

# CHAPITRE 03

## TRANSMISSION DE DONNEES



### *But du chapitre*

A la fin de ce chapitre, l'étudiant sera capable de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les différentes techniques, types et méthodes de transmission et leurs caractéristiques ?
- C'est quoi une transmission en bande de base ?
- En quoi consiste l'opération de Codage / décodage ? Modulation / Démodulation ? Multiplexages / Démultiplexage ?
- Quelles sont les différentes étapes de l'échantillonnage (la numérisation) ?
- Comment calculer les différentes grandeurs caractérisant une transmission, à savoir : le débit, le temps de transfert, le temps de propagation, le temps d'émission, etc. ?

## 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons prendre en détail la toute première couche du modèle OSI, à savoir la couche physique. Nous allons étudier comment représenter une donnée physiquement (le signal), c'est-à-dire quelle est la forme physique de l'information (donnée). Aussi, nous nous intéressons aux différentes techniques utilisées pour faire transmettre cette information sous sa forme physique (un signal) d'un équipement à un autre et la faire comprendre par ce dernier.

Le rôle principal de la couche physique est la *transmission de données*, qui est l'acheminement des données d'un équipement émetteur à un autre équipement directement connecté (récepteur). Notez qu'ici on parle d'émetteur/récepteur au lieu de source/destination, car une transmission de la source à la destination peut comprendre plusieurs transmissions entre émetteurs et récepteurs. Ainsi, on sous-entend par émetteur/récepteur une source/destination directement connectés par un lien physique.

## 2 Numérique & analogique

La majorité des phénomènes dans la nature sont analogiques (continus). Par exemple, si je prends un stylo et je le déplace par ma main d'une position  $x$  à une position  $y$ , ce mouvement peut être représenté par une fonction continue, et le stylo peut prendre une infinité d'états pendant ce mouvement. On dit que ce mouvement est de nature analogique. L'état du stylo ici est n'importe quelle information sur le stylo, par exemple sa position par rapport au début d'un repère d'une seule dimension (*i.e.* axe des  $x$ ).

Maintenant, si on prend l'état du stylo à des instants  $t$ , on aura un nombre d'états finis du stylo. On dit qu'on a discrétisé le phénomène de mouvement, ou plutôt on l'a numérisé, et les données finies sur l'état du stylo peuvent être représentées par des données numériques.

Dans le monde de l'informatique, les données à traiter sont des données numériques, elles peuvent être du texte, d'image, du son, etc. Ces données sont codées (représentées) par une suite binaire en utilisant des *codes*. Un code fait correspondre à chaque caractère une suite précise d'éléments binaires. Pour transmettre ce caractère dans un réseau, c'est cette suite qui est introduite sur le support de transmission sous une forme spécifique en utilisant des *signaux*.

Donc, une donnée à transmettre sur le réseau, doit être tout d'abord codée en une suite binaire en utilisant un *code*, ensuite cette suite est introduite sur le support de transmission en utilisant un *signal*.

## 3 Codes de représentation de l'information

Différents codes de représentation de données existent. Les plus répandus sont :

- Code **ASCII** (sur 7 bits ou moments). Il permet de représenter 128 caractères différents.
- Code **EBCDIC** (sur 8 moments). Il permet de représenter 256 caractères différents.
- Code **Unicode** (sur 16 moments). Il permet de représenter les caractères de toutes les langues du monde.

## 4 Les signaux utilisés

Les données sont transmises à l'aide de signaux. Deux types de signaux existent :

- **Signal numérique (digital)** : qui est un signal avec :
  - Un nombre d'états est fixe (puissance de 2).
  - Une représentation à l'aide d'une fonction discrète.
  - L'unité élémentaire est le **bit**.

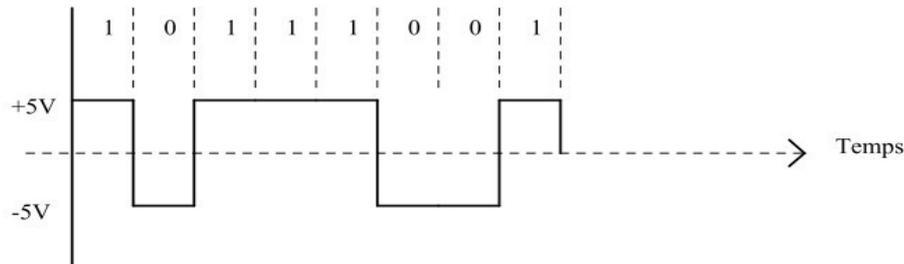


Figure 32. Représentation du signal numérique de la suite binaire 10111001

- Il a les caractéristiques suivantes :
  - ✓ Proche de la représentation des données dans l'ordinateur.
  - La dégradation rapide (phénomène d'affaiblissement).
  - Il peut être transmis sur de courtes distances, moins de 5 km.
- **Signal analogique** : qui est un signal caractérisé par :
  - Un nombre d'états infini.
  - Représenté par une fonction continue.
  - Ce type de signal peut être transmis plus aisément sur de longues distances

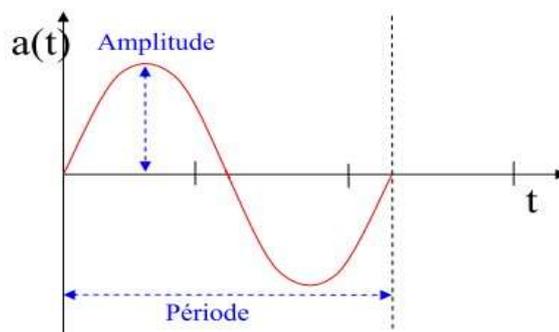


Figure 33. Représentation du signal analogique

## 5 Eléments d'une transmission

Le système de transmission de données entre deux équipements, un émetteur et un récepteur, est constitué des éléments suivants (voir Figure 34) :

