

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Centre Universitaire NOUR el Bachir EL BAYADH  
Institut des Sciences  
Département de Technologie



## Cours : TELECOMMUNICATIONS FONDAMENTALES

2ème Année Télécommunication (Semestre 04)

UEF 2.2.1  
TELECOMMUNICATIONS FONDAMENTALES



### Informations sur Auteur :

Nom et Prénom : MENEZLA Fayssal

Grade : Maitre Conférence Classe A -MCA-

Etablissement : Centre Universitaire NOUR Bachir - EL BAYADH -

Email : [f.menezla@cu-elbayadzh.dz](mailto:f.menezla@cu-elbayadzh.dz)

Portable : 0772893493

Année Universitaire : 2022/2023

**AVANT PROPOS**

Ce polycopie présente le cours de Télécommunications Fondamentale. Il est adressé particulièrement aux étudiants de la deuxième année Licence Télécommunications pour le quatrième semestre.

Ce cours vise à donner une vision globale sur les principes de base des systèmes de télécommunications analogiques et numériques et les concepts et applications rencontrés en télécommunication ainsi que les caractéristiques minimales.

A l'issu de ce cours, l'apprenant acquerra la maîtrise des concepts de quelques systèmes et applications utilisés en télécommunications.

Conformément aux Canevas de la Licence académique en Télécommunications, le présent cours est présenté comme suit :

- **Chapitre I : Généralités sur les Télécommunications.**
- **Chapitre II : Systèmes de Communication.**
- **Chapitre III : Techniques de Transmission Analogiques.**
- **Chapitre IV : Techniques de transmission numérique.**
- **TRAVAUX DIRIGÉS**

## Plan du Cours

### Chapitre I : Généralités sur les Télécommunications.

- ❖ Historique et évolution des télécommunications
- ❖ Services offerts par les télécommunications
- ❖ Normes et standards de télécommunications

### Chapitre II : Systèmes de Communication.

- ❖ Sources et signaux des télécommunications
- ❖ Schéma de base et principes d'un système de communication
- ❖ Support de transmission (Lignes de Transmission)

### Chapitre III : Techniques de Transmission Analogiques.

- ❖ Rappels mathématiques (Classes de signaux et Exemples de signaux élémentaires)
- ❖ Principe de la transmission analogique
- ❖ Filtrage
- ❖ Amplification
- ❖ Modulation
- ❖ Mélange.

### Chapitre IV : Techniques de transmission numérique.

- ❖ Principe de la transmission numérique
- ❖ Echantillonnage
- ❖ Quantification
- ❖ Codage
- ❖ Canal de transmission.

## **TRAVAUX DIRIGÉS**

On termine ce cours avec des séries de Travaux Dirigés (**08 TD**) dans le but de maîtriser chaque partie du cours.

Chaque TD traite une partie du programme. Ils sont repartis comme suit :

- ❖ TD 01 : Rappels Algèbre Trigonométrique.
- ❖ TD 02 : Introduction aux Télécommunications.
- ❖ TD 03 : Les Bande Passante et Capacité de Canal.
- ❖ TD 04 : Introduction sur les Signaux.
- ❖ TD 05 : Les Modulations
- ❖ TD 06 : Les Démodulations
- ❖ TD 06 : Les Filtres
- ❖ TD 07 : Introduction sur les Communications Numérique.
- ❖ TD 08 : Les CAN et CNA.

# *Sommaire*

*AVANT PROPOS*

1

*PLAN DU COURS*

2

*SOMMAIRE*

4

*CHAPITRE I**GENERALITES SUR LES  
TELECOMMUNICATIONS*

14

I.1 Introduction	15
I.2 Définition des Télécommunications	16
I.3 Autres Définitions	17
I.4 Schéma de base d'une Chaine de Transmission	18
I.5 Historique et évolution des Télécommunications	20
I.5.1 Les Grecs, l'Empire romain et les Gaulois	20
I.5.2 Le carré de Polybios	21
I.5.3 Le Télégraphe de Chappe	23
I.5.4 Le Télégraphe de Morse	24
I.5.5 L'invention du téléphone d'Alexander Graham Bell	26
I.5.6 La TSF Télégraphie sans fil de Guglielmo Marconi	27
I.5.7 La Radio	29
I.5.8 Le Télex	230
I.5.9 Le Téléphone Mobile	31
I.5.10 La Télévision	32
I.5.11 L'Informatique et Internet	33
I.6 Chronologie des Télécommunications au 20ème siècle	34
I.7 Les services de Télécommunications	35

I.8 Normes et standards de Télécommunications	36
I.9 Conclusion	38

*CHAPITRE II*  
*SYSTÈMES DE*  
*COMMUNICATION*

II.1 Introduction	40
II.2 Schéma de base d'une chaîne de transmission	40
II.2.1 La source d'information	40
II.2.2 L'émetteur (Modulateur)	41
II.2.3 Milieu de transmission	41
II.2.4 Le Récepteur (Démodulateur)	42
II.2.5 Le Destinataire	42
II.3 Les signaux de source en télécommunications	42
A. Le signal sonore et le signal vocal	42
B. La Lumière, L'image, et La Vidéo	43
C. Les Textes	44
II.4 La Bande passante	45
II.5 Capacité d'une Voie	46
II.6 Caractéristiques des réseaux de transmission	46
II.6.1 Notion de débit binaire	46
II.6.2 Notion de rapport signal sur bruit (SNR)	47
II.6.3 Notion de Taux d'Erreur Binaire (TEB)	47
II.6.4 Notion de temps de transfert	48
II.6.5 Notion de spectre du signal	48
II.7 Type de transmission	49

a) Liaison Unidirectionnelle (Simplex)	49
b) Liaison Bidirectionnelles (Semi-Duplex)	50
c) Liaison Bidirectionnelle Simultanée (Duplex)	51
II.8 Les supports de transmissions	52
II.8.1 Les Supports Guidés	53
a) La paire torsadée	53
a.1) Caractéristiques	53
a.2) Les catégories des câbles à paire torsadées	54
b) Le Câble Coaxial	55
c) La Fibre Optique	56
c.1) Définition	56
c.2) Les composants de la fibre optique	56
c.3) Les types de fibres	57
c.3.1) La fibre multimode	57
c.3.2) La fibre monomode	58
c.4) Comment fonctionne la fibre optique ?	58
c.5) Les avantages de la fibre	58
d) Le guide d'onde métallique	59
e) La ligne imprimée	60
II.8.2 Les Supports Libres	60
a) Les Faisceaux Hertziens	60
a.1) Les Avantages et des Inconvénients des FH	61
a.1.1) Principaux avantages	62
a.1.2) Inconvénients majeurs	62
b) Les Liaisons Satellitaires	62

II.9 Conclusion	63
-----------------	----

***CHAPITRE III***  
***TECHNIQUES DE***  
***TRANSMISSION***  
***ANALOGIQUE***

III.1 Introduction	65
III.2 Les Signaux	65
III.2.1 Définition d'un Signal	65
III.2.2 Définition de Bruit	67
III.2.3 Caractéristiques d'un signal analogique	68
III.2.4 Classification des signaux	68
1. Selon leurs Origines	68
2. Selon leurs Dimensions	68
3. Selon leurs Morphologies	68
a) Les signaux déterministes	69
b) Les signaux aléatoires	69
III.2.5 Forme des Signaux élémentaires	69
a) Fonction Signe	69
b) Fonction Echelon Unité	70
c) Fonction Rampe	70
d) Fonction Rectangle ou Porte	70
e) Fonction Triangle	71
f) Distribution de Dirac	72
III.2.6 Amplitude et amplitude crête à crête d'un signal	73
III.2.7 Période d'un signal	73

III.2.8 Fréquence d'un signal	73
III.2.9 Valeur Moyenne d'un Signal	73
III.2.10 Rapport Cyclique d'un Signal Rectangulaire	74
III.3 Principe de la Transmission Analogique	75
III.3.1 Synoptique d'une chaîne de transmission analogique	76
III.3.2 La Modulation :	77
A. Généralités et Définitions	77
B. Autres Définitions	79
B.1 Le Spectre	79
B.2 Transmission en bande de base	79
B.3 La Modulation	80
B.4 Le Mélangeur	80
B.5 L'Amplificateur	81
C. La Modulation d'Amplitude (AM)	81
C.1 Définition	81
C.2 Taux de modulation (m)	82
C.3 Bande occupée	83
C.4 Occupation spectrale par une modulation d'amplitude	83
C.5 Puissance émise	85
C.6 Différentes modulations d'amplitudes	85
C.6.1 Modulation d'amplitude sans porteuse	87
C.6.2 Modulation d'Amplitude à Bande Latérale Unique (BLU)	88
C.7 Démodulation d'amplitude	88
C.7.1 Détection d'enveloppe	88
D. Modulation Angulaire (FM et PM)	89

D.1 Modulation de Fréquence (FM)	89
D.2 Modulation de Phase (PM)	90
 III.3.2 Filtres électriques	 91
A. Définition	91
B. Applications	94
C. Comparaison entre Filtre Actif – Filtre Passif	94
C.1 Filtre Passif	94
C.2 Filtre Actif	95
D. Autres types de filtres RF	95
D.1 Filtre passe-bas	95
D.2 Filtre passe-haut	95
D.3 Filtre coupe-bande	96
D.4 Filtre passe-bande	96
 III.4 Conclusion	 97

## CHAPITRE IV

### TECHNIQUES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE

IV.1 Introduction	99
IV.2 Chaine de Transmission Numérique	11
IV.2.1 CAN	101
IV.2.2 Codage de Source	101
IV.2.3 Codage de Canal	101
IV.2.4 Modulateur	101
IV.2.5 Canal (Milieu de transmission)	102

IV.2.6 Démodulateur	102
IV.2.7 Décodeur de Canal	102
IV.2.8 Décodage de Source	102
IV.2.9 CNA	102
IV.3 La Numérisation	102
IV.3.1 Les Signaux Analogiques	103
IV.3.2 Les Signaux Numériques	103
IV.4 Les Caractéristiques Principales	104
IV.4.1 La probabilité d'erreur $P_e$	104
IV.4.2 L'occupation spectrale du signal émis	105
IV.4.3 La complexité du récepteur	105
IV.5 Autres définitions et appellations	105
IV.5.1 Le symbole	105
IV.5.2 La vitesse de transmission R	105
IV.5.3 Le débit binaire D	105
IV.5.4 L'efficacité spectrale	106
IV.6 La Numérisation d'un Signal	106
IV.6.1 L'échantillonnage	106
<i>Théorème de Shannon</i>	107
<i>Comment échantillonner un signal ?</i>	107
IV.6.2 La Quantification	107
<i>Le processus de quantification</i>	108
IV.6.3 Le Codage	109
<i>En résumé</i>	110
IV.7 Transmission Bande de Base	111

IV.7.1 Généralités	<b>111</b>
IV.7.2 L'intérêt du codage en bande de base	<b>113</b>
IV.7.3 Les différents codes en bande de base	<b>113</b>
a) Code Tout ou Rien	<b>113</b>
b) Code NRZ (Non-Retour à Zéro)	<b>114</b>
c) Code Bipolaire	<b>114</b>
d) Code RZ (Retour à Zéro)	<b>115</b>
e) Code Biphasé (Manchester)	<b>115</b>
f) Code Manchester Differenciel	<b>115</b>
IV.8 Canal de transmission	<b>115</b>
Capacité d'un canal (théorème de Shannon)	<b>116</b>
IV.9 Conclusion	<b>116</b>

**TRAVAUX DIRIGÉS** **117**

<b>TD 01</b>	<b>118</b>
<b>TD 02</b>	<b>119</b>
<b>TD 03</b>	<b>120</b>
<b>TD 04</b>	<b>121</b>
<b>TD 05</b>	<b>122</b>
<b>TD 06</b>	<b>123</b>
<b>TD 07</b>	<b>124</b>
<b>TD 08</b>	<b>125</b>

**CONCLUSION GÉNÉRALE** **126**

<i>Conclusion Générale</i>	127
<i>REFERENCES</i>	128
<i>Références</i>	129
<i>ANNEXES</i>	130
<u><i>ANNEXE A :</i></u> <i>Démonstration de la capacité du canal</i>	131
<u><i>ANNEXE B :</i></u> <i>Les Pères Fondateurs de la Communication</i>	133

# *Chapitre I*

## *Généralités sur les Télécommunications*

## Chapitre I

### Généralités sur les Télécommunications

#### I.1 Introduction :

Le mot télécommunications vient du préfixe grec ***Tele***, signifiant ***Loin***, et du mot latin ***Communicare***, signifiant ***Partagé***.

Le mot Télécommunication a été utilisé pour la première fois en 1904 par Édouard Estaunié, ingénieur aux Postes et Télégraphes, directeur entre 1901 à 1910 de l'école professionnelle des Postes et Télégraphes (devenue Télécom Paris Tech) dans son Traité pratique de télécommunication électrique, pour désigner les multiples réseaux créés tout au long du 19eme siècle pour assurer la diffusion des signaux écrits et sonores.

On entend par télécommunications toute transmission, émission et réception à distance, de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toutes natures, par fil électrique, radioélectricité, liaison optique, ou autres systèmes électromagnétiques.

## I.2 Définition des Télécommunications :

Les télécommunications au sens large comprennent l'ensemble des moyens techniques nécessaires à l'acheminement des informations entre *deux points a priori quelconques*, à une *distance quelconque*, avec des *couts raisonnables* et à des *instants quelconques*.

Les notions de **Fidélité** (conformité du message reçu et du message émis) et de **Fiabilité** (résistance à des pannes partielles du système) seront le premier souci du concepteur.

Les messages à transmettre peuvent être de nature quelconque (paroles, images, données de tous types).

Dans le cas de communications numériques, *les Débits* ne sont pas nécessairement les mêmes dans les deux sens.

On peut ajouter la définition de **Fontolliet** avec la notion **Temporelle**, c'est la **Simultanéité** entre l'émission et la réception est souvent désirée (cas de la téléphonie).

La **Théorie des Télécommunications** ne concerne que l'information, et non son support matériel (papier, disques, ...).

### I.3 Autres Définitions : *Signal, Message, Information.*

***Une information est un élément de connaissance nouveau annoncé à un destinataire, et que ce dernier n'avait pas auparavant.***

**Claude Shannon** a développé une théorie mathématique dans laquelle il a présenté plusieurs règles.

Dans la théorie de Shannon la quantité d'information est un nombre réel compris entre 0 et 1. Une information nulle a pour mesure 0 et une information « pleine échelle » a pour mesure 1.

D'après les théorèmes de Shannon on peut dire que la quantité d'information est proportionnelle à la probabilité d'apparition de cette information.

Voici un exemple simple pour clarifier ce concept :

- Si par exemple aujourd'hui c'est le dimanche et je dis à une personne «**demain c'est lundi**». Cette personne connaît à l'avance que après le dimanche c'est lundi. Alors la probabilité que demain c'est lundi est de 100%. Dans ce cas la quantité d'information est égale à 0. Alors ce n'est pas une information pour lui.
- Si par exemple aujourd'hui c'est le dimanche et je dis à quelqu'un «**demain vous avez un examen**». Cette personne ne connaît à l'avance qu'ils ont un

examen, Alors dans le cerveau de cette personne la probabilité de cette évènement est de 0%. Dans ce cas la quantité d'information est égale à 1. Alors c'est une information pour lui.

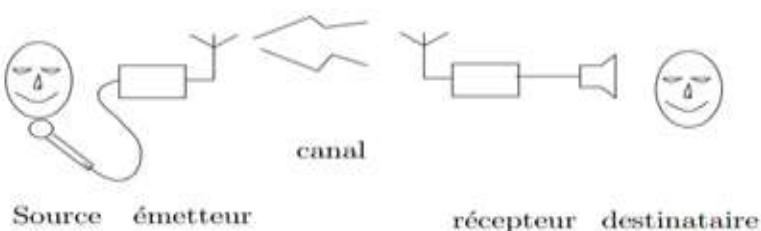
Il est important de noter que dans la théorie de Shannon, il existe une relation les concepts ***message***, ***signal*** et ***information***.

Cette relation est définie comme suite :

\****Un message est un ensemble d'information, transporté par un signal.***\*

#### I.4 Schéma de base d'une Chaine de Transmission :

Le schéma de base d'une chaîne de transmission peut être représenté par la figure suivante.



**Figure I.1 : Schéma de base d'une Chaine de Transmission**

Dans cette chaîne on distingue les éléments suivants :

- La source produit le message à transmettre.

- L'émetteur prend un signal de source, qui est une grandeur physique (son, image, etc..) représentée par une fonction du temps  $s(t)$ , et il le transforme généralement en signal électrique, de sorte qu'il puisse être transporté sur une grande distance à travers un canal de transmission, (l'émetteur produit un signal adapté au canal de transmission).
- Le canal de transmission est une abstraction du support ou milieu de transmission (rayonnement en espace libre qu'on appelle onde Hertzienne, ligne de transmission, fibre optique...). Tout signal subit des perturbations au cours de son transit dans le canal de transmission (atténuation, ajout de signaux parasites ou bruit, distorsions ...) de sorte que le signal qui parvient au niveau du récepteur n'est jamais exactement le même que celui qui a été transmis par l'émetteur. De plus, le signal transmis arrive au récepteur après un délai de transmission. Ces deux règles sont un fondement de la science des télécommunications.
- Le canal de transmission constitue le lien entre émetteur et récepteur.
- La fonction du récepteur est d'abord de reconstituer le signal transmis avec le maximum de fidélité, ensuite d'analyser sa forme pour en extraire l'information contenue à la source. Le récepteur capte le signal et recrée le message.
- Le destinataire recevoit et traite le message reçu.

## I.5 Historique et évolution des télécommunications :

L'histoire des télécommunications est passée par plusieurs étapes, dans le paragraphe suivant on va citer le passage et l'évolution des télécommunications.

### I.5.1 Les Grecs, l'Empire romain et les Gaulois :

a) **Les Grecs anciens** : les signaux de feux, « Pour annoncer la bonne nouvelle, les messagers allumaient des feux repérés à des kilomètres. Ces feux étaient relayés par d'autres postes jusqu'au destinataire final qui en allumait un dernier pour annoncer qu'il avait bien reçu le message ».

b) **L'Empire Romain** : des signaux de feux étaient également utilisés. En effet, des « tours à feux » permettaient aux marins de se repérer à l'approche des côtes. Ces tours étaient alors un moyen de guider les marins.

c) **Les Gaulois** : possédaient leur Télégraphe Oral. Ils ont dit : *«Quand il arrive un événement d'importance, les premiers qui l'apprennent le proclament à grands cris dans la campagne. Les personnes qui entendent ces cris les transmettent à d'autres et ainsi de suite. De village en village. Alors la nouvelle va traverser la Gaule avec la vitesse de l'oiseau».*

### I.5.2 Le carré de Polybios :

L'historien grec Polybios (118 –200 av. J.-C.) inventa ce système de codage. Les lettres de l'alphabet (grec à l'origine) sont arrangées dans un tableau. Chaque lettre est codée par deux nombres, le premier indique sa ligne et le deuxième sa colonne.

Le système de codage inventer par Polybios est illustré dans le schéma suivant :

	1	2	3	4	5	
1	A	B	C	D	E	Exemple:
2	F	G	H	I	K	
3	L	M	N	O	P	Texte : <i>message secret</i>
4	Q	R	S	T	U	
5	V	W	X	Y	Z	Code : 32154343112215 431513421544

**Figure I.2 : Code de Polybios**

Comme on a dit avant, Les Romains ont utilisé ce système pour transmettre l'information vers un lieu éloigné en construisant les *tours à signaux*, ou *tours à feux*.

Les deux chiffres du code de Polybios sont représentés par deux torches allumées, et brandies autant de fois que le chiffre l'exige. Une longue lunette était nécessaire pour voir les torches de loin.



Figure I.3 : *Tours à Feux*

L'inconvénient du code de Polybios est le nombre de *symboles* (agitations de la torche, ou coups tapés sur le tuyau) trop élevé par rapport au nombre de lettres d'un message. Dans l'exemple précédent, pour codé les mots (message secret) on a utilisé 74 symboles pour les 13 lettres du *message source*, Alors soit un rapport de **5.7** symboles pour chaque lettre.

Le système de Polybios est encore utilisé de nos jours par certains prisonniers dans des cellules séparées pour communiquer. Le prisonnier tape sur un tuyau de robinet ou sur les barreaux de la fenêtre avec un objet dur un nombre de coups représentant le chiffre du code de Polybios.

Le système de Polybios resta au fil des siècles le moyen de communication dominant jusqu'à l'avènement du *télégraphe Chappe*.

### I.5.3 Le Télégraphe de Chappe :

C'est un système appelé aussi télégraphe à bras ou télégraphe aérien, constitué de deux ailes articulées et visibles de loin au moyen d'une lunette. Un manipulateur modifie la disposition des ailes, représentant ainsi les lettres de l'alphabet. Le télégraphe Chappe était placé sur une hauteur naturelle comme une colline, montagne, ou une tour érigée à cet effet.



**Figure I.4 : Code de Télégraphe de Chappe**

La première expérience du télégraphe aérien des frères Chappe a été réalisée le 3 mars 1791 sur une distance de 14 km dans le département de la Sarthe en France, et aussitôt, 5000 km de réseau et 533 stations étaient mises en place sur le territoire français.

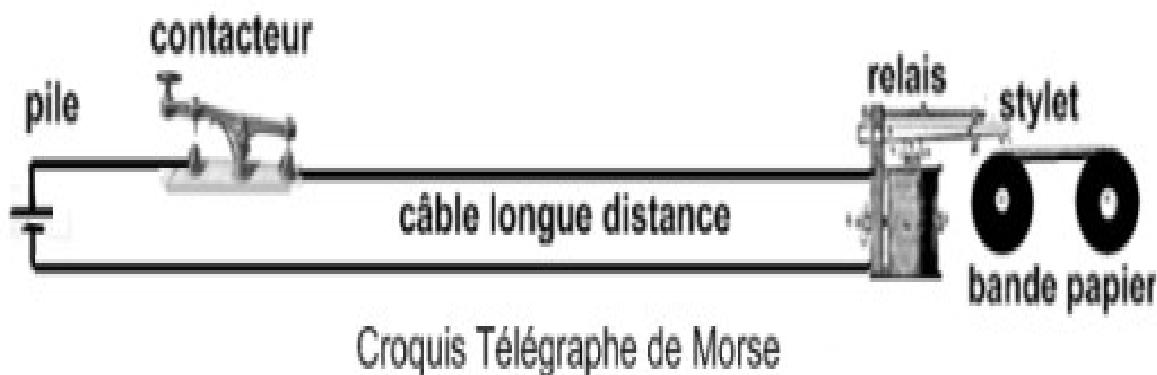
Le télégraphe à bras fut installé à Alger en 1842 pour les besoins de l'administration militaire coloniale qui crée un réseau constitué de deux axes principaux, Alger-Oran et Alger Constantine avec des ramifications vers Médéa, Mascara et Tlemcen. Achevées complètement en 1853, les lignes Ouest s'étendent sur 850 km de long. La ligne Est vers Constantine, construite à partir de 1848, est achevée en 1853.



Figure I.5 : Le premier Télégraphe de Chappe installé à Algérie

#### I.5.4 Le Télégraphe de Morse :

Samuel Morse envoya le premier message télégraphique le 11 Janvier 1838 dans le New Jersey à travers un câble de 3 km de long. Le télégraphe électrique de Morse est constitué de la pile inventée par Alessandro Volta en 1800, et d'un contacteur manuel à l'émission. Le récepteur consiste en une bobine-relais couplée mécaniquement à un stylet, de sorte que celui-ci laisse une marque sur une bande de papier quand la bobine est alimentée.



**Figure I.6 : Exemple de système de Télégraphe de Morse**

Morse a conçu un code dans lequel les lettres de l'alphabet sont représentées par une combinaison de points et de tirets, correspondant à la durée pendant laquelle le contacteur est maintenu fermé, 1 et 3 secondes pour le point et le tiret respectivement.

La figure suivante illustre le code de Morse.

