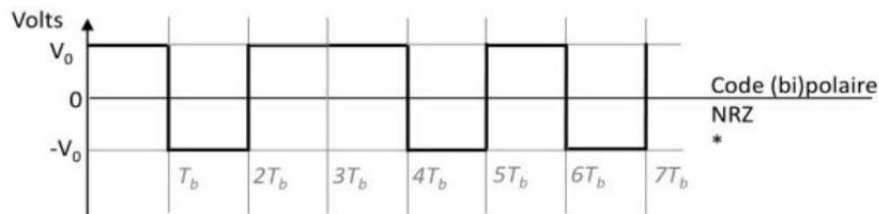


Fig 1.2 code NRZ

**1.1.2 code NRZ unipolaire**

La figure II.1représente le chronogramme du code NRZ unipolaire d'une suite binaire (1011010) avec :

$V_0 \rightarrow$  Tension maximale

$T_b \rightarrow$  Durée d'un bit

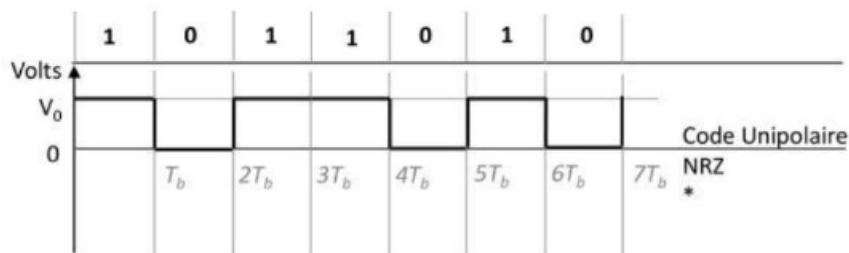


Figure I. 3 Chronogramme du code NRZ unipolaire

### 1.1.3 code NRZ-I

Ici, le signal est codé suivant les règles suivantes :

- bit de donnée à 0 -> la tension s'inverse à chaque période
- bit de donnée à 1 -> la tension reste constante à chaque période

L'allure de ce signal est représenté ci-dessous :

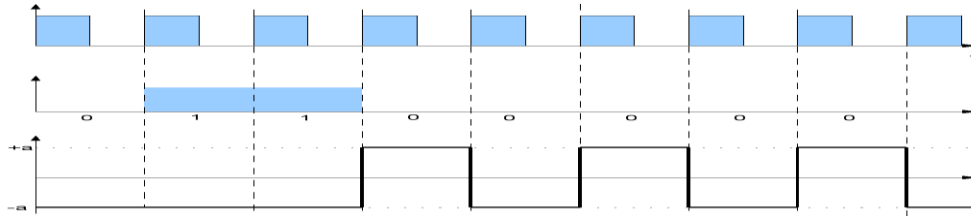


Fig 1.4 code NRZ-I

### 1.1.4 Domaine d'utilisation et caractéristique de format NRZ

- Le code NRZ exige un modulateur externe simple aux débits à grande vitesse et fonctionne efficacement jusqu'à 10 Gbits/s.
- Le code NRZ est généralement utilisé pour des débits inférieurs à 10 Gbits/s. Aussi il est beaucoup utilisé dans les systèmes WDM (Multiplexage par répartition en longueur d'onde à 2.5 Gbit/s).
- Il a été utilisé en raison de son immunité au bruit de phase laser et de ses exigences de faible bande passante par rapport à d'autres formats de modulation.
- Le code NRZ est combiné uniquement dans les systèmes de transmission linéaire.
- Il a une amplitude variable et une phase constante.

### 1.1.5 Avantage du code NRZ

- La simplicité à mettre en œuvre et une bonne efficacité spectrale car il peut atteindre de 2 bits / Hz
- Une bande passante minimale.
- Aucun problème de chute de signal (pour le NRZ bipolaire)
- Aucun composant DC (NRZ bipolaire).

### 1.1.6 Inconvénient du code NRZ

- La possibilité d'un affaiblissement de signal en présence d'un composant de basse fréquence.
- Aucune correction d'erreur n'est effectuée
- La possibilité de perte de synchronisation pour les longues chaînes de « 0 » et « 1 ».
- Présence de niveau DC (pour le format NRZ unipolaire)
- Aucun composant d'horloge à synchroniser sur le récepteur
- Capacité de correction d'erreur limitée (pour NRZ bipolaire).

