

**CENTRE INTER-UNIVERSITAIRE DES SCIENCES
SOCIALES ET TECHNIQUES APPLIQUEES
(CIUSTA-INTERNATIONAL)**



THESE

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN
SCIENCES DE BIO-INGENIERIE : (TELECOMMUNICATIONS,
RESEAUX INFORMATIQUES ET SANTE PUBLIQUE).**

**ANALYSE DE L'USAGE DES TELEPHONES PORTABLES ET ANTENNES
RELAIS ET LEURS INCIDENCES D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES SUR
LA SANTE HUMAINE DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT
« Cas de la République Démocratique du Congo »**

Par :

YENDE RAPHAEL Grevisse

Directeur de Thèse :

Pr. Simon DECLoux

Maitre de chaire de L'Université Internationale de MADISON (USA)

MEMBRE DU JURY:

- | | |
|---|----------------------|
| ▶ Pr. MUKAMBA NGANDU Blaise (UFRAGL / RDC) : | (Président) |
| ▶ Pr. Simon DECLoux (MADISON / USA) : | (Directeur de Thèse) |
| ▶ Pr. DIASIVI MUFULAMA (CIESTA / CANADA) : | (Rapporteur) |
| ▶ Pr. BAHATI KUDERHWA Petro (MADISON / USA) : | (Rapporteur) |
| ▶ Pr. Anne ATIENO NDEDE AMADI (TUKENYA / KENYA) : | (Examineur) |
| ▶ Pr. Deo NAMEGABE (ROUEN / FRANCE) : | (Examineur) |
| ▶ Pr. Anirüddha Gokhalé (VANDERBILT, USA) : | (Examineur) |

Soutenue, le 02 Mai 2016 (Nairobi)

CENTRE INTER-UNIVERSITAIRE DES SCIENCES SOCIALES ET TECHNIQUES APPLIQUEES (CIUSTA-INTERNATIONAL)



THESE

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN
SCIENCES DE BIO-INGENIERIE : (TELECOMMUNICATIONS,
RESEAUX INFORMATIQUES ET SANTE PUBLIQUE).**

**ANALYSE DE L'USAGE DES TELEPHONES PORTABLES ET ANTENNES
RELAIS ET LEURS INCIDENCES D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES SUR
LA SANTE HUMAINE DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT
« Cas de la République Démocratique du Congo »**

Par :

YENDE RAPHAEL Grevisse

Directeur de Thèse :

Pr. Simon DECLoux

Maitre de chaire de L'Université Internationale de MADISON (USA)

MEMBRE DU JURY:

- | | |
|---|----------------------|
| ▶ Pr. MUKAMBA NGANDU Blaise (UFRAGL / RDC) : | (Président) |
| ▶ Pr. Simon DECLoux (MADISON / USA) : | (Directeur de Thèse) |
| ▶ Pr. DIASIVI MUFULAMA (CIESTA / CANADA) : | (Rapporteur) |
| ▶ Pr. BAHATI KUDERHWA Petro (MADISON / USA) : | (Rapporteur) |
| ▶ Pr. Anne ATIENO NDEDE AMADI (TUKENYA / KENYA) : | (Examineur) |
| ▶ Pr. Deo NAMEGABE (ROUEN / FRANCE) : | (Examineur) |
| ▶ Pr. Aniruddha Gokhalé (VANDERBILT, USA) : | (Examineur) |

Soutenue, le 02 Mai 2016 (Nairobi)

*« Chacun a droit à son propre point de vue, mais il n'est pas
Impossible que tout le monde ait tort »*

GANDHI M. K. (1869 - 1948)

DECLARATION

Je soussigné, **YENDE RAPHAEL Grevisse**, déclare que le présent Travail Scientifique portant sur « **l'analyse de l'usage des téléphones portables et antennes relais et leurs incidences d'ondes électromagnétiques sur la santé humaine dans les pays en voie de développement : cas de la République Démocratique du Congo** » est le fruit de nos efforts personnels et qu'il n'a pas été présenté dans aucune institution d'enseignement supérieur pour l'obtention d'un quelconque grade académique. Aucune reproduction partielle ou totale n'est autorisée sans le consentement explicite de l'auteur.

Ainsi Fait à NAIROBI, le 02 MAI 2016

YENDE RAPHAEL Grevisse.

CERTIFICATION

Je soussigné, Professeur Docteur **SIMON DECLoux**, Maître de Chaire, certifie avoir suivi et supervisé le travail de recherche Scientifique du récipiendaire **YENDE RAPHAEL Grevisse** ayant trait à « **l'analyse de l'usage des téléphones portables et antennes relais et leurs incidences d'ondes électromagnétiques sur la santé humaine dans les pays en voie de développement : cas de la République Démocratique du Congo** ». L'originalité de ce sujet provient du fait que les facettes sur lesquelles le récipiendaire a orienté ses recherches non jamais été abordées par d'autres chercheurs, le sujet étant aussi d'actualité.

Ainsi Fait à NAIROBI, le 02 MAI 2016

*Professeur Docteur **SIMON DECLoux**
Maître de Chaire*

*A ma très chère épouse **KAHINDO FURAHA Abigaël**, qui m'a tant soutenue lors de la réalisation de cette thèse, je dédie ce travail.*

IN MEMORIUM

A mon défunt fils aîné YENDE ELQANAN MAHATMA, (Né, le 05/04/2016 – et Décédé 18/04/201), Que la terre de tes ancêtres te soit agréable et doux. Repose en paix et sache que ton départ a totalement changé ma vie.

REMERCIEMENTS

La présente thèse de doctorat qui est à sa phase finale est le fruit mûr des recherches entreprises il y a belle lurette. Ainsi, si un chercheur parvient à finir la rédaction d'une thèse, il est un sujet qui a réussi à atteindre l'objet de sa quête. Il n'y arrive cependant sans austérité ni sacrifice au cours desquels il a eu plusieurs obstacles à surmonter. Seules l'obstination, la rigueur et la main de la providence ont conduit ce projet à son heureux aboutissement.

Toutefois, il serait déplaisant de notre part de négliger les concours combien appréciés que nous ont apportés certaines institutions et personnes dans la réalisation de cette disposition académique :

Nous exprimons notre gratitude *au Professeur Docteur SIMON DECLoux* qui a accepté de diriger cette thèse. Son goût de la rigueur et surtout son respect de l'autonomie de pensée du disciple ont stimulé notre échange sans lequel l'élaboration de cette thèse n'aurait pas atteint son terminus ad quem.

Dans le même ordre d'idées, nous disons merci à tous les professeurs qui nous ont encadrés lors des doctoraux. Nous voulons autant exprimer notre reconnaissance *au Professeur Ordinaire MUDIMBE VUMBI DYOKA*, qui a su nous encourager durant la conception de cette thèse de doctorat ;

Je voudrais autant exprimer ma profonde gratitude à ma très chère mère *Esther OMARI NDAFA*, ainsi que mes frères et sœurs respectivement : *Larousse YENDE MICHAEL*, *Lionel Désiré YENDE BOAZ*, et *Dacruz MBOYO SARAH* pour leurs différents soutiens.

Par-dessus tout, nous bénissons « *notre Père Céleste* », qui nous a épaulés par sa faveur et nous a conféré la santé indispensable pour supporter sans craquer la peine qu'impose les recherches doctorales ; A lui revienne toute la gloire.

YENDE RAPHAEL Grevisse.

ABSTRACT

This study baptized “ *THE ANALYSIS OF THE USE OF THE CELL PHONES AND RELAYS STATIONS AND THEIR IMPACTS OF ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE HUMAN HEALTH IN DEVELOPING COUNTRIES : Case study of DR Congo* ” examines the microwaves dangers used precisely by the cell phones and the Relays Stations wireless in Democratic Republic of Congo. During this research, we intended the ultimate objective to put informed the Congolese population about the harmfulness of these last while agreeing him to avoid them in the numerous possibilities and to rescue to protect themselves of it to the better when their cannot avoid them.

With the New Technologies of information and the Communication, the internationalization enters in an authentic incontestable period, the one of “the *era of information*”. The universe is being more and smaller, the DR Congo cannot steal itself to the dynamics of the amplification moistened by the Cellular mobile technologies. Rather than to see the means by excellence of the proliferation of a negative internationalization, the one that alienates the cultures, standardize the thought, enriched of advantage the rich to the detriment of the poor, Congo must seize the opportunities that the NTIC offer to the entrepreneurial in order to reposition itself on the path of the development.

This present survey succinctly the NTIC and their contribution in the enterprise. It aims to allow the entrepreneurs and Congolese users to seize on the one hand, the profits of the use of the NTIC in the organization and the management of their activities and on the other hand to impregnate themselves of the opportunities that these technologies offer in the innovation and the creation of new services susceptible to throw back the sector of information and the communication that proves to be the key of the development of a country nowadays.

After having analyzed the state of places of the NTIC in DRC and demonstrated their importance in the use of the cell phones, the survey puts the previous to the spreading and to the appropriation of these technologies in the country. Then it formulates the recommendations that consist to the awareness of public power of the necessity to promote the NTIC through a suitable public politics. The survey also proposes the implication of the big enterprises (*centers of scientific research*) and of the Congolese civil society in the problematic of the spreading and the appropriation of the NTIC in DRC.

KEY WORDS: Analysis – Use – Mobile phone – Repercussion – Relays Antenna – Developing Countries – Electromagnetic wave – Human health.