- **L'ETCD (Équipement Terminal de Communication de Données)** : c'est un équipement intermédiaire qui adapte les données à transmettre au support de communication. Exemple : le modem.
- **L'ETTD (Équipement Terminal de Traitement de Données)** : c'est un équipement terminal via lequel l'utilisateur exploite les services du réseau. Exemple : l'ordinateur.
- **Le support de transmission** : c'est le média de transport, qui peut être filaire ou sans fil (voir chapitre 4)

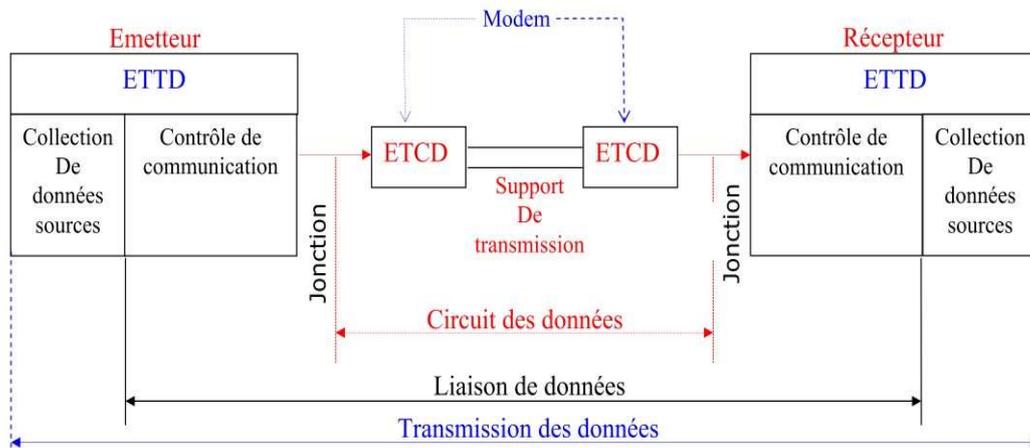


Figure 34. Eléments d'une transmission

### 5.1 Fonction d'un ETCD

Selon le type du signal à transmettre, numérique ou analogique, l'ETCD peut assurer une fonction de :

- **Codage / Décodage** : Transformation des suites des bits en des symboles (codage) et inversement (décodage). Dans ce cas l'ETCD est un Codec (codeur/décodeur)
- **Modulation / Démodulation** : Transformation du signal numérique en signal analogique (modulation) et inversement (démodulation). Dans ce cas l'ETCD est un modem (modulateur /démodulateur)

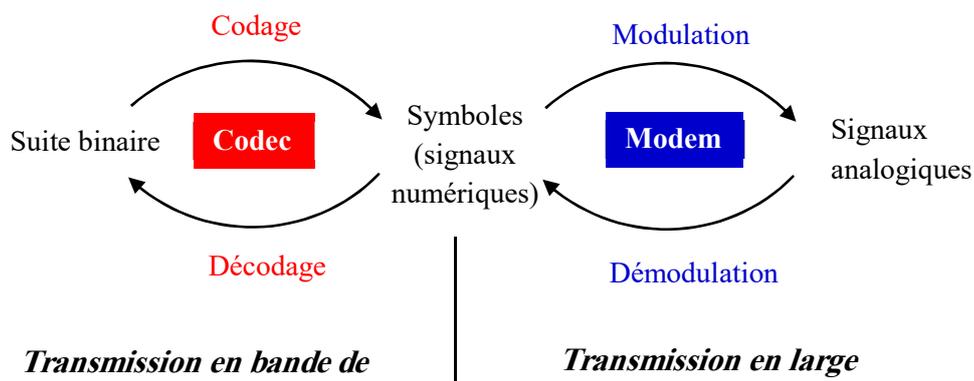


Figure 35. Fonctions d'un ETCD

## 6 Caractéristiques d'une transmission

Une transmission est caractérisée par :

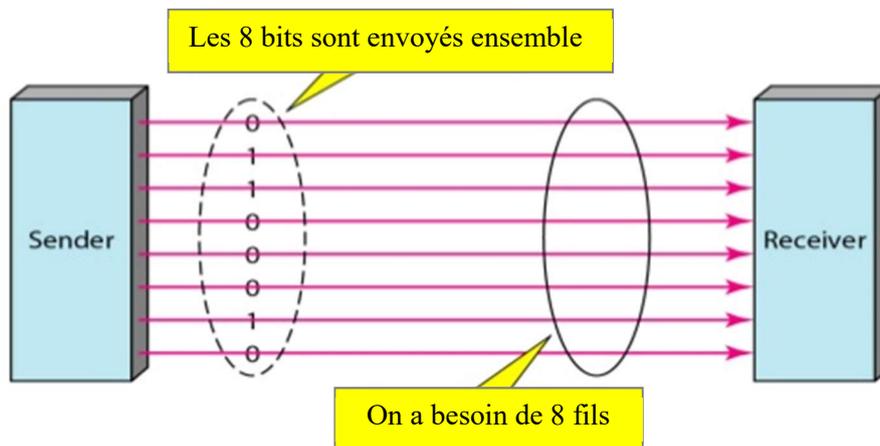
- *La technique de la transmission (ou le type de liaison)*, qui peut être :
  - Une transmission parallèle.
  - Une Transmission série, qui peut être à son tour :
    - Synchrones ou asynchrones.
- *Le type de communication*, qui peut être :
  - Simplex, half-duplex ou full-duplex.
- *Le mode de liaison*, à savoir :
  - Point à point ou multipoint.
- *La méthode de transmission*, qui peut être l'une des deux méthodes principales :
  - Transmission en bande de base.
  - Transmission en large bande.

Par la suite, nous allons voir en détail chacune de ces caractéristiques.

