

Chapitre 4

Transmission physique de l'information

4.1 Introduction

Les réseaux de communication assurent le transfert d'informations d'un système source vers un système de destination. Les informations sont véhiculées sur les supports de communication sous forme de signaux. Les informations échangées sont généralement sous forme texte, image fixe, son, images animées et données informatiques. Cependant, il faut trouver une bonne transformation de l'information de signal de sorte que le média de communication soit capable de le propager correctement. Par conséquent, les informations échangées sont codées sous une forme *binaire*, donc le système utilisé est le *système binaire*. Aussi, pour garantir le succès des communications, la source et la destination doivent utiliser une méthode de transmission des données convenue mutuellement.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principales techniques utilisées pour transférer les informations dans un réseau de communication. Pour ce faire, nous allons dresser un aperçu général sur la nature du signal avant de passer en revue les techniques de codage et de modulation et les différents phénomènes susceptibles de l'affecter.

4.2 Principe de la transmission

Un signal correspond à la variation d'une grandeur physique en fonction du temps afin de représenter physiquement l'information. Cette variation peut être continue ou discrète. Ainsi, deux types de signaux sont utilisés pour la transmission de l'information sous forme de bits:

- **Signal numérique (Digital)**
- **Signal Analogique.**

✓ Signal numérique

- Un signal **Discret**.
- Nombre d'états fini.

- Affaiblissement.
- Courte distance.
- Adapté aux réseaux LANs (transmission en bande de base).

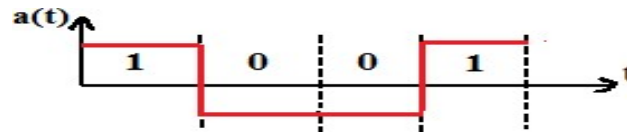


Figure 4.1 Signal numérique

✓ Signal analogique

- Un signal Continu (nombre d'état infini).
- Moins sensible au problème d'affaiblissement.
- Longue distance
- Adapté aux réseaux WANs (transmission en large bande).



Figure 4.2 Signal analogique

$$a(t) = A \sin (w t + \varphi)$$

$a(t)$: amplitude en fonction de temps. A : amplitude max. $w=2\pi f$ (pulsion).
 f : fréquence en Hz. (Fréquence : nombre de période par seconde).
 φ : décalage par rapport à l'origine.
 t : temps en seconde.

4.3 Transformations sur les signaux

La transmission physique de l'information (figure ci-dessous 4.3) comporte le transcodage et/ou la modulation de signaux électriques pour obtenir des signaux adaptés aux caractéristiques des supports de transmission.

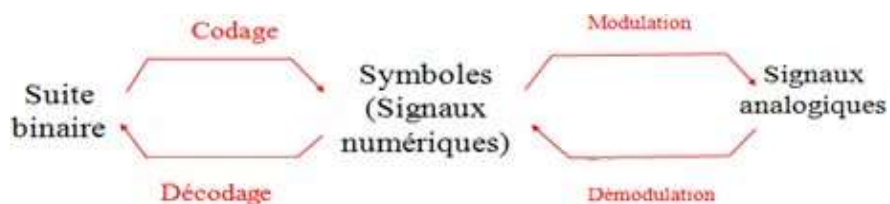


Figure 4.3 Schéma d'un système de transmission

Le composant qui adaptera le signal numérique en fonction des caractéristiques du support ou du réseau (il peut être le modem ou un autre équipement) est appelé *Équipement Terminal de Circuit de Données* (ETCD).

On désigne généralement sous le nom de *circuit de données* (voir la figure 4.4) l'ensemble constitué par le support et les ETCDs utilisés pour adapter le signal transmettant ses informations. Par conséquent, à travers un circuit de données, la transformation du signal est totalement intégrée.