RESUME DU TRAVAIL

Notre sujet de travail porte sur « *ANALYSE DE L'USAGE DES TELEPHONES PORTABLES ET ANTENNES RELAIS LEURS INCIDENCES D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES SUR LA SANTE HUMAINE DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT* ». Dans la présente étude, nous examinons singulièrement les dangers micro-ondes utilisées par les téléphones portables et les antennes relais sans fil dans les pays en voie de développement, quoique spécialement, elle s'attèle à la République Démocratique du Congo. Au cours de cette étude, nous nous sommes proposé l'ultime objectif d'informer la population des pays en voie de développement, plus principalement, la population Congolaise, de la nocivité des téléphones portables et Antennes relais vis-à-vis de la santé humaine en lui consentant de les éviter dans les nombreuses éventualités et de s'en protéger aux mieux lorsqu'elle ne peut les prévenir. Ainsi, Avec les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC), l'internationalisation entre dans une authentique période incontestable, celle de l' «ère de l'information». L'univers étant de plus en plus petit, la République Démocratique du Congo ne peut se subtiliser à la dynamique de l'amplification imbibé par les technologies Cellulaire mobile ... Plutôt que de voir le moyen par excellence de la prolifération d'une mondialisation négative, celle qui aliène les cultures, uniformise la pensée, enrichie d'avantage les riches au détriment des pauvres, la République Démocratique du Congo doit saisir les opportunités qu'offrent les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication afin de se repositionner sur le chemin du développement. Cette étude présente succinctement les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication et leur apport dans l'entreprise. Elle vise à permettre aux pays en voie de développement et usagers congolais de saisir d'une part, les bénéfices de l'utilisation des NTIC dans l'organisation et la gestion de leurs activités et d'autre part de s'imprégner des opportunités qu'offrent ces technologies dans l'innovation et la création de nouveaux services susceptibles de relancer le secteur de l'information et de la communication qui s'avère de nos jours la clé du développement d'un pays.

Après avoir analysé l'état de lieux des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC), dans les pays en voie de développement, principalement en RDC et démontré leur importance par l'usage des téléphones mobiles, l'étude pose les préalables au déploiement et à l'appropriation de ces technologies dans ce pays. Ensuite elle formule des recommandations qui consistent à la prise de conscience de pouvoir public, et de la nécessité de promouvoir les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication à travers une politique publique appropriée. L'étude propose également l'implication des grandes entreprises (*centres de recherches scientifiques*) et de la société civile congolaise dans la problématique du déploiement et de l'appropriation des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication en RDC.

MOTS CLES : Analyse – Usage – Téléphone Portable –Antenne Relais – Pays en voie de développement - Incidence – Onde électromagnétique – Santé humaine.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

ACCU: AC Connections Unit
ACL : Access Control List (liste de contrôle d'accès)
ADSL: Asymmetrical bit rate Digital subscriber Line
AES: Application Environment Service
AES: Advanced Encryption Standard
AH: Authentication Header
AMPS: Advanced Mobile Phone System
ANSI: American National Standard Institute
API: Application Programming Interface
API: Application Programming Interface
ARP: Address Resolution Protocol
ASP: Application Service Provider
ASP: Active Server Pages
ATM: Asynchronous transfer Mode
B2B: Business to business
B2C: Business to Customer
BGP: Border gateway Protocol
CBR: Constraint Based Routing
CDM: Code Division Multiple Access
CDMA /CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
CDMA: Code Division Multiple Access
CMO : Oscillateur Magnétique de Compensation
DAS: Débit d'Absorption Spécifique
DB: decibel
DCCU: DC Connection Unit
DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol
DNS: Domain Name System
DNS: Domain Name System
DRU: Double Radio Unit
DXU: Distribution Switch Unit
EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution
EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution
EEG: Electro Encéphale-gramme
EMC: Electromagnetic Compatibility
FTP: File Transfer Protocol
GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS: General Packet Radio Service

GPRS: General Packet Radio Services
GSM: Global System for Mobile Communications
GSM: Global System for Mobile Communications
HTTP: Hypertext Transfer Protocol
ICCAN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
ICMP: Internet control message protocol
IDM: Internal Distribution Module
IETF: Internet Engineering Task Force
IMAP: Internet Message Access Protocol
IMEI: International Mobile Equipment Identity
IP: Internet Protocol
IRC: Internet Relay Chat
ISOC: Internet Society
KE: Kenya
Kg: kilogramme
KW: kilowatt
LS : Liaison spécialisée.
Mm: millimeter
MMS: Multimedia Messaging Services
MMS: Multimedias service
MO: Managed Object
MPLS: Multi-Protocol Label Switching
MTU: Maximum Transmission Unit
NAT: Network Address Translation
NIP: Numéro d'Identification Personnel
OMT: Operation and Maintenance Terminal
PBC: Power and Battery Cabinet
PCM DP : Pulse Code Modulation Digital Path
PCM: Pulse Code Modulation
PDN: Public Data Network »
PEMF : champs électromagnétiques pulsés
PIN : Personal Identification Number
PLMM: Public Land Mobile Network
PRBT: Personal Ring Back Tone
PRU: Passive RU
PSA: Power Supply Adapter
PSK: Phase Shift Keying
PSN: Praticien de santé Neuropathe
PSTN: Public Switched Telecom Network
PSU: Power Supply Unit

RBS: Radio Base Station
RDC : République Démocratique du Congo
RF: Radio Frequency
RGS : Référentiel général de sécurité
RSL : Ressource Scientifique Libre
RU: Replaceable Unit
RX: Receiver
RXU: Receiver Unit
SAR: Specific Absorption Rate
SC: Site Cell Configuration
SIM: Subscriber Identity module
SMS: short Message service
SMS: Short Message Service
SMTP: Simple Mail Transfer Protocol
SO: Service Object
SRU: Sub RU
SSL: Secure Socket Layer: version obsolete de TLS.
SSQIU: Subjective Speech Quality Improvements Uplink
TLS: Transport Layer Security
TMA: Tower Mounted Amplifier
UFRAGL : Université Francophone des Grands Lacs
UMTS: Universal mobile telecommunications system
VAC: Volts, Alternating Current
VDC: Volts, Direct Current
W: Watt
WAP: Wireless application protocol
WCDMA: Wide band Code Division Multiple Access

TABLE DES MATIERES

DECLARATION	3
CERTIFICATION	4
IN MEMORIUM	6
REMERCIEMENTS	7
ABSTRACT	8
RESUME DU TRAVAIL	9
SIGLES ET ABREVIATIONS	10
TABLE DES MATIERES	13
INTRODUCTION	20
ETAT DE LA QUESTION	23
CONTEXTE D'ETUDES ET PROBLEMATIQUE	33
HYPOTHESE ENVISAGEE	35
OBECTIFS DU TRAVAIL	36
APPORT GLOBAL DE LA RECHERCHE	37
DELIMITATION DE LA RECHERCHE	38
PLAN DU TRAVAIL	38
METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	39
METHODES UTILISEES	40
TECHNIQUES UTILISEES	41
DEROULEMENT DE L'ENQUETE ET COLLECTE DES DONNEES	43
PREMIERE PARTIE: LES THEORIES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES	44
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES	45
I.1. FINALITES DES RESEAUX INFORMATIQUES	51
I.2. PRIVILÈGES ET INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES	52
I.2.1. PRIVILÈGES DES RESEAUX INFORMATIQUES	52
I.2.2. INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES	54
CHAPITRE II. HISTORIQUE ET REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES	55
II.1. HISTORIQUE DES RESEAUX	55
II.1.1. LA COMMUNICATION VISUELLE	55
II.1.2. TELEGRAPHE	57
II.1.2.1. TELEGRAPHE AERIEN (OU OPTIQUE)	57
II.1.2.2. TELEGRAPHE ELECTRIQUE	59
II.1.2.3. TELEGRAPHE SANS FIL	61

II.1.3. TELEPHONE	62
II.1.3.1. TELEPHONE MECANIQUE ET OPTIQUE	62
II.1.3.2. TELEPHONE ELECTRIQUE	63
II.1.3.3. TELEPHONE PORTABLE	65
II.1.4. LA RADIO NAVIGATION	67
II.1.5. LA TELEVISION	68
II.1.6. LES SATELLITES	71
II.3.1.7. INTERNET	76
II.2. REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES	81
CHAPITRE III. CLASSIFICATION DES RESEAUX INFORMATIQUES	82
III.1. CLASSEMENT DES RESEAUX INFORMATIQUES SELON LES DOMAINES D'APPLICATION	82
III.2. CLASSIFICATION DES RESEAUX SELON LES DISTANCES COUVERTES ET LA TAILLE	84
III.3. CLASSEMENT SELON LES TYPES D'INFRASTRUCTURE	88
III.4. CLASSIFICATION DES RESEAUX SELON LES DEBITS DE TRANSMISSION	90
III.5. CLASSEMENT DES RESEAUX SELON LA MOBILITE (OU LE MODE DE TRANSMISSION) ...	91
CHAPITRE IV. TOPOLOGIES DES RESEAUX INFORMATIQUES	92
IV.1. TOPOLOGIES DES RESEAUX	92
IV.1.1. TOPOLOGIE PHYSIQUE	92
IV.1.1.1. LES RESEAUX EN BUS	93
IV.1.1.2. LES RESEAUX EN ETOILE	94
IV.1.1.3. LES RESEAUX EN ANNEAU	96
IV.1.1.4. LES RESEAUX MAILLES	97
IV.1.1.5. LE RESEAU HIERARCHIQUE	97
IV.1.1.6. LES RESEAUX MIXTES	98
IV.1.2. TOPOLOGIE LOGIQUE	99
IV.1.2.1. LA TOPOLOGIE PAR CONTENTION	99
IV.1.2.2. LA TOPOLOGIE PAR INTERROGATION	100
IV.1.2.3. LA TOPOLOGIE DE PASSAGE DE JETON	101
CHAPITRE V. LA COMMUTATION DES RESEAUX INFORMATIQUES	102
V.1. RESEAUX A COMMUTATION	105
V.2. DIFFERENTS TYPES DE COMMUTATION	106
V.2.1. LA COMMUTATION DE CIRCUITS	106
V.2.2. COMMUTATION DE MESSAGES	107
V.2.3. COMMUTATION PAR PAQUETS	108
V.2.4.. COMMUTATION DE TRAMES	111

V.2.5. COMMUTATION DE CELLULES	112
CHAPITRE VI. LES SUPPORTS DE TRANSMISSION	113
VI.1. LA QUALITE DU CIRCUIT DE DONNEES	114
VI.2. CARACTERISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	115
VI.2.1. LA BANDE PASSANTE	115
VI.2.2. BRUITS	116
VI.2.3. DEPHASAGE OU DISTORSION	118
VI.2.4. AFFAIBLISSEMENT	119
VI.2.5. CAPACITE LIMITEE	119
VI.3. LES PRINCIPAUX SUPPORTS DE TRANSMISSION	120
VI.3.1. LES PAIRES TORSADEES	120
VI.3.2. LES CABLES COAXIAUX	122
VI.3.3. LA FIBRE OPTIQUE	123
VI.3.4. LES TRANSMISSIONS SANS FIL	125
VI.3.4.1. LES FAISCEAUX HERTZIENS	125
VI.3.4.2. ONDES RADIOELECTRIQUES	126
VI.3.5. LES AUTRES TRANSMISSIONS	126
CHAPITRE VII. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DES RESEAUX INFORMATIQUES	127
VII.1. LES ORGANISMES DE NORMALISATION	127
VII.2. LES PROTOCOLES RESEAUX	133
VII.2.1. LE MODELE OSI ET LA PILE DE PROTOCOLES	134
VII.2.2. LES LIAISONS DE PROTOCOLES	136
VII.2.3. LES AVANTAGES DES LIAISONS DE PROTOCOLES	138
VII.2.4. LES PILES STANDARDS	138
VII.2.5. LES TROIS CATEGORIES DES PROTOCOLES RESEAUX	140
VII.2.5.1. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE APPLICATION	141
VII.2.5.2. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE TRANSPORT	142
VII.2.5.3. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE RESEAU	143
A. LES PROTOCOLES ROUTABLES	143
B. LE PROTOCOLE SPX/IPX	144
C. LE PROTOCOLE TCP/IP	144
D. LE PROTOCOLE NetBEUI	147
VII.2.6. L'INSTALLATION DES PROTOCOLES	148
VII.3. LE MODELE DE REFERENCE OSI	148
VII.4. LE MODELE TCP/IP	151

DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESEAUX DE TELECOMMUNICATION	154
CHAPITRE VIII. RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS MOBILES	155
VIII.1. LES DIFFERENTES GENERATIONS DES RESEAUX MOBILES	156
VIII.1.1. GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)	156
VIII.1.2. GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)	158
VIII.1.3. EDGE (ENHANCED DATA FOR GSM EVOLUTION)	158
VIII.1.4. UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM)	159
VIII.2. ARCHITECTURE ET FONCTIONNEMENT DES RESEAUX MOBILES	160
VIII.3. NOTION DE COUVERTURE CELLULAIRE	161
CHAPITRE IX. ARCHITECTURE DU RESEAU GSM	165
IX.1. LA BSS (BASE STATION SUB-SYSTEME) OU SOUS SYSTEME RADIO	167
IX.1.1. MOBIL STATION (MS)	167
IX.1.2. LA BTS OU STATION DE BASE (BASE TRANSCIEVER STATION)	168
IX.1.2.1. DIFFERENTS TYPES STATIONS DE BASE (BTS)	171
IX.1.2.2. COMPOSITION ET ROLE DES ELEMENTS D'UNE BTS	172
IX.1.2.3. ANTENNES	173
IX.1.3. LE BSC OU CONTROLEUR DE STATION DE BASE (BASE STATION CONTROLLER)	185
IX.1.4. LE SOUS-SYSTEME RESEAU NSS (NETWORK STATION SUB-SYSTEM)	185
IX.1.4.1. LE MSC (MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER)	186
IX.1.4.2. LE VLR : (VISITORS LOCATION REGISTER)	186
IX.1.4.3. LE HLR (HOME LOCATION REGISTER)	186
IX.1.4.4. L'AUC (AUTHENTICATION CENTER)	186
IX.1.4.5. EIR (EQUIPEMENT IDENTITY REGISTER)	187
IX.1.5. LE SOUS-SYSTEME OPERATIONNEL OSS (OPERATING SUB-SYSTEM)	187
CHAPITRE X. LES RESEAUX GPRS, EDGE ET UMTS	188
X.1. LES RESEAUX GPRS	188
X.2. LES RESEAUX EDGE	190
X.3. LES RESEAUX UMTS	191
CHAPITRE XI. LES DIFFERENTS MODES DE COMMUNICATION AVEC UN TELEPHONE MOBILE	194
XI.1. LE MODE VOCAL	194
XI.2. LE MODE SMS (Short Message Service)	195
XI.3. Le MMS (MultiMedia Messaging Service)	196
XI.4. LE MODE DE L'INTERNET MOBILE	197
XI.5. ANTENNES RELAIS DE TELEPHONIE MOBILE	198

TROISIEME PARTIE : MODELISATION DU SYSTEME ET IMPACT DES ONDES ELECTROMAGNETIQUE SUR LA SANTE HUMAINE.....	203
CHAPITRE XII. CADRE SYSTEMATIQUE DE LA RECHERCHE.....	204
XII.1. DEFINITION DES CONCEPTS CLES	205
XII.1.1. USAGE	205
XII.1.2. TELEPHONE PORTABLE	205
XII.1.3. ONDES ELECTROMAGNETIQUES.....	214
XII.1.4. ANTENNES RELAIS	219
XII.1.5. SANTE HUMAINE.....	219
XII.2. PRESENTATION DES AGENCES DE TELECOMMUNICATIONS CONGOLAISES	221
XII.2.1. L'AGENCE « AIRTEL »	221
XII.2.2. L'AGENCE « VODACOM ».....	222
XII.2.3. L'AGENCE « ORANGE »	224
XII.2.4. L'AGENCE « TIGO »	225
XII.3. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDES.....	228
XII.3.1. PRESENTATION	228
XII.3.2. GEOGRAPHIE.....	229
XII.3.3. HYDROLOGIE.....	229
XII.3.4. RELIEFS.....	230
XII.3.5. ENVIRONNEMENT.....	230
XII.3.6. BREF HISTORIQUE DE LA RDC.....	231
XII.3.6.1. PREHISTOIRE	231
XII.3.6.2. ROYAUMES ET EMPIRES.....	232
XII.3.7. COLONISATION.....	233
XII.3.7.1. EXPLORATIONS PRECOLONIALES	233
XII.3.7.2. ÉTAT INDEPENDANT DU CONGO (1885–1908)	233
XII.3.7.3. LE CONGO BELGE (1908–1960)	234
XII.3.7.4. REPUBLIQUE DU CONGO (1960–1964)	237
XII.3.7.5. PREMIERE REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO SOUS MOBUTU (1964–1971).....	238
XII.3.7.6. REPUBLIQUE DU ZAÏRE SOUS MOBUTU (1971–1977)	239
XII.3.7.7. AFFAIBLISSEMENT DU REGIME ZAÏROIS (1977–1996).....	240
XII.3.7.8. PREMIERE GUERRE DU CONGO (1996-1997) ET EFFONDREMENT DU REGIME.....	242
XII.3.7.9. SECONDE REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO (1997–)	243
A. PRESIDENCE DE LAURENT-DESIRE KABILA (1997–2001).....	243
XII.3.7.10. DEUXIEME GUERRE DU CONGO (1998–2002).....	244
A. GOUVERNEMENT INTERIMAIRE DE JOSEPH KABILA KABANGE (2001–2003)	245

B. GOUVERNEMENT DE TRANSITION (2003–2006)	245
C. PRESIDENCE DE JOSEPH KABILA (2006–)	247
D. DIVISIONS ADMINISTRATIVES AVANT JUIN 2015	248
XII.3.8. ÉCONOMIE	249
XII.3.9. PAUVRETE ET INEGALITES	251
XII.3.10. ÉDUCATION ET RECHERCHE	252
XII.3.11. DEMOGRAPHIE	252
XII.3.12. SANTE	253
XII.3.13. CRIMINALITE	254
XII.3.14. ETHNIES	254
XII.3.15. RELIGION	255
XII.3.16. FEMMES	256
XII.3.16. CULTURE	256
XII.3.17. LANGUES	257
XII.3.18. MUSIQUE	260
XII.3.19. GASTRONOMIE	261
XII.3.20. SPORTS	262
XII.3.21. JOURS FERIES	262
CHAPITRE XIII. LES NUISANCES SONORES ET ELECTROMAGNETIQUES	263
XIII.1. L'OREILLE ET LES EFFETS DE LA POLLUTION SONORE	264
XIII.2. LES EFFETS DE LA POLLUTION SONORE	269
XIII.3. LES NUISANCES ELECTROMAGNETIQUES	275
CHAPITRE XIV. EFFETS DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DE	279
TELEPHONIE MOBILE SUR LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU ET INCIDENCES SUR LE SOMMEIL ET AUTRES SYMPTOMES.	279
CHAPITRE XV. CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DES TELEPHONES PORTABLES ET ANTENNES RELAIS, IMMUNITE ET CONSEQUENCES.	287
XV.1. ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES	288
XV.2. LES LIMITES D'EXPOSITIONS	291
XV.3. LES ARGUMENTS CONTRE LA NOCIVITE	297
XV.4. CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET SANTÉ	302
XV.5. CHAMPS ELECTRO-MAGNETIQUE D'EXTREMEMENT BASSE FREQUENCE	304
XV.5.1. LES CHAMPS 50 HZ DANS NOTRE ENVIRONNEMENT	304
XV.5.2. EFFETS CONNUS SUR L'ORGANISME	305
XV.5.3. CONSEQUENCES POUR LA SANTE	306
XV.5.4. CHAMPS ELECTRO-MAGNETIQUE DE FREQUENCE INTERMEDIAIRE	309
XV.5.5. CHAMPS ET ONDES ELECTRO-MAGNETIQUE EN RADIOFREQUENCE	310

XV.5.6. LES RADIOFREQUENCES DANS L'ENVIRONNEMENT	310
XV.5.7. EFFETS CONNUS SUR L'ORGANISME	312
XV.5.7. 1. EFFETS THERMIQUES	312
XV.5.7.2. EFFETS NON THERMIQUES	313
XV.6. ARGUMENTS SCIENTIFIQUES JUSTIFIANT L'APPLICATION IMMEDIATE DU PRINCIPE DE PRECAUTION A L'ENCONTRE DE LA TELEPHONIE MOBILE	314
XV.7. DES MULTIPLES SOURCES DE RADIOFREQUENCES, DES EXPOSITIONS DIFFICILES A EVALUER	322
XV.7.1. CARACTERISTIQUES DES PRINCIPALES SOURCES D'EMISSION	324
XV.7.2. LES RADIOFREQUENCES	325
XV.7.3. ENVIRONNEMENT ET SANTÉ	326
CHAPITRE XVI. EXPOSITION DU PUBLIC AUX RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES EMIS PAR LES STATIONS DE BASE DES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE ET PAR LES TELEPHONES PORTABLES	328
XVI.1. METHODES DE MESURE DE L'EXPOSITION	332
XVI.2. DAS LIES AUX TELEPHONES MOBILES	334
XVI.3. EFFETS POTENTIELS DES RADIOFREQUENCES SUR LA SANTE	335
XVI.4. VULNERABILITE DES ENFANTS	340
XVI.5. CONTROVERSE AUTOUR DES RADIOFREQUENCES, ENJEUX ET SOLUTIONS	342
XVI.6. REGLEMENTATION DES FREQUENCES	344
XVI.7. PRINCIPE DE PRECAUTION OU PRINCIPE D'ATTENTION	346
CHAPITRE XVII. PRESENTATION, ANALYSE, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS	349
XVII.1. PRESENTATION DES DONNEES	349
XVII.2. ANALYSE, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	355
CONCLUSION	358
RECOMMANDATIONS ET SUGGESTIONS	363
BIBLIOGRAPHIE	367
OUVRAGES	367
WEBOGRAPHIE	396
TEXTES JURIDIQUES	399
ANNEXES	400
Annexe 1 : QUESTIONNAIRE D'ENQUETE (EN FRANCAIS)	401
Annexed 2: QUESTIONNAIRE OF INVESTIGATION (ENGLISH)	406
Annexe 3: UTAFITI DODOZO (SWAHILI)	411
ANNEXE 4. LISTE DES FIGURES	416
ANNEXE 5. LISTE DES TABLEAUX	418

INTRODUCTION

Avec l'évolution actuelle, les technologies de l'information et de la communication, tout le monde voudrait avoir un téléphone pour essayer de soulager des tâches fastidieuses telles que le transport d'une lettre annonçant une nouvelle qui arrive en destination très en retard. Cependant notons que l'utilisation du Téléphone portable a essayé de répondre à certaines questions d'ordre capital. L'utilisation performante des téléphones dans les pays en voie de développement, en particulier en République démocratique du Congo démontrent une difficulté importante, du point de vue santé, malgré que cela reste encore une inquiétude cachée. C'est dans cette optique même, que nous démontrerons l'importance de l'usage du téléphone portable ainsi que ses effets néfastes sur la santé de l'utilisateur. Notons qu'à l'heure actuelle, l'usage du téléphone mobile a impacté tous les secteurs de la recherche, de l'économie, du social, de l'éducation, et pour ne citer que cela. Ce dernier contribue intensément à la création d'une nouvelle société et ainsi améliorer les méthodes traditionnelles de l'information et de la communication; L'usage du mobile cellulaire dans la vie fréquente est une prédisposition qui semble maintenant irréversible. Aujourd'hui, les téléphones mobiles proposent de nombreux mécanismes pouvant aider toutes les couches sociales chercheurs ou non à créer des aboutissements personnalisés¹.

Depuis la fin du XXe siècle, nous sommes entrés dans une ère nouvelle de communication avec un usage croissant des TIC. Serge Tisseron² va même jusqu'à dire que pour certains, et pas seulement pour les novices, « *la communauté virtuelle est d'ores et déjà plus importante que la famille ou les camarades de travail ou d'école. (...) Cette évolution bouleverse indubitablement l'identité sociale et les relations.* ».

Le téléphone portable est devenu de nos jours, l'objet omniprésent dans notre vie quotidienne et le premier moyen de communication dans le monde après la parole dite « *directe* » : en effet, d'après l'ARCEP³, plus ou moins de la moitié de la population des pays en voie de développement l'ont déjà adoptés, soit près de 75% de la population.

¹ *Le secteur de la téléphonie mobile a connu de profondes mutations en l'espace de quelques années. Le phénomène dit de « convergence » a progressivement Transformé des téléphones portables simples «feature phones » en terminaux Multifonctions beaucoup plus sophistiqués « smart phones ».*

² « *Virtuel, mon amour. Penser, aimer, souffrir à l'ère des nouvelles technologies* ». Serge Tisseron. Albin Michel, 2008

³ *3 ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes d'autorité administrative indépendante qui a pour mission de réguler la concurrence dans le secteur des communications électroniques et des postes*

Pas plus loin qu'hier, le téléphone portable, aussi appelé « *téléphone mobile ou téléphone cellulaire* » a révolutionné notre quotidien en nous permettant de communiquer sans fil, partout et surtout n'importe quand. Le téléphone portable n'est pas à proprement parler une invention à part entière mais un objet né de l'association de deux technologies connues depuis les années 40, notamment « *la radiodiffusion et la télédiffusion* » : Le génie du *Dr Cooper* de la société Motorola qui se situe dans l'utilisation de ces technologies comme moyen de communication.

En effet, après 15 ans de recherche, ce dernier a sorti en 1983 le tout premier téléphone sans fil considéré comme l'ancêtre de nos outils de communication actuels appelé « *le Motorola Dyana* » Bien que d'un prix exorbitant (3.995 US\$)⁴, ce premier modèle de 33 cm de long et de 793g avait été une véritable réussite commerciale de l'époque. Depuis, de nombreuses sociétés se sont lancées dans la téléphonie mobile telles Sony Ericsson, Nokia, Apple en sophistiquant un maximum de ces appareils, les rendant ainsi comparables à de petits ordinateurs de poche⁵.

De nos jours encore, les réseaux de connexion mobile permettent d'obtenir une connectivité plus sûre et moins coûteuse. Cependant, le potentiel des communications par téléphonie mobile dans la promotion de l'inclusion des entreprises va bien au-delà de l'utilisation des nouveaux moyens de communication afin de lier les appareils existants. L'utilisation répandue de la téléphonie mobile a créé des nouveaux canaux de distribution, instruments et modèles d'affaires afin de favoriser l'accès à l'information et à la communication des personnes traditionnellement exclue des autres secteurs formels. En 2009, il a été estimé que plus d'un milliard de personnes au sein des pays en développement sont en possession de téléphones portables mais n'ont pas accès à des services internet formels⁶.

⁴ Magazine the news time, New york, New technology evolution Article

⁵ Avant l'arrivée de la communication par téléphonie mobile, les institutions étaient dépendantes des lignes fixes et des satellites pour pouvoir connecter leurs agences, guichets automatiques, points de vente et autres appareils permettant de fournir des produits et services.

⁶ Aujourd'hui, Plus de 100 millions de personnes utilisent les services de téléphonie mobile dans le monde, pour la plupart en Asie et en Afrique, avec une progression très rapide dans ces deux régions. Le potentiel pour atteindre encore plus de personnes grâce aux services de téléphonie mobile est considérable. Alors que l'étendue des services de communication via téléphonie mobile reste modeste dans la plupart au Congo sauf pour quelques marchés novateurs ; une certaine accélération de l'utilisation de ces services est enregistrée dans plusieurs régions du pays. Le nombre de personnes utilisant ces services représentait seulement 2% de ceux ayant un abonnement au téléphone portable en 2003.

Ce nombre s'est accru de 54% en quelques années seulement. Le potentiel des téléphones mobiles pour promouvoir l'implication de la communication est largement reconnu. Cependant des incertitudes subsistent concernant l'environnement réglementaire et politique nécessaire au développement de son potentiel et aux implications de son succès. Les téléphones mobiles ont permis aux opérateurs de participer à l'offre de certains services de la communication au sein de marchés variés, simultanément augmentant la compétition et soulevant des problématiques réglementaires. La prolifération des modèles d'affaires et des choix technologiques s'ajoutent à la complexité des problématiques. A cela s'ajoute un autre facteur très important dans la communication mobile communément connu sous le nom des antennes relais ou antennes de liaisons ; Comme de la poule et de l'œuf, nous ne savons pas dire qui a commencé : « *L'antenne de téléphonie mobile ou le téléphone portable* ». L'un ne va pas sans l'autre, et nous ne sommes pas prêts à nous en passer.

On a longtemps appréhendé que les téléphones portables ne soient nocifs à la santé humaine, nous savons maintenant que oui, du moins, le contraire n'est toujours pas démontré. Plusieurs milliers d'études les plus savantes ont été effectuées dans le monde entier, en laboratoire comme en site ouvert, pour détecter les effets éventuels des ondes sur le corps humain et rechercher un possible lien avec les maladies. Cependant, d'une part, Certaines recherches laisse à voir que ces ondes transmissent par les téléphones portables sont en quelque sorte du venin qui ralentissent avant de tuer. D'autre part, des interrogations subsistent en ce qui concerne les enfants dont le système nerveux est en cours de développement et la structure même de leur crâne plus fragile pourrait subir les effets des ondes différemment. Pour cette seule raison, les études continuent même si les causes des certaines maladies ne sont toujours pas démontrés. L'évolution de la technique des protections met sur le marché des téléphones portables dont les normes comportent une marge de sécurité qui écarte certains effets, thermiques en particulier, tels que l'échauffement des tissus humains.

De même, les champs électromagnétiques générés par les antennes relais de téléphonie mobile sont volontairement maintenus à des niveaux écartant tout risque connu pour la santé et étroitement contrôlés si on en croit aux discours. Le principe de précaution exige que les études continuent au plus loin et que l'exposition aux ondes soit autoritairement maintenue à des niveaux modérés, suffisants sans plus, pour assurer la couverture du territoire et l'exploitation raisonnable des réseaux.

Comme évoqué précédemment, le secteur de la téléphonie mobile est resté clos pendant longtemps. Son ouverture relativement récente est *apriori* positive sur le plan de la communication et de la sécurité car elle concourt à une meilleure confiance dans les terminaux, en permettant aux utilisateurs de mieux maîtriser leur fonctionnement. Cette ouverture demeure cependant partielle, et ce pour plusieurs raisons⁷.

ETAT DE LA QUESTION

L'étude de la téléphonie mobile en République Démocratique du Congo, en général, est sans doute la première cependant plusieurs études, en effet, ont déjà abordé le phénomène selon des angles diversifiés partout dans le monde. De l'approche technique à l'approche microéconomique en passant par l'approche de la socialisation, la littérature est assez bien fournie sur le sujet. Les organismes internationaux privilégient souvent l'approche technique en mettant en exergue le phénomène du fossé numérique et les politiques d'accès qui l'accompagnent.

D'autres institutions telles que l'OMS, la Banque Mondiale se sont penchées sur l'effet de ces industries technologiques dans les économies nationales. Les rôles de la communication pour accompagner le développement des secteurs sociaux, politiques et économiques en RDC sont au cœur des débats ces dernières années particulièrement depuis l'émergence et la popularisation des technologies de l'information et de la communication notamment l'Internet et la téléphonie mobile. Ainsi de multiples perspectives théoriques ont vu le jour. Si les unes sont optimistes parce qu'elles convolent l'idéologie technique, les sceptiques, par contre, sont désabusés au regard des expériences et des pratiques du passé. Les pessimistes quant à eux sont méfiants car aucune technologie n'est neutre en soi. Cette étude se focalise sur les usages du téléphone portable dans les pays en voie de développement, et particulièrement en RDC. Elle tente de montrer et comprendre le sens que les acteurs de l'économie informelle congolais, souvent illettrés et évoluant dans ce secteur non structuré, accordent au geste même qu'ils posent, soit celui d'utiliser un outil personnel comme moyen pour faire fructifier leurs affaires économiques.

⁷ Parce que certains acteurs majeurs (*Apple et RIM en particulier*) maîtrisent intégralement la chaîne de conception des terminaux, depuis la plateforme matérielle jusqu'à la distribution des applications. Le rachat récent de Motorola par Google semble d'ailleurs indiquer que cette «verticalisation» du marché s'accroît. L'ouverture est aussi et surtout partielle parce qu'elle se limite au domaine applicatif des terminaux ; le domaine radio demeure quant à lui relativement opaque.

L'acception de l'économie informelle va dans le même sens que celle connue sous l'appellation « économie de survie » selon l'angle sociologique⁸; Plus précisément, il s'agit d'accéder aux significations profondes que revêtent les gestes individuels de ces acteurs dans l'univers d'une pratique généralisée.

En observant les récents développements sur le marché des télécommunications, on constate que le nombre de raccordements au réseau téléphonique fixe est en léger recul. Depuis peu de temps, le réseau téléphonique sert de support à la technique ADSL, qui permet l'accès à Internet à haut débit. Dans le domaine de la téléphonie mobile, et les besoins des utilisateurs se développent au-delà de la téléphonie, comme par exemple la transmission de messages courts (*SMS et MMS*) et l'accès à Internet. Dans ce domaine justement, le nombre d'accès à Internet à haut débit (*ADSL et CATV*) a quasiment doublé en quelques années. Parmi les évolutions qui se dessinent dans un avenir relativement proche, nous retiendrons les éléments suivants : La convergence des réseaux cellulaires.

En effet, les développements actuels montrent une évolution vers un réseau (*backbone*) de type Multiservices encore appelé multimédia, où prennent place les portails d'accès et les serveurs renfermant les contenus. On assiste donc à une convergence vers une nouvelle plate-forme de communication qui fait appel à un protocole unique (Internet Protocol) et qui est désormais accessible par des liaisons sans fil (*Wireless Access*) ou filaire (*Wireline Access*) ou encore par câble (*câble Access*) et ceci aussi bien pour la téléphonie, et à l'accès à Internet. En téléphonie, le standard DECT est largement utilisé dans les appareils téléphoniques sans fil.

A l'échelon suivant, celui du réseau métropolitain (*Metropolitan Area Network*), on entre dans le domaine qui est réservé à la boucle local sans fil (*Wireless Local Loop*), une technologie qui a subi un échec retentissant en raison de l'impossibilité d'obtenir une couverture des besoins à grande échelle. De nouvelles perspectives devraient toutefois se concrétiser ces prochaines années dans ce secteur. Enfin à l'échelon supérieur, celui qui permet une mobilité au niveau national, voire international, est occupé par des technologies plus connues comme GSM, GPRS, EDGE et dans le futur proche UMTS, cela développera la mobilité : L'avènement de ces moyens de communication sans fil a fortement stimulé les possibilités de mobilité des utilisateurs. La téléphonie mobile et l'envoi de SMS existent depuis plusieurs années.

⁸ *Cossette et al, 2002, p. 212.*

Toutefois, la possibilité d'envoyer et de recevoir des e-mails via Internet n'existe que depuis peu, et la réception de programmes TV sur son téléphone portable le sera prochainement. Ce qui nous conduit vers un avenir sans fil : Le boom des télécommunications des années 90 est entré dans l'histoire. Alors quels peuvent être les modes d'usages du téléphone portable par ces acteurs de l'économie informelle ? Existe-t-il des formes d'ajustements personnalisés avec le téléphone portable au niveau de ces publics ? Le recours à la téléphonie mobile instrumentalise et accompagne tout à la fois la subjectivation de l'utilisateur. Si l'on ne peut certes réduire le débat à une telle dichotomie, on peut néanmoins, se référer à cet espace de réflexion. En effet, dans le cadre de cette téléphonie mobile, la communication qu'elle soit directe ou différée, se complexifie d'autant plus qu'il s'agit pour l'individu de jongler entre des situations contradictoires, ambivalentes, dans une tension qu'il lui faut atténuer en tentant de réguler les contradictions. Nous voudrions également montrer dans cette recherche que la résolution de cette tension accompagne désormais un processus d'intégration à la société. On ne constate que l'usage d'un portable s'inscrit dans des rituels, ainsi que dans une logique, voire même dans une éthique de communication complexe. Celle-ci inclut une recherche d'affirmation personnelle, mais aussi une conception personnalisée des rapports entre l'intimité et l'espace public et des limites de l'espace privé.

Une étude des usages du mobile renvoie donc à l'intersection de l'identitaire et du lien social, et ce de plusieurs manières : avec le trio que constitue l'aventurier, l'intrus et le témoin ; dans le cadre d'une culture de situation, qui comprend de l'émotionnel; dans les contours d'une géographie redessinant les frontières entre l'intime et le public. Christian Licoppe et Jean-Philippe Heurtin⁹, étudiant le téléphone portable à l'aide d'une étude quantitative et qualitative, font état de la complexité des interactions entre les personnes du fait de la réciprocité et la juxtaposition des échanges. Licoppe¹⁰, en dressant une synthèse des recherches empiriques concernant les usages et les manières de conduire les relations interpersonnelles « *dans différentes configurations de l'ensemble des dispositifs de communication disponible* », distingue deux modalités d'entretien des liens interpersonnels. Il s'agit de modalités d'échange soit « *conversationnelles* », soit « *connectées* », « *qui constituent des configurations de gestion des relations téléphoniques entre proches qui organisent les pratiques et le sens que prennent celles-ci* ». Cependant, l'auteur souligne qu'une redistribution des pratiques de communication, permet de mentionner « le caractère corrélé des différentes pratiques de communication interpersonnelle ».

⁹ LICOPPE et HEURTIN, 2001

¹⁰ LICOPPE, 2002.

Dès 1995 *L. Von Klitzing* a montré à des doses faibles $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (ou $1,9 \text{ V}/\text{m}$) calculé au niveau du cerveau ; des modifications de l'EEG et des phases du sommeil.

Mann et al, ont montré ces modifications en 1996 à $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($13,7 \text{ V}/\text{m}$), en 1998 à $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($8,7 \text{ V}/\text{m}$) ils ont trouvé des effets plus faibles mais existants sur la perturbation des phases REM avec également des modifications du taux de cortisol plasmatique en réponse aux champs électromagnétiques pulsés. En 2002 à des doses beaucoup plus fortes ($5000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) ils ont montré dans les mêmes conditions l'absence de modifications expliquant ainsi certaines anciennes expériences négatives.

En 1998, *Eulitz et al*, avaient montré les modifications de l'activité électrique du cerveau sous l'influence des PEMF, mais certains avaient insinué qu'il y avait interférence avec l'appareillage (...) toutes les expériences ultérieures tiennent compte de ces critiques.

En 2002, *Beason et al*, confirment ces résultats sur des neurones aviaires; et cette même année, *Marino et al*, également confirment qu'il n'y a aucune interférence avec l'appareillage. Les actions sur l'activité électrique sont également confirmées par *Sidorenko et al*, la même année.

En 1999, *Borberly et al*, ont montré des altérations du sommeil en cas d'exposition pendant le sommeil. Ces travaux ont ensuite été confirmés en 2000 en soulignant de plus que l'EEG est modifié pendant le sommeil qui suit une exposition (*cas de l'utilisation d'un téléphone pendant les heures précédant le coucher*)¹¹, en précisant que ces modifications sont associées à la variation du flux de sang local cérébral. Ces différents travaux ont été confirmés dans le cadre du « *projet Perform* » financé par la communauté européenne.

En 2000, *Krause et al*, confirment également les modifications de l'EEG et En 2002 Krause rédige une revue des publications existantes confirmant les modifications de l'EEG et les perturbations des résultats aux tests. Et en 2001, *Lebedeva et al*, retrouvent ces effets sur le sommeil et expliquent toutes les conséquences sur la santé.

¹¹ *Huber et al. 2000*

En 2002 *Croft et al*, confirment encore ces effets et montrent qu'il n'est pas question seulement de doses mais également de temps d'exposition ce qui explique les discordances sur quelques expériences d'avant 2000. Ces remarques sur le temps d'exposition ont évidemment une importance primordiale pour les riverains d'antennes relais. Elles confirment également d'autres expériences telles celles de *De Jager* en 2002 qui précisent que des actions négatives sur le système immunitaire n'apparaissent qu'après 14 semaines d'exposition ou même un an ; *Li et al*, trouvent également des relations temps d'exposition / effets.

Ainsi les valeurs faibles d'exposition de certaines expériences sont de l'ordre de celles reçues par les riverains d'antennes relais qui courent alors le risque de voir l'activité de leur cerveau modifiée sans leur consentement (*contrairement aux utilisateurs de téléphone portable qui « consentent »*), avec des conséquences directes sur leur sommeil, leur santé.

Evelyn et al., en 2002 confirment les actions sur l'activité du cerveau, sur les résultats de tests cognitifs Toujours dans le domaine du cerveau mais au niveau de la barrière hémato-méningée (*BHM*) ou barrière sang-cerveau, il y eut depuis longtemps des résultats d'expériences telles celle de *Salford et al*, en 1994 qui montrent des effets négatifs à partir de $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (ou $1,9 \text{ V/m}$). Cette expérience a été confirmée en 2001 par *Persson et al*, à $2.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (ou 3 V/m) ainsi que par les équipes impliquées dans le programme de recherches français *Comobio* (à des doses plus fortes, seuil à $0,5 \text{ W/kg}$).

Si l'on fait intervenir le temps d'exposition prolongé des riverains d'antennes relais les doses d'apparition pourraient être encore plus faibles. La fuite au niveau de la *barrière hémato-méningée* est un « *effet biologique* » dont on ne connaît pas les conséquences à long terme mais dont les conséquences immédiates sont *les maux de tête, les migraines, la formation d'œdèmes locaux* : c'est donc bien un « *effet sanitaire* », qui a été montré dans des études épidémiologiques, pour les utilisateurs de téléphones portables. Cet effet sanitaire est susceptible d'affecter les riverains d'antennes relais. Il faut noter que ces doses reconnues responsables d'effets biologiques et sanitaires devraient être prises en considération par les responsables politiques pour établir des normes de protection: la règle serait alors d'appliquer un facteur de 50 aux valeurs les plus basses ayant montré un effet soit $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ divisé par 50 ou $0,02 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (soit $0,3 \text{ V/m}$)¹².

¹² Autriche, 2000

Si l'on ne tient pas compte des autres expériences en laboratoire portant par exemple sur le caractère génotoxiques ou dérégulateur des gènes qui apparaît à des doses plus faibles encore. Pour ces derniers effets, les mécanismes d'apparition sont démontrés, l'existence d'effets biologiques également, seuls manquent pour l'instant la preuve de l'existence d'effets sanitaires. Les mécanismes sont aussi établis en 2002, ils ne font pas intervenir de rupture de liaisons chimiques du fait de leur faible énergie mais par action directe au niveau ionique et membranaire des cellules.

Dans le rapport de l'ARCS¹³ : les publications relevées montrent des modifications de l'EEG mais pas toutes. Des raccourcissements de temps de réaction, de temps d'endormissement et de durée du sommeil paradoxal sont notés mais comme étant non confirmés. Il est noté que ces effets modestes ne semblent pas altérer le bien-être. Dans *le rapport Stewart*¹⁴ : sur l'animal, les modifications de l'EEG sont reconnues mais considérées comme mal caractérisées; des tâches d'apprentissage et de mémoire présentent des modifications. Les publications montrent chez l'homme des modifications soit au niveau des temps de "réaction de choix" soit au niveau des temps de "réaction de vigilance". Les modifications au niveau de l'EEG semblent parfois contradictoires. Les résultats suggèrent donc aux experts que l'exposition aiguë aux micro-ondes pulsées de téléphonie mobile à des niveaux inférieurs aux valeurs limite recommandées produit des effets d'amplitude suffisante pour modifier le comportement. Dans le rapport à *la Société Royale Médicale du Canada*¹⁵, les expériences ont montré des altérations du sommeil. Dans le rapport de *l'Académie française des Sciences*¹⁶ de nombreuses modifications sur le sommeil, sur des temps de réaction sont mentionnées.

Dans le rapport de *N. Cherry (2000)*, il est noté que de nombreuses publications montrent des effets sur l'EEG ainsi que les mécanismes d'action faisant intervenir les flux d'ions calcium (Ca^{2+}) ainsi que des similitudes entre ondes cérébrales et ondes des champs électromagnétiques pulsés ainsi que les conséquences en termes sanitaires : troubles du sommeil, vertiges, perte de mémoire, diminution de la concentration et maux de tête.

Huber R et al., avec des expositions à 1W/kg de 30 mn avant le sommeil montre que la puissance spectrale de l'EEG dans les bandes 9,75-11,25 Hz et 12,5-13,25 Hz en sommeil non paradoxal est augmentée pendant le sommeil qui suit l'exposition.

¹³ *Idem*

¹⁴ *Grande-Bretagne, 2000*

¹⁵ *Canada, 1999*

¹⁶ *France -19-20 Avril 2000*

Dans le rapport d'experts à la Délégation Générale de la Santé du *Dr Zmirou*¹⁷ () il est noté que le groupe d'experts est d'accord sur le fait qu'il y a une large évidence que l'exposition aux signaux des téléphones mobiles, à des intensités respectant les recommandations de l'ICNIRP, a des effets directs à court terme sur l'activité électrique du cerveau et les fonctions cognitives.

Le Prof. G. Hyland en Février 2002, déclare que les modifications d'activités électriques cérébrales sont liées de façon consistante aux actions néfastes sur la santé pour certains utilisateurs de téléphones mobiles et des riverains involontairement exposés aux radiations des antennes-relais, en confirmant par exemple la diminution de la durée du sommeil paradoxal. Il rappelle également qu'il existe dans les ondes de téléphonie mobiles des ondes en 8 Hz semblables aux bandes alpha du fonctionnement du cerveau. Il rappelle également l'importance des sensibilités individuelles (*dont les sujets électro-sensibles*).

Le rapport des sénateurs *Lorrain et Raoul de l'Office Parlementaire d'évaluation et de Choix Scientifiques et Technologiques*¹⁸ reconnaît ces effets biologiques mais “ sans que des conséquences sanitaires graves puissent être attendues dans l'état actuel des connaissances. A partir de 2000 les publications par exposition de volontaires sains apportent les confirmations qui manquaient (*entre autre les modifications des bandes alpha de l'EEG durant le sommeil, modification des temps d'endormissement, modifications de la qualité du sommeil*) avec de plus une harmonisation des protocoles expérimentaux.

Krause C. et al. Après une exposition à un téléphone GSM de 900 MHz (*0,25 W en moyenne, pic à 2 W*), une modification de la bande alpha ainsi que d'autres modifications sont observées. Les auteurs suggèrent que les champs de radiofréquence puissent avoir une influence sur l'activité électrique du cerveau et spécialement durant des tâches de mémoire¹⁹.

Freud G. et al., Après exposition au GSM (*2,8 Watt*) des sujets présentent une diminution des potentiels lents dans certaines parties du cerveau. Les auteurs concluent que l'exposition au GSM peut altérer l'activité cérébrale de préparation (*le processus d'information*)²⁰.

¹⁷ France, 2001

¹⁸ France, Novembre 2002

¹⁹ Neuro Report 2000

²⁰ J. Appl. Physiol (2000)

Koivisto et al, Après exposition au GSM les sujets présentent une modification de la mémoire de travail²¹.

Lebedeva N.N. et al, montrent, chez des humains endormis exposés aux ondes d'un téléphone mobile type GSM, une augmentation de la densité de puissance de la bande alpha et d'autres modifications de l'EEG. Les auteurs soulignent également la perturbation des phases du sommeil et les conséquences sur la santé²².

*Persson et al*²³, montrent à des puissances très faibles les effets sur la barrière hémato-méningée du cerveau et ses conséquences en termes de santé même en cas de "voisinage" avec un téléphone portable (*pollution électromagnétique passive signalée par Salford L. au colloque "Téléphonie mobile" -Bruxelles. 2000*) ;

Ivanov et al, trouvent des modifications de certaines régions du cerveau qui seraient dues à des effets directs des champs électromagnétiques sur les cellules des poils de chats.

Jech R. et al, L'exposition de sujets sous narcolepsie n'entraîne pas de modifications de l'EEG mais des changements sur les résultats de tâches après stimuli. Ils trouvent une diminution de temps de réponse en interprétant cela comme une diminution de la somnolence durant des tâches répétitives²⁴.

Hinrikus H. et al, montrent après exposition à un GSM 450 MHz (AM 7 Hz), des modifications de la bande alpha au niveau de l'EEG; la fréquence de modulation la plus efficace est 7 Hz²⁵.

Hinrikus H. et al, avec les mêmes expositions montrent les mêmes effets sur la bande alpha de l'EEG et ne notent pas de changements au niveau des potentiels évoqués visuels²⁶.

Croft R.J. et al, Après exposition à un téléphone mobile GSM les sujets présentent sur l'EEG, une diminution de la bande 1- 4 Hz dans l'hémisphère droit et

²¹ *Neuro Report 2000*

²² *. Crit. Rev. Biomed. Eng. 2001*

²³ *BEMS 2001*

²⁴ *Bioelectromagnetics (2001)*

²⁵ *EBEA 2001*

²⁶ *Biological Effects of EMFs, meeting (2002)*

une augmentation de la bande 8-12 Hz dans le site postérieur central. L'exposition altère aussi les potentiels évoqués visuels²⁷.

Hamblin D.L. et al, Après exposition à une fréquence de 900 MHz (GSM) à une puissance maxi de 2 W ils trouvent des modifications à des tâches d'exécution (*temps de réponse, amplitude de réponse*)²⁸.

Borbely A.A. et al, Québec, Canada montrent une modification de l'EEG et du sommeil. Ces modifications sont dues, pour les auteurs, au caractère pulsé des micro-ondes des téléphones mobiles GSM²⁹. *Krause*, Québec, Canada passe en revue les publications sur le sujet et montre les effets sur l'EEG et les processus cognitifs. Il faut remarquer également que les CEM à basses intensité sont connues par le milieu médical pour leur interaction avec l'EEG, le sommeil.

Mausset et al, montrent qu'une exposition à haute énergie peut entraîner des lésions neuronales même sur un temps court. Et *De Jager et al*, montrent les actions à long terme des basses fréquences sur le système immunitaire ;

Huber et al, montrent les actions sur le flux sanguin local cérébral et sur l'EEG pendant le sommeil et l'éveil³⁰.

Chia S.E, montrent une augmentation des maux de tête en fonction de la durée d'utilisation quotidienne d'un téléphone mobile cellulaire³¹.

Santini R et al, montrent une augmentation des plaintes d'inconfort, de chaleur sur l'oreille en relation avec la durée et le nombre d'appels par jour et montrent la liaison entre le sexe ou la proximité d'une antenne relais et la fréquence de plaintes notamment en termes de troubles du sommeil, maux de tête, fatigue, dépression, perte de mémoire, vertiges, cette étude montrent également la liaison entre l'âge et la position des sujets par rapport à l'antenne relais³².

²⁷ *Clinical Neurophysiology* (2002).

²⁸ *Proceedings of the Workshop on Applications of Radio Science, 2002; Leura. Australia.*

²⁹ *BEMS* (2002)

³⁰ *J. Sleep Res.* 2002 Dec

³¹ *Health Persp.* (2000)

³² *Electromagnetic Biology and Medicine* 2002.

Kolodynski A.A., montrent les altérations des fonctions motrices et psychologiques d'enfants vivant autour d'une station de radio³³ et de résultats à des tests cognitifs chez des utilisateurs de téléphone portable.

Navarro E.A. et al, estiment que l'existence du syndrome des micro-ondes prend de plus en plus corps, avec des troubles du confort chez les personnes vivant à proximité d'antennes relais de téléphonie mobile: insomnies, troubles du comportement, irritabilité, difficultés de concentration, pertes de mémoire, vertiges, mal être général... Tout ceci, à des intensités de champs extrêmement faibles³⁴.

*Zwamborn*³⁵ *A.P.M. et al*, montrent les effets de la proximité d'antennes relais GSM (900 MHz), DCS (1800 MHz) et UMTS (2100 MHz) sur le « bien-être » des populations voisines. Le niveau d'intensité de champ était de 0,7 V/m (soit 0,13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), sans jamais dépasser 1,0 V/m (0,26 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), Ils ont observé statistiquement une modification du sentiment d'hostilité (GSM), une modification du temps de réaction (GSM, DCS, UMTS), une modification de la capacité de mémorisation (DCS, UMTS), une modification de la perception visuelle (UMTS) et de la vigilance (GSM). Ils mettent en évidence des différences entre groupe de sujets électro-sensibles et groupe de sujets non électro-sensibles.

*Richard Ling*³⁶, qui examine, lui, l'impact du téléphone mobile, le caractérisant par une communication plus directe, montre que son usage engendre davantage d'indépendance pour les acteurs et met quant à lui l'accent sur l'importance de la notion de contrôle et la perpétuelle négociation de celui-ci.

Notre réflexion s'inspire de ces travaux, elle s'appuie sur les enquêtes que nous avons réalisées depuis plusieurs années à l'aide de questionnaires et d'interviews semi-directifs approfondis, auprès de la population congolaise en moyenne d'âges entre 20 et 45 ans. Nous nous référerons aussi à des observations détaillées, *in situ*, retraçant le comportement de la population congolaise utilisant un téléphone portable et ne se sachant pas observés.

³³ *Total Environ.* 1996 Feb 2;180p

³⁴ *Electromagnetic Biology and Medicine*, (2003), 22, pp. 161-169

³⁵ *Rapport TNO, Gouvernement des Pays-Bas* (2003)

³⁶ *LING*, 2002.

CONTEXTE D'ETUDES ET PROBLEMATIQUE

Toute recherche dit « *scientifique* » naît toujours de l'existence d'un problème à résoudre, et à clarifier. Il y a problème lorsque nous ressentons la nécessité de combler un écart conscient entre ce que nous savons et que nous devrions savoir. Et résoudre un problème, c'est trouver les moyens d'annuler cet écart, de répondre à une question. Naturellement, il n'y a pas de recherche là où nous ne posons pas de question. *Einstein* a pu dire un jour : « *La Science est bien moins dans la réponse que dans les questions que l'on se pose* ». De nombreuses études semblent indiquer que la hausse de certaines pathologies, telles les cancers du cerveau ou de la parotide, serait liée à une utilisation intensive du téléphone, et s'expliquerait de façon scientifique par des cassures de brins d'ADN, un échauffement des tissus ou encore la modification de signaux intracellulaires.

D'autres études nous alarment sur le fait que le danger est plus grand sur les enfants, car leur cerveau est plus perméable aux ondes. Cependant, personne ne semble prendre en compte ces alertes. Des enfants plus jeunes chaque année, ont accès au téléphone portable, tout cela avec le consentement des parents et de la société. Chacun préfère se fier aux rapports optimistes publiés par d'autres savants, et une gigantesque polémique s'est installée ; Pourtant, nous avons déjà connu ce genre de situation dans le passé, et le futur a donné raison au principe de précaution : « *nous parlons de l'amiante et du tabac, pour ne citer que ces deux exemples* ». Ainsi, pour ne pas répéter les erreurs du passé, peut-être est-il bon de se pencher sérieusement sur ces exhortations, au nom du Principe de Précaution, et de la Santé Publique. C'est pourquoi durant cette recherche nous allons tenter de manière objective, de déterminer si les ondes électromagnétiques utilisées dans la communication cellulaires sont-elles néfastes et si les exhortations fournies en matière des communications cellulaires sont ou non censées, pour que le portable reste un outil utile et sans danger.

Les téléphones cellulaires ont fondamentalement transformé nos modes de vie. Ces nouveaux médias sont devenus une nécessité pour beaucoup d'entre nous, créant de nouveaux besoins et de nouvelles formes d'addictions³⁷. Si l'usage de ces derniers s'avère utile, certaines formes d'utilisation peuvent néanmoins se révéler problématiques.

³⁷ *Un congolais sur trois possède un téléphone portable et le réseau d'antennes relais est immense, on ne compte pas moins de 23000 antennes relais sur le territoire congolais. Mais contrairement aux autres types d'ondes, celles utilisées dans ces nouvelles technologies n'ont pas encore livré tous leurs secrets sur un éventuel effet sur la santé.*

Les applications qui découlent des nouvelles technologies façonnent chaque jour davantage notre environnement et modifient en profondeur nos vies tant sociales que professionnelles. Des outils tels que les ordinateurs, les fours à microondes, les téléphones portables, les télévisions, les radiodiffusions, les imageries médicales, les antennes satellites, sont devenus indispensables à nos activités quotidiennes. Effectivement, les ondes électromagnétiques³⁸ transmis par les téléphones portables ont été la source de très grandes inquiétudes pour la population de représenter un danger à long terme pour la santé.

Avec les pylônes des téléphones mobiles implantées partout dans la société et qui sont des sources d'émission des micro-ondes, pollution que la population congolaise doit subir, qu'il le veuille ou non ; désormais avec la prolifération de ces appareils, chaque personne peut devenir lui aussi émetteur des micro-ondes. Le sujet est complexe et sensible et l'incertitude a donné naissance à de nombreuses idées reçues parfois fausses, parfois fondées ... A cette allure, Une réponse concrète à ces interrogatoires est difficile à obtenir. En effet, d'un côté, les associations opposées à l'usage des téléphones mobiles et aux ondes électromagnétiques transmises par ces derniers montent au créneau ne voulant pas voir survenir un nouveau problème de santé publique mondiale, et de l'autre côté, les lobbys industriels défendent leurs intérêts. Donc cette guerre fait que cette réponse reste floue et qu'il existe un doute sur l'impact des ondes électromagnétiques des téléphones cellulaires sur la santé humaine, d'autant plus que certaines conclusions scientifiques peuvent être galvaudées par un battage médiatique en manque d'exclusivités.

Alors la question est très souvent présente dans nos esprits. Les ondes électromagnétiques utilisées dans les communications des téléphones mobiles et des Antennes relais sans fil ont-elles un effet néfaste sur notre santé ? Outre, Ces produits technologiques qui marquent durablement ce nouveau millénaire sont-ils sans risques sur la vie humaine et environnementale ?, C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude scientifique afin d'apporter une réponse exclusive à la confusion et a des fausses informations qui circulent dans la population des pays en voie de développement, plus particulièrement parmi la population congolaise.

³⁸ *Les ondes électromagnétiques, utilisées sur les réseaux radios et télévisés, sont apparues dès 1940. Mais il fallut encore 37 ans avant que le téléphone portable en lui-même n'apparaisse. C'est en effet en 1977 que Le Docteur Martin Cooper, (Directeur de la recherche et du développement chez Motorola), passe le premier appel avec un téléphone cellulaire... Mais depuis, son utilisation s'est largement répandue. La place qu'il occupe aujourd'hui dans la société est si importante, que l'on peut s'interroger: Pourrait-on s'en passer ? Objet insignifiant, il paraît inconscient de lui faire confiance, et pourtant qui est capable, au jour d'aujourd'hui, de prouver que cet objet du quotidien n'a aucun effet néfaste ? Personne. Et, pour cause, ce n'est peut-être pas le cas.*

HYPOTHESE ENVISAGEE

Selon MACE J., une hypothèse est « *une proposition, une donnée initiale admise provisoirement pour servir de base à un raisonnement, à une démonstration, à une explication et qu'on justifie par ses conséquences et par l'expérience. Elle peut être envisagée comme une réponse anticipée que le chercheur formule à sa question scientifique spécifique de recherche* »³⁹ ...

D'après RONGERE P., cité par MULUMBATI N., « *une hypothèse d'un travail scientifique consiste à une proposition des réponses aux questions que l'on se pose à propos de l'objet de la recherche, formulées dans des termes tels que l'observation et l'analyse qui puissent fournir une réponse* »⁴⁰.

L'angle d'approche de cette recherche Scientifique épouse la conception de Joseph Schumpeter, laquelle considère que toute explication d'un phénomène social commence avec l'individu car celui-ci est à la base de ce phénomène. Dans ce présent travail, il s'agirait préférablement de trouver des explications aux différents usages du téléphone portable dans les pays en voie de développement, précisément, en République Démocratique du Congo et leurs incidences d'ondes électromagnétiques sur la population. Ces explications permettraient de comprendre le sens des choix opérés par cette dernière, et cela mettrait en lumière des pratiques individuelles porteuses de significations fondamentales dans le maintien du lien social et économique.

L'approche compréhensive permettrait de saisir les motifs des actes individuels et d'exhumer la diversité des significations accordées. La présente recherche propose donc pour hypothèse l'adaptation aux différents usages des téléphones portables. Cependant, il ne s'agirait pas de se limiter à une description des divers modes d'adaptation mais de dépasser ces modes pour interroger les contraintes institutionnelles, culturelles et idéologiques à partir desquels s'inscriraient les usages.

³⁹ 10 MACE, G., *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*, PUL, Québec, 1988

⁴⁰ 11 MULUMBATI, N., *Manuel de sociologie générale*, édition Africa, Lubumbashi, 1980

De ce fait, l'on partirait de l'usage de ces modes pour analyser les formalités socioéconomiques de leur déploiement et nous tenterions de comprendre les logiques d'action caractéristiques des expériences et des acteurs en lien avec la téléphonie mobile.

En conséquence, pour résumer l'hypothèse de cette recherche qui tire sa résolution dans la prospection de l'authenticité en permettant de se rassurer de la véracité de la question posée au début de cette aventure scientifique. Et, Afin de bien mener cette étude, nous avons proposé une réponse transitoire à la question d'attaque libellée de la manière suivante : « « Les ondes électromagnétiques utilisées dans les communications des téléphones mobiles et des Antennes relais sans fil auraient un effet néfaste sur notre santé. Autrement-dit, Ces nouveaux produits technologiques, aussi appelés « *Nouvelles technologies de l'information et de la communication* » qui marquent durablement ce nouveau millénaire ne seraient pas sans risques sur la vie humaine et environnementale.

OBECTIFS DU TRAVAIL

Toute recherche scientifique se voulant utile doit avoir des objectifs. Eu égard, notre étude renferme un objectif global et des objectifs spécifiques. L'objectif global de cette thèse est double ; d'une part mieux comprendre les conditions d'échange de ressources et leurs usages et, d'autre part, prévenir le danger que comportent ces nouvelles technologies sur l'évolution de la vie humaine. Elle a pour objectifs spécifiques :

- L'adaptation aux usages des téléphones portables ;
- Comprendre les conditions d'échange de ressources et leurs usages ;
- Prévenir le danger que comportent ces nouvelles technologies sur l'évolution de la vie humaine dans les pays en voie de développement;
- Proposer des pistes des solutions enfin réduire le taux de radiation sur la population locale des pays en voie de développement et particulièrement en République Démocratique du Congo ;

APPORT GLOBAL DE LA RECHERCHE

En effet, ce travail au-delà d'être une responsabilité scientifique accompli, il est une opportunité pour nous de comprendre comment les incidences d'ondes électromagnétiques des téléphones portables et antennes relais peuvent être mis en symbiose pour permettre l'accroissement du niveau des nocivités et risques sanitaires sur la population congolaise qui se montrent fanatiques. Nous avons également voulu apporter notre délicate participation à l'essor socioéconomique du pays par cette recherche Scientifique en la matière et permettre à toute personne Scientifique de comprendre qu'avec les activités au quotidien; le monde a pris une autre tournure, celle de numérisation des affaires qui peut autant s'avérer préjudiciable.

Comme apport scientifique de notre part, nous soutenons le précepte du théoricien de la société du risque, BECK (1986) qui suggère que, la régulation des risques modernes peut être appréhendée comme une forme d'irresponsabilité organisée alors que l'on assiste à une institutionnalisation du risque comme enjeu public, la multiplication des instances de régulation ne suffit pas à éviter des crises alors même que l'attribution des responsabilités se complexifie.

Si la notion de risque est d'ailleurs devenue une référence pour qualifier une série de problèmes publics, elle revêt pourtant des significations différentes selon les auteurs et les secteurs publiques. La formule provocante de Beck nous amène donc à réfléchir sur notre apport scientifique; des notions de prudence, prévention et précaution dans le secteur de la téléphonie mobile et ses incidences d'ondes électromagnétiques, Analysées au cours de cette recherche que moi je pense être un chef d'œuvre Scientifique pour se prévenir de la nