

Réseaux de communication : Notions de base

ASMA AMRAOUI
MOHAMMED DEBBAL

PREFACE

Lorsque plusieurs utilisateurs de médias de Communications souhaitent communiquer entre eux, ils doivent être organisés en une certaine forme de réseau. En théorie, chaque utilisateur peut recevoir un lien point à point direct avec tous les autres utilisateurs dans ce que l'on appelle une topologie entièrement connectée (similaire aux connexions utilisées dans les premiers jours de la téléphonie), mais en pratique, cette technique est peu pratique et coûteuse, en particulier pour un réseau étendu et dispersé. De plus, la méthode est inefficace, car la plupart des liens seront inactifs à un moment donné. Les réseaux de communications modernes évitent ces problèmes en établissant un réseau lié de commutateurs, ou nœuds, de sorte que chaque utilisateur soit connecté à l'un des nœuds. Chaque lien dans un tel réseau est appelé un canal de communication. Le fil, le câble à fibre optique et les ondes radio peuvent être utilisés pour différents canaux de communication.

L'objectif de ce livre est de familiariser le lecteur avec les notions de base sur les réseaux de télécommunications. Il 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 communications filaires, sans fil et aussi mobiles seront présentés.

Table des matières

PREFACE	1
Table des matières	2
Liste des figures	9
Liste des tableaux	11
Liste d'acronymes	12
Introduction générale.....	15
Chapitre 1 : Systèmes de transmission numériques	17
I. Introduction	18
II. Organismes de normalisation	19
II.1. La norme.....	19
II.2. L'organisme de normalisation	19
II.3. Les organismes internationaux	19
II.4. Les organismes multinationaux	19
II.5. Les Organismes nationaux.....	19
II.6. Les Organismes privés.....	20
II.7. Les Organismes en Algérie.....	20
III. Supports et canaux de transmission	20
III.1. Paires torsadées	20
III.2. Câbles coaxiaux.....	21
III.3. Fibre optique	21
III.4. Transmission sans fils	22
III.4.1. Faisceaux hertziens	22
III.4.2. Ondes radioélectriques	22
III.5. Caractéristiques des supports de transmission	22
IV. Principe d'une liaison de données	24
IV.1. Structure générale d'une chaîne de transmission.....	24
IV.1.1. Information analogique	24
IV.1.2. Information numérique	25
IV.2. Type des liaisons de données	26
IV.2.1. Liaisons simplex	26
IV.2.2. Liaison half-duplex (Semi-duplex)	27
IV.2.3. Liaison full-duplex	27
V. Structure générale d'une chaîne de transmission	27

V.1. Numérisation des informations	28
V.1.1. Échantillonnage	29
V.1.2. Quantification	29
V.2. Source d'information.....	29
V.2.1. Le signal sonore et le signal vocal.....	30
V.2.2. Lumière, image, et vidéo	30
V.2.3. Texte	31
V.3. Codage de source et codage de canal	31
V.4. Modulation et démodulation	32
V.5. Décodage de canal et décodage de source.....	33
VI. Conclusion.....	33
Chapitre 2 : Transmission de données.....	34
I. Introduction	35
II. Type de transmission de données	35
II.1. Transmission en bande de base	35
II.2. Transmission par modulation	36
III. Mode de liaison	36
III.1. Mode de liaison des données.....	36
IV. Mode d'exploitation, transmission et synchronisation.....	37
IV.1. Transmission parallèle et transmission série.....	37
IV.1.1. Transmission parallèle	37
IV.1.2. Transmission série.....	37
IV.2. Synchronisation.....	38
IV.3. Transmission asynchrone, synchrone et isochrone	38
IV.3.1. Transmission asynchrone	38
IV.3.2. Transmission synchrone.....	39
IV.3.3. Comparaison entre le mode synchrone et le mode asynchrone	39
IV.3.4. Transmission isochrone.....	39
V. Multiplexage.....	39
V.1. Multiplexage temporel (TDM).....	40
V.2. Multiplexage temporel statistique (STDM)	40
V.3. Multiplexage fréquentiel (FDM)	40
V.4. Multiplexage en longueur d'onde (WDM).....	40
VI. Caractéristiques des réseaux de transmission.....	41
VI.1. Notion de débit binaire.....	41
VI.2. Rapidité de modulation	41

VI.2.1. Etats significatifs-instants significatifs-transition.....	41
VI.2.2. Rapidité de modulation	42
VI.3. Notion de rapport signal sur bruit	43
VI.4. Notion de temps de transfert	43
VII. Conclusion.....	43
Chapitre 3 : Normes associées aux réseaux de communication numérique.....	44
I. Introduction	45
II. Topologies des réseaux	45
II.1. Réseau en bus	45
II.2. Topologie de type étoile	46
II.3. Réseau en anneau.....	46
II.4. Topologie maillée	46
III. Le modèle OSI	47
IV. Les différentes couches du modèle OSI.....	47
V.1. La couche physique	47
V.2. La couche liaison de données	48
V.3. La couche réseau	49
V.4. La couche transport	49
V.5. La couche session	50
V.6. La couche présentation.....	50
V.7. La couche application.....	50
V. Evolution du modèle OSI.....	50
VI. Transmission de données dans un réseau	52
V.1. Les ponts.....	53
V.2. Les routeurs	53
V.3. Les passerelles	53
VII. Conclusion.....	53
Chapitre 4 : Modems et Interfaces	54
I. Introduction	55
II. Caractéristiques et normes	55
II.1. Normes d'interfaces des modems	55
II.2. Les interfaces	57
III. Liaisons entre deux systèmes	57
III.1. Répéteur	57
III.2. Concentrateur (hub).....	57
III.3. Commutateur (switch).....	58

IV.	Modem commuté.....	58
V.	ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	59
V.1.	La technologie de transmission de la norme ADSL.....	59
V.2.	ADSL et téléphonie	59
V.3.	Fonctionnement de l'ADSL	60
V.3.1.	Séparateur des signaux (Splitter).....	60
V.3.2.	Modulation de l'ADSL.....	61
V.3.3.	Facteurs affectant le débit de données expérimenté.....	61
V.3.4.	Le multiplexeur d'accès de ligne d'abonné numérique (DSLAM)	61
V.4.	Différents types de DSL	61
V.4.1.	ADSL.....	61
V.4.2.	CDSL.....	62
V.4.3.	G.Lite ou DSL Lite.....	62
V.4.4.	HDSL.....	62
V.4.5.	IDSL	62
V.4.6.	RADSL.....	63
V.4.7.	SDSL	63
V.4.8.	UDSL.....	63
V.4.9.	VDSL.....	63
V.4.10.	x2 / DSL	63
VI.	Conclusion.....	63
Chapitre 5 : Protection contre les erreurs		64
I.	Introduction	65
II.	Notion de taux d'erreur	65
III.	Les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs.....	66
III.1.	Types d'erreurs	66
III.1.1.	Erreurs de données à un seul bit.....	66
III.1.2.	Erreurs de données à plusieurs bits	67
III.1.3.	Erreur en rafale de bits	67
III.2.	Codes détecteur d'erreur	68
III.2.1.	Types de détecteur d'erreur	68
III.2.1.1.	Code de parité.....	68
III.2.1.2.	Code CRC (Cyclic Redundancy Check)	69
III.2.1.3.	Code LRC (Longitudinal Redundancy Checking)	70
III.3.	Codes correcteur d'erreur	71
III.3.1.	Code Demande de répétition automatique (ARQ : Automatic Repeat Request) ..	71

III.3.1.1. Stop-and-wait (arrêt et attente).....	72
III.3.1.2. Go-back-N (Retour à N).....	72
III.3.1.3. Répétition sélective	72
III.3.2. Codes de correction d'erreur direct (FEC : Forward Error Correction)	73
III.3.2.1. Codes linéaires	73
III.3.2.2. Codes de blocs.....	73
IV. Conclusion.....	74
Chapitre 6 : Réseaux de télécommunications	75
I. Introduction	76
II. Réseaux fixes.....	76
II.1. RTC (Réseau Téléphonique Commuté)	77
II.2. RNIS (Réseaux Numériques à Intégration de Services).....	78
II.3. ATM (Mode de Transfert Asynchrone).....	79
III. Réseaux sans fil	79
III.1. Définition	79
III.2. Fonctionnement d'un réseau sans fil.....	80
III.2.1. Réseau avec infrastructure	80
III.2.2. Réseau sans infrastructure.....	81
III.3. Catégories de réseaux sans fil	81
III.3.1. WPAN (Wireless Personal Area Network).....	82
III.3.2. WLAN (Wireless Local Area Network)	82
III.3.3. WMAN (Wireless Metropololitan Area Network)	82
III.3.4. WWAN (Wireless Wide Area Network)	82
III.3.5. WRAN (Wireless Regional Area Network).....	83
III.4 Normes des réseaux sans fil	83
III.4.1. Bluetooth.....	83
III.4.2. HomeRF (Home Radio Frequency)	84
III.4.3. ZigBee	84
III.4.4. HiperLan (High Performance Lan)	84
III.4.5. Norme IEEE 802.11	85
III.4.5.1. Norme 802.11a.....	85
III.4.5.2. Norme 802.11b, Wifi	85
III.4.5.3. Norme 802.11g.....	85
III.4.5.4. Norme 802.11i.....	86
III.4.5.5. Norme 802.11e	86
III.4.5.6. Norme 802.11n.....	86

III.4.5.7. Norme 802.11ac	86
III.4.5.8. Norme 802.11ax	87
III.4.6. Wimax	88
III.4.7. Norme IEEE 802.22	89
IV. Réseaux mobiles.....	90
IV.1. Sans fil et mobilité	90
IV.2. Mobilité.....	90
IV.3. Architecture cellulaire.....	90
IV.4. Téléphonie.....	91
IV.5. Évolution des systèmes cellulaires.....	92
IV.5.1. Première génération (1G).....	92
IV.5.2. Deuxième génération (2G).....	92
IV.5.2.1. GSM (Global System for Mobile Communication).....	92
IV.5.2.2. GPRS (2.5G)	92
IV.5.2.3. EDGE (2.75G)	92
IV.5.3. Troisième génération (3G).....	93
IV.5.3.1. UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	93
IV.5.4. Quatrième génération (4G)	94
IV.5.4.1. Le réseau 4G+	94
IV.5.4.2. Wimax mobile et 4G	94
IV.5.5. 5ème génération (5G)	95
V. Conclusion.....	96
Chapitre 7 : Réseaux de radio cognitive.....	97
I. Introduction	98
II. Radio logicielle	98
II.1. Radio logicielle restreinte	99
II.2. Relation entre RC et SDR.....	99
III. Radio Cognitive.....	100
III.1. Historique	100
III.2. Définition	100
III.3. Principe.....	101
III.3.1. Utilisateurs Primaires (PU)	101
III.3.2. Utilisateurs Secondaires (SU)	101
III.4. Architecture de la radio cognitive	102
III.5. Cycle de cognition.....	103
III.6. Composantes de la radio cognitive.....	104

III.7. Fonction de la radio cognitive	106
III.7.1. Détection du spectre (Spectrum Sensing)	106
III.7.2. Gestion du spectre (Spectrum Management)	106
III.7.2.1. Analyse du spectre	106
III.7.2.2. Décision sur le spectre.....	106
III.7.3. Partage du spectre (Spectrum Sharing)	107
III.7.4. Mobilité du spectre (Spectrum mobility)	107
III.8. Accès dynamique au spectre	107
III.8.1. Enchères	108
III.8.2. Théorie des jeux	109
III.8.3. Chaines de Markov.....	110
III.8.4. Systèmes multi-agents.....	110
III.8.5. Apprentissage automatique	111
IV. Conclusion.....	112
Conclusion générale	114
Références	115

Liste des figures

Figure I. 1 : Système de communication par satellite	18
Figure I. 2 : Paires torsadées	20
Figure I. 3 : Câbles coaxiaux.....	21
Figure I. 4 : Constitution de la fibre optique	21
Figure I. 5 : Faisceaux hertziens.....	22
Figure I. 6 : Atténuation	23
Figure I. 7 : Déphasage	23
Figure I. 8 : Bande passante	24
Figure I. 9 : Bruits et distorsions	24
Figure I. 10 : Chaîne de transmission analogique	25
Figure I. 11 : Chaîne de transmission numérique.....	26
Figure I. 12 : Transmission simplex.....	26
Figure I. 13 : Transmission semi-duplex.....	27
Figure I. 14 : Transmission duplex.....	27
Figure I. 15 : Structure générale d'une chaîne de transmission	27
Figure I. 16 : Schéma d'un système de communication simple.....	28
Figure I. 17 : Numérisation d'un signal analogique.....	28
Figure I. 18 : Signal de la parole	30
Figure I. 19 : Code QR.....	30
Figure I. 20 : Codage de source et codage de canal	31
Figure II. 1 : Transmission en bande de base.....	35
Figure II. 2 : Codeur bande de base	35
Figure II. 3 : Transmission par modulation.....	36
Figure II. 4 : Mode de liaison.....	37
Figure II. 5 : La transmission parallèle	37
Figure II. 6 : La transmission série.....	37
Figure II. 7 : Principe de la synchronisation	38
Figure II. 8 : Transmission asynchrone.....	38
Figure II. 9 : Structure type d'un bloc de données en transmission synchrone	39
Figure II. 10 : Schématisation d'un système de transmission.....	41
Figure II. 11 : Signaux bivalent et trivalent	42
Figure III. 1 : Composants d'un réseau	45
Figure III. 2 : Réseau en bus	45
Figure III. 3 : Topologie de type étoile	46
Figure III. 4 : Réseau en anneau.....	46
Figure III. 5 : Topologie maillée	47
Figure III. 6 : Couches des modèles OSI et TCP/IP.....	51
Figure III. 7 : Protocoles utilisés dans le modèle TCP/IP	52
Figure III. 8 : Processus d'encapsulation des données.....	52
Figure III. 9 : Processus de décapsulation des données	53
Figure IV. 1 : Répéteur.....	57
Figure IV. 2 : Concentrateur	57

Figure IV. 3 : Commutateur	58
Figure IV. 4 : Modem commuté.....	58
Figure IV. 5 : Splitter	61
Figure V. 1 : Erreurs de données à un seul bit	67
Figure V. 2 : Erreurs de données à plusieurs bits.....	67
Figure V. 3 : Erreur en rafale de bits.....	67
Figure VI. 1 : Arborescence du RTC	77
Figure VI. 2 : Catégories des réseaux sans fil [60]	82
Figure VI. 3 : Le Wimax et ses concurrents [60]	89
Figure VI. 4 : Architecture cellulaire [60].....	91
Figure VI. 5 : Services offerts par le système 3G	93
Figure VI. 6 : Evolution de la téléphonie mobile [70]	96

Liste des tableaux

Tableau 1 : Support de transmission	23
Tableau 2 : Caractéristiques des réseaux sans fil	83

Liste d'acronymes

ACK	Acknowledgement
ADC	Analog to Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANSI	American National Standard Institute
ARQ	Automatic Repeat Request
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSI	British Standardization Institut
BSS	Basic Service Set
CAN	Convertisseur Analogique Numérique
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CEI	Commission Électrotechnique Internationale
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications
CDSL	Consumer Digital Subscriber Line
CRC	Cyclic redundancy check
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNS	Domain Name System
DSA	Dynamic Spectrum Access
DSL	Digital subscriber line
DSLAM	Digital subscriber line access multiplexer
ECMA	European Computer Manufacturer Association
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIA	Electronic Industries Alliance
EM	Electromagnétique
ETCD	Équipement terminal de circuit de données
ETTD	Équipements Terminaux de Transmission de Données
FCC	Federal Communications Commission
FDM	Frequency-division multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access

FTP	File Transfer Protocol
GSM	Global System for Mobile communication
GUI	Graphical User Interface
GPRS	General Packet Radio Service
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line
Home RF	Home Radio Frequency
Hiperlan	High Performance Lan
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IANOR	Institut Algérien de Normalisation
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
ISDN	ISDN(RNIS) Digital Subscriber Line
ISO	International Organisation for Standardisation
LRC	Longitudinal Redundancy Checking
LLC	Logical Link Control
LTE	Long-Term Evolution
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
OSI	Organisation Internationale de Standardisation
PU	Primary User
QoS	Quality of Service
QR	Quick Response
RADSL	Rate-Adaptive digital subscriber line
RC	Radio Cognitive
RGB	Red Green Blue
RNIS	Réseau numérique à intégration de services
RTC	Réseau téléphonique commuté
S/H	Sample-and-Hold
SEV	Schweizerischer Electrotechnischer Verein
SDR	Software Defined Radio
SDSL	Symmetric digital subscriber line
SFTP	SSH File Transfer Protocol
SMA	Systèmes Multi Agents
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
STDM	Statistical time-division multiplexing

SU	Secondary User
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDM	Time-division multiplexing
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
UDSL	Unidirectional digital subscriber line
UDP	User Datagram Protocol
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTP	Unshielded Twisted Pair
VDSL	Very high-speed rate digital subscriber line
VHF	Very High Frequency
VRC	Vertical redundancy check
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wifi	Wireless Fidelity
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPA	Wireless Protected Access
WPAN	Wireless Personal Area Network
WRAN	Wireless Regional Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network

Introduction générale

Les réseaux de communication sont des systèmes de transmission de données qui permettent à des dispositifs électroniques de se connecter et de communiquer entre eux. Ces réseaux peuvent être filaires ou sans fil et sont utilisés dans de nombreuses applications, allant des communications téléphoniques aux transferts de données sur Internet.

Le fonctionnement des réseaux de communication est basé sur des protocoles de communication, qui définissent les règles et les conventions pour l'échange de données entre les dispositifs. Les protocoles de communication déterminent les formats de données, les modes de transmission, les protocoles de routage et les protocoles de sécurité pour garantir que les données sont transmises de manière fiable et sécurisée.

Les réseaux de communication peuvent être classés en plusieurs catégories, notamment les réseaux locaux (LAN), les réseaux étendus (WAN), les réseaux métropolitains (MAN) et les réseaux personnels (PAN). Les réseaux locaux sont utilisés pour connecter des dispositifs dans une zone géographique limitée, telle qu'un bureau ou une maison. Les réseaux étendus permettent de connecter des dispositifs situés dans des lieux différents, par exemple, à travers un réseau de télécommunications ou Internet.

Le modèle TCP/IP est un modèle de protocole de communication largement utilisé pour la transmission de données sur les réseaux. Ce modèle est divisé en quatre couches : la couche d'application, la couche de transport, la couche réseau et la couche liaison. Chacune de ces couches a un rôle spécifique dans la transmission de données.

Le livre est organisé comme suit :

Le chapitre 1 parle des systèmes de transmission numérique qui utilisent des signaux binaires pour représenter des données. Les données sont transmises sous forme de bits, qui peuvent être représentés par des impulsions électriques ou lumineuses. La transmission numérique offre une meilleure qualité de signal et une plus grande efficacité que la transmission analogique.