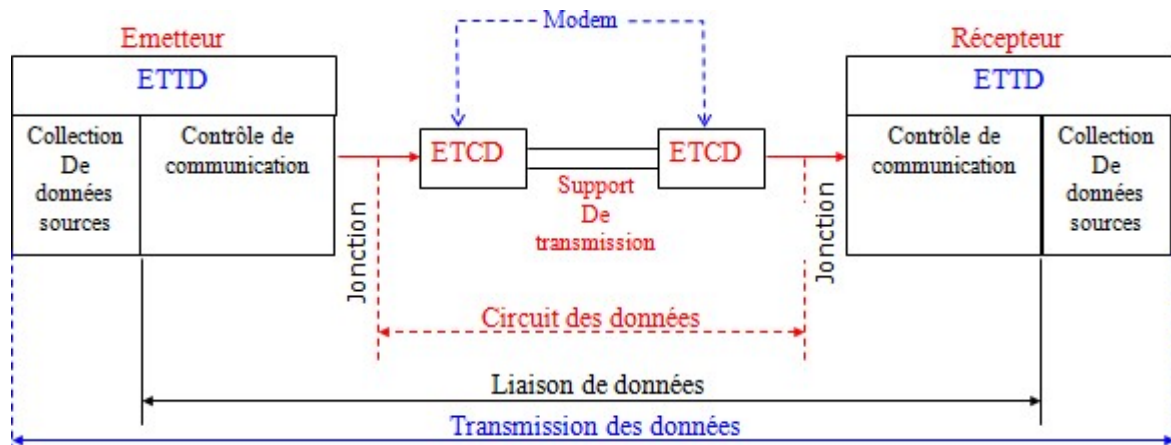


Figure 4.4 Circuit de données

ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Donnée

ETCD : Equipement Terminal de Communication de Donnée

Jonction : interface ETTD _ ETCD

On peut résumer les caractéristiques essentielles des systèmes de transmission dans les points suivants:

- ✓ **Type de liaison**
- ✓ **Direction du flux des signaux**
- ✓ **Mode de liaison**
- ✓ **Modes de synchronisation des signaux**
- ✓ **Méthode de transmission**

4.3.1 Type de liaison

La communication des informations (suite de bits) comprend l'envoi de plusieurs bits organisés en mots. Ces bits peuvent être envoyés en mode série ou en mode parallèle.

- a. **Liaison série** : consiste à la transmission bit par bit les uns derrière les autres sur une même ligne (un seul fil) comme illustré sur la figure 4.5.



Figure 4.5 Liaison série

- b. **Liaison parallèle** : consiste à la transmission des bits d'un même mot en même temps sur plusieurs lignes (plusieurs fils).



Figure 4.6 Liaison parallèle

4.3.2 Type de communication de la liaison

Les échanges d'informations entre deux systèmes de communication peuvent être organisés selon plusieurs modes : simplex, half-duplex et full-duplex.

- a. **Simplex** : un canal simplex est **unidirectionnel**. Il permet aux données de circuler dans une seule direction, comme le montre la figure 4.7 ci-dessous.

Exemple : radio / télévision

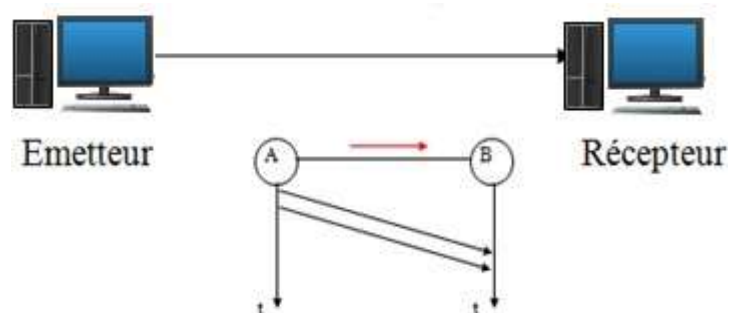


Figure 4.7 Mode simplex

- b. Half Duplex :** La transmission half-duplex nous permet d'assurer une communication simplex dans les deux directions sur un seul canal (directionnelle à l'alternat) ;