### 6.1 Technique de la transmission

#### 6.1.1 Transmission parallèle

Dans cette technique de transmission, les bits du même caractère sont envoyés en parallèle sur des fils métalliques distincts (voir *Figure 36*). Ainsi, l'arrivée des bits est simultanée à la destination. Cette technique ne peut être utilisée que sur de courtes distances, ex. le bus de l'ordinateur, car elle souffre du problème de synchronisation (décalage dans le temps d'arrivée des différents bits).



*Figure 36. Transmission parallèle du message M : 01100010*

#### 6.1.2 Transmission série

Dans une transmission série, les bits sont envoyés les uns derrière les autres, et la succession des caractères peut être *synchrone* ou *asynchrone*.

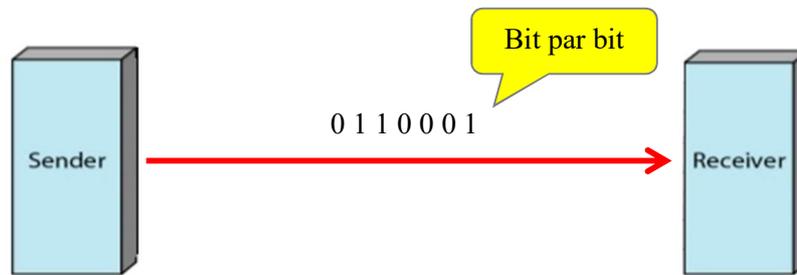


Figure 37. Transmission série du message M : 0110001

○ *Transmission synchrone*

Dans une transmission synchrone, l'émetteur et le récepteur *se mettent d'accord* sur un intervalle de temps constant. Cet intervalle se *répète* sans arrêt, et les bits des caractères sont *synchronisés* avec le *début* des intervalles. La synchronisation peut être :

- Par une *suite de synchronisation* déduite du train de bits (synchronisation de tout un bloc de données).
- Par un *fil particulier* de synchronisation.

La transmission synchrone est utilisée pour les transmissions *haut débit*.

○ *Transmission asynchrone*

Il n'y a pas de relation préétablie entre l'émetteur et le récepteur, et le début de la transmission peut se placer à un instant quelconque. Dans cette transmission, les bits d'un caractère sont limités par deux *signaux START et STOP*.

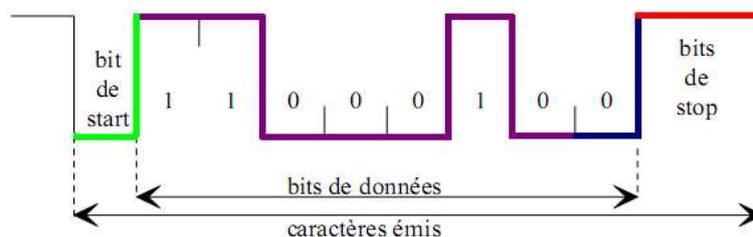


Figure 38. Transmission asynchrone

## 6.2 Types de communication

Il y a trois types de communication possibles :

- *Simplex (unidirectionnelle)* : la transmission est toujours dans le même sens, de l'émetteur vers le récepteur. Exemple : communication du clavier avec l'unité centrale, la transmission TV et radio.
- *Half-duplex (bidirectionnelle à l'alternat)* : la transmission change le sens de la communication ; l'émetteur devient récepteur et vice versa, mais en alternative. Exemple : la communication par talkiewalkie.
- *Full-duplex (bidirectionnelle simultanée)* : la transmission est possible dans les deux sens simultanément. Exemple : la communication téléphonique.

**N.B:** La transmission Half-duplex est la *plus efficace* (moins couteuse que la Full duplex).

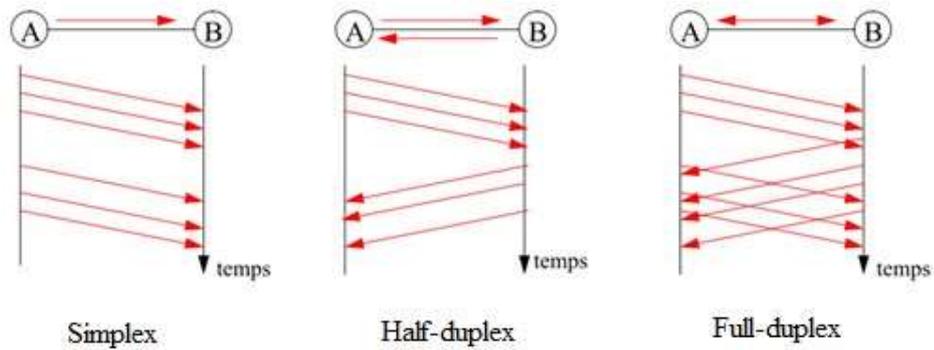


Figure 39. Types de communication : simples, Hal duplex et full duplex

### 6.3 Modes de liaison

#### 6.3.1 Liaison point à point

C'est un lien dédié reliant un nœud à un et un seul nœud. Ce lien est utilisé seulement par les deux nœuds qu'il relie.

#### 6.3.2 Liaison multipoints

C'est un support commun est *partagé* entre un ensemble de nœuds. Dans le cas d'une liaison multipoint, une politique d'accès pour éviter tous conflits. Les deux principales façons pour de gestion d'accès est soit en utilisant :

- Une architecture maître/esclave.
- Une architecture égale à égale plus un algorithme de gestion de collisions.

