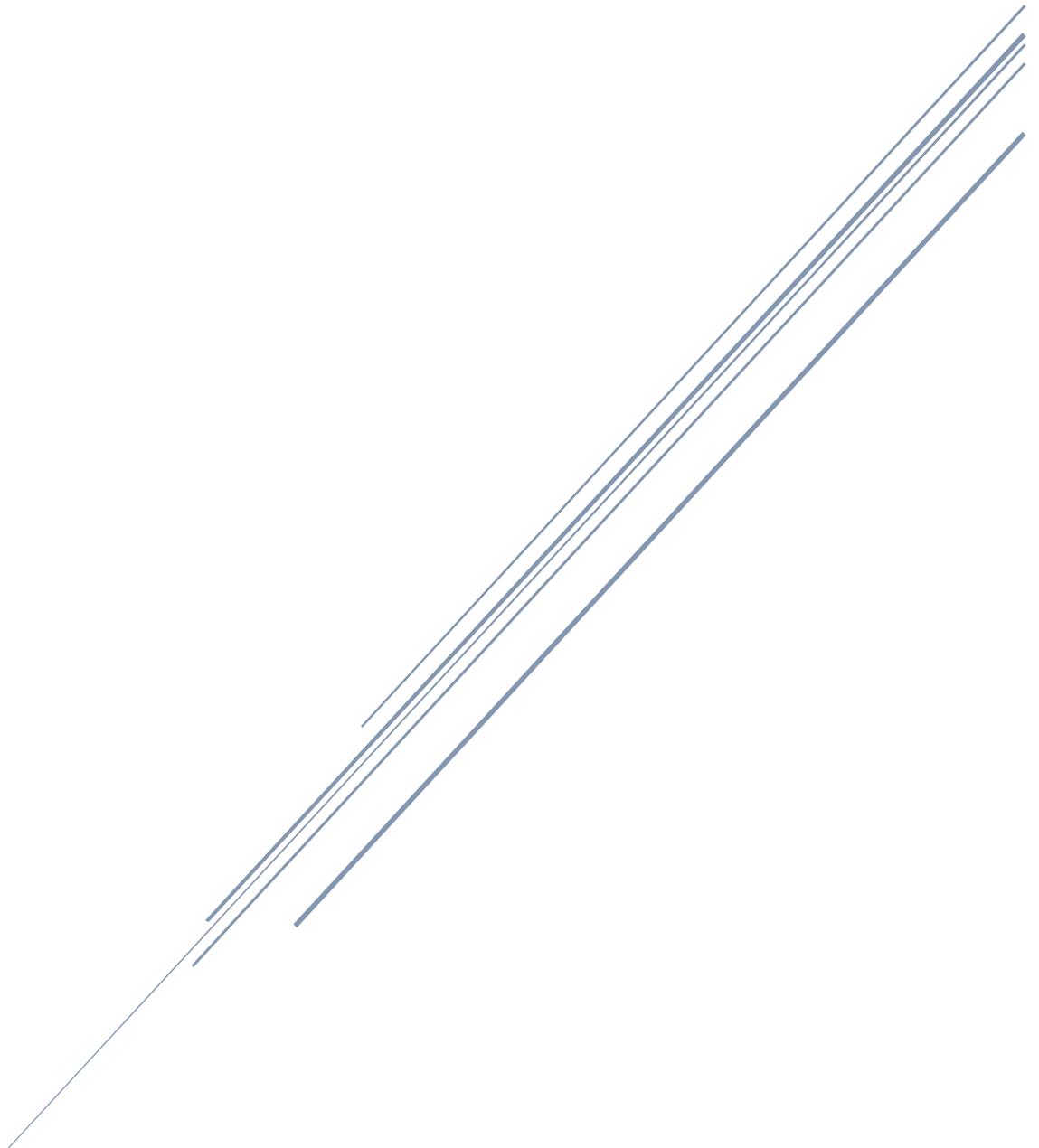


SYSTEMES ET RESEAUX DE TELECOMMUNICATION



Dr Mohammed DEBBAL
Dr Asma AMRAOUI

PREFACE

Ce polycopié est élaboré pour étudier le cours de la matière fondamentale de l'unité d'enseignement UEF 3.1.2 « Systèmes et réseaux de télécommunication », ce qui permet d'approfondir certaines notions de base de la télécommunication.

L'objectif de ce polycopié est de familiariser l'étudiant avec les notions de base sur les réseaux de télécommunications. L'étudiant comprendra les notions de normes et standards. Les caractéristiques et les critères d'évaluation des transmissions numériques. La manière de protéger ces transmissions numériques contre les erreurs dues essentiellement aux types de canaux utilisés. Enfin, des exemples de réseaux de télécommunications filaires, sans fil et aussi mobiles seront présentés.

Cet enseignement qui se déroule au cours d'un semestre est destiné aux étudiants de la licence nationale algérienne 3ème année département génie électrique, option Télécommunication.

Table des matières

PREFACE	1
Table des matières	2
Table des figures	7
Chapitre 1 : Systèmes de transmission numériques	8
I. Introduction	9
I.1. L'information	9
I.2. La communication	9
I.2.1. Les différents types de communications	9
1) La communication interpersonnelle	9
2) La communication de groupe	9
3) La communication de masse	9
I.3. La télécommunication	9
II. Organismes de normalisation	10
II.1. La norme	10
II.2. L'organisme de normalisation	10
II.3. Les Organismes Internationaux	10
II.4. Les Organismes Multinationaux	10
II.5. Les Organismes nationaux	10
II.6. Les Organismes privés	11
II.7. Les Organismes en Algérie	11
III. Supports et canaux de transmission	11
III.1. Paires torsadées	11
III.2. Câbles coaxiaux	12
III.3. Fibre optique	12
III.4. Transmission sans fils	12
III.4.1. Faisceaux hertziens	13
III.4.2. Ondes radioélectriques	13
III.5. Caractéristiques des supports de transmission	13
IV. Principe d'une liaison de données	15
IV.1. Structure générale d'une chaîne de transmission	15
IV.1.1. Information analogique	15
IV.1.2. Information numérique	16
IV.2. Type des liaisons de données	17

IV.2.1. Liaisons simplex	17
IV.2.2. Liaison half-duplex (Semi-duplex)	17
IV.2.3. Liaison full-duplex	18
V. Structure générale d'une chaîne de transmission	18
V.1. Numérisation des informations	19
V.1.1. Échantillonnage	20
V.1.2. Quantification	20
V.2. Source d'information	20
V.2.1. Le signal sonore et le signal vocal	20
V.2.2. Lumière, image, et vidéo	21
V.2.3. Texte	22
V.3. Codage de source et codage de canal	22
V.4. Modulation et démodulation	23
V.5. Décodage de canal et décodage de source	24
Chapitre 2 : Transmission de données	25
I. Introduction	26
II. Type de transmission de données	26
II.1. Transmission en bande de base	26
II.2. Transmission par modulation	27
III. Mode de liaison	27
III.1. Mode de liaison des données	27
IV. Mode d'exploitation, transmission et synchronisation	28
IV.1. Transmission parallèle et transmission série	28
IV.1.1. Transmission parallèle	28
IV.1.2. Transmission série	28
IV.2. Synchronisation	29
IV.3. Transmission asynchrone, synchrone et isochrone	29
IV.3.1. Transmission asynchrone	29
IV.3.2. Transmission synchrone	30
IV.3.3. Comparaison entre le mode synchrone et le mode asynchrone	30
IV.3.4. Transmission isochrone	30
V. Multiplexage	30
V.1. Multiplexage temporel (TDM)	31
V.2. Multiplexage temporel statistique (STDM)	31
V.3. Multiplexage fréquentiel (FDM)	31
V.4. Multiplexage en longueur d'onde (WDM)	31

VI.	Caractéristiques des réseaux de transmission.....	32
VI.1.	Notion de débit binaire.....	32
VI.2.	Rapidité de modulation	32
VI.2.1.	Etats significatifs-instants significatifs-transition.....	32
VI.2.2.	Rapidité de modulation	33
VI.3.	Notion de rapport signal sur bruit	34
VI.4.	Notion de temps de transfert	34
Chapitre 3 : Modems et Interfaces		35
I.	Introduction	36
II.	Caractéristiques et normes.....	36
II.1.	Normes d'interfaces des modems	36
II.2.	Les interfaces	38
III.	Liaisons entre deux systèmes	38
III.1.	Répéteur	38
III.2.	Concentrateur (hub).....	38
III.3.	Commutateur (switch).....	39
IV.	Modem commuté.....	39
V.	ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	40
V.1.	La technologie de transmission de la norme ADSL.....	40
V.2.	ADSL et téléphonie	40
V.3.	Fonctionnement de l'ADSL	40
V.3.1.	Séparateur des signaux (Splitter).....	41
V.3.2.	Modulation de l'ADSL.....	42
V.3.3.	Facteurs affectant le débit de données expérimenté	42
V.3.4.	Le multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique (DSLAM)	42
V.4.	Différents types de DSL	42
V.4.1.	ADSL.....	42
V.4.2.	CDSL.....	43
V.4.3.	G.Lite ou DSL Lite.....	43
V.4.4.	HDSL.....	43
V.4.5.	IDSL	43
V.4.6.	RADSL.....	43
V.4.7.	SDSL	44
V.4.8.	UDSL.....	44
V.4.9.	VDSL.....	44
V.4.10.	x2 / DSL	44

Chapitre 4 : Protection contre les erreurs	45
I. Introduction	46
II. Notion de taux d'erreur	46
III. Les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs	47
III.1. Types d'erreurs	47
III.1.1. Erreurs de données à un seul bit	47
III.1.2. Erreurs de données à plusieurs bits	48
III.1.3. Erreur en rafale de bits	48
III.2. Codes détecteur d'erreur	49
III.2.1. Types de détecteur d'erreur	49
III.2.1.1. Code de parité	49
III.2.1.2. Code CRC (Cyclic Redundancy Check)	50
III.2.1.3. Code LRC (Longitudinal Redundancy Checking)	51
III.3. Codes correcteur d'erreur	52
III.3.1. Code Demande de répétition automatique (ARQ : Automatic Repeat Request) ..	52
III.3.1.1. Stop-and-wait (arrêt et attente)	53
III.3.1.2. Go-back-N (Retour à N)	53
III.3.1.3. Répétition sélective	53
III.3.2. Codes de correction d'erreur direct (FEC : Forward Error Correction)	54
III.3.2.1. Codes linéaires	54
III.3.2.2. Codes de blocs	54
Chapitre 5 : Réseaux de télécommunications	56
I. Introduction	57
II. Réseaux fixes	57
II.1. RTC (Réseau Téléphonique Commuté)	58
II.2. RNIS (Réseaux Numériques à Intégration de Services)	59
II.3. ATM (Mode de Transfert Asynchrone)	60
III. Réseaux sans fil	60
III.1. Définition	60
III.2. Fonctionnement d'un réseau sans fil	61
III.2.1. Réseau avec infrastructure	61
III.2.2. Réseau sans infrastructure	62
III.3. Catégories de réseaux sans fil	62
III.3.1. WPAN (Wireless Personal Area Network)	62
III.3.2. WLAN (Wireless Local Area Network)	63
III.3.3. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	63

III.3.4. WWAN (Wireless Wide Area Network).....	63
III.3.5. WRAN (Wireless Regional Area Network).....	63
III.4. Différents types de réseaux sans fil.....	63
III.4.1. Réseaux utilisant les ondes infrarouges.....	64
III.4.2. Réseaux utilisant les ondes radio.....	64
III.4.2.1. Bluetooth	64
III.4.2.2. HomeRF (Home Radio Frequency)	64
III.4.2.3. ZigBee	64
III.4.2.4. HiperLan (High Performance Lan)	65
III.4.2.5. Norme IEEE 802.11	65
III.4.2.6. Wimax	67
III.4.2.7. Norme IEEE 802.22	68
IV. Réseaux mobiles.....	68
IV.1. Sans fil et mobilité	68
IV.2. Mobilité.....	69
IV.3. Architecture cellulaire.....	69
IV.4. Téléphonie.....	70
IV.5. Évolution des systèmes cellulaires.....	70
IV.5.1. Première génération (1G).....	70
IV.5.2. Deuxième génération (2G).....	70
IV.5.2.1. GSM (Global System for Mobile Communication).....	70
IV.5.2.2. GPRS (2.5G)	71
IV.5.2.3. EDGE (2.75G)	71
IV.5.3. Troisième génération (3G)	71
IV.5.3.1. UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	71
IV.5.4. Quatrième génération (4G)	72
IV.6. Wimax mobile et 4G	72
V. Conclusion.....	73
Références	74
Exercices	77
Correction des exercices.....	82

Table des figures

Figure I. 1 : système de communication par satellite	9
Figure I. 2 : Paires torsadées	11
Figure I. 3 : Câbles coaxiaux.....	12
Figure I. 4 : Constitution de la fibre optique	12
Figure I. 5 : Faisceaux hertziens.....	13
Figure I. 6 : Atténuation	14
Figure I. 7 : Déphasage	14
Figure I. 8 : Bande passante	14
Figure I. 9 : Bruits et distorsions	15
Figure I. 10 : Chaîne de transmission analogique	16
Figure I. 11 : Chaîne de transmission numérique.....	16
Figure I. 12 : Transmission simplex.....	17
Figure I. 13 : Transmission semi-duplex.....	17
Figure I. 14 : Transmission duplex.....	18
Figure I. 15 : Structure générale d'une chaîne de transmission	18
Figure I. 16 : Schéma d'un système de communication simple.....	19
Figure I. 17 : Numérisation d'un signal analogique.....	19
Figure I. 18 : Signal de la parole	21
Figure I. 19 : Code QR	21
Figure I. 20 : Codage de source et codage de canal	22
Figure II. 1 : Transmission en bande de base	26
Figure II. 2 : Codeur bande de base.....	26
Figure II. 3 : Transmission par modulation.....	27
Figure II. 4 : Mode de liaison.....	28
Figure II. 5 : La transmission parallèle.....	28
Figure II. 6 : La transmission série.....	28
Figure II. 7 : Principe de la synchronisation	29
Figure II. 8 : Transmission asynchrone	29
Figure II. 9 : Structure type d'un bloc de données en transmission synchrone	30
Figure II. 10 : Schématisation d'un système de transmission	32
Figure II. 11 : Signaux bivalent et trivalent	33
Figure III. 1 : Répéteur.....	38
Figure III. 2 : Concentrateur.....	38
Figure III. 3 : Commutateur	39
Figure III. 4 : Modem commuté.....	39
Figure III. 5 : Splitter.....	41
Figure III. 6 : Erreurs de données à un seul bit	48
Figure III. 7 : Erreurs de données à plusieurs bits.....	48
Figure III. 8 : Erreur en rafale de bits.....	48
Figure V. 1: Arborescence du RTC.....	58
Figure V. 2 : Catégories des réseaux sans fil	62
Figure V. 3 : Le Wimax et ses concurrents	68
Figure V. 4 : Architecture cellulaire.....	69
Figure V. 5 : Services offerts par le système 3G.....	72



CHAPITRE I

Systemes de transmission numériques

I. Introduction

I.1. L'information

En informatique et en télécommunication, l'information est un élément de connaissance (voix, donnée, image) susceptible d'être conservé, traité ou transmis à l'aide d'un support et d'un mode de codification normalisé.

I.2. La communication

La communication est un échange et une relation entre deux ou plusieurs personnes. C'est un processus dynamique, en mouvement, qui fait évoluer la situation.

I.2.1. Les différents types de communications

Il convient de distinguer 3 types de communication :

- 1) *La communication interpersonnelle* : c'est la communication entre deux individus.
- 2) *La communication de groupe* : ce type de communication se déroule entre les membres d'un groupe qui peuvent échanger entre eux.
- 3) *La communication de masse* : ce type de communication correspond à la diffusion d'un message d'un émetteur vers un très grand nombre de récepteurs à l'aide de techniques de diffusion collective (presse, radio, affiche, cinéma, Internet, tv...).

I.3. La télécommunication

La télécommunication est un ensemble des procédés permettant de transmettre des informations à distance, tels que le téléphone, la radio, la télévision, et maintenant les réseaux informatiques.

- Télégraphe (1794) ;
- Télégraphe de Morse (1837) ;
- Téléphone de Bell (1876) ;
- Transmission télégraphique sans fil sur 16 km (1897) Guglielmo Marconi ;
- Transmission par satellite (1962 Telstar) ;

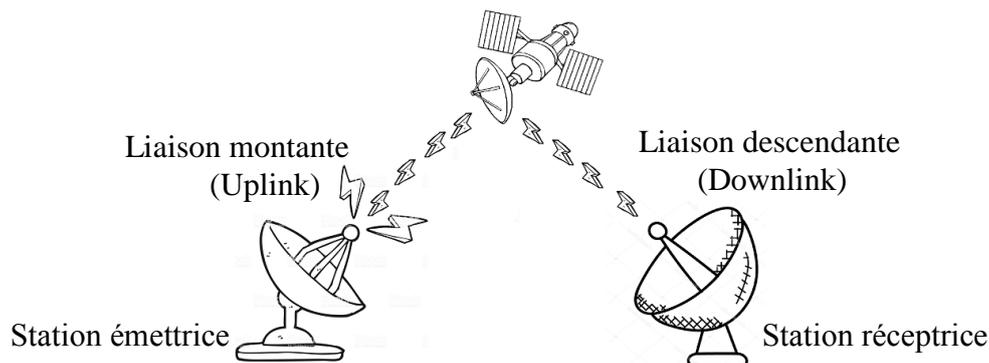


Figure I. 1 : système de communication par satellite

II. Organismes de normalisation

II.1. La norme

Une norme est un document établi par voie de consensus entre experts du sujet et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit des lignes directrices sur la conception, l'utilisation ou la performance des matériaux, produits, processus, services, systèmes ou personnes.

II.2. L'organisme de normalisation

L'organisme de normalisation est un organisme dont les activités premières sont l'établissement puis le maintien de normes destinées à des utilisateurs extérieurs à cette organisation. Leurs activités peuvent inclure le développement, la coordination, la promulgation, la révision, la modification, la réédition ou l'interprétation de telles normes.

II.3. Les Organismes Internationaux

Les organismes de normalisation internationaux cités ci-dessous sont sous l'égide de l'**ONU** et sont les plus **actifs** dans le domaine des **réseaux** et des **télécommunications**.

- ✓ **OSI** (Organisation Internationale de Standardisation) ou **ISO** (International Organisation for Standardisation) [1].
- ✓ **CEI** (Commission Électrotechnique Internationale) [2].
- ✓ **UIT** (Union Internationale des Télécommunications) anciennement **CCITT** (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) [3].

II.4. Les Organismes Multinationaux

A ces organismes internationaux, s'ajoutent encore des organismes de différents continents comme l'Europe et les Etats-Unis :

- ✓ **ECMA** (European Computer Manufacturer Association) [4].
- ✓ **CEPT** (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) [5].

II.5. Les Organismes nationaux

- ✓ **AFNOR** (Association Française de Normalisation) [6].
- ✓ **ANSI** (American National Standard Institute) (USA) [7].
- ✓ **DIN** (Deutsches Institut für Normung) (GER) [8].
- ✓ **BSI** (British Standardization Institute) (UK) [9].
- ✓ **SEV** (Schweizerischer Electrotechnischer Verein) [10].

II.6. Les Organismes privés

- ✓ **DARPA** du DoD (Defense Advanced Research Projects Agency) (USA) [11].
- ✓ **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) (USA) [12].
- ✓ **EIA** (Electronic Industries Alliance) [13].
- ✓ **ATM Forum** et **Gigabit Ethernet Alliance** [14].
- ✓ **IETF** (Internet Engineering Task Force) (USA) [15].

II.7. Les Organismes en Algérie

- ✓ **IANOR** L'Institut Algérien de Normalisation [16].

III. Supports et canaux de transmission

Les moyens par lesquels les données sont transmis d'un endroit à un autre sont appelés support de transmission ou de communication. Il existe deux catégories de supports de transmission (transmission guidée et transmission non guidée).

Les supports de transmission guidée, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés ; ils transportent des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent la lumière, tandis que les supports non guidés des communications sans fils propagent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

- Câble coaxial (RG58) ;
- Câble à paires torsadées (FTP, UTP, SFTP...) ;
- Fibre optique utilisée pour l'interconnexion de réseaux locaux ;
- Faisceau hertziens (Les ondes radio) ;

III.1. Paires torsadées

Une paire torsadée est une ligne symétrique formée de deux fils conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre. Cette configuration a pour but principal de limiter la sensibilité aux interférences et la diaphonie dans les câbles multi-paires [17].

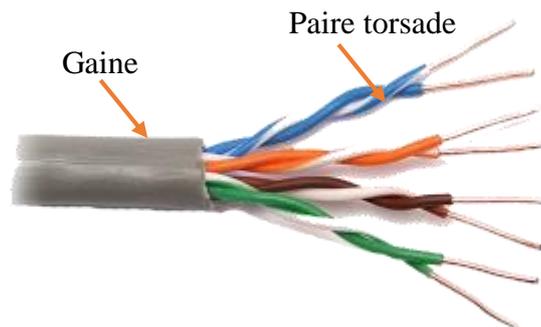


Figure I. 2 : Paires torsadées

III.2. Câbles coaxiaux

Pour éviter les perturbations dues aux bruits externes, on utilise deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites dues à l'environnement [18].



Figure I. 3 : Câbles coaxiaux

III.3. Fibre optique

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété d'être un conducteur de la lumière et sert dans la transmission de données et de lumière.

Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques

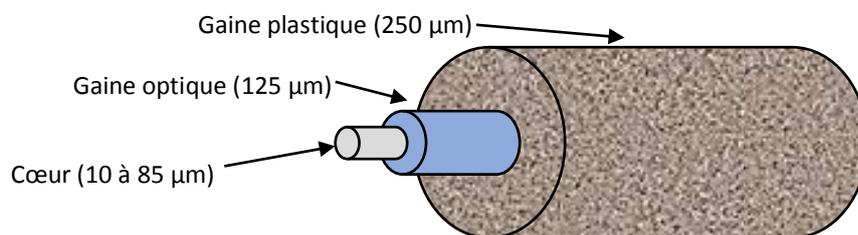


Figure I. 4 : Constitution de la fibre optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les fibres monomodes et multimodes [19].

III.4. Transmission sans fils

La transmission sans fil est un mode de communication à distance utilisant des ondes électromagnétiques sans nécessiter la pose coûteuse de câbles [20].

III.4.1. Faisceaux hertziens

Les faisceaux hertziens ou câbles hertziens, par analogie aux réseaux câblés peuvent être analogiques ou numériques. Les débits peuvent atteindre 155 Mbit/s. Ils sont principalement utilisés pour des réseaux :

- de téléphonie (multiplexage fréquentiel ou temporel),
- de transmission de données,
- de diffusion d'émissions télévisées.

Pour diminuer les puissances d'émission, la technique des faisceaux hertziens utilise des antennes très directives émettant dans une direction donnée.



Figure I. 5 : Faisceaux hertziens

III.4.2. Ondes radioélectriques

Les ondes de faible fréquence, de quelques kilohertz (KHz) à plusieurs gigahertz (GHz), sont appelées Ondes Radio.

Un émetteur diffuse ces ondes captées par des récepteurs dispersés géographiquement. Contrairement aux faisceaux hertziens, il n'est pas nécessaire d'avoir une visibilité directe entre émetteur et récepteur, car celui-ci utilise l'ensemble des ondes réfléchies et diffractées.

III.5. Caractéristiques des supports de transmission

Les supports de transmission, quels qu'ils soient, ne sont malheureusement pas parfaits. Ils ont une **bande passante limitée**, supportent divers **bruits** et ont de ce fait une **capacité à transmettre** les signaux limitée.

Atténuation, affaiblissement ; Déphasage, temps de propagation ; Bande passante ; Bruit

Type	Bande passante	Retard	Espacement de répéteur	Utilisation
Paire Torsadée	> 1000 kHz	5 μ s/km	2 km	Téléphonie, LAN
Câble coaxial	> 500 MHz	4 μ s/km	1 to 9 km	Télévision, LAN
Fibre Optique	> 370 THz	5 μ s/km	40 km	LAN, MAN et WAN
Satellites	> 10 MHz			WAN

- **L'atténuation** ou affaiblissement est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission.

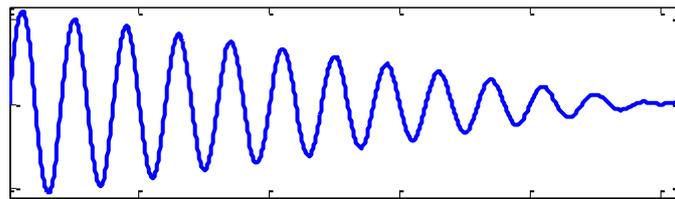


Figure I. 6 : Atténuation

- **Le déphasage** entre deux ondes est la différence entre leurs phases. Souvent, on mesure cette différence de phases à un même instant pour les deux ondes, mais pas toujours au même endroit de l'espace.

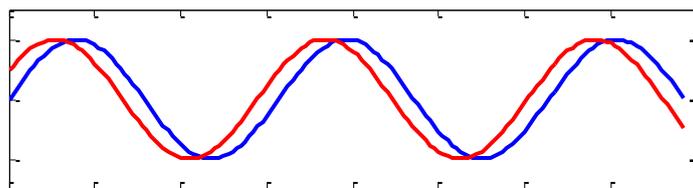


Figure I. 7 : Déphasage

- **La bande passante** est la bande de fréquences dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support de transmission ont une puissance de sortie supérieure à un seuil donné après traversée du support.

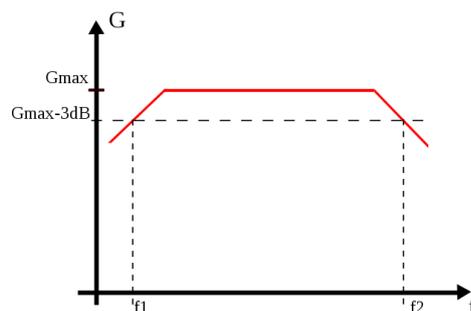


Figure I. 8 : Bande passante

- **Temps de propagation** : c'est le temps nécessaire à un message pour se rendre d'un point A vers un point B.

- **Bruits et distorsions** : Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent, même lorsque leurs fréquences sont adaptées, comme l'illustre la figure qui va suivre. Diverses sources de bruit perturbent les signaux : parasites, phénomènes de diaphonie... Certaines perturbations de l'environnement introduisent également des bruits (foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers...).

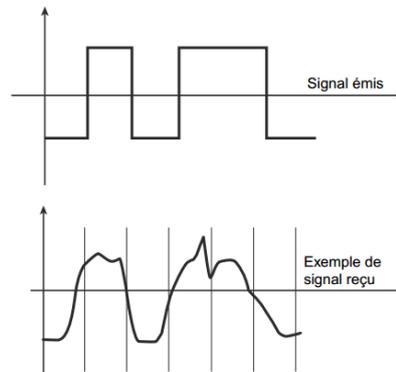


Figure I. 9 : Bruits et distorsions

IV. Principe d'une liaison de données

Le circuit de données est une entité capable d'envoyer ou de recevoir une suite de données, à un débit donné, dans un délai donné et avec un taux d'erreur dépendant du support utilisé [21].

IV.1. Structure générale d'une chaîne de transmission

IV.1.1. Information analogique

- Source : Son, Lumière, Température, Vitesse, Accélération, Déplacement, Force, ...
- Transducteur : Microphone, Photodiode, Capteur, Thermocouple, Potentiomètre, ...
- Emetteur
- Canal : Ligne bifilaire, câble coaxial, fibre optique, guide d'ondes, espace libre, ionosphère, canal sous-marin
- Récepteur
- Transducteur : Haut-parleur, Visualisation, Asservissement, Commande de procédé, Calcul, ...
- Destination

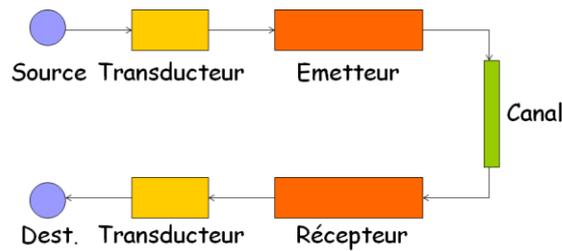
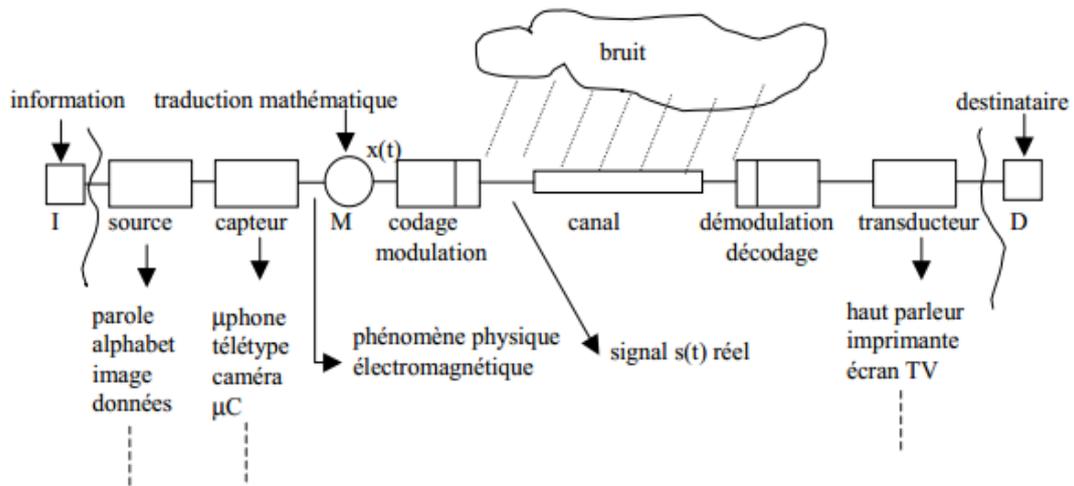


Figure I. 10 : Chaîne de transmission analogique

IV.1.2. Information numérique

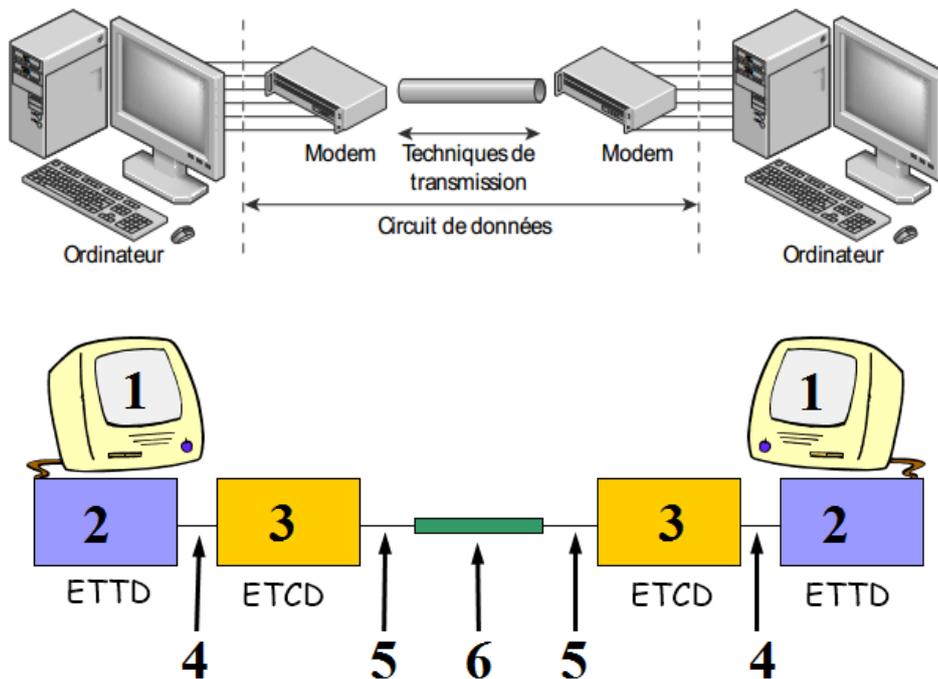


Figure I. 11 : Chaîne de transmission numérique

1 : Terminaux informatiques (ou autres)

2 : Equipements Terminaux de Traitement des Données : désigne l'équipement informatique qui génère les données à transmettre et traite les données reçues. (Ex : un ordinateur personnel)

3 : Equipements de Terminaison de Circuit de Données : reçoit en entrée la suite de données binaires et fournit en sortie un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support de transmission. (Ex : Modem)

4 : Interfaces numériques

5 : Interfaces analogiques

6 : Ligne de transmission

IV.2. Type des liaisons de données

L'utilisation d'une liaison de données dépend de la nature des émetteurs et récepteurs situés aux extrémités du support de transmission [22].

IV.2.1. Liaisons simplex

La transmission simplex est celle qui circule dans une seule direction. Cela peut être plus clair dans l'exemple d'une personne parlant dans un microphone, puis écoutant la voix de locuteur. Le signal circule dans un seul sens du microphone au haut-parleur. Ce mode de transmission peut également être appelé transmission unidirectionnelle ou transmission à sens unique.

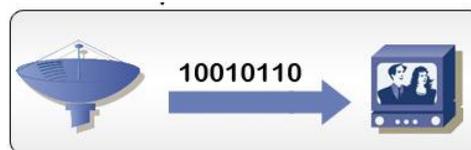


Figure I. 12 : Transmission simplex

IV.2.2. Liaison half-duplex (Semi-duplex)

La transmission semi-duplex est capable d'envoyer un signal dans les deux sens, mais dans un seul sens à la fois. Certains réseaux utilisent la transmission semi-duplex, mais il est nécessaire de spécifier cette exigence pour tous les nœuds du réseau. Un exemple pourrait être les téléphones radio de voiture de police permettant à une seule personne de parler à la fois.

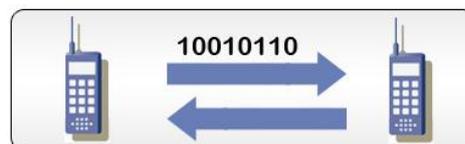


Figure I. 13 : Transmission semi-duplex

IV.2.3. Liaison full-duplex

Enfin, et le plus courant des transmissions est en mode full-duplex (ou tout simplement duplex). Il permet la transmission du signal dans les deux sens simultanément. Un exemple est un service téléphonique IP. Ce type de transmission peut également être appelé transmission bidirectionnelle.

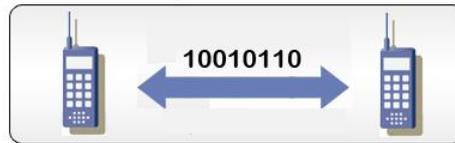


Figure I. 14 : Transmission duplex

V. Structure générale d'une chaîne de transmission

Plus globalement, l'on peut toujours identifier trois éléments dans la chaîne de communication, à savoir l'émetteur, le canal et le récepteur.

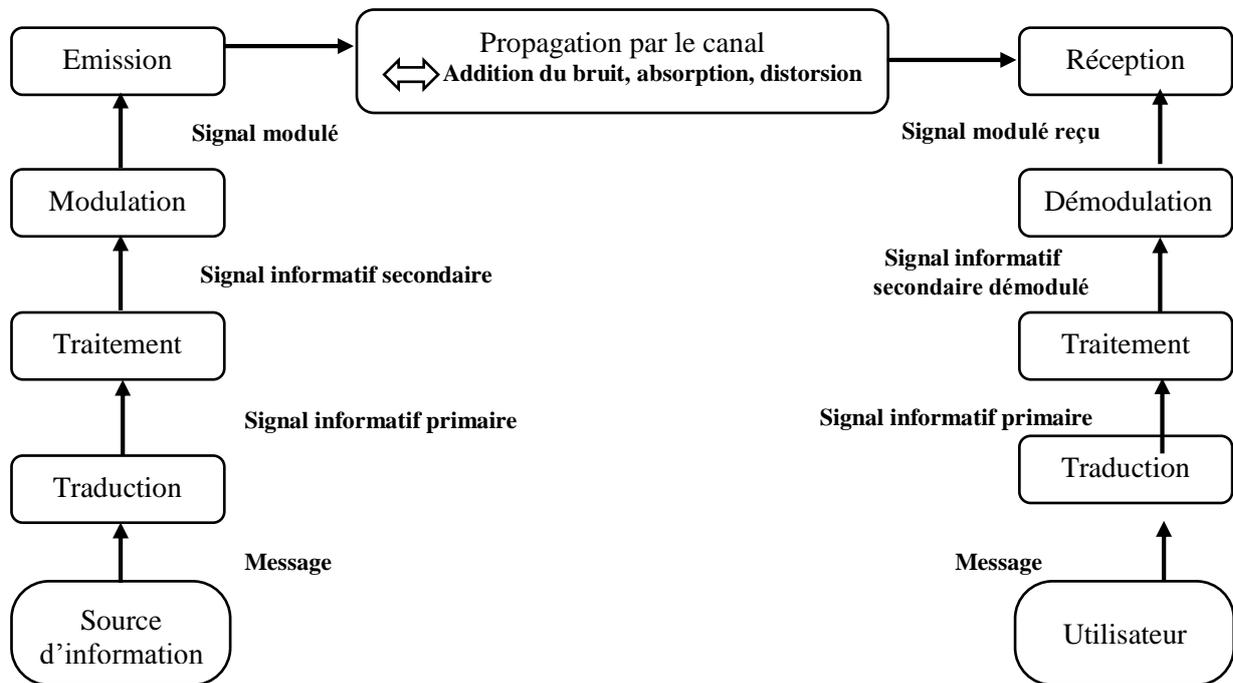


Figure I. 15 : Structure générale d'une chaîne de transmission

- Parmi les étapes mentionnées ci-dessus, codage de source, codage contre les erreurs, et modulation sont accomplies par l'émetteur.

* La mission de l'émetteur est donc de mettre le signal à transmettre sous une forme qui soit adaptée au canal au travers duquel se fait la communication.

- Les opérations d'inversion correspondantes sont effectuées par le récepteur. Ces opérations d'inversion peuvent prendre des formes très diverses suivant la complexité autorisée au récepteur et les performances que l'on veut atteindre. Le canal n'est cependant jamais parfait et introduit donc du bruit, des distorsions et des interférences sur le signal émis.

* La tâche du récepteur est de reconstituer au mieux le message original.

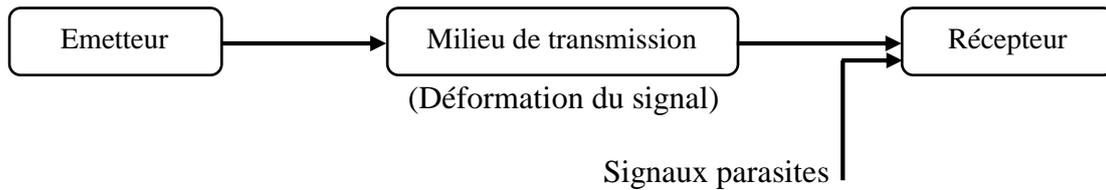


Figure I. 16 : Schéma d'un système de communication simple

V.1. Numérisation des informations

Numériser une grandeur analogique consiste à transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie. À cet effet, on prélève, à des instants significatifs, un échantillon du signal et on exprime son amplitude par rapport à une échelle finie (quantification).

Les signaux analogiques devant être numérisés par un CAN (Convertisseur Analogique Numérique) proviennent normalement de capteurs ou de transducteurs qui capturent un signal (son, pression, lumière, ondes radio, etc.) et le transforment en une tension proportionnelle à l'amplitude de ce signal. L'opération nécessaire pour convertir la tension générée par le capteur en son équivalent numérique est effectuée par le CAN en tant que processus en deux étapes. Ce processus est illustré par le diagramme suivant.

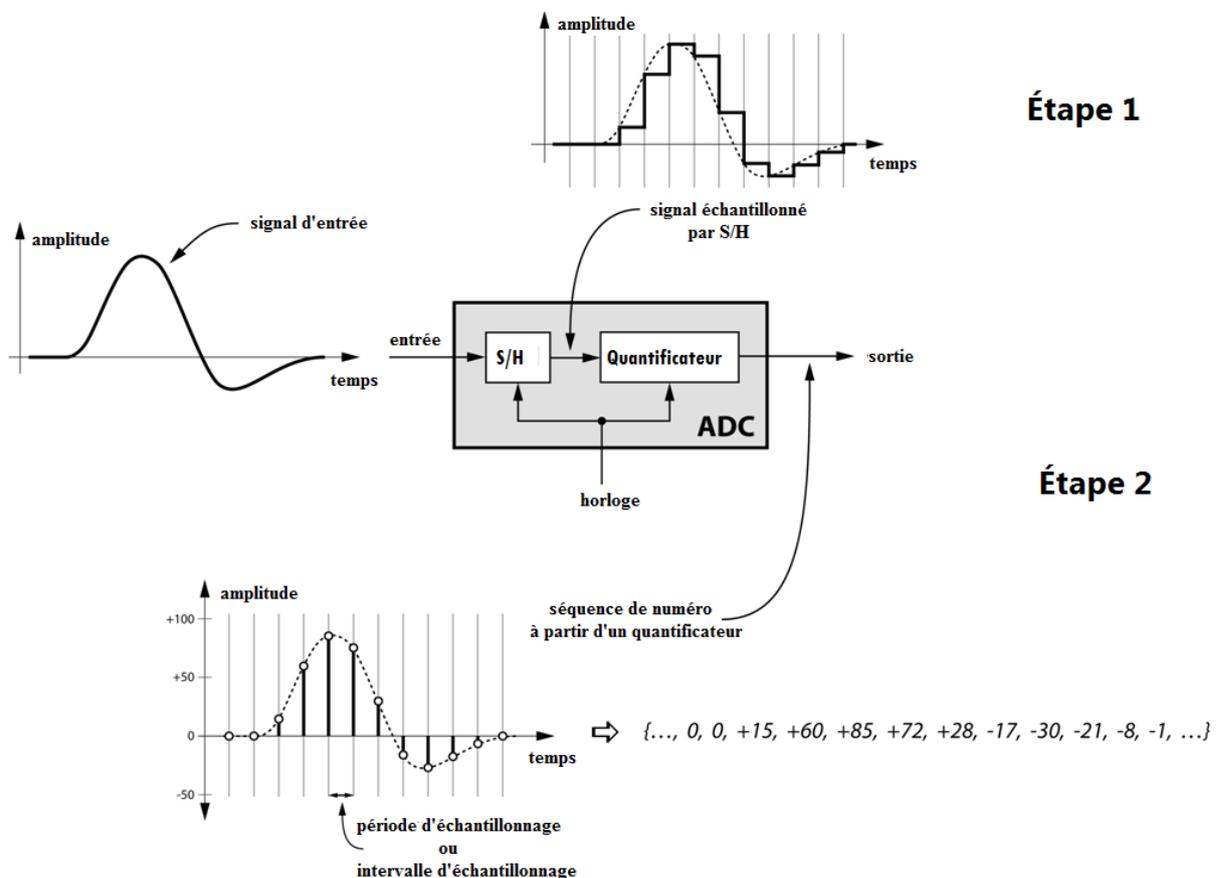


Figure I. 17 : Numérisation d'un signal analogique

V.1.1. Échantillonnage

La première étape (étape 1 du diagramme) consiste à prendre un intervalle instantané de la tension d'entrée du CAN et à le fixer pendant la durée de la conversion. Il s'agit de la partie échantillonnage du processus, réalisée par l'échantillonneur-bloqueur (S/H : Sample-and-Hold), situé directement à l'entrée du CAN. Le S/H ouvre brièvement sa fenêtre d'ouverture pour capturer la tension d'entrée sur le front montant du signal d'horloge, puis le ferme pour maintenir sa sortie au prochain niveau. Comme le montre le schéma ci-dessus, le signal présent à la sortie du S/H (interne à l'ADC et invisible de l'extérieur) a l'aspect d'un escalier. Le niveau de sortie du S/H est mis à jour sur chaque front montant de l'entrée d'horloge de l'ADC.

V.1.2. Quantification

La deuxième étape (étape 2 du diagramme) attribue une valeur numérique au niveau de tension présent à la sortie du S / H. Ce processus, appelé quantification, recherche la valeur la plus proche correspondant à l'amplitude du signal S / H parmi un nombre fixe de valeurs possibles couvrant toute sa plage d'amplitudes. Le quantificateur ne peut pas rechercher dans un nombre infini de possibilités et doit se limiter à un ensemble limité de valeurs potentielles. La taille de cet ensemble correspond à la plage du quantificateur et correspond toujours à une puissance de 2 (ou 2^N , telle que 256, 512, 1024, etc.).