Le chapitre 2 traite les modes de transmission de données, notamment la transmission série et la transmission parallèle. La transmission série envoie les bits un à la fois sur un seul fil de données, tandis que la transmission parallèle envoie plusieurs bits en même temps sur des fils de données séparés.

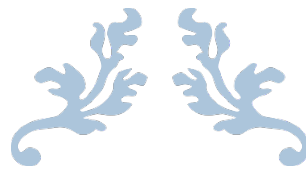
Le chapitre 3 est une présentation du modèle OSI ainsi que le modèle TCP/IP qui est un ensemble de protocoles de communication qui sont utilisés pour connecter des dispositifs sur un réseau.

Le chapitre 4 parle des modems et interfaces. Le modem est généralement utilisé pour établir une connexion Internet via une ligne téléphonique ou un câble coaxial. L'interface, quant à elle, est le point de connexion entre deux dispositifs électroniques. Elle permet à deux dispositifs de communiquer entre eux en transférant des signaux électriques, optiques ou sans fil.

Le chapitre 5 aborde la protection contre les erreurs qui est importante dans les réseaux de communication pour garantir que les données sont transmises correctement et sans erreur. Les protocoles de communication utilisent souvent des codes de correction d'erreur pour détecter et corriger les erreurs.

Le chapitre 6 présente les réseaux de télécommunications où on parle des réseaux sans fil et mobiles sont de plus en plus courants dans le monde d'aujourd'hui. Ils permettent aux utilisateurs de se connecter à Internet et de communiquer avec d'autres dispositifs sans avoir à utiliser des câbles ou des connexions filaires.

Le chapitre 7 parle de la radio cognitive qui est une technologie qui permet aux dispositifs de communication de détecter les fréquences radio disponibles et d'adapter leur utilisation en conséquence. Cette technologie est utilisée pour améliorer l'utilisation du spectre radioélectrique et réduire les interférences entre les différents dispositifs de communication.



CHAPITRE I

Systèmes de transmission numériques

I. Introduction

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.

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.

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...).

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) ;

La figure I.1 représente le système de communication par satellite.

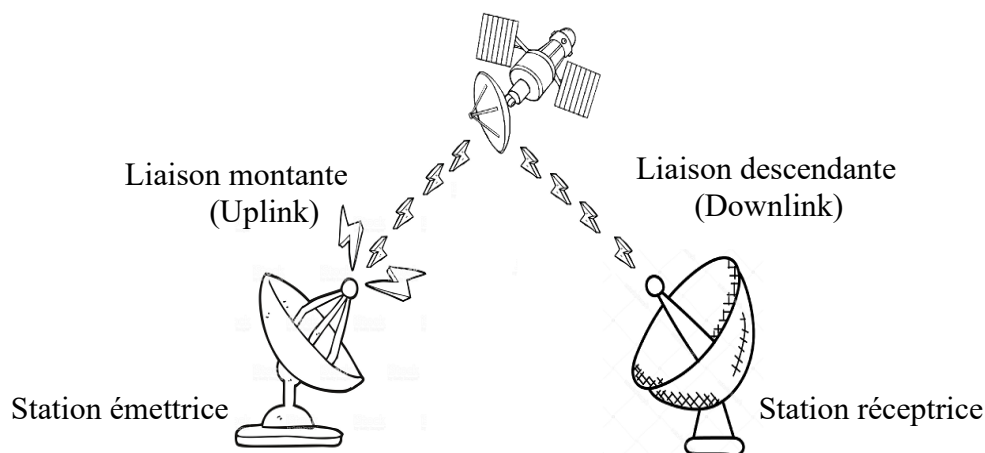


Figure I. 1 : Système de communication par satellite

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 est 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]. La figure I.2 montre un câble à paires torsadées.

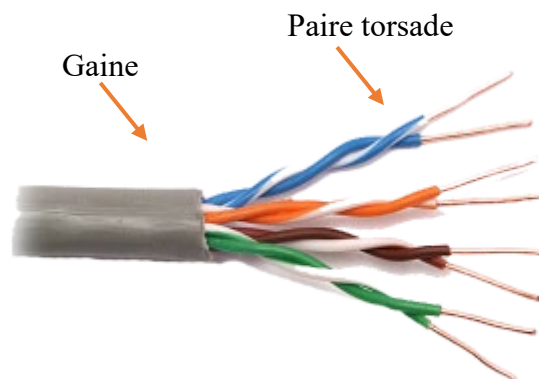


Figure I. 2 : Paires torsadées

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]. La figure I.3 présente les câbles coaxiaux.

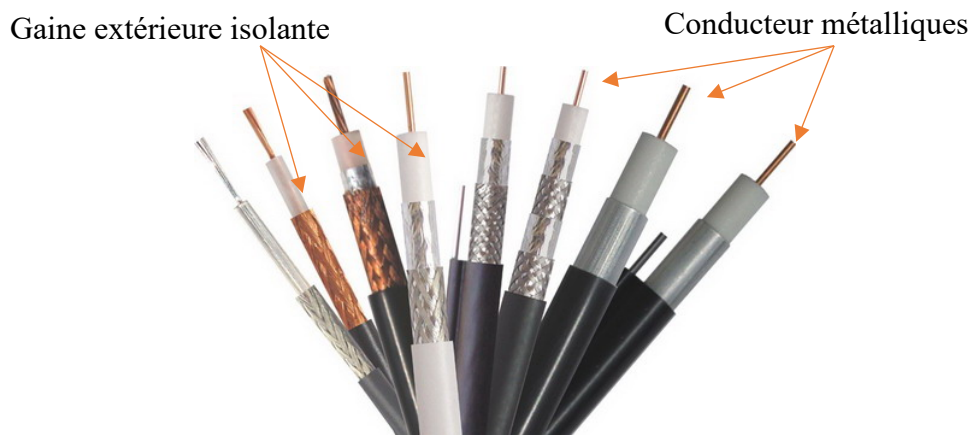


Figure I. 3 : Câbles coaxiaux

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. La figure I.4 présente la constitution de la fibre optique.

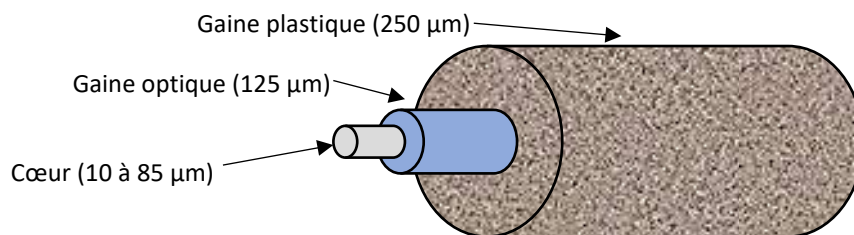


Figure I. 4 : Constitution de la fibre optique

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. La figure I.5 présente les faisceaux hertziens.



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

Le premier tableau présente une comparaison entre les différents supports de transmission.

Tableau 1 : Support de transmission

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 comme illustré dans la figure I.6.

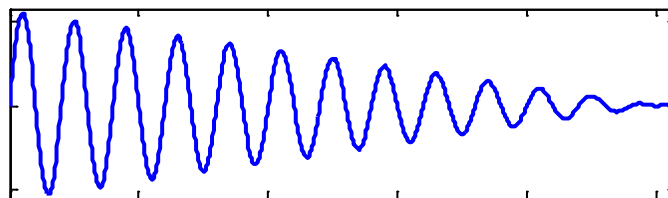


Figure I. 6 : Atténuation

- **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 comme illustré dans la figure I.7.

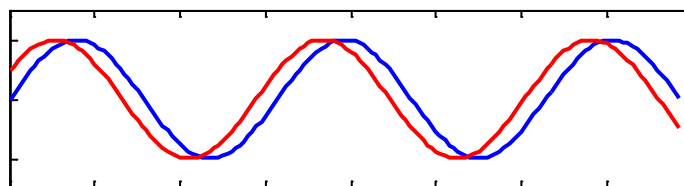


Figure I. 7 : Déphasage

- **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 comme illustré dans la figure I.8.

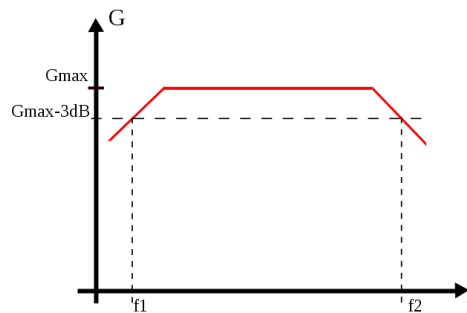


Figure I. 8 : Bande passante

- **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...). La figure I.9 montre un exemple de bruits et distorsions.

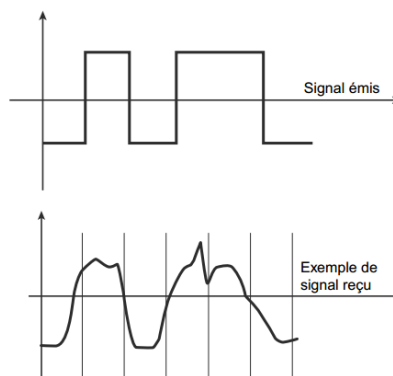


Figure I. 9 : Bruits et distorsions

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

Chapitre 1 : Systèmes de transmission numériques

- ✓ 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

La figure I.10 montre une chaîne de transmission analogique

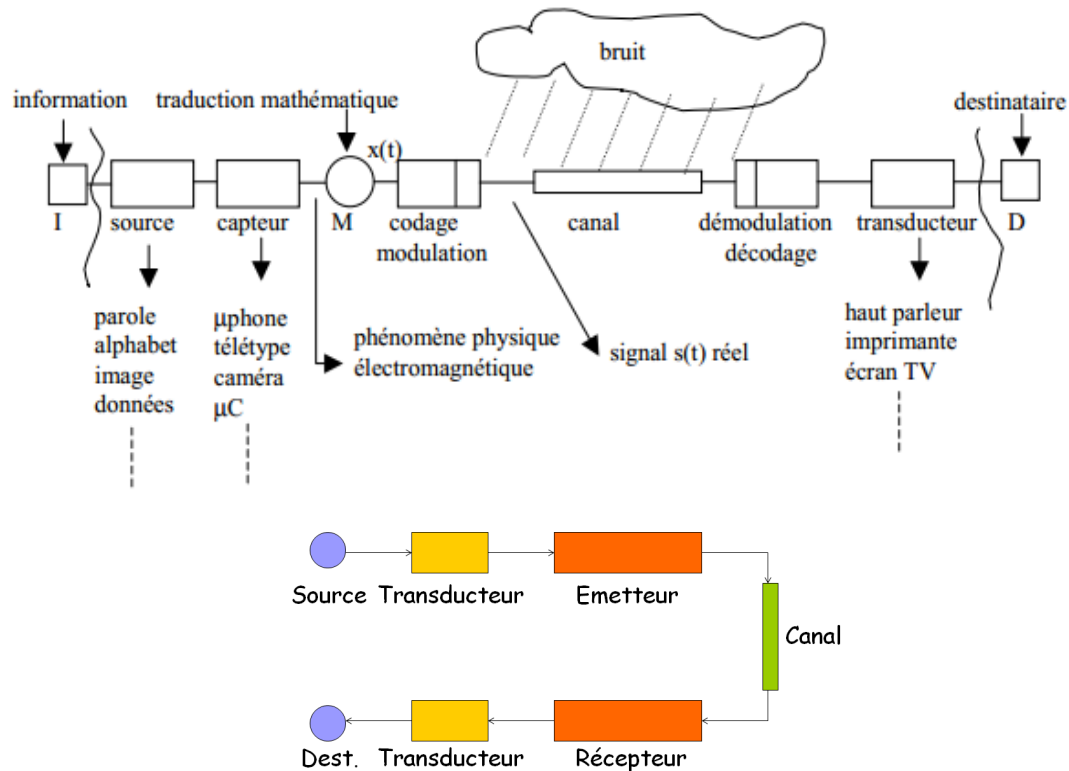
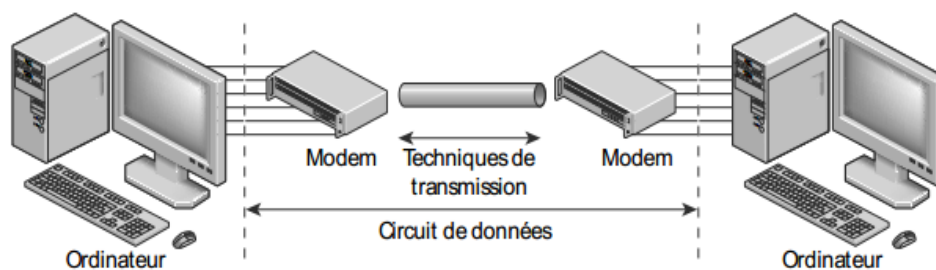


Figure I. 10 : Chaîne de transmission analogique

IV.1.2. Information numérique



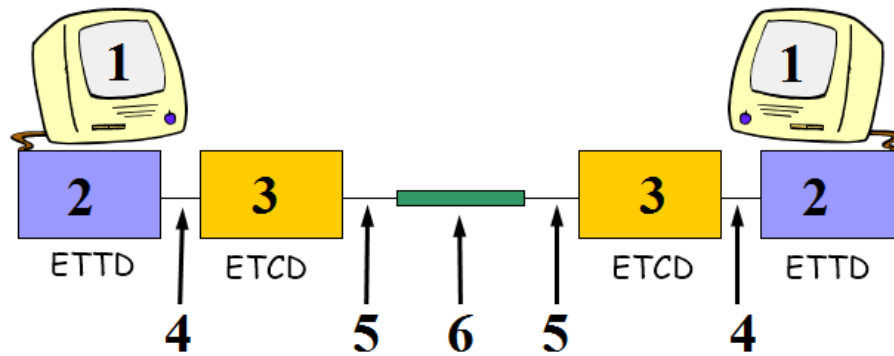


Figure I. 11 : Chaîne de transmission numérique

La figure I.11 montre une chaîne de transmission numérique où :

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 comme illustrée dans la figure I.12.

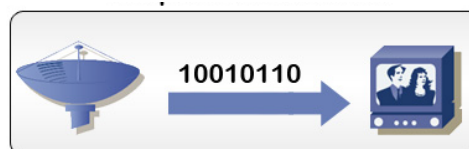


Figure I. 12 : Transmission simplex

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 comme illustrée dans la figure I.13. 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.

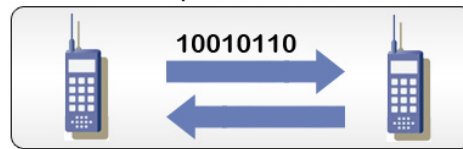


Figure I. 13 : Transmission semi-duplex

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 comme illustrée dans la figure I.14.

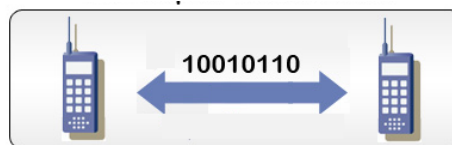


Figure I. 14 : Transmission duplex

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. La figure I.15 présente la structure d'une chaîne de transmission.

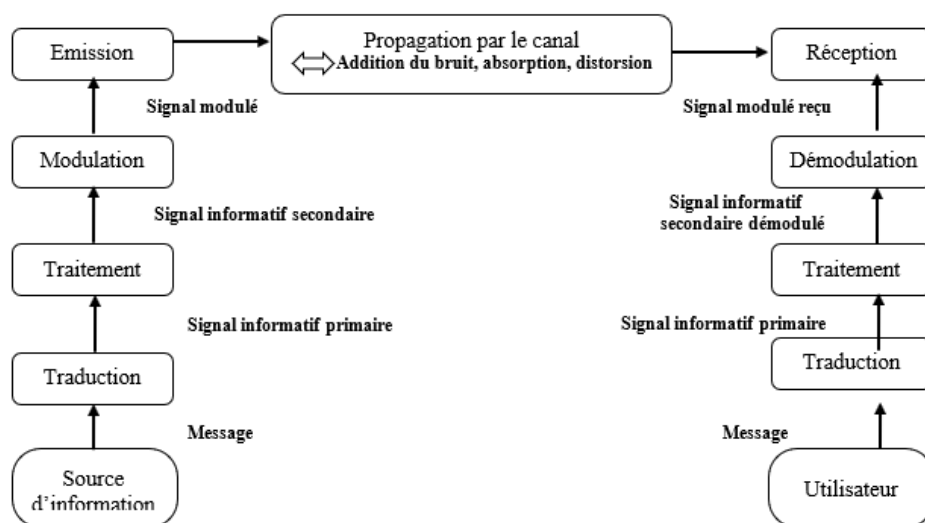


Figure I. 15 : Structure générale d'une chaîne de transmission

- ✓ 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.

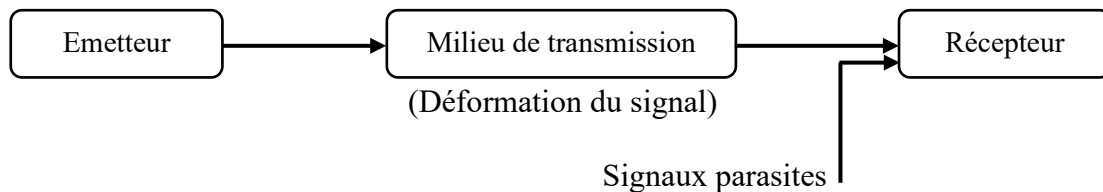


Figure I. 16 : Schéma d'un système de communication simple

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).