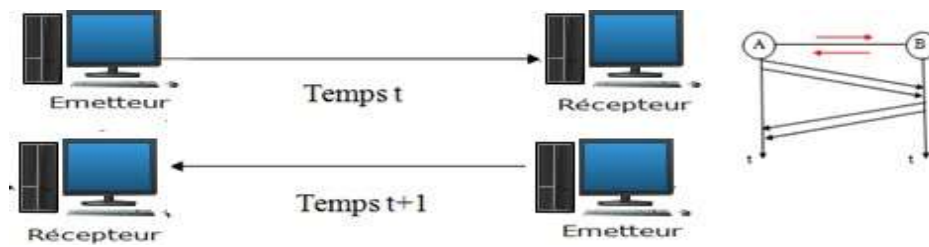


Figure 4.8 Mode duplex

- c. Full Duplex :** c'est une communication simultanément en deux sens (directionnelle) (voir figure 4.8);

Exemple : téléphone

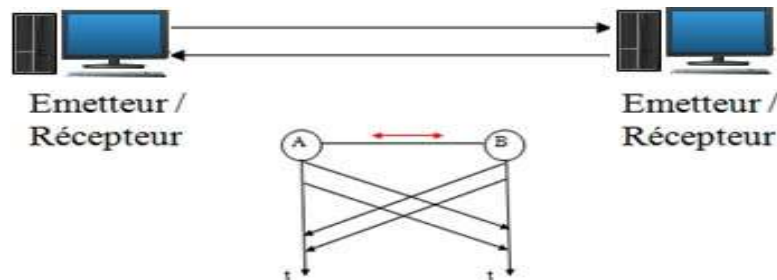
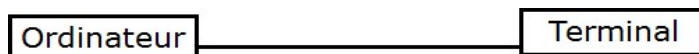


Figure 4.9 Mode full duplex

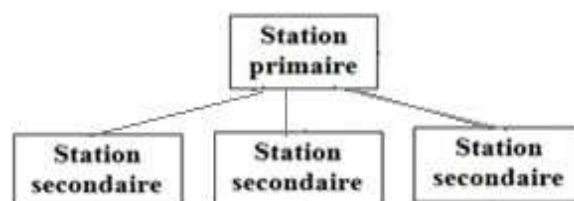
4.3.3 Mode de liaison

- a. Liaison point à point:** les différents équipements sont reliés en couples avec des liens dédiés ; Exemple : le lien entre un ordinateur et un terminal

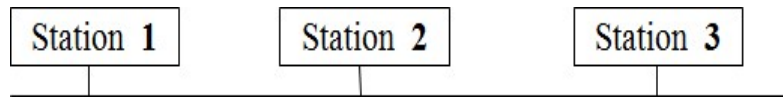


- b. Liaison Multipoint (à diffusion):** Le support est partagé par plusieurs nœuds, auquel le contrôle d'accès devient indispensable pour éviter les problèmes relatifs aux droits d'accès. Deux modes de contrôle d'accès sont disponibles :

- Mode maître/esclave



○ Mode égal à égal (P2P)

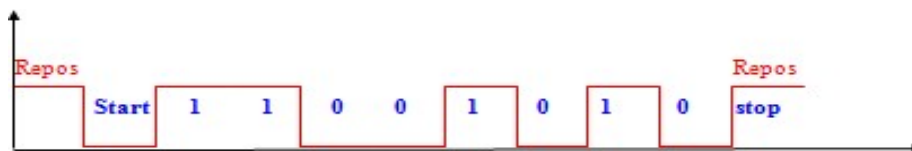


4.3.4 Les modes de synchronisation des signaux

La synchronisation entre l'émetteur et le récepteur permet la délimitation des données (les bits, les caractères, les blocs de données). Il existe 3 types de méthodes de synchronisation.

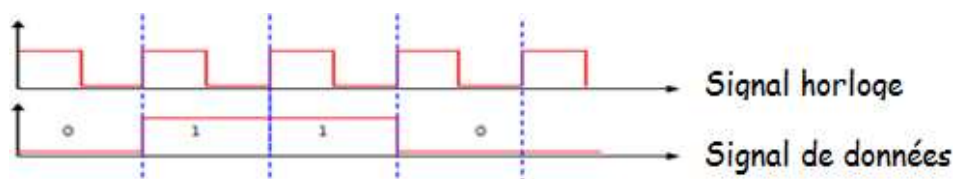
- a. **La transmission asynchrone:** La source produit des caractères à des instants aléatoires (Exemple : frappe des caractères sur le clavier). Chaque caractère émis est précédé d'un moment élémentaire appelé bit start et suivi par un moment élémentaire de fin appelé bit stop.