CODE MORSE	
A	• -
B	- - - .
C	- - . -
D	- - .
E	•
F	• - - .
G	- - -
H	• • •
I	• •
J	• - - -
K	- - . -
L	- - . - .
M	- - -
N	- - .
O	- - -
P	- . - -
Q	- - - . -
R	- - .
S	• • •
T	-
U	• - -
V	• - - -
W	• - - -
X	- - - . -
Y	- - - - .
Z	- - - - . -

**Figure I.7 : Code de Morse**

Il y a beaucoup d'intelligence dans ce code. Plus une lettre est fréquente dans un texte anglais plus son code est court (E et T), ce qui permet de réduire la longueur moyenne des messages. Mais aussi il a été constaté que le code Morse se mémorise très facilement. Un opérateur d'intelligence moyenne l'apprend par cœur et sans effort au bout de trois jours d'utilisation. Cet aspect qui était éventuellement intentionnel dans la conception du code permet à l'opérateur de se passer rapidement de la table de conversion, et même de retranscrire un message en écoutant le bruit que fait le stylet au contact du papier.

En Algérie, les premières lignes du télégraphe électrique furent installées en 1854, d'Oran à Mostaganem (76 kilomètres), d'Alger à Médéa (90 kilomètres), et de Constantine à Philippeville (Skikda) (83 kilomètres). En 1900 tous les bureaux de poste étaient pourvus du télégraphe. Six câbles télégraphiques sous-marins reliant la France et l'Algérie furent posés par l'administration française entre 1870 et 1913.

### I.5.5 L'invention du téléphone d'Alexander Graham Bell :

Les premières paroles intelligibles transmises sur un système téléphonique le 7 Mars 1876, par Alexander Graham Bell appelant son assistant dans la pièce voisine pour lui annoncer qu'il a reçu le brevet US174465, qui lui accorde la propriété sur les deux instruments, le téléphone et le système téléphonique.

En Octobre, il teste son téléphone entre Boston et Cambridge.



**Figure I.8 : Le premier modèle de Téléphone de Graham Bell**

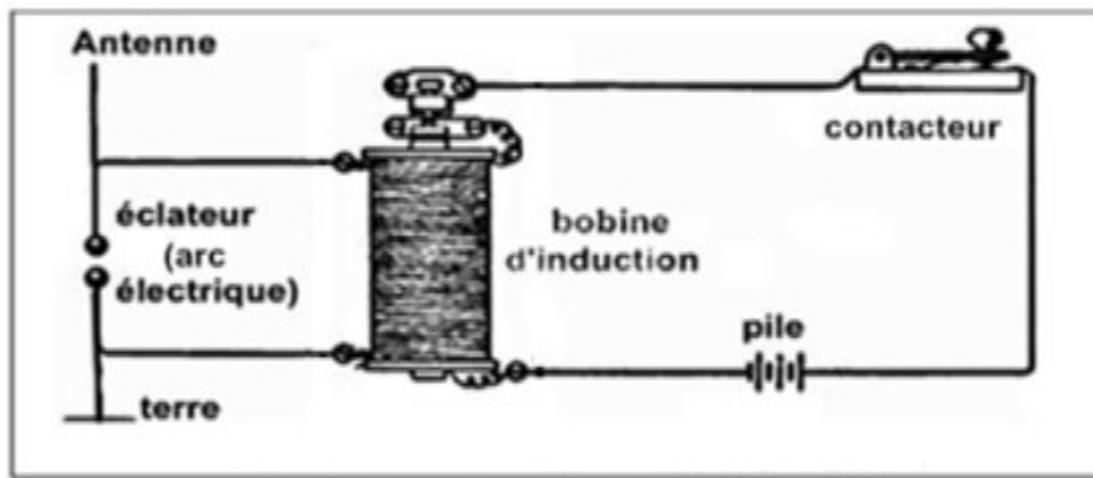
En Algérie, le service téléphonique fut d'abord concédé à une compagnie privée en 1882, la Société Générale des Téléphones, qui installa et exploita pendant sept ans les réseaux urbains d'Oran et d'Alger en 1889, il fut pris en charge par l'administration des PTT.

Depuis, les progrès de l'exploitation ont suivi une marche constamment ascendante, la longueur des lignes a passé de 469 kilomètres en 1900 à 94400 kilomètres en 1928.

#### I.5.6 La TSF Télégraphie sans fil de Guglielmo Marconi :

Marconi met en application l'expérience sur l'émission et la réception des ondes électromagnétiques de Heinrich Rudolf Hertz, 1887, qui lui-même tenait à avoir une évidence de la théorie de James Clerk Maxwell.

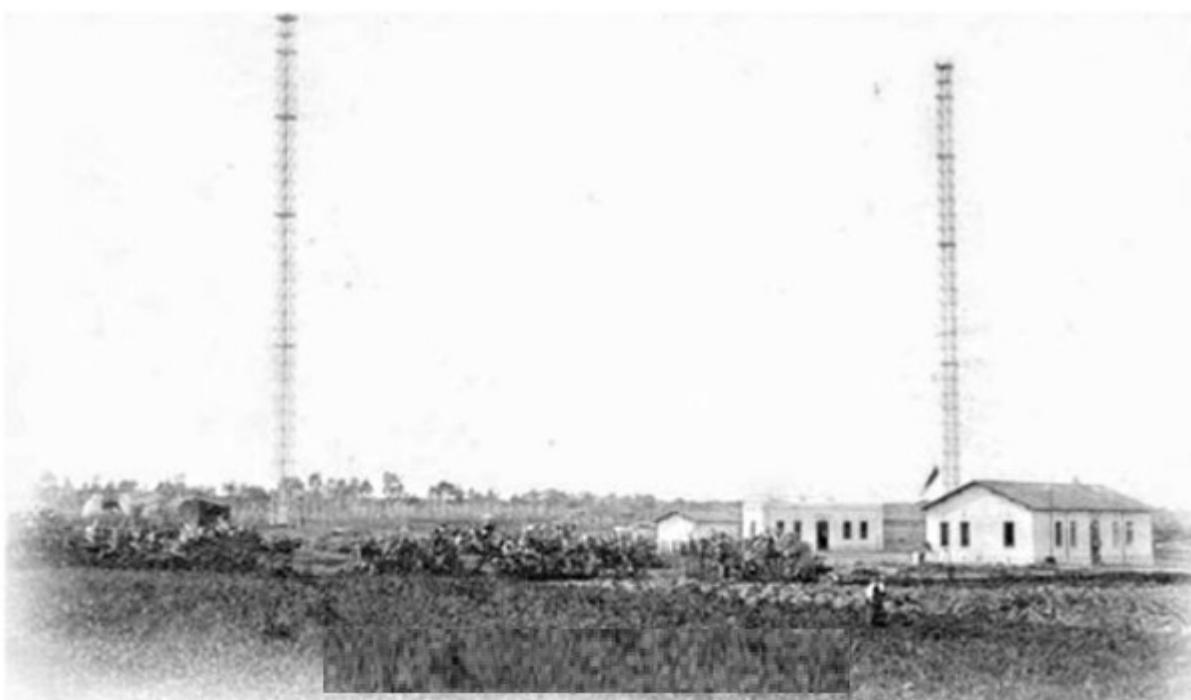
Marconi installe en 1897 le télégraphe sans fil. Cette installation est parmi celles qui avaient intercepté le SOS lancé lors du naufrage du paquebot Titanic le 15 Avril 1912, qui a permis le sauvetage de plusieurs vies humaines.



**Figure I.9 : Modèle d'émetteur TSF de Marconi**

Le TSF de Marconi a continué à communiquer au moyen du code Morse, mais la restitution des signaux était sonore pour la plupart, la technologie des parleurs et sonneries électrodynamiques ayant atteint un niveau de maturité à partir de 1900.

L'Algérie a vu sa première station TSF installée en 1907 dans un domaine militaire à Fort-de-l'eau (Bordj el Kiffan). Avec une puissance de 1kW par antenne, elle permet des communications avec des navires jusqu'à 500 km d'Alger. Cette distance fut portée à 3000km avec une puissance de 12 kW par antenne.



**Figure I.10 : Poste de TSF Fort-de-l'eau (Bordj el Kiffan)**

### I.5.7 La Radio :

La radio doit son invention au physicien italien Giuglielmo Marconi.

Après plusieurs tests de transmission de signaux par le biais d'ondes électromagnétiques, il effectue, en 1895, la première transmission radio de l'histoire, à Salvan, en Valais. Alors que les scientifiques de l'époque prétendaient qu'une telle transmission entre deux points n'était possible que dans un espace dégagé de tout obstacle, Marconi, aidé de Maurice Gay-Balmaz, installe un émetteur et un récepteur distants de 1'500 mètres l'un de l'autre et séparés par une colline. Le succès est au rendez-vous, mais Marconi finit par s'exiler en Angleterre, son pays n'étant pas convaincu par l'utilité de sa découverte. C'est là qu'il perfectionne son invention pour finalement créer en

juillet 1897 la Wireless Telegraph Trading Signal CO. LTD, puis en novembre sa toute première station émettrice, qui établit une liaison de 23 kilomètres entre l'île de Wight et Bournemouth, sur la côte Sud. La conquête des distances est lancée : elle atteindra les 300 kilomètres le 23 janvier 1901, entre l'île de Wight et le cap Lizard en Cornouailles, puis deviendra transatlantique le 12 décembre de la même année. Les premières communications commerciales voient le jour et c'est dans le domaine maritime que l'invention de Marconi va connaître sa plus grande expansion. Le développement du système de Marconi a suscité l'intérêt d'autres scientifiques et trois autres procédés ont pu être brevetés : Telefunken, Lee de Forest et United Wireless.

La concurrence entre ces procédés, ainsi qu'entre les 15 compagnies de radiocommunication existantes à l'époque a pour conséquence que les opérateurs radio ont pour consigne de ne pas intercepter les messages provenant de la concurrence. La radio subit les impacts négatifs dus à son développement et à un manque de coordination universelle que le naufrage du Titanic a dévoilé au grand jour. Marconi reçoit le prix Nobel de physique en 1909 pour « sa contribution au développement de la télégraphie sans fil ».

### I.5.8 Le Télex :

Le développement de la télégraphie sans fil et de la radio dans les années 1930 ont permis l'apparition d'un nouveau système de communication : le Télex

- contraction de la locution anglaise télégraphe exchange. Le Télex est un réseau international de communication reliant des télescripteurs qui transmettent des messages via des signaux électriques. Les informations sont automatiquement décodées et retranscrites par le télescripteur, qui remplace ainsi les anciens opérateurs Morse. Les avantages de ce système sont son faible coût ainsi que sa fiabilité, puisque chaque message reçu peut être confirmé par le destinataire par un mécanisme de réponse automatique. C'est en Allemagne que se développe le premier grand réseau Télex, dans les années 1930, qui permet d'assurer les communications au sein du gouvernement. En Suisse, les PTT (Postes, Téléphones et Télégraphes) développent le premier réseau Télex national en 1934, d'abord entre les villes de Zurich, Bâle et Berne. Par la suite, la plupart des pays font de même, la France inaugurant son propre réseau en 1946.

### I.5.9 Le Téléphone Mobile :

Le téléphone mobile est de nos jours un objet inséparable d'une très grande majorité d'individus, au point même de modifier nos relations sociales et notre organisation du temps. Apparu dans le grand public dès les années 1990, son origine remonte pourtant aux années 1940, avec la découverte de la technologie radio. Cependant, ce n'est qu'en 1973 que l'inventeur du téléphone portable, le docteur Martin Cooper, passe son premier appel par ce biais. Le qualificatif de mobile n'apparaît qu'avec le premier téléphone réellement miniaturisé, créé par la marque Motorola, en 1983.

En 1982, la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT) lance le Groupe spécial mobile (GSM), chargé de développer un standard pour la téléphonie mobile en Europe. En 1987, 13 pays européens adoptent la convention qui lance le standard GSM (qui signifie cette fois Global System for Mobile communication). Cette technologie est utilisée aujourd’hui par plus de 3 milliards d’utilisateurs dans 212 pays et territoires.

### I.5.10 La Télévision :

Le 24 décembre 1883, l’ingénieur allemand Paul Nipkow, alors étudiant à Berlin, réalise pour la première fois dans une chambre d’hôtel le balayage d’une image à l’aide d’un disque percé de trous : le principe de la télévision naissait, avant d’être breveté en 1884. Se basant sur ce procédé, ainsi que sur les travaux notamment de Herz, de Marconi et de Braun (tube cathodique), l’inventeur écossais John Baird présente en 1926 son procédé de réception d’images, qu’il nomme « Televisor ». Le public voit apparaître sur l’écran la première émission télévisée : le visage de deux ventriloques. Cette même année, les sociétés Westinghouse, General Electric et RCA s’unissent pour former la National Broadcasting Company, plus connue par ses initiales, NBC. Douze ans plus tard, le même John Baird, appliqué à améliorer son invention, organise la première démonstration expérimentale de la télévision en couleur. La télévision s’exporte mondialement, mais ce n’est qu’en 1951 que les premières émissions de télévision publique en couleur apparaissent, sur la chaîne américaine CBS.

### I.5.11 L’Informatique et Internet :

Pour le Petit Larousse, l’informatique est « la science du traitement automatique et rationnel de l’information en tant que support des connaissances et des communications (...), mettant en œuvre des matériels (ordinateurs) et des logiciels (en anglais, respectivement hardware et software)». La numérisation de l’information est à la base de l’informatique. Elle consiste en la conversion d’un objet réel en une suite de nombres permettant de le représenter informatiquement ou électroniquement. L’arithmétique binaire sur laquelle se base la numérisation n’est pas récente, puisque le concept apparaît déjà en 3000 av. J.-C. dans le symbole de l’empereur chinois Fou Hi, l’octogone à trigramme, le Yin et Yang.

L’Américain d’origine hongroise John Von Neumann (1903-1957) crée en 1944 la structure qui compose les ordinateurs modernes, l’architecture de Von Neumann : unité de traitement, unité de contrôle, la mémoire et les dispositifs d’entrée-sortie qui permettent de communiquer avec le monde extérieur. L’informatique permet ainsi de garder des informations en mémoire, dont la capacité ne cesse d’augmenter avec la technologie. Ce n’est qu’avec l’avènement d’Internet et de son corollaire, le World Wide Web, que les informations ne sont plus seulement stockées, mais également échangées et distribuées aux quatre coins du monde C’est la Bell Company qui, en 1958,

invente le modem, qui permettra de transmettre des informations en données binaires sur une simple ligne téléphonique.

## I.6 Chronologie des Télécommunications au 20ème siècle :

Pour la Chronologie des Télécommunications on peut citer :

- ❖ **1906** : Reginald Aubrey Fessenden expérimente l'émission et la détection d'une onde radio en Modulation d'Amplitude.
- ❖ **1924** : Fax, AT&T transmet des images photographiques sur le circuit téléphonique.
- ❖ **1933** : Telex, premier réseau de télécritteurs (teletype) en Allemagne.
- ❖ **1939** : Télédiffusion. RCA diffuse par télévision noir et blanc l'ouverture de l'Exposition universelle de New York, le 30 Avril.
- ❖ **1960** : La téléphonie numérique commence à remplacer le réseau analogique.
- ❖ **1962** : Le satellite de télécommunications expérimental Telstar 1 est lancé le 10 Juillet.
- ❖ **1969** : Réseaux téléinformatiques à commutation par paquets. L'Interface Message Processor IMP a été le premier routeur réalisé pour interconnecter les réseaux.
- ❖ **1970** : Les émissions TV couleur dépassent en nombre les émissions noir et blanc.

- ❖ **1974** : Ethernet est développé par Xerox Palo Alto Research Center, et lance les réseaux locaux
- ❖ **1977** : Fibre Optique. Le premier trafic téléphonique direct par fibre optique est réalisé le 22 Avril par General Telephone and Electronics à Long Beach, Californie, avec un débit 6Mbit/s.
- ❖ **1984** : Cisco Systems est fondée par Leonard Bosack et Sandy Lerner, respectivement responsable des ordinateurs au département informatique.
- ❖ **1990** : ADSL est breveté par Bellcore.
- ❖ **1995** : Téléphonie mobile. Le premier réseau GSM 1900 MHz est devenu opérationnel aux Etats-Unis.
- ❖ **2003** : Wifi les réseaux locaux sans fil.

## I.7 Les services de Télécommunications :

Parmi les services offerts par les télécommunications on peut citer :

- Téléphone
- Interphone
- Messagerie vocale
- Conférence téléphonique
- Radiodiffusion
- Téléphonie mobile
- Courrier électronique (messagerie etc)
- Télécopie
- Transfert d'images fixes
- Télévision

- Visiophonie
- Visioconférence
- Télésurveillance
- Télécommande.

### I.8 Normes et standards de télécommunications :

La normalisation peut être vue comme un ensemble de règles destinées à satisfaire un besoin de manière similaire.

Les termes norme ou standard désignent dans tous les secteurs de la technologie des prescriptions techniques et des spécifications relatives à la construction et au fonctionnement d'un équipement, ou d'un système dans son ensemble.

Ces prescriptions sont établies à des fins d'homogénéisation et de performance par des organismes d'experts, qui les éditent en des documents officiels après de minutieuses études, de longues concertations, et des tests rigoureux sur terrain.

Les organismes de normalisation activent à l'échelle internationale, et leur autorité est reconnue de façon universelle. Tout équipement produit pour usage public ou commercial doit être conforme à la norme en vigueur.

La normalisation dans un domaine technique assure une réduction des coûts d'étude, la rationalisation de la fabrication et garantit un marché plus vaste.

Pour le consommateur, la normalisation est une garantie d'interfonctionnement et l'indépendance vis-à-vis d'un fournisseur et de pérennité des investissements.

Dans le domaine des télécommunications très particulièrement, la normalisation consiste certes en les prescriptions techniques pour appareils, mais souvent elle consiste aussi en des protocoles et des procédures de communication.

Il convient de présenter les organismes de normalisation les plus en vue actuellement :



**Figure I.11 : Les Logos des organismes de normalisation.**

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers, est un organisme international professionnel très influent, qui en plus de ses activités courantes dans toutes les spécialités de l'électricité, édite régulièrement des standards en télécommunications, comme le standard de réseaux internet sans fil **IEEE 802.11**.

**UIT** : Union Internationale des Télécommunications, basée à Genève en Suisse. Elle comporte notamment la section **UIT-T** (Technique) et **UIT-R** (Radio). Elle coordonne les normes des télécommunications auprès des 193 pays membres.

**IETF**: Internet Engineering Task Force. Elle est basée à Information Sciences Institute ISI, de l'University of Southern California où il fut fondé en 1986. Cet organisme informel de bénévoles est l'autorité mondiale des standards et des protocoles qui régissent le fonctionnement de tout l'internet. Ces standards sont édités dans des documents techniques appelés RFC Request For Comment.

**ISO**: International Organisation for Standardization. C'est une organisation internationale indépendante dont les 163 membres sont des organismes nationaux de normalisation. ISO couvre tous les domaines de l'ingénierie, mais vue son importance elle doit être mentionnée dans le contexte exclusif des télécommunications.

## I.9 Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à définir quelques mots les différents mots utiliser en télécommunications et les éléments d'une chaîne de transmission.

On a présenté aussi l'historique et évolution des télécommunications, Les services de Télécommunications et Normes et standards de télécommunications.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons en détail les Systèmes de Communication.

# *Chapitre II*

# *Systèmes de Communications*

## Chapitre II

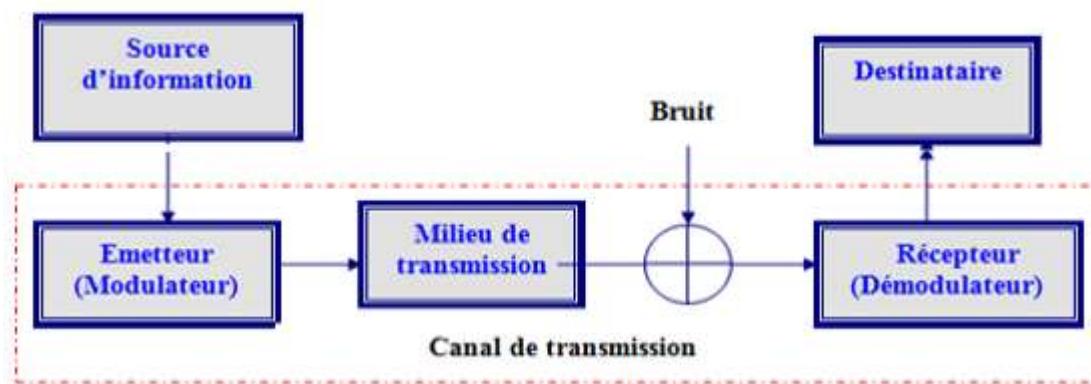
# Systèmes de Communication

### II.1 Introduction :

Un système de communication est un ensemble d'équipements de communication intégrés dans un système cohérent. Celles-ci permettent à différentes personnes de rester en contact sur un système géographique.

### II.2 Schéma de base d'une chaîne de transmission :

Le schéma de base d'une chaîne de transmission peut être représenté par la figure suivante.



**Figure II.1 : Schéma d'une Chaine de Transmission**

Les éléments qui y figurent sont définis comme suit :

#### II.2.1 La source d'information :

Une source d'information est un objet qui produit un événement dont le résultat aléatoire dépend d'une loi de répartition de probabilité.

En pratique, la source d'information d'un système de communication produit des messages de caractère analogique ou discret.

### II.2.2 L'émetteur (Modulateur) :

L'émetteur prend un signal de source, qui est une grandeur physique (son, image, etc..) représentée par une fonction du temps  $s(t)$ , et il le transforme au moyen d'un transducteur, généralement en signal électrique, de sorte qu'il puisse être transporté sur une grande distance à travers un canal de transmission, (l'émetteur produit un signal adapté au canal de transmission).

### II.2.3 Milieu de transmission :

Il est aussi appelé support, ou voie de transmission. Il peut être de nature très diverse : câbles coaxiaux, fibre optique, ou simplement l'espace libre dans le cas des liaisons radioélectriques. Il représente le lien physique à travers lequel les formes d'ondes passent du modulateur au démodulateur.

Il est caractérisé par des effets indésirables (perturbations) qu'il exerce sur les signaux qui le traversent. Certains de ces effets sont dus à la nature du support de transmission (bruit), d'autres sont dus à l'environnement externe de celui-ci (interférences).

Par conséquent, certains symboles de message peuvent être erronés en réception.

Tout signal subit des perturbations au cours de son transit dans le canal de transmission : atténuation, ajout de signaux parasites ou bruit, distorsions, etc...

de sorte que le signal qui parvient au niveau du récepteur n'est jamais exactement le même que celui qui a été transmis par l'émetteur. De plus, le signal transmis arrive au récepteur après un délai de transmission. Ces deux règles sont un fondement de la science des télécommunications.

Le canal de transmission constitue le lien entre émetteur et récepteur.

#### **II.2.4 Le Récepteur (Démodulateur) :**

La fonction du récepteur est d'abord de reconstituer le signal transmis avec le maximum de fidélité, ensuite d'analyser sa forme pour en extraire l'information contenue à la source. Le récepteur capte le signal et recrée le message.

#### **II.2.5 Le Destinataire :**

Le destinataire c'est le dernier élément de la chaîne de transmission. Il traite le message reçu pour qu'il soit compréhensible.

### **II.3 Les signaux de source en télécommunications :**

Le signal source est la forme sous laquelle se présente la toute première apparition de l'information émise dans la chaîne de télécommunication. La nature physique du signal source est non électrique, les principaux types de signaux source sont le son, l'image, et le texte.

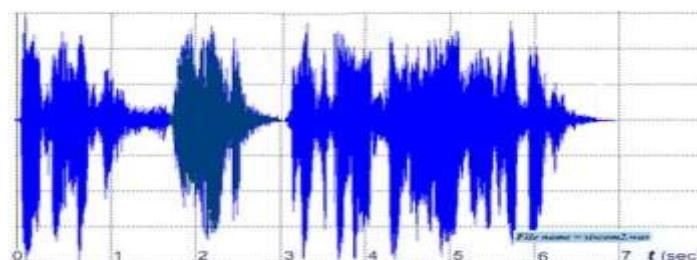
#### **A. Le signal sonore et le signal vocal :**

Le son consiste en une onde de pression se propageant dans l'air, qui est désignée en physique par onde acoustique.

- La fréquence des vibrations acoustiques varie de 20 Hz (son grave) à 20.000 Hz (son aigu).
- La vitesse de propagation des ondes acoustiques dans l'air est en moyenne de 330 m/s.