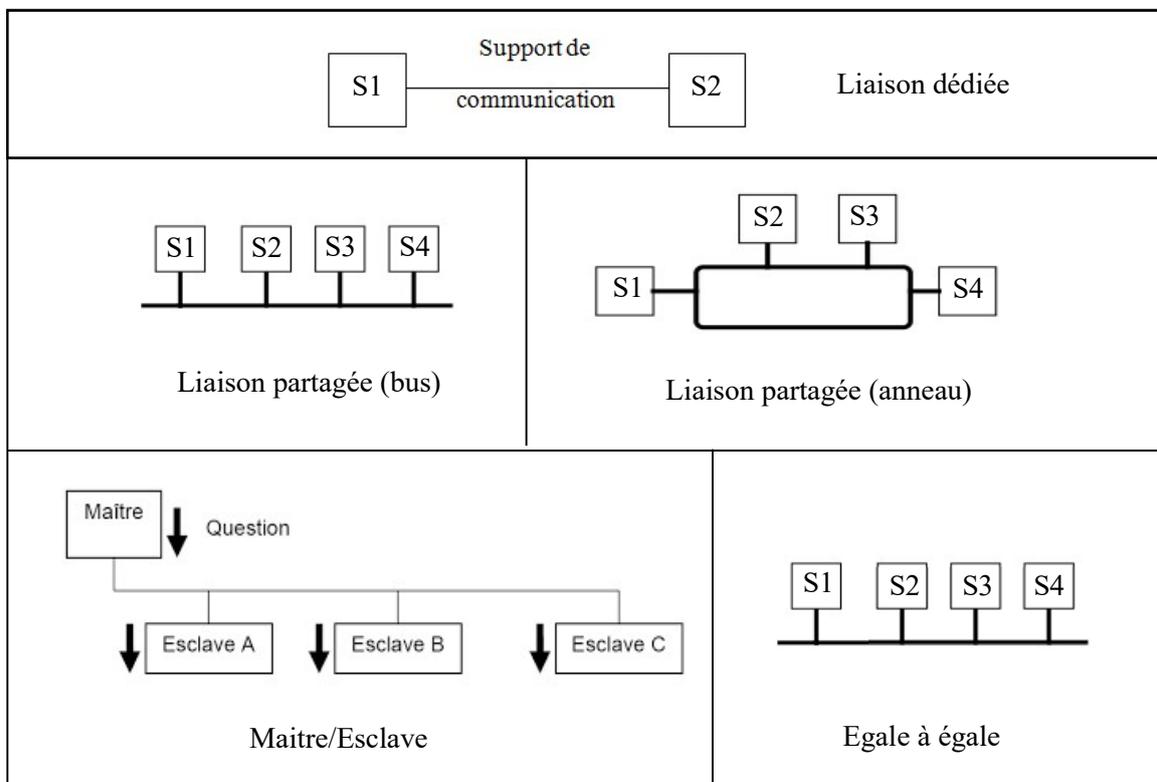


Figure 40. Liaison dédiée et partagée.

## 6.4 Méthodes de transmission

Deux méthodes de transmission existent :

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

Nous allons détailler chacune des méthodes par la suite.

## 7 Transmission en bande de base

Une transmission en bande de base a les caractéristiques suivantes :

- L'information est mise sous sa forme *digitale* (aucune transposition de fréquence).
- L'opération de base est le *Codage* (L'opération inverse est le *décodage*).
- L'équipement utilisé est le *Codec* (Codeur/Décodeur).
- Plus utilisée dans les *réseaux locaux* (la distance max est de 50 km)

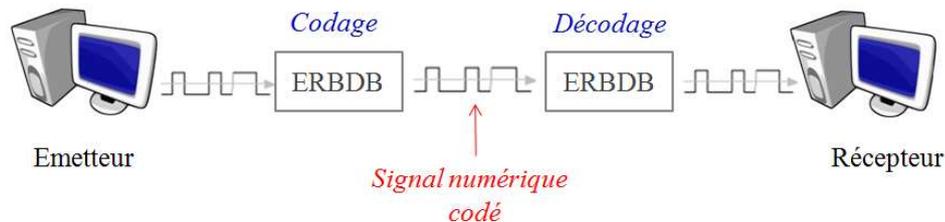


Figure 41. Transmission en bande de base (codage/décodage)

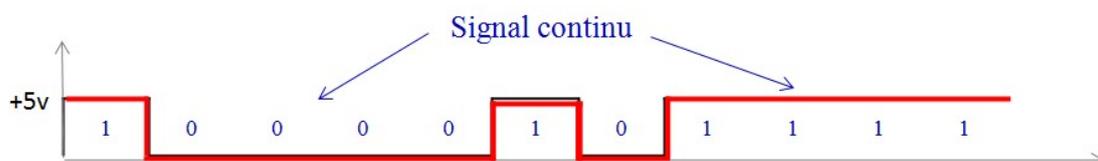
### 7.1 Codage

Le codage est l'opération qui transforme une *suite binaire* en une suite codée (de symboles) *binaire* ou *ternaire*. Notez que les informations sont transmises en faisant varier certains paramètres physiques du signal. Par exemple, pour un codage sous forme d'un signal possédant deux états, on peut faire :

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

La méthode la plus simple est d'utiliser *différents niveaux* de courants pour coder le bit 0 et 1.

Exemple : soit la suite binaire 10000101111 où 0 → 0 V et 1 → +5 V :



Une longue série de bits identiques (0 ou 1) provoquent un signal sans transition ce qui provoque à son tour une perte de *synchronisation*. Dans notre exemple, une suite de 0 c'est une absence continue du signal (0 V) et le récepteur peut l'interpréter comme si l'émetteur est hors service (il a tombé en panne). Un site de 1 est un courant continu de +5V et le récepteur peut l'interpréter comme si l'émetteur s'est planté. Donc, il est fortement conseillé de ne pas faire passer du courant *continu* entre les stations, afin d'éviter une mauvaise interprétation par le récepteur.

La solution est donc d'utiliser des *codes*, et le critère qui détermine le choix du code est :

- L'*absence* d'une *composante continue* lors de la transmission d'une séquence binaire.