## 1.2 code RZ Return To Zero (retour-à-zéro)

Est une méthode de codage en ligne à 2 niveaux utilisée dans la télécommunication dans lequel le signal retourne à la valeur zéro après chaque pulse, même s'il y a une succession de deux zéros ou de uns binaires. Le signal est lui-même son signal d'horloge. Cependant, le RZ consomme le double de la bande passante qui permet d'atteindre le même débit comparé au format Non Return to Zero (NRZ). Le retour à

zéro du signal se trouve typiquement au milieu de la période symbole, que ce soit pour le "0" binaire ou le "1" binaire. Bien que le RZ contienne un facteur de synchronisation, il comporte une composante continue (DC) lorsqu'il y est une longue séquence de bits "0" ou de "1".

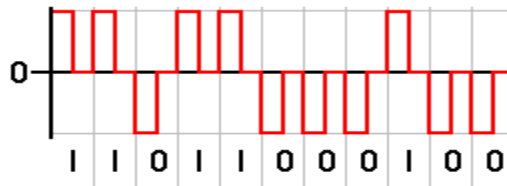


Fig 1.5 code RZ

### 1.3 Code Manchester

Une solution permettant de décaler le spectre du signal vers les fréquences plus élevées consiste à coder les états de base par des transitions et non par des niveaux. C'est la solution adoptée par le codage Manchester, encore appelé *codage biphase*.

Cela se traduit par les règles suivantes :

- bit de donnée à 0 -> un front montant
- bit de donnée à 1 -> un front descendant

L'allure de ce signal est représenté ci-dessous :

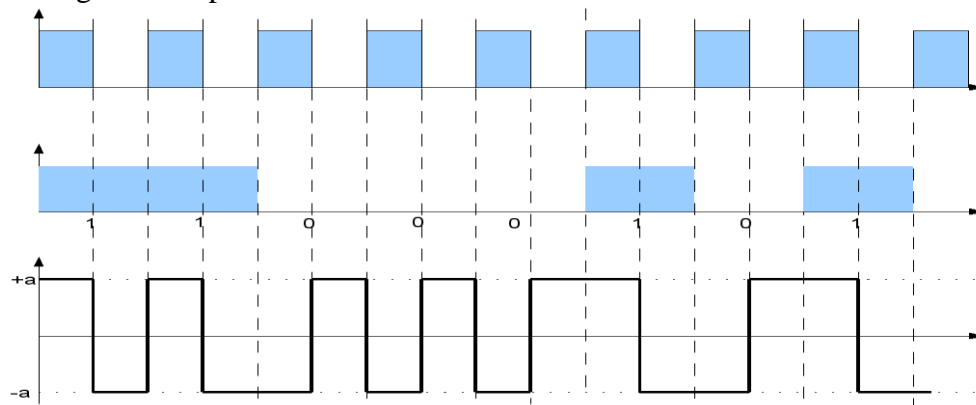


Fig 1.6 code manchester

#### 1.3.1 Les avantages du code Manchester

- Le code Manchester est facile à synchroniser avec la forme d'onde
- Absence du signal continu à  $f=0$
- La non-concentration de l'énergie en basse fréquences
- Aucun problème d'affaiblissement de signal et pas de composant DC
- Il surveille le signal numérique afin qu'il ne reste jamais longtemps avec le même niveau logique (haut ou bas).
- Il fait la conversion de signal de données en un signal de données de synchronisation.
- Faciliter la récupération d'horloge moyennant un traitement de détection des fronts en réception.

#### 1.3.2 Les inconvénients du code Manchester

- Élargissement de la bande passante de concentration de l'énergie
- Une plus grande bande passante requise pour cette forme d'onde

### 1.4 code bipolaire AMI ( Alternate Mark Inversion )

Un bit 0 est représenté par un niveau zéro pendant une période d'horloge, un 1 par un niveau alternativement +1 ou -1. Ce code ne possède ni composante continue ni raie à la fréquence bit. Il est parfois remplacé par un code bipolaire RZ pour lequel la durée d'un niveau 1 est réduite à une demi-période horloge. Dans ce cas la restitution de l'horloge bit peut être obtenue par un simple redressement.