Une fois que la valeur discrète la plus proche a été identifiée par le quantificateur, une valeur numérique lui est attribuée et codée sous forme de nombre binaire. Comme la valeur est nécessairement contenue dans l'ensemble complet de 2^N valeurs de potentiel, seuls N bits sont nécessaires pour représenter tous les nombres codés binaires pouvant être générés par le quantificateur. Pour cette raison, les ADC sont souvent appelés ADC à N bits, où N représente le nombre de bits utilisés par l'ADC pour coder ses valeurs numérisées. Par convention, N-bit est également utilisé pour désigner la résolution du CAN, puisque l'étape de quantification (la distance entre les niveaux de quantification discrets) est égale à $1/2^N$.

V.2. Source d'information

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.

V.2.1. 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.
- L'intensité acoustique est la puissance transportée par unité de surface du front d'onde.

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

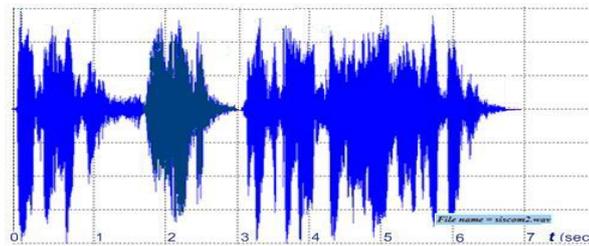


Figure I. 18 : Signal de la parole

V.2.2. Lumière, image, et 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 3.10^8 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 λ allant de 740 nm (Infrarouge) à 380 nm (Ultraviolet)

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.



Figure I. 19 : Code QR

Cette image numérique noir et blanc (pixels à valeur 1 et 0) est le Code QR représentant des informations derrière cette image

Un code QR (Quick Response) est une étiquette optique lisible par machine, qui contient une information incorruptible concernant l'article sur lequel elle figure.

V.2.3. Texte

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'unicode à 16 bits.

V.3. Codage de source et codage de canal

Les étapes de traitement du signal qui ont lieu dans l'émetteur sont, pour la plupart, inversées dans le récepteur. Le codeur source convertit les informations d'entrée en chiffres binaires (bits); ensuite regroupés pour former des messages numériques. Il supprime également toute redondance des bits d'entrée et génère les symboles de message. Celles-ci sont ensuite transmises via un encodeur de canal qui ajoute une redondance au niveau contrôlé pour se protéger contre les erreurs pouvant survenir dans le canal.

Par exemple, un code de canal peut prendre en k bits d'information qui sont émis par le codeur source et en sortie n bits codés, formant ainsi un code de canal (n, k) . Les bits codés sont passés à travers un filtre de mise en forme d'impulsions, représentés par des impulsions et modulés sur une porteuse et transmis sur le canal. L'objectif principal du modulateur est de convertir une impulsion numérique en un signal analogique, qui est le seul signal pratique pouvant être transmis.

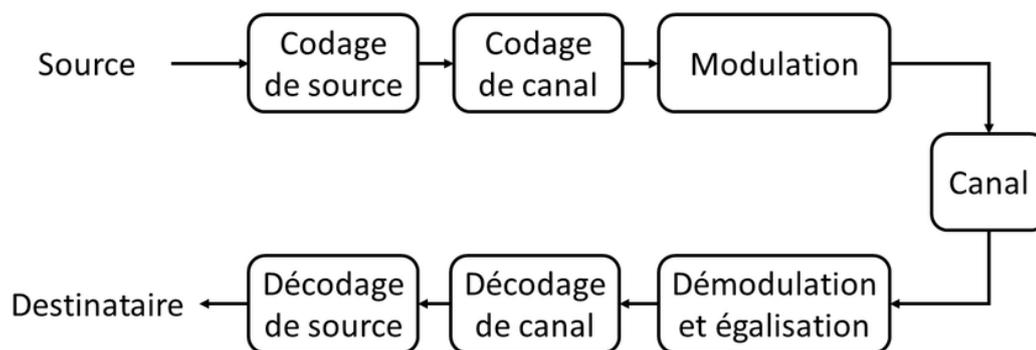


Figure I. 20 : Codage de source et codage de canal

Au niveau du récepteur, le démodulateur extrait le signal reçu de la forme d'onde de la porteuse et obtient une valeur pour chaque bit transmis. Cela peut correspondre à une grandeur réelle de la valeur du bit transmis ou à une valeur de vraisemblance du bit égal à 1 ou à 0. Le décodeur de canal prend en entrée les valeurs reçues correspondant aux n bits codés transmis et prend la décision concernant les k bits d'information.

Exemple

On cherche à comprimer l'image 4x4 suivante où chaque pixel est caractérisé par une couleur parmi 4 : R = « rouge », J = « jaune », B = « bleu », V = « vert ».

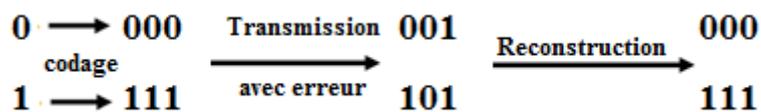
R	R	R	R
R	B	R	B
R	B	V	B
R	J	J	J

La méthode triviale pour transmettre cette information sous forme binaire est d'associer un mot de code sur 2 bits à chaque couleur (codage de source).

Ex : R = « 00 » B = « 01 » V = « 10 » J = « 11 »

L'image peut être codée sur 32 bits en parcourant les lignes de l'image de haut en bas et de gauche à droite : 00 00 00 00, 00 01 00 01, 00 01 10 01, 00 11 11 11

Le codage de canal rajoute de l'information pour permettre au récepteur de détecter ou corriger les erreurs éventuellement apparues.



V.4. Modulation et démodulation

En modulation numérique, les signaux d'information, qu'ils soient audio, vidéo ou de données, sont tous numériques. En conséquence, l'information numérique module une porteuse de forme d'onde sinusoïdale analogique. La sinusoïde ne comporte que trois caractéristiques pouvant être modifiées pour acheminer les informations : amplitude, fréquence et phase. Ainsi, la modulation passe-bande peut être définie comme le processus par lequel l'amplitude, la fréquence ou la phase de la porteuse, ou une combinaison de celles-ci, varie en fonction des informations numériques à transmettre.

Les techniques de modulation numérique offrent une plus grande capacité d'information, une compatibilité avec les services de données numériques, une sécurité accrue des données, une communication de meilleure qualité et une disponibilité plus rapide des systèmes. Les limitations rencontrées par ces systèmes de communication sont les suivantes :

- ✓ Bande passante disponible
- ✓ Puissance admissible
- ✓ Niveau de bruit inhérent au système

La démodulation est définie comme l'extraction du signal porteur d'informations d'origine d'une onde porteuse modulée. Un démodulateur est un circuit électronique principalement utilisé pour récupérer le contenu de l'information à partir de l'onde porteuse modulée. Il existe différents types de modulation, de même que les démodulateurs. Le signal de sortie via le démodulateur peut décrire le son, les images ou les données binaires.

V.5. Décodage de canal et décodage de source

Comment un décodeur de code par bloc pourrait-il prendre la décision de décoder un mot reçu ? Une réponse intuitive naturelle est de supposer le plus petit nombre d'erreurs, ce qui, d'après ce qui vient d'être dit, amène à prendre le mot de code le plus proche.

Par exemple, si les deux seuls mots de code possibles sont 000 et 111, et que 010 est reçu, nous voudrions certainement le voir décodé en 000.

Le décodage consiste à trouver le chemin le plus approprié correspondant au message reçu à décoder. Dans le cadre du décodage à distance minimale, c.-à-d. le décodage du mot de code avec un nombre minimal d'erreurs, « le chemin le plus approprié » signifie le chemin avec la distance de Hamming minimale par rapport au message à décoder [23].

La recherche de ce chemin « le plus proche » peut être effectuée en utilisant la programmation dynamique, c.-à-d. l'algorithme de Viterbi [24].

Cet algorithme décode un bloc de mot de code après l'autre (c.-à-d. des paquets de n bits du message les uns après les autres), en ne gardant à chaque étape que les solutions localement optimales, c.-à-d. gardant, pour chaque nœud dans la colonne correspondant au bloc couramment décodé, le meilleur chemin menant à ce nœud.

A la fin, le meilleur chemin trouvé pour le dernier nœud est le message décodé [25].



CHAPITRE II

Transmission de données

I. Introduction

L'acheminement, dans un même réseau, d'informations aussi différentes que les données informatiques, la voix ou la vidéo implique que chacune de ces catégories d'information ait une représentation identique vis-à-vis du système de transmission et que le réseau puisse prendre en compte les contraintes spécifiques à chaque type de flux d'information.

II. Type de transmission de données

II.1. Transmission en bande de base

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 [26].

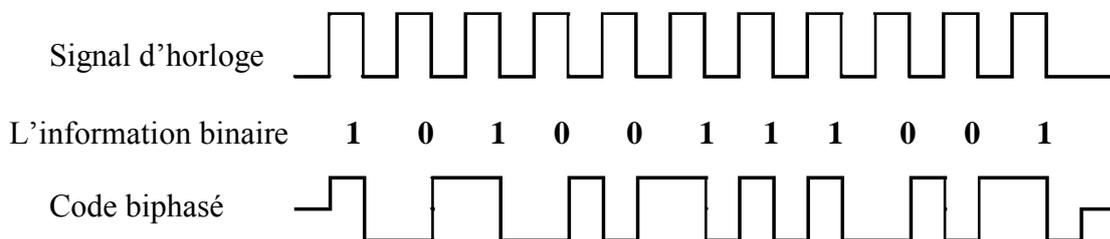


Figure II. 1 : Transmission en bande de base

Dans la transmission en bande de base, l'équipement qui fabrique les signaux est un codeur. Il code le message de données synchrone en une suite de signaux compatibles avec les caractéristiques physiques du support (le codeur effectue un simple transcodage du signal que lui fournit l'émetteur).

Le codeur récepteur doit reconstituer le signal d'horloge associé aux données.

Le code biphase est un exemple très connu de codage pour la transmission en bande de base.

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



Figure II. 2 : Codeur bande de base

II.2. Transmission par modulation

La transmission par modulation consiste à envoyer une onde sinusoïdale appelée porteuse. En fonction de la donnée à transmettre, le modem modifie l'un des paramètres de la porteuse (fréquence, phase ou amplitude) [27].

Soit $a \cos(2\pi f_0 t + \varphi)$ une porteuse de fréquence f_0 , et $d(t)$ la suite des données binaires à transmettre (le message de données synchrone de la figure en dessus par exemple).

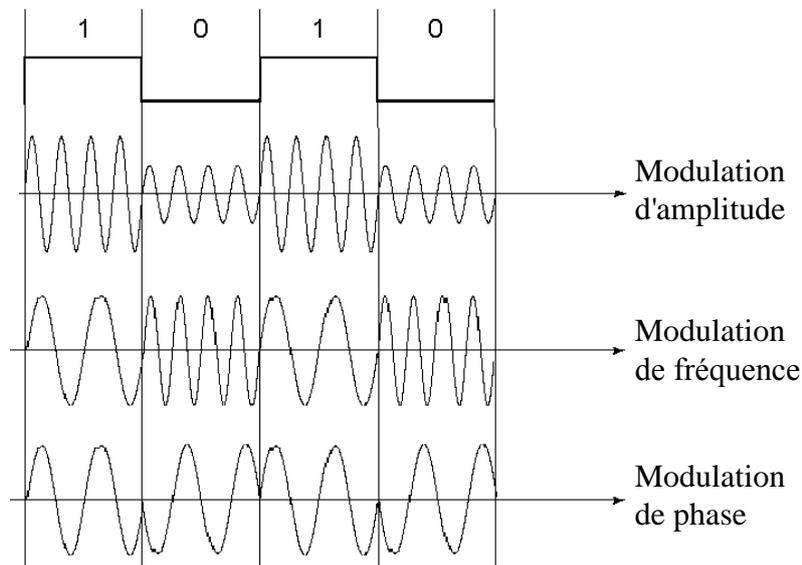


Figure II. 3 : Transmission par modulation

III. Mode de liaison

La liaison entre deux points peut s'effectuer de différentes manières (point à point et multipoint). La transmission est caractérisée par :

- ✓ le sens des échanges
- ✓ le mode de transmission : il s'agit du nombre de bits envoyés simultanément
- ✓ la synchronisation : il s'agit de la synchronisation entre émetteur et récepteur

III.1. Mode de liaison des données

Le point à point et le multipoint sont deux types de configuration de liaison. Ils décrivent tous deux une méthode pour connecter deux périphériques de communication ou plus dans une liaison. La principale différence entre une connexion point à point et une connexion multipoint réside dans le fait que, dans une connexion point à point, la liaison n'est reliée qu'à deux périphériques, c'est-à-dire un émetteur et un récepteur. En revanche, dans une connexion multipoint, la liaison est établie entre un expéditeur et plusieurs destinataires.

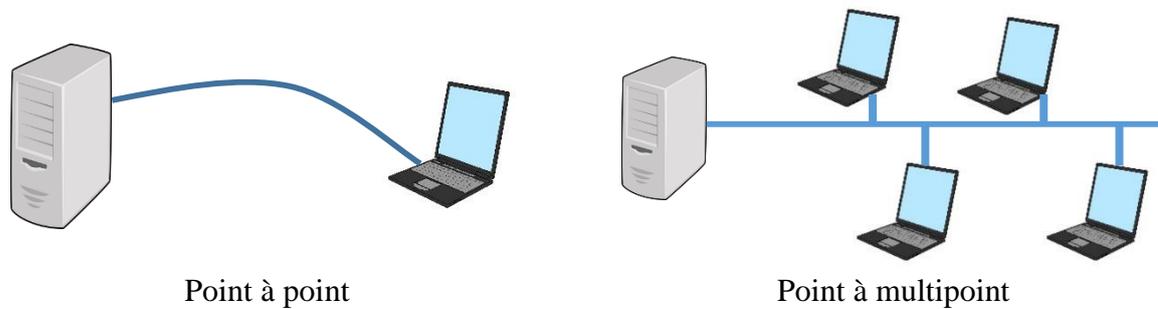


Figure II. 4 : Mode de liaison

IV. Mode d'exploitation, transmission et synchronisation

La transmission de l'information entre les différents équipements est effectuée de plusieurs façons en fonction des caractéristiques des éléments suivants :

IV.1. Transmission parallèle et transmission série

IV.1.1. Transmission parallèle

La transmission parallèle est caractérisée par un transfert simultané de tous les bits d'un même mot. Elle nécessite autant de conducteurs qu'il y a de bits à transmettre et un conducteur commun (liaison asymétrique) ou autant de paires de fils si la masse n'est pas commune (liaison symétrique).

La transmission parallèle est très performante en termes de débit. Elle est utilisée pour des liaisons entre un ordinateur, ses périphériques et ses unités de calcul esclaves.

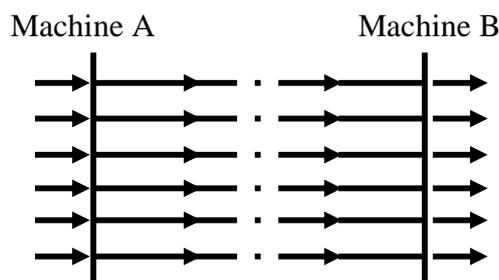


Figure II. 5 : La transmission parallèle

IV.1.2. Transmission série

Lorsque la distance séparant les équipements informatiques dépasse quelques mètres, la transmission en parallèle ne peut plus être utilisée. On utilise alors la transmission en série où tous les bits d'un mot ou d'un message sont transmis successivement sur une même ligne.

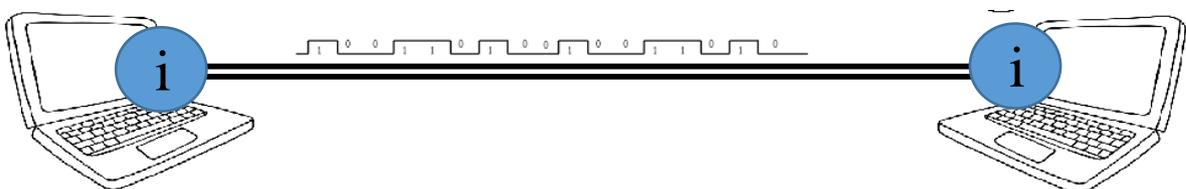


Figure II. 6 : La transmission série

IV.2. Synchronisation

La synchronisation est l'action de coordonner plusieurs opérations entre elles en fonction du temps. Les systèmes dont tous les éléments sont synchronisés sont dits synchrones. Cette synchronisation est essentielle pour la transmission et la reconstitution des données.

Les bits sont émis sur la ligne à une certaine cadence. Cette cadence est définie par une horloge dite horloge émission. Pour décoder correctement la suite de bits reçue, le récepteur doit examiner ce qui lui arrive à une cadence identique à celle de l'émission des bits sur le support [28].

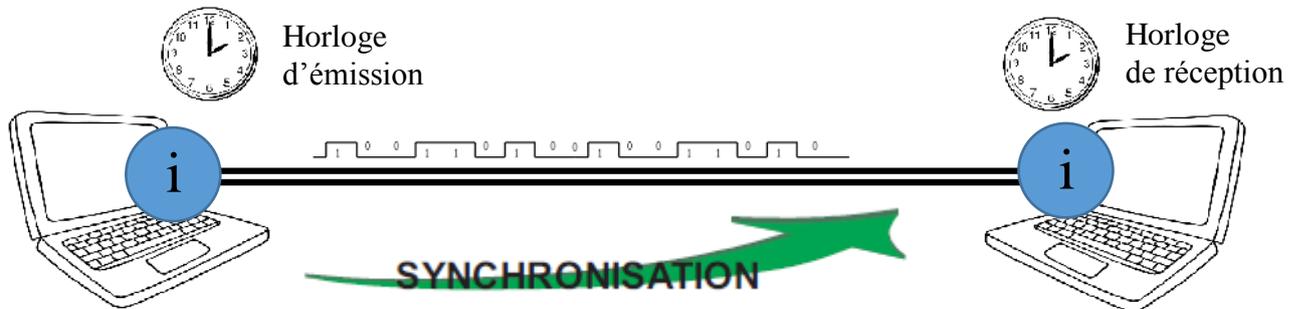


Figure II. 7 : Principe de la synchronisation

IV.3. Transmission asynchrone, synchrone et isochrone

IV.3.1. Transmission asynchrone

Cette transmission consiste à transmettre les bits par groupes, appelés caractères, ce qui permet au récepteur de se synchroniser au début de chaque caractère. Le début d'un caractère est signalé par une valeur binaire 0 (bit start). Entre chaque caractère, pour garantir la détection du bit de start suivant, la ligne est remise à l'état zéro. Ce temps de repos minimal varie de 1 à 2 temps bit, il constitue le ou les bits de stop [29].

Un octet transmis d'une façon asynchrone est illustré à la figure suivante :



Figure II. 8 : Transmission asynchrone

IV.3.2. Transmission synchrone

En transmission synchrone, la synchronisation des horloges émission et réception est maintenue durant toute la transmission par un signal particulier : le signal de synchronisation. Il est alors possible de transmettre des blocs de taille importante.

Cependant, entre chaque bloc transmis, l'horloge réception n'est plus pilotée et dérive. Chaque bloc transmis est par conséquent précédé d'une séquence de synchronisation qui servira aussi à délimiter le début et la fin de bloc [29].

Synchronisation 8 bits	Commande 8 bits	Blocs de n caractères de données	Contrôle 8 bits
---------------------------	--------------------	----------------------------------	--------------------

Figure II. 9 : Structure type d'un bloc de données en transmission synchrone

IV.3.3. Comparaison entre le mode synchrone et le mode asynchrone

Supposons qu'on a un bloc de données à transmettre. L'efficacité d'un mode de transmission est mesurée par le nombre de bits utiles transmis sur le nombre de bits réellement émis. L'efficacité noté « Eff » est donnée par la relation suivante :

$$Eff = \text{Nombre de bits utiles (de données)} / \text{nombre de bits réellement transmis}$$

La redondance due aux bits START et STOP ajouté pour chaque octet dans la transmission asynchrone, ne permet pas d'atteindre une grande capacité de transmission, et son utilisation est limitée pour les systèmes de transmission à bas débit. Par contre le mode synchrone permet des débits plus importants que le mode asynchrone. Les réseaux informatiques dépendent de la transmission synchrone.

IV.3.4. Transmission isochrone

Le mot isochrone signifie « qui correspond au même instant » (ou « à la même durée »).

Dans la transmission isochrone, l'émetteur et le récepteur travaillent au même rythme et ne supportent aucun retard ni aucune permutation dans l'ordre d'arrivée des paquets.

Le bus FireWire utilise un mode de transfert isochrone pour envoyer des paquets de données de tailles fixe à intervalle de temps régulier. Le débit constant est assuré par un nœud root (ou Cycle Master) qui envoie un paquet de synchronisation toutes les 125 microsecondes (selon un échantillonnage de 8KHz). Nous n'avons plus besoin d'ACK dans ce type de transmission, ce qui libère une partie de la bande passante.

V. Multiplexage

Le multiplexage est une technique de réseau qui intègre plusieurs signaux analogiques et numériques dans un signal transmis sur un support partagé. Les multiplexeurs et démultiplexeurs sont utilisés pour convertir plusieurs signaux en un seul signal. Ce terme est également appelé multiplexage.

V.1. Multiplexage temporel (TDM)

Le multiplexage temporel ou par répartition dans le temps (TDM) est un processus de communication qui transmet au moins deux signaux numériques en flux continu sur un canal commun. En mode TDM, les signaux entrants sont divisés en intervalles de temps égaux de longueur fixe. Après multiplexage, ces signaux sont transmis sur un support partagé et réassemblés dans leur format d'origine après démultiplexage. La sélection de créneaux horaires est directement proportionnelle à l'efficacité globale du système.

Le multiplexage par répartition dans le temps (TDM) est également appelé circuit numérique commuté.

V.2. Multiplexage temporel statistique (STDM)

Le multiplexage statistique par répartition dans le temps (STDM) est une forme de partage de liaison de communication presque identique à l'allocation dynamique de la bande passante (DBA).

En STDM, un canal de communication est divisé en une plage aléatoire de flux de données à débit binaire variable ou de canaux numériques. Le partage de liaison est adapté aux exigences de trafic instantanées des flux de données transmis sur chaque canal.

Ce type de multiplexage remplace la création d'un partage de liaison fixe, comme dans le multiplexage temporel standard (TDM) et le multiplexage par répartition en fréquence (FDM). Lors d'une exécution précise, STDM peut offrir une amélioration de l'utilisation des liaisons, appelée gain statistique de multiplexage. Le STDM est facilité au moyen d'une communication en mode paquet ou orientée paquet.

V.3. Multiplexage fréquentiel (FDM)

Le multiplexage fréquentiel ou par répartition en fréquence (FDM) est une technique de mise en réseau dans laquelle plusieurs signaux de données sont combinés pour une transmission simultanée via un support de communication partagé. FDM utilise un signal de porteuse à une fréquence discrète pour chaque flux de données, puis combine de nombreux signaux modulés.

Lorsque le mode FDM est utilisé pour permettre à plusieurs utilisateurs de partager un même support de communication physique (c'est-à-dire qu'il n'est pas diffusé par voie hertzienne), la technologie est appelée accès multiple par division de fréquence (FDMA).

V.4. Multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est une technologie ou une technique modulant de nombreux flux de données, c'est-à-dire des signaux de porteuse optique de longueurs d'onde variables (couleurs) de la lumière laser, sur une seule fibre optique. Le WDM permet la communication bidirectionnelle ainsi que la multiplication de la capacité du signal.

Le WDM est en réalité un multiplexage par répartition en fréquence (FDM), mais fait référence à la longueur d'onde de la lumière par opposition à la fréquence de la lumière.

Cependant, étant donné que la longueur d'onde et la fréquence ont une relation inverse (une longueur d'onde plus courte signifie une fréquence plus élevée), les termes WDM et FDM décrivent en fait la même technologie - la lumière dans un câble optique utilisé pour transporter des signaux de données et de communication.

VI. Caractéristiques des réseaux de transmission

VI.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 [30].

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.

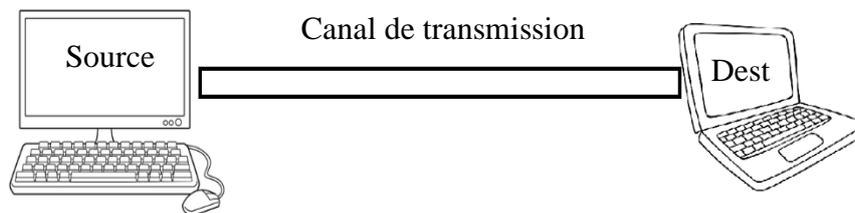


Figure II. 10 : Schématisation d'un système de transmission

Le débit binaire s'exprime par la relation :

$$D = \frac{V}{t} \quad (\text{II. 1})$$

Avec D (débit) en bits par seconde (bit/s), V le volume à transmettre exprimé en bits et t la durée de la transmission en seconde.

Le débit binaire mesure le nombre d'éléments binaires transitant sur le canal de transmission pendant l'unité de temps.

VI.2. Rapidité de modulation

VI.2.1. Etats significatifs-instants significatifs-transition

La tension V peut prendre 2 valeurs ($+V$, $-V$). Ces valeurs constituent les états significatifs. Le passage d'un état significatif à un autre est appelé la transition. L'instant où se produit la transition est appelé instant significatif. Le nombre des états significatifs que peut prendre le signal est appelé valence.

- 1) états significatifs
- 2) transition.
- 3) instant significatif

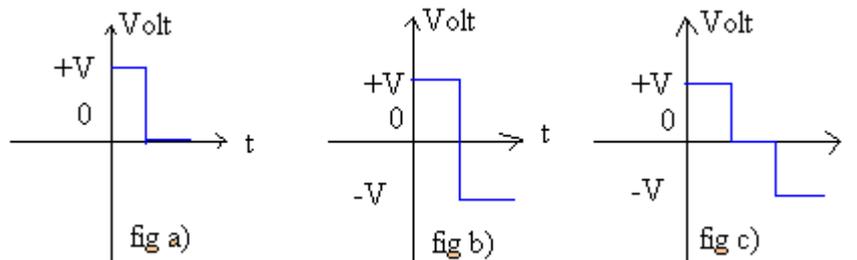
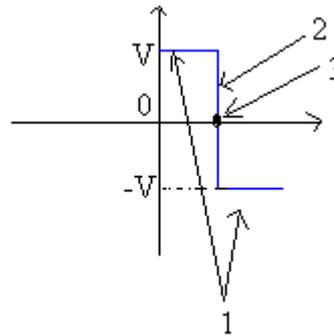


Figure II. 11 : Signaux bivalent et trivalent

Les signaux des figures « a » et « b » sont des signaux bivalent tandis que le signal de la figure « c » est un signal trivalent.

VI.2.2. Rapidité de modulation

On appelle rapidité de modulation (baud rate) le nombre d'intervalle significatif du signal par unité de temps [31].

Si 'Δ' est la durée de l'intervalle significatif (exprimé en seconde) la rapidité de modulation noté généralement 'R' est égal à 1/Δ. L'unité de rapidité de modulation est le baud (Bd).

Si les bits sont transmis un à la fois, la rapidité de modulation est égale au débit binaire et s'exprime en bauds.

Si les bits sont regroupés en mots de n bits avant d'être transmis, la rapidité de modulation sera :

$$D = R \cdot Q = R \cdot \log_2 (1/p) \quad (\text{II. 2})$$

D : débit binaire exprimé en bit/s

R : rapidité de modulation en baud

Q : quantité d'information en bit ou Shannon

p : probabilité d'apparition d'un état

Si on appelle valence du signal (v) le nombre d'états que peut prendre le signal durant un temps élémentaire ($v = 1/p$). Le débit s'exprime, alors, par la relation :

$$D = R \cdot \log_2 (v) = 2 \cdot \text{BP} \cdot \log_2 (v) \quad (\text{II. 3})$$

v : la valence du signal, valant 1/p.

VI.3. Notion de rapport signal sur bruit

Les signaux transmis sur un canal peuvent être perturbés par des phénomènes électriques ou électromagnétiques désignés sous le terme générique de bruit. Le bruit est un phénomène qui dénature le signal et introduit des erreurs [32].

Le rapport entre la puissance du signal transmis et celle du signal de bruit qualifie le canal vis-à-vis du bruit. Ce rapport, appelé rapport signal sur bruit (S/N avec N pour Noise), s'exprime en dB (décibel).

$$\frac{S}{N}_{dB} = 10 \log_{10} \frac{S}{N_{(en\ puissance)}} \quad (\text{II. 4})$$

VI.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.



CHAPITRE III

Modems et Interfaces

I. Introduction

Modem est l'abréviation de "Modulator / Demodulator". Un modem est un appareil ou un programme permettant à un ordinateur de transmettre des données, par exemple, par le biais de lignes téléphoniques ou de câbles. Les informations informatiques sont stockées numériquement, alors que les informations transmises sur des lignes téléphoniques le sont sous forme d'ondes analogiques. Un modem convertit entre ces deux formes.

Les premiers modems étaient "dial-up", ce qui signifie qu'ils devaient composer un numéro de téléphone pour se connecter à un fournisseur de services Internet. Ces modems fonctionnaient sur des lignes téléphoniques analogiques standard et utilisaient les mêmes fréquences que les appels téléphoniques, ce qui limitait leur taux de transfert de données maximal à 56 Kbps. Les modems d'accès à distance nécessitaient également l'utilisation complète de la ligne téléphonique locale, ce qui signifie que les appels vocaux interrompraient la connexion Internet [33].

Les modems modernes sont généralement des modems DSL ou câble, qui sont considérés comme des périphériques "large bande". Les modems DSL fonctionnent sur des lignes téléphoniques standard, mais utilisent une plage de fréquences plus large. Cela permet des taux de transfert de données plus élevés que ceux des modems d'accès à distance et leur permet de ne pas interférer avec les appels téléphoniques. Les modems câble envoient et reçoivent des données sur des lignes de télévision par câble standard, qui sont généralement des câbles coaxiaux. La plupart des modems câble modernes prennent en charge la norme DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification : spécification d'interface de service de données sur câble), qui offre un moyen efficace de transmettre des signaux de télévision, d'Internet par câble et de téléphonie numérique sur la même ligne de câble [34].

II. Caractéristiques et normes

L'interface ou jonction sert à spécifier l'interconnexion entre l'ETTD (le terminal ou ordinateur) et l'ETCD (le modem) du point de vue des circuits d'interfaces (nombre, type et fonction des circuits) ainsi que du point de vue des signaux électriques échangés (type et forme) et des connecteurs utilisés.

Lorsqu'il est question de logiciel, une interface est un programme qui permet à un utilisateur d'interagir avec l'ordinateur ou un autre ordinateur via un réseau. Une interface peut également faire référence à des commandes utilisées dans un programme permettant à l'utilisateur d'interagir avec le programme. L'un des meilleurs exemples d'interface est une interface utilisateur graphique (GUI). Lorsque vous vous référez au matériel, une interface est un périphérique physique, un port ou une connexion qui interagit avec l'ordinateur ou un autre périphérique matériel. Par exemple, IDE est une interface de lecteur de disque pour les disques durs d'ordinateur et ATAPI est une interface pour les lecteurs de CD-ROM.

II.1. Normes d'interfaces des modems

L'EIA a remplacé les références de ses anciennes normes (RS Recommended Standard) par son propre sigle, de façon à bien en marquer l'origine.

Chapitre 3 : Modems et Interfaces

Il se trouve que les normes américaines de l'EIA des champs ne correspondent pas toujours avec les fonctionnalités définies par les normes de l'UIT-T, de l'ISO et de la CEI [35].

Les principales normes électriques, mécaniques et fonctionnelles rencontrées dans les liaisons série entre ETTD et ETCD sont définies par les avis et recommandations de l'UIT-T, par l'ISO (International Standardisation Organization), ainsi que par l'association américaine EIA (Electrical Industry Association).

UIT-T (Union Internationale des Télécommunications) (ex CCITT) :

- ✓ Série Vxx (Transmission de données sur le réseau téléphonique).
- ✓ Série Xxx (Transmission de données sur les réseaux publics).

EIA (Electronic Industry Association) :

- ✓ Série RSxxx

Quelques exemples [36]:

- **Recommandation V.17** (1991), cette recommandation est adaptée au service de télécopie. Elle met en oeuvre un modem synchrone à 2,4 kbauds, semi-duplex,

- **La recommandation V21** : Le modem asynchrone à modulation de fréquence est décrit par la recommandation V21 (1964 et 1988). C'est un modem à 300bit/s duplex normalisé pour usage sur le réseau téléphonique général avec commutation.

- **V.22** (1980 et 1988), C'est un modem à 1 200 ou 600 bit/s de type full duplex qui utilise la modulation de phase différentielle à 4 états et est exploitable en mode asynchrone ou synchrone.

- **Recommandation V.23** (1964 et 1988), Le modem V.23 utilise la modulation de fréquence et permet le choix entre quatre exploitations semi-duplex possibles, par combinaison : 1 200 ou 600 bit/s en mode asynchrone ou synchrone.

- **V24 et X24** : Les modems à fréquence vocale utilisent deux types d'interfaces de raccordement qui sont définies par les Recommandations V.24 et X.24.

La Recommandation V.24 (1964-2000) de l'UIT-T définit les circuits de la jonction ETTD-ETCD type « série ». La Recommandation X.24 définit une interface à 10 circuits multiplexés, identifiés par des lettres, pour accès aux réseaux publics de données à communication de circuits pour des débits pouvant atteindre 10 Mbit/s.

- **Recommandation V.26** (1968 et 1988), Ce modem synchrone à 2,4 kbit/s pour ligne spécialisée quatre fils peut être exploité en semi-duplex ou en duplex.

- **La Recommandation V.29** (1976 et 1988), c'est un modem à 9600 bit/s normalisé pour usage sur circuits loués à quatre fils poste à poste, de type téléphonique.

II.2. Les interfaces

Interface V-C : Entre le modem du centre de commutation et le commutateur (ATM, IP, . . .)

Interface U-C : Entre le modem du centre et la ligne d'abonné

Interface U-R : Entre le modem distant et la ligne d'abonné

Interface U-[CR] 2 : Equivalent de U-[CR] après le filtre

Interface T-R : Entre l'ATU-R et la couche de commutation

Interface T/S : Entre la terminaison du réseau ADSL et l'installation de l'utilisateur

III. Liaisons entre deux systèmes

III.1. Répéteur

Un répéteur (repeater en anglais) n'a que 2 interfaces. Son intérêt est de renvoyer ce qu'il reçoit par l'interface de réception sur l'interface d'émission, mais plus fort. On dit qu'il régénère et réémet le signal. Un répéteur permet de couvrir des distances plus grandes que les distances maximales fixées par le matériel que l'on utilise : par exemple, dans un réseau sans fil (Wi-Fi), la portée maximale entre 2 appareils est d'environ 50 mètres en intérieur. En plaçant un répéteur peu avant ces 50 mètres, vous pouvez connecter 2 appareils à 100 mètres de distance.

Le fait que les informations soient renvoyées "plus fort" peut dégrader la qualité du signal dans les réseaux sans fil [37].



Figure III. 1 : Répéteur

III.2. Concentrateur (hub)

Le hub concentre les données en provenance de plusieurs hôtes et régénère le signal. Le hub possède plusieurs ports (4, 8, 16,32 ...) sur lesquels vont s'enficher les connecteurs RJ-45. On dit souvent qu'il se contente de récupérer les données sur un port et de les « répéter » sur l'ensemble des ports, c'est-à-dire qu'il fait un simple broadcast des informations. Tous les terminaux connectés à ce dernier peuvent alors « écouter » les informations, mais seul le destinataire en tiendra compte [37].



Figure III. 2 : Concentrateur

III.3. Commutateur (switch)

Un Switch fonctionne à peu près comme un Hub, sauf qu'il est plus discret et intelligent. Il n'envoie pas tout ce qu'il reçoit à tout le monde, mais il l'envoie uniquement au destinataire [37].



Figure III. 3 : Commutateur

IV. Modem commuté

La commutation se réfère à une connexion Internet établie à l'aide d'un modem comuté. Le modem connecte l'ordinateur aux lignes téléphoniques standard, qui servent de support de transfert de données. Lorsqu'un utilisateur établit une connexion par commutation, le modem compose le numéro de téléphone d'un fournisseur de services Internet (ISP) désigné pour recevoir des appels par commutation. Le fournisseur de services Internet établit ensuite la connexion, ce qui prend généralement environ 10 secondes et est accompagnée de plusieurs bips sonores.

Une fois la connexion établie, elle est active jusqu'à ce que l'utilisateur se déconnecte du fournisseur de services Internet. Cela se fait généralement en sélectionnant l'option "Déconnecter" à l'aide du logiciel du fournisseur de services Internet ou d'un programme utilitaire de modem. Toutefois, si une connexion par commutation est interrompue par un appel téléphonique entrant ou par quelqu'un prenant un téléphone à la maison, le service peut également être déconnecté.



Figure III. 4 : Modem commuté

Dans les premières années d'Internet, en particulier dans les années 90, la connexion par ligne commutée était le moyen standard de se connecter à Internet. Des sociétés comme AOL, Prodigy et Earthlink ont offert un service de connexion à distance aux États-Unis, tandis que plusieurs petites entreprises ont proposé des connexions Internet par ligne locale. Toutefois, en raison de la faible vitesse (56 Kbps maximum) et de la nécessité de se déconnecter et de se reconnecter constamment au fournisseur de services Internet, le service d'accès à distance a finalement été remplacé par des connexions DSL et modem câble. Les lignes DSL et les lignes câblées, appelées connexions "large bande", offrent des vitesses 100 fois plus rapides que les connexions par ligne commutée et offrent une connexion "toujours active". Bien que nous n'ayons plus l'occasion d'écouter les bourdonnements amusants des anciens modems, il est certainement agréable de télécharger des données en une fraction du temps [38].

V. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

La ligne d'abonné numérique asymétrique (ADSL) est une technologie de communication qui permet d'envoyer des données à haut débit simultanément avec la voix sur la ligne téléphonique existante. Le flux de données est asymétrique, ce qui signifie que la vitesse de la liaison descendant (entre le fournisseur et l'utilisateur) est sensiblement plus élevée que la liaison montant (entre le client et le fournisseur). L'ADSL est la technologie la plus utilisée pour l'accès Internet haute vitesse dans le monde.

L'ADSL est spécifié dans la Recommandation UIT-T G.992.1. La Recommandation UIT-T G.992.3 spécifie l'ADSL2 qui offre des performances légèrement supérieures à celles de la Recommandation G.992.1. La Recommandation UIT-T G.992.5 spécifie l'ADSL2Plus, qui fournit deux fois plus de bande passante que des débits binaires pouvant atteindre 25 Mb/s sur des lignes relativement courtes.

Le terminal distant de la connexion ADSL et le modem ou routeur ADSL sont formés par le DSLAM (multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique) de l'opérateur de réseau. Il gère un certain nombre de connexions ADSL et est exploité en tant que DSLAM intérieur au niveau de l'échange central ou en tant que DSLAM extérieur dans une armoire de rue ou tout autre point central [39].

V.1. La technologie de transmission de la norme ADSL

Il existe différents systèmes ADSL standardisés. La norme ADSL2 + souvent utilisée en Europe utilise une gamme de fréquences allant jusqu'à 2,2 mégahertz et, grâce au multiplexage fréquentiel moderne, permet des débits de données jusqu'à 25 mégabits par seconde et des débits allant jusqu'à 3,5 mégabits par seconde. La largeur de bande maximale est limitée par de nombreux fournisseurs à 16 mégabits par seconde en descendant et environ un mégabit par seconde en montant. De plus, de nombreuses méthodes dites à adaptation de débit sont utilisées. Le modem DSLAM et le modem contrôlent de manière dynamique le débit de transmission maximal lors de l'établissement de la connexion DSL [39].

V.2. ADSL et téléphonie

L'ADSL est transmis sur les mêmes câbles que la téléphonie analogique ou RNIS. Pour séparer les gammes de fréquences de la téléphonie et de l'ADSL, on utilise un répartiteur appelé "Splitters". Avec l'introduction de la téléphonie Voice over IP, de plus en plus de connexions DSL sont installées, ne nécessitant pas de séparateur. Ils sont souvent appelés connecteurs Annex-J et transfèrent les appels directement dans le flux de données IP.

V.3. Fonctionnement de l'ADSL

Le service téléphonique traditionnel (parfois appelé POTS ou "plain old telephone service") relie votre domicile ou votre petite entreprise à un bureau de compagnie de téléphone via des fils de cuivre enroulés les uns autour des autres et appelés paire torsadée. Le service téléphonique traditionnel a été créé pour vous permettre d'échanger des informations vocales avec d'autres utilisateurs de téléphones.

Le type de signal utilisé pour ce type de transmission s'appelle un signal analogique. Un périphérique d'entrée tel qu'un téléphone prend un signal acoustique (qui est un signal analogique naturel) et le convertit en un équivalent électrique en termes de volume (amplitude du signal) et de hauteur tonale (fréquence de changement d'onde). Comme la signalisation de la compagnie de téléphone est déjà configurée pour cette transmission d'onde analogique, il est plus facile pour elle de l'utiliser comme moyen d'échange d'informations entre votre téléphone et la compagnie de téléphone. C'est pourquoi votre ordinateur doit disposer d'un modem - afin de pouvoir démoduler le signal analogique et transformer ses valeurs en chaîne de valeurs 0 et 1 appelée informations numériques.

La transmission analogique n'utilisant qu'une petite partie de la quantité d'informations disponible pouvant être transmise sur des fils de cuivre, la quantité maximale de données que vous pouvez recevoir à l'aide de modems ordinaires est d'environ 56 Kbps (en milliers de bits par seconde). (Avec le RNIS, que l'on pourrait considérer comme un précurseur limité de la technologie DSL, vous pouvez recevoir jusqu'à 128 Kbps.) La capacité de votre ordinateur à recevoir des informations est limitée par le fait que la compagnie de téléphone filtre les informations qui arrivent sous forme de données numériques. Le met sous forme analogique pour votre ligne téléphonique et nécessite que votre modem le reconvertisse en numérique. En d'autres termes, la transmission analogique entre votre domicile ou votre entreprise et la compagnie de téléphone est un goulot d'étranglement pour la bande passante.

La ligne d'abonné numérique (DSL) est une technologie qui suppose que les données numériques ne nécessitent pas de modification sous forme analogique et inversement. Les données numériques sont directement transmises à votre ordinateur sous forme de données numériques, ce qui permet à la compagnie de téléphone d'utiliser une largeur de bande beaucoup plus grande pour la transmission de ces données. En attendant, si vous le souhaitez, le signal peut être séparé de sorte qu'une partie de la bande passante soit utilisée pour transmettre un signal analogique, de sorte que vous puissiez utiliser votre téléphone et votre ordinateur sur la même ligne et au même moment [40].

V.3.1. Séparateur des signaux (Splitter)

La plupart des technologies DSL exigent l'installation d'un séparateur de signaux chez un particulier ou un professionnel, ce qui nécessite des frais de visite et d'installation par une compagnie de téléphone. Cependant, il est possible de gérer la division à distance depuis le bureau central. Ceci est connu sous le nom de DSL sans séparateur, "DSL Lite", G.Lite ou Universal ADSL et est récemment devenu un standard.



Figure III. 5 : Splitter

V.3.2. Modulation de l'ADSL

Plusieurs types de DSL utilisent plusieurs technologies de modulation, bien que celles-ci soient en cours de normalisation par l'Union internationale des télécommunications (UIT). Différents fabricants de modems DSL utilisent la technologie DMT (Discrete Multitone Technology) ou la modulation d'amplitude sans porteuse (CAP). Une troisième technologie, appelée ligne virtuelle multiple (possibilité MVL) [40].

V.3.3. Facteurs affectant le débit de données expérimenté

Les modems DSL suivent les multiples de débit de données établis par les normes nord-américaines et européennes. En général, la portée maximale pour le DSL sans répéteur le signal est de 5,5 km. À mesure que la distance diminue vers le bureau de la compagnie de téléphone, le débit de données augmente. Un autre facteur est le calibre du fil de cuivre. Le fil de calibre 24 plus lourd transporte le même débit de données plus loin que le fil de calibre 26. Si vous habitez au-delà de 5,5 km, vous pourrez peut-être utiliser la technologie DSL si votre opérateur téléphonique a étendu la boucle locale avec un câble à fibre optique.

V.3.4. Le multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique (DSLAM)

Pour interconnecter plusieurs utilisateurs DSL à un réseau dorsal à haut débit, la compagnie de téléphone utilise un multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique (DSLAM : Digital Subscriber Line Access Multiplexer). En général, le DSLAM se connecte à un réseau ATM (mode de transfert asynchrone) capable d'agréger la transmission de données à des débits gigabits. À l'autre extrémité de chaque transmission, un DSLAM démultiplexe les signaux et les transmet aux connexions DSL individuelles appropriées [41].

V.4. Différents types de DSL

V.4.1. ADSL

La variante appelée ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) est la forme de DSL qui deviendra plus familière pour les utilisateurs particuliers et les petites entreprises. L'ADSL est appelé "asymétrique" car la majeure partie de sa bande passante bidirectionnelle ou duplex est dédiée au sens descendant, ce qui envoie des données à l'utilisateur. Seule une petite partie de la bande passante est disponible pour les messages en montant ou à interaction avec l'utilisateur. Cependant, la plupart des données Web intensives, notamment graphiques ou multimédias, nécessitent beaucoup de bande passante en descendant, mais les demandes et les réponses des utilisateurs sont réduites et nécessitent peu de bande passante en amont. En utilisant l'ADSL, jusqu'à 6,1 mégabits par seconde de données peuvent être envoyés en descendant et jusqu'à 640 Kbps en amont. La bande passante élevée en descendant signifie que votre ligne téléphonique sera en mesure de transmettre des images animées vidéo, audio et des images 3D à votre ordinateur ou à un téléviseur branché. En outre, une petite partie de la bande passante en descendant peut être consacrée à la voix plutôt qu'à des données et vous pouvez tenir des conversations téléphoniques sans nécessiter de ligne distincte.

Contrairement à un service similaire sur votre ligne de télévision par câble utilisant l'ADSL, vous ne serez pas en concurrence pour la bande passante avec vos voisins dans votre région. Dans de nombreux cas, vos lignes téléphoniques existantes fonctionneront avec l'ADSL. Dans certaines régions, ils peuvent nécessiter une mise à niveau [42].

V.4.2. CDSL

CDSL (Consumer DSL) est une version de DSL, déposée par Rockwell Corp., qui est un peu plus lente que l'ADSL (1 Mbps en descendant, probablement moins en montant) et présente l'avantage qu'un "séparateur" n'a pas besoin d'être installé chez l'utilisateur [42].

V.4.3. G.Lite ou DSL Lite

G.Lite (également connu sous le nom de DSL Lite, ADSL sans séparateur et Universal ADSL) est essentiellement un ADSL plus lent qui ne nécessite pas de fractionnement de la ligne côté utilisateur mais parvient à le fractionner pour l'utilisateur à distance auprès de la compagnie de téléphone. Cela permet d'économiser le coût de ce que les compagnies de téléphone appellent "le rouleau roulant". G.Lite, officiellement la norme G-992.2 de l'UIT-T, fournit un débit binaire allant de 1,544 Mbps à 6 Mbps en descendant et de 128 Kbps à 384 Kbps en montant. G.Lite devrait devenir la forme de DSL la plus largement installée [42].

V.4.4. HDSL

HDSL (Ligne d'abonné numérique à haut débit), l'une des premières formes de DSL, est utilisée pour la transmission numérique à large bande au sein d'un site d'entreprise et entre la compagnie de téléphone et le client. La caractéristique principale du format HDSL est qu'il est symétrique : une largeur de bande égale est disponible dans les deux sens. Le format HDSL peut contenir autant de câbles paires torsadées que d'une ligne T1 (jusqu'à 1 544 Mbps) en Amérique du Nord ou d'une ligne E1 (jusqu'à 2 048 Mbps) en Europe sur une portée un peu plus longue. Considéré comme une alternative à une connexion T1 ou E1 [42].

V.4.5. IDSL

IDSL (RNIS DSL) est un peu impropre dans la mesure où il est vraiment plus proche des débits de données et du service RNIS à 128 Kbps que des débits beaucoup plus élevés de l'ADSL [42].

V.4.6. RADSL

RADSL (Rate-Adaptive DSL) est une technologie ADSL de Westell dans laquelle un logiciel est capable de déterminer le débit auquel les signaux peuvent être transmis sur une ligne téléphonique client donnée et d'ajuster le débit de livraison en conséquence. Le système FlexCap2 de Westell utilise RADSL pour fournir des débits allant de 640 Kbps à 2,2 Mbps en descendant et de 272 Kbps à 1,088 Mbps en montant sur une ligne existante [42].

V.4.7. SDSL

SDSL (Symmetric DSL) est similaire au HDSL avec une ligne à paire torsadée unique, transportant 1,544 Mbps (États-Unis et Canada) ou 2,048 Mbps (Europe) dans chaque sens sur une ligne duplex. C'est symétrique parce que le débit de données est le même dans les deux sens [42].

V.4.8. UDSL

UDSL (Unidirectional DSL) est une proposition d'une société européenne. C'est une version unidirectionnelle de HDSL [42].

V.4.9. VDSL

Le VDSL (très haut débit DSL) est une technologie en développement qui promet des débits beaucoup plus élevés sur des distances relativement courtes (entre 51 et 55 Mbps sur des lignes d'une longueur maximale de 300 m). Il est envisagé que le VDSL puisse émerger quelque peu après le déploiement généralisé de l'ADSL et coexister avec lui. La technologie de transmission (CAP, DMT ou autre) et son efficacité dans certains environnements n'ont pas encore été déterminées. Un certain nombre d'organisations de normalisation y travaillent [42].

V.4.10. x2 / DSL

x2 / DSL est un modem de 3Com qui prend en charge la communication par modem à 56 Kbps mais peut être mis à niveau via l'installation d'un nouveau logiciel en ADSL lorsqu'il devient disponible dans la zone de l'utilisateur. 3Com l'appelle "le dernier modem dont vous aurez besoin" [42].



CHAPITRE IV

Protection contre les erreurs

I. Introduction

Dans les systèmes électroniques digitaux, l'information est représentée en format binaire : uniquement par des 0 et des 1 (bits).

Lorsque le transfert d'information d'un point à un autre : il y a toujours une chance pour qu'un bit soit mal interprété (1 au lieu de 0 et vice versa).

Quelque soit la qualité des supports de communication et les performances des techniques de transmission utilisées, des perturbations vont se produire entraînant des erreurs sur les données transmises. Ces perturbations ou ces erreurs peuvent avoir de multiples causes, par exemple : bruit parasite, défauts au niveau des composants, mauvaise connexion, détérioration due au vieillissement, ... etc. Dans ces conditions, la suite binaire reçue ne sera pas identique à la suite émise.

La correction d'erreurs est le procédé utilisé pour détecter automatiquement et corriger automatiquement ces bits erronés. Cette correction s'effectue au niveau logiciel ou au niveau matériel pour le haut débit.

II. Notion de taux d'erreur

Les phénomènes parasites (bruit) perturbent le canal de transmission et peuvent affecter les informations en modifiant un ou plusieurs bits du message transmis, introduisant ainsi des erreurs dans le message [43].

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.

$$T_e = \frac{\text{Nombre de bits en erreur}}{\text{Nombre de bits transmis}}$$

Le taux d'erreurs varie en pratique de 10^{-4} (liaison RTC : Réseau Téléphonique Commuté) à 10^{-9} (Réseaux locaux), ci-dessous quelque exemples :

- Disquette magnétique : 1 bit erroné tous les milliards de bits transférés
 - Un million de bits/s (125 Ko/s) : 1 bit erroné toutes les 16.6 minutes
 - Lecteurs actuels (5 Mo/s) : 1 bit erroné toutes les 25 secondes
- CD-ROM optique : 1 bit erroné tous les 100 000 bits (12.5 Ko) transférés \Rightarrow 6300 erreurs dans un disque
- Audio DAT : 10^{-5} bits erronés (à 48kHz) \Rightarrow 2 erreurs chaque seconde
- Ligne téléphonique : 10^{-4} à 10^{-6} bits erronés
- Communicateurs par fibres optiques : 10^{-9} bits erronés
- Mémoires à semi-conducteurs : $< 10^{-9}$

Exemple : soit la transmission de la suite :

Emission : 10111010001101010010101

Réception : 10011010101100010110111

Quel est le taux d'erreurs de ce canal ?

Solution :

$$T_e = \frac{\text{Nombre de bits en erreur}}{\text{Nombre de bits transmis}} = \frac{5}{23} = 0.217 \approx 22\%$$

III. Les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs

Dans les systèmes numériques, les signaux analogiques se transforment en séquence numérique (sous forme de bits). Cette séquence de bits est appelée «flux de données». Le changement de position d'un seul bit entraîne une erreur catastrophique (majeure) dans la réception des données. Presque dans tous les appareils électroniques, nous trouvons des erreurs et nous utilisons des techniques de détection et de correction des erreurs pour obtenir une réception exacte ou approximative.

Les données peuvent être corrompues lors de la transmission (de la source au destinataire). Il peut être affecté par le bruit externe ou par d'autres imperfections physiques. Dans ce cas, les données d'entrée ne sont pas identiques aux données de sortie reçues. Ces données incompatibles sont appelées «Erreur» [44].

III.1. Types d'erreurs

Dans une séquence de données, si 1 est mis à zéro ou 0 à 1, cela s'appelle «erreur de bit».

Il y a généralement 3 types d'erreurs dans la transmission de données de l'émetteur au récepteur. Elles sont

- Erreurs sur un seul bit.
- Erreurs de données à plusieurs bits
- Erreurs en rafale.

III.1.1. Erreurs de données à un seul bit

La modification d'un bit dans l'ensemble de la séquence de données est appelée «erreur sur un seul bit». La survenue d'une erreur sur un seul bit est très rare dans les systèmes de communication série. Ce type d'erreur ne se produit que dans un système de communication parallèle, car les données sont transférées ligne par bit sur une seule ligne, il est donc possible qu'une seule ligne soit bruyante.

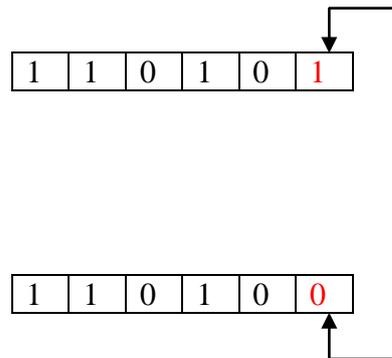


Figure III. 6 : Erreurs de données à un seul bit

III.1.2. Erreurs de données à plusieurs bits

S'il y a un changement dans deux bits ou plus de la séquence de données de l'émetteur au récepteur, cela s'appelle une «erreur sur plusieurs bits». Ce type d'erreur se produit à la fois dans les réseaux de communication de données de type série et de type parallèle.

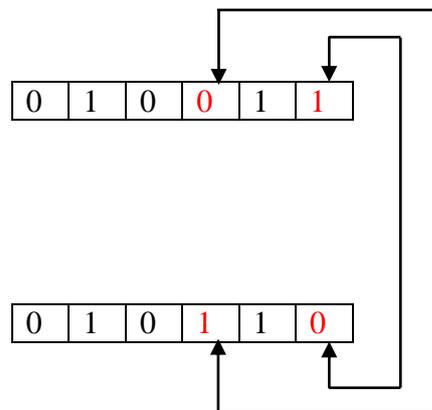


Figure III. 7 : Erreurs de données à plusieurs bits

III.1.3. Erreur en rafale de bits

Le changement de l'ensemble de bits entre eux dans la séquence de données est appelé "erreur de rafale". L'erreur en rafale est calculée à partir du premier bit jusqu'au bit changer.

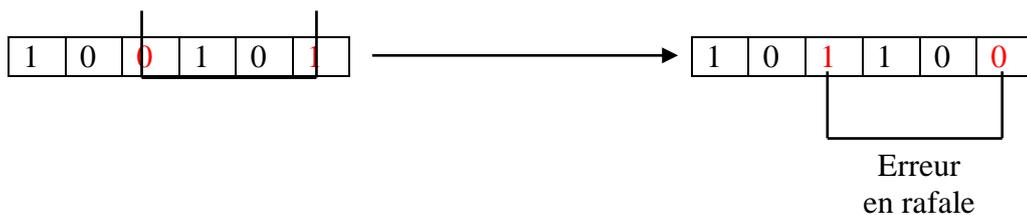


Figure III. 8 : Erreur en rafale de bits

III.2. Codes détecteur d'erreur

Dans le système de communication numérique, les erreurs sont transférées d'un système de communication à un autre avec les données. Si ces erreurs ne sont ni détectées ni corrigées, les données seront perdues. Pour une communication efficace, les données doivent être transférées avec une grande précision. Pour ce faire, il faut d'abord détecter les erreurs, puis les corriger.

La détection d'erreur est le processus de détection des erreurs qui sont présents dans les données transmises de l'émetteur au récepteur. Dans un système de communication. Nous utilisons certains codes de redondance pour détecter ces erreurs, en l'ajoutant aux données pendant qu'elles sont transmises depuis la source (émetteur). Ces codes sont appelés «codes de détection d'erreur» [45].

III.2.1. Types de détecteur d'erreur

Lorsque des données numériques sont stockées ou transmises, des perturbations (par exemple électromagnétiques) peuvent les endommager. Les codes détecteurs d'erreurs permettent, dans une certaine mesure, de détecter si les données ont été altérées et si c'est le cas, de reconstituer les données d'origine par un mécanisme de correction.

Parmi les codes correcteurs, on peut citer le code de parité (pair et impair), le code cyclique CRC (Cyclic Redundancy Check), et le code de parité longitudinale LRC (Longitudinal Redundancy Checking)

III.2.1.1. Code de parité

Le bit de parité ne signifie rien d'autre qu'un bit supplémentaire ajouté aux données de l'émetteur avant de transmettre les données. Avant d'ajouter le bit de parité, le nombre de 1 ou de zéros est calculé dans les données. Sur la base de ce calcul de données, un bit supplémentaire est ajouté aux informations / données réelles. L'ajout d'un bit de parité aux données entraînera un changement de la taille de la chaîne de données.

Cela signifie que si nous avons des données de 8 bits, après l'ajout d'un bit de parité à la chaîne binaire de données, celle-ci deviendra une chaîne de données binaire de 9 bits.

Le contrôle de parité est également appelé «Contrôle de redondance verticale (VRC)».

Il y a deux types de bits de parité dans la détection d'erreur, ils sont (Parité paire et Parité impaire)

a. Parité paire

Si les données ont un nombre pair de 1, le bit de parité est 0. Ex : 10000001 → bit de parité 0

Nombre impair de 1, le bit de parité est 1. Ex : les données sont 10010001 → bit de parité 1

b. Parité impaire

Si les données ont un nombre impair de 1, le bit de parité est 0. Ex : 10011101 → bit de parité 0

Nombre paire de 1, le bit de parité est 1. Ex : les données sont 10010101 → bit de parité 1

Remarque : Le comptage des bits de données inclura également le bit de parité.

Chapitre 4 : Protection contre les erreurs

Le circuit qui ajoute un bit de parité aux données de l'émetteur s'appelle «Générateur de parité». Les bits de parité sont transmis et ils sont vérifiés chez le destinataire. Si les bits de parité envoyés sur l'émetteur et les bits de parité reçus sur le récepteur ne sont pas égaux, une erreur est détectée. Le circuit qui vérifie la parité chez le récepteur s'appelle «Vérificateur de parité».

Messages à parité paire et à parité impaire :

Données de 3 bits			Message à parité paire		Message à parité impaire	
A	B	C	Message	Parité	Message	Parité
0	0	0	000	0	000	1
0	0	1	001	1	001	0
0	1	0	010	1	010	0
0	1	1	011	0	011	1
1	0	0	100	1	100	0
1	0	1	101	0	101	1
1	1	0	110	0	110	1
1	1	1	111	1	111	0

III.2.1.2. Code CRC (Cyclic Redundancy Check)

Un code cyclique est un code de bloc linéaire (n, k) avec la propriété que chaque décalage cyclique d'un mot de code entraîne un autre mot de code. Ici k indique la longueur du message à l'émetteur (le nombre de bits d'information). « n » est la longueur totale du message après l'ajout des bits de contrôle. (Données réelles et les bits de contrôle). (n, k) est le nombre de bits de contrôle.

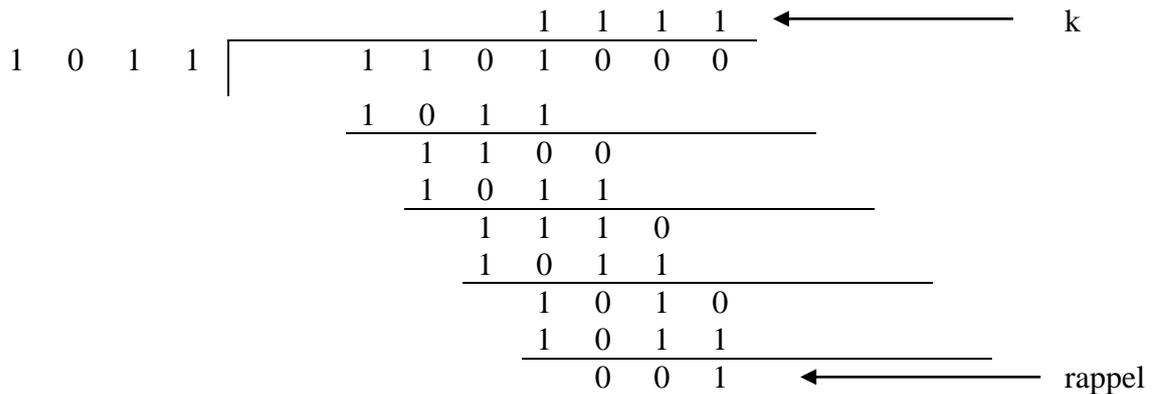
Les codes utilisés pour le contrôle de redondance cyclique par détection d'erreur sont appelés codes CRC (codes de contrôle de redondance cyclique). Les codes de contrôle de redondance cycliques sont des codes cycliques raccourcis. Ces types de codes sont utilisés pour la détection d'erreur et le codage. Ils sont facilement implémentés en utilisant des registres à décalage avec des connexions de retour. C'est pourquoi ils sont largement utilisés pour la détection d'erreur sur les communications numériques. Les codes CRC fourniront un niveau de protection efficace et élevé.

Génération de code CRC :

En fonction du nombre de contrôles de bits souhaité, nous allons ajouter des zéros (0) aux données réelles. Cette nouvelle séquence de données binaires est divisée par un nouveau mot de longueur $n + 1$, n étant le nombre de bits de contrôle à ajouter. Le rappel obtenu à la suite de cette division modulo 2- est ajouté à la séquence de bits de dividende pour former le code cyclique. Le mot de code généré est complètement divisible par le diviseur utilisé lors de la génération du code. Ceci est transmis par l'émetteur.

Du côté du récepteur, nous divisons le mot de code reçu avec le même diviseur pour obtenir le mot de code réel. Pour une réception des données sans erreur, le rappel est 0. Si le rappel est différent de zéro, cela signifie qu'il y a une erreur dans la séquence code / données reçue. La probabilité de détection d'erreur dépend du nombre de bits de contrôle (n) utilisés pour construire le code cyclique. Pour les erreurs sur un bit et deux bits, la probabilité est de 100%.

Exemple :



Pour une erreur en rafale de longueur n - 1, la probabilité de détection d'erreur est de 100%.

Une erreur en rafale de longueur égale à n+1, la probabilité de détection d'erreur se réduit à $1-(1/2)^{n-1}$.

Erreur en rafale de longueur supérieure à n - 1, la probabilité de détection d'erreur est de $1 - (1/2)^n$.

III.2.1.3. Code LRC (Longitudinal Redundancy Checking)

Dans la méthode de redondance longitudinale, un BLOC de bits est organisé dans un format de tableau (en lignes et en colonnes) et nous calculons le bit de parité pour chaque colonne séparément. L'ensemble de ces bits de parité est également envoyé avec nos bits de données d'origine.

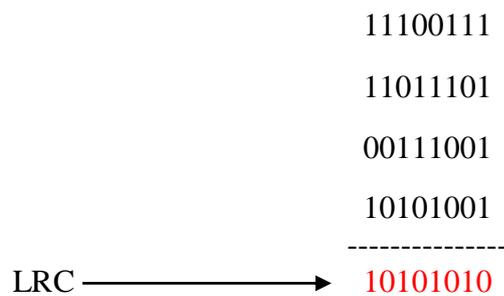
Le contrôle de redondance longitudinale est un calcul de parité bit par bit, car nous calculons la parité de chaque colonne individuellement.

Cette méthode peut facilement détecter les erreurs de rafale et les erreurs sur un seul bit et échoue à détecter les erreurs sur 2 bits survenues dans la même tranche verticale.

Exemple :

Nous avons quatre mots : 11100111 11011101 00111001 10101001

Envoi de 4 caractères de longueur 8 :



La suite des éléments binaires émise, y compris LRC est donc :

11100111 11011101 00111001 10101001 10101010

Exercice :

Soit la suite de caractères L, 2, M à transmettre. Elle est codée en CCITT n°5 par les valeurs 4C, 32 et 4D.

Quel est la séquence des éléments binaires à envoyer ?

Solution :

1 1 0 0 1 1 0 0 caractère L + parité LRC

1 0 1 1 0 0 1 0 caractère 2 + parité LRC

0 1 0 0 1 1 0 1 caractère M + parité LRC

0 0 1 1 0 0 1 1 caractère du VRC

La suite des éléments binaires émise est donc : 0011 0011 0100 1101 1011 0010 1100 1100

III.3. Codes correcteur d'erreur

Bien que la détection d'erreur soit utile dans les transmissions de données, la correction d'erreur est essentielle au succès de la transmission. La correction d'erreur permet de renvoyer une transmission déformée à sa forme d'origine transmise.

Avec l'introduction de la redondance, un récepteur peut détecter certaines erreurs. De plus, ces erreurs peuvent être corrigées pour ramener un message transmis à sa forme originale. Cette partie aborde les deux types de codage de correction d'erreur : demande de répétition automatique (ARQ) et correction d'erreur directe (FEC). ARQ tente de corriger les erreurs via la retransmission, alors que la FEC tente de corriger les transmissions à la réception des transmissions sans qu'il soit nécessaire de retransmettre un message [46].

III.3.1. Code Demande de répétition automatique (ARQ : Automatic Repeat Request)

Au cours du processus appelé codage de contrôle d'erreur, des informations redondantes sont ajoutées à un message à transmettre. Une fois le message reçu, les informations redondantes doivent être utilisées pour détecter et éventuellement corriger les erreurs survenues dans le message lors de la transmission. Le codage du contrôle d'erreur comporte deux classifications : demande de répétition automatique et correction d'erreur directe [47].

ARQ est un système de détection d'erreur qui vérifie les erreurs d'un message. Si une erreur est détectée, le destinataire en informera l'expéditeur et la section du message contenant l'erreur sera renvoyée [48]. Le récepteur dans un système ARQ effectue une détection d'erreur sur tous les messages reçus. Par conséquent, le récepteur est responsable de la détection des erreurs. Le fichier ARQ doit être suffisamment simple pour que le destinataire puisse le gérer, mais suffisamment puissant et efficace pour que le destinataire n'envoie pas de messages erronés à l'utilisateur. Sur la base de la retransmission, il existe trois schémas ARQ de base : Stop-and-wait (arrêt et attente), Go-back-N (retour à N) et répétition sélective.

III.3.1.1. Stop-and-wait (arrêt et attente)

Dans le schéma stop-and-wait, l'émetteur envoie un mot de code au récepteur et attend l'accusé de réception. Un accusé de réception positif signifie que le mot de code transmis a été reçu avec succès et que l'émetteur envoie le mot de code suivant dans la file d'attente.

Lorsqu'un récepteur envoie un signal d'accusé de réception négatif, cela signifie qu'une erreur a été détectée dans un mot de code. Une fois que l'émetteur reçoit ce signal, il tente de renvoyer le mot de code invalide. Ces retransmissions se poursuivront jusqu'à ce que le destinataire envoie un signal d'accusé de réception positif à l'expéditeur [49].

Bien que ce schéma soit très simple, les données ne sont transmises que dans un sens.

Ce type de transmission unidirectionnel ne répond pas aux critères des systèmes de communication modernes à grande vitesse actuels [50].

III.3.1.2. Go-back-N (Retour à N)

Dans le schéma de retour en N, les mots de code sont transmis en continu par l'émetteur dans l'ordre. N est la taille de la «fenêtre» à partir de laquelle l'émetteur peut envoyer des mots de code. Il est important que N soit aussi grand que possible dans les limites des possibilités du destinataire de traiter les paquets et du nombre de mots de code utilisés pour vérifier une transmission. Le signal d'accusé de réception d'un mot de code arrive généralement après un délai aller-retour. Un délai d'aller-retour est défini comme le temps qui s'écoule entre la transmission d'un mot de code et la réception d'un signal d'accusé de réception pour un mot de code. L'émetteur continue à envoyer N-1 mots de code pendant cet intervalle. Lorsque l'expéditeur reçoit un signal d'accusé de réception négatif désignant un mot de code erroné, il retourne à ce mot de code et le renvoie, ainsi que tous les N-1 suivants. Un inconvénient important de cette méthode est lorsqu'un récepteur détecte une erreur, tous les mots de code suivants sont ignorés [49].

III.3.1.3. Répétition sélective

La méthode de répétition sélective a été mise au point pour surmonter les inconvénients des schémas d'arrêt et d'attente et de retour à N. De même, les mots de code sont envoyés en continu ; Cependant, si un mot de code est reconnu négativement, seul ce mot de code est retransmis. Dans ce système, un tampon est nécessaire pour stocker les mots de code sans erreur qui suivent le mot de code incorrect. Un tampon est une région en mémoire utilisée pour empêcher temporairement la poursuite des données pendant le processus de transmission.

La mémoire tampon est nécessaire car les données doivent généralement être reçues dans l'ordre. La taille de la mémoire tampon doit être suffisamment grande pour que les données ne soient pas débordées et que les mots de passe ne soient pas perdus [49]. Des complications avec cette technique peuvent survenir lorsqu'un deuxième mot de code est déclaré invalide alors que le premier mot de code corrigé n'a pas encore été reçu par la mémoire tampon. La mise en mémoire tampon appropriée doit être gérée par l'émetteur, qui doit disposer de la logique nécessaire pour gérer plusieurs mots de code hors séquence [50].

III.3.2. Codes de correction d'erreur direct (FEC : Forward Error Correction)

La FEC est une méthode qui tente de corriger les erreurs trouvées. Des bits supplémentaires sont ajoutés, en fonction de l'algorithme défini, à la transmission d'un message.

Ces bits supplémentaires sont reçus et utilisés pour la détection et la correction des erreurs, éliminant ainsi le besoin de demander une retransmission de données [51].

L'un des premiers codes à apparaître a été créé par Richard Hamming. Hamming a développé une classe infinie de codes linéaires binaires à correction d'erreur unique. Ce code était censé former une partition exhaustive de n-space binaire. Peu de temps après, Marcel Golay a publié un code complet à correction d'erreur triple binaire linéaire ainsi qu'un code ternaire à double correction similaire. Ces trois codes sont connus pour être les seuls codes linéaires «parfaits» non triviaux existants. Il existe essentiellement deux types de codes de correction d'erreur implémentés dans la FEC : les codes linéaires et les codes de blocs.

III.3.2.1. Codes linéaires

Un code linéaire, ou code linéaire binaire, implémente des combinaisons linéaires de mots de code en tant que moyen de coder un train de bits transmis. Ce code prend un groupe de K bits de message et produit un mot de code binaire composé de N bits.

Les bits de contrôle de parité N-K supplémentaires, fournis pour la redondance, sont déterminés par un ensemble d'équations linéaires N-K. Chaque bit de contrôle de parité peut être représenté dans une équation telle que celle-ci : $b_{k+1} = a_{11}b_1 + a_{12}b_2 + \dots + a_{1k}b_k$ [52].

III.3.2.2. Codes de blocs

Les codes de bloc organisent un flux de bits au format binaire, appelés bits de message, en blocs de longueur K. Chaque bloc de bits étant de longueur K, est un ensemble de 2^K messages possibles pouvant être transmis. Le codeur de chaîne de bits convertit l'ensemble de 2^K blocs possibles de K bits en un autre ensemble de 2^N blocs plus longs de N bits.

Parmi cet ensemble plus large de 2^N mots de code possibles, N mots de code sont choisis pour être envoyés dans le flux transféré. Les bits supplémentaires (N-K), ou bits de contrôle de parité, sont l'addition de redondance au flux de bits avant qu'il ne soit communiqué. Le résultat final est un mot de code qui est transmis, corrompu et décodé séparément de tous les autres mots de code.

Un code de bloc a un taux de code de K / N , qui fait référence au niveau de redondance appliqué à un code de bloc. Un taux de codage de K / N représente le rapport entre le nombre de bits de message et le nombre total de bits codés. Un code de bloc (N, K) pour un canal Q est une liste de mots de code $S = 2^K$, chacun de longueur N. Le nombre de mots de code S est un entier, cependant, le nombre de bits spécifié en choisissant un mot de code, $K = \log_2 S$ est pas nécessairement un entier.

Lors de la conception d'un code de bloc à utiliser, plusieurs considérations essentielles sont à prendre en compte. Les valeurs de N et K doivent être choisies de manière à ce que la distance minimale d'un mot de code soit la plus grande possible. La distance d'un mot de code est considérée comme le nombre de bits qui sont différents dans un mot de code après la transmission.

Chapitre 4 : Protection contre les erreurs

Par conséquent, la distance minimale d'un mot de code indique le nombre d'erreurs à un bit pouvant être détectées par un code d'erreur.

De plus, le nombre de bits supplémentaires doit être aussi petit que possible pour réduire la bande passante d'une transmission. Enfin, le nombre de bits supplémentaires doit être aussi grand que possible pour réduire le taux d'erreur. Par conséquent, il existe une relation critique entre la bande passante et le taux d'erreur d'une transmission [53].



CHAPITRE V

Réseaux de télécommunications

I. Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux différents types de réseaux à savoir les réseaux fixes, les réseaux sans fil et mobiles en présentant les aspects : architecture, fonctionnement, catégories, types et évolution.

Les termes *sans fil* et *mobile* sont souvent utilisés pour décrire les systèmes existants, tels que le GSM (Global System for Mobile communication), IEEE 802.11, Bluetooth, etc. Il est cependant important de distinguer les deux catégories de réseaux que recourent les concepts de sans fil et de mobile de façon à éviter toute confusion.

Les réseaux sans fil et mobiles ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part, des réseaux locaux sans fil qui sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que WiFi, Bluetooth, etc. D'autre part, du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunication essentiellement dédiés à la téléphonie puis plus orientés vers le multimédia.

Aujourd'hui, la majorité des ordinateurs et la quasi-totalité des appareils mobiles disposent de moyens de connexion à un ou plusieurs types de réseaux sans fil. Ainsi, il est très facile de créer en quelques minutes un réseau sans fil permettant à tous ces appareils de communiquer entre eux, mais, il est important de tenir compte de la mise en œuvre de la zone de réception, la puissance de l'émetteur, la détection du récepteur et la sécurité des données transmises.

L'avantage essentiel que représentent les systèmes de communication est la mobilité. Cet aspect a séduit une grande quantité de personnes. Le service de mobilité permet aux usagers de communiquer sur une zone étendue et de pouvoir poursuivre une communication tout en se déplaçant. Le système permettant d'offrir ce service au sens le plus large est le système cellulaire, en particulier le GSM, dont la couverture peut s'étendre sur des pays voire des continents.

Les évolutions se poursuivent de toute part, tant dans le monde des réseaux spécialisés que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons: monde télécoms classiques, monde des réseaux sans fil voire le monde de la diffusion de télévision terrestre et satellite.

II. Réseaux fixes

Un réseau fixe et spécialement celui de la téléphonie fixe correspond aux systèmes téléphoniques dont la ligne terminale de l'abonné est située à un emplacement fixe. La ligne de l'abonné est le segment du réseau des télécommunications compris entre la prise téléphonique de l'abonné et le répartiteur. La ligne est dite fixe quand elle est réalisée soit par une technique filaire (cuivre, câble coaxial ou fibre optique), soit par une technique sans fil fixe (ou boucle radio fixe) [54].

Les réseaux fixes peuvent utiliser plusieurs technologies telles que :

- RTC (réseau téléphonique commuté), ou téléphonie analogique.
- RNIS (réseau numérique à intégration de services).
- ATM (mode de transfert asynchrone).

II.1. RTC (Réseau Téléphonique Commuté)

Le RTC ou le STN (Switched Telephone Network) est un réseau commuté, c'est à dire que lorsque la liaison est établie, on a l'impression d'avoir une ligne point à point. Le RTC suit le mode Full Duplex c'est à dire que les deux utilisateurs de la liaison peuvent émettre et recevoir en même temps.

En RTC, la ligne de l'abonné est reliée grâce à une paire de fils à un **commutateur téléphonique** du réseau public. Ces commutateurs téléphoniques permettent de mettre en relation deux correspondants. La diffusion de la voix se fait par **transmission bidirectionnelle** du signal vocal en bande de base, c'est-à-dire sans modulation, et à basses fréquences, à savoir de 300 Hz à 3400 Hz. La téléphonie fixe en RTC est basée sur le **mode analogique**, ce qui signifie que le signal est enregistré de façon continue (par opposition à la transmission en mode numérique, qui n'enregistre que certaines valeurs du signal) [55].

Le RTC est relativement peu coûteux à mettre en place par rapport à une liaison spécialisée ce qui explique le nombre d'abonnés.

La topologie du réseau RTC est arborescente et conçue autour de nœuds de commutation contenant l'intelligence du réseau. Les signaux sont aiguillés dans ces nœuds, puis par la suite transmis par multiplexage. La figure suivante montre la structure arborescente du réseau RTC.

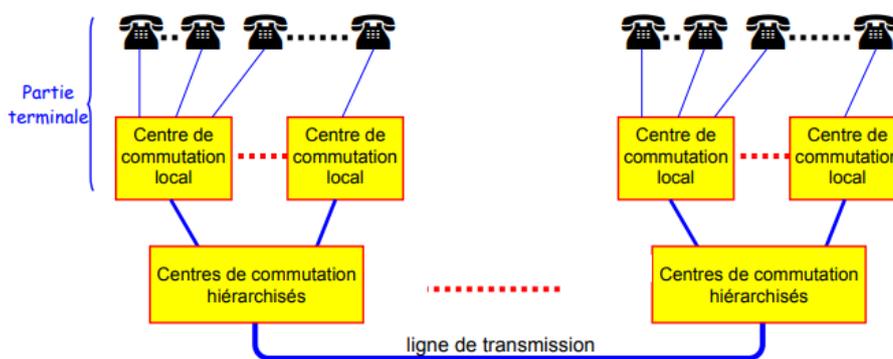


Figure V. 1: Arborescence du RTC

L'informatique tient aujourd'hui une place considérable dans l'utilisation du réseau téléphonique commuté. Le modem est l'interface qui permet de véhiculer des informations analogiques en convertissant les signaux numériques en signaux analogiques et vice versa.

Les modems usuels, utilisés principalement par les particuliers, travaillent à des vitesses de modulation de 56kbps via le réseau téléphonique.

L'inconvénient de cette technologie réside dans le fait qu'un utilisateur naviguant sur le réseau Internet aura sa ligne de téléphone occupée, tant qu'il reste connecté au réseau.

Le numérique a supplanté l'analogique au début des années 2000 et de nouvelles **solutions de téléphonie** ont désormais pris le pas sur le RTC. Le réseau, vieillissant et de moins en moins utilisé.

II.2. RNIS (Réseaux Numériques à Intégration de Services)

L'architecture RNIS ou ISDN (Integrated Services Digital Network) a été conçue pour associer la voix, les données, la vidéo et tout autre application ou service. Cette architecture peut être vue comme une évolution des réseaux téléphoniques analogiques historiques. Les réseaux RNIS fournissent des services à faible débit : de 64Kbps à 2Mbps.

Avec les réseaux RNIS, les sites régionaux et internationaux de petite taille peuvent se connecter aux réseaux d'entreprises à un coût mieux adapté à la consommation réelle qu'avec des lignes spécialisées. Les liaisons à la demande RNIS peuvent être utilisées soit pour remplacer les lignes spécialisées, soit en complément pour augmenter la bande passante ou assurer une redondance. Avec ces mêmes liaisons, les sites ou les utilisateurs distants peuvent accéder efficacement aux ressources critiques à travers l'Internet en toute sécurité [55].

Dans un réseau téléphonique analogique, une boucle sur une paire torsadée de fils de cuivre entre le commutateur central de la compagnie de télécommunication et l'abonné supporte un canal de transmission unique. Ce canal ne traite qu'un seul service simultanément : la voix ou les données. Dans les réseaux RNIS, les connexions sont numériques d'une extrémité à l'autre et la même paire torsadée est divisée en plusieurs canaux logiques qui fonctionnent en full duplex.

Le protocole du RNIS prévoit que les données transitent dans des canaux, et que plusieurs canaux fonctionnent simultanément sur la même ligne téléphonique. Il existe deux types de canaux :

- **Canal B** (Bearer channel), utilisé pour la transmission des données numériques, fonctionnant par commutation de circuits, à 64 Kbps (parfois encore 56 Kbps).
- **Canal D** (Delta channel), utilisé pour la signalisation (l'établissement de la communication), fonctionnant par commutation de paquets à 16 ou 64 Kbps.

II.3. ATM (Mode de Transfert Asynchrone)

Pour avoir un réseau longue distance capable de s'adapter à la demande des différents type de données, il faut un réseau performant en transmission, en commutation et en multiplexage.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) est l'aboutissement d'un certain nombre d'évolutions dans les techniques de transfert. C'est l'évolution des techniques de commutation de circuits (slots et simplicité) et de commutation de paquets (multiplexage statistique et flexibilité). ATM a été retenu comme mode de transfert des RNISLB (B-ISDN).[56]

ATM veut permettre de véhiculer tout type d'information : voix, vidéo, données. Bref "être un réseau multimédia". Pour cela, il faut offrir :

- Un débit suffisant : Les applications multimédia ont besoin de liens avec des débits au Mbit/s (voire gigabits/s).
- une qualité de service (QoS) adaptée aux différents types de trafic : Le trafic temps réel tolère certaines pertes mais pas de retard (comme la voix et la vidéo haute-résolution), tandis que le trafic sans contrainte de temps réel tolère une distorsion temporelle mais pas de perte (comme le transfert de fichiers).

III. Réseaux sans fil

La théorie qu'on va présenter s'inspire directement des travaux du co-auteur du livre ; Dr A.Amraoui [57].

III.1. Définition

Un réseau sans fil (Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire.

Un réseau local sans fil véhicule les informations soit par infrarouge, soit par onde radio. La transmission par onde radio est la méthode la plus répandue en raison de sa plus large couverture géographique et de son débit plus grand.

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus, l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures comme c'est le cas avec les réseaux filaires, ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

Les transmissions radioélectriques servent pour un grand nombre d'applications, mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquence et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation.

Il y a quelques règles simples qui peuvent être utiles pour concevoir un réseau sans fil:

- Plus la longueur d'onde est grande, plus loin celle-ci ira.
- Plus la longueur d'onde est grande, mieux celle-ci voyagera à travers et autour des choses.
- À plus courte longueur d'onde, plus de données pourront être transportées.

III.2. Fonctionnement d'un réseau sans fil

Le téléphone sans fil communique avec un correspondant par l'intermédiaire du socle qui fait office de point d'accès vers le réseau téléphonique.

De même, chaque ordinateur du réseau sans fil muni d'une carte réseau adéquate peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un point d'accès réseau. Ce dernier peut être physiquement connecté au réseau câblé et fait alors office de point d'accès vers le réseau câblé.

Bien entendu, plus on s'éloigne du point d'accès, plus le débit diminue : pour un débit de 1 Mbps, la portée est de 460 m dans un environnement sans obstacle et de 90 m dans un environnement de bureau classique.

Le réseau sans fil offre deux modes de fonctionnement différents : le mode avec infrastructure et le mode sans infrastructure.

III.2.1. Réseau avec infrastructure

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés station de base sont munis d'une interface sans fil pour la communication directe avec des sites mobiles ou unités mobiles, localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées. Dans ce modèle, une unité mobile doit être, à un instant donné, directement connectée à une seule station de base [58].

III.2.2. Réseau sans infrastructure

Le réseau sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (Independent Basic Service Set) ne comporte pas l'entité site fixe, tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé de stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et à la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

La différence entre le mode Ad hoc et le mode avec infrastructure est que dans le premier mode, la communication entre deux machines se fait directement si elles se trouvent à la portée l'une de l'autre, alors que dans le second mode, toutes les communications passent par le point d'accès [58].

III.3. Catégories de réseaux sans fil

On distingue habituellement plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture) :

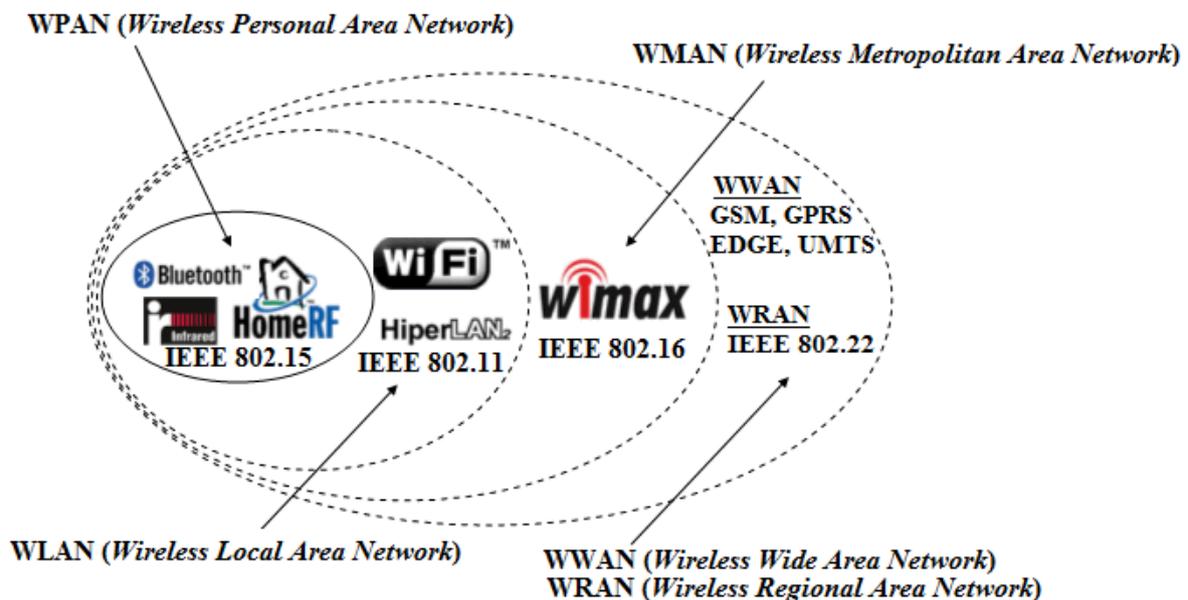


Figure V. 2 : Catégories des réseaux sans fil

III.3.1. WPAN (Wireless Personal Area Network)

Le réseau personnel sans fil est constitué de connexions entre des appareils distants de seulement quelques mètres comme dans un bureau ou une maison.

- Bluetooth
- Home RF

III.3.2. WLAN (Wireless Local Area Network)

Le réseau local sans fil correspond au périmètre d'un réseau local installé dans une entreprise, dans un foyer ou encore dans un espace public. Tous les terminaux situés dans la zone de couverture du WLAN peuvent s'y connecter.

Plusieurs WLAN peuvent être synchronisés et configurés de telle manière que le fait de traverser plusieurs zones de couverture est pratiquement indécélable pour un utilisateur.

- IEEE 802.11
- HiperLan

III.3.3. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Le réseau sans fil WMAN utilise le Standard IEEE 802.16, autrement dit Wimax (World wide Interoperability for Microwave Access), il fournit un accès réseau sans fil à des immeubles connectés par radio à travers une antenne extérieure à des stations centrales reliées au réseau filaire.

III.3.4. WWAN (Wireless Wide Area Network)

Le réseau sans fil WWAN englobe les réseaux cellulaires tels que le GSM, GPRS, UMTS et les réseaux satellitaires. La distance entre les périphériques peut aller jusqu'à 3 km, le coût de la mise en place d'un tel réseau est plus élevé que celui des réseaux cités au paravent.

III.3.5. WRAN (Wireless Regional Area Network)

IEEE 802.22 est une norme pour les réseaux régionaux sans fil qui fonctionneront dans des canaux de télévision inutilisés, et fourniront un accès aux services sans fil. La norme finale va supporter des canaux de 6,7 et 8 MHz pour une opération mondiale. Le WRAN est basé sur l'OFDMA. Cette norme est en cours de développement et est actuellement sous forme d'ébauche [59].

III.4. Différents types de réseaux sans fil

Il existe principalement deux types de réseaux sans fil :

- Les réseaux utilisant les ondes infrarouges.
- Les réseaux utilisant les ondes radio.

III.4.1. Réseaux utilisant les ondes infrarouges

Les ondes infrarouges sont utilisées dans la vie courante (télécommandes de télévisions). Grâce à elles, on peut créer des petits réseaux, notamment entre des téléphones portables et des ordinateurs.

Le principal inconvénient des réseaux créés avec les ondes infrarouges est qu'ils nécessitent que les appareils soient en face l'un de l'autre, séparés au maximum de quelques dizaines de mètres et qu'aucun obstacle ne sépare l'émetteur du récepteur puisque la liaison entre les appareils est directionnelle. Bien entendu, les seuls réseaux utilisables par cette technologie sont les WPAN.

III.4.2. Réseaux utilisant les ondes radio

III.4.2.1. Bluetooth

C'est une spécification industrielle pour les zones de réseaux PAN. Il a été lancé par Ericsson en 1994. Ce type de liaison sans fil permet de relier deux appareils via une liaison hertzienne [60].

Il offre des débits moyens (1 Mbps en théorie) sur un rayon limité (10 à 30 m en pratique). La norme officielle définissant le Bluetooth est l'IEEE 802.15.

Au sein d'un réseau Bluetooth, la bande passante est partagée entre un appareil servant de maître et jusqu'à 7 périphériques esclaves. Il est possible en théorie de faire communiquer jusqu'à 10 groupes d'appareils, soit 80 appareils.

III.4.2.2. HomeRF (Home Radio Frequency)

HomeRF a été conçu avant tout pour un usage domestique. Il utilise les mêmes fréquences que Bluetooth [60].

Un réseau HomeRF permet de relier des ordinateurs portables ou fixes et d'adresser 127 nœuds sur un réseau, et 6 liaisons voix simultanées.

III.4.2.3. ZigBee

ZigBee est un protocole de communication sans-fil à courte portée et à faible consommation énergétique basé sur la norme IEEE 802.15.4. Il est maintenu par un consortium regroupant des entreprises, des universités et des organismes gouvernementaux connus sous le nom de ZigBee Alliance.

La spécification initiale de ZigBee propose un protocole lent dont le rayon d'action est relativement faible, mais dont la fiabilité est assez élevée, le prix de revient faible et la consommation considérablement réduite.

On retrouve donc ce protocole dans des « environnements embarqués » où la consommation est un critère de sélection. Les nœuds sont conçus pour fonctionner plusieurs mois (jusqu'à dix ans pour les plus économes) en autonomie complète grâce à une simple pile de 1,5 V.

III.4.2.4. HiperLan (High Performance Lan)

Elaborée sous la tutelle de l'institut européen des normes de télécommunications, HiperLan est une norme exclusivement européenne. Son but est de créer des environnements flexibles sans fil à haut débit, permettant un fonctionnement Ad hoc. Il dispose d'un code correcteur d'erreurs pour obtenir une qualité de transport comparable à celle obtenue dans un réseau local [60].

III.4.2.5. Norme IEEE 802.11

L'IEEE a investi dans l'amélioration de la norme 802.11, avec la même architecture et la même technologie, mais avec un débit de données important entre 5 et 11 Mbps, au lieu de pousser la technologie et stimuler les communautés scientifiques et industrielles afin de standardiser, de concevoir et de fabriquer des produits pour ces réseaux. Il existe plusieurs versions de l'IEEE 802.11. En règle générale, plus une version est récente, plus les débits proposés sont élevés. Les principales extensions sont les suivantes :

a. Norme 802.11a

Cette norme a été développée en 1999 (parfois appelée WiFi5), elle opère dans la bande de fréquence 5 GHz, incompatible avec la fréquence 2,4 GHz.

Elle utilise OFDM. Ceci limite les interférences et rend possible des vitesses de transmission de données allant jusqu'à 54 Mbps.

b. Norme 802.11b, WiFi

Le terme WiFi (Wireless Fidelity), fait référence à cette norme qui fût la première norme des WLAN utilisée par un grand nombre d'utilisateurs, elle a été approuvée en 1999 par l'IEEE. La norme WiFi permet l'interopérabilité entre les différents matériels existants, elle offre des débits de 11 Mbps, avec une portée de 300 m dans un environnement dégagé. Elle fonctionne dans la bande de fréquence 2,4 GHz, séparée en plusieurs canaux.

c. Norme 802.11g

Cette norme a été développée en 2003. Elle étend la norme 802.11b, en augmentant le débit jusqu'à 54 Mbps théorique (30 Mbps réels). Elle fonctionne aussi à 2,4 GHz, cette utilisation de la même zone de fréquence devrait permettre de mélanger des points d'accès 802.11b. Le point central adapte sa vitesse en fonction du périphérique connecté, permettant à des clients 802.11b de se connecter.

Grâce à cela, les équipements 802.11b sont utilisables avec les points d'accès 802.11g et vice versa.

Cette norme utilise l'authentification WEP statique, elle accepte aussi d'autres types d'authentification WPA (Wireless Protected Access) avec cryptage dynamique (méthode de chiffrement TKIP et AES).

d. Norme 802.11i

Ratifié en juin 2004, cette norme décrit des mécanismes de sécurité de transmission. Elle propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g. La 802.11i agit en interaction avec les normes 802.11b et 802.11g. Le débit théorique est donc inchangé, à savoir 11 Mbps pour la 802.11b et 54 Mbps pour la 802.11g.

e. Norme 802.11e

Disponible depuis 2005. Elle vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données, des fonctionnalités de sécurité et d'authentification. Ainsi, cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.

f. Norme 802.11n

Cette norme est normalisée depuis 2009, elle utilise en même temps les bandes de fréquences 2,4 GHz et 5 GHz. La vitesse maximum théorique est de 150 à 300 Mbps. Cette vitesse est celle de transport et ne tient pas compte des codes de contrôles, cryptage inclus dans le message. En pratique, le débit effectif est compris entre 100 et 200 Mbps.

Le 802.11n utilise le MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui permet d'envoyer et de recevoir les données en utilisant plusieurs antennes simultanément. En modifiant le positionnement des antennes du point d'accès comme de la carte réseau, on augmente la distance maximale (mais toujours sous les 100 m). Cette solution ne permet pas non plus de passer les murs mais permet dans certains cas de les contourner.

III.4.2.6. Wimax

Le Wimax (World wide Interoperability for Microwave Access) est une connexion sans fil à haut débit et de longue distance. Elle autorise un débit de 70 Mbps en théorie sur maximum 50 km, mais en pratique elle offre 10 Mbps sur 2 km.

Basé sur la norme IEEE 802.16, le réseau Wimax désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux WMAN.

Il est principalement fondé sur une topologie en étoile bien que la topologie maillée soit possible [61] [62].

Il existe différentes versions de Wimax :

- La version **802.16a** permet une distance de 20 km maximum avec un débit de 12 Mbps. La bande de fréquence utilisée se situe entre 2 et 11 GHz. Elle est obsolète.
- La norme **802.16d** ou le Wimax fixe atteint les distances de 50 km. C'est cette norme qui est actuellement commercialisée pour les connexions internet.
- La version **802.16e** transpose le Wimax pour la téléphonie mobile avec un taux de transfert de 30 Mbps pour une distance de 3 km maximum. La plage de fréquence se situe entre 2 et 6 GHz.

Le Wimax est une technologie qui se distingue par deux aspects: le caractère à la fois ouvert, très complet et extrêmement rapide de son processus de normalisation ; et le fait d'avoir été le premier à avoir adopté le bon choix en terme de technologie, notamment en matière de modulation, de sécurité et surtout de QoS. Le Wimax utilise le multiplexage OFDM.

La figure suivante montre le Wimax avec ses proches concurrents en termes de couverture géographique et débits offerts.

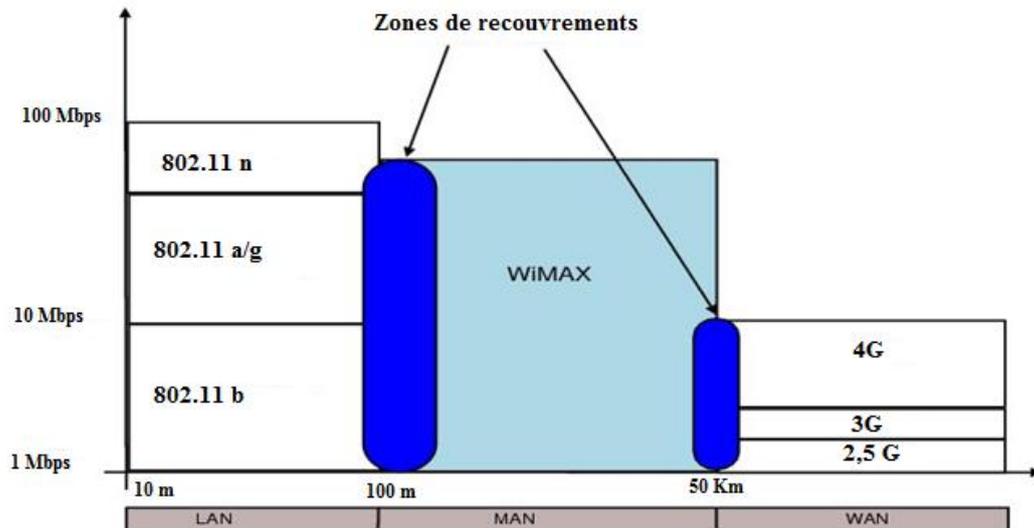


Figure V. 3 : Le Wimax et ses concurrents

III.4.2.7. Norme IEEE 802.22

IEEE 802.22 est un nouveau groupe de travail du comité de normalisation d'IEEE 802 LAN/MAN qui vise à construire l'utilisation sans fil du réseau WRAN des espaces blancs (canaux qui ne sont pas déjà utilisés) dans le spectre assigné de fréquence de TV.

La norme IEEE 802.22 est une norme de radio cognitive visant à doter les régions rurales moins peuplées d'un accès à large bande en utilisant des canaux de télévision vacants. De part, le fait que les niveaux du bruit industriel et des réflexions ionosphériques demeurent relativement bas, que les antennes présentent des dimensions raisonnables et que les caractéristiques de propagation sans visibilité directe sont très bonnes, les bandes de radiodiffusion télévisuelle dans la gamme des VHF et des UHF se révèlent idéales pour la couverture de vastes régions rurales à faible densité de population [59].

Le large recours aux technologies de radio cognitive, comme la détection RF, la géolocalisation, la sélection dynamique de fréquence, vise à assurer la coexistence avec les titulaires de station de radiodiffusion sur une base de non-brouillage, ainsi que la coexistence interne avec d'autres systèmes WRAN conformes à la norme 802.22 pour maximiser l'utilisation du spectre [63].

IV. Réseaux mobiles

IV.1. Sans fil et mobilité

Dans les réseaux sans fil, le support de communication utilise l'interface radio: sans cordon, GSM, GPRS, UMTS, etc.

Un utilisateur mobile est défini théoriquement comme un utilisateur capable de communiquer à l'extérieur de son réseau d'abonnement tout en conservant une même adresse.

- Le système sans cordon est un système sans fil mais il n'est pas mobile.
- Certains systèmes tels que le GSM offrent la mobilité et le sans fil simultanément [64].

IV.2. Mobilité

La mobilité dans les réseaux de communication est définie comme la capacité d'accéder, à partir de n'importe où, à l'ensemble des services disponibles dans un environnement fixe et câblé. Tandis que, l'informatique mobile est définie comme la possibilité pour des usagers munis de périphériques portables d'accéder à des services et à des applications évoluées, à travers une infrastructure partagée de réseau, indépendamment de la localisation physique ou du mouvement de ces usagers.

IV.3. Architecture cellulaire

Dans un réseau cellulaire, le territoire couvert ou la zone de couverture desservie est généralement découpée en petites surfaces géographiquement limitées appelées cellules.

- Picocellule : désigne un espace de desserte de quelques mètres de diamètre.
- Microcellule : réfère à une surface géographique de quelques dizaines de mètres de diamètre.
- Cellule : correspond à une superficie dont le diamètre varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.
- Macrocellule : correspond à une étendue géographique de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres de diamètre.
- Cellule parapluie : définit une région de quelques centaines de kilomètres de diamètre [65].

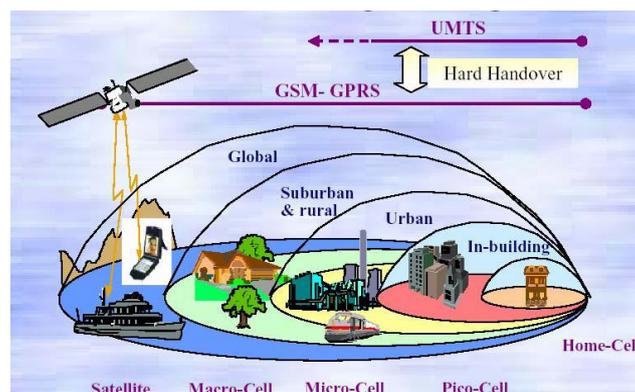


Figure V. 4 : Architecture cellulaire

IV.4. Téléphonie

La téléphonie est un système de télécommunication qui a pour but la transmission du son et en particulier la transmission de la parole. La téléphonie permet des services plus avancés tels que la messagerie vocale, la conférence téléphonique ou les services vocaux.

Un réseau téléphonique est constitué de trois types d'équipements principaux :

- Les terminaux (téléphone, répondeur, modem, fax, serveurs).
- Les systèmes centraux (central téléphonique ou commutateur téléphonique).
- Les liaisons entre différents équipements, tels que les câbles de téléphone (cuivre ou fibre optique) ou les antennes de téléphones mobiles.

IV.5. Évolution des systèmes cellulaires

IV.5.1. Première génération (1G)

La première génération de téléphonie mobile possède un fonctionnement analogique et est constituée d'appareils relativement volumineux. Sa capacité est limitée car le système est basé sur FDMA et il n'y a pas de mécanismes de sécurité.

IV.5.2. Deuxième génération (2G)

IV.5.2.1. GSM (Global System for Mobile Communication)

Ce standard utilise les bandes de fréquences de 900 MHz, 1800 MHz et 1900 MHz. Ainsi, on appelle tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner dans toutes ces fréquences. Il permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des SMS (Short Message Service) ou des MMS (Multimedia Message Service). L'opérateur doit installer des antennes fixes, toutes les antennes définissent une zone de couverture propre à l'opérateur.

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. La mise en place d'un réseau GSM va permettre à un opérateur de proposer des services de type voix à ses clients en donnant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

IV.5.2.2. GPRS (2.5G)

Le GPRS (General Packet Radio Service) peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération.

Toutefois, la transition du GSM au GPRS demande plus qu'une simple adaptation logicielle. Le GPRS s'inspire des usages devenus courants d'internet : lors de la consultation de pages Web, une session peut durer plusieurs dizaines de minutes alors que les données ne sont transmises que pendant quelques secondes, lors du téléchargement des pages.

A ce moment, la voix continue de transiter sur le réseau GSM, tandis que les données circulent via le GPRS. Il permet un débit cinq fois plus élevé que celui du GSM et il intègre la QoS.

IV.5.2.3. EDGE (2.75G)

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) est un réseau de transition entre GPRS et UMTS, il permet un débit encore plus élevé.

EDGE est issu de la constatation que, dans un système cellulaire, tous les mobiles ne disposent pas de la même qualité de transmission. Le contrôle de puissance tente de pallier ces inégalités en imposant aux mobiles favorisés une transmission moins puissante. Cela permet plutôt d'économiser les batteries des terminaux que d'augmenter les capacités de transmission. EDGE permet aux utilisateurs favorisés de bénéficier de transmissions plus efficaces, augmentant par conséquent le trafic moyen offert dans la cellule.

C'est associé au GPRS qu'EDGE revêt tout son intérêt, notamment grâce au principe d'adaptation de lien. Cette dernière consiste à sélectionner le schéma de modulation et de codage le mieux adapté aux conditions radio rencontrées par le mobile.

IV.5.3. Troisième génération (3G)

Les réseaux 3G ont une grande flexibilité pour introduire de nouveaux services. Les débits sont plus élevés et ils peuvent atteindre les 2 Mbps.

IV.5.3.1. UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

Il offre des services de communication sans fil, offre le multimédia en plus de la voix et des données (possibilité de faire une visioconférence, de regarder la télévision), son coût est très élevé.

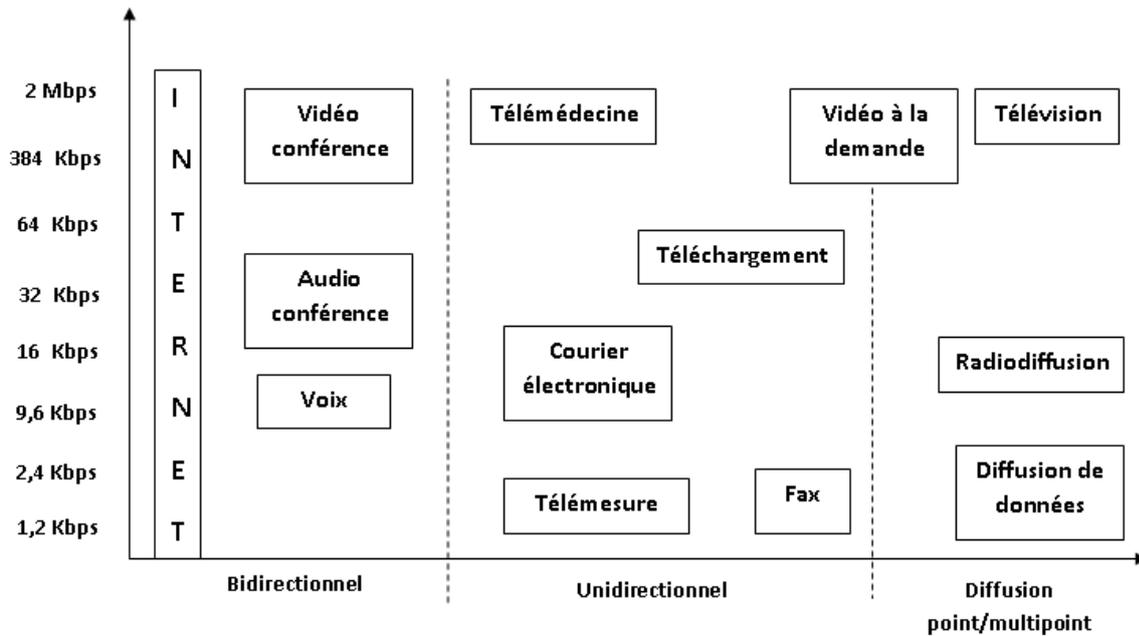


Figure V. 5 : Services offerts par le système 3G

IV.5.4. Quatrième génération (4G)

L'augmentation du nombre d'utilisateurs mobiles due au développement de l'internet et de ses applications, ainsi que l'apparition rapide des réseaux sans fil ont encouragé la mobilité des utilisateurs. Les utilisateurs mobiles ont de plus en plus besoins d'avoir accès à un ensemble riche des services multimédia avancés en utilisant n'importe quel terminal disponible, avec une qualité de service acceptable à travers n'importe quel réseau d'accès disponible. Des débits de données de plus en plus élevés sont utilisés.

IV.6. Wimax mobile et 4G

L'utilisateur de la 4G de mobiles a plusieurs technologies d'accès sans fil à sa disposition. Cet utilisateur veut pouvoir être connecté au mieux, n'importe où, n'importe quand et avec n'importe quel réseau d'accès. Pour cela, les différentes technologies sans fil doivent coexister de manière à ce que la meilleure technologie puisse être retenue en fonction du profil de l'utilisateur, de chaque type d'application et de service qu'il demande. Dans ce contexte, le terminal mobile devra rechercher en permanence le meilleur réseau d'accès en fonction des besoins de l'utilisateur.

C'est grâce à l'utilisation d'OFDMA avec la technologie MIMO que le Wimax mobile prétend satisfaire les besoins des utilisateurs mobiles.

Le Wimax mobile peut prétendre concurrencer l'UMTS et constituer la technologie du futur pour une 4G qui n'est pas encore complètement défini. Les réseaux Wimax mobiles devraient représenter en 2012 un quart des équipements de communication mobile au niveau terrestre [62].

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe des réseaux fixes et les différentes technologies utilisées, ensuite nous avons parlé des réseaux sans fil et mobiles et leur évolution à travers les générations. Le support de la mobilité des réseaux permet de développer l'idée d'un internet omniprésent, à tout instant, à tout endroit et avec n'importe qui. Les applications multimédia seront les premières à bénéficier de ce type d'environnement.

Les réseaux sans fil sont des technologies intéressantes et très utilisées dans divers domaines. Cette diversification d'utilisation revient aux différents avantages qu'apportent ces technologies, comme la mobilité, la simplicité d'installation et la disponibilité. Mais la sécurité dans ce domaine reste un sujet très délicat, car depuis l'utilisation de ce type de réseaux, plusieurs failles ont été détectées.

Les réseaux sans fil ont connu des développements très significatifs qui ont donné aux utilisateurs l'illusion que leurs qualités pouvaient être presque équivalentes à celles des réseaux filaires.

Références

- [1] <https://www.iso.org>.
- [2] <https://www.iec.ch>.
- [3] <https://www.itu.int>.
- [4] <https://www.ecma-international.org>.
- [5] <https://www.bakom.admin.ch>.
- [6] <https://www.afnor.org>.
- [7] <https://www.ansi.org>.
- [8] <https://www.din.de>.
- [9] <https://www.bsigroup.com>.
- [10] www.hls-dhs-dss.ch.
- [11] <https://www.darpa.mil>.
- [12] <https://www.ieee.org>.
- [13] <https://ihsmarkit.com/products/eia-standards.html>.
- [14] <http://www.atmforum.com>.
- [15] <https://www.ietf.org>.
- [16] www.ianor.dz.
- [17] P. Darche and I. P. Descartes, *Architecture des ordinateurs*. Gaëtan Morin [puis], 2000.
- [18] P. Herreng and J. Ville, "Étude des irrégularités d'impédance des câbles coaxiaux par observation oscillographique des échos d'une impulsion," in *Annales Des Télécommunications*, 1948, vol. 3, no. 10, pp. 317-331: Springer.
- [19] M. DEBBAL, "Cours Optoélectronique," *Polycopié du département Génie Electrique* vol. Centre universitaire Belhadj Bouchaib, Ain-Temouchent, 2018.
- [20] P. Mühlethaler and O. Salvatori, *802.11 et les réseaux sans fil*. Eyrolles Paris, 2002.
- [21] P. Musso, *Télécommunications et philosophie des réseaux*. Preses Universitaires de France, 1998.
- [22] R. Parfait, *Les réseaux de télécommunications*. Hermes science publications, 2002.
- [23] P. Godlewski, "WOM-codes construits à partir des codes de Hamming," *Discrete mathematics*, vol. 65, no. 3, pp. 237-243, 1987.
- [24] G. Battail, "Pondération des symboles décodés par l'algorithme de Viterbi," in *Annales des telecommunications*, 1987, vol. 42, no. 1-2, pp. 31-38: Springer.
- [25] F. B. J.-C. C. J. Kohlas, *Introduction à la Théorie de l'Information et ses applications*. Faculté Informatique et Communications, 2008, p. 271.
- [26] I. Claisse and X. Barbier, "Transmission de données en bande de base," in *Colloque international sur la téléinformatique, Paris*, 1969, pp. 64-72.
- [27] W. S. Burchill, V. R. Majjigi, and X. Wang, "Transmission power modulation to facilitate in-device coexistence between wireless communication technologies," ed: Google Patents, 2014.
- [28] I. Moussa, "Modèles de résolution approchée et efficace pour les problèmes des réseaux de transport et de télécommunication," Amiens, 2015.
- [29] D. Comer, *Computer networks and internets*. Pearson, 2015.
- [30] G. R. Walker, P. A. Rea, S. Whalley, M. Hinds, and N. Kings, "Visualisation of telecommunications network data," *BT technology journal*, vol. 11, no. 4, pp. 54-63, 1993.
- [31] M. Schwartz, *Telecommunication networks: protocols, modeling and analysis*. Addison-Wesley Reading, MA, 1987.
- [32] D. H. Johnson, "Signal-to-noise ratio," *Scholarpedia*, vol. 1, no. 12, p. 2088, 2006.

- [33] G. A. Greco and B. G. Sepaniak Jr, "Personal computer modem card interface construction," ed: Google Patents, 1995.
- [34] A. L. Serrano, "Modem telephone interface circuit," ed: Google Patents, 1983.
- [35] D. BATTU, *Modems: interfaces et normes*. Ed. Techniques Ingénieur, 2003.
- [36] H. Schumny and R. Ohl, "Modems," in *Handbuch Digitaler Schnittstellen*: Springer, 1994, pp. 94-111.
- [37] B. Petit, "Infrastructure des réseaux informatiques," ed: Références sciences, 2018 p. 264.
- [38] F. C. Hon, "Call establishment method for dial-up internet telephony appliances," ed: Google Patents, 2004.
- [39] W. J. Goralski, *ADSL and DSL technologies*. McGraw-Hill, Inc., 2000.
- [40] J. A. Bingham, *ADSL, VDSL, and multicarrier modulation*. Wiley New York, 2000.
- [41] S. Yim and X. Lu, "Element management system for a digital subscriber line access multiplexer," ed: Google Patents, 2003.
- [42] C. Franklin, "How dsl works," *How Stuff Works*, <http://computer.howstuffworks.com/dsl.htm/printable>, printed Nov, vol. 16, 2004.
- [43] A. Houghton, "Bit Error Rates," in *Error Coding for Engineers*: Springer, 2001, pp. 165-176.
- [44] A. Hocquenghem, "Codes correcteurs d'erreurs," *Chiffres*, vol. 2, no. 2, pp. 147-56, 1959.
- [45] G. Cullmann, *Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs*. Dunod, 1967.
- [46] M. Gallo, & Hancock, W, "Computer communications and networking technologies," *Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Co*, 2002.
- [47] V. Garg, "Wireless communications and networking: an introduction," *Burlington, MA*, 2007.
- [48] "Automatic repeat request (ARQ)," *Focal Dictionary of Telecommunications*, 1999.
- [49] S. Lin, D. J. Costello, and M. J. Miller, "Automatic-repeat-request error-control schemes," *IEEE Communications magazine*, vol. 22, no. 12, pp. 5-17, 1984.
- [50] J. D. Gibson, "The communications handbook," 2002.
- [51] "Forward Error Correction (FEC)," *Focal Dictionary of Telecommunications*, 1999.
- [52] I. Widjaja, & Leon-Gracia, A, "Communication networks: Fundamental concepts and key architectures (1st ed.)," *Mcgraw-Hill College*, 2000.
- [53] W. Stallings, "Data and computer communications," *Upper Saddle River: Prentice Hall*, 2006.
- [54] P. André, *Architecture des réseaux fixes*. Lavoisier.
- [55] P. Atelin, *Réseaux informatiques: notions fondamentales: normes, architecture, modèle OSI, TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi*. Editions ENI, 2009.
- [56] C. Pham, "Les réseaux multi-services et Les réseaux ATM," *RESO-LIP/INRIA, Université Lyon 1*.
- [57] A. AMRAOUI and W. BAGHLI, "Synthèse de profils applicatifs dans le cadre des réseaux radio cognitive," 2011.
- [58] S. o. I. Pierre-Olivier BOURGEOIS - Alexis MARCOU.
- [59] A. A. BENMAMMAR Badr, "Radio resource allocation and dynamic spectrum access," *John Wiley & Sons*, 2013.
- [60] A. Philippe, "Wi-Fi: réseaux sans fil 802.11," *Ediciones ENI*, 2008.
- [61] M. Simon, "WiMAX ou l'évolution des réseaux sans-fil?," *Spring*, vol. 11, no. 1, 2006.
- [62] B. BENMAMMAR, JRAD, Zeina, and KRIEF, Francine, "QoS management in mobile IP networks using a terminal assistant," *International Journal of Network Management*, vol. 19, no. 1, pp. 1-24, 2009.

- [63] H. Badis, "Les réseaux mobiles et sans fil," *Université de Paris-Est Marne-la-Vallée*, 2011.
- [64] S. a. M. PIERRE, Max, "introduction aux réseaux mobiles," *Geninov Inc.*, 2008.
- [65] A. M. WYGLINSKI, NEKOVEE, Maziar, et HOU, Thomas (ed.), "Cognitive radio communications and networks: principles and practice," *Academic Press*, 2009.



EXERCICES

Exercice 1 :

1. Qu'est-ce qu'une norme ?
2. Quels sont les avantages des Normes internationales ?
3. Cité six ou sept organisme internationaux qui sont chargé de normaliser en matière de réseau ?

Exercice 2 :

1. Qu'est-ce qu'un Media Réseau ?
2. Quels sont les facteurs qui permettent de jugé la qualité du media ?
3. un câble Réseau est généralement spécifié sous la forme XYZ, que représentent ces lettres ?
Par exemple : 10BaseT
4. cités les différents types de medias physiques (câbles) qui peuvent être utilisés dans un Réseau ?

Exercice 3 :

Utilisé dans tous les domaines de la physique, le décibel est une unité logarithmique qui exprime le rapport d'une grandeur (A) par rapport à une autre prise comme référence (B).

La relation est de la forme : $(A/B)_{dB} = 10 \log_{10}(A/B)$

Compte tenu de cette définition, quel est le rapport en vraie grandeur des rapports A/B exprimés en dB ?

3 dB, 10 dB, 100 dB, 103 dB, 77 dB

Exercice 4 :

Donnez un exemple de la vie courante pour chacun des modes de contrôle des échanges.

Exercice 5 :

Le code **Morse** est le premier code développé. Le code se base sur les statistiques les occurrences des caractères dans une langue déterminée. Quels sont les avantages et inconvénients du code Morse ?

(Ex. 'A' : .- 'B' : -... 'C' : -.-. 'D' : -.. 'E' : .) ?

Exercice 6 :

Un terminal utilisant le code **ASCII** doit être connecté à un ordinateur utilisant le **code EBCDIC**. Quels sont les problèmes qui peuvent être rencontrés et comment les résoudre ?

Exercice 7 :

Un fichier est codé en ASCII et transcrit ci-dessous en hexadécimal. Ecrire son contenu en clair.

43 45 4e 54 52 45 20 55 4e 49 56 45 52 53 49 54 41 49 52 45 20 41 49 4e 2d 54 45 4d 4f 55
43 48 45 4e 54 0d 0a 33 c3 a8 6d 65 20 61 6e 6e c3 a9 65 20 6c 69 63 65 6e 63 65 20 74 c3
a9 6c c3 a9 63 6f 6d 6d 75 6e 69 63 61 74 69 6f 6e 0d 0a

Exercice 8:

Combien de conducteurs sont nécessaires pour réaliser une transmission en parallèle de mots machines de 32 bits si on utilise ou non un retour commun ?

Exercice 9:

Nous voulons transmettre les caractères suivants « MRIM » sur un réseau. La vitesse de ce réseau est de 19200 bits/s, avec une durée d'intertrame nulle. Deux possibilités vous sont proposées. Soit une transmission asynchrone, soit une transmission synchrone.

Partie N°1 : Transmission asynchrone

Sachant que la transmission s'effectue avec un seul bit de stop, et que le caractère est codé sur 8 bits.

1. Représenter à l'aide du tableau ASCII les bits présents sur le réseau.
2. Déterminer la durée de la transmission.
3. Déterminer l'efficacité de la transmission.

Partie N°2 : Transmission synchrone

1. Déterminer la durée de la transmission.
2. Déterminer l'efficacité de la transmission.

Partie N°3 : Comparaison des deux modes de transmission

1. Déterminer la durée de la transmission la plus rapide.
2. Déterminer l'efficacité de la transmission.

Exercice 10:

Un DTE (ETTD) peut-il être raccordé directement au réseau d'un opérateur ?

Exercice 11 :

Quelle est la rapidité de modulation maximale admissible sur une voie téléphonique caractérisée par une bande passante (BP) allant de 300 à 3 400 hertz ?

Exercice 12 :

Une entreprise désire réaliser la sauvegarde de ses données sur un site distant. Le volume de données à sauvegarder est estimé à 10 Go/jour. La sauvegarde doit s'effectuer la nuit de 22h00 à 6h00. Les deux sites sont reliés par une ligne à 2 Mbit/s.

On vous demande de vérifier si cette solution est réalisable et le cas échéant de proposer une solution qui permette cette sauvegarde.

Pour ce problème on admettra que 1ko = 1 000 octets.

Exercice 13 :

On considère un canal de transmission numérique de débit binaire 9600 bits/s.

- 1) Quelle rapidité de modulation est nécessaire si les signaux transmis sont binaires ?
- 2) On veut numériser la voix téléphonique en utilisant la méthode MIC (modulation impulsion et codage), décrire les différentes étapes correspondant à la numérisation.

Exercice 14 :

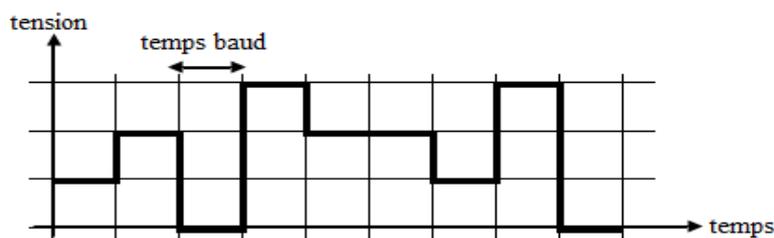
Proposez un codage possible pour des données correspondant à la suite binaire 001011010010 sachant que la rapidité de modulation disponible sur le support est de 1200 bauds et que l'on désire transmettre à 2.4 Kbit/s.

Exercice 15 :

Si un canal de télévision a une bande passante de 6 MHz, quel est le débit binaire possible en bit/s si on utilise un encodage de valence 4 ?

Exercice 16 :

Supposons qu'on dispose d'un média de transmission en bande de base disposant de 4 niveaux significatifs et permettant de transmettre un signal de la forme :



- Quel est le nombre de bits par baud (intervalle significatif) pouvant être émis sur un tel canal?
- En supposant que le protocole de transmission spécifie que les niveaux du plus bas au plus élevé correspondent aux valeurs binaires de 0 à 3, quelle est la séquence de bits représentée par ce signal ?



CORRECTION DES EXERCICES

Exercice 1 :

1. Qu'est-ce qu'une norme ?

Une norme est un document qui définit des exigences, des spécifications, des lignes directrices ou des caractéristiques à utiliser systématiquement pour assurer l'aptitude à l'emploi des matériaux, produits, processus et services.

2. Quels sont les avantages des Normes internationales ?

Les Normes internationales garantissent des produits et services sûrs, fiables et de bonne qualité

3. Cité six ou sept organisme internationaux qui sont chargé de normaliser en matière de réseau ?

Citons sept organisme souvent cite dans le domaine des réseaux :

ISO	Internationale Standardization Organisation
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ANSI	American National Standards Institute
TIA	Telecommunications Industry Association
EIA	Electronic Industries Alliance
ITU	International Telecommunications Union précédemment nommée CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique).
IETF	Internet Engineering Task Force

L'UIT et L'ISO constituent les deux organismes les plus importants.

L'UIT-T publie des recommandations. Celles-ci sont étudiées tous les 4 ans sous forme de recueil. L'ISO reprend en principe les normes de l'UIT et de l'IEEE en leur donnant un nom propre de façon à unifier les normes internationales.

Exercice 2 :

1. Qu'est-ce qu'un Media Réseau ?

Un média est le lien ou le support qui permet d'acheminer un flux d'informations via un réseau.

2. Quels sont les facteurs qui permettent de jugé la qualité du media ?

Chaque type de média présente des avantages et des inconvénients, basés sur les facteurs :

- ✓ La longueur de câble
- ✓ Le coût
- ✓ La facilité d'installation
- ✓ La sensibilité aux interférences

3. un câble Réseau est généralement spécifié sous la forme XYZ, que représente ces lettres?

La spécification s'écrit sous la forme : XYZ

X: débit du réseau local (10, 100, 1000)

Y: type de transmission « analogique / numérique » (Broad 'large bande', Base 'bande de base')

Z: Type de câble et distance maximal (T, TX, F, FX, 2, 5)

Par exemple : 10BaseT

4. cités les différents types de medias physiques (câbles) qui peuvent être utilisés dans un Réseau ?

Cable coaxial - La paire torsadée non blindé(UTP) - La paire torsadée blindé(STP) - Le câble ScTP (screened twisted pair) ou FTP câble UTP hybride – La fibre optique

Exercice 3 :

Remarquons que si $A = 2B$, on a le rapport $A/B_{dB} = 10 \log_{10}(2/1) = 10 \times 0,3 = 3 \text{ dB}$.

3 dB est une valeur caractéristique qui représente un rapport de moitié (-3 dB) ou du double (3 dB) des grandeurs comparées.

Valeur en décibel	Rapport en nombre naturel
3 dB	2
10 dB	$\log (A/B) = 1 \Rightarrow A/B = 10 (10^1)$ Le logarithme d'un nombre est le nombre par lequel il faut élever la base pour retrouver ce nombre.
100 dB	$\log (A/B)=10 \Rightarrow A/B = 10^{10}$
103 dB	À chaque fois que l'on ajoute 3 dB (100 + 3), on double le rapport soit : $2 * 10^{10}$
77 dB	$77 \text{ dB} = 80 - 3 \Rightarrow A/B = 10^{8/2}$

$$(A/B)_{dB} = 10 \log_{10}(A/B)$$

Rappel:

$$A_{dB} = 10 \text{ Log}_{10} A$$

$$A_{dB} / 10 = \text{Log}_{10} A$$

$$A = 10^{A_{dB} / 10}$$

Exercice 4 :

Mode d'échange	Communication	Exemple
Simplex	1 seul sens (diffusion)	Radiodiffusion
Half Duplex	Dans les deux sens successivement	CB (Citizen Band) - Talkie walkie
Full Duplex	Dans les deux sens simultanément	Téléphone

Exercice 5 :

Samuel Morse (américain, 1791-1872) est l'inventeur du télégraphe électrique conçu en 1832 et breveté en 1840. L'alphabet Morse (1837) fait de traits et de points permet de représenter directement les caractères d'un alphabet sous forme électrique. L'objectif de la transmission est d'envoyer du texte.

L'avantage de ce code est de compresser le texte en se basant sur les statistiques d'occurrence des différents caractères de l'alphabet. Il appartient à la famille des codes statistiques (cf. Huffman).

Parmi les inconvénients on peut citer :

- le code de deux caractères qui se suivent donnent le code d'un autre caractère (ex. DE et B) ; c'est pourquoi une pause est nécessaire entre les caractères. Cela fait diminuer l'efficacité d'utilisation de la ligne.

Comparaison des deux modes de transmission

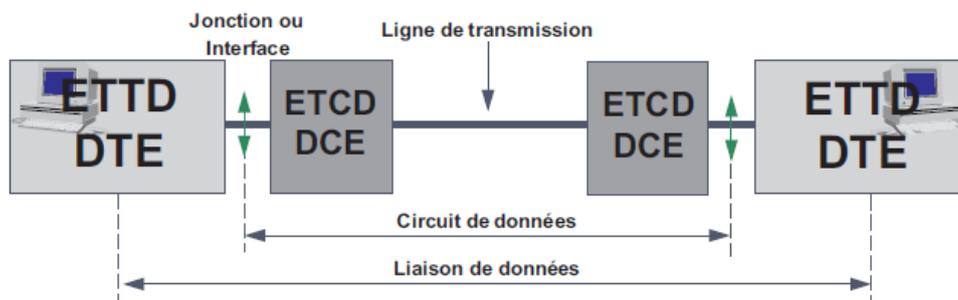
Comparaison la durée des transmissions.

Pour ce cas la transmission asynchrone est plus rapide, 2,08 ms pour 2,91ms.

Comparaison l'efficacité des transmissions.

Pour ce cas la transmission asynchrone est plus efficace 80% pour 57%.

Exercice 10 :



La figure rappelle le schéma de principe d'une liaison de transmission de données. Le DTE (ETTD) traite les données. Le format électrique de celle-ci n'est pas adapté aux supports de transmission. Il est nécessaire de réaliser une adaptation, c'est le rôle du DCE. Par conséquent, la réponse à la question est non, il est nécessaire d'intercaler un DCE entre le DTE et la ligne.

Exercice 11 :

La bande passante a pour valeur : $BP = 3\,400 - 300 = 3\,100$ Hz

La rapidité de modulation maximale est : $R_{max} = 2 \cdot BP = 2 \cdot 3\,100 = 6\,200$ bauds.

Exercice 12 :

La sauvegarde ne peut avoir lieu que lorsque tous les traitements sont terminés, c'est-à-dire dans le créneau 22h00 - 6h00 soit durant une période de 8h00.

Durée de la transmission à 2,048 kbit/s

Volume de données : $10 \cdot 10^9 \times 8 = 80 \cdot 10^9$ bits ;

Durée de la transmission : $800 \cdot 10^9 / 2,048 \cdot 10^6 = 390\,625$ s = 10h51 min ;

La transmission ne peut se réaliser durant le temps imparti.

Les solutions envisageables

– Disposer d'un raccordement à débit plus élevé et si 2,048 Mbit/s est le débit maximal réalisable sur un raccordement, utiliser plusieurs (2) raccordements en parallèle.

– Ne faire qu'une sauvegarde incrémentielle, c'est-à-dire ne sauvegarder que les données qui ont été modifiées.

– Réaliser la sauvegarde localement sur un support magnétique et transférer le support par voie normale (routière ou autre) au site de backup.

Exercice 13 :

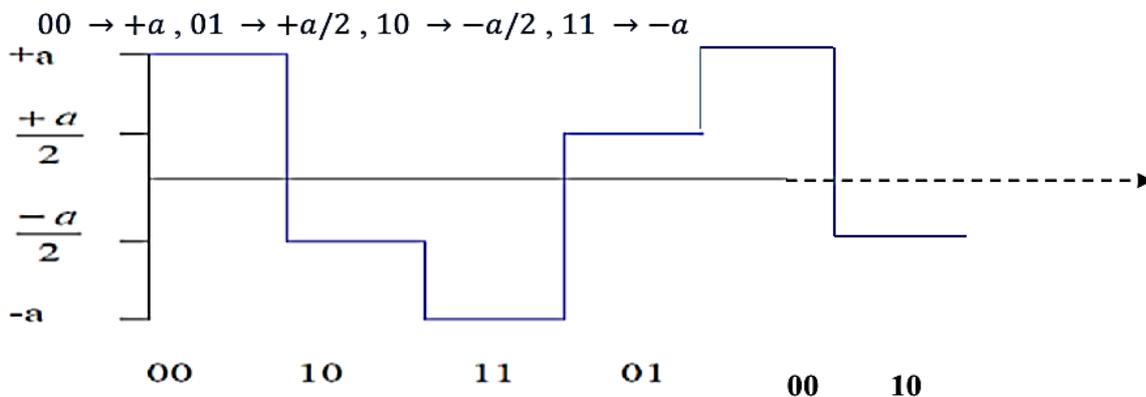
1) Signaux transmis sont binaires => rapidité de modulation = débit binaire = 9600 bits/s.

2) Les étapes sont :

- échantillonnage (passage d'un espace de temps continu à un espace de temps discret)
- quantification (passage d'un espace de valeurs continu à un espace de valeurs discret)
- codage (chaque niveau quantifié de valeurs est codé sur un nombre déterminé de bits)

Exercice 14 :

Valence de ce signal : $\log_2 V = \frac{D}{R} = \frac{2400}{1200} = 2 \Rightarrow V = 2^2 = 4 \Rightarrow n = 2 \text{ bits}$



Exercice 15 :

Rapidité de modulation : $R = 2 \times \text{BP}$

$$R_{\max} = 2 \times 6 \text{ MHz} = 12 \text{ Mbauds}$$

Le canal est susceptible d'admettre une capacité de modulation de 12 Mbauds. Compte tenu de l'utilisation d'un signal de valence 4, le débit possible est :

$$D = R \cdot \log_2 (v) = 12 \cdot 10^6 \cdot \log_2 (4) = 24 \cdot 10^6 \text{ bit/s}$$

Exercice 16 :

1) Le signal peut être à 4 niveaux différents. Sa valence est le plus grand n tel que $2^n = 4$.

Donc $n = 2$. Puisqu'il faut un baud (intervalle significatif) pour extraire une information, le signal transporte 2 bits par moment élémentaire.

2) La séquence de bits représentée par ce signal est : 011000111010011100.