## 7.2 Les codes de la transmission en bande de base

Plusieurs codes existent, les plus utilisées sont (voir *Figure 43*) :

- *Le code NRZ (Non Return to Zero)* : 1  $\rightarrow$  +V, 0  $\rightarrow$  -V. (proche du codage binaire de base).
- *Le code NRZI (Non Return to Zero Invert)* : 1  $\rightarrow$  change d'état, 0  $\rightarrow$  aucun changement.
- *Le code Manchester (Biphase)* : 1  $\rightarrow$  passage de +V à -V, 0  $\rightarrow$  -V à +V.
- *Le code Manchester (Biphase) différentiel* : 0  $\rightarrow$  absence de transition, 1  $\rightarrow$  transition.
- *RZ (Return to Zero)* : 1  $\rightarrow$  passage de +V à 0, 0  $\rightarrow$  -V à 0.

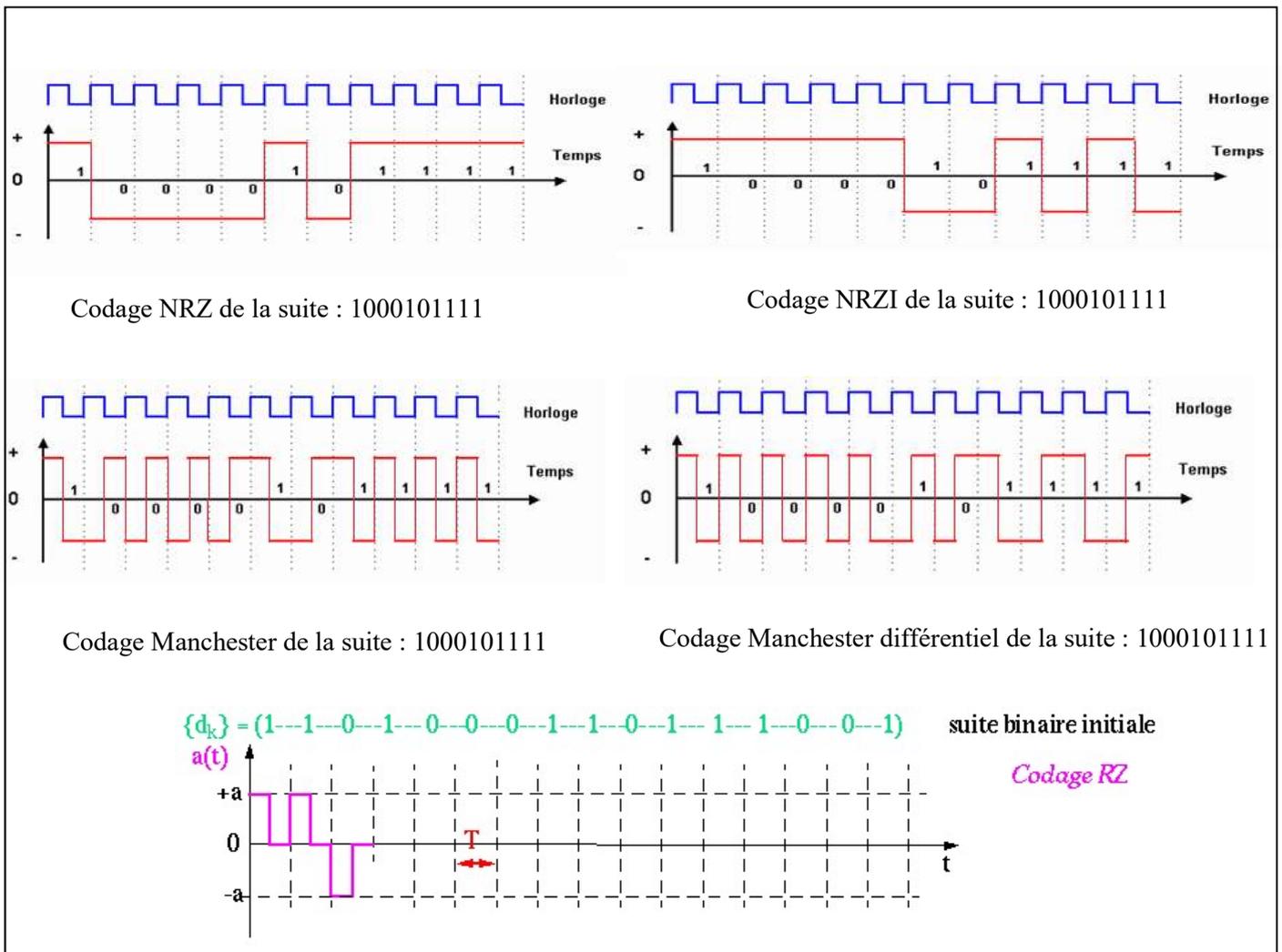


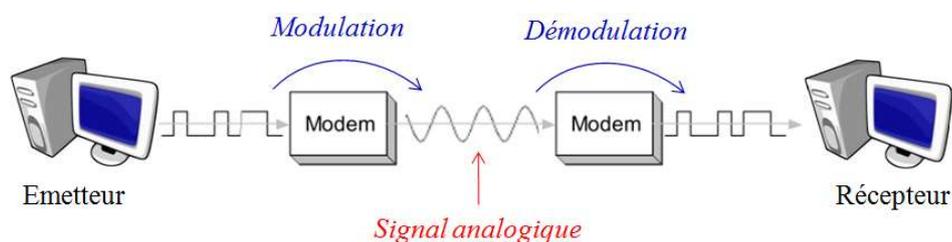
Figure 42. Les codes de transmission en bande de base

**N.B.** La transmission en bande de base n'est utilisable qu'à de *courtes distances (< 5km)* car les distorsions déforment le signal. Donc, sur de longues distances, on utilise la *transmission en large bande*.

## 8 Transmission en large bande

Une transmission en large bande a les caractéristiques suivantes :

- L'informations circule sous la forme d'une onde (analogique).
- La transmission peut se faire sur une *longue distance*, avec une bonne protection contre le bruit.
- L'opération de base est la **Modulation** (Les données sont numériques à l'origine).
- L'équipement utilisé est le **Modem** (Modulateur/Démodulateur), son rôle est :
  - **A l'émission** : données numériques → signaux analogiques (Modulation).
  - **A la réception** : signal analogique → données numériques (Démodulation).
- Il y a une possibilité de multiplexage fréquentiel en vue d'optimiser l'utilisation du support.