Exemple



- b. **La transmission synchrone par fil:** Un fil particulier appelé fil de synchronisation relie les deux horloges des deux équipements communicants et on aura la transmission des différents bits les uns à la suite des autres à chaque période d'horloge.

Exemple



- c. **La transmission synchrone par déduction:** La séquence de synchronisation est déduite du flux binaire reçu, permettant ainsi de synchroniser la totalité des données

Exemple

Synchronisation 1 0	Commande 1 0	Données ≥ 0 0	FCS 2 0	Synchronisation 1 0
------------------------	-----------------	------------------	------------	------------------------

4.3.5 Les méthodes de transmission

Il y a deux méthodes de transmission : La transmission en bande de base et la transmission à large bande.

a. La transmission en bande de base

Elle consiste à transmettre l'information sous sa forme **numérique** (figure 4.9). Compte tenu du phénomène d'affaiblissement des signaux numériques (avec la distance). Avec ce mode, le délai de transmission est limité à une distance maximale théorique de 50 km (en pratique 30 km). Pour les réseaux locaux, cette technique est la plus répandue. L'idée de base de cette méthode repose sur le **codage en bande de base** en transformant **une séquence binaire** en **une séquence numérique**, afin d'adapter le signal sur le support. L'opération inverse est appelée **décodage**. L'équipement qui se charge de cette opération est appelée **ERBDB** (Emetteur Récepteur en Bande De Base).



Figure 4.9 Le codage (Transmission en bande de base)

b. La transmission en large bande

Elle se base sur la **transformation** des **signaux numériques** en **signaux analogiques** pouvant être transmis sur une longue distance (figure 4.10). L'opération de base de cette technique est appelée **Modulation**. L'opération inverse est **la Démodulation**. L'équipement qui se charge de cette opération est le **Modem**. Cette méthode est adaptée aux réseaux WANs qui s'étendent sur des longues distances.



Figure 4.10 La modulation (Transmission large bande)

4.4 Le Codage des signaux

Le **codage** permet de transformer **une séquence binaire** (bits) en une séquence de symboles codés (**signaux numériques**) ; le plus souvent binaires ou ternaires (trois niveaux). Quant au **décodeur**, il effectue l'opération inverse. Le **but du codage** est **d'adapter les bits** à transmettre **aux spécificités** du mode de transmission.

Les Codes usuels en bande de base:

1. Les codes à deux niveaux

- NRZ
- NRZI
- Biphase Manchester
- Biphase Différentiel
- Miller

2. Les codes à trois niveaux

- RZ
- Bipolaire
- Bipolaire d'ordre 2

3. Les codes en Blocs

- nB / mB
- nB / mT

Exemple : Comme illustré sur la figure 4.11, on va coder la suite suivante 11000101 avec les codages Biphase Manchester, Biphase différentiel, RZ et bipolaire.