Le signal vocal ou la parole humaine sont des spécificités du signal sonore. Il est statistiquement établi que la plage des fréquences du signal vocal allant de 100 Hz à 4000 Hz suffit amplement pour identifier une personne. C'est la bande de fréquence juridiquement requise pour les réseaux de télécommunication publics.

La figure suivante montre un spécimen de la variation temporelle du signal de la parole.



**Figure II.2 : Spécimen du signal de la parole.**

### B. La Lumière, L'image, et La Vidéo :

La lumière est une grandeur qui obéit selon le besoin à deux modèles physiques, corpusculaire (photons) et ondulatoire (onde électromagnétique).

On s'intéresse plus dans les télécommunications au modèle ondulatoire, la lumière est une onde électromagnétique qui se propage à la vitesse  $3 \cdot 10^8$  m/s dans le vide, et comme toute onde possède une puissance, l'intensité lumineuse,

et une bande de fréquence  $f$  allant de  $4.10^{14}$  Hz à  $8.10^{14}$  Hz pour la lumière visible, soit une longueur d'onde  $\lambda$  allant de 740 nm (Infrarouge) à 380 nm (Ultraviolet).

La relation entre la fréquence  $f$  et les longueurs d'onde  $\lambda$  est donnée par l'équation suivante :

$$\lambda = c/f \quad (II.1)$$

Avec  $c$  c'est la vitesse de la lumière dans le vide.

En électronique, une image fixe est transformée par un capteur (caméra) en un tableau de points lumineux (pixels) qui sont des valeurs représentant l'intensité lumineuse et la couleur de chaque point de l'image.

Toute couleur dans la nature peut être décomposée et représentée sous la forme des trois couleurs fondamentales Rouge Vert Bleu (RGB Red Green Blue)

Le signal vidéo, est une suite d'images (trames ou image animée) auxquelles est fusionné un son.

### C. Les Textes :

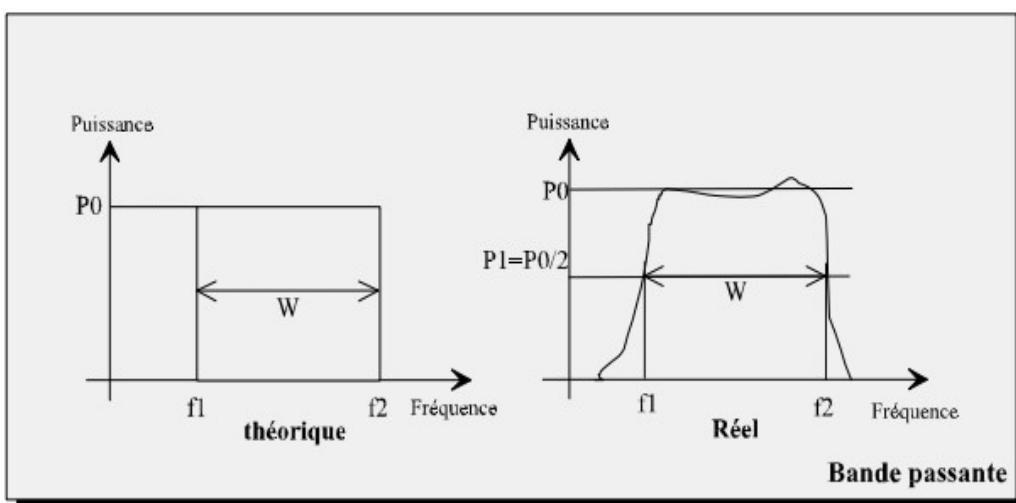
Un texte est un ensemble de caractères d'un alphabet. Il peut représenter un signal de source aussi bien sous forme de l'information visuelle extraite d'une image (fax, photocopie), ou par une représentation numérique de chaque caractère selon un codage, qui est ensuite ramené à un signal digital, c'est-à-dire une séquence de 1 et de 0.

Qu'on désigne par unités binaires ou bits. Plusieurs bits sont nécessaires pour désigner un caractère. Historiquement, après le code Morse, il y a eu le code Baudot à 5 bits qui a été adopté pour le télex, ensuite il y a eu le code ASCII à 8 bits pour les ordinateurs, et actuellement l'uni-code à 16 bits.

#### II.4 La Bande passante :

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 appelé largeur de bande du circuit par :

$$W = f_2 - f_1 \quad (\text{Hz}) \quad (\text{II.2})$$



**Figure II.3 : Représentation de la Bande Passante Théorie et Pratique**

Ces deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  limitant la bande passante.

**Exemple :**

La ligne téléphonique usuelle ne laisse passer que les signaux dont l'affaiblissement est inférieur à 6dB ce qui correspond à une plage de fréquence allant de 300 Hz à 3400Hz. La bande passante est égale à 3100Hz.

**II.5 Capacité d'une Voie :**

En 1924, H. Nyquist prouvait de façon empirique que la capacité d'un circuit de donnée est limitée par sa bande passante :

$$C = 2 W \quad (II.3)$$

Claude Shannon a prouvé en 1949 que la capacité d'un canal de transmission n'était pas seulement limitée par la bande passante mais aussi par le rapport signal sur bruit :

$$C = W \log_2 (1+S/B) \text{ Bits/s} \quad (II.4)$$

**Exemple :**

Avec une ligne téléphonique usuelle ( $W=3100 \text{ Hz}$ ) et rapport signal de  $30 \text{ dB}$ .

La Capacité de transmission vaut  $30.89 \text{ K Bits/s}$ .

**II.6 Caractéristiques des réseaux de transmission :****II.6.1 Notion de débit binaire :**

Les systèmes de traitement de l'information emploient une logique à deux états ou binaire.

L'information traitée par ceux-ci doit être traduite en symboles compréhensibles et manipulables par ces systèmes. L'opération qui consiste à

transformer les données en éléments binaires s'appelle le codage ou numérisation selon le type d'information à transformer.

On appelle débit binaire (D) le nombre d'éléments binaires, ou nombre de bits, émis sur le support de transmission pendant une unité de temps. C'est l'une des caractéristiques essentielles d'un système de transmission. Le débit binaire s'exprime par la relation :

$$D = V/t \quad (II.5)$$

- $D$  : Débit Binaire (Bit/s)
- $V$  : Le volume à transmettre (Bit)
- $T$  : La durée de transmission exprimée en Seconde (s).

### II.6.2 Notion de Rapport Signal sur Bruit (SNR) :

Le rapport signal sur bruit (SNR) ou en anglais Signal-to-Noise Ratio est le rapport des puissances entre la partie du signal qui représente une information et le reste, qui constitue un bruit de fond.

Il est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information.

Ce rapport est exprimer est en dB (décibel).

$$S/B_{(dB)} = 10 \log_{10} S/B_{(puissance)} \quad (II.6)$$

### II.6.3 Notion de Taux d'Erreur Binaire (TEB) :

Les phénomènes parasites (bruit) perturbent le canal de transmission et peuvent affecter les informations en modifiant un ou plusieurs bits du message transmis, introduisant des erreurs dans le message.

On appelle taux d'erreur binaire ( $T_e$  ou **BER** : Bit Error Rate) le rapport du nombre de bits reçus en erreur au nombre de bits total transmis.

$$T_e = \frac{\text{Nombre de Bit Erroné}}{\text{Nombre de Bit Transmis}} \quad (\text{II.7})$$

#### **II.6.4 Notion de temps de transfert :**

Le temps de transfert, appelé aussi temps de transit ou temps de latence, mesure le temps entre l'émission d'un bit, à l'entrée du réseau et sa réception en sortie du réseau. Ce temps prend en compte le temps de propagation sur le ou les supports et le temps de traitement par les éléments actifs du réseau (nœuds).

Le temps de transfert est un paramètre important à prendre en compte lorsque la source et la destination ont des échanges interactifs.

Pour un réseau donné, le temps de transfert n'est généralement pas une constante, il varie en fonction de la charge du réseau. Cette variation est appelée gigue ou jitter.

#### **II.6.5 Notion de Spectre du Signal :**

Le spectre est une image qui illustre l'absorption ou l'émission avec des raies, chaque raie représente une radiation (couleur ou fréquence).

Le mathématicien français Joseph Fourier (1768-1830) a montré que tout signal périodique de forme quelconque pouvait être décomposé en une somme de signaux élémentaires sinusoïdaux (fondamental et harmoniques) autour d'une valeur moyenne (composante continue) qui pouvait être nulle.

L'ensemble de ces composantes forme le spectre du signal ou bande de fréquence occupée par le signal (largeur de bande).

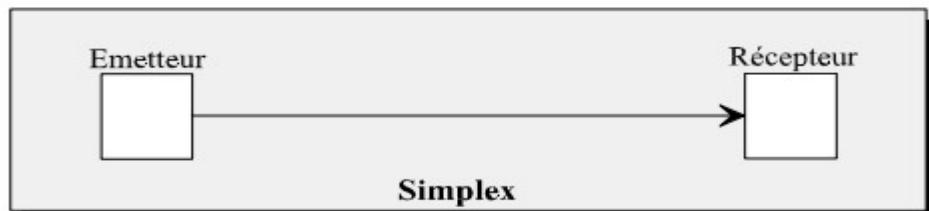
### II.7 Type de transmission :

Pour communiquer des informations entre deux points il existe différents possibilités pour le sens de transmission, on peut citer :

- Liaison Unidirectionnelle (Simplex)
- Liaison Bidirectionnelles (Half-Duplex)
- Liaison Bidirectionnelle Simultanée (Full-Duplex)

#### a) Liaison Unidirectionnelle (Simplex) :

La liaison unidirectionnelle ou simplex a toujours lieu dans le même sens Emetteur/Récepteur.



**Figure II.4 : Schéma d'une Liaison Simplex**

La communication **simplex** est un mode de communication *unidirectionnel*, dans lequel chaque appareil est soit *toujours* émetteur ou *toujours* récepteur. Ce mode de communication est notamment utilisé quand il n'est pas nécessaire pour l'émetteur d'obtenir une réponse de la part du récepteur.

Un circuit électronique comme un capteur qui envoie régulièrement et de manière autonome des données pourra utiliser une liaison simplex.

C'est aussi un mode de communication utilisé pour la *diffusion*, c'est à dire lorsqu'un même émetteur transmet simultanément à de nombreux récepteurs.

Un exemple de communication **simplex**, la télécommande de votre téléviseur communique avec ce dernier par une liaison simplex : quand vous pressez sur un bouton pour changer de chaîne, un train de signaux infrarouge est émis par la télécommande. Mais celle-ci est incapable de savoir si l'ordre a bien été reçu par le téléviseur ou pas. Un autre exemple de canal simplex est la radiodiffusion telle la radio FM. Les informations sont envoyées à partir d'une station émettrice et reçues sur un poste. Les auditeurs ne peuvent pas répondre.

### b) Liaison Bidirectionnelles (Semi-Duplex) :

La liaison **bidirectionnelles** ou à l'**alternat** ou **semi-duplex** ou **half-duplex** permet de faire dialoguer l'émetteur et le récepteur à tour de rôle.

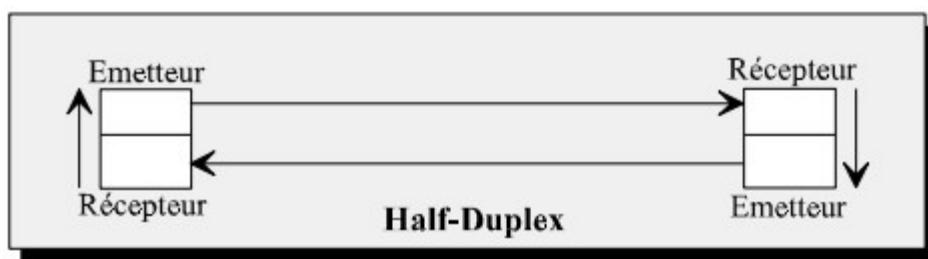


Figure II.5 : Schéma d'une Liaison Semi-Duplex

Dans la communication semi-duplex, chaque interlocuteur émet alternativement.

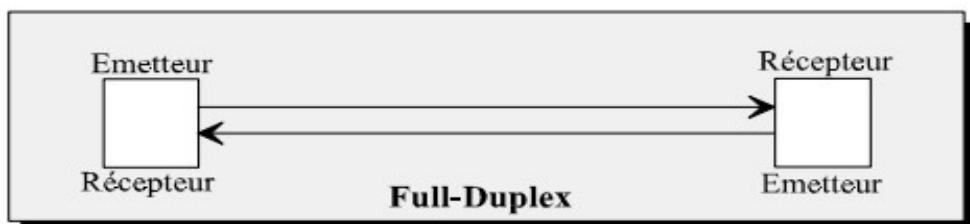
Dans la communication semi-duplex, deux systèmes interconnectés sont capables d'émettre et de recevoir chacun leur tour.

Cette méthode impose que chacun des deux systèmes communicants soient en mesure de déterminer qui a le droit de parler. Dans le cas contraire, on risque d'avoir une collision (quand les deux systèmes tentent de parler simultanément) ou un blocage (quand les deux systèmes se mettent à l'écoute simultanément). De plus, un délai supplémentaire peut être induit lors du basculement du sens de communication d'une direction à l'autre.

La liaison semi-duplex peut être comparée à une communication avec des talkies-walkies, l'un parle (l'autre ne peut parler en même temps) et lorsqu'il lâche le bouton (signal de fin de conversation) l'autre peut parler à son tour.

### c) Liaison Bidirectionnelle Simultanée (Duplex) :

La liaison **bidirectionnelle simultanée** ou **duplex** ou **full-duplex** permet une transmission simultanée dans les deux sens.



**Figure II.6 : Schéma d'une Liaison Full-Duplex**

Dans la communication duplex, ou chaque interlocuteur émet simultanément avec l'autre.

Dans la communication duplex, deux systèmes interconnectés sont capables d'émettre et de recevoir simultanément.

Outre l'existence d'un canal de transmission dédié à chaque sens de communication, ce mode de communication exige aussi que chacun des deux systèmes soit capable de traiter à la fois des données entrantes et sortantes.

Un exemple simple est le téléphone : en effet, lors d'un appel, il est tout à fait possible aux deux correspondants de parler simultanément et de s'entendre l'un l'autre.

De la même manière, certains disques durs permettent de simultanément lire un fichier et en écrire un autre. Cette fonctionnalité requiert un bus de communication full-duplex

Le full-duplex est très souvent l'association de deux canaux simplex, de la même façon qu'une autoroute est l'association de deux routes à un seul sens. La liaison full-duplex peut également être comparée à une conversation téléphonique : les deux interlocuteurs peuvent parler en même temps.

## II.8 Les supports de transmissions :

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés.

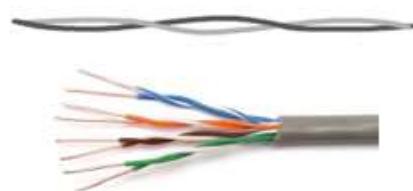
Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'onde, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique).

Généralement on classe les supports en deux catégories : les supports guidés et les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites).

### **II.8.1 Les Supports Guidés :**

L'émetteur est matériellement connecté à un support, tel qu'un câble, qui va transporter l'onde émise jusqu'au récepteur. Les supports de transmission les plus utilisés sont la ligne bifilaire, le câble coaxial, et la fibre optique.

#### **a) La paire torsadée :**



**Figure II.7 : Exemple d'un câble à paire torsadée**

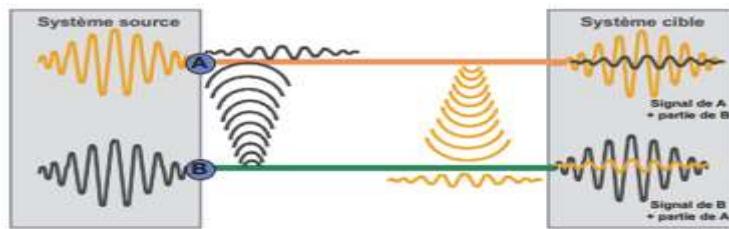
La paire torsadée ou symétrique est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. Les torsades réduisent l'inductance de la ligne ( $L$ ).

Généralement plusieurs paires sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée gaine pour former un câble. Les câbles contiennent 1 paire (desserte téléphonique), 4 paires (réseaux locaux), où plusieurs dizaines de paires (câble téléphonique).

#### **a.1) Caractéristiques :**

L'impédance caractéristique, bande passante et atténuation sont les caractéristiques essentielles des paires torsadées. Cependant, compte tenu de la proximité des différentes paires dans un câble, un phénomène spécifique apparaît : la diaphonie (figure suivante).

La diaphonie, due au couplage inductif entre paires voisines, correspond au transfert du signal d'un câble à un autre. Elle limite l'utilisation de la paire symétrique à de faibles distances.



**Figure II.8 : Phénomène de la diaphonie**

La paire torsadée (paire symétrique, UTP Unshielded Twisted Pairs) est sensible à l'environnement électromagnétique (parasites industriels, proximité de câbles à courant fort...).

L'utilisation de tels câbles est soumise à des contraintes d'installation. La paire symétrique est généralement utilisée sans référence à la terre (transmission différentielle) ce qui améliore sa résistance aux parasites.

L'immunité aux parasites peut être améliorée en protégeant le faisceau par un écran (câble écranté). L'écran est constitué d'un ruban d'aluminium qui entoure les paires et les protège des perturbations électromagnétiques. Un conducteur de cuivre nu étamé (drain) permet la mise à la terre de l'écran (paies écrantées, FTP Foiled Twisted Pairs).

Une meilleure protection peut être obtenue en réalisant, autour des paires, un véritable blindage (paies blindées, STP Shielded Twisted Pairs).

La paire symétrique est utilisée pour desserte locale des raccordements téléphoniques, liaisons d'accès aux réseaux de données et surtout les réseaux locaux où les faibles distances (100 Mbit/s sur 100 m).

Les câbles ont été répartis en différentes catégories selon les spécifications auxquelles ils répondent (atténuation, bande passante, Next...). Le tableau suivant classe les différents types de câble et indique leur utilisation.

### a.2) Les catégories des câbles à paire torsadées :

Le tableau suivant présente les différents types des catégories des câbles à paire torsadées.

Catégorie	Bandes Passantes	Exemple d'utilisation
1 et 2		Voix
3	16 MHz	Voix Numérique et Réseaux locaux
4	20 MHz	Réseaux locaux de type Token Ring
5	100 MHz	Réseaux locaux Ethernet 10 et 100 Mbit/s
6	250 MHz	Câble UTP et FTP et Ethernet 1 G bit/s
7	600 MHz	Câble FTP

### b) Le Câble Coaxial :

Une paire coaxiale ou câble coaxial est constituée de deux conducteurs concentriques maintenus à distance constante par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit appelée blindage, est mis à la terre. L'ensemble est protégé par une gaine isolante.

Le câble coaxial possède des caractéristiques électriques supérieures à celles de la paire torsadée. Il autorise des débits plus élevés et est peu sensible aux perturbations électromagnétiques extérieures. Le taux d'erreur sur un tel câble est d'environ  $10^{-9}$



Figure II.9 : Le Câble Coaxial

Le câble coaxial est énormément utilisé en télécommunication. Vous avez sûrement reconnu que c'est un câble coaxial qui relie votre antenne parabolique à votre démo TV.

Dans les réseaux locaux, il est remplacé par la paire torsadée et dans les liaisons longues distances par la fibre optique.

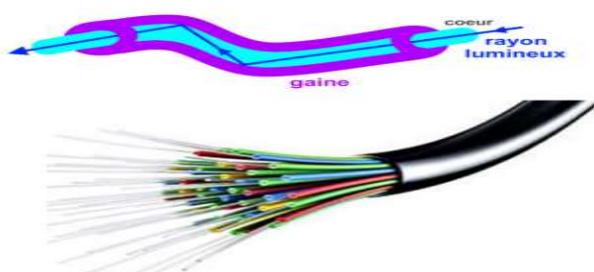
### c) La Fibre Optique :

#### c.1) Définition

Une fibre optique est un fil de verre extrêmement fin, puisqu'il mesure environ un dixième d'un cheveu humain. Il a la capacité de conduire la lumière et est utilisé pour transmettre des données numériques.

L'utilisation de la fibre optique apporte de nombreux avantages comparativement à un réseau de câblage traditionnel, tels que l'atténuation des perturbations électromagnétiques, une vitesse de transfert des données beaucoup plus élevée et une bande passante bien plus large permettant de transmettre des fichiers volumineux.

Parmi les principes de fonctionnement de la fibre optique, on peut citer le principe de la réfraction de la lumière. Celle-ci se propage dans le cœur de la fibre en empruntant un parcours en zigzag. Le rôle de la gaine qui entoure le cœur est de favoriser la transmission du signal grâce à un faible indice de réfraction. Elle nécessite donc une source de lumière, laser ou diode électroluminescente.



**Figure II.10 : Exemple du câble en fibre optique**

#### c.2) Les composants de la fibre optique :

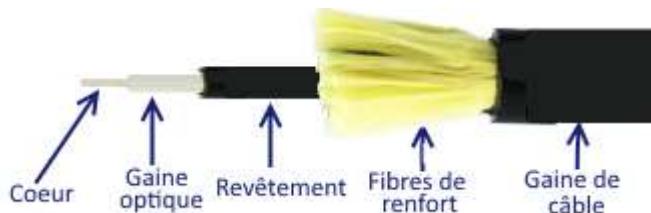
Le fil de verre se voit doter divers couches pour le maintenir et le protéger. Au cœur de la fibre se trouve le cœur ou l'âme. Elle permet de transporter le signal d'un point à un autre, entre la source de lumière et le récepteur.

Il se compose de verre ou de plastique. Il en existe de différentes tailles, qui transportent plus ou moins de lumière. Son diamètre varie entre 50 et 100 micromètres. Autour de l'âme, on trouve la gaine. Elle participe à la circulation des ondes tout au long du cœur.

L'âme et la gaine optique sont contenues dans un revêtement plastique qui protège les deux premiers composants de la fibre optique.

Le revêtement offre une protection contre les chocs et courbures importantes. Son épaisseur varie selon les types de fibres, entre 250 et 900 micromètres.

Afin de renforcer le fil, on y trouve les fibres de renfort, pour protéger l'installation des écrasements, des tensions excessives et des rongeurs. Il existe différents types de renfort, en gel ou en fibres de Kevlar. Ces quatre éléments sont recouverts d'une gaine finale, qui imperméabilise totalement la lumière et permet sa réfraction.



**Figure II.11 : Les composants de la fibre optique**

### c.3) Les types des fibres

Il existe deux types de fibres.

#### c.3.1) La fibre multimode :

La fibre multimode a été la première utilisée. Son utilisation est facile, mais limitée, à cause de la bande passante. Elle représente un intérêt pour les courtes distances de moins de 5 km. Elle a une âme de grand diamètre et permet le passage simultané de plusieurs ondes lumineuses.

### c.3.2) La fibre monomode :

À l'opposé, la fibre monomode possède une bande passante quasi illimitée, mais ne tolère qu'un mode de propagation. Elle s'utilise sur de longues distances. Les deux sont incompatibles entre elles.

Les fibres se classent en fonction du diamètre de la fibre. Il n'existe que deux types pour le monomode : OS1 et OS2. Leur débit se trouve illimité, le diamètre tourne autour de neuf micromètres. Son domaine d'application reste la liaison entre les bâtiments, du fait de son dépôt longue distance.

### c.4) Comment fonctionne la fibre optique ?

La fibre optique se base sur le principe de réfraction de la lumière. La propagation d'informations repose de différentes manières. Pour les téléphones fixes, un câble en cuivre assure la liaison entre transmetteur et récepteur. Pour les téléphones mobiles, il s'agit de technologie sans fil. Ici, la transmission des données se fait par signaux lumineux. Au bout de votre ordinateur, un laser transforme le signal électrique en signal lumineux, le propage à travers les fibres optiques puis, une cellule photoélectrique reconvertis l'onde lumineuse en signal électrique que l'ordinateur comprendra.

Les fibres offrent la possibilité de faire passer 80 longueurs d'onde de 100 Gb/s chacune. Elles doivent être rattachées à un connecteur qui permet de les coupler mécaniquement.

Une connexion se compose d'un raccord et de deux fiches optiques, qui contiennent des férules. Ces férules assurent le positionnement des fibres. Le raccord assure l'alignement total des fils.

### c.5) Les avantages de la fibre :

La fibre présente de nombreux avantages comparés par rapport les réseaux en cuivre.