*Figure 43. Transmission en large bande (modulation/démodulation)*

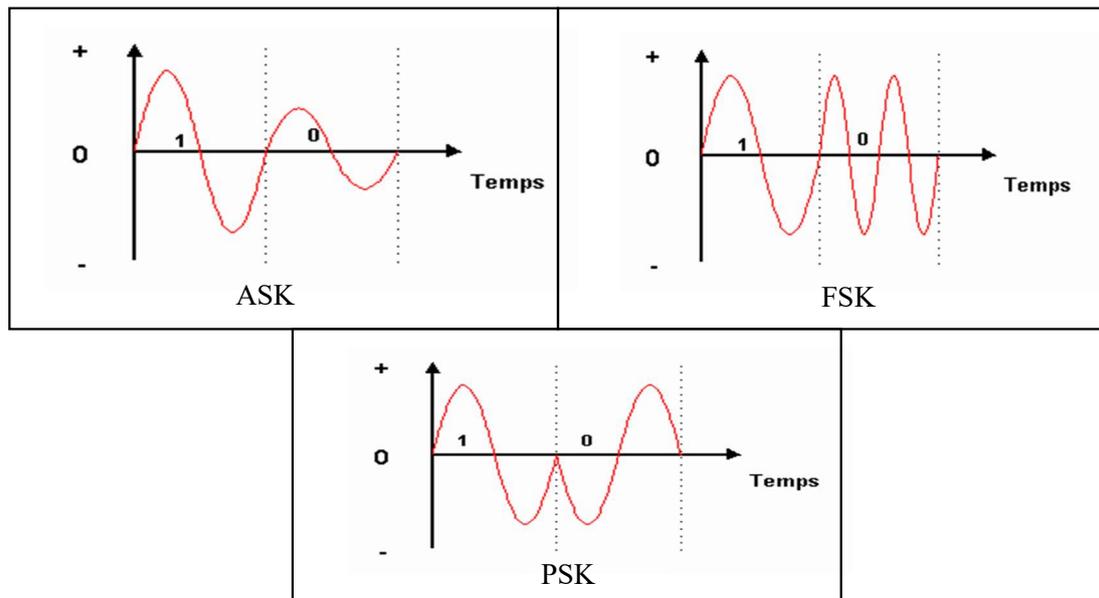
### 8.1 Modulation

C'est l'opération qui transpose le signal à transmettre dans la bande passante du canal. Elle utilise un signal sinusoïdal avec une fréquence adaptée au canal comme porteuse. L'équipement qui assure cette opération, à savoir le modem, prend en entrée un signal en bande de base pour en faire un signal sinusoïdal et inversement.

### 8.2 Types de modulation

Selon le paramètre varié pour distinguer entre 0 et 1, trois types principaux de modulation existent.:

1. *ASK: Modulation d'amplitude (Amplitude Shift Keying).*
  - La distinction entre 0 et 1 se fait par une différence d'amplitude du signal.
2. *FSK : Modulation de fréquence (Frequency Shift Keying).*
  - La distinction entre le 0 et le 1 se fait par la variation de la fréquence.
3. *PSK: Modulation de phase (Phase Shift Keying):*
  - La distinction entre le 0 et le 1 s'effectue par une différence dans l'emplacement de commencement du signal (la phase).



**Figure 44. Les différents types de modulation**

**N.B.** une combinaison des trois modulations est possible.

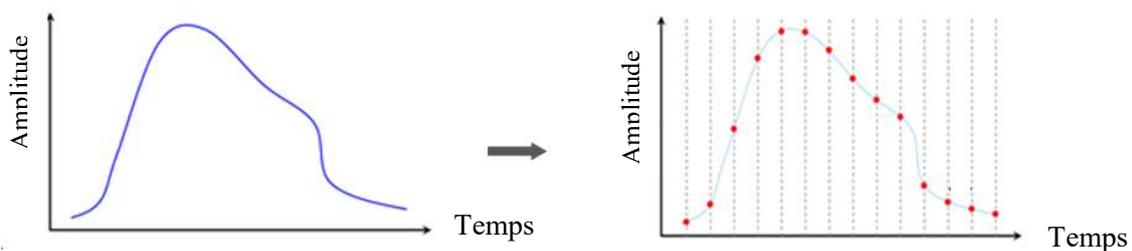
## 9 Numérisation

C'est l'opération qui transforme un signal **analogique (continu)** en signal **numérique (discret)**. Elle est appelée : PCM (Pulse Code Modulation) ou MIC (Modulation par impulsion et codage). La numérisation consiste à prélever, à des instants significatifs, un échantillon du signal analogique pour avoir son équivalent en numérique. Elle se déroule en trois étapes :

- 1) Echantillonnage.
- 2) Quantification.
- 3) Codage.

### 9.1.1 Etape 1. 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 d'échantillonnage (mesuré en **Hz**). Par exemple, des données échantillonnées à 23 kHz c'est à dire 23 000 échantillons/s. Après l'échantillonnage le signal sera réduit à une suite de points **discrets** (voir *Figure 46*).