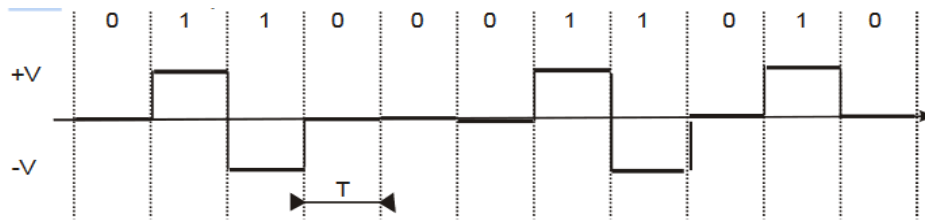


Fig 1.7 code AMI

### 1.5 Codes HDBn( Haute Densité Bipolaire d'ordre n ).

Ce code est dérivé du code bipolaire (AMI) dans lequel on interdit plus de n symboles successifs nuls. Le (n+1) ième d'une suite est codé par un niveau  $\pm V$ , le signe étant choisi de façon à violer la règle d'alternance des signes. Pour éviter qu'une très longue suite de bits nuls n'introduise une moyenne globale non nulle, on impose en plus aux viols de satisfaire entre eux la règle d'alternance. Mais il se peut que dans ce cas le récepteur ne sache plus distinguer entre un symbole d'un caractère de viol. Dans ce cas le premier zéro d'une suite des n+1 zéros consécutifs est codé avec un  $\pm V$  du même signe que le viol qui lui succède. C'est un bit dit de bourrage.

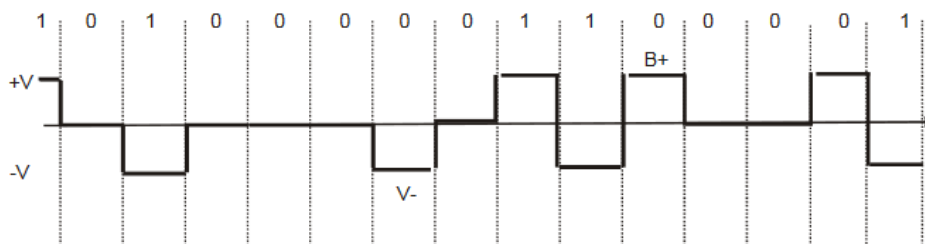


Fig 1.8 code HDB3

### 1.6 Représentation fréquentielle ou spectrale

La connaissance de la forme du spectre d'énergie (ou de puissance) est intéressante. Elle montre, suivant le code choisi, où se trouve la plus grande répartition de l'énergie. C'est cette bande de fréquence qu'il faut donc privilégier.

Il serait par exemple déconseillé d'introduire un support se comportant comme un filtre passe-bas pour un code bipolaire puisque le maximum d'énergie se trouve à une fréquence relativement élevée. Un filtre de type passe-bande centré sur cette fréquence correspondrait à l'utilisation optimale du spectre.

Un signal numérique porteur d'information est un signal aléatoire donc de puissance finie. On s'intéressera au calcul de sa DSP (densité spectrale de puissance)

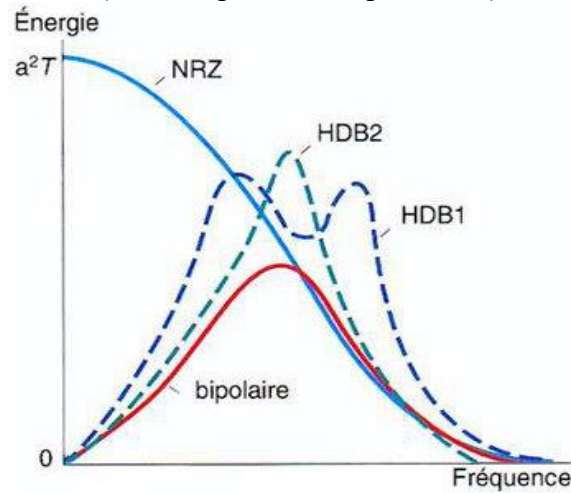


Fig 1.9 Répartition de l'énergie en fonction du code

### 1.6.1 Densité spectrale de puissance du code NRZ

La densité spectrale de puissance (DSP) d'une impulsion est le carré de la transformé de fourrier de cette impulsion.

$$Y_{nrz} = A^2 T \frac{\sin^2(\pi f T)}{(\pi f T)^2}$$

$Y_{nrz}$  → La densité spectrale de puissance du code NRZ

$A$  → L'amplitude maximal ( $V_0$ )

$f$  → La fréquence d'émission

$T$  → La durée de symbole.