Elle possède une plus grande bande passante couplée à une vitesse plus élevée. La quantité d'information transmise par un câble change la donne ! Au contraire de ce que l'on pourrait penser, elle n'est pas chère : il est possible de fabriquer des kilomètres de câbles moins chers qu'un équivalent cuivre. De plus, le signal est mieux conservé. Enfin, elle possède une meilleure durée de vie, environ 100 ans.

En conclusion, l'utilisation de la fibre optique représente une révolution dans l'ère du numérique. Elle propose une bande passante illimitée. Sa vitesse de transfert multipliée par cent par rapport les câbles en cuivre. Elle devient indispensable pour les structures professionnelles, notamment spécialisées dans les services de téléphonies, visioconférence...

#### d) Le guide d'onde métallique :

Ce support est utilisé en télécommunications aux hyperfréquences (3GHz à 300GHz) pour la transmission sur courte distance de signaux à très haute puissance, par exemple comme tronçon final de connexion d'une antenne radar. Il est constitué d'un seul conducteur dont la section transversale est creuse, de forme rectangulaire ou circulaire.

Le laiton, qui est un alliage Cu-Zn, est le métal conducteur le plus utilisé.



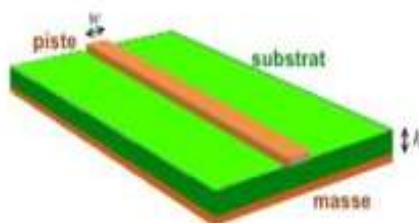
**Figure II.12 : Modèle de guide d'onde métallique**

Une onde électromagnétique est guidée le long du vide intérieur de la structure.

### e) Les lignes imprimées :

C'est un support de transmission miniature utilisé en hyperfréquence au sein d'un même dispositif où sont intégrés l'émetteur et le récepteur que cette ligne relie.

La ligne imprimée est constituée de deux conducteurs plans séparés par une couche isolante appelée substrat diélectrique sur laquelle ils sont déposés. Il existe diverses configurations géométriques de conducteurs, mais la ligne micro-ruban est la plus représentative.



**Figure II.13 : Modèle de ligne imprimée**

Une couche de cuivre recouvre entièrement une face du substrat et forme la masse du signal. Une piste en cuivre sur la face opposée (le micro-ruban), guide le signal électrique.

L'impédance caractéristique de la ligne micro-ruban dépend de la permittivité du substrat et du rapport largeur  $w$  du ruban sur épaisseur  $h$  du substrat. Dans le cas où le substrat est de l'Epoxy,  $w/h = 2$  donne une impédance caractéristique de  $50\Omega$ .

### II.8.2 Les Supports Libres :

#### a) Les Faisceaux Hertziens :

L'onde électromagnétique est rayonnée par une antenne aérienne au niveau de l'émetteur, elle se propage en ligne droite dans l'espace, et elle est détectée par une antenne au niveau du récepteur.

Cette onde est très souvent désignée par onde hertzienne ou onde radio.

Des systèmes de télécommunications par ondes hertziennes existent pour toutes les fréquences, de 3 kHz jusqu'à 300 GHz, qu'on désigne par Radio Fréquences RF.

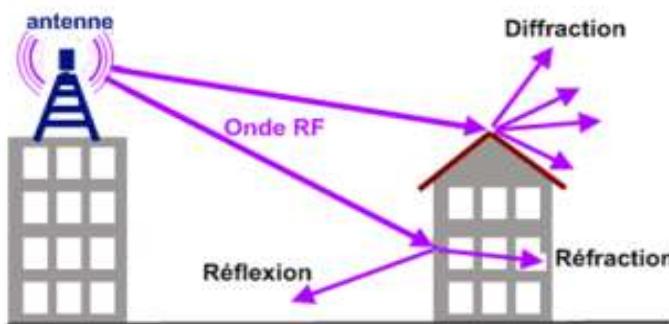
En espace libre, l'onde hertzienne se propage à la vitesse de la lumière :  $c = 3.10^8$  m/s.

Cette propagation est généralement assimilée à une propagation dans le vide par des ondes électromagnétiques, ces ondes sont les constituants d'un couplage entre un champ électrique E et d'un champ magnétique H.

L'intensité de l'onde hertzienne varie en  $1/r$ , r étant la distance parcourue par l'onde ou de façon équivalente la distance qui sépare la source d'émission et le point de détection de l'onde en visibilité directe.

Ceci signifie en pratique que l'onde hertzienne en propagation libre subit une atténuation due uniquement à la distance parcourue, et proportionnelle à celle-ci, en l'absence de tout obstacle ou matériau traversé.

Cette onde interagit avec les obstacles et les matériaux qu'elle traverse selon les lois de l'optique géométrique. Comme un rayon lumineux, elle peut subir une réflexion, une réfraction, ou une diffraction.



**Figure II.14 : Les phénomènes de Réflexion, Réfraction et Diffraction**

### a.1) Les Avantages et des Inconvénients des FH :

Comme tout système de transmission FH présente des avantages et des inconvénients :

**a.1.1) Principaux avantages :**

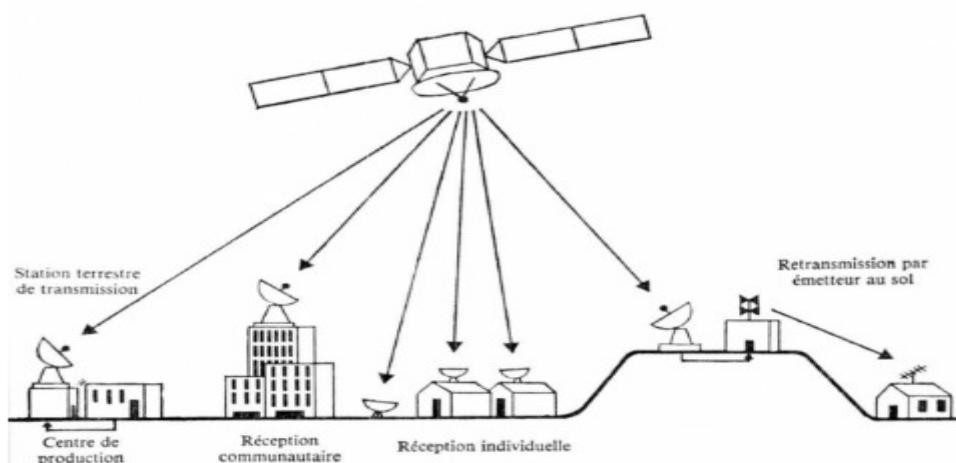
- \*/ Faible coût de déploiement comparé à la fibre optique.
- \*/ Possibilité d'avoir des débits et des portées très élevées.
- \*/ Matériel flexible et évolutif.

**a.1.2) Inconvénients majeurs :**

- \*/ Ces ondes sont principalement sensibles aux :
  - Masquages (relief, végétation, bâtiments, ...)
  - Précipitations.
  - Conditions de réfractivité et de réflexion de l'atmosphère.
- \*/ Obligation de vue directe entre les paraboles (LOS : Line Of Sight).
- \*/ Liaison sensible aux intempéries, notamment lors de fortes pluies.

**b) Les Liaisons Satellitaires :**

Le satellite est de servir de relai entre deux points éloignés de la Terre, qui seront beaucoup plus longs et difficiles à atteindre en suivant la courbure de la surface de la Terre. Ainsi un système satellitaire, est un système triangulaire dont les trois points sont constitués d'une station d'émission, du satellite, et d'une station de réception.



**Figure II.15 : Principe de Télédiffusion par Satellite**

Le lien entre ces trois points est l'air, qui constitue le canal de transmission d'un signal radioélectrique.

La communication entre les stations terriennes et les satellites se faites par les ondes hertziennes (liaisons montantes de la Terre au satellite, liaisons descendantes du satellite à la Terre).

Les systèmes de télécommunications par satellites sont classés en fonction de l'altitude des satellites. On distingue ainsi :

1. **GEO** (Geostationary Earth Orbit) qui correspond à des satellites évoluant sur l'orbite géostationnaire.
2. **MEO** (Medium Earth Orbit) qui correspond à des satellites évoluant sur l'orbite médiane de 5.000 à 15.000 km et au-dessus de 20.000 km.
3. **LEO** (Low Earth Orbit) qui correspondent à des satellites évoluant en orbite basse de 700 à 1.500 km.

Les systèmes de télécommunications utilisent les satellites pour divers services, un satellite de télécommunications offre des possibilités bien supérieures aux moyens classiques de liaisons intercontinentales comme les câbles sous-marins, services de téléphonie mobile les services de télédiffusion et enfin les services de transmission de donnée.

## II.9 Conclusion :

Ce chapitre a eu pour but d'introduire les éléments qui y figurent dans la chaîne de transmission. Ainsi les différents types de supports de transmission et leurs caractéristiques. Les types de transmission.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons en détail les Systèmes de Communication analogiques.

## *Chapitre III*

# *Techniques de Transmission Analogique*

## Chapitre III

# Techniques de Transmission Analogique

### **III.1 Introduction :**

Le terme analogique indique qu'une chose est suffisamment semblable à une autre d'un certain point de vue, pour que leur analogie permette de dire de l'une ou de faire avec l'une ce qui s'applique aussi à l'autre.

La transmission analogique est simple dans son principe, mais utilise une grande largeur de bande. Elle réserve pour chaque signal une bande de fréquences aussi large que la bande passante du signal. Mais le signal n'occupe jamais que des portions de cette bande.

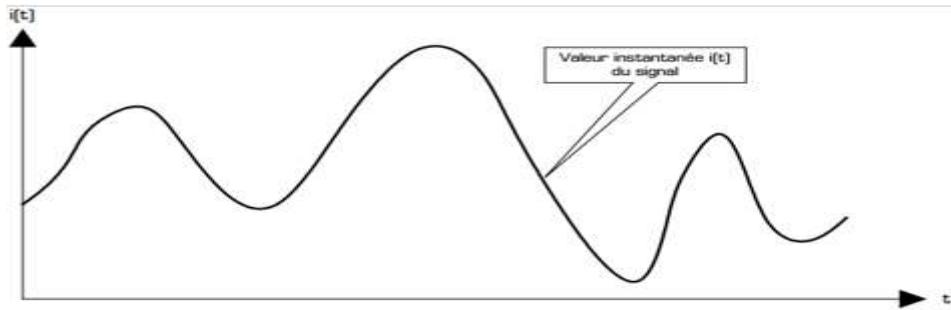
### **III.2 Les Signaux :**

#### **III.2.1 Définition d'un Signal :**

On appelle signal toute grandeur physique qui varie dans le temps. Cette variation peut être soit continu (signal analogique) soit discrète (signal numérique). Donc c'est une représentation physique de l'information qui sorte de la source et arriver à la destination.

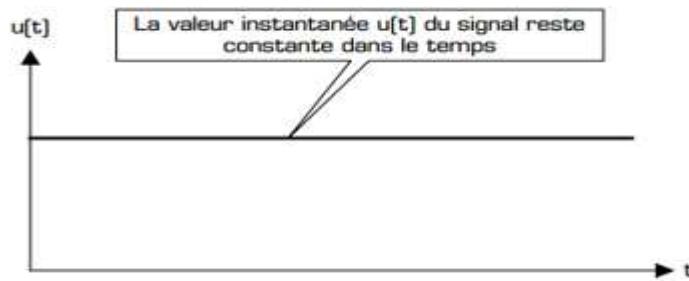
Dans sa forme analogique, un signal peut être continu (si l'amplitude est constante sur un intervalle de temps donné) ou variable (si l'amplitude varie continûment en fonction du temps). Dans certains cas, le signal analogique varie suivant des lois mathématiques simples (signal sinusoïdal par exemple).

La figure suivante représente le courant généré par un microphone. Il s'agit d'un signal analogique variable (restitution des sons captés). C'est un signal aléatoire car il n'y a pas une loi mathématique qui définit ce signal.



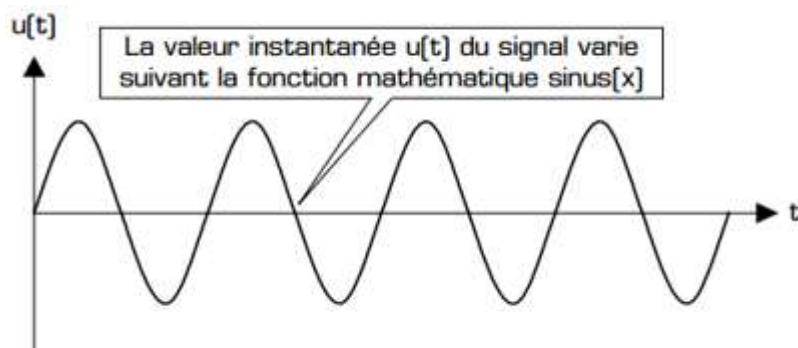
**Figure III.1 : Exemple d'un Signal Analogique Variable**

La figure suivante représente la tension disponible aux bornes d'une pile électrique : il s'agit d'un signal continu.



**Figure III.2 : Exemple d'un Signal Analogique Continu**

La figure qui suit correspond à l'image de la tension secteur délivrée par EDF : c'est un signal alternatif sinusoïdal. Il s'agit d'un signal déterministe car il est défini par une loi mathématique.



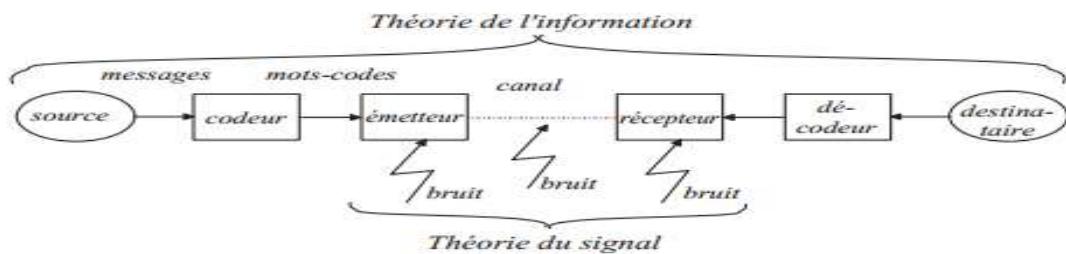
**Figure III.3 : Exemple d'un Signal Alternatif Sinusoïdale.**

### III.2.2 Définition de Bruit :

Un bruit est un phénomène de perturbation qui gêne la transmission ou l'interprétation du signal.

Dans un système de communication, l'ajout du bruit lors de la transmission d'un message pouvant entraîner la dégradation de ce message pendant la réception.

La figure suivante montre les positions dans lesquelles on peut trouver le bruit dans la chaîne transmission.



**Figure III.4 : Les positions de bruit dans la chaîne de transmission**

### III.2.3 Caractéristiques d'un signal analogique :

Tout signal électrique (tension ou courant) est défini par :

- La forme d'onde
- L'amplitude (ou l'amplitude crête à crête)
- La période (ou la fréquence)
- La valeur moyenne
- Le rapport cyclique (dans le cas des signaux carrés et rectangulaires).

### III.2.4 Classification des signaux :

On peut classer les signaux selon les paramètres suivants :

#### 1. Selon leurs Origines :

- Télécommunications : son, images, données... etc.
- Géophysique : évolution d'une température, de pression ...etc.
- Biologie : électrocardiogramme, électro-encéphalogramme...etc.

#### 2. Selon leurs Dimensions :

- Monodimensionnel (1D)
- Bidimensionnel (2D)

#### 3. Selon leurs Morphologies : On distingue les signaux

- À évolution temporelle continue ou discrète
- À amplitude continue ou discrète

En télécommunications, on distingue aussi les types de signaux suivants :

- a) **Les signaux déterministes** : Il s'agit d'un signal dont on peut représenter l'évolution grâce à une fonction mathématique. On peut citer le signal sinusoïdal, rampe, échelon, impulsion ou Dirac,.... . Un signal déterministe peut être périodique ou non périodique.
- b) **Les signaux aléatoires** : Un signal aléatoire est un signal dont on ne peut deviner l'évolution. Néanmoins, tout signal aléatoire peut être caractérisé mathématiquement, mais aucune fonction mathématique ne permet de prédire l'évolution du signal à l'instant donné. Un signal aléatoire peut être stationnaire ou non stationnaire.

### III.2.5 Forme des Signaux élémentaires :

Les formes des signaux les plus utilisés en électronique sont les suivantes :

- a) **Fonction Signe** : La fonction signe, notée  $\text{sgn}$  est une fonction réelle de la variable réelle définie par :

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ -1, & t < 0 \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

Usuellement, on prend  $\text{sgn}(0) = 0$ . Avec cette convention, la fonction  $\text{sgn}$  est une fonction impaire.

$$\text{sgn}(t) = -\text{sgn}(-t) \quad \forall t$$

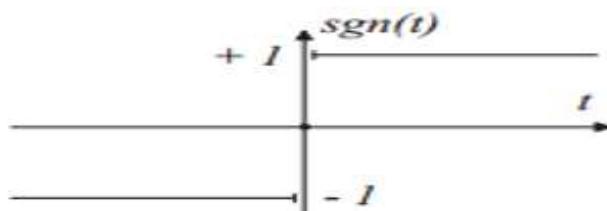


Figure III.5 : Représentation graphique de la Fonction Signe

**b) Fonction Echelon Unité :** La fonction échelon unité, ou simplement échelon ou fonction de Heaviside, notée  $\mathcal{E}$ , est une fonction réelle de la variable réelle définie par :

$$\mathcal{E}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (\text{II.2})$$

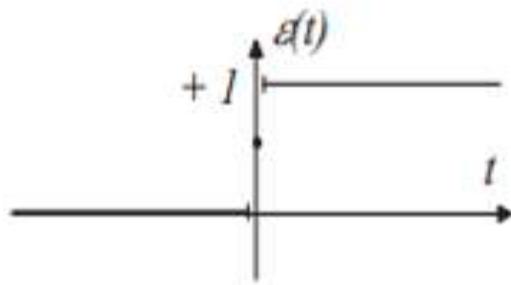


Figure III.6 : Représentation graphique de la Fonction Echelon Unité

**c) Fonction Rampe :** La fonction rampe, notée  $r$ , est une fonction réelle de la variable réelle définie par :

$$r(t) = \int_{-\infty}^t \mathcal{E}(u) du \quad (\text{II.3})$$

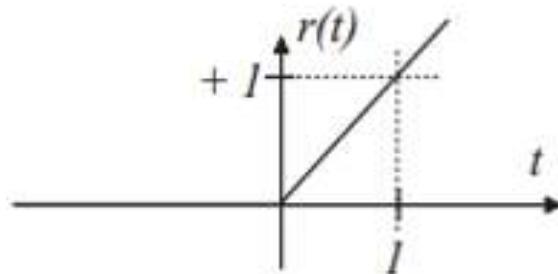


Figure III.7 : Représentation graphique de la Fonction Rampe

**d) Fonction Rectangle ou Porte :** La fonction rectangle, ou fonction porte, de largeur 1, notée  $rect$  est une fonction réelle de la variable réelle définie par :

$$rect(t) = \mathcal{E}(t + 1/2) - \mathcal{E}(t - 1/2) \quad (\text{II.4})$$

On remarque que l'aire de la fonction rectangle de largeur unité vaut 1.

La Fonction Rectangle peut décalée dans le temps. Des exemples de ces fonctions sont représentés dans la figure suivante.

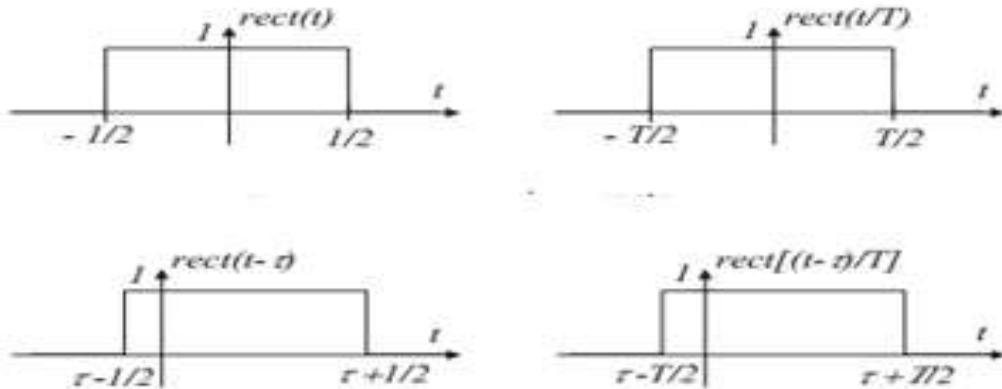


Figure III.8 : Représentation graphique de la Fonction Rectangle (Porte)

e) **Fonction Triangle** : La fonction triangle unité, notée tri, est une fonction réelle de la variable réelle définie par :

$$\text{tri}(t) = \begin{cases} 1 - |t|, & |t| > 0 \\ 0, & \text{si non} \end{cases} \quad (\text{II.5})$$

La Fonction triangle peut décalée dans le temps. Des exemples de ces fonctions sont représentés dans la figure suivante.

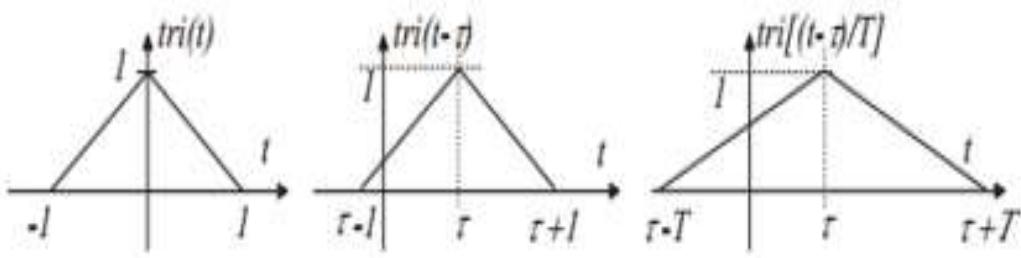


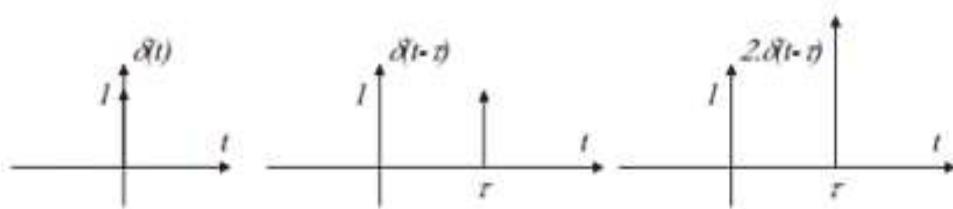
Figure III.9 : Représentation graphique de la Fonction Triangle

- f) **Distribution de Dirac :** La distribution ou impulsion de Dirac, notée  $\delta(t)$ , vérifie la relation suivante :

$$\delta(t)=0 \quad \text{si } t \neq 0 \quad (\text{II.6})$$

La notion de distribution est un complément mathématique indispensable de la notion de fonction, notamment pour décrire des événements infiniment brefs mais de puissance finie non nulle ou le phénomène d'échantillonnage.

La Fonction impulsion de Dirac peut décalée dans le temps. Des exemples de ces fonctions sont représentés dans la figure suivante.



**Figure III.10 : Représentation graphique de la Fonction de Dirac**

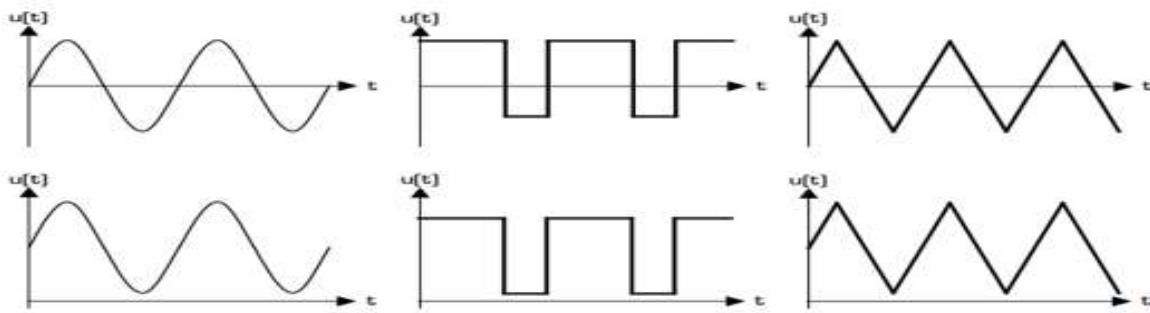
### III.2.6 Amplitude et amplitude crête à crête d'un signal :

L'amplitude d'un signal est la différence entre sa valeur maximale et sa valeur moyenne.

L'amplitude crête à crête d'un signal est la différence entre sa valeur maximale et sa valeur minimale.

**Exercice 01 :** Sur les 6 signaux suivants indiquer :

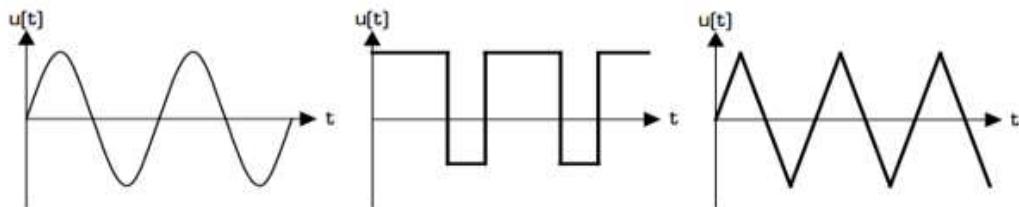
L'amplitude  $A$  et L'amplitude crête à crête  $A_{cc}$   
La valeur maximale  $U_{max}$  et La valeur minimale  $U_{min}$



### III.2.7 Période d'un signal :

La période d'un signal est la durée au bout de laquelle le signal se reproduit identique à lui-même. La période est notée  $T$ , et elle s'exprime en secondes(s).

**Exercice 02 :** Indiquer avec une flèche la période  $T$  des signaux suivants :



### III.2.8 Fréquence d'un signal :

La fréquence est notée  $f$  et elle s'exprime en hertz(Hz).

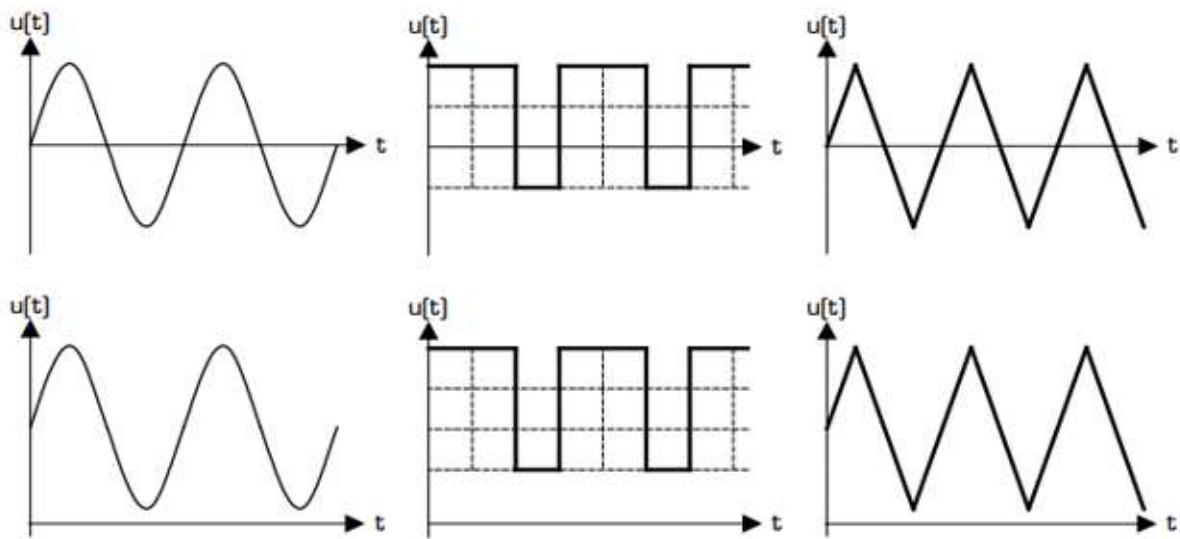
La fréquence (notée  $f$ ) est le nombre de fois ou le signal est reproduit par seconde.

### III.2.9 Valeur Moyenne d'un Signal :

La valeur moyenne est égale à la surface algébrique occupée par le signal durant une période, divisée par la période du signal :

$$V_{max} = \frac{\text{surface algébrique du signal}}{T} \quad (\text{II.7})$$

**Exercice 03 :** Sur les 6 signaux suivants indiquer la valeur moyenne  $U_{\max}$



### III.2.10 Rapport Cyclique d'un Signal Rectangulaire

Un signal rectangulaire est caractérisé par 3 grandeurs temporelles :

- Le temps durant lequel le signal reste au niveau haut, appelé temps haut et noté  $t_H$
- Le temps durant lequel le signal reste au niveau bas, appelé temps bas et noté  $t_B$
- La période du signal noté  $T$ .

Le rapport cyclique est uniquement défini pour les signaux de forme carrée ou rectangulaire.

Le rapport cyclique est égal au rapport entre le temps haut du signal et sa période.

Le rapport cyclique  $\varepsilon$  n'a pas d'unité.

$$\varepsilon = \frac{\text{temps haut du signal}}{\text{période du signal}} = \frac{t_H}{T} \quad (\text{II.8})$$

**Exercice 04 :** Sur les 2 signaux suivants indiquer :

- Le temps haut  $t_H$  et le temps bas  $t_B$  du signal.
- La période  $T$ .
- La valeur du rapport cyclique.



### III.3 Principe de la Transmission Analogique :

La communication analogique est un mode de communication utilisé depuis très longtemps notamment dans la technologie téléphonique. Il s'agit en effet d'une activité beaucoup moins consommatrice de ressources, tant financières que technologiques que la transmission numérique.

Les techniques les plus couramment utilisées pour la transmission des signaux analogiques reposent sur le concept de modulation. Cette opération consiste à adapter le message à transmettre au canal de transmission. Alors 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 ces caractéristiques (amplitude, fréquence ou phase), c'est la raison pour laquelle

la transmission analogique est généralement appelée transmission par modulation d'onde porteuse.

Selon le paramètre de l'onde porteuse que l'on fait varier, on distinguera trois types de transmissions analogiques :

- La transmission par modulation d'amplitude de la porteuse
- La transmission par modulation de fréquence de la porteuse
- La transmission par modulation de phase de la porteuse

### III.3.1 Synoptique d'une chaîne de transmission analogique :

Une chaîne de transmission analogique (figure suivante) représente l'ensemble des éléments nécessaires à la transmission d'une information de nature analogique. Elle est composée d'un émetteur, d'un canal de propagation et d'un récepteur.

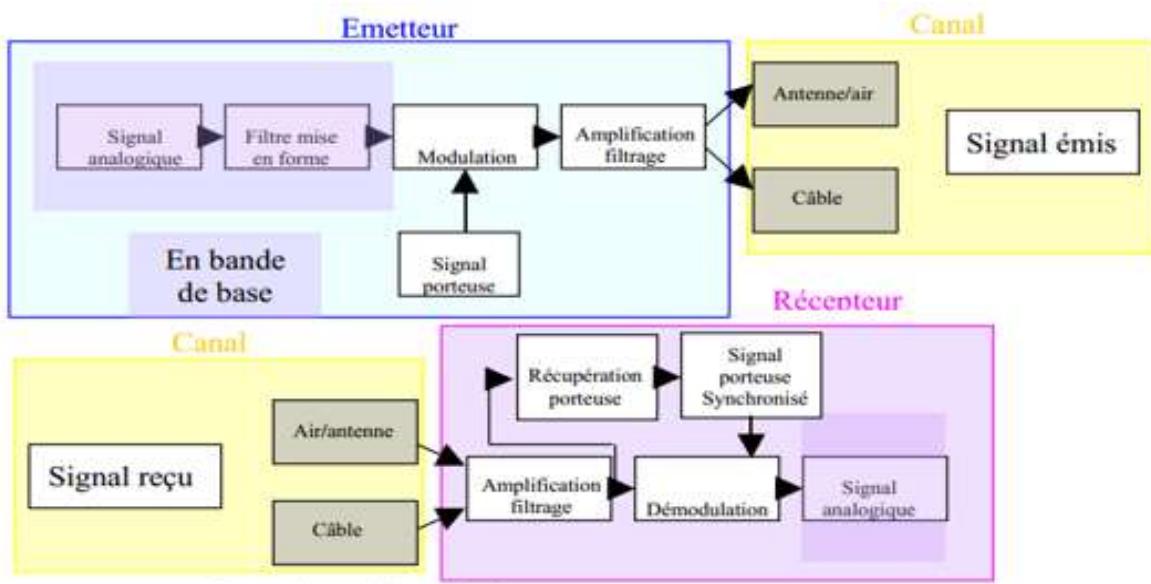


Figure III.11 : Synoptique d'une chaîne de transmission analogique

Les signaux à transmettre sont le plus souvent soit des signaux audiofréquence provenant d'un microphone excité par le son, soit des signaux vidéofréquence provenant de la caméra de prise de vue de télévision. Ce sont des signaux complexes à composantes toutes de basse fréquence (l'oreille est sensible à des sons de fréquences comprises entre 20Hz et 20KHz) ou en partie de basse fréquence (les signaux relatifs à une information vidéo ont des fréquences allant de 25Hz à 1MHz environ).

A ces signaux, constituant l'information à transmettre, correspondent des ondes que l'on ne peut pas propager à grande distance par rayonnement dans l'atmosphère, car la puissance rayonnée, faible puisque proportionnelle au carré de la fréquence, serait perdue entre le départ et l'arrivée. En plus, la transmission directe par onde hertzienne d'un signal BF est impossible. Car les dimensions des antennes, étant de l'ordre de  $\frac{1}{4}$  de la longueur d'onde seraient prohibitives.

### III.3.2 La Modulation :

#### A. Généralités et Définitions :

Lorsque vous souhaitez discuter avec une personne située dans la même pièce que vous, il vous suffit de parler suffisamment fort pour que la personne vous entende. La voix émise est une onde acoustique.

Si maintenant, plusieurs personnes souhaitent discuter simultanément dans la même pièce ou si votre interlocuteur est éloigné, il faut trouver une technique pour transmettre votre voix jusqu'à votre correspondant.

Si votre correspondant est éloigné, un micro, un amplificateur et un hautparleur peuvent être suffisant. Mais votre voix étant amplifiée, cette technique ne peut être employée que lorsque vous vous adressez seul vers un public.

Une autre technique consiste à transformer l'onde acoustique (la voix) en une onde électromagnétique via une antenne.

Il existe deux catégories d'ondes. Les ondes matérielles (acoustique, pression comme le tremblement de terre) et les ondes électromagnétiques.

On peut ainsi récupérer le signal électrique à la sortie du microphone, l'amplifier et le transmettre via une antenne. Ce signal est évidemment inaudible (il ne s'agit plus d'une onde acoustique). Votre correspondant n'a plus qu'à récupérer l'onde électromagnétique et transformer le signal électrique en un signal acoustique via le hautparleur.

Par ces deux techniques, le spectre de votre voix n'est pas modifié, la transmission est dite en bande de base.

**B. Autres Définition :**

**B.1 Le Spectre :** le Spectre d'un signal est la représentation fréquentielle du signal. En musique, la note 'LA' est une onde sinusoïdale qui se répète 440 fois en une seconde. Le signal est périodique (sinusoïde), la période est de 1/440 seconde.

La fréquence est l'inverse de la période. La fréquence est donc de 440 Hz.

On peut prendre un morceau de musique quelconque et on l'analyser le avec un logiciel, on va regarder son spectre, celui-ci est défini entre 0 Hz et 20 kHz.

**B.2 Transmission en bande de base :** Une transmission en bande de base consiste à transmettre un signal sans déplacer son spectre.

On peut donc modifier le spectre en transformant le signal par un autre (filtre de mise en forme) mais pas sa bande spectrale (c'est à-dire l'intervalle fréquentiel du signal brut à transmettre). La technique couramment utilisée pour transmettre le signal consiste à déplacer son spectre.

En règle générale, on translate son spectre vers une plus haute fréquence par une modulation linéaire ou non linéaire.

Une modulation est dite linéaire quand l'opération consiste uniquement à translater son spectre vers une plus haute fréquence comme le montre là Nous reviendrons sur cette différence ultérieurement

**B.3 La Modulation :** la modulation consiste à transformer un signal connu par le signal à transmettre. Le signal à transmettre est appelé signal d'information. Lorsqu'on module un signal, on appelle :

- La Porteuse : le signal connu
- Le Modulant : le signal d'information
- Le Modulé : le signal résultant de la transformation de la porteuse par le modulant, le signal connu est généralement un signal sinusoïdal défini par son amplitude et sa fréquence. La fréquence est appelée fréquence porteuse.

On trouve parfois un signal d'impulsion (radar) et très rarement d'autres signaux.

Généralement toutes les modulations grandes publiques utilisent des porteuses sinusoïdales, mais il existe néanmoins d'autres types de porteuses.

**B.4 Le Mélangeur :** Un mélangeur est un circuit électronique qui effectue la multiplication entre deux signaux. Couramment utilisé dans les émetteurs/récepteurs HF, un mélangeur effectue une multiplication entre un oscillateur local (porteuse à  $f_p$ ) et un signal modulé ou modulant.

Au niveau du spectre, cela revient à une simple translation de +/-  $f_p$  du signal. On observe ainsi deux bandes, dont une est nécessairement filtrée.

**B.5 L’Amplificateur :** L’amplificateur est un composant électronique qui permet d’amplifier le signal par un gain G. Idéalement, il amplifie sans déformer le signal. Idéalement, cela revient à multiplier chaque amplitude du spectre par le facteur G. Cependant, l’amplificateur ne peut réaliser une telle opération, l’ensemble du spectre n’est pas multiplié par le même gain et donc le signal est déformé. On appelle plage d’amplification, la bande de fréquence sur laquelle l’amplificateur peut multiplier les raies du spectre par le gain G. Plus cette bande est élevée et plus l’amplificateur est cher. Pour réduire le coût du récepteur, on préfère choisir un mélangeur et un amplificateur faible bande.

### C. La Modulation d’Amplitude (AM) :

#### C.1 Définition :

La modulation d’amplitude est la première modulation employée en Télécommunication de par sa simplicité de mise en œuvre.

La modulation d’amplitude consiste à modifier l’amplitude de la porteuse par une fonction linéaire ( $y = Ax + b$ ) du signal à transmettre. Soient :

- La Porteuse :  $V_p(t) = S_p \sin(2\pi f_p t + \Phi_p)$  (II.10)

- Le Modulant (Signal d’information) :  $S_i(t)$  (II.11)

- Le Signal Modulé :  $V_i(t) = [S_p + K S_i(t)] \sin(2\pi f_p t + \Phi_p)$  (II.12)

Avec k est un facteur de proportionnalité, souvent appelé sensibilité du modulateur.

## C.2 Taux de Modulation (m) :

Dans le cas où le signal modulant est un signal sinusoïdal, on obtient :

$$V_i(t) = [S_p + K S_i \sin(2\pi f_i t + \Phi_i)] \sin(2\pi f_p t + \Phi_p) \quad (\text{II.13})$$

On préfère l'écriture suivante :

$$V_i(t) = [S_p + m \sin(2\pi f_i t + \Phi_i)] \sin(2\pi f_p t + \Phi_p) \quad (\text{II.14})$$

Le taux de modulation, notée  $m$  est caractéristique du modulateur. Il représente l'amplitude du signal modulé par rapport à l'amplitude de la porteuse.

Sur la figure ci-dessous, on représente différentes valeurs de  $m$ .

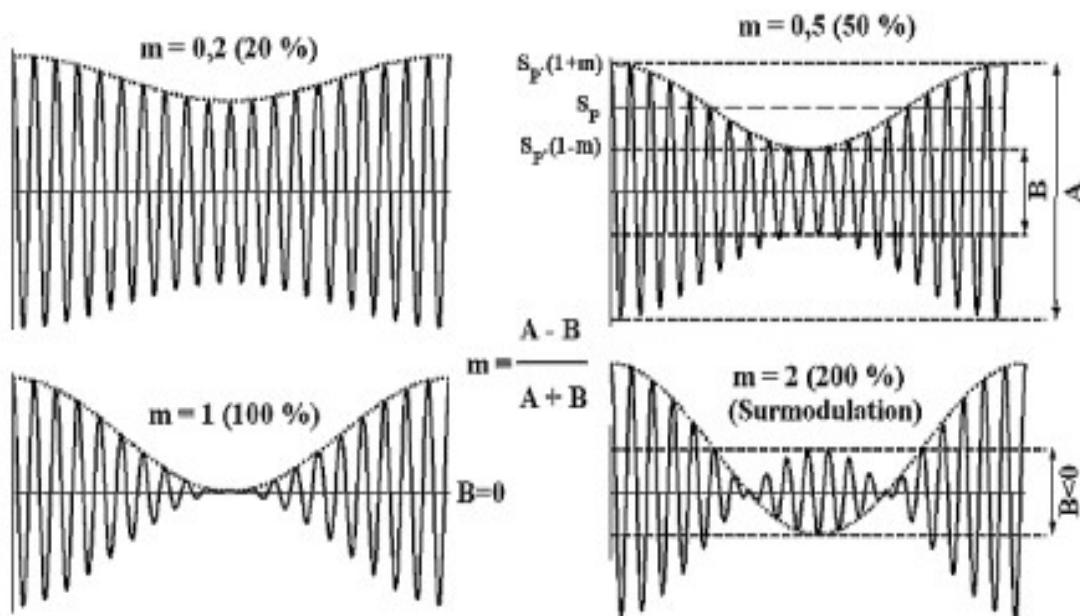


Figure III.12 : Les différentes valeurs d'indice de modulation

### C.3 Bande occupée :

La bande occupée correspond à la largeur de bande nécessaire à la transmission du signal après la modulation. La bande de largeur minimale est la bande spectrale minimale à transmettre pour être capable de récupérer le signal émis. En réalité, on cherche à transmettre le signal d'information par un circuit le plus simple possible, tant à l'émission qu'à la réception (coût du modulateur/démodulateur).

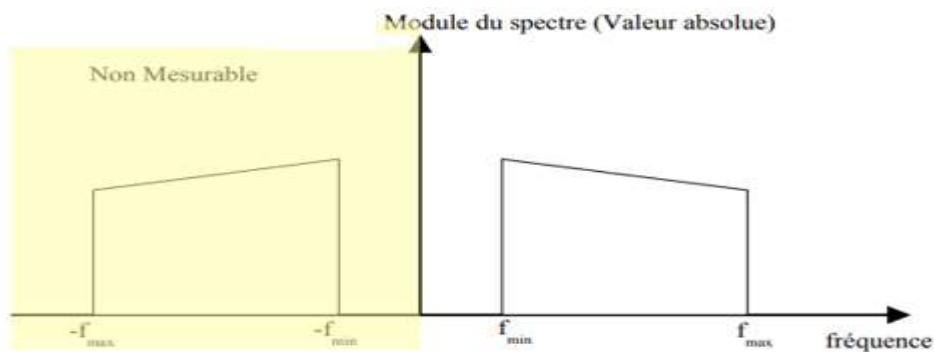
D'un autre côté on souhaite réduire au maximum la bande occupée pour pouvoir transmettre le plus d'information dans une même largeur de bande autorisée. Cependant, ces deux notions sont antinomiques. Il faudra donc faire un choix entre simplicité et bande occupée.

### C.4 Occupation spectrale par une modulation d'amplitude :

Pour une transmission d'amplitude basique, la bande occupée est double de la bande de base du signal d'information.

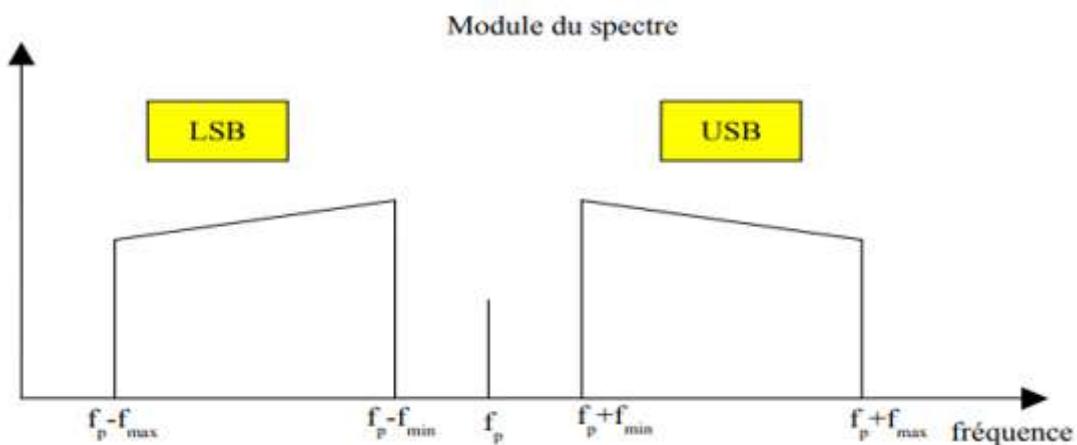
Nous avons vu en cours Système que tout signal physique possède un spectre dont le module est symétrique autour de l'axe des ordonnées, comme représenté sur la figure suivante.

Cependant, physiquement les fréquences négatives n'existent pas et par conséquent la mesure du spectre d'un signal quelconque est représentée uniquement pour des fréquences positives.



**Figure III.13 : Représentation fréquentielle d'un signal**

Les fréquences négatives existent en théorie ? Lorsqu'on translate le spectre autour d'une fréquence porteuse  $f_p$ , on translate la totalité du spectre. On retrouve donc le spectre (mesurable).



**Figure III.14 : Spectre d'un signal**

### C.5 Puissance émise :

La puissance émise représente la puissance du signal modulé à l'entrée du câble ou à la sortie de l'antenne. La puissance est définie par :

$$P_w = 1/T \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (\text{II.15})$$

La puissance s'exprime en Watt, avec la tension u en Volt et l'intensité i en Ampère. On préfère couramment exprimer cette notion en dB par la relation suivante :

$$P_{dB} = 10 * \log_{10} (P_w) \quad (\text{II.16})$$

### C.6 Différentes modulations d'amplitudes :

Pour économiser la puissance transmise, on peut supprimer la raie à la fréquence porteuse et/ou supprimer une des deux bandes.

La première technique s'appelle : ***Modulation d'amplitude sans Porteuse.***

La seconde est la ***Modulation d'amplitude à Bande Latérale Unique.***

L'avantage de la deuxième méthode est de réduire l'occupation de la bande occupée et en plus réduction de la puissance émise.

### C.6.1 Modulation d'amplitude sans porteuse :

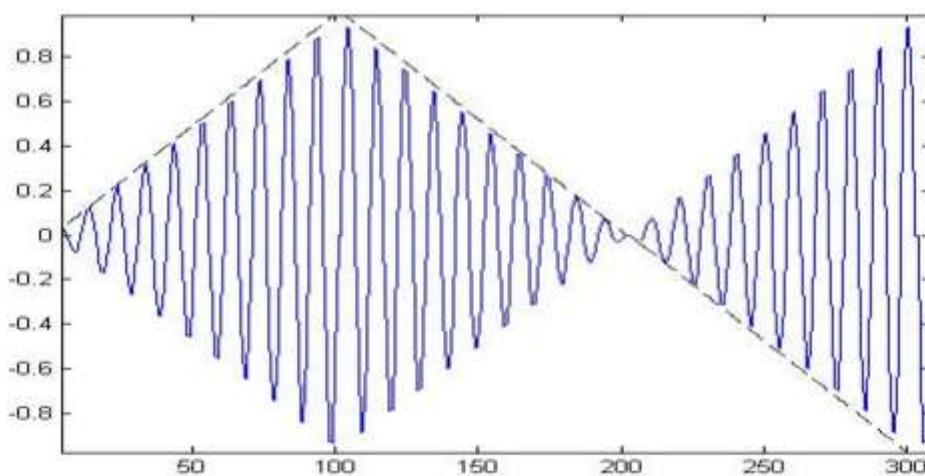
Comme son nom l'indique, la modulation d'amplitude sans porteuse consiste à émettre le signal modulé défini au en supprimant le terme de la porteuse.

Cela revient donc à émettre le signal suivant :

$$V_i(t) = [S_p + \dot{a} S_i(t)] \sin(2\pi f_p t + \Phi_p) \quad \text{avec } S_p=0 \quad (\text{II.17})$$

Si nous transmettons un signal triangulaire de période T par une modulation d'amplitude autour d'une porteuse  $f_p \gg 1/T$ . Le signal modulé est représenté par la courbe suivante :

En trait plein c'est le signal modulé et le trait discontinu représente le signal triangulaire.