**Figure 45. L'échantillonnage**

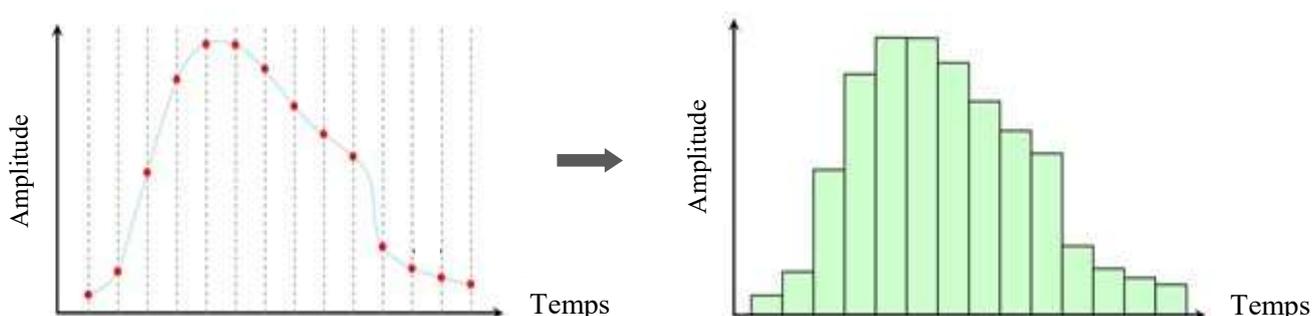
Seules les informations présentes sur les points de capture sont enregistrées, tout le reste sera perdu. Par conséquent, si on échantillonne à une fréquence faible on perd beaucoup d'informations et par la suite dans la restitution du signal on aura un signal de mauvaise qualité. Sinon, si on échantillonne à une fréquence élevée on augmente le volume de données à transmettre car on aura beaucoup de points. On a constaté qu'à partir d'un seuil de fréquence on peut même augmenter le volume d'information sans augmenter significativement la qualité du signal pendant la restitution. Cette fréquence seuil est la fréquence idéale d'échantillonnage, définie par le théorème de Shannon comme suit :

**Théorème de Shannon (Numérisation) :**  $F_{\text{échantillonnage}} \geq 2 * F_{\text{max}} (\text{signal})$

Exemple : pour le signal de la parole dont la bande est de 4000 Hz, un échantillonnage à **8000 Hz** suffit (Toutes les 125  $\mu$ s).

### 9.1.2 Etape 2. Quantification

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



**Figure 46. La quantification**

Dans *Figure 46*, les points de capture seront valorisés dans une échelle, c.-à-d. ils deviendront des valeurs qui seront ensuite codées en binaire.

### 9.1.3 Etape 3. Le Codage

Cette opération permet de coder chaque échantillon (valeur de quantification) sur un ensemble de bits, et on aura ainsi un signal numérique. Si par exemple, dans la quantification (*Figure 46*) on a eu 30 valeurs distinctes, donc on peut utiliser un codage sur 4 bits ( $30 \leq 2^4$ ) pour représenter toutes les valeurs possibles.

## 10 Multiplexage

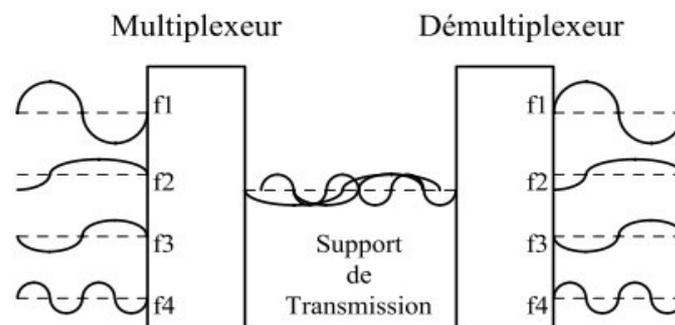
Le multiplexage consiste à *partager* une *voie de transmission* entre plusieurs liaisons. Cette opération permet de :

- Exploiter au maximum les supports existants.
- Diminuer les coûts relatifs aux supports.

Plusieurs types de multiplexage ont été développés, depuis les deux premiers techniques de base, qui sont le multiplexage fréquentiel et le multiplexage temporel. Les nouvelles dérivées, à savoir CDMA, OFDM, etc. utilisés principalement dans les réseaux mobiles, et d'ailleurs ce sont celles qui sont au cœur de l'évolution de ces réseaux, où elles permettent une augmentation du débit, et par conséquent le passage d'une génération à une autre, jusqu'au la 5G.

Nous allons détailler voir seulement les deux types principaux de multiplexage à savoir : *Fréquentiel (FDM)* et *Temporel (TDM)*.

Le *multiplexeur* est l'équipement qui assure cette opération. Il reçoit des signaux provenant de plusieurs émetteurs par le biais de voies *basses vitesse*, et les fait transiter ensemble sur la voie *haute vitesse*. Le *démultiplexeur* assure l'opération inverse.



**Figure 47. Principe de multiplexage / démultiplexage**

### 10.1 Multiplexage fréquentiel – FDM

Dans ce type de multiplexage, la bande passante de la voie haute vitesse est divisée en *sous bandes* appelés *canaux* (voir *Figure 49 (a)*). Les signaux provenant des différentes voies basse vitesse circulent en permanence sur la voie haute vitesse. Une *bande de garde* est généralement prévue entre les canaux afin d'éviter le problème d'*interférence de signaux*.

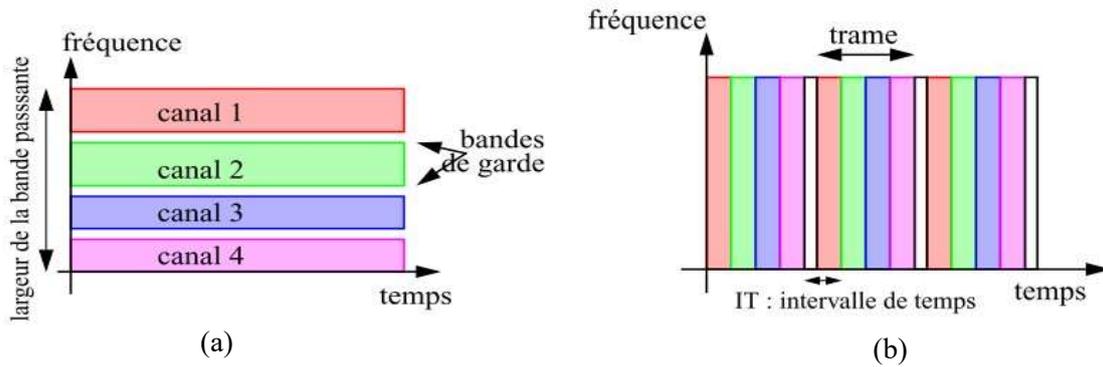
Le multiplexage fréquentiel est utilisé dans les *transmissions analogique* (orienté large bande).