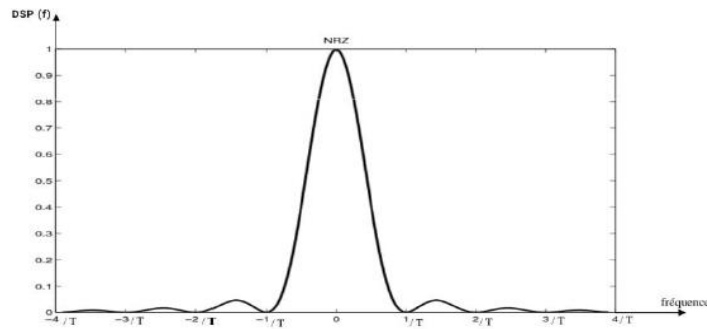


fig I.10 spectre (DSP) d'un code NRZ

### 1.6.2 DSP du code RZ

$$\gamma_{RZ} = \frac{A^2 T}{16} \left( \frac{\sin \pi f \frac{T}{2}}{\pi f \frac{T}{2}} \right)^2 + \frac{A^2}{16} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \delta \left( f - \frac{i}{T} \right) \left( \frac{\sin \pi f \frac{T}{2}}{\pi f \frac{T}{2}} \right)^2$$

$\gamma_{RZ}$  → La densité spectrale de puissance du code RZ

$A$  → L'amplitude maximal ( $V_0$ )

$f$  → La fréquence d'émission

$T$  → La durée de symbole

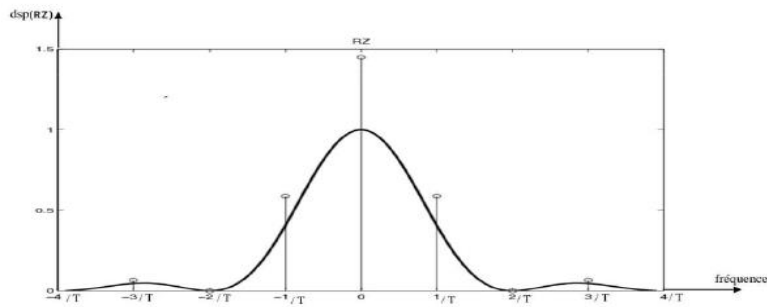


fig I.11 spectre (DSP) d'un code RZ binaire

### 1.6.3 DSP du code Manchester

$$\gamma_{nrz} = A^2 T \frac{\sin^4 \left( \pi f \frac{T}{2} \right)}{\left( \pi f \frac{T}{2} \right)^2}$$

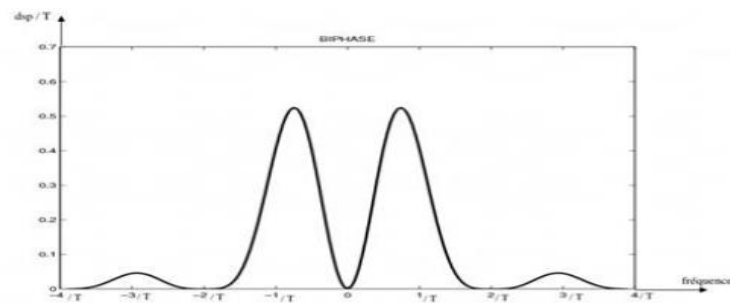


Figure I. 13 DSP du code Manchester

### 1.7. Conclusion

Les signaux numériques sont généralement des informations binaires séquentielles sous la forme de zéros et des uns. Chacun de ces chiffres binaires est représenté par une certaine largeur d'impulsion. Cette largeur d'impulsion varie en fonction des exigences de débit de données de transmission.