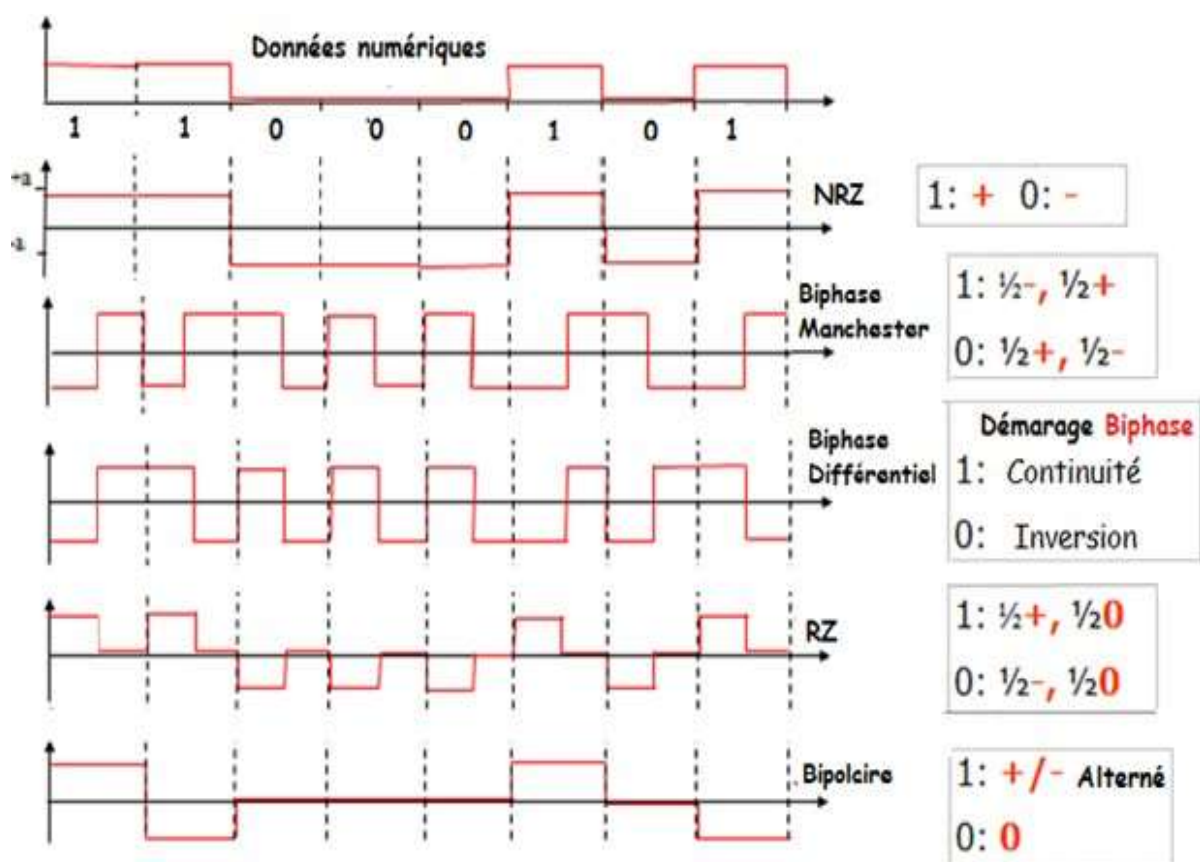


Figure 4.11 Exemples de codage

4.5 La Modulation des signaux

La modulation consiste à transformer les **signaux numériques** en **signaux analogique**. Le principe général consiste à modifier l'un des paramètres d'un signal de base (appelé la porteuse). Ce dernier est un signal sinusoïdal de la forme : $S(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \phi_0)$. C'est une opération réalisée par un **modem**. Il existe **3** techniques de modulation.

- a. **La modulation de fréquence** : consiste à utiliser deux fréquences différentes une pour représenter " 1 " l'autre pour représenter " 0 "

Exemple : Sur la figure 4.12, la modulation du signal 0110.

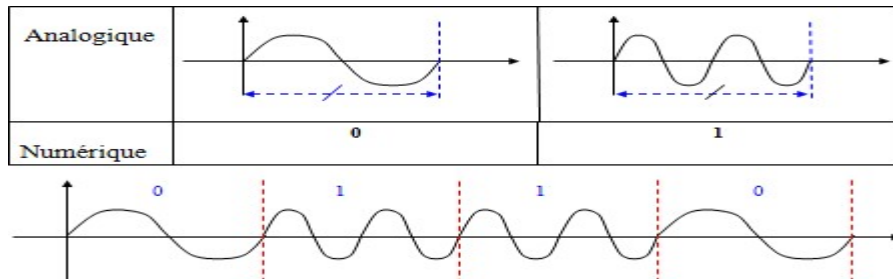


Figure 4.12 Modulation de fréquence

- b. **La modulation d'amplitude**: consiste à utiliser deux amplitudes une pour " 1 " et l'autre pour " 0 ".

Exemple : On peut voir sur la figure 4.13 la modulation du signal 10011.

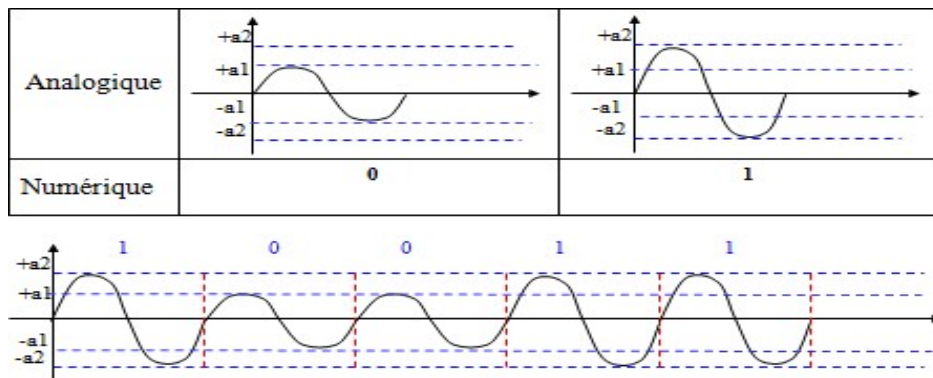


Figure 4.13 La modulation d'amplitude

- c. **La modulation de phase** : consiste à utiliser deux phases, une pour " 1 " et l'autre pour " 0 "

Exemple : sur la figure 4.14 la modulation du signal 10011.

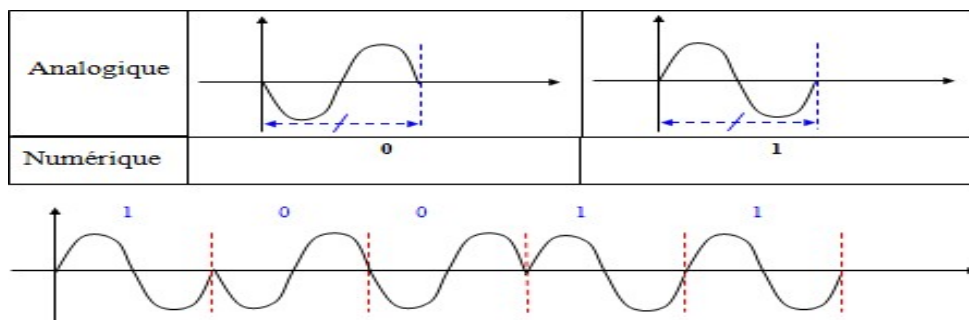


Figure 4.14 La modulation de phase

4.6 Le Multiplexage

Il s'agit de partager un canal entre plusieurs lignes. Si plusieurs voies de données sont requises entre deux sites, il est plus économique d'utiliser **une seule ligne partagée** qui permettra de transmettre tous les messages des différents équipements plutôt que d'utiliser plusieurs lignes point à point. Deux techniques de multiplexage peuvent être distinguées : **le multiplexage fréquentiel** et **le multiplexage temporel**.

a. Le multiplexage fréquentiel (FDM : Frequency Division Multiplexing)

Cette technique revient à diviser la bande passante en sous-bandes (canaux) qui seront exploitées simultanément. En d'autres termes, l'échange d'informations s'effectue simultanément entre les équipements car chaque sous-bande est attribuée à un canal afin d'éviter le problème des interférences (figure 4.15). Elle est essentiellement utilisée dans la transmission analogique.