### 10.2 Multiplexage temporel – TDM

Dans le multiplexage temporel, la voie haute vitesse est partagée *dans le temps* entre les différentes transmissions des voies basses vitesses (voir *Figure 49 (b)*). Donc, la voie haute vitesse est découpée en intervalles de temps, appelés *quantum*. Ces *quantums* sont affectés d'une manière *régulière* à chaque voie basse vitesse. Ainsi, la *totalité de la bande passante* est allouée à chaque voie basse vitesse pour un intervalle de temps, et la visualisation de la voie haute vitesse permet d'observer une transmission *successive* des signaux des différentes voies basse vitesse.

Le TDM est utilisé dans les transmissions *numériques* (orienté *bande de base*).

**N.B :** Si le temps alloué est selon le besoin, on parle de **ITDM** (Intelligent TDM).



**Figure 48. Multiplexage fréquentiel et temporel**

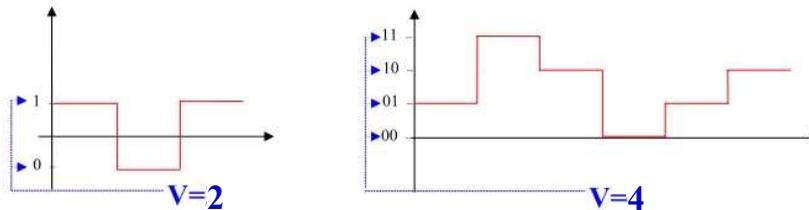
## 11 Les grandeurs caractérisant une transmission

- *Moment élémentaire  $T_m$  (seconde (s)).* C'est la durée élémentaire de l'horloge pendant laquelle il faut émettre le signal physique pour qu'il soit reconnu par le récepteur.
- *Vitesse (Rapidité) de modulation  $R_m$  (bauds (bd)).* C'est le nombre de moments élémentaires par seconde, calculé comme suit :

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

Exemple : Une ligne fonctionne à 50 baud  $\rightarrow$  Il y a 50 intervalles de temps élémentaires /s.

- *Valence  $V$  (en valeur).* la valeur est Le nombre de valeurs que peut prendre l'état physique du signal à un instant  $t$ .



Un signal a une valence de  $n \rightarrow$  Le nombre de niveau par intervalle est  $2^n$ .

- *Bande passante  $B$  (Hertz (Hz)).* C'est l'intervalle de fréquences à l'intérieur duquel les signaux sont correctement transmis. Etant donné la fréquence minimale,  $F_{min}$ , et la fréquence maximale,  $F_{max}$ , supportées par un support de transmission, donc la bande passante de ce support est :

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

Exemple : Le RTC (Réseau Téléphonique commuté) offre un intervalle de fréquence de 300 Hz à 3400 Hz  $\rightarrow$  La bande passante  $B = 3400 - 300 = 3100$  Hz.

- *Débit  $D$  (bits/seconde (b/s)).* C'est la quantité de données qui peut être transmise par seconde. Il peut être calculé sans bruit en utilisant la relation de Nyquist, ou avec bruit en utilisant le théorème de Shannon.

- *Relation de Nyquist* : elle calcule le débit d'une transmission sans tenir en compte du bruit sur la ligne

$$D = R_m * \text{Log}_2 V$$

$$R_m = 2 * B$$

V : la valence de la voie.

B : la bande passante.

Exemple : Une ligne d'une vitesse = 50 bauds et une valence = 4 → D = 100 bits/s.

- *Théorème de Shannon* : il calcule le débit maximal d'un canal soumis à un bruit (débit réel) :

$$D = B * \log_2 (1 + S/B_{\text{val}})$$

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

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

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

Exemple : Une ligne téléphonique dont la bande passante est de 3100 Hz, et le rapport signal/bruit est de 10, elle peut atteindre une capacité (débit) maximale de 10 Kb/s. **N.B:**

- *Délai (seconde (s))*. C'est le temps en seconde qui s'écoule entre le début et la fin de la transmission.
- *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.

$$T_t = Q / D$$

Q : Taille du message (bits)

D : Débit (b/s)

- *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.

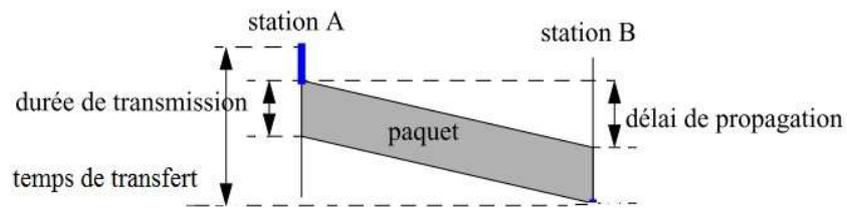
$$T_p = C / V_p$$

C : Distance (m)

$V_p$  : Vitesse de propagation (m/s)

- *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.

$$T_r = T_t + T_p$$



*Figure 49. Le temps de transfert d'un message de l'émetteur vers le récepteur.*

## **12 Conclusion**

Sans considération de la sémantique de la donnée à transmettre, ce chapitre nous a permis de comprendre comment se fait la transmission physique d'une donnée sous forme d'un signal d'un équipement vers un autre. Le signal représentant la donnée est transmis à l'aide des supports qui assure son acheminement. Dans le chapitre suivant nous allons voir les différents supports de transmission utilisés dans les réseaux.