**Figure III.15 : Représentation temporelle d'un signal AM sans porteuse**

La représentation fréquentielle est similaire à la courbe représentée sur la figure III.16, excepté la porteuse qui est supprimée.

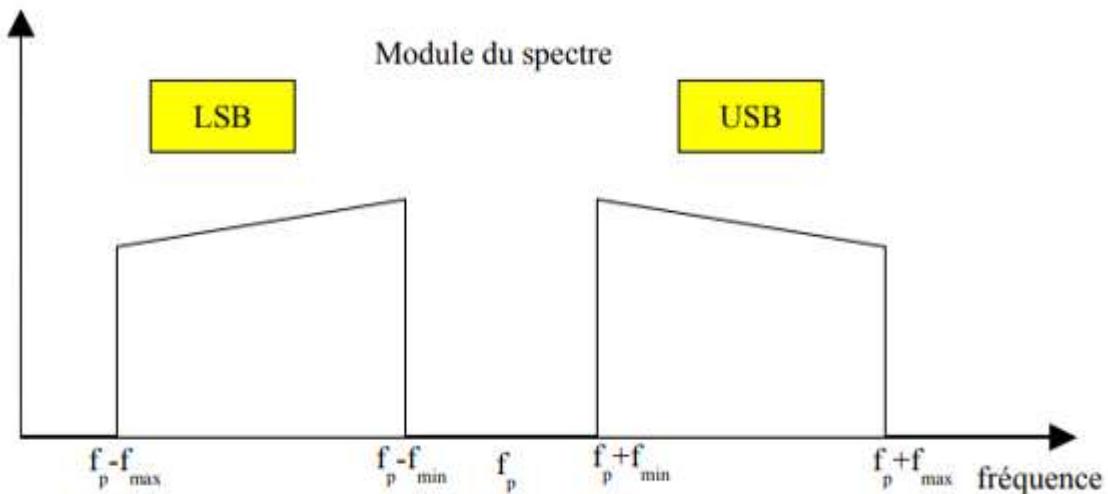


Figure III.16 : Représentation fréquentielle d'un signal AM sans porteuse

### C.6.2 Modulation d'Amplitude à Bande Latérale Unique (BLU) :

Nous savons que moduler un signal autour d'une porteuse  $f_p$  par le biais d'une modulation d'amplitude consistait à translater le spectre en bande de base vers la fréquence porteuse.

De ce fait l'information transmise autour de la porteuse est identique (USB, LSB). On peut par conséquent réduire l'occupation spectrale en ne transmettant qu'une seule bande sur les deux.

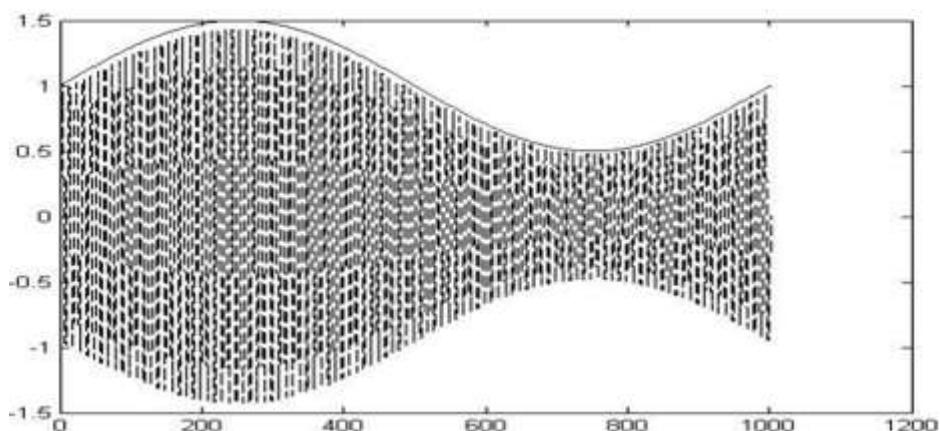
Dans la modulation d'amplitude BLU, on ne transmet que la bande supérieure (USB) ou uniquement la bande inférieure (LSB).

### C.7 Démodulation d'amplitude :

La démodulation est la fonction inverse de la modulation. Elle consiste à extraire le signal modulant (information) à partir du signal modulée.

Parmi les méthodes utilisées dans la démodulation, on peut utiliser l'enveloppe du signal modulée.

L'Enveloppe d'un signal c'est la forme Basse Fréquence du signal. Sur la figure suivante, l'enveloppe du signal est représentée en trait plein et le signal modulé en pointillé.



**Figure III.17 : La Démodulation d'amplitude**

### C.7.1 Détection d'enveloppe :

La détection d'enveloppe permet de récupérer l'enveloppe d'un signal. Un tel procédé est mis en œuvre pour démoduler des signaux modulés classiquement en amplitude.

La détection d'enveloppe récupère le signal modulé partir de son amplitude seule et ne nécessite pas la connaissance de la fréquence porteuse. Il s'agit donc bien d'une démodulation non cohérente.

#### D. Modulation Angulaire (FM et PM) :

La modulation d'amplitude repose sur la variation de l'amplitude de la porteuse en fonction de l'information à transmettre. Le signal est ainsi très sensible au bruit et à l'atténuation.

Pour la modulation de phase et de fréquence, l'amplitude est fixe, l'information est portée par la variation de la phase ou de la fréquence.

C'est de deux types de modulations sont aussi dénommés Modulation Angulaire.

##### D.1 Modulation de Fréquence (FM) :

Un signal sinusoïdal s'exprime de la façon suivante :

$$S(t) = A \cdot \cos [\Phi_i(t)] \quad (\text{II.18})$$

Par définition, la fréquence instantanée  $f_i$  est commandée par le signal modulant  $S_i(t)$  autour d'une porteuse  $f_p$  :  $f_i = f_p + Kf.m(t)$  (II.19)

$Kf$ : c'est la sensibilité du modulateur et elle s'exprime en  $\text{Hz.V}^{-1}$ .

$$\text{La pulsation instantanée est : } \omega_i = 2\pi f_p + 2\pi K_f \cdot m(t) \quad (\text{II.20})$$

La phase instantanée du signal modulé est donnée par l'expression suivante :  $\Phi_i(t) = \int \omega_i dt = 2\pi f_p t + 2\pi K_f \int m(t) dt$  (II.21)

L'expression du signal modulé est donc :

$$S(t) = A \cos(2\pi f_p \cdot t + 2\pi K_f \int m(t) dt) \quad (\text{II.22})$$

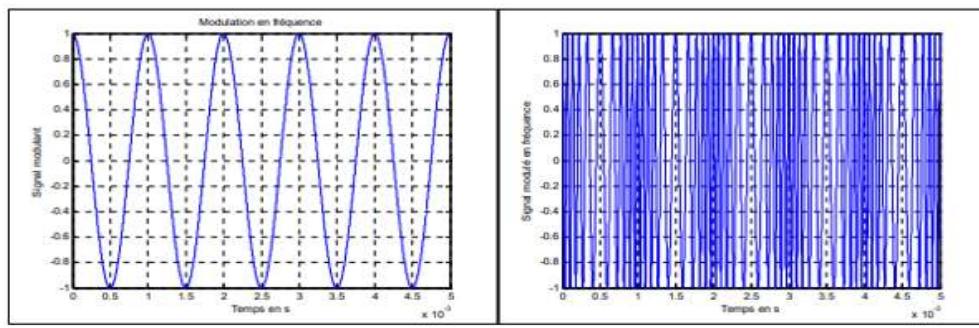


Figure III.18 : Allure temporelle du signal FM

#### D.2 Modulation de Phase (PM) :

On écrit que la phase  $\theta$  est proportionnelle au signal modulant.

$$\Phi_i(t) = 2\pi f_p \cdot t + K_\Phi \cdot m(t) \quad (\text{II.23})$$

L'expression du signal modulé est :

$$S(t) = A \cos(2\pi f_p \cdot t + K_\Phi \cdot m(t)) \quad (\text{II.24})$$

$$\text{Quand } m(t) \text{ est sinusoïdal : } m(t) = V_m \cos(\omega_m \cdot t) \quad (\text{II.25})$$

La grandeur  $\Delta\Phi = V_m K_\Phi$  (II.26) s'appelle l'excursion en phase.

### III.3.2 Filtres électriques :

#### A. Définition :

En théorie des circuits électriques, un filtre est un quadripôle qui modifie l'amplitude ou la phase du signal d'entrée en fonction de sa fréquence.

Un filtre n'ajoute pas de nouvelles fréquences au signal d'entrée.

Les filtres sont utilisés dans les systèmes électroniques pour accentuer des signaux dans certaines gammes de fréquence et réduire d'autres signaux dans d'autres gammes de fréquences.

A titre d'exemple, envisageons le cas où un signal utile de fréquence  $f_1$  est contaminé par un signal parasite de fréquence  $f_2$ . Si le signal contaminé passe à travers un circuit qui a un très faible gain à la fréquence  $f_2$  par rapport à son gain à la fréquence  $f_1$ , à la sortie de ce circuit le signal indésirable est négligeable, et le signal utile reste intact.

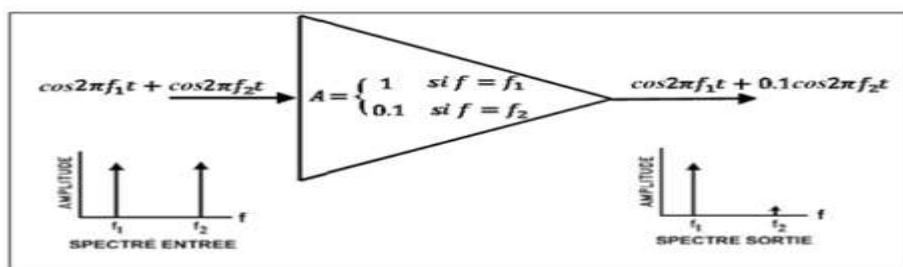


Figure III.19 : Principe du filtrage de fréquence

Le gain du filtre est plus généralement spécifié pour une bande continue de fréquences.

Les filtres étant définis par leurs effets sur les fréquences des signaux, il est plus approprié, et plus utile, de les décrire analytiquement ou graphiquement dans le domaine fréquentiel.

Les courbes de gain et de phase en fonction de la fréquence, Diagramme de Bode, sont communément utilisées pour illustrer les caractéristiques des filtres, et les outils mathématiques les plus utilisés sont basés sur le domaine de la fréquence.

Le comportement dans le domaine fréquentiel d'un filtre est décrit mathématiquement par une fonction de transfert, qui est rapport de la transformée de Laplace du signal de sortie sur celle du signal d'entrée.

La fonction de transfert  $H(s)$  en tension d'un filtre s'écrit :

$$H(s) = \frac{V_s(s)}{V_E(s)} \quad (\text{II.27})$$

Avec  $V_E(s)$  et  $V_s(s)$  sont les transformées de Laplace de la tension d'entrée et de la tension de sortie respectivement.

$S$  : est une variable complexe représentant la fréquence.

La fonction de transfert définit la réponse du filtre à un signal d'entrée quelconque, mais le plus souvent on s'intéresse aux signaux sinusoïdaux continus.

En remplaçant la variable  $s$  par  $j\omega$ , on peut connaître l'effet du filtre sur l'amplitude et la phase du signal d'entrée.

Le module de la fonction de transfert en fonction de la fréquence indique l'effet du filtre sur les amplitudes des signaux à différentes fréquences. Le module de la fonction de transfert en fonction de la fréquence est appelé la réponse en amplitude ou gain.

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{V_S(j\omega)}{V_E(j\omega)} \right| \quad (\text{II.28})$$

A titre d'exemple, observons le circuit simple suivant :

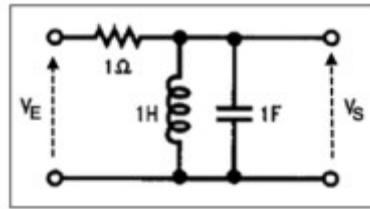


Figure III.20 : Exemple d'un filtre

Sa fonction de transfert est :  $H(j\omega) = \frac{j\omega}{-\omega^2 + j\omega + 1} \quad (\text{II.29})$

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + (1 - \omega^2)^2}} \quad (\text{II.30})$$

## B. Applications :

On peut utiliser les filtres dans plusieurs systèmes, on peut citer :

- Systèmes de télécommunication (téléphone, télévision, radio, transmission de données ... etc.).
- Systèmes d'acquisition et de traitement de signaux physiques (surveillance médicale, ensemble de mesure, radars ... etc.).
- Alimentation électrique ... etc.

Le tableau suivant présente les composants et spécifiés des différents filtres :

Type	Composants	Spécifiés
Filtre Numérique	Circuits logiques intégrés	Signaux numérique F<100MHz Convient en grande série Programmable
Filtre Passifs	Circuit discret L et C	F élevée Pas d'alimentation Non intégrable
Filtre Actifs	AIL, L et C	F<1MHz Besoin d'alimentation

## C. Comparaison entre Filtre Actif – Filtre Passif :

### C.1 Filtre Passif :

- Fonctionne sans alimentation et à des fréquences élevées
- L'utilisation de bobines et de capacités permet d'obtenir tous types de réponse
- Nécessite des bobines : cher (bobine à faible tolérance)
- Difficulté de mise en œuvre pour les filtres d'ordres élevés (étages dépendants)
- La fonction de transfert dépend de la charge qui doit donc être déterminée très précisément
- Performants jusqu'à 500 MHz.

### C.2 Filtre Actif :

- Moins cher en grandes quantités
- Petite taille => parasites moindres - Intégration possible
- Nécessité d'alimentation de tension, consommation d'énergie
- Excursion du signal limité par la saturation des AO et par le bruit des AO
- Les imperfections des AO à hautes fréquences modifient la fonction de transfert du filtre
- La contre-réaction sur les AO peut conduire à l'instabilité du système
- Utilisation pour des fréquences inférieures à quelques 100 kHz.

### D. Autres types de filtres (Fréquences de coupure) :

**D.1 Filtre passe-bas :** Un filtre passe-bas permet uniquement aux signaux dont les fréquences sont inférieures à sa fréquence de coupure de passer sans atténuation.

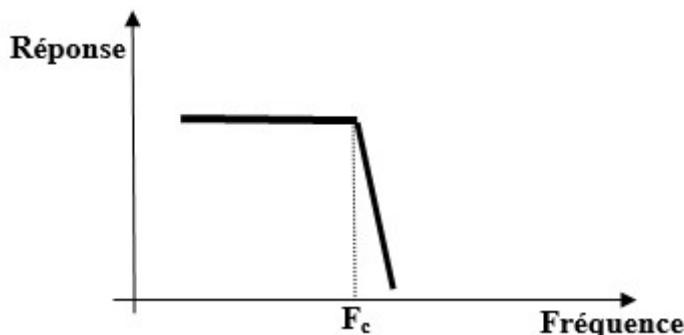


Figure III.21 : Filtre passe bas

**D.2 Filtre passe-haut :** Un filtre passe-haut ne fait passer que les signaux de fréquence au-dessus de sa fréquence de coupure et rejette ceux dont la fréquence est en dessous de la fréquence de coupure.

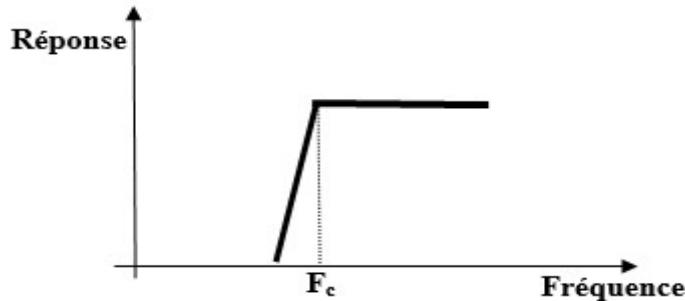


Figure III.22 : Filtre passe haut

**D.3 Filtre passe-bande :** Le filtre passe-bande fait passer les signaux dont la fréquence comprise dans une certaine bande et rejette les signaux dont la fréquence n'est pas comprise dans cette bande.

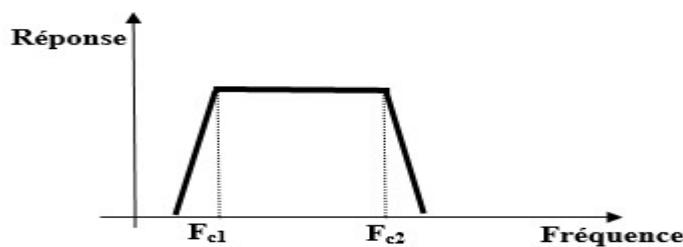


Figure III.23 : Filtre passe-bande

**D.4 Filtre coupe-bande :** Le filtre coupe-bande, parfois appelé filtre à rejetion de bande fait passer les signaux dont la fréquence n'est pas comprise dans une certaine bande et rejette les signaux dont la fréquence est à l'intérieur de cette bande.

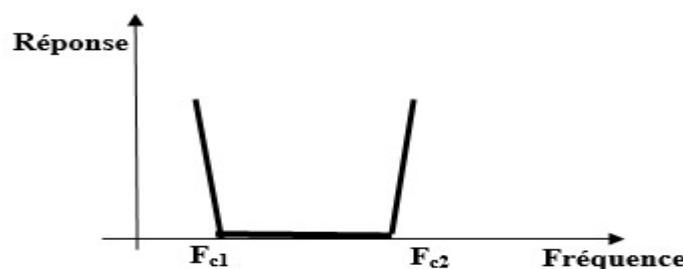


Figure III.24 : Filtre coupe-bande

### **III.4 Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré à définir en détail les Systèmes de Communication analogiques et les différentes parties de la chaîne de communication analogique tel que la modulation analogique et le filtrage.

Ces parties vont être présentées et étudiées en détail dans le semestre 5 dans le module communication analogique.

Les applications numériques des modulations et des filtres ainsi que les signaux vont être traités en détail dans les travaux dirigés (TD04, TD05, TD06 et TD07).

Dans le chapitre suivant, nous aborderons en détail les Systèmes de Communication numériques.

# *Chapitre IV*

## *Techniques de transmission numérique*

## Chapitre IV

# Techniques de Transmission Numérique

### IV.1 Introduction :

La transmission directe des informations analogiques dans un conducteur ou par onde hertzienne à des limites, l'une liée à la bande passante du canal de transmission et l'autre liée aux conditions de propagation (parasites, perte, etc.).

Ceci entraîne toujours une dégradation du signal et par conséquent une perte d'informations. Dans le cas des transmissions numériques, l'information se présente sous forme d'une suite d'éléments binaires. Les effets liés aux conditions de propagation peuvent alors être considérablement réduits par une remise en forme du signal. Néanmoins, d'autres perturbations affectent les transmissions numériques et en particulier celles liées aux opérations d'échantillonnage (limitation de la bande passante) et de quantification (limitation de la résolution). Cependant, ces limites peuvent être prises en compte à la construction alors qu'elles restent de nature aléatoire en analogique.

Aujourd'hui, tous les nouveaux systèmes de transmission sont numériques.

Les temps ont beaucoup changé depuis l'invention du téléphone en 1889, puis du télégraphe sans fil par Guglielmo Marconi en 1901 (premières expériences réalisées au bord de La Brague, sur l'actuel par de Sophia-Antipolis), ce qui lui valut le prix Nobel en 1909.

Les communications numériques nécessitent aujourd’hui des compétences multiples : antennes (physique et propagation), modulation et égalisation (traitement du signal), réseau (informatique et systèmes distribués), microélectronique (architectures logicielle et matérielle).

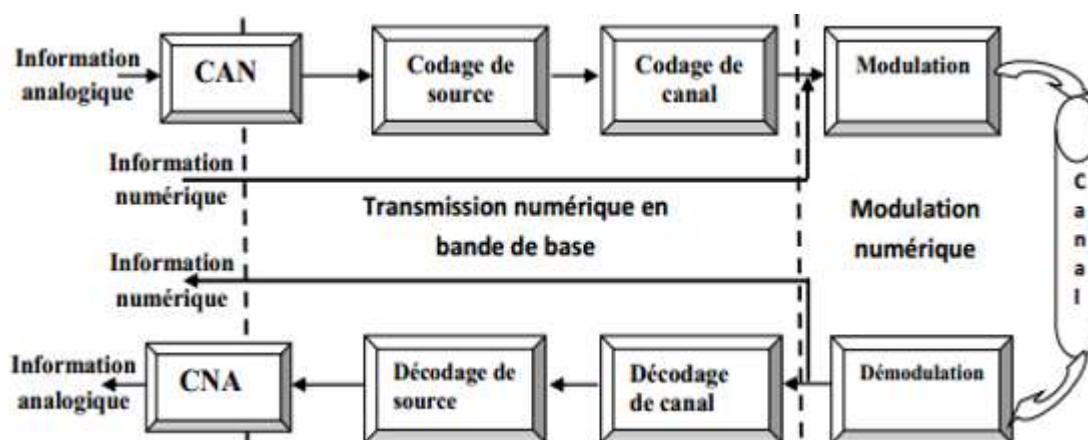
Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l’information entre une source et un destinataire en utilisant par exemple la fibre optique.

Les signaux transportés peuvent être soit directement d’origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d’origine analogique (parole, image...), mais convertis sous une forme numérique.

La tâche du système de transmission est d’acheminer l’information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

## IV.2 Chaine de Transmission Numérique :

La figure ci-dessous donne le schéma synoptique d’un système de transmission numérique. Chaque élément de base d’une transmission numérique a une fonction bien précise :



**Figure IV.1 : Synoptique d'un Système de Transmission Numérique.**

**IV.2.1 CAN :**

Convertisseur Analogique Numérique, c'est dispositif qui permet avoir une représentation numérique du message analogique et contient les fonctions suivantes : Echantillonnage, Quantification et Codage.

**IV.2.2 Codage de Source :**

Le codage de source vise à la concision maximale du message, afin de minimiser les ressources nécessaires à la transmission (temps, puissance, bande passante, surface de stockage, ...etc.). Le but de ce codage est de diminuer le coût de la transmission, substituer un message aussi court que possible au message émis par la source, dans la mesure où cette substitution est réversible (le message initial peut être exactement restitué).

**IV.2.3 Codage de Canal :**

Le codage de canal fait en quelque sorte l'inverse du codage de source puisqu'il consiste à ajouter des symboles au message à transmettre qui ne porteront pas d'information. Ce codage vise à protéger le message contre les perturbations du canal. Cette protection est réalisée en introduisant de la redondance suivant une loi de codage fixée a priori. Les symboles délivrés par le codeur de canal seront alors corrélés. Ainsi, sous certaines conditions, les erreurs de transmission vont modifier la loi de codage utilisée à l'émission. Ceci permettra de détecter et dans certains cas corriger ces erreurs. On parle alors de Codage Correcteur d'Erreurs (CCE).

**IV.2.4 Modulateur :**

C'est l'interface qui convertit l'information numérique en formes d'ondes adaptées aux caractéristiques du canal.

**IV.2.5 Canal (Milieu de transmission) :**

Il est aussi appelé support, ou voie de transmission. Il peut être de nature très diverse : câbles coaxiaux, fibre optique, ou simplement l'espace libre dans le cas des liaisons radioélectriques. Il représente le lien physique à travers lequel les formes d'ondes passent du modulateur au démodulateur.

Il est caractérisé par des effets indésirables (perturbations) qu'il exerce sur les signaux qui le traversent. Certains de ces effets sont dus à la nature du support de transmission (bruit), d'autres sont dus à l'environnement externe de celui-ci (interférences). Par conséquent, certains symboles de message peuvent être erronés en réception.

**IV.2.6 Démodulateur :**

Il permet de reconstituer le message émis par la source, en se basant sur l'observation du signal reçu.

**IV.2.7 Décodeur de Canal :**

Décodage correcteur d'erreurs est une fonction beaucoup plus complexe que le codage. Il consiste à détecter la présence d'erreurs puis les corriger.

**IV.2.8 Décodage de Source :**

Il consiste à reconstituer par l'application l'algorithme de décodage de source l'information originale à partir de la séquence reçue.

**IV.2.9 CNA :**

Convertisseur Numérique Analogique est dispositif qui permet avoir une représentation du analogique message numérique.

**IV.3 La Numérisation :**

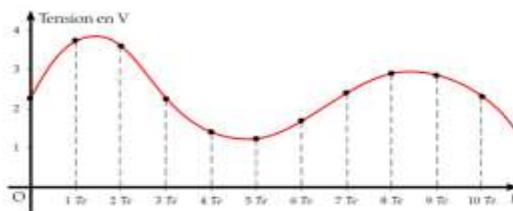
Un signal est la représentation physique d'une information qui est transportée avec ou sans transformation de la source jusqu'au destinataire.

Il en existe deux catégories de signaux :

**IV.3.1 Les Signaux Analogiques :** C'est des signaux qui varient de façon continue dans le temps (intensité sonore, intensité lumineuse, pression, tension), c'est-à-dire qu'ils peuvent prendre une infinité de valeurs différentes.

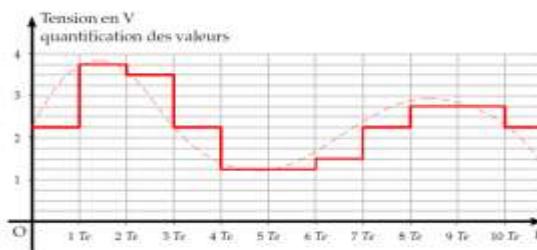
Le signal analogique à convertir est une tension électrique variable issue d'un capteur (microphone par exemple) ou d'un circuit électrique.

On obtient alors la courbe suivante représentant le Signal Analogique :



**Figure IV.2 : Signal Analogique**

**IV.3.2 Les Signaux Numériques :** C'est des signaux qui transportent une information sous la forme de nombres.



**Figure IV.3 : Signal Numérique**

Pour transmettre des signaux analogiques, tels que la parole ou les signaux vidéo, par des moyens numériques, il est nécessaire de convertir ces signaux sous forme numérique ou digitale comme le disent les gens de métier.

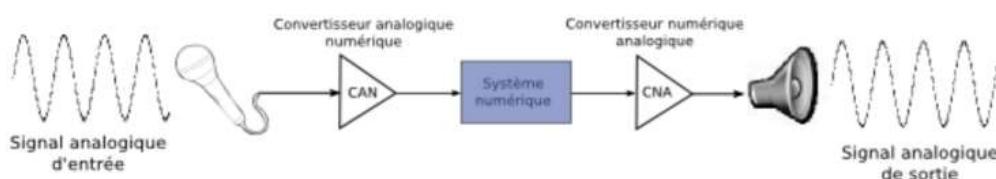
Ce processus est appelé Conversion Analogique Numérique (CAN) dont la réciproque est une Conversion Numérique Analogique (CNA).

Alors Numériser un signal analogique consiste à transformer les grandeurs continues dans le temps en des grandeurs discontinues qui varient par palier en prenant des valeurs à intervalle de temps régulier : période d'échantillonnage  $T_e$ .



**Figure IV.4 : processus Conversion Analogique Numérique**

#### Exemple :



La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial.

#### **IV.4 Les Caractéristiques Principales :**

Dans les systèmes de transmission numériques, Les trois caractéristiques principales permettant de comparer entre elles les différentes techniques de transmission sont les suivantes :

**IV.4.1 La probabilité d'erreur  $P_e$**  : Il permet d'évaluer la qualité d'un système de transmission. Elle est fonction de la technique de transmission utilisée, mais aussi du canal sur lequel le signal est transmis. Il est à noter que  $P_e$  est une valeur théorique dont une estimation non biaisée au sens statistique est le Taux d'Erreur par Bit TEB.

**IV.4.2 L'occupation spectrale du signal émis** : Elle doit être connue pour utiliser efficacement la bande passante du canal de transmission. On est contraint d'utiliser de plus en plus des modulations à grande efficacité spectrale.

**IV.4.3 La complexité du récepteur** : Sa fonction est de restituer le signal émis

## IV.5 Autres définitions et appellations

**IV.5.1 Le symbole** : C'est un élément d'un alphabet. Si  $M$  est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit  $M$ -aire. Lorsque  $M=2$ , le symbole est dit binaire. En groupant, sous forme d'un bloc,  $n$  symboles binaires indépendants, on obtient un alphabet de  $M=2^n$  symboles  $M$ -aires. Ainsi un symbole  $M$ -aire véhicule l'équivalent de  $n=\log_2 M$  bits.

**IV.5.2 La vitesse de transmission  $R$**  : C'est le nombre de symboles transmis par second, elle correspond à la fréquence de l'horloge bit et s'exprime en baud :  $R = 1/TB$ .

**IV.5.3 Le débit binaire  $D$**  : Il se définit comme étant le nombre d'éléments binaires transmis par seconde et s'exprime en bits par second (bps). Pour une transmission synchrone bit par bit, le débit binaire correspond à la fréquence de l'horloge bit :  $D = R$ . Mais certains codes utilisent un alphabet à 4 symboles représentatifs de couples d'éléments binaire ou dabit (00, 01, 10, 11). Dans ce cas, la vitesse de transmission est le double du débit binaire :  $1\text{baud}=2\text{bps}$ . D'une façon générale, si on utilise un alphabet à  $M=2^n$  symboles formés de mots binaires à  $n$  bits,  $D$  est lié à  $R$  par la relation :  $D = R \log_2 M$  ou  $D = nR$ . Enfin, le débit binaire maximal est limité par les capacités du canal et en particulier par sa bande passante et son rapport signal sur bruit.

**IV.5.4 L'efficacité spectrale** : Elle définit les performances d'une transmission en termes de débit binaire maximal par rapport à un canal de largeur B donné. Il est exprimé en bps/Hz .

## IV.6 La Numérisation d'un Signal

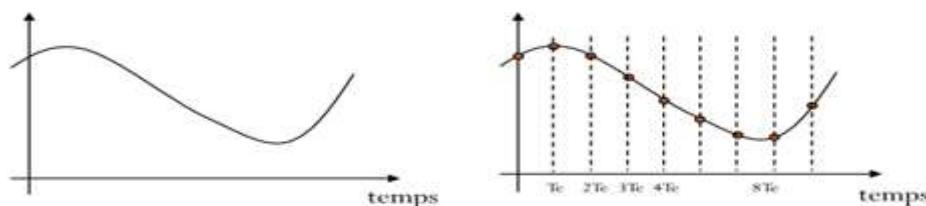
La numérisation d'un signal nécessite trois étapes :

- ✓ L'échantillonnage
- ✓ La quantification
- ✓ Le codage.

### IV.6.1 L'échantillonnage :

L'échantillonnage consiste à prélever des échantillons d'un signal analogique à des instants discrets. Alors que l'échantillonnage transforme un signal continu dans le temps en un signal à temps discrétisé.

On appelle période d'échantillonnage  $T_e$  (en s), le temps entre deux mesures successives. La fréquence d'échantillonnage  $f_e$  correspond au nombre de mesures effectuées par seconde. On a :  $f_e = 1/T_e$



**Figure IV.5 : Signal Analogique et échantillonner (Audio)**

**Remarque :** Le choix de la fréquence d'échantillonnage est crucial afin de reproduire fidèlement le signal étudié. En effet si le signal analogique varie trop vite par rapport à la fréquence d'échantillonnage, la numérisation donnera un rendu incorrect.

### Théorème de Shannon :

Pour échantillonner, sans perte d'information, un signal analogique dont le spectre est borné à  $F_{max}$ . Il faut choisir une fréquence d'échantillonnage  $F_e$  supérieure ou égale à  $2F_{max}$ .

$$F_e > 2F_{max}$$

**Exemple :** Les fichiers audio sont couramment échantillonnés à 44,1 kHz, car cela permet de restituer des sons dont la fréquence peut aller jusqu'à 22,05 kHz, c'est-à-dire un peu au-delà de la fréquence maximale audible par l'Homme (20 kHz).

### Comment échantillonner un signal ?

Supposons que l'on échantillonne un signal arbitraire  $m(r)$  tel que représenté par la figure suivante. En prélevant des valeurs instantanées à intervalles réguliers de période  $T_{éch}$ . On obtient une suite infinie d'échantillons ( $nT_{éch}$ ), où  $n$  prend successivement les valeurs 1,2, etc.

Cette façon de procéder s'appelle échantillonnage instantané.

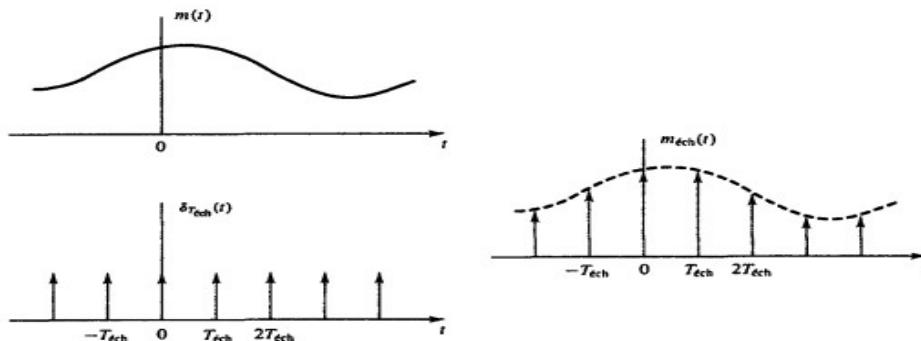


Figure IV.6 : échantillonnage instantané

### IV.6.2 La Quantification :

La Quantification est une opération consistant à lier les variables libres d'une formule logique par des quantificateurs.

Lorsque on utilise la quantification, un signal numérique ne peut prendre que certaines valeurs. Elle s'exprime en bits.

Chaque valeur est arrondie à la valeur permise la plus proche par défaut. On appelle alors **Résolution ou pas** l'écart (constant) entre deux valeurs permises successives.

D'une autre manière, la quantification consiste pour chaque échantillon à lui associer **une** valeur d'amplitude. Cette valeur d'amplitude s'exprime en bit et l'action de transformer la valeur numérique de l'amplitude en valeur binaire s'appelle le **Codage**.

**Remarque :** Un **bit** (binary digit) est un chiffre binaire (0 ou 1). C'est la plus petite unité de numérisation. On définit un multiple du bit par **octet**. Un octet est un ensemble de 8 bits. On peut donc quantifier  $2^8 = 256$  valeurs avec un octet. Par exemple 01001001.

### Le processus de quantification

La figure suivante illustre le processus de quantification. On suppose que l'amplitude du signal  $m(t)$  demeure comprise entre les limites  $(-m_p, m_p)$ . Cet intervalle est divisé en **L** domaines de taille **A** (comme la montre la figure).

$$\text{Telle que : } A=2 m_p / L$$

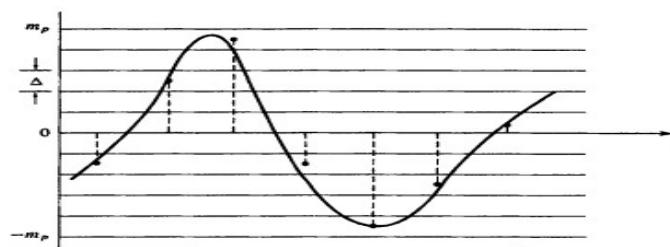


Figure IV.7 : Le processus de Quantification

Une amplitude dont la valeur appartient à un intervalle donné se voit attribuer la valeur du point milieu de cet intervalle.

La figure suivante représente un exemple de fonction de quantification linéaire.

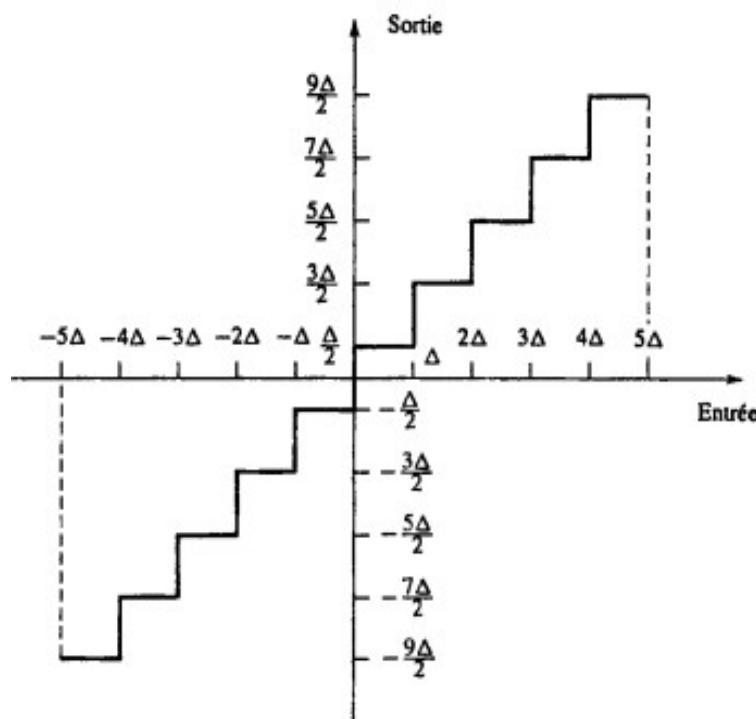


Figure IV.8 : Exemple de Quantification Linéaire.

#### IV.6.3 Le Codage :

On appelle codage la transformation des différentes valeurs quantifiées en langage binaire.

Un codeur s'agit d'un dispositif qui code les échantillons quantifiés en leur attribuant une valeur binaire.

La figure suivante illustre les principes de cette technique.

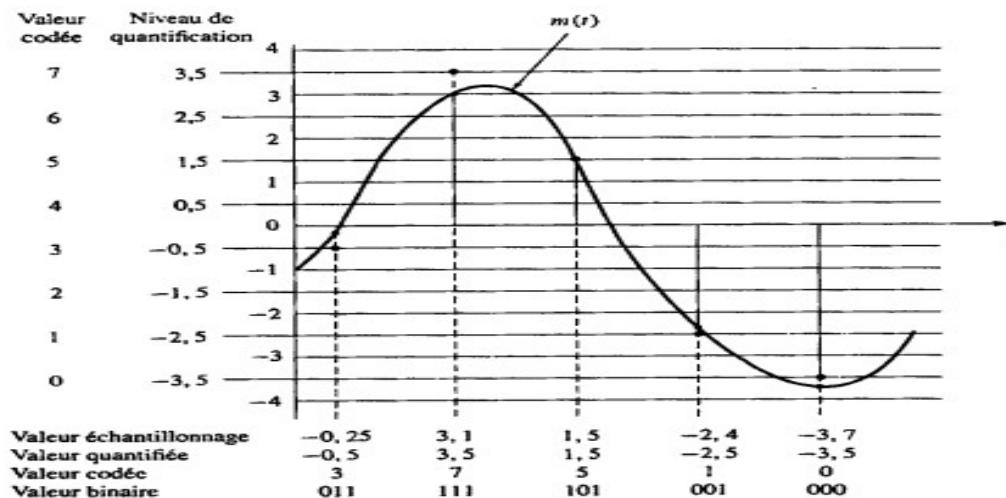


Figure IV.9 : Processus de Codage

**En résumé :**

L'échantillonnage consiste à prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique.

La quantification consiste à affecter une valeur numérique à chaque échantillon prélevé.

Plus la fréquence d'échantillonnage et la quantification sont grandes, meilleure sera la numérisation.

Comme montrer la figure. Le signal analogique  $m(t)$  reste limité en amplitude dans l'intervalle allant de -4 volts à +4 volts (V).

La taille de l'incrément A est fixée à 1 V. On emploie ainsi huit niveaux de quantification, situés aux valeurs -3,5, -2,5, . . . , +3,5 V.

On assigne le code 0 au niveau -3,5 V, le code 1 au niveau -2,5 V et ainsi de suite, jusqu'à 7 pour le niveau +3,5 V. Chacun de ces codes a sa propre représentation binaire, ce qui donne 000 pour le code 0 et 001 pour le code 1, jusqu'à 111 pour le code 7.

On attribue ainsi à chacun des niveaux du signal  $m(t)$  un niveau de quantification le plus proche de sa valeur réelle.

## IV.7 Transmission Bande de Base :

### IV.7.1 Généralités :

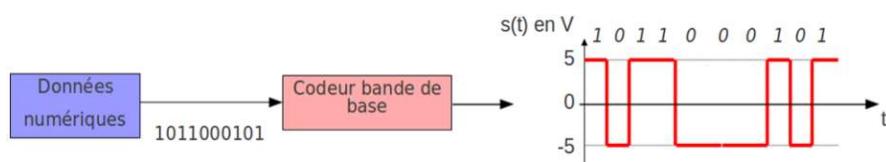
La transmission est dite en bande de base lorsque le signal ne subit pas de transposition en fréquence. Dans ce cas le signal présente souvent un aspect rectangulaire, car la fonction de modulation simple utilisée est rectangulaire.

Un signal de transmission contient plus d'une fréquence unique c'est-à-dire qu'il pourrait y avoir plusieurs différentes fréquences liées ensemble ou bien superposés les unes les autres.

La transmission en bande de base consiste à transmettre directement les signaux numériques (suites de bits) sur le support sur des distances limitées (l'ordre de 30Km). Le signal en bande de base ne subit pas de transposition de fréquence et se réduit à un signal simple codé.

La figure ci-dessous résume le principe de la transmission des données en bande de base.

Dans les transmissions en bande de base, les bits sont transformés en niveaux physiques par un code en ligne puis le signal est transmis tel quel sur le support. On utilise ce type de transmission sur de courtes distances.



**Figure IV.10 : Principe de la transmission en bande de base.**

Le codeur dans la bande de base transforme la suite de bit en une suite de symbole prise dans un alphabet fini de q symboles.

$$d_i \in \{a_1, \dots, a_q\}$$

Les  $d_i$  ont tous, le même intervalle significatif égal ou multiple de T (intervalle élémentaire).

Un tel procédé simple et peu coûteux ne peut être employé que si le support introduit par le décalage en fréquence (en particulier, on ne doit pas traverser de transformateurs d'isolement provoquent des coupures de circuits, ni d'élément introduisant un décalage d'horloge comme les amplificateurs).

On utilise donc en général sur des câbles à grande bande passante. Le débit maximum que l'on peut obtenir dépend de la longueur du câble et de sa section. La transmission en bande de base est désormais très largement utilisée, puis qu'elle est utilisée dans les réseaux locaux.

Toute transmission numérique est caractérisée par :

- Le débit linaire (D)
- Débit du moment en baud (M)
- Les nombres d'état par moment (m niveaux) d'amplitude m valeurs de phase.
- La capacité du canal  $C=B.\log_2(1+S/N)$

Tout canal réel comporte les imperfections qui se traduisent dans le domaine temporel, pour les réponses indicielles et dans le domaine fréquentiel par l'affaiblissement ou fonction de transfert.

#### **IV.7.2 L'intérêt du codage en bande de base :**

Si l'on considère le signal numérique de la figure précédente, on peut remarquer les caractéristiques suivantes :

- ✓ Son spectre est illimité (puisque les fronts sont raides : droit) mais concentré au tour de la fréquence nulle, or beaucoup de support ne laisse pas passer les composantes continues.
- ✓ Sa valeur moyenne est égale à  $\frac{1}{2}$  et l'on préfère généralement les signaux à valeur moyenne nulle.
- ✓ Si le signal comporte les longues suites de bits identiques, il peut se poser des problèmes d'horloge du côté du récepteur. En effet nous savons que l'équipement terminal de communication de données (ETCD) récepteur comporte un organe de décision utilisant un échantillonneur. Pour bien fonctionner, l'échantillonneur doit connaître l'intervalle significatif.

#### IV.7.3 Les différents codes en bande de base

Avant l'injection des informations dans un canal, un codage est nécessaire. Le choix d'un code est fonction du spectre de ce code, la bande passante disponible du bruit et interférence du canal, du contrôle de la performance, de la tenue en horloge et la fiabilité de la réalisation.

Parmi les codes utilisés on peut citer :

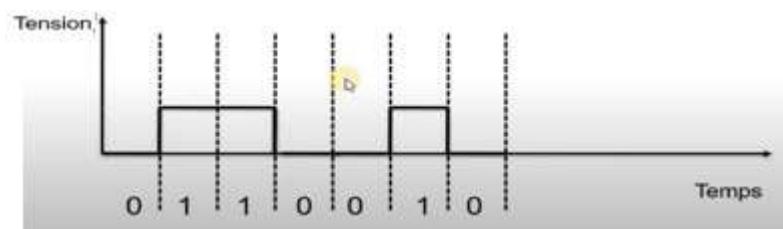
##### a) Code Tout ou Rien :

On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Tension Positive : 1

Tension Nulle : 0

##### Exemple :



**b) Code NRZ (Non-Retour à Zéro) :**

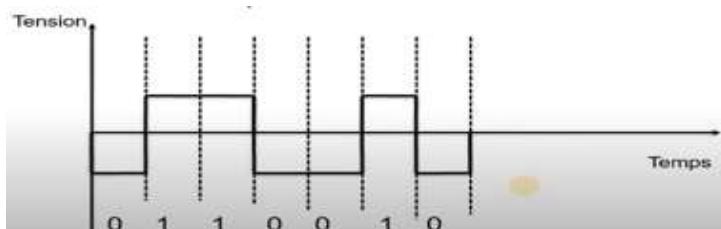
On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Tension Positive : 1

Tension Négative : 0

Tension Nulle : Pas de transmission.

Exemple :

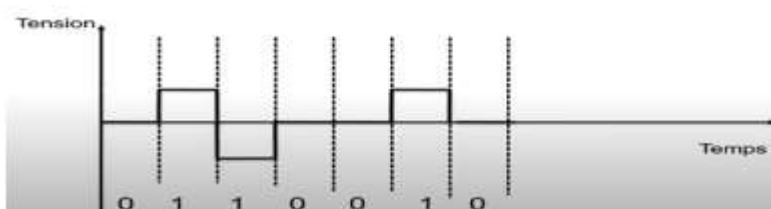
**c) Code Bipolaire :**

On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Tension Positive et Négative alternativement 1

Tension Nulle : 0.

Exemple :

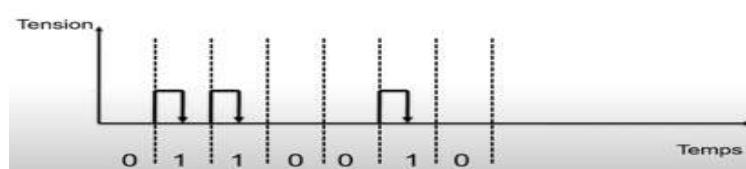
**d) Code RZ (Retour à Zéro) :**

On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Front descendant : 1.

Tension Nulle : 0.

Exemple :



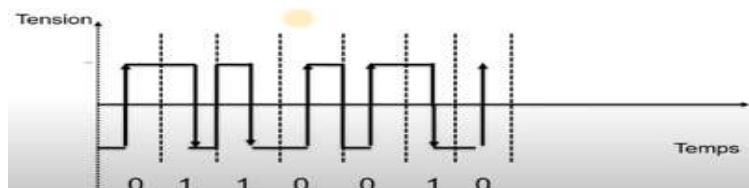
### e) Code Biphasé (Manchester) :

On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Front descendant au milieu : 1.

Front montant au milieu : 0.

Exemple :



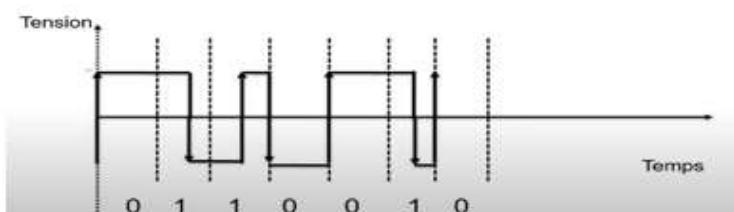
### f) Code Manchester Differenciel :

On utilise deux valeurs pour représenter 0 et 1.

Front montant ou Front descendant au milieu : 1.

Front descendant ou Front montant au début : 0.

Exemple :



## IV.8 Canal de transmission :

En théorie de l'information, un canal de communication ou canal de transmission est un support (physique ou non) permettant la transmission d'une certaine quantité d'information, depuis une source (ou émetteur) vers un destinataire (ou récepteur).

**Capacité d'un canal (théorème de Shannon) :**

Pour un canal perturbé par un bruit blanc gaussien, Shannon a défini la capacité d'un canal C comme suit :

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

[bit/seconde]

- B : La largeur de la bande passante du canal ;
- S : La puissance du signal transmis ;
- N : La puissance de bruit dans la bande.

Pour plus d'informations et de détail voir l'annexe A.

**IV.9 Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré à définir en détail les Systèmes de numériques et les différentes parties de la chaîne de communication numériques.

Par la suite, on a présenté le but et les étapes de la numérisation des signaux, ainsi le principe de la Transmission en Bande de Base.

Ce chapitre va être présenté en détail dans le semestre 6 dans le module communication numérique, et les applications numériques de ces systèmes vont être traitées en détail dans les travaux dirigés (TD08 et TD09).

# *TRAVAUX*

# *DIRIGÉS*

FACULTÉ : SCIENCES.DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.Année universitaire : 2022/2023.

**TD 01**  
**Rappels Algèbre Trigonométrique**

**Exercice 01:**

1. Pour  $0 \leq x \leq 4\pi$ . Représenter graphiquement les fonctions :

- $F(x) = \sin(x)$
- $G(x) = \sin(1.5x)$
- $H(x) = F(x) + G(x)$

2. Est-ce que ces fonctions sont périodiques ?

3. Si oui quelle est ces périodes.

**Exercice 02 :**

Réduire à la forme la plus simple les expressions suivantes :

- a)  $\cos(3\pi - x) + \cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) + \sin\left(-\frac{3\pi}{2} - x\right)$
- b)  $(1 - \cos x)(1 + \cos x)$
- c)  $\cos^4(x) - \sin^4(x)$

**Exercice 03 :**

Soit  $f$  une fonction définie sur  $\mathcal{R}$  par :  $f(x) = \sin(2x)$ .

1. Calculer :

- $f(0)$
- $f(\pi/6)$
- $f(\pi/12)$
- $f(\pi/2)$
- $f(\pi/8)$
- $f(\pi)$

2. Vérifier si  $f$  est impaire.



FACULTÉ : SCIENCES.

DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.

Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.

Année universitaire : 2022/2023.

## TD 02

### Exercice 01:

- Donner le schéma de base d'une chaîne de transmission dans le cas d'une communication par GSM.
- Donner le schéma de base d'une chaîne de transmission dans le cas d'une communication par téléphonie filaire.
- Donner le schéma de base d'une chaîne de transmission dans le cas d'une radiodiffusion.
- Donner le schéma de base d'une chaîne de transmission dans le cas d'une télécommande.
- Indiquer pour chaque cas l'émetteur, le récepteur et le support de transmission.

### Exercice 02 :

1. Coder les messages suivants avec le code de Polybios :

- ❖ Demain c'est les vacances.
- ❖ Aujourd'hui il fait beau.
- ❖ La vie est belle.

2. Calculer le rapport de codage de chaque message
3. Coder les mêmes messages avec le code de Morse
4. Calculer le rapport de codage de chaque message
5. Qu'est-ce que vous remarquez ?

### Exercice 03 :

1. A quoi ça sert les systèmes de communication ?
2. Que signifier les notions de Fidélité et de Fiabilité dans les systèmes de communication ?
3. Donner autres caractéristiques qu'on peut trouver dans les systèmes de communication.
4. Donner la définition d'un signal, message et d'information et citer la relation entre ces trois mots.
5. Si je vous dis que cette année c'est l'année universitaire 2022/2023.

Est-ce que c'est une information ?

Si non qu'est vous proposer.



FACULTÉ : SCIENCES.

DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.

Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.

Année universitaire : 2022/2023.

### TD 03

#### Exercice 01 :

- Une image TV numérisée doit être transmise à partir d'une source qui utilise une matrice d'affichage de 450x500 pixels, chacun des pixels pouvant prendre 32 valeurs d'intensité différentes. On suppose que 30 images sont envoyées par seconde.

Quel est le débit D de la source ?

- L'image TV est transmise sur une voie de largeur de bande 4,5 MHz et un rapport signal/bruit de 35 dB.

Déterminer la capacité de la voie.

#### Exercice 02 :

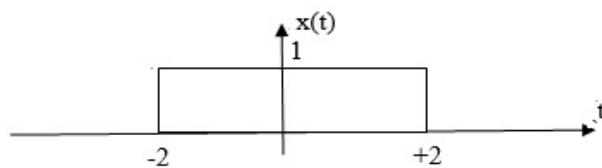
Quelle est la capacité d'une ligne pour téléimprimeur de largeur de bande 300 Hz et de rapport signal/bruit de 3 dB ?

#### Exercice 03 :

Une voie possède une capacité de 20 Mbits/s. La largeur de bande de la voie est de 3 MHz. Quel doit être le rapport signal/bruit ?

#### Exercice 04 :

Sachant que pour une voie de transmission, le nombre de transactions par communication est de 4000, la longueur moyenne d'une transaction est de 12000 bits, la durée moyenne d'une communication est 3600 secondes, le débit binaire est 64 Kbits/s, donner le taux d'occupation de la voie.

FACULTÉ : SCIENCES.DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.Année universitaire : 2022/2023.TD 04**Exercice 01:**Soit le signal  $x(t)$  représenté dans la figure suivante :

- 1) Déterminer le nom et la classe de ce signal.
- 2) Déterminer l'expression de  $x(t)$ .
- 3) Déterminer les caractéristiques de  $x(t)$ .
- 4) Donner une deuxième écriture de  $x(t)$ .

**Exercice 02 :**Soient  $x(t)$  un signal déterministe et  $y(t)$  un signal aléatoire.

Préciser la nature des signaux suivants :

- $Z_1(t) = A * x(t)$  /  $A$  : réel.
- $Z_2(t) = x(t) * \sin(\omega t)$
- $Z_3(t) = x(-t)$
- $Z_4(t) = x(t) + y(t)$
- $Z_5(t) = |x(t)|$
- $Z_6(t) = x(t) * y(t)$
- $Z_7(t) = x(t) / y(t)$

**Exercice 03 :**Représenter les signaux suivants : /  $\delta(t)$  représente impulsion unité.

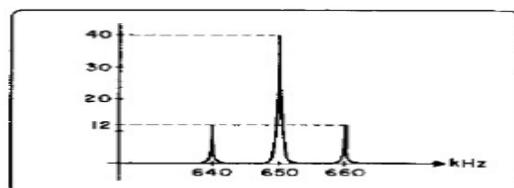
- ✓  $\delta(t)$
- ✓  $\delta(t+2)$
- ✓  $\delta(t-3)$
- ✓  $-\delta(t)$
- ✓  $X(t) = 2\delta(t+1) - \delta(t) + \delta(t-2)$

FACULTÉ : SCIENCES.DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.Année universitaire : 2022/2023.**TD 05****Exercice 01:**Soit le signal AM définie par :  $5 \cos(10^6 t) + 3.5 \cos(10^3 t) \cos(10^6 t)$ .

- Quelle est la fréquence de porteuse ?
- Quelle est la fréquence modulante ?
- Quel est le taux de modulation ?

**Exercice 02 :**

Un analyseur de spectre permet d'obtenir la représentation d'un spectre sur un écran. Un signal AM branché à un analyseur de spectre est représenté ci-dessous.

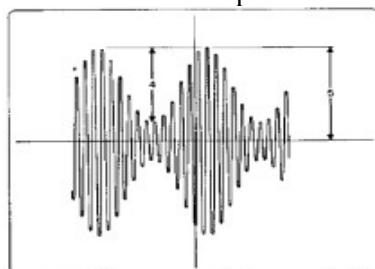


- Quelle est la fréquence de porteuse ?
- Quelle est la fréquence de l'onde modulante ?
- Quelle est la bande de fréquence occupée par le signal AM ?
- Quel est le taux de modulation ?

**Exercice 03 :**

Un signal AM à une fréquence de porteuse de 100 kHz, une fréquence modulante de 4 kHz et une puissance d'émission de 150 kW ;

Le signal capté au récepteur est visualisé sur oscilloscope.



- Quelles sont les fréquences contenues dans l'onde modulée ?
- Quelle est la bande de fréquence de l'onde modulée ?
- Quel est le taux de modulation ?
- Quelle est la puissance contenue dans la porteuse ?
- Quelle est la puissance contenue dans chacune des bandes latérales ?

FACULTÉ : SCIENCES.DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.Année universitaire : 2022/2023.**TD 06****Exercice 01:**

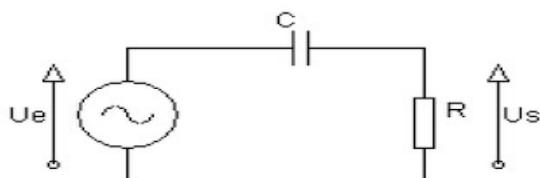
1. Donner le schéma d'un filtre RL passe-haut 1er ordre.
2. Exprimer sa fonction de transfert  $G = \text{tension d'entrée} / \text{tension de sortie}$ .
3. La résistance R est de  $10 \text{ k}\Omega$  et la fréquence de coupure  $f_c$  est de 3,5 KHz.

Une tension de 1,6 V est mesurée à la sortie du filtre lorsqu'un signal de 7K MHz est appliqué à l'entrée.

- Calculer la valeur de la bobine
- Calculer la valeur de la tension à l'entrée du filtre.

**Exercice 02 :**

Soit le filtre RC suivant :



1. Exprimer la fonction de transfert ( $G = U_s / U_e$ ) en fonction de R et C.
2. Quel est le type de ce filtre et quel son ordre ?
3. Exprimer la fréquence de coupure  $f_c$  en fonction de R et C.
4. Calculer la valeur du condensateur ainsi que la valeur de la tension de sortie du filtre pour  $f_c = 627 \text{ kHz}$ ,  $R = 6,8 \text{ k}\Omega$  et  $U_e = 2 \text{ V}$

**Exercice 03 :**

1. Donner le schéma d'un filtre RL passe-bas 1er ordre
  2. Exprimer sa fonction de transfert  $G = \text{tension d'entrée} / \text{tension de sortie}$ .
  3. La résistance  $R=820 \Omega$  et la fréquence de coupure  $f_c=10 \text{ kHz}$ . Une tension de 1,91 V est mesurée à la sortie du filtre lorsqu'un signal de 1 kHz est appliqué à l'entrée.
- Calculer la valeur de la bobine
  - Calculer la valeur de la tension à l'entrée du filtre.

FACULTÉ : SCIENCES.DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.Année universitaire : 2022/2023.**TD 07****Exercice 01:**

Un signal source analogique dont la bande de fréquence varie de 200Hz à 4KHz et codé en PCM.

Quelle est la fréquence d'échantillonnage ?

En déduire la période T séparant deux impulsions successives

Le signal source varie entre deux valeurs de crête -1V et +1V et les impulsions d'échantillonnage sont codées sur 8 bits

Calculer le pas de quantification

Calculer la durée de chaque bit à la fréquence d'échantillonnage

En déduire le débit binaire sur le signal numérique.

**Exercice 02 :**

Soit le signal représenté par la suite de bits suivants : 01001110.

Donner les signaux correspondants avec les codes :

- Code Tout ou Rien
- Code NRZ
- Code RZ
- Code Bipolaire
- Code Manchester
- Code Manchester Différentiel

**Exercice 03 :**

Soit le signal audio représenté sur la figure suivante :



Si le codage étant effectué sur 8 niveaux avec l'échantillonnage défini sur la figure.

Donner le codage binaire de ce signal.



FACULTÉ : SCIENCES.

DÉPARTEMENT : TECHNOLOGIES.

Module : TELECOMMUNICATION FONDAMENTALE.

Année universitaire : 2022/2023.

### TD 08

#### Exercice 01

Un CNA possède les caractéristiques suivantes :

Tension pleine échelle 0,50V ,16 digits , Monopolaire

- Quelle est la valeur numérique maximale N<sub>max</sub> d'entrée de ce CNA ?
- Quelle est sa résolution ?
- Quel valeur doit on entrer dans le CNA pour obtenir une tension de sortie de :
  - 0
  - 500mV
  - 320mV

#### Exercice 02

Le CAN d'entrée d'une carte d'acquisition possède les caractéristiques suivantes :

Gamme 0 à 5,12V ,10 digits

- Quelle est la valeur numérique maximale N<sub>max</sub> de sortie de ce CAN ?
- Quelle est sa tension pleine échelle ?
- Quelle est sa résolution ?

#### Exercice 03

Pour l'équipement des salles de chimie du lycée, on a besoin de cartes d'acquisition pouvant mesurer des tensions allant de 0 à 4,5V à 10mV près.

Le modèle le moins cher trouvé dans le commerce contient un CAN 8 digits, monopolaire, de calibre 5,0V.

- Déterminer sa résolution.

Ce modèle correspondait-il aux spécifications ?

- En ayant la même gamme,

Combien le CAN devrait-il au minimum avoir de digits pour que sa précision soit suffisante ?

# Conclusion Générale

### Conclusion Générale

L'objectif de ce polycopie était de présenter aux étudiants de deuxième année licence de télécommunication le cours de télécommunications fondamentale.

Après avoir introduit plan du cours. On a entamé le premier chapitre GENERALITES SUR LES TELECOMMUNICATIONS. Dans ce chapitre on a présenté des définitions utiles en télécommunication.

Par la suite, nous nous sommes intéressés aux deuxièmes et troisièmes chapitres SYSTEMES DE COMMUNICATION ainsi les TECHNIQUES DE TRANSMISSION ANALOGIQUE.

Le quatrième chapitre était consacré aux TECHNIQUES DE TRANSMISSION NUMERIQUE.

Finalement, on a présenté de façon optimale une série de TRAVAUX DIRIGÉS sur lesquelles on traiter tous les parties présenté dans ce cours.

Dans les prochains semestres (5 et 6), il aura des modules (Communications Analogiques, Systèmes et réseaux de Télécommunication et Communications Numériques) qui vont présenter en détail tous les ponts vu dans ce cours.

# Références

1. C. E. Shannon, « A mathematical theory of communication, » Bell System Technical Journal, vol. 27, pp. 379-423 et 623-656, Juillet et Octobre 1948.
2. C. Berrou, A. Glavieux et P. Thitimajshima, « Near Shannon limit error correcting coding and decoding: turbo-codes, » IEEE ICC'93, vol. 2/3, pp. 1064-1070, Geneva, May 1993.
3. D. Battu, Initiation aux Télécoms : Technologies et Applications, Dunod, Paris, 2002.
4. P. Clerc, P. Xavier, Principes fondamentaux des Télécommunications, Ellipses, Paris, 1998.
5. G. Barué, Télécommunications et Infrastructure, Ellipses, 2002.
6. E. Altman, A. Ferreira et J. Galtier, Les Réseaux Satellitaires de Télécommunications : Technologie et Services, Dunod, Paris, 1999.
7. P.G Fontolliet, Systèmes de Télécommunications, Traité d'Electricité, Vol. XVIII, PPUR, Lausanne, 1999 (Chapitres 12 & 13).
8. C. Servin, Réseaux & Télécoms, 2e éd., Dunod, Paris, 2006.
9. G. Baudoin, Radiocommunications Numériques T1: Principes, Modélisation et Simulation, Dunod, Paris, 2007.
10. Sofiane Haddad, polycopie de cours Télécommunications fondamentales, Université Mohamed Seddik BenYahia de Jijel, 2018.
11. M. T. BENHABILES, polycopie de cours Télécommunications fondamentales, Université des Frères Mentouri Constantine 1.
12. MENEZLA Fayssal, International Journal of scientific Research & Engineering Technology (IJSET), 2021.
13. MENEZLA Fayssal, L'Optimisation d'une Transmission d'Images Fixes Utilisant un Turbo-Code. THESE pour l'obtention du Diplôme de Doctorat Sciences en Electronique, universite djillali liabes de sidi bel abbes, 2019.

# *ANNEXES*

ANNEXE A

**Démonstration de la capacité du canal :**  $C = B \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$

Pour un canal gaussien d'une bande  $B$  perturbée par un bruit de puissance  $N$  où les signaux transmis sont limités à une certaine puissance  $S$ , alors les signaux reçus ont une puissance moyenne  $S+N$ . La capacité  $C$  est la plus grande quantité d'information moyenne qu'il peut transmettre [01] :

$$C = H(y) - H(b) \quad (\text{A.1})$$

Où  $H(y), H(b)$  représentent respectivement l'entropie par seconde (l'information moyenne) de la sortie et celle du bruit.

Avec  $H = 2BH'$  où  $H'$  représente l'entropie par échantillon, l'équation (A.1) devient égale à :  $C = 2B(H'(y) - H'(b))$  (A.2)

L'entropie par échantillon de la sortie et celle du bruit est donnée respectivement par :

$$H'(y) = -\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int \dots \int p(y_1, \dots, y_n) \log p(y_1, \dots, y_n) dy_1 \dots dy_n \quad (\text{A.3})$$

$$H'(b) = -\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int \dots \int p(b_1, \dots, b_n) \log p(b_1, \dots, b_n) db_1 \dots db_n \quad (\text{A.4})$$

Où  $p(y_1, \dots, y_n)$  et  $p(b_1, \dots, b_n)$  sont respectivement la densité du signal reçu et celle du bruit.

- La densité du signal reçu sera déterminée par :

$$p(y_1, \dots, y_n) = p(y) = \frac{1}{(2\pi(S+N))^{n/2}} \exp\left(-\frac{1}{2(S+N)} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (\text{A.5})$$

et

$$-\log P(y_1, \dots, y_n) = \frac{n}{2} \log 2\pi(S+N) + \frac{1}{2(S+N)} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (\text{A.6})$$

- Et celle du bruit par :

$$p(b_1, \dots, b_n) = p(b) = \frac{1}{(2\pi N)^{n/2}} \exp - \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n b_i^2 \quad (\text{A.7})$$

et

$$-\log P(b_1, \dots, b_n) = \frac{n}{2} \log 2\pi N + \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n b_i^2 \quad (\text{A.8})$$

- Pour le calcul de l'entropie (par seconde) du bruit, en remplaçant (A.8) dans (A.4), on obtient :

$$H'(b) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int \dots \int \frac{n}{2} p(b_1, \dots, b_n) \log 2\pi N + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int \dots \int \frac{1}{2N} p(b_1, \dots, b_n) \sum_{i=1}^n b_i^2 \quad (\text{A.9})$$

$$H'(b) = \frac{1}{2} \log 2\pi N + \frac{N}{2N} \quad (\text{A.10})$$

$$H'(b) = \frac{1}{2} \log 2\pi N + \log \sqrt{e} \quad (\text{A.11})$$

Où  $e$  représente l'exponentielle et  $\log e = 1$ .

$$H'(b) = \log \sqrt{2\pi e N} \quad (\text{A.12})$$

Puis, en remplaçant (A.12) dans l'équation  $H = 2BH'$ , on obtient :

$$H(b) = B \log 2\pi e N \quad (\text{A.13})$$

- L'entropie (par seconde) de l'ensemble reçu est calculée de la même façon :

$$H = B \log 2\pi e (S + N) \quad (\text{A.14})$$

La capacité du canal est donc égale à :

$$C = H(y) - H(b) = B \log \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{A.15})$$

**ANNEXE B*****Les Pères Fondateurs de la Communication***

Chercher à communiquer, échanger le plus grand nombre d'informations avec d'autres hommes dans des délais de plus en plus courts et à des distances toujours plus grandes : voilà la nécessité et le désir de l'Homme depuis la nuit des temps.

Pendant des siècles, les informations ont circulé avec lenteur. Elles ont voyagé au rythme des transports jusqu'à la fin du XVIIIème siècle ! Au tournant des XIXème et XXème siècles, un foisonnement d'innovations voit le jour dans les domaines de l'information et de la communication.

Les hommes qui sont à l'origine de ces innovations sont certes des techniciens ou des ingénieurs mais ils sont avant tout des entrepreneurs. Ils nous invitent à pénétrer dans l'Histoire des télécommunications :

❖ **Claude CHAPPE (1763-1805)** : Du sémaphore à l'avènement du réseau

Passionné de physique, il conçoit un réseau préfigurant les télécommunications modernes : le télégraphe optique.

❖ **Samuel MORSE (1791-1872)** : La naissance des télécommunications modernes

Le code Morse permet à la télégraphie électrique de devenir une technique réellement efficace.

❖ **Thomas EDISON (1847 – 1931)** : Enregistrer et écouter le son

Depuis l'électricité jusqu'à la téléphonie, en passant par le cinéma, ce génial inventeur met au point un appareil capable d'enregistrer le son qu'il dénommera phonographe.

❖ **Georges EASTMAN (1854-1932)** : La Photographie pour tous

En mettant au point la pellicule souple et en l'installant dans un appareil simple et relativement peu encombrant, l'Américain Georges Eastman pose les bases d'un système qu'il développe et commercialise sous la marque KODAK.

❖ **Les Frères Lumière (1862-1948)** : Le cinéma

Le cinématographe mis au point par les Frères Lumière permet d'enregistrer les images animées mais également de les projeter.

❖ **Hermann HOLLERITH (1860–1929)** : Gérer automatiquement l'information

En 1890 pour le recensement, l'administration américaine adopte la machine à statistiques mise au point par Hermann Hollerith. La « Tabulating Machine Co. » est fondée un peu plus tard. Cette société deviendra IBM qui dominera l'industrie informatique mondiale jusqu'aux années 1980.

❖ **Guglielmo MARCONI (1874-1937)** : La Télégraphie Sans Fil

Marconi fédère différents travaux (de l'Allemand Hertz, du Français Branly, du Russe Popov) et réalise la première transmission radio (en morse).

❖ **Lee DE FOREST (1873-1961)** : La naissance de l'électronique

L'Américain Lee de Forest met au point la lampe triode. Cette invention permettra, dès 1915, la première liaison téléphonique entre New-York et San Francisco.

❖ **Graham BELL (1847-1922)** : L'inventeur du Téléphone

Il a déposé le brevet du téléphone en 1876. C'est en travaillant sur différentes expériences liées au problème de la surdité que Graham Bell commence à s'intéresser aux recherches sur la transmission de la voix à distance.

*SHANNON CLAUDE EL WOOD (1916-2001)*

Né le 30 avril 1916 à Gaylord (Michigan, États-Unis), Claude Elwood Shannon est considéré par l'ensemble de la communauté scientifique comme le père fondateur de la théorie de l'information et des communications numériques.

En 1940, il obtient un master en ingénierie électrique et un doctorat en mathématique du Massachusetts Institute of Technology (MIT). Pour son master, il applique l'algèbre de Boole au problème de la commutation des relais et circuits électriques. À cette époque, le système de Boole qui consiste à manipuler des 0 et des 1, et constitue actuellement le centre nerveux de tous les calculateurs modernes, était peu connu. Pour son doctorat, il applique les mathématiques à la génétique. Auteur de plusieurs ouvrages, il a également rédigé plus d'une centaine de publications dans des domaines aussi variés que la théorie de la communication, la théorie de l'information, la cryptographie, les calculateurs, les circuits et les jeux. Mais la plupart des travaux de Shannon ont été réalisés dans le contexte de l'ingénierie des télécommunications, et c'est dans ce domaine qu'il occupe une place unique.

C'est en 1941 que Shannon rejoint les Bell Telephone Laboratories, où il a été recruté pour développer des méthodes de transmission de l'information et pour améliorer la disponibilité du téléphone à longue distance. En 1948, alors que tout le monde pense qu'une transmission sur un câble doit nécessairement utiliser une onde électromagnétique, Shannon publie une théorie mathématique des communications dans le *Bell System Technical Journal*. L'idée, qui paraît évidente aujourd'hui, de transmettre des images, de la vidéo à l'aide d'un flux de 0 et de 1 était née. C'est à cette époque que Shannon propose d'utiliser un système de codage entre la source et le canal de transmission ainsi qu'un décodeur entre le canal et le récepteur. Ce principe est toujours utilisé aujourd'hui, entre autres pour les transmissions sur fibres optiques et les liaisons par satellites. Dans sa publication, Shannon propose de transmettre dans un canal des mots composés de symboles élémentaires de durée finie. C'est encore lui qui introduit la notion de code correcteur d'erreur et la notion de redondance, qui consiste à insérer des symboles supplémentaires dans les mots de code, ce qui permet la correction des erreurs de transmission. Il crée aussi le terme « bit », désormais bien connu des informaticiens ainsi que des ingénieurs concepteurs en télécommunications. C'est toujours pour obtenir une définition mathématique de l'information que Shannon et Warren Weaver introduisent la notion d'entropie.

Souffrant de la maladie d'Alzheimer dans les dernières années de sa vie, Claude Shannon est mort à 84 ans le 24 février 2001 à Medford dans le Massachusetts.