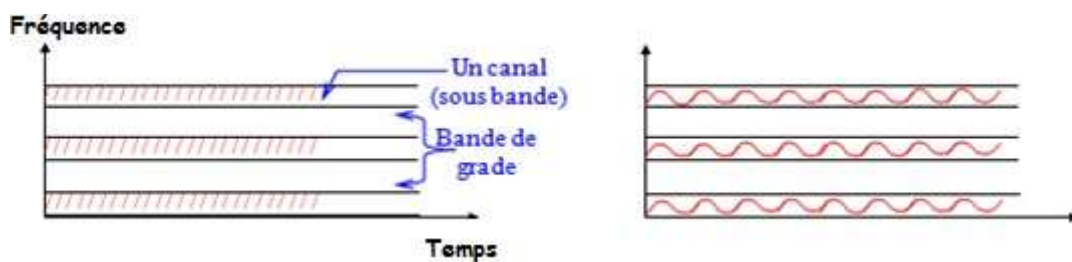


Figure 4.15 Le multiplexage fréquentiel

b. Le multiplexage temporel (TDM : Time Division Multiplexing)

Il consiste à répartir dans le temps le canal entre plusieurs transmissions, et à chaque transmission est attribué un intervalle de temps appelé IT : (Interval Time) (figure 4.16). Il est principalement utilisé dans les transmissions numériques.

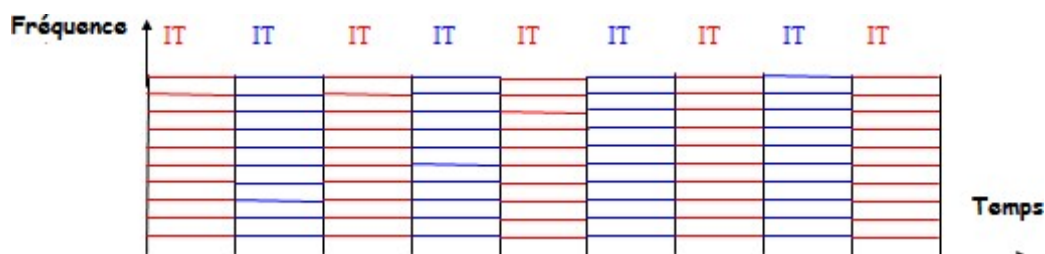


Figure 4.16 Le multiplexage temporel

4.7 Les phénomènes caractérisant les supports de transmission

a. L'atténuation : transformation de l'amplitude du signal qui varie en fonction de la fréquence. L'atténuation du signal est mesurée en termes de perte de signal par unité de longueur du câble, généralement en dB/km. Lorsque le signal se propage sur un canal de communication, son amplitude diminue car le support physique résiste au flux d'énergie électromagnétique. Ainsi, la résistance de certains matériaux des conducteurs fait qu'une partie de l'énergie électrique du signal est convertie en énergie thermique lors de la progression du signal le long du câble, ce qui entraîne une diminution continue du signal électrique.

b. Le déphasage : déformation de la phase du signal. Au fait, la quantité d'informations qu'un canal peut transmettre sur une période donnée est déterminée par sa capacité à gérer le taux de changement du signal, c'est-à-dire sa fréquence.

c. Les bruits ou phénomènes de perturbation : Le bruit est un signal perturbateur, ayant une nature aléatoire, qui s'ajoute au signal et provoque des anomalies et des erreurs de transmission. Le bruit peut provenir

- du support lui-même, il est alors appelé **bruit blanc** qui se résume en agitation thermique (chaleur).
- de l'environnement du support, et est appelé **bruit impulsif** qui est dû à des organes électromécaniques

Il existe aussi d'autres types de bruit comme :

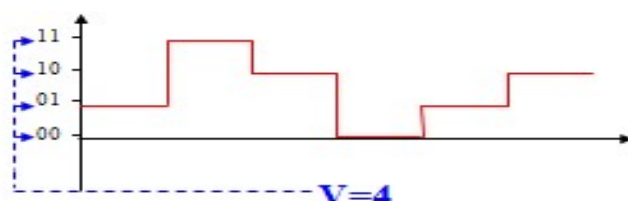
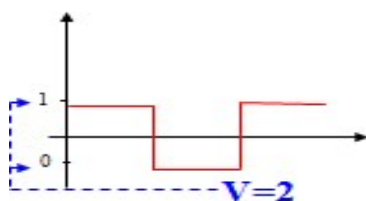
- **diaphonie** : couplage parasite entre lignes voisines.
- **écho** : réflexion du signal.