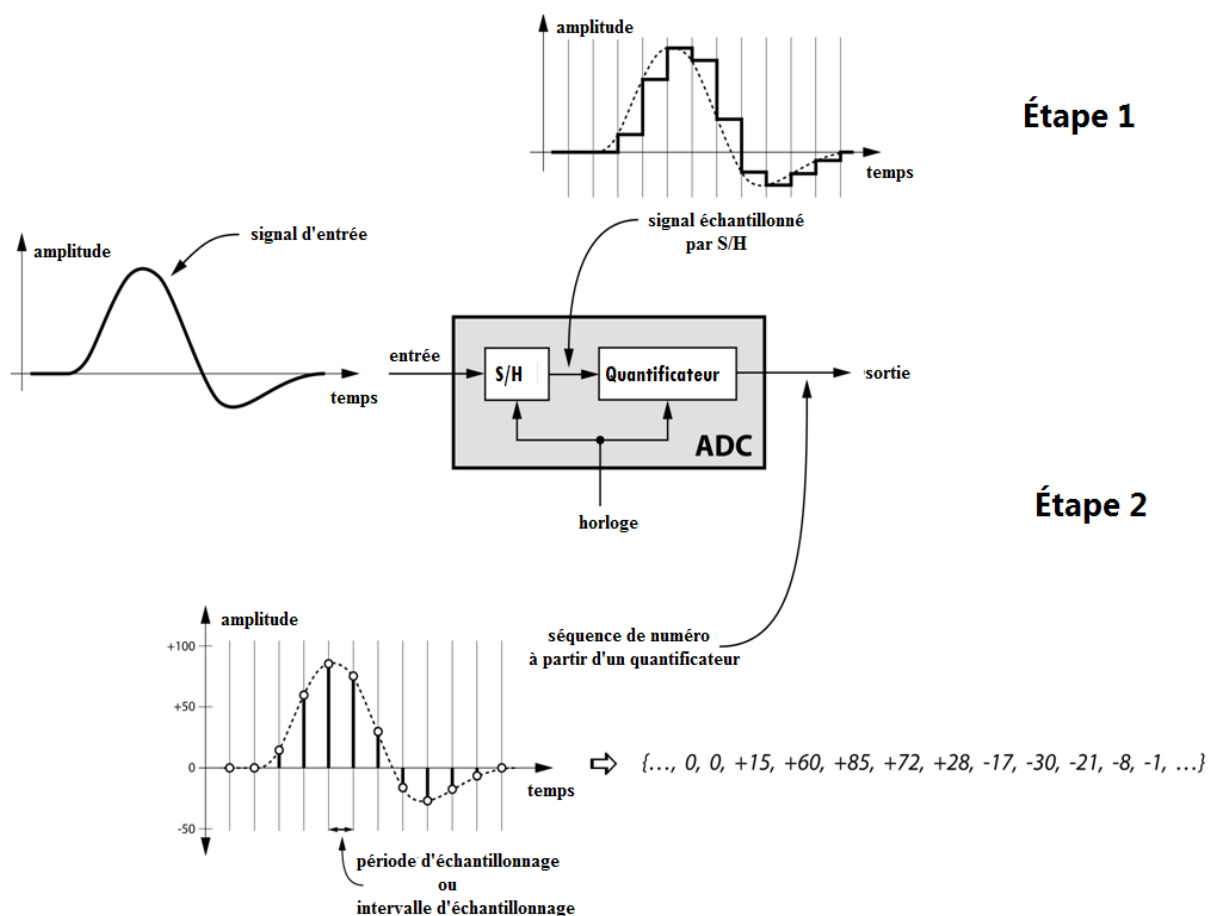


Figure I. 17 : Numérisation d'un signal analogique

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.

La figure I.17 montre les étapes de la 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 I.18 montre un spécimen de la variation temporelle du signal de la parole

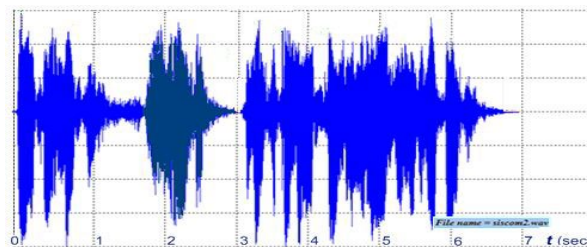


Figure I. 18 : Signal de la parole

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.

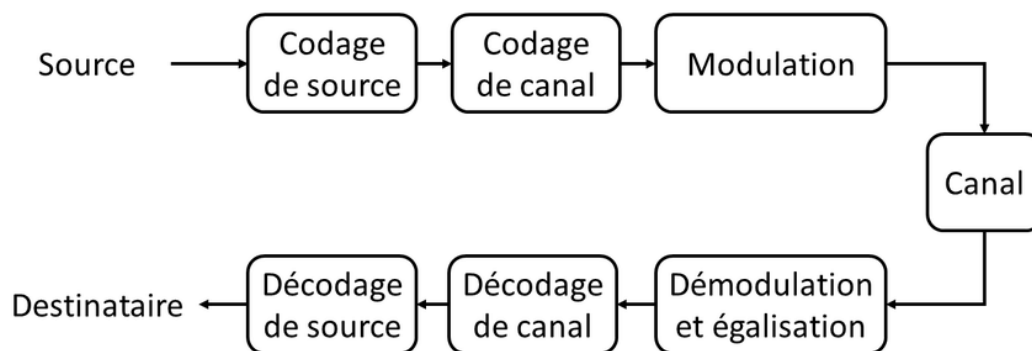


Figure I. 20 : Codage de source et codage de canal

Chapitre 1 : Systèmes de transmission numériques

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

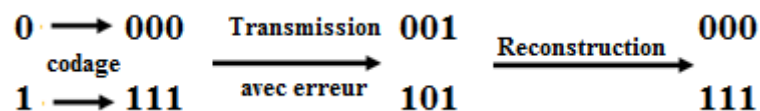
R	R	R	R
R	B	R	B
R	B	V	B
R	J	J	J

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].

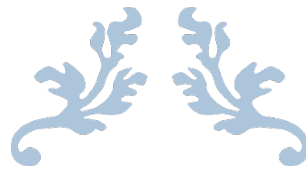
Cet algorithme décode un bloc de mot de code après l'autre (c.-à-d. des paquets de n bits du message les uns après les autres), en ne gardant à chaque étape que les solutions localement optimales, c.-à-d. gardant, pour chaque nœud dans la colonne correspondant au bloc couramment décodé, le meilleur chemin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

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

VI. Conclusion

Pour relier deux équipements informatiques éloignés l'un de l'autre, on utilise un circuit de données constituées par un support de transmission, des modems et une interface de raccordement quand les modems sont externes.

Les supports de transmission sont très variés (paires métalliques, câbles coaxiaux, fibre optique, sans fil...). La bande passante et le taux d'erreur sont les principales caractéristiques d'un support. À chaque extrémité, des modems (modulateurs-démodulateurs de signaux analogiques) ou des codecs (codeurs-décodeurs de signaux numériques) transmettent des signaux adaptés à la nature du support. Les techniques de transmission de données (en bande de base ou par modulation) adaptent au mieux les signaux aux caractéristiques des supports. Une interface série relie chaque modem à l'équipement informatique qui envoie ou reçoit des données. Les techniques et les interfaces sont normalisées au niveau international.



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 comme le montre la figure II.1 [26].

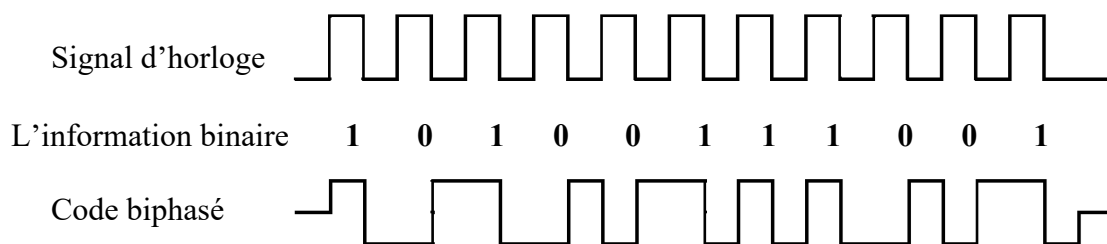


Figure II. 1 : Transmission en bande de base

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

Le codec 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 II.2 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).

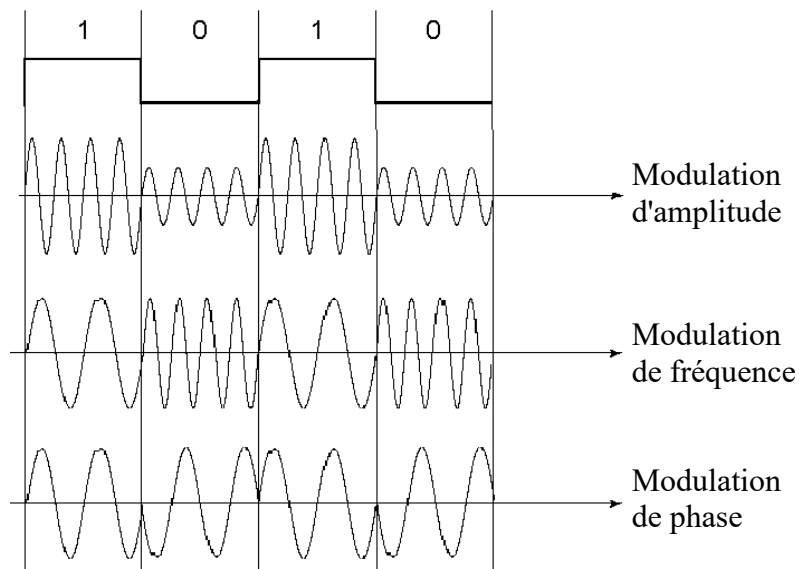


Figure II. 3 : Transmission par modulation

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.

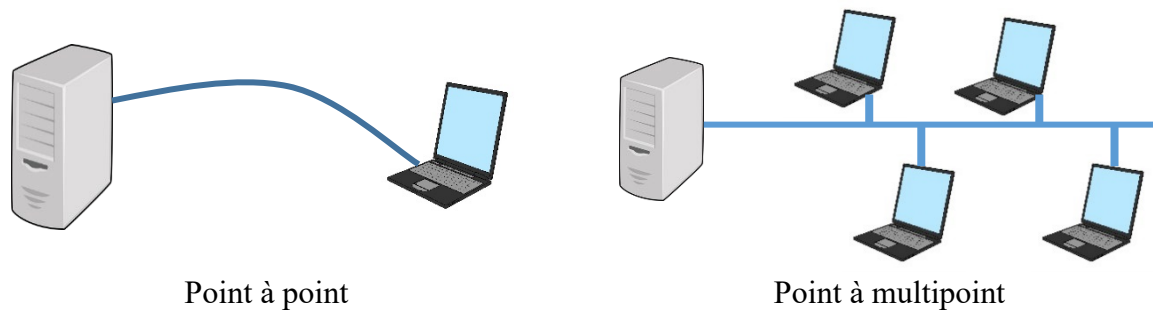


Figure II. 4 : Mode de liaison

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.

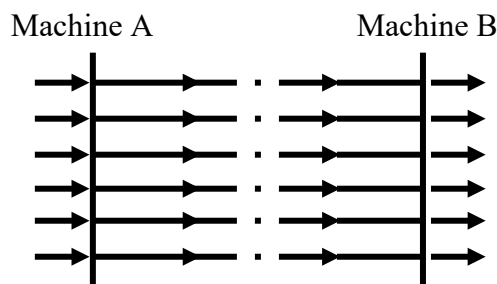


Figure II. 5 : La transmission parallèle

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.

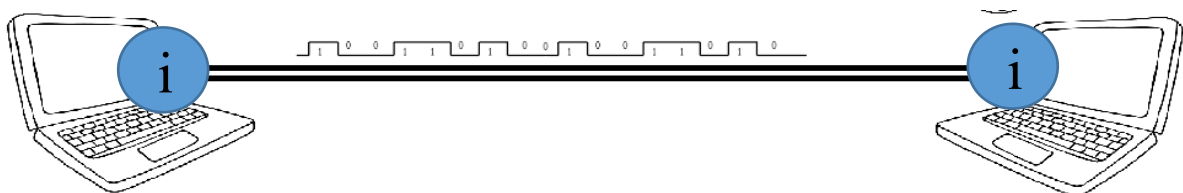


Figure II. 6 : La transmission série

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].

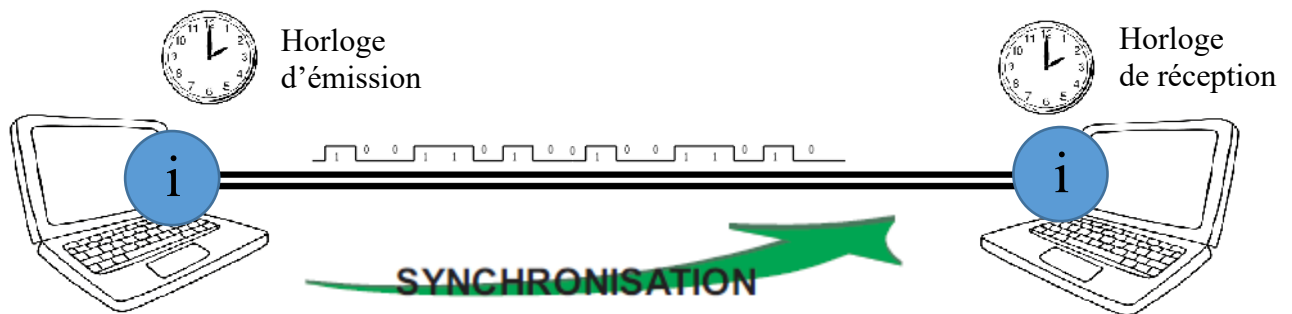


Figure II. 7 : Principe de la synchronisation

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 :

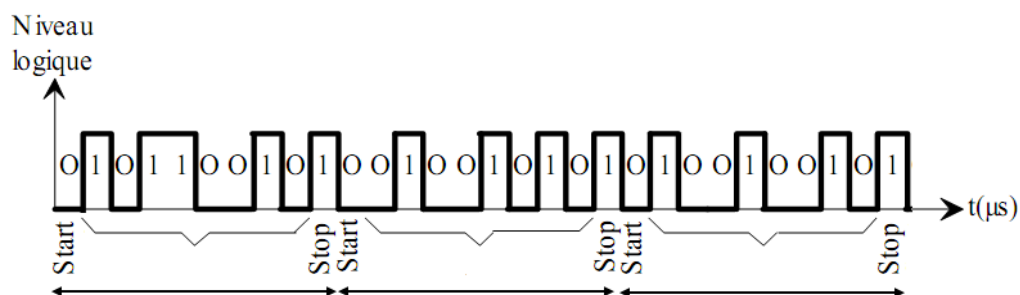


Figure II. 8 : Transmission asynchrone

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.

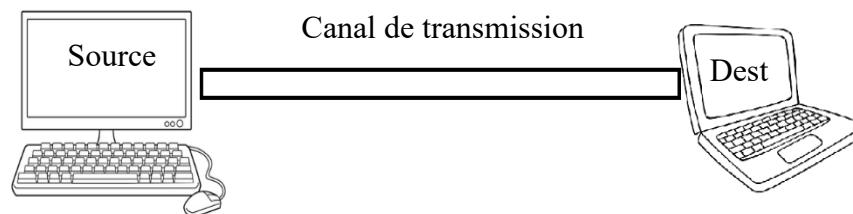


Figure II. 10 : Schématisation d'un système de transmission

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

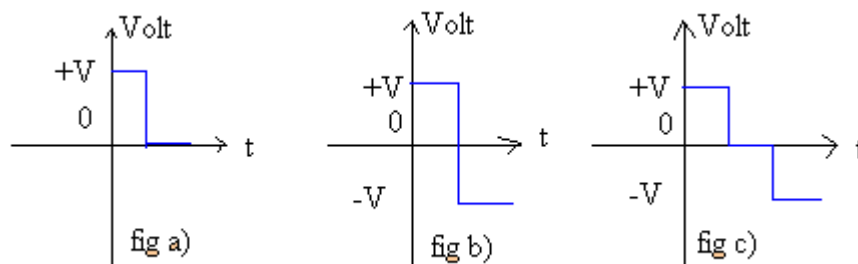
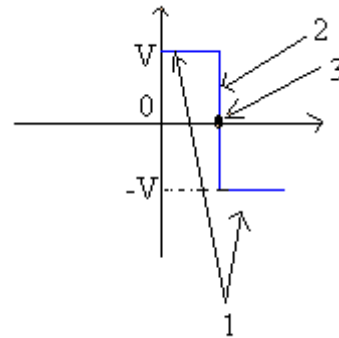


Figure II. 11 : Signaux bivalent et trivalent

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 $1/\Delta$. 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 :

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

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).

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

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).

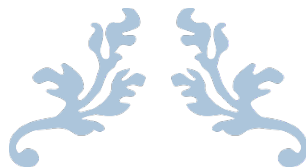
Le temps de transfert est un paramètre important à prendre en compte lorsque la source et la destination ont des échanges interactifs.

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.

VII. Conclusion

Nous avons dans le présent chapitre, examiné les caractéristiques de ces supports et nous nous sommes attardés sur leur défauts et limitations. Nous avons ensuite abordés les techniques d'adaptation des signaux à ces support de transmission y compris les différents techniques de synchronisation entre l'émetteur et le récepteur ainsi que les fonctions de control d'erreur.

Les différentes notions abordées dans ce chapitre ont pour objectif de cerner les problèmes inhérents à la transmission physique des informations binaires, à fin de mieux comprendre l'utilité de certains organes et fonctions utilisés sur les réseaux.



CHAPITRE III

Normes associées aux réseaux de communication numérique

I. Introduction

Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels et logiciels liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes.

Les composants d'un réseau est l'ensemble des éléments physiques qui composent un réseau. Chaque type de réseau nécessite un matériel spécial. On peut réaliser un réseau à partir de :

- ✓ micro-ordinateurs
- ✓ périphériques
- ✓ logiciels de gestion de réseaux
- ✓ supports de transmission (câbles,...)
- ✓ cartes de communication



Figure III. 1 : Composants d'un réseau

II. Topologies des réseaux

Dans cette partie, nous allons étudier les topologies. Il s'agit des différentes formes que peuvent prendre des réseaux. Avant tout, il faut que vous connaissiez quelques types de réseaux, cela aidera à comprendre pourquoi certaines topologies existent [33].

II.1. Réseau en bus

Comme son nom l'indique, la topologie bus a les caractéristiques d'un bus. Dans cette topologie, tous les ordinateurs sont connectés entre eux par le biais d'un seul câble réseau débuté et terminé par des terminateurs. La figure III.2 montre la topologie en bus.

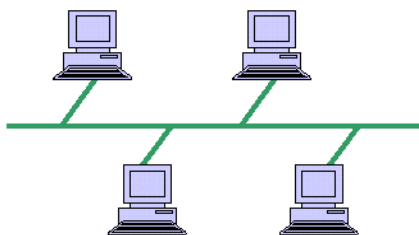


Figure III. 2 : Réseau en bus

II.2. Topologie de type étoile

Dans un réseau en étoile, la forme physique du réseau ressemble à une étoile. Une image est plus parlante. N'importe quel appareil (routeur, commutateur, concentrateur, ...) peut être au centre d'un réseau en étoile. L'important, c'est que pour parler à une autre entité on passe par le matériel central (qui peut être le hub, le switch, etc.). La figure III.3 montre la topologie en étoile.

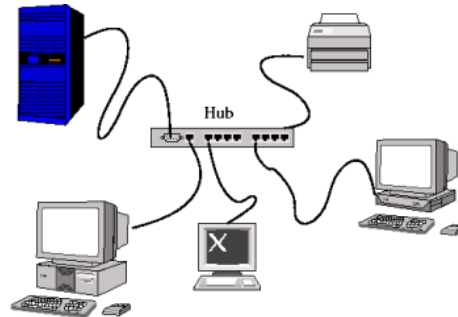


Figure III. 3 : Topologie de type étoile

II.3. Réseau en anneau

Un réseau en anneau a la forme d'un anneau, avec une topologie physique en bus comme le montre la figure III.4. La particularité : la topologie logique est le token ring.

Comme la topologie de type bus possédait un problème de collision de données : 2 machines ne doivent pas échanger des données en même temps, sinon elles s'entrechoquent. Ce principe est repris dans le réseau en anneau. Sauf que là, le système de token ring utilise la CSMA-CA, une méthode anti-collision différente.

Donc, une machine connectée au réseau possède un jeton virtuel. Ce jeton, c'est une autorisation de communiquer. Une fois que la machine a transmis ce qu'elle voulait, elle passe le jeton à la machine suivante, et ainsi de suite. Si le détenteur du jeton n'a rien à dire, il le passe au suivant.

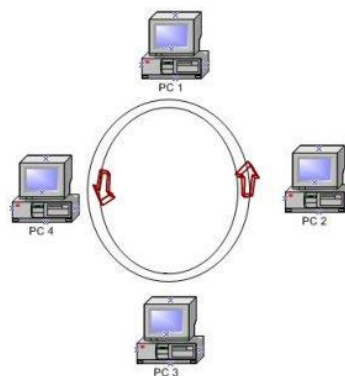


Figure III. 4 : Réseau en anneau

II.4. Topologie maillée

Le principe de la topologie maillée est de relier tous les ordinateurs entre eux, afin d'éviter tout risque de panne générale si une machine est en panne. La figure III.5 montre la topologie mesh.

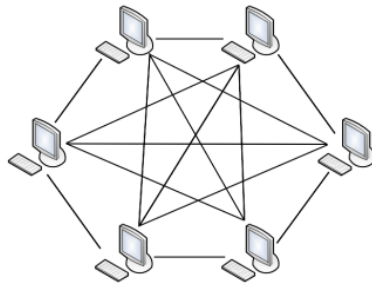


Figure III. 5 : Topologie maillée

III. Le modèle OSI

La plupart des constructeurs informatiques ont proposé des architectures réseaux propres à leurs équipements. Seulement, ces architectures ne sont pas faciles à interconnecter, à moins d'un accord entre les constructeurs. Donc, pour éviter la multiplication des solutions d'interconnexion d'architectures hétérogènes, l'ISO (International Standards Organisation) a développé un modèle de référence appelé modèle OSI (Open System Interconnection) [34].

Cette prise en compte de l'hétérogénéité nécessite donc l'adoption de règles communes de communication et de coopération entre les équipements, c'est à dire que ce modèle devait logiquement mener à une normalisation internationale des protocoles. En 1978, l'ISO propose ce modèle sous la norme ISO IS7498.

Le modèle OSI est une norme qui préconise comment les ordinateurs devraient communiquer entre eux. Son objectif est de normaliser les communications pour garantir un maximum d'évolutivité et d'interopérabilité entre les ordinateurs.

Il faut dire que le modèle OSI n'est pas une véritable architecture de réseau, car il ne précise pas réellement les services et les protocoles à utiliser pour chaque couche. Il décrit plutôt ce que doivent faire les couches.

Le modèle OSI est de loin le plus simple. Il décrit sept couches. Il est d'usage de diviser ces sept couches en deux : les couches basses, qui se limitent à gérer des fonctionnalités de base, et les couches hautes, qui contiennent les protocoles plus élaborés.

IV. Les différentes couches du modèle OSI

Le modèle OSI comporte 7 couches : Physique, liaison de données, réseau, transport, session, présentation et application [35] [36].

V.1. La couche physique

La couche physique s'occupe de la transmission des bits de façon brute sur un canal de communication. Cette couche doit garantir la parfaite transmission des données. Concrètement, cette couche doit normaliser les caractéristiques électriques, les caractéristiques mécaniques, les caractéristiques fonctionnelles des circuits de données et les procédures d'établissement, de maintien et de libération du circuit de données.

Elle s'occupe de tout ce qui a trait au bas-niveau, au matériel : la transmission des bits, leur encodage, la synchronisation entre deux cartes réseau, etc.

Avec les supports actuels, l'information à transmettre va être codée sous la forme d'une tension électrique. Le transfert de cette information prend donc la forme d'ondes électromagnétiques qui se propagent de l'émetteur vers le récepteurs, soit dans le vide (technologies sans-fil) soit sur un support matériel (câbles réseaux). Cette onde va représenter un flux de bits, la conversion entre flux de bits et onde électromagnétique étant appelé un codage en ligne.

Il existe des méthodes relativement nombreuses pour coder un bit de données. Toutes codent celui-ci avec une tension, qui peut prendre un état haut (tension forte) ou un état bas (tension faible).

IL est possible de transmettre un signal numérique à travers un signal analogique. Le signal doit simplement subir quelques transformations via des techniques dites de modulation. Cela peut consister à modifier l'amplitude, la fréquence ou la phase.

- **Rôle** : offrir un support de transmission pour la communication.
- **Matériel associé** : le hub, ou concentrateur.
- **Unité d'information** : Bit

V.2. La couche liaison de données

Son rôle est un rôle de « liant » : elle va transformer la couche physique en une liaison a priori exempte d'erreurs de transmission pour la couche réseau. Elle fractionne les données d'entrée de l'émetteur en trames, transmet ces trames en séquence et gère les trames d'acquiescement renvoyées par le récepteur. La couche liaison de données doit donc être capable de faire la délimitation et l'identification des trames.

La couche liaison de données doit être capable de renvoyer une trame lorsqu'il y a eu un problème sur la ligne de transmission. De manière générale, le rôle le plus important de cette couche est la détection et la correction d'erreurs intervenues sur la couche physique. Cette couche intègre également une fonction de contrôle de flux pour éviter l'engorgement du récepteur.

La couche de liaison de données est divisée en deux sous-couches: contrôle de la liaison logique (LLC) et contrôle d'accès au support (MAC).

Le LLC fournit le contrôle de flux, l'accusé réception et la correction d'erreur.

Le MAC a comme fonction de réguler les émissions sur un support donné, en particulier lorsque plusieurs stations indépendantes sont susceptibles d'émettre à tout moment sur le même support. Le MAC décrit le format de trame et les méthodes de repérage des stations émettrices et réceptrices (adressage).

- **Rôle** :
 - connecter les machines entre elles sur un réseau local.
 - détecter les erreurs de transmission.
- **Matériel associé** : le switch, ou commutateur.
- **Unité d'information**: Trame

V.3. La couche réseau

La couche réseau fournit des services à la couche transport tels que l'acheminement des messages à travers le réseau, le contrôle de congestion, et la gestion de la qualité de service.

C'est la couche qui permet de gérer le sous-réseau, i.e. le routage des paquets sur ce sous-réseau et l'interconnexion des différents sous-réseaux entre eux. Au moment de sa conception, il faut bien déterminer le mécanisme de routage et de calcul des tables de routage (tables statiques ou dynamiques...).

C'est la seule couche du modèle OSI qui utilise la connexion logique. En fait, bien que cette couche ait pour rôle de déterminer le chemin physique à emprunter en se basant sur l'adresse du destinataire, les conditions du réseau et plusieurs autres facteurs, elle ne peut pas établir une connexion physique.

- **Rôle :**
 - Interconnecter les réseaux entre eux.
 - Fragmenter les paquets.
- **Matériel associé:** Le routeur
- **Unité d'information:** Paquet

V.4. La couche transport

C'est l'une des couches les plus importantes, car c'est elle qui fournit le service de base à l'utilisateur, et c'est par ailleurs elle qui gère l'ensemble du processus de connexion, avec toutes les contraintes qui y sont liées ainsi que le contrôle de flux.

Cette couche est responsable du bon acheminement des messages complets au destinataire. Le rôle principal de la couche transport est de prendre les messages de la couche session, de les découper s'il le faut en unités plus petites et de les passer à la couche réseau, tout en s'assurant que les morceaux arrivent correctement de l'autre côté. Cette couche effectue donc aussi le réassemblage du message à la réception des morceaux.

Cette couche est également responsable du type de service à fournir à la couche session, et finalement aux utilisateurs du réseau : service en mode connecté ou non, avec ou sans garantie d'ordre de délivrance, diffusion du message à plusieurs destinataires à la fois... Cette couche est donc également responsable de l'établissement et du relâchement des connexions sur le réseau.

- **Rôle :**
 - Gérer les connexions applicatives
 - Garantir la connexion.
- **Matériel associé:** -
- **Unité d'information:** Segment

V.5. La couche session

Cette couche organise et synchronise les échanges entre tâches distantes. Elle réalise le lien entre les adresses logiques et les adresses physiques des tâches réparties.

Elle établit également une liaison entre deux programmes d'application devant coopérer et commande leur dialogue (qui doit parler, qui parle...). La couche session permet aussi d'insérer des points de reprise dans le flot de données de manière à pouvoir reprendre le dialogue après une panne.

- **Rôle :** Synchroniser les échanges.
- **Matériel associé:** -
- **Unité d'information:** Données

V.6. La couche présentation

Cette couche s'intéresse à la syntaxe et à la sémantique des données transmises : c'est elle qui traite l'information de manière à la rendre compatible entre tâches communicantes. Elle va assurer l'indépendance entre l'utilisateur et le transport de l'information.

Typiquement, cette couche peut convertir les données, les reformater, les crypter et les compresser.

- **Rôle :** Traitement de l'information.
- **Matériel associé:** -
- **Unité d'information:** Données

V.7. La couche application

Cette couche est le point de contact entre l'utilisateur et le réseau. C'est donc elle qui va apporter à l'utilisateur les services de base offerts par le réseau, comme par exemple le transfert de fichier, la messagerie...

- **Rôle :** Point d'accès avec l'utilisateur.
- **Matériel associé:** Proxy, serveurs...
- **Unité d'information:** Données

V. Evolution du modèle OSI

La chose la plus frappante à propos du modèle OSI est que c'est peut-être la structure réseau la plus étudiée et la plus unanimement reconnue et pourtant ce n'est pas le modèle qui a su s'imposer. En effet, ce modèle ne traite pas la sécurité et le codage et il est également redondant (le contrôle de flux et le contrôle d'erreur apparaissent pratiquement dans chaque couche). Au niveau de l'implémentation, TCP/IP est beaucoup plus optimisé et efficace.

Le modèle TCP/IP est plus simple qu'OSI, avec seulement quatre couches. Celles-ci sont nommées liaison, Internet, transport et application.

La différence avec OSI est simplement que certaines couches ont été fusionnées. La couche liaison de TCP/IP regroupe notamment les couches physiques et liaison d'OSI. De même, la couche application de TCP/IP regroupe les couches session, application et présentation d'OSI.

Il est cependant impossible de comparer les 2 modèles, car si OSI est bien un modèle servant de base à la conception d'architectures réseau, TCP/IP est issu d'un développement plus opérationnel, et ne cherche pas à couvrir tous les besoins potentiels des utilisateurs. La figure III.6 montre les différentes couches des deux modèles.

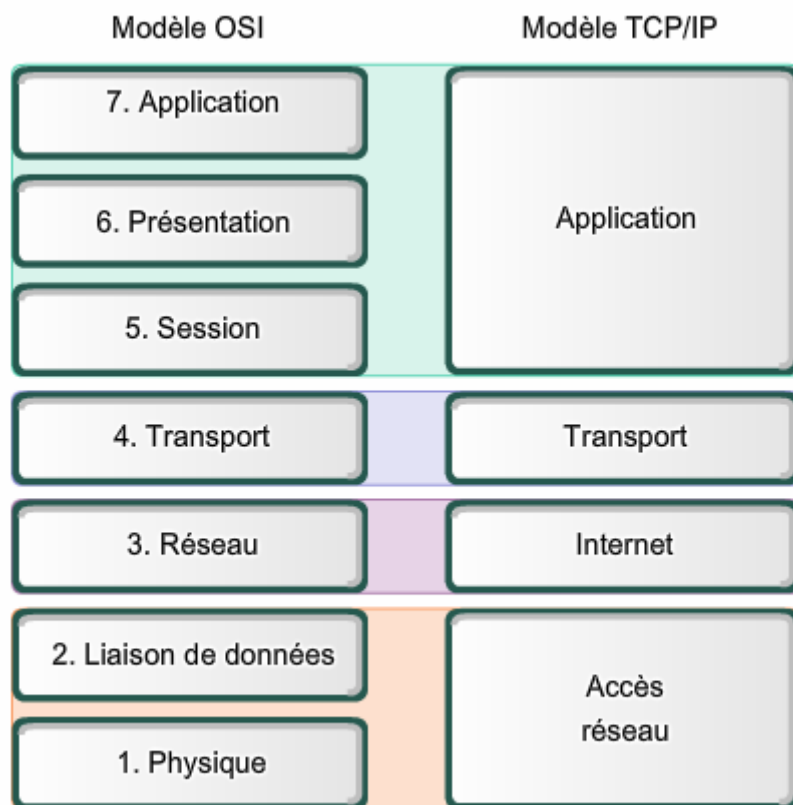


Figure III. 6 : Couches des modèles OSI et TCP/IP

Le modèle TCP/IP est un modèle en couches qui est définie comme un ensemble de couches successives où chacune joue un rôle bien précis. L'échange de données dans les réseaux est mis en place grâce au mécanisme d'encapsulation.

L'encapsulation est un mécanisme consistant à inclure les données de la couche d'un protocole donné vers la couche d'un protocole de plus bas niveau, autrement l'information d'une couche est encapsulée par la couche au-dessous. A chaque phase d'encapsulation, on associe ce que l'on appelle une couche :

- ✓ Les protocoles HTTP, FTP, SMTP, DNS,... sont associés à la couche "Application".
- ✓ Les protocoles TCP et UDP sont associés à la couche "Transport".
- ✓ Le protocole IP est associé à la couche "Internet".
- ✓ Les trames Ethernet (ou Wifi) sont associées à la couche "Accès réseau".

La figure III.7 montre les protocoles utilisés dans les différentes couches du modèle TCP/IP.

Modèle OSI	Protocoles / Vocabulaire	Modèle TCP/IP
Couche 7 - Application	DHCP, DNS, FTP, HTTP, HTTPS, POP, SMTP, SSH...	Application
Couche 6 - Présentation		
Couche 5 - Session		
Couche 4 - Transport	Segment TCP / UDP	Transport
Couche 3 - Réseau	Datagramme Adresse IPv4, IPv6	Internet
Couche 2 - Liaison	Trame Adresse MAC	Accès réseau
Couche 1 - Physique	Câble Ethernet, fibre, wifi, coax...	

Figure III. 7 : Protocoles utilisés dans le modèle TCP/IP

VI. Transmission de données dans un réseau

Le but d'un réseau est de transmettre des informations d'un ordinateur à un autre. Pour cela il faut dans un premier temps décider du type de codage de la donnée à envoyer. La représentation de ces données peut se diviser en deux catégories :

- ✓ Une représentation numérique : c'est-à-dire le codage de l'information en un ensemble de valeurs binaires, soit une suite de 0 et de 1
- ✓ Une représentation analogique : c'est-à-dire que la donnée sera représentée par la variation d'une grandeur physique continue

Les réseaux informatiques ne traitent que de signaux numériques. Les données circulent sur Internet sous forme de datagrammes (on parle aussi de paquets). Les datagrammes sont des données encapsulées, c'est-à-dire des données auxquelles on a ajouté des en-têtes correspondant à des informations sur leur transport (telles que l'adresse IP de destination).

A l'envoi d'un paquet de données, on parle d'encapsulation. La figure III.8 montre le processus d'encapsulation des données au moment de l'envoi.

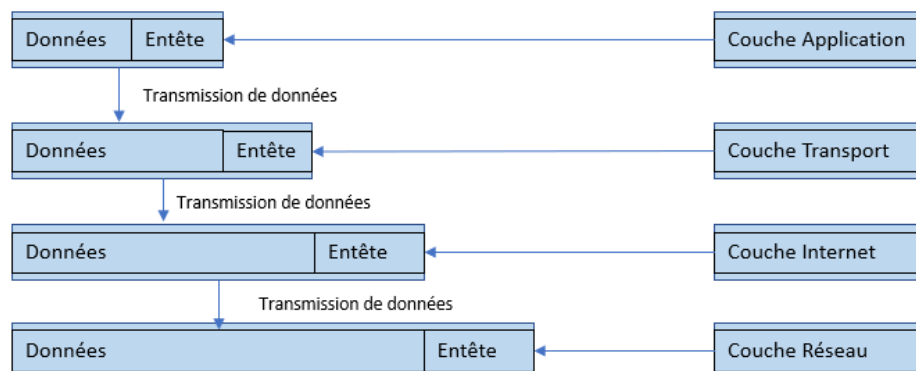


Figure III. 8 : Processus d'encapsulation des données

A la réception d'un paquet de données, on parle de décapsulation. La figure III.9 montre le processus de décapsulation des données.

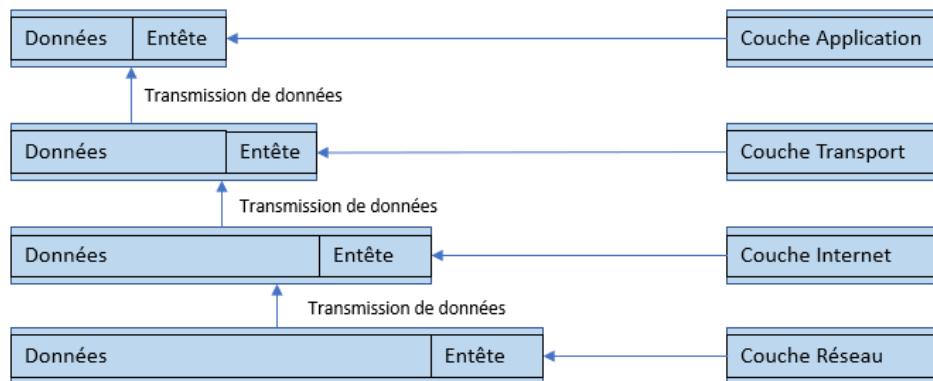


Figure III. 9 : Processus de décapsulation des données

Pour qu'une donnée soit transmise dans un réseau, il y a trois types de dispositifs qui permettent de remplir la fonction d'interconnexion des réseaux :

- ✓ les ponts
- ✓ les routeurs
- ✓ les passerelles.

V.1. Les ponts

L'objectif du pont est d'interconnecter deux segments de réseaux distincts, soit de technologies différentes, soit de même technologie, mais physiquement séparés. Les ponts permettent d'interconnecter des réseaux ayant la couche 1 et 2 du modèle OSI (couche liaison) différentes, mais les couches supérieures à la 2 identiques.

V.2. Les routeurs

Un routeur est un élément intermédiaire dans un réseau informatique assurant le routage des paquets. Son rôle est de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre. Les routeurs opèrent au niveau de la couche 3 (couche réseau) du modèle OSI.

V.3. Les passerelles

C'est un dispositif permettant de relier deux réseaux informatiques de types différents, par exemple un réseau local et le réseau Internet.

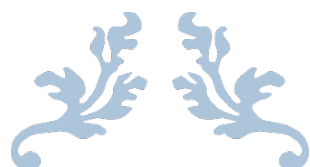
Elles permettent l'interconnexion de réseau en adaptant l'ensemble des couches du modèle OSI afin de les rendre compatible avec l'autre réseau.

VII. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le processus de communication dans un réseau.

Nous avons présenté les différents types de topologies qui peuvent exister ensuite nous avons présenté le modèle OSI en détaillant les différentes couches qui le constituent.

Nous avons terminé par donner la différence entre le modèle OSI et le modèle TCP/IP.



CHAPITRE IV

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 [37].

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 [38].

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.

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 [39].

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 [40]:

- **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 [33]. La figure IV.1 montre un répéteur.



Figure IV. 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 [33]. La figure IV.2 montre un hub.



Figure IV. 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 [33]. La figure IV.3 montre un commutateur.



Figure IV. 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.

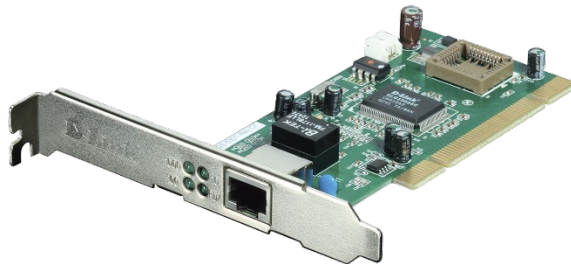


Figure IV. 4 : Modem commuté

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 [41].

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 [42].

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 [42].

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 [43].

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 IV. 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) [43].

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 [44].

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 [45].

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 [45].

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 [45].

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 [45].

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 [45].

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 [45].

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 [45].

V.4.8. UDSL

UDSL (Unidirectional DSL) est une proposition d'une société européenne. C'est une version unidirectionnelle de HDSL [45].

V.4.9. VDSL

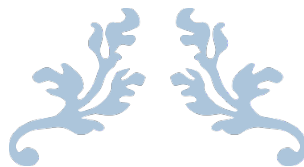
Le VDSL (très haut débit DSL) est une technologie en développement qui promet des débits beaucoup plus élevés sur des distances relativement courtes (entre 51 et 55 Mbps sur des lignes d'une longueur maximale de 300 m). Il est envisagé que le VDSL puisse émerger quelque peu après le déploiement généralisé 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 [45].

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" [45].

VI. Conclusion

Nous avons traité dans cette partie les modems et leurs interfaces, nous avons présenté les différents types des DSL qui utilisent des techniques de codage spéciales pour obtenir un débit maximal à partir de la faible bande passante.



CHAPITRE V

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 [46].

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 : 1001101010110010110111

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» [47].

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.

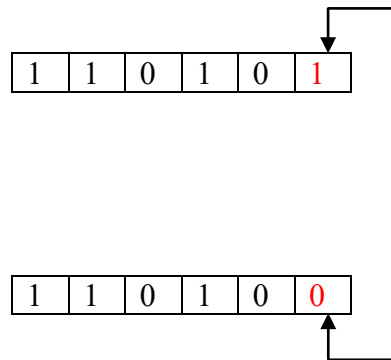


Figure V. 1 : Erreurs de données à un seul bit

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.

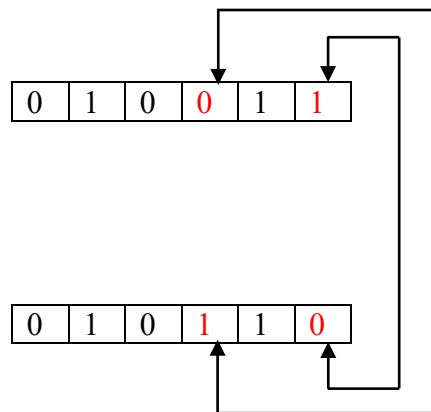


Figure V. 2 : Erreurs de données à plusieurs bits

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.

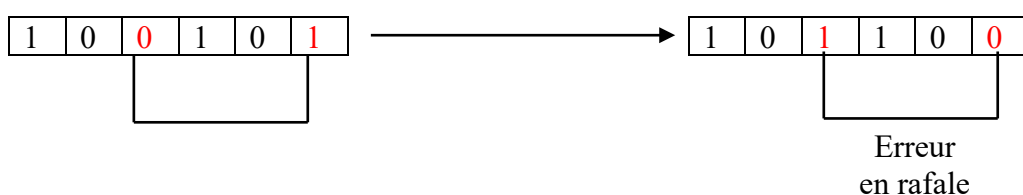


Figure V. 3 : Erreur en rafale de bits

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» [48].

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 5 : 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%.

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 [49].

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 [50].

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 [51]. 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 [52].

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 [53].

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 [52].

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 [52]. 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 [53].

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 [54].

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 : $b_{k+1} = a_{11}b_1 + a_{12}b_2 + \dots + a_{1k}b_k$ [55].

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.

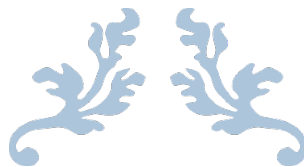
Par conséquent, la distance minimale d'un mot de code indique le nombre d'erreurs à un bit pouvant être détectées par un code d'erreur.

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 [56].

IV. Conclusion

Les codes correcteurs d'erreurs sont utilisés pour la transmission (par satellite, téléphonie, disque laser, TV haute définition), qui luttent contre le bruit.

Ce chapitre était consacré sur les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs en générale, et leurs origines c'est-à-dire le théorème d'information qui était énoncé par C.Shannon dans les années 1950.



CHAPITRE VI

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 recoupent 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) [57].

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) [35].

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 VI.1 montre la structure arborescente du réseau RTC.

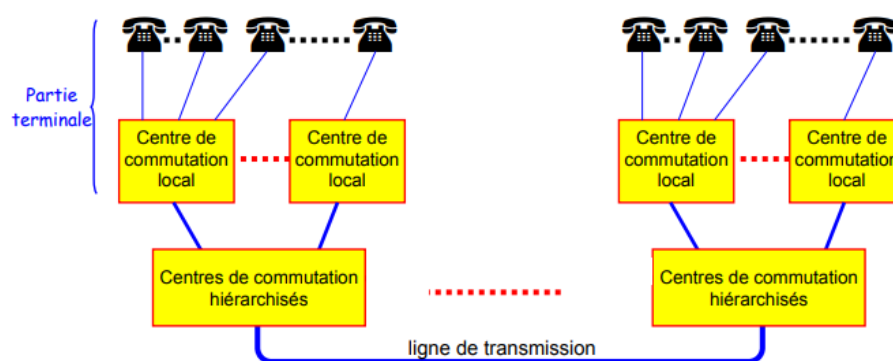


Figure VI. 1 : Arborescence du RTC

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 [35].

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 types 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).[58]

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

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.

La portée des réseaux sans fil est très souvent une indication théorique, en effet elle peut être réduite en fonction des obstacles. Elle dépend aussi de la bande de fréquence utilisée et de la puissance rayonnée qui est une fonction de la portée et du débit : plus on va loin, moins on peut offrir de débit.

La puissance autorisée est une limitation politique et non technologique. Elle varie selon les pays. On peut augmenter la portée en concentrant le signal dans une même direction grâce à une antenne unidirectionnelle. Cette méthode est surtout utile pour relier deux points distants et elle est appelée alors liaison point-à-point.

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 [59].

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.

Dans le mode ad-hoc, il n'existe pas d'unité de contrôle standard, donc la coordination est prise en charge par les terminaux respectifs. Ces réseaux sont utilisés pour des communications rapides et directes entre des participants individuels.

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 [59].

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). L'Interconnexion entre ces différents types de réseau peut aussi bien se faire au moyen de réseau sans fil que filaires. La figure VI.2 montre les catégories de réseaux sans fil.

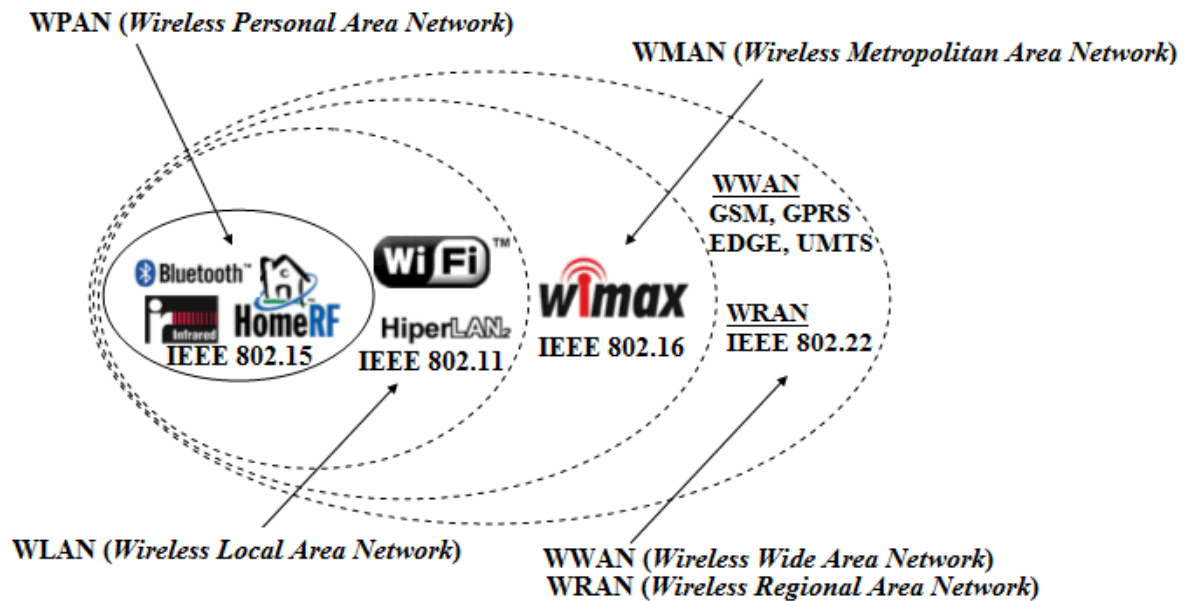


Figure VI. 2 : Catégories des réseaux sans fil [60]

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.

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.

III.3.3. WMAN (Wireless Metropololitan Area Network)

Le réseau sans fil WMAN permet à un particulier ou une entreprise d'être relié à son opérateur (téléphonie fixe, Internet, télévision...) via les ondes radio. Il est basé sur 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 [60].

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques sur les types de réseaux cités auparavant :

Catégorie	Portée max	Débit	Usages	Normes
WPAN	Quelques mètres	1Mbit/s	Réseau particulier	Bluetooth NFC Hiperlan
WLAN	500m	+de 50 Mbit/s	Réseaux internes propres à un bâtiment	IEEE 802.11 Hiperlan
WMAN	4 à 10 km	De 1 à 10 Mbit/s	Ville, campus...	IEEE 802.16
WWAN	Plusieurs centaines de Km	De 1 à 10 Mbit/s	Régional, National	Technologies cellulaires

Tableau 2 : Caractéristiques des réseaux sans fil

III.4 Normes des réseaux sans fil

III.4.1. 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 [61].

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.

Le Bluetooth permet d'obtenir des débits de l'ordre de 1 Mbps, correspondant à 1600 échanges par seconde en full-duplex, avec une portée d'une dizaine de mètres.

La technologie Bluetooth est également de plus en plus utilisée dans les téléphones portables, afin de leur permettre de communiquer avec des ordinateurs ou des assistants personnels et surtout avec des dispositifs mains-libres tels que des oreillettes bluetooth. Les oreillettes Bluetooth permettent de faire office de casque audio perfectionné intégrant des fonctionnalités de commande à distance.

III.4.2. HomeRF (Home Radio Frequency)

HomeRF a été conçu avant tout pour un usage domestique. Il utilise les mêmes fréquences que Bluetooth [61].

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.4.3. 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.4.4. 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 [61].

La norme HiperLAN a bien été promulguée en 1995 en même temps que la norme Wi-Fi, aucun produit n'en est sorti. Alors que WiFi, amélioré grâce à HiperLAN, s'est imposé et a finalement été importé tel quel dans les normes européennes (parfois déclinée sous le nom HiperLAN 2).

On peut dire que HiperLAN a été probablement une des raisons du succès du WiFi [62].

III.4.5. 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 :

III.4.5.1. Norme 802.11a

Cette norme a été développée en 1999, 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.

III.4.5.2. Norme 802.11b, Wifi

Le terme WiFi pour 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.

III.4.5.3. 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).

III.4.5.4. 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.

III.4.5.5. 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.

III.4.5.6. 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.4.5.7. Norme 802.11ac

La norme 802.11ac est apparue en 2013. L'intégration de la technologie de "Beamforming" amène une amélioration de la diffusion des ondes qui vont désormais se diriger vers l'appareil qui se connecte au réseau WiFi plutôt que de couvrir aléatoirement la zone autour du point d'accès.

La norme 802.11ac ajoute également le support du MIMO qui permet notamment à un point d'accès WiFi d'accueillir plusieurs antennes pour booster le débit de connexion.

La norme 802.11ac multiplie encore les débits en améliorant chacune des techniques de transmission employée [63] :

- ✓ Ne fonctionne que sur la bande des 5 GHz, les points d'accès basculent en 802.11n sur la bande des 2,4 GHz
- ✓ Le beamforming, qui permet aux points d'accès d'orienter les ondes vers les terminaux, est désormais standardisé
- ✓ La modulation passe du 64QAM au 256QAM, ce qui augmente la bande passante de 25%
- ✓ Nouvelles largeurs de canal de 80 MHz et de 160 MHz, ce qui double et quadruple la bande passante par rapport aux 40 MHz maximum du 802.11n
- ✓ Jusqu'à 8 flux en MIMO, ce qui double encore la bande passante par rapport aux 4 flux maximum du 802.11n.
- ✓ Prise en charge du Multi-user (le MU de MU-MIMO), qui permet aux points d'accès de communiquer avec plusieurs terminaux simultanément, plutôt que tour à tour (à très haute fréquence).

III.4.5.8. Norme 802.11ax

Le WiFi 6 est techniquement basé sur le standard IEEE 802.11ax décrit officiellement depuis début 2018. Il permet des connexions intelligentes qui s'adaptent à leur environnement. Cette nouvelle norme est en fait une évolution du WiFi 5 / 802.11ac qui s'inspire des réseaux 4G pour fonctionner enfin correctement dans les lieux très fréquentés. Ainsi le WiFi 6 permet [63]:

- ✓ Des débits plus rapides que le WiFi 5 / 802.11ac (qui permet jusqu'à 910 Mbit/s)
- ✓ Plus de connexions simultanées (jusqu'à 74 sur une seule plage de fréquence de 160 kHz)
- ✓ De meilleures performances dans les lieux où les réseaux WiFi sont fortement utilisés
- ✓ Une meilleure efficacité énergétique

En fait, le WiFi Alliance en profite pour changer complètement la convention de nommage des différentes technologies. Ainsi les nomenclatures IEEE 802.11 disparaissent, et des noms plus simples sont associés à chaque génération :

- ✓ 802.11a devient WiFi 1
- ✓ 802.11b devient WiFi 2
- ✓ 802.11g devient WiFi 3
- ✓ 802.11n devient WiFi 4
- ✓ 802.11ac devient WiFi 5
- ✓ 802.11ax devient WiFi 6

III.4.6. Wimax

Le Wimax (World wide Interoperability for Microwave Access) est une connexion sans fil à haut débit et de longue distance. 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.

Le WiMax transmet des données numériques sur différentes bandes de hautes fréquences comprises entre 2 et 11 GHz. Il a pour principale particularité de supporter un haut débit de données (jusqu'à 75 Mb/s en théorie) sur des distances très importantes, comprises entre 10 et 50 kilomètres selon les obstacles rencontrés par les ondes. Ces qualités en font donc une sorte de Wi-Fi survitaminé, même si les tests en conditions réelles donnent des résultats plus modestes (le débit excède rarement 20 Mb/s sur quelques dizaines de kilomètres).

En plus de ses hautes performances, le WiMax se distingue de la technologie Wi-Fi par sa capacité à prioriser les usages de la bande passante disponible entre différents internautes. Cette fonctionnalité peut s'avérer d'une grande utilité dans de multiples circonstances, offrant par exemple la possibilité d'assurer une qualité optimale à un utilisateur devant suivre une visioconférence de nature professionnelle. La norme prend donc en compte la notion de qualité de service « QoS ».

Il est principalement fondé sur une topologie en étoile bien que la topologie maillée soit possible [64] [65].

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 VI.3 montre le Wimax avec ses proches concurrents en termes de couverture géographique et débits offerts.

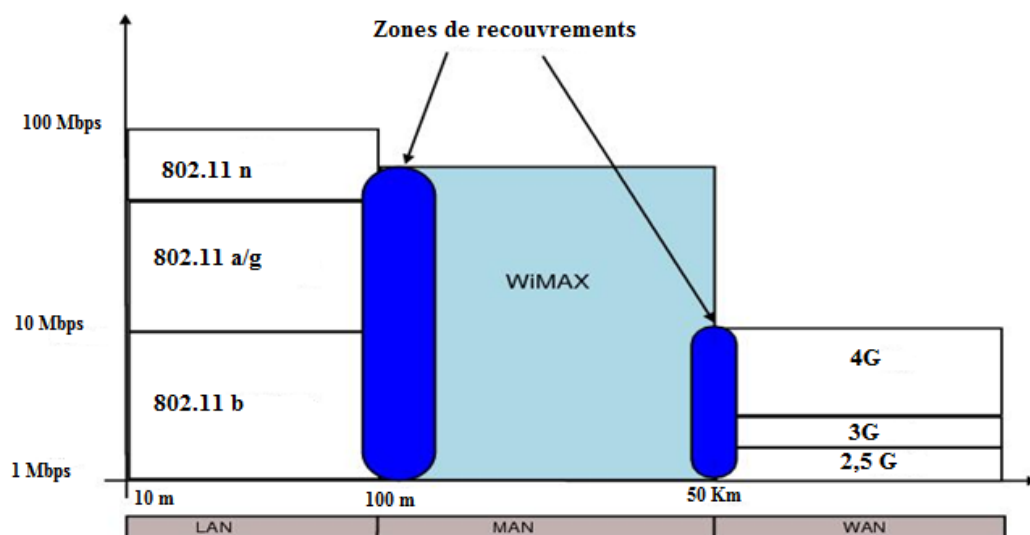


Figure VI. 3 : Le Wimax et ses concurrents [60]

III.4.7. 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 [60].

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 [66].

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 [67].

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 [68].

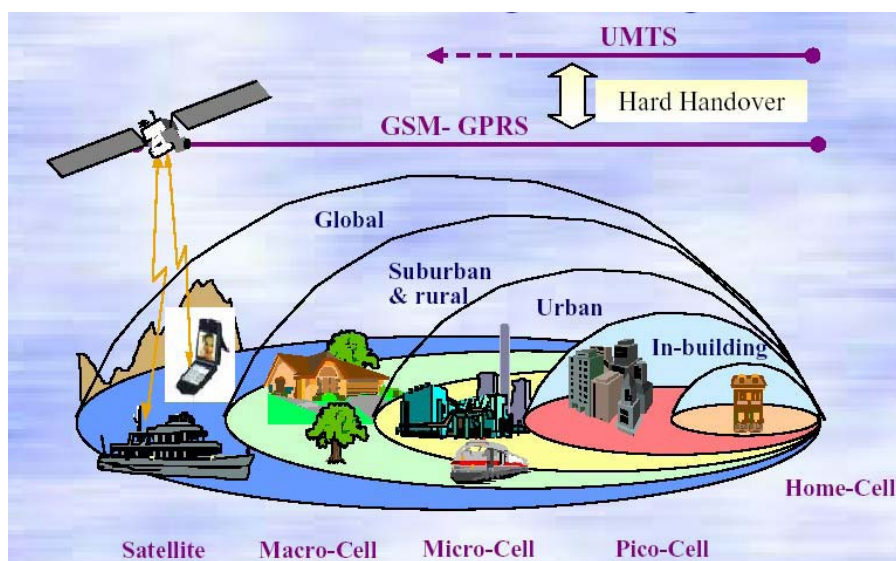


Figure VI. 4 : Architecture cellulaire [60]

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.

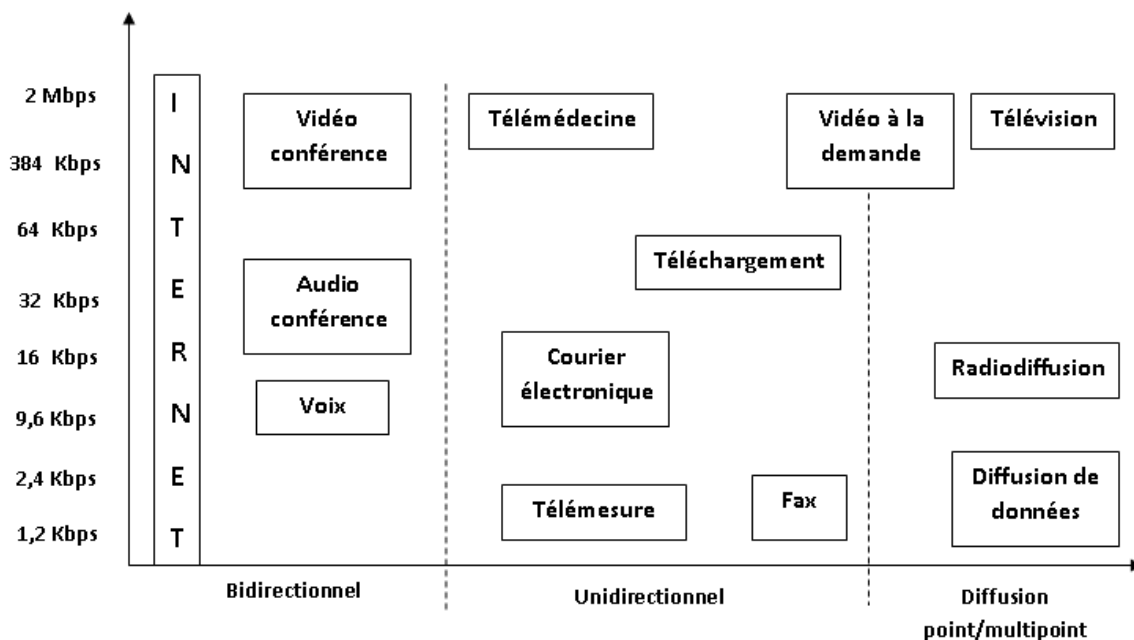


Figure VI. 5 : Services offerts par le système 3G

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.

Avec la quatrième génération 4G LTE, l'échange de données peut dépasser les 100 Mbit/s, si ce n'est plus, et ainsi atteindre le très haut débit mobile. En réalité, la bande passante s'avère toutefois partagée entre les utilisateurs. Moins il y a d'utilisateurs utilisant le réseau et plus le débit est donc élevé [69].

IV.5.4.1. Le réseau 4G+

La 4G+, aussi nommée 4G LTE Advanced, propose un débit bien plus rapide que la 4G classique. Alors que la 4G propose un débit théorique compris entre 100 et 150 Mb/s, la 4G+ fait plus de deux fois mieux, soit 200 à 300 Mégabits par seconde de débit théorique.

Le réseau 4G+ a l'avantage de pouvoir cumuler jusqu'à deux fréquences, dont les différentes connexion internet s'additionnent. Contrairement à la 4G, la 4G+ permet de répondre à un appel téléphonique tout en restant connecté sur Internet en 4G+ [69]. Auparavant, le réseau bridait automatiquement le réseau en 3G ou 3G+, limitant les possibilités de navigation durant un appel téléphonique simultané.

IV.5.4.2. 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 [65].

IV.5.5. 5ème génération (5G)

La 5G, dont le nom officiel est IMT-2020, est la cinquième génération de standards pour la téléphonie mobile. La principale évolution par rapport à la 4G et la 4.5G (LTE Advanced) d'aujourd'hui est qu'au-delà de l'amélioration de la vitesse de transmission des données, les nouveaux cas d'utilisation de l'IoT et des communications critiques nécessiteront de nouveaux types de performances améliorées. Par exemple, la « faible latence », une caractéristique autorisant l'interactivité en temps réel des services utilisant le cloud, est indispensable au succès des voitures sans conducteur. De même, la faible consommation électrique permettra aux objets connectés de fonctionner pendant des mois ou des années sans assistance humaine.

La 5G repose sur 8 exigences techniques :

- ✓ Jusqu'à 10Gbit/s de débit de données
- ✓ 1 ms de latence
- ✓ 1000 fois plus de bande passante par unité de surface
- ✓ Jusqu'à 100 fois plus d'appareils connectés par unité de surface
- ✓ 99,999% de disponibilité
- ✓ 100% de couverture
- ✓ 90% de réduction en utilisation d'énergie du réseau
- ✓ Jusqu'à 10 ans de durée de vie de la batterie

La 5G est une technologie évolutive qui va s'enrichir progressivement, au gré de l'évolution des standards au niveau mondial. Elle sera dans un premier temps une 4G améliorée apportant beaucoup plus de débit et de capacité. Elle évoluera ensuite au fur et à mesure que des éléments du réseau adopteront cette technologie et les fréquences sur lesquelles elle sera déployée.

Le déploiement de la 5G peut se faire en plusieurs phases. Certains pays ont commencé à déployer leur réseau en utilisant la 5G NSA (5G Non StandAlone). Il s'agit de continuer d'utiliser le cœur de réseau 4G LTE de l'opérateur tout en ajoutant petit à petit des antennes 5G. D'autres pays préfèrent déployer la 5G SA (5G StandAlone) qui représente l'idéal du déploiement de la 5G, où un appareil peut utiliser les technologies 5G aussi bien sur les basses et les hautes fréquences. Par contre, ceci demande des investissements bien plus conséquents et ne sera donc disponible qu'à long terme.

La 5G SA apportera des fonctions de gestion intelligente du réseau et une interactivité en temps quasi-réel. Au niveau des usages grand public, cela devrait permettre d'accroître la qualité et la fiabilité des communications. On peut aussi imaginer le développement des expériences de réalité virtuelle et réalité augmentée inédites.

Les réseaux de types Internet des objets (IoT) ont tendance à connecter et rendre intelligents un nombre croissant d'objets (automobile, capteurs divers, robots industriels, etc.), pourrait également bénéficier de la 5G et faciliter ainsi des applications multiples comme la ville intelligente, l'agriculture connectée, l'industrie 4.0, le véhicule autonome, etc. À cet égard, la 5G constitue aussi en enjeu de compétitivité pour le pays, bien au-delà du secteur des télécoms.

La figure VI.6 montre l'évolution des technologies mobiles à travers les générations.

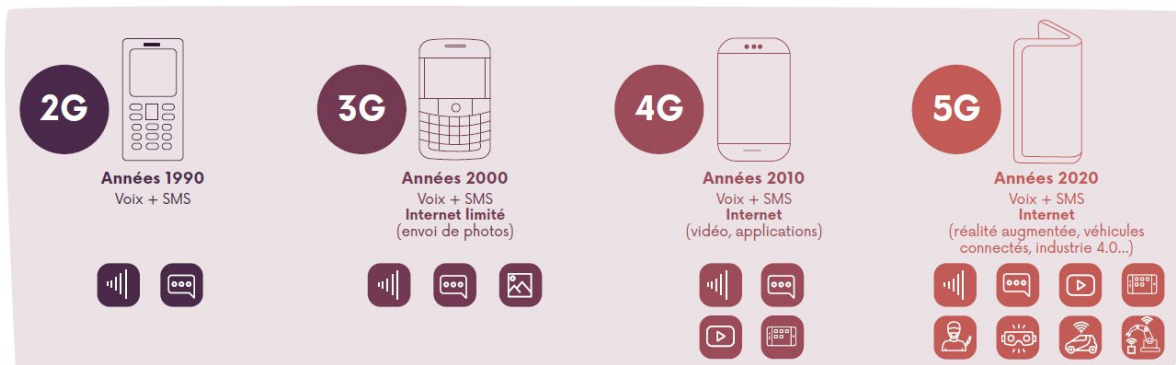


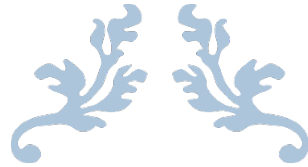
Figure VI. 6 : Evolution de la téléphonie mobile [70]

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.



CHAPITRE VII

Réseaux de radio cognitive

I. Introduction

La radio cognitive est une technologie clé de la future cinquième génération qui pourrait révolutionner le monde des réseaux sans fil et qui permet aux terminaux comme les téléphones sans fil de communiquer entre eux grâce à l'intelligence artificielle.

La radio cognitive apporte une gestion dynamique du spectre dont l'objectif principal est de résoudre le problème de l'insuffisance du spectre, et de garantir une meilleure qualité de service aux utilisateurs selon leurs nécessités.

Il y a plusieurs techniques pour l'accès dynamique au spectre dont l'apprentissage automatique qui est une technique de science des données qui permet aux ordinateurs d'utiliser des données existantes afin de prévoir les tendances, les résultats et les comportements futurs.

Nous allons étudier dans ce chapitre la radio cognitive dans ses différents aspects : principes, architecture, cycle de cognition, fonctions et composantes, ainsi que les techniques d'accès dynamique au spectre.

II. Radio logicielle

La Radio logicielle (Software Radio) est une évolution logique inventée par Joseph Mitola en 1991 pour définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable.

La radio logicielle est une convergence des radios numériques et des technologies logicielles dans laquelle les fonctions de l'interface radio généralement réalisées en matériel et les fonctions (fréquence porteuse, la largeur de bande du signal, la modulation et l'accès au réseau) sont réalisés en logicielle. La radio logicielle moderne met également en œuvre l'implantation logicielle des procédés cryptographiques, codage correcteur d'erreur, codage source de la voix, de la vidéo ou des données.

La radio logicielle est le but ultime intégrant toutes les fonctionnalités en logiciel, mais elle impose des phases intermédiaires combinant anciennes et nouvelles techniques, on parle alors de radio logicielle restreinte (SDR : Software Defined Radio).

Les contraintes de puissance de calcul, de consommation électrique, de coûts, etc. imposent actuellement de passer par cette phase intermédiaire [71].

II.1. Radio logicielle restreinte

Une radio logicielle restreinte est un système de radiocommunication configurable utilisant des techniques de traitement numérique du signal sur des circuits numériques programmables. Sa flexibilité lui permet de s'adapter à différents protocoles de radiocommunication, et de répondre au besoin croissant de performance et d'interopérabilité entre systèmes. L'objectif de la SDR consiste en une dématérialisation complète de l'interface radio. Elle participe à la tendance globale des circuits électroniques à devenir des circuits à haute densité d'intégration [72].

II.2. Relation entre RC et SDR

La capacité de s'adapter à modifier les paramètres (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) en fonction de : (L'environnement radio, la situation, les besoins de l'utilisateur, l'état du réseau, la géo localisation...) est l'une des principales caractéristiques de la radio cognitive.

La figure VII.1 montre la relation entre la RC et la SDR.

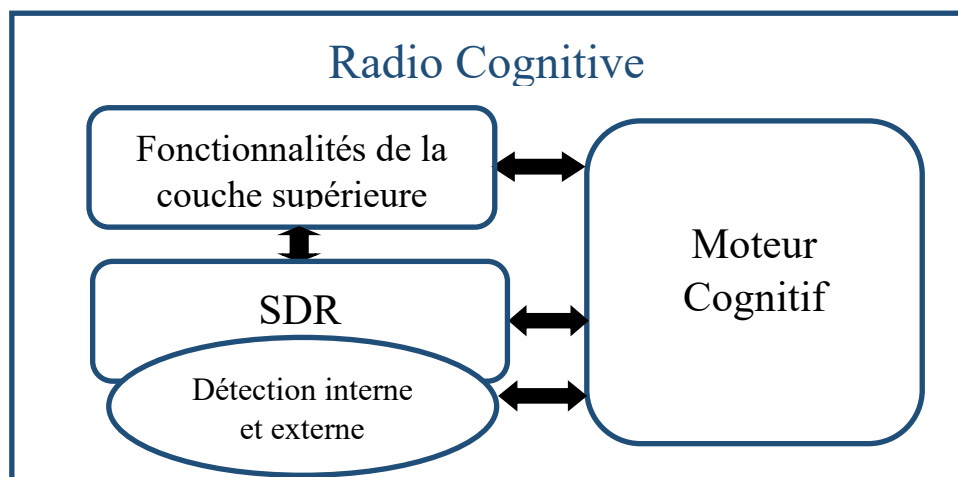


Figure VII. 1 : Relation entre la RC et la SDR

La radio logicielle est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérente à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive.

Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. En d'autres termes, la radio logicielle est une "technologie habilitante" pour la RC [73].

La RC englobe le concept de la radio logicielle. En effet, elle comporte des fonctions logicielles supplémentaires qui permettent une reconfiguration optimale [82].

III. Radio Cognitive

III.1. Historique

Le terme « radio cognitive » a été créé officiellement par un génie en la matière qui n'est autre que Joe Mitola lors d'un séminaire à l'institut royale de technologie (KTH, Stockholm, Suède) en 1998.

Le concept a été soutenu au départ par la Défense américaine, publié plus tard en 1999 dans un article de Mitola et KTH professeur de communications Gerald Q. Maguire, [74] et en 2000 il l'a publié dans sa Thèse de doctorat [75].

Mitola combine son expérience de la radio logicielle ainsi que sa passion pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pour mettre en place la technologie de la radio cognitive. D'après lui : « Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur » [76].

III.2. Définition

La cognition a été décrite, à partir des années 1950, comme un système de traitement de l'information créant et manipulant des représentations mentales du monde. Cette description a été fortement influencée par le développement rapide de l'informatique à la fin des années 1940 [77].

La radio cognitive est donc un système doté de capacités cognitives qui permettent à un terminal d'acquérir une connaissance sur son environnement, d'avoir une vision des ressources radio disponibles et enfin de lui donner la possibilité d'exploiter ces bandes inutilisées pour aboutir à une gestion plus efficace du spectre radio.

Plusieurs définitions ont été présentées par d'autres auteurs pour décrire la radio cognitive.

Parmi elles, celle d'Akyildiz [78] qui considère la radio cognitive comme étant la technologie clé qui permettra aux réseaux de nouvelle génération d'utiliser et de partager le spectre de manière opportuniste.

Selon Haykin [79], la radio cognitive représente un système de communication sans fil intelligent qui est conscient de son environnement et qui utilise les méthodologies "understanding-by-building" (compréhension par construction) afin d'étudier son environnement et de s'adapter aux différentes variations statistiques. Ainsi, deux principaux objectifs sont pris en compte dans cette définition : (1) la communication fortement fiable au besoin, et (2) l'utilisation efficace du spectre radio.

La Commission Fédérale des Communications (FCC) [80] définit la radio cognitive comme étant une radio qui peut changer les paramètres de son émetteur sur la base des interactions avec l'environnement dans lequel elle opère.

III.3. Principe

Le concept d'accès dynamique au spectre est assuré par deux acteurs principaux

III.3.1. Utilisateurs Primaires (PU)

Connu aussi comme « utilisateurs licenciés ou utilisateurs prioritaires », sont des utilisateurs qui disposent d'une licence et des droits de communications en toute autonomie qui leur permet d'opérer à n'importe quel moment sur des bandes spectrales qui leurs sont réservées.

L'accès est contrôlé uniquement par ces stations de base et ne doit pas subir d'interférences extérieures nuisibles. Les PU (Primary Users) ne doivent subir aucune modification pour permettre la coexistence avec les utilisateurs ou réseaux de radio cognitive ou leur station de base [81].

III.3.2. Utilisateurs Secondaires (SU)

C'est les utilisateurs qui n'ont pas de licence, Ils accèdent au spectre de façon opportuniste et ils doivent veiller à ne pas interagir avec les utilisateurs primaires, Les SU (Secondary Users) devront céder une fois le service est achevé et devront surveiller à ne pas gêner les utilisateurs primaires.

La radio cognitive a l'objectif globale d'ouvrir les bandes licenciées au niveau du spectre à ces SU sans brouiller les communications des PU qui sont seuls admis de l'utiliser.

III.4. Architecture de la radio cognitive

La radio cognitive est définie par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de services, comme décrit la figure VII.2 :

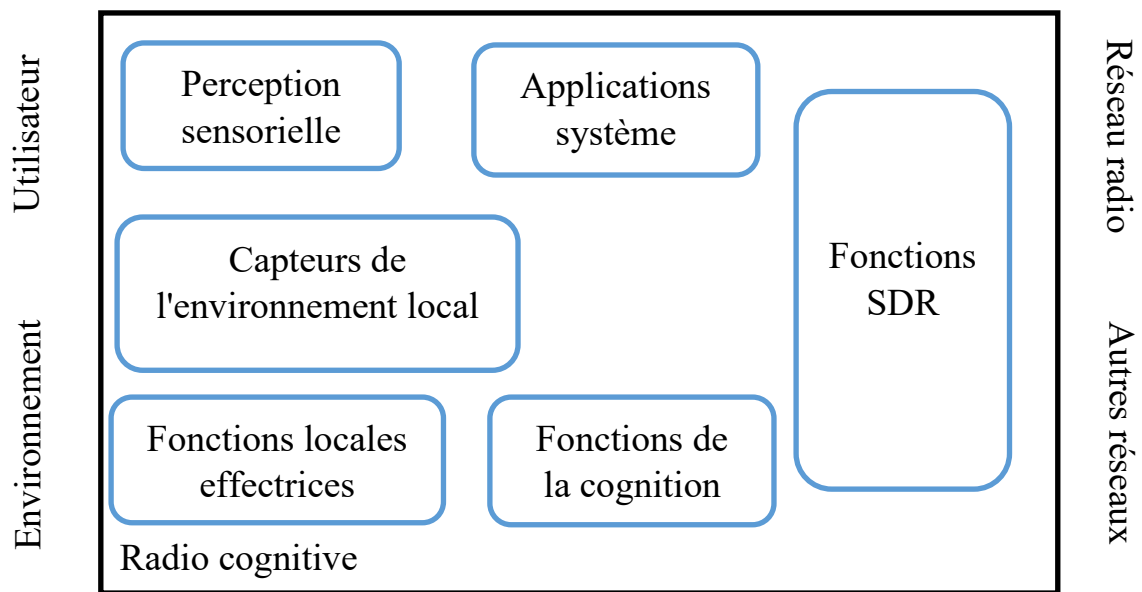


Figure VII. 2 : Architecture de la radio cognitive

- ✓ Les six composantes fonctionnelles de l'architecture d'une radio cognitive sont :
- ✓ La perception sensorielle de l'utilisateur intègre l'interface haptique (du toucher), acoustique, la vidéo et les fonctions de détection et de la perception.
- ✓ Les capteurs de l'environnement local (emplacement, la température, l'accéléromètre, compas, etc.).
- ✓ Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
- ✓ Les fonctions SDR (qui comprennent la détection RF et les applications radio de la SDR).
- ✓ Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification, de l'apprentissage).

- ✓ Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias).

III.5. Cycle de cognition

La composante cognitive de l'architecture de la radio cognitive comprend une organisation temporelle, des flux d'inférences et des états de contrôle. Ce cycle synthétise cette composante de manière évidente. Les stimuli entrent dans la radio cognitive comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit [83] comme le montre la figure VII.3.

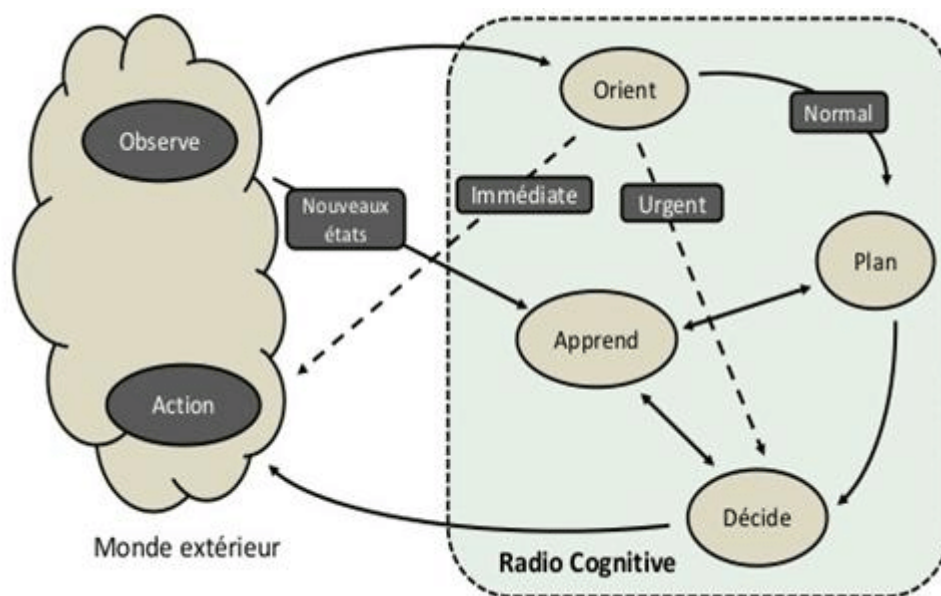


Figure VII. 3 : Cycle de cognition

Les différentes étapes du cycle cognitif sont les suivantes :

- **Observation:** Extraire plusieurs informations à partir de l'environnement comme la fréquence radio, le type de données transmises (audio, vidéo, etc.), la position, etc.

Exemples de capteurs électromagnétiques (EM)

- ✓ Détecteur de bande libre,
- ✓ Radiomètre,
- ✓ Reconnaissance aveugle de standards,
- ✓ Estimateur de réponse impulsionnelle de canal,

- ✓ Détecteur d'angles d'arrivées,
- ✓ Détecteur de positionnement,
- ✓ Détection d'autres personnes ou équipements radio [84]
- **Orientation**: Cette étape est majeure dans l'établissement des priorités, la classification par affinité ou en fonction de la demande et du besoin, et elle fait référence à la façon de déterminer s'il y a besoin d'une action urgente ou si une planification à long terme est plutôt nécessaire.
- **Planification**: Identifier les actions alternatives à prendre et consiste en la prise de décisions à long terme.
- **Décision**: Décider entre les actions candidates, en choisissant la meilleure d'entre elles.
Exemples de prise de décision et apprentissage en lien avec l'EM :
 - ✓ Taux d'occupation des bandes de fréquence,
 - ✓ Libération de la bande pour un utilisateur primaire,
 - ✓ Coordination avec d'autres utilisateurs secondaires...
- **Action**: Agir sur l'environnement en effectuant, par exemple, des modifications au niveau de la fréquence radio.
Exemples de reconfiguration (radio logicielle) en lien avec l'EM :
 - ✓ Fréquence d'émission et/ou réception,
 - ✓ Conversion de fréquence d'échantillonnage,
 - ✓ Filtrage mono/multi-canal...
- **Apprentissage** : dépend de la perception, des observations, des décisions et des actions.
L'apprentissage initial est réalisé à travers la phase d'observation dans laquelle toutes les perceptions sensorielles sont continuellement comparées à l'ensemble de l'expérience antérieure pour continuellement compter les événements et se souvenir du temps écoulé depuis le dernier événement.

L'apprentissage peut se produire quand un nouveau modèle est créé en réponse à une action [73].

III.6. Composantes de la radio cognitive

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la figure ci-dessous [85]

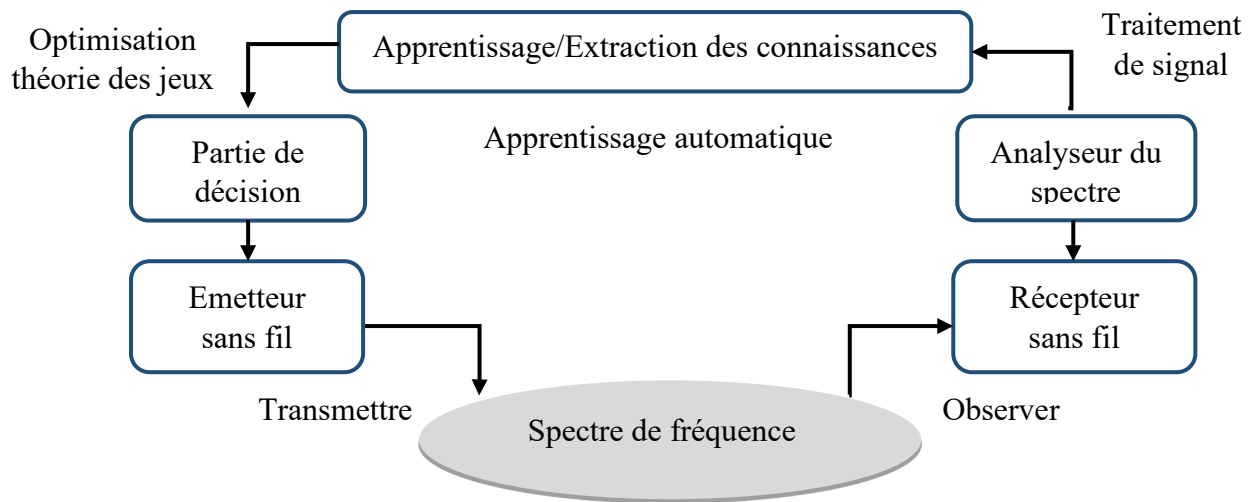


Figure VII. 4 : Composantes de la radio cognitive

- **Émetteur/Récepteur** : un émetteur/récepteur SDR sans fil est le composant majeur avec les fonctions du signal de transmission de données et de réception. En outre, un récepteur sans fil est également utilisé pour observer l'activité sur le spectre de fréquence (spectre de détection).
- **L'analyseur de spectre (Spectrum analyser)** : doit s'assurer que la transmission d'un utilisateur primaire n'est pas perturbée si un utilisateur secondaire décide d'accéder au spectre. Dans ce cas, diverses techniques de traitement du signal peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur l'utilisation du spectre.
- **L'apprentissage et l'extraction de connaissances (learnig / Knowledge extraction)** : utilisent les informations du spectre pour comprendre l'environnement ambiant RF (par exemple le comportement des utilisateurs sous licence). Une base de connaissances de l'environnement d'accès au spectre est construite et entretenue, qui est ensuite utilisée pour optimiser et adapter les paramètres de transmission pour atteindre l'objectif désiré sous diverses contraintes. Les algorithmes d'apprentissage peuvent être appliqués pour l'apprentissage et l'extraction de connaissances.
- **Prise de décision (Decisionmaking)** : Après que la connaissance de l'utilisation du spectre soit disponible, la décision sur l'accès au spectre doit être faite.

La décision optimale dépend du milieu ambiant, elle dépend du comportement coopératif ou compétitif des utilisateurs secondaires. Différentes techniques peuvent être utilisées pour obtenir une solution optimale.

III.7. Fonction de la radio cognitive

L'objectif principal de la radio cognitive consiste à gérer le spectre de manière opportuniste de manière à optimiser l'exploitation des ressources radio disponibles.

Les fonctions principales de la RC sont :

III.7.1. Détection du spectre (Spectrum Sensing)

Détecter le spectre non utilisé et le partager avec d'autres utilisateurs sans interférences. La détection des utilisateurs sous licence PU est la façon la plus efficace pour détecter les spectres temporellement inutilisés.

III.7.2. Gestion du spectre (Spectrum Management)

Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs.

Les radios cognitives devraient décider de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les radios cognitives. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit : [86].

III.7.2.1. Analyse du spectre

Analyser les résultats de la détection du spectre pour estimer la qualité du spectre (la durée moyenne, le taux d'erreur dans le canal, la disponibilité des espaces blancs du spectre, l'activité du PU et le débit). De nombreuses techniques sont employées par les utilisateurs de la radio cognitive pour analyser le spectre, tel que les algorithmes d'apprentissages de l'intelligence artificielle.

III.7.2.2. Décision sur le spectre

Cette fonction est nécessaire pour l'accès au spectre, elle dépend des résultats retenus par la phase d'analyse du spectre ; une multitude de règles décisionnelles sont appliquées dans le but de déterminer la ou les bandes les plus adaptées à la transmission en cours [87].

III.7.3. Partage du spectre (Spectrum Sharing)

Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur la décision du spectre d'accès. Ces utilisateurs peuvent être coopératifs ou non coopératifs dans l'accès au spectre. Dans un environnement non-coopératif, chaque utilisateur a son propre objectif, tandis que dans un environnement coopératif, tous les utilisateurs peuvent collaborer pour atteindre un seul objectif [86].

III.7.4. Mobilité du spectre (Spectrum mobility)

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la radio cognitive de changer sa fréquence de fonctionnement.

Les réseaux radio cognitives essaient d'utiliser le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence [88].

III.8. Accès dynamique au spectre

Le développement des réseaux sans fil leur permet de fournir de meilleurs services que les réseaux filaires. On peut citer les réseaux de la téléphonie mobile, les réseaux de télévision et bien d'autres. Tous ces réseaux communiquent via différentes bandes spectrales du spectre électromagnétique.

La croissance importante des réseaux sans fil est aujourd'hui indiscutable. Il est donc certain que de nouveaux besoins en spectre vont apparaître au fil du temps.

Afin de répondre à cette demande, l'Etat peut, comme il l'a fait jusqu'à présent, libérer de nouvelles bandes de fréquences et les affecter exclusivement au très haut débit mobile. Compte tenu du coût croissant de cette méthode, elle doit être couplée à de nouveaux modes de gestion du spectre, en particulier le recours au partage dynamique de bandes de fréquences.

La possibilité de partager des bandes de fréquences existe déjà : le régulateur peut, par exemple, délivrer des licences distinctes, statiques, pour des zones géographiques séparées. Les fréquences ouvertes, comme le Wifi, sont également partagées par nature. Mais, entre ces deux extrêmes, il est aussi possible de concevoir des mécanismes de partage dynamique des fréquences. C'est ainsi qu'est apparu le DSA (Dynamic Spectrum Access) qui permet aux utilisateurs non licenciés (SU) d'utiliser une bande déjà attribuée.

En gros, il s'agit de donner à de nouveaux utilisateurs l'accès à des fréquences qui restent affectées à un autre, mais à la condition expresse de ne pas le perturber : le nouvel arrivant doit en effet respecter des règles précises qui garantissent que les services du PU ne seront pas dégradés.

Cette coexistence pacifique peut s'ajuster au cours du temps. Le DSA peut en effet être mis en oeuvre : par exemple, grâce à une base de données géolocalisée, les SU n'utiliseront la bande que dans des zones qui ne perturberont pas l'utilisateur primaire. Les limitations peuvent aussi être temporelles.

Il existe plusieurs techniques liées à l'accès au spectre, nous allons citer quelques-unes dans ce qui suit :

III.8.1. Enchères

La vente aux enchères est un mécanisme largement utilisé dans le but d'optimiser le partage du spectre [89], [90]. Dans ce type d'approches, les utilisateurs de la RC proposent leurs offres à un commissaire-priseur.

Ce dernier s'occupe de l'allocation du spectre selon les offres reçues (prix, temps d'attente, quantité de spectre demandée, etc.) et le type d'enchère utilisée (Vikrey, anglaise, etc.).

Par exemple, dans [91], le PU joue le rôle de commissaire-priseur et les SU représentent les enchérisseurs. Chaque SU présente son offre en précisant la quantité de spectre souhaitée et le PU alloue le spectre en priorité au SU qui ne dégrade pas sa qualité de service.

Dans [92], chaque SU déclare le temps qu'il peut attendre pour accéder au spectre demandé au lieu de soumettre une offre en termes de prix. Ainsi, le SU proposant le temps d'attente le plus élevé emporte l'enchère.

Dans [93], les auteurs proposent une politique de gestion du spectre basée sur l'enchère de Vickrey où les noeuds mobiles de la RC sont en concurrence pour l'utilisation des bandes de spectre disponibles. Les SU (enchérisseurs) soumettent des offres sans connaître celles des autres, et celui qui propose l'offre la plus intéressante (la plus élevée) gagne l'enchère et paie le deuxième prix.

Par ailleurs, l'avantage de la proposition de [94], qui utilise l'enchère anglaise, est le fait de permettre aux utilisateurs d'exprimer leur degré d'urgence, leurs besoins, leurs préférences et leur pouvoir d'achat, sauf que l'enchère de Vikrey semble être plus appropriée car elle s'exécute en un temps plus court.

Dans [95], il a été montré que le temps d'exécution moyen des enchères à plusieurs tours (Anglaise) est très grand par rapport à celles qui se font à un seul tour (Vikrey).

La figure VII.5 illustre l'utilisation des enchères pour accéder au spectre.

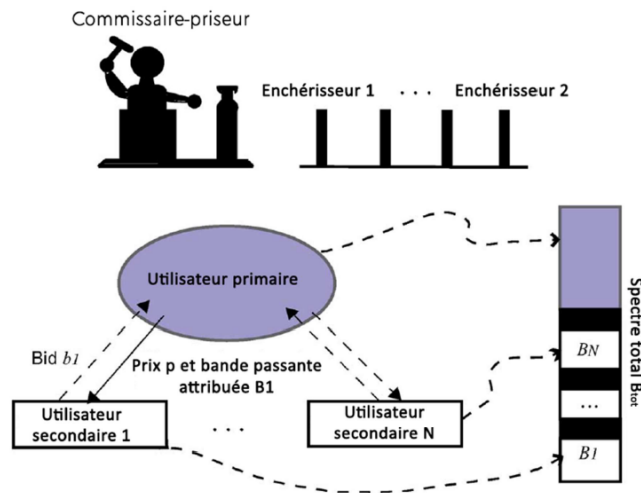


Figure VII. 5 : Accès au spectre avec des enchères [91]

III.8.2. Théorie des jeux

Afin d'avoir un partage de spectre dynamique efficace, plusieurs difficultés doivent d'abord être surmontées :

- La nature peu fiable et diffusée des canaux sans fil ;
- La mobilité des utilisateurs et la topologie dynamique ;
- Diverses infrastructures de réseau ;
- Et plus important encore, les comportements des utilisateurs du réseau.

Pour être précis, les utilisateurs du réseau peuvent être coopératifs, égoïstes et même malveillants. Les approches traditionnelles de partage de spectre supposent uniquement des paramètres de réseau coopératifs, statiques et centralisés.

Avant de parvenir à un partage dynamique efficace du spectre, les comportements et les interactions intelligents des utilisateurs du réseau doivent être soigneusement étudiés et analysés. La théorie des jeux étudie les conflits et la coopération entre les décideurs intelligents et rationnels, ce qui est une excellente correspondance de nature aux problèmes de partage dynamique du spectre. [96]

L'importance d'étudier le partage dynamique du spectre dans un cadre théorique de jeu est multiple.

- ✓ Premièrement, en modélisant le partage dynamique du spectre entre les utilisateurs du réseau (PU et SU) sous forme de jeux, les comportements et les actions des utilisateurs du réseau peuvent être analysés dans une structure de jeu formalisée, grâce à laquelle les réalisations théoriques de la théorie des jeux peuvent être pleinement utilisées.

- ✓ Deuxièmement, la théorie des jeux nous dote de divers critères d'optimalité pour le problème de partage de spectre. La théorie des jeux nous fournit des critères d'équilibre bien définis pour mesurer l'optimalité du jeu sous divers paramètres de jeu (scénarios de réseau dans notre contexte).
- ✓ Troisièmement, la théorie des jeux non coopératifs, l'une des théories de jeu les plus importantes, nous permet de dériver des approches distribuées efficaces pour un partage dynamique du spectre en utilisant uniquement des informations locales. De telles approches deviennent hautement souhaitables lorsque le contrôle centralisé n'est pas disponible ou lorsque des approches flexibles auto-organisées sont nécessaires. [96]

III.8.3. Chaines de Markov

Les approches de la théorie des jeux ne modélisent pas l'interaction entre les SU et PU pour l'accès au spectre. Cette modélisation peut être réalisée en utilisant efficacement les chaines de Markov [97].

Une chaîne de Markov est une suite de variables aléatoires qui permet de modéliser l'évolution dynamique d'un système aléatoire. La propriété fondamentale des chaines de Markov est que son évolution future ne dépend du passé qu'au travers de sa valeur actuelle.

Autrement, dans le cas de la RC, cette méthode ne se contente pas du résultat seulement comme les autres méthodes mais permet également de modéliser l'interaction entre les utilisateurs (PU et SU) [98].

III.8.4. Systèmes multi-agents

La RC offre une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre. Pour gérer intelligemment les ressources radio, des algorithmes de négociation et de coopération issus du domaine multi agents sont à exploiter afin d'assurer une répartition plus efficace du spectre. Dans la communauté de RC, on parle souvent de coopération entre SU et de négociation entre PU et SU.

Ferber a pu faire une typologie des situations d'interactions à travers les principales composantes de l'interaction (buts, ressources, compétences) dans [99].

Les interactions des agents d'un système multi-Agents (SMA) sont motivées par l'interdépendance des agents selon ces trois dimensions :

Leurs buts peuvent être compatibles ou non ; les agents peuvent désirer des ressources que les autres possèdent ; un agent X peut disposer d'une capacité nécessaire à un agent Y pour l'accomplissement d'un des plans d'action de Y.

D'après [99], les buts sont incompatibles si la satisfaction de l'un entraîne l'insatisfaction de l'autre. Dans le cas de la RC, les SU cherchent à satisfaire leur application en cherchant un canal libre et les PU ont la possibilité de partager leur spectre aussi. Donc, on peut dire que les buts sont compatibles car il n'y a aucune contradiction entre les buts des PU et des SU. Lorsqu'on parle de ressources, on veut dire le nombre de canaux disponibles (parties libres du spectre).

III.8.5. Apprentissage automatique

L'apprentissage automatique connue aussi comme (Apprentissage artificiel ou machine learning) qui est un sous-domaine de l'intelligence artificielle (IA) fait référence au développement, à l'analyse et à l'implémentation de méthodes qui permettent à une machine d'évoluer grâce à un processus d'apprentissage, et ainsi de remplir des tâches qu'il est difficile ou impossible de remplir par des moyens algorithmiques plus classiques. D'après Marvin Minsky « L'apprentissage permet des modifications utiles dans notre cerveau ». [100]

Objectif : extraire et exploiter automatiquement l'information présente dans un jeu de données.

L'apprentissage automatique peut être appliqué à la RC pour la maximisation des capacités d'accès au spectre dynamique comme le montre la figure VII.6.

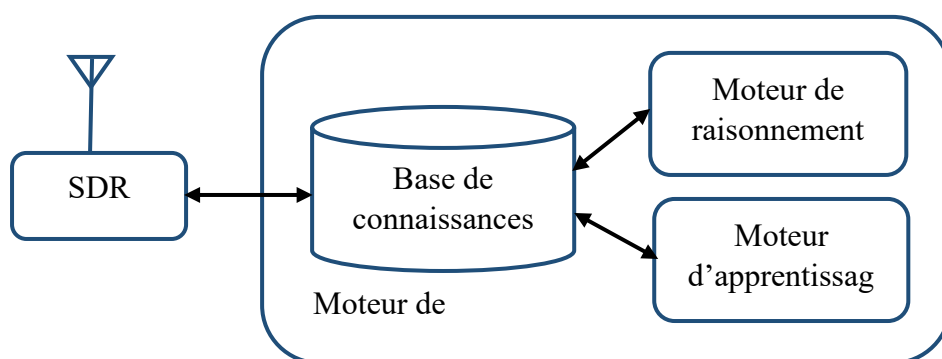


Figure VII. 6 : Architecture de la RC avec l'apprentissage automatique

- **Le moteur de raisonnement (Reasoning engine) :** utilise la base de connaissances pour choisir la meilleure action.

- **Le moteur d'apprentissage (Learning engine)** : effectue la manipulation des connaissances basées sur l'information observée (par exemple des informations sur la disponibilité des canaux, le taux d'erreur dans le canal).
- **La base de connaissances (knowledge base)** : maintient les états du système et les actions disponibles. Elle contient deux structures de données :
 - Le prédicat (règle d'inférence) est utilisé pour représenter l'état de l'environnement. Sur la base de cet état.
 - L'action qui peut être effectuée pour modifier l'état de telle sorte que les objectifs du système peuvent être réalisés.

L'algorithme de Perceptron [101, 102, 103] est peut-être le premier et le plus simple algorithme d'apprentissage et il servira de point de départ. Le Perceptron est conçu pour répondre aux questions oui / non.

L'utilisation de l'apprentissage automatique pour des problèmes de prédiction plus complexes a été davantage abordée par plusieurs auteurs. Quelques exemples notables sont la régression multidimensionnelle [104], l'entraînement discriminatif des modèles de Markov cachés [105], et les problèmes de classement [106, 107].

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'apprentissage automatique dans la RC, les différents aspects de la radio cognitive et expliqué le principe de son fonctionnement ainsi que sa frontière avec la radio logicielle. Nous avons vu aussi les domaines d'application de l'apprentissage automatique.

La RC permet de détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en cours d'utilisation et ceux qui ne le sont pas, et peut se déplacer dans les canaux inutilisés en se basant sur des algorithmes puissants. La RC va garantir une bande passante plus large aux utilisateurs grâce aux techniques d'accès dynamique au spectre. Elle permet d'exploiter le spectre de façon opportuniste et permet de résoudre les problèmes des réseaux sans fil actuels résultant de la limitation et de l'utilisation inefficace du spectre.

Nous avons cité les différentes techniques pour accéder dynamiquement au spectre en partant des enchères où la fonction utilité du réseau n'est pas optimisée à chaque fois car elle dépend du comportement des utilisateurs, et passant ensuite par la théorie des jeux qui est largement

utilisée dans ce domaine car elle permet d'aboutir à un équilibre entre les utilisateurs qui assure une gestion efficace du spectre et les modèles de Markov qui nous permettent de modéliser l'interaction entre les PU et SU. Nous avons ensuite parlé de l'utilisation des systèmes multiagents et de l'apprentissage automatique.

L'apprentissage automatique est un domaine en constante innovation, il est important de garder à l'esprit que les algorithmes, les méthodes et les approches continueront de changer.

Conclusion générale

Les réseaux de communication sont des systèmes essentiels pour la connectivité et la communication entre les dispositifs électroniques. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications, allant des communications téléphoniques aux transferts de données sur Internet, en passant par les réseaux sans fil et mobiles.

Les réseaux de communication sont basés sur des protocoles de communication qui définissent les règles et les conventions pour l'échange de données entre les dispositifs. Le mode de transmission numérique est un processus de transmission de données sous forme numérique, utilisant des signaux binaires pour transmettre des données à travers un réseau. Il offre de nombreux avantages par rapport au mode de transmission analogique, notamment une meilleure qualité de signal, une vitesse de transmission plus élevée et une résistance accrue aux interférences. Les techniques de modulation et de correction d'erreur sont utilisées pour améliorer la fiabilité de la transmission des données.

Les réseaux de communication ont révolutionné la manière dont nous communiquons et échangeons des données à travers le monde. Ils ont facilité la mondialisation et ont ouvert de nombreuses opportunités dans le domaine des affaires, de la recherche et du développement technologique. Les réseaux de communication continuent d'évoluer pour répondre aux besoins en constante évolution des utilisateurs et des applications.

Les réseaux de communication évoluent constamment pour répondre aux besoins des utilisateurs. Les technologies telles que la 5G, l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA) ont un impact important sur les réseaux de communication, offrant de nouvelles fonctionnalités et améliorant l'efficacité et la sécurité des réseaux.

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] B. Petit, "Infrastructure des réseaux informatiques," ed: Références sciences, 2018 p. 264.
- [34] H. Zimmermann, "OSI reference model--The ISO model of architecture for open systems interconnection," *IEEE Transactions on communications*, vol. 28, no. 4, pp. 425-432, 1980.
- [35] P. Atelin, *Réseaux informatiques: notions fondamentales: normes, architecture, modèle OSI, TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi*. Editions ENI, 2009.
- [36] P. Atelin and J. Dordoigne, *TCP/IP et les protocoles Internet*. Editions ENI, 2006.
- [37] G. A. Greco and B. G. Sepaniak Jr, "Personal computer modem card interface construction," ed: Google Patents, 1995.
- [38] A. L. Serrano, "Modem telephone interface circuit," ed: Google Patents, 1983.
- [39] D. BATTU, *Modems: interfaces et normes*. Ed. Techniques Ingénieur, 2003.
- [40] H. Schumny and R. Ohl, "Modems," in *Handbuch Digitaler Schnittstellen*: Springer, 1994, pp. 94-111.
- [41] F. C. Hon, "Call establishment method for dial-up internet telephony appliances," ed: Google Patents, 2004.
- [42] W. J. Goralski, *ADSL and DSL technologies*. McGraw-Hill, Inc., 2000.
- [43] J. A. Bingham, *ADSL, VDSL, and multicarrier modulation*. Wiley New York, 2000.
- [44] S. Yim and X. Lu, "Element management system for a digital subscriber line access multiplexer," ed: Google Patents, 2003.
- [45] C. Franklin, "How dsl works," *How Stuff Works*, <http://computer.howstuffworks.com/dsl.htm/printable>, printed Nov, vol. 16, 2004.
- [46] A. Houghton, "Bit Error Rates," in *Error Coding for Engineers*: Springer, 2001, pp. 165-176.
- [47] A. Hocquenghem, "Codes correcteurs d'erreurs," *Chiffres*, vol. 2, no. 2, pp. 147-56, 1959.
- [48] G. Cullmann, *Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs*. Dunod, 1967.
- [49] M. Gallo, & Hancock, W, "Computer communications and networking technologies," *Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Co*, 2002.
- [50] V. Garg, "Wireless communications and networking: an introduction," *Burlington, MA*, 2007.
- [51] "Automatic repeat request (ARQ)," *Focal Dictionary of Telecommunications*, 1999.
- [52] 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.
- [53] J. D. Gibson, "The communications handbook," 2002.
- [54] "Forward Error Correction (FEC)," *Focal Dictionary of Telecommunications*, 1999.
- [55] I. Widjaja, & Leon-Gracia, A, "Communication networks: Fundamental concepts and key architectures (1st ed.)," *Mcgraw-Hill College*, 2000.
- [56] W. Stallings, "Data and computer communications," *Upper Saddle River: Prentice Hall*, 2006.
- [57] P. André, *Architecture des réseaux fixes*. Lavoisier, 2011.
- [58] J. Ben Othman, "Intégration multiservices dans un réseau ATM mobile," Versailles-St Quentin en Yvelines, 1998.
- [59] P.-O. BOURGEOIS and A. MARCOU, "Security of IEEE 802.11."
- [60] B. Badr and A. Asma, "Radio resource allocation and dynamic spectrum access," *John Wiley & Sons*, 2013.
- [61] A. Philippe, "Wi-Fi: réseaux sans fil 802.11," *Ediciones ENI*, 2008.

- [62] J. S. e. L. Toutain, *Normaliser le numérique* (Annales des mines). Institut des minesTélécom, 5 Mars 2019.
- [63] CISCO. (18/03/2021). *Wi-Fi* 6. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wi-fi-6.html>
- [64] M. Simon, "WiMAX ou l'évolution des réseaux sans-fil?," *Spring*, vol. 11, no. 1, 2006.
- [65] B. Badr, J. Zeina, and K. Francine, "QoS management in mobile IP networks using a terminal assistant," *International Journal of Network Management*, vol. 19, no. 1, pp. 1-24, 2009.
- [66] H. Badis, "Les réseaux mobiles et sans fil," *Université de Paris-Est Marne-la-Vallée*, 2011.
- [67] P. S. a. M. Max, "Introduction aux réseaux mobiles," *Geninov Inc.*, 2008.
- [68] N. A. M. Wyglinski, Maziar, and Hou, Thomas, "Cognitive radio communications and networks: principles and practice," *Academic Press*, 2009.
- [69] É. H. Yannick Bouguen, François-Xavier Wolff, *LTE et les réseaux 4G* 2012.
- [70] d. p. e. d. l. d. d. l. p. Autorité de régulation des communications électroniques. (18/03/2021). *Parlons 5G : toutes vos questions sur la 5G*. Available: <https://www.arcep.fr/nos-sujets/parlons-5g-toutes-vos-questions-sur-la-5g.html>
- [71] Metref, Adel. «Contribution à l'étude du problème de synchronisation de porteuse dans le contexte de la Radio Intelligente ». Thèse de Doctorat. Université Rennes 1, 2010.
- [72] N. J. Drew, P. Tottle, « IC Technologies and Architectures to Support the Implementation of Software Define Radio Terminals », ACTS, Mobile Communications Summit, Rhodes, June 8-11, 1998.
- [73] Ngom I. et Diouf L., « La radio cognitive », mémoire de Master, université Lille 1 USTL, 2008.
- [74] Mitola, J., & Maguire Jr, G. Q. « Cognitive radio: making software radios more personal. Personal Communications », IEEE Personal Communications, volume 6 issue 4, page 13-18. 1999.
- [75] Mitola, J. « Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio». Thèse de Doctorat. 2000.
- [76] Amraoui Asma, Wassila Baghli, and Badr Benmammar. « Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile ».Les 12èmes Journées Doctorales en Informatique et Réseaux (JDIR'11). 2011.
- [77] T. W Malone, « Organizing information processing systems: parallels between human organizations and computer systems», *Cognition, Computation and Cooperation*, page.56-86. 1990.
- [78] I.F. Akyildiz, W-Y. Lee, M.C. Vuran et S. Mohanty, « Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey, *Computer Networks*», vol.50, n°13, page 2127–2159. 2006
- [79] S. Haykin, « Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, pp. 201–220. 2005.
- [80] ET Docket N° 04-186, « The FCC's Office of Engineering and Technology Releases Report On Tests of Prototype TV White Space DEVICES (Executive Summary) », Octobre 2008.
- [81] A. Ben Dhaou, « Allocation dynamique des bandes spectrales dans les réseaux sans-fil à radio cognitive », mémoire de Maitrise en Informatique, Université du Québec à Montréal, Septembre 2011.
- [82] Y. Lakys, « Filtres à fréquence agile totalement actifs : théorie générale et circuits de validation en technologie SiGeBiCMOS 0.25µm ». Thèse présentée à l'université bordeaux 1, 3 décembre 2009.

- [83] Glisic S., «ADVANCED WIRELESSNETWORKS Cognitive, Cooperative and Opportunistic 4G Technology», Second Edition, University of Oulu, Finland
- [84] Moy, C., & Palicot, J.. Titre (français): «Mieux analyser les ondes pour mieuxcommuniquer : la radio intelligente » Title (English): « Betteranalyzewaves in order to bettercommunicate : cognitive radio », page 35-37. 2013.
- [85] E. Hossain, D. Niyam and Zhu Han, « Dynamic Spectrum Access and management incognitive radio networks», Cambridge University Press 2009
- [86] S. A. Ratsirarson, T. Rakotonirina, N. M. V Ravonimanantsoa, L. De Télécommunication, D. Signal, and I. L. Tasi, « Analyse Des Différents Types Des Fonctions De La Radio Cognitive. ». Rapport de recherche, Université d’Antananarivo, Madagascar, p. 72-80. 2015.
- [87] Y. Hssaine, « Optimisation de la QOS dans un réseau de radio cognitive en utilisant les algorithmes génétiques », mémoire de Master, Université de Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Juin 2014
- [88] Mitola J.and Maguire G., « Cognitive radio: Making software radios more personal», IEEE Personal Communications, Page: 13-18, August 1999.
- [89] Y. Zhang, C. Lee, D. Niyato, et P. Wang, “Auction Approaches for Resource Allocation in Wireless Systems: A Survey”, IEEE Communications surveys & tutorials, 2012.
- [90] Z. Yang, D. Niyato, P.Wang, E.Hossain, “Auction-based resource allocation in cognitive radio systems”, IEEE Communications Magazine, 2012, vol. 50, n°11, pp.108-120.
- [91] X. Wang, Z. Li, P. Xu, Y.Xu, X. Gao, et H. Chen, “Spectrum sharing in cognitive Radio Networks- An Auction based Approach”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics - Special issue on game theory, Juin 2010, vol.40, n°3, pp. 587-596.
- [92] G. Wu, P. Ren, et C. Zhang, “A waiting- time auction based dynamic spectrum allocation algorithm in cognitive radio networks”, IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), 2011, pp. 1-5.
- [93] H.-B. Chang et K.-C. Chen, “Auction-based spectrum management of cognitive radio networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Mai 2010, vol. 59, n°4, pp. 1923- 1935.
- [94] C. Kloeck, H. Jaekel, F. K. Jondral, “Multi agent Wireless System for Dynamic and Local Combined Pricing, allocation and Billing”, Journal of communication, 2006, vol.1, n°1, pp. 48-59.
- [95] A. Amraoui, B. Benmammar, F. Krief, F.T. Bendimerad, « Négociations à base d’enchères dans les Réseaux Radio Cognitive », Colloque francophone sur l’ingénierie des protocoles (CFIP), 2012.
- [96] Ji, Z., & Liu, K. J. (2007). “COGNITIVE RADIOS FOR DYNAMIC SPECTRUM ACCESS - Dynamic Spectrum Sharing: A Game Theoretical Overview””. IEEE Communications Magazine, 45(5), 88–94. doi:10.1109/mcom.2007.358854 .
- [97] Hossain, Ekram, Dusit Niyato, and Zhu Han. Dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks. Cambridge University Press, 2009.
- [98] Li, Jiandong, and Chungang Yang. “A Markovian game-theoretical power control approach in cognitive radio networks: A multi-agent learning perspective”. Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2010 International Conference on. IEEE, 2010.
- [99] Ferber, J, « Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective »,Paris: InterEditions,1995.
- [100] B. Lavoie, « Apprentissage automatique de règles, » 2006.

- [101] M. Bkassiny, S. K. Jayaweera, and K. A. Avery, "Distributed reinforcement learning based MAC protocols for autonomous cognitive secondary users," in 20th Annual Wireless and Optical Communications Conference (WOCC '11), Newark, NJ, Apr. 2011, pp. 1–6.
- [102] J. Mitola, "Cognitive radio architecture evolution," *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 4, pp. 626–641, Apr. 2009.
- [103] S. Jayaweera, Y. Li, M. Bkassiny, C. Christodoulou, and K. Avery, "Radiobots: The autonomous, self-learning future cognitive radios," in International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS '11), Chiangmai, Thailand, Dec. 2011, pp. 1–5.
- [104] M Bkassiny, SK Jayaweera, Y Li, "Blind cyclostationary feature detection based spectrum sensing for autonomous self-learning cognitive radios", in IEEE International Conference on Communications (ICC '12), Ottawa, Canada, June 2012.
- [105] A. El-Saleh, M. Ismail, M. Ali, and J. Ng, "Development of a cognitive radio decision engine using multi-objective hybrid genetic algorithm," in IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC 2009), Dec. 2009, pp. 343–347.
- [106] H. Volos and R. Buehrer, "Cognitive engine design for link adaptation: An application to multi-antenna systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 9, pp. 2902–2913, Sep. 2010.
- [107] C. Clancy, J. Hecker, E. Stuntebeck, and T. O'Shea, "Applications of machine learning to cognitive radio networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 14, no. 4, pp. 47–52, Aug. 2007.