4.8 Les Grandeurs de transmission

- **Le moment élémentaire** : Laps de temps relatif à une représentation binaire (en **seconde**).

- **La Rapidité (vitesse) de modulation** : c'est le nombre de moments élémentaires par second. Elle se mesure en **bauds**.

- **La Valence** : c'est le nombre d'états significatifs (voir la figure ci-dessous.)



- **La Bande passante** : C'est une caractéristique de la voie de transmission. Elle représente les fréquences supportées, l'unité de mesure est le **Hertz (Hz)**, calculée selon la formule suivante :

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

Remarque

$$\begin{aligned} 1 \text{ KHz} &= 10^3 \text{ Hz} \\ 1 \text{ MHz} &= 10^6 \text{ Hz} \\ 1 \text{ GHz} &= 10^9 \text{ Hz} \end{aligned}$$

- **Le Débit binaire** (vitesse de transmission) : C'est le nombre de bits transmis par seconde. L'unité de mesure est le **bps (b/s)**.

Remarque

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kb/s} &= 10^3 \text{ b/s} \\ 1 \text{ Mb/s} &= 10^6 \text{ b/s} \\ 1 \text{ Gb/s} &= 10^9 \text{ b/s} \end{aligned}$$

- **Relation de Nyquist** : C'est une relation qui ne tient pas compte du bruit sur la ligne donnée par la formule ci-dessous :

$$\begin{aligned} D &= R * \log_2 (v) \\ R &= 2 * B \end{aligned}$$

- D : Débit (b/s)
- R : Rapidité de modulation (baude)
- B : Bande passante (Hz)
- V : Valence

Théorème de Shannon : C'est une relation de maximisation qui tient compte du bruit sur la ligne obtenue comme suit:

$$D = B * \log_2 (1 + \frac{S}{N})$$

- D : Débit (b/s),
- B : Bande passante (Hz)
- S/N : rapport signal sur bruit (en valeur).

Remarque : S/N est le rapport du signal sur bruit qui se mesure en décibels (**dB**) mais dans la relation de Shannon il est utilisé en valeur. La relation entre les 2 est la suivante:

$$\frac{S}{N}_{\text{dB}} = 10 \text{ Log}_{10} (\frac{S}{N})_{\text{(valeur)}}$$

- **Temps de Transfert (Tr)**: temps nécessaire pour que le message émis à travers le réseau soit reçu complètement par l'équipement récepteur calculé comme suit :

$$Tr = Tt + Tp$$

- Tr: Temps de transfert (s)
- Tt: Temps de transmission (s)
- Tp: Temps de propagation (s)

- **Temps de propagation (T_p):** c'est le temps nécessaire pour que le signal parcourt le support d'un point à l'autre de la liaison. Il dépend de plusieurs paramètres (Nature du support, Distance, Fréquence du signal). Il est calculé selon la formule suivante :

$$T_p = L / V_p$$

- T_p : Temps de propagation (s).
- L : Distance (m).
- V_p : Vitesse de propagation (m/s).

Remarque: le T_p est souvent négligeable sur liaison terrestre. Par contre, il peut devenir important pour les liaisons satellitaires.

- **Temps de transmission (T_t):** c'est le temps nécessaire pour que le message soit envoyé totalement sur la ligne. Il dépend du débit du canal et il est obtenu comme suit :

$$T_t = \text{Taille} / D$$

- T_t : Temps de transmission (s)
- Taille: Taille du message (bits)
- D : Débit (b/s)

4.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la couche physique en détaillant ses différents principes de communication et les grandes lignes directrices en matière de transmission du signal. Nous avons également passé en revue les différentes méthodes permettant le codage et la modulation du signal ainsi que les différents phénomènes susceptibles de l'affecter.

Le chapitre suivant fera l'objet d'une étude approfondie de la couche liaison de données où nous aborderons les principales techniques utilisées pour transférer et contrôler les informations dans un réseau de communication, ainsi que les corriger en cas d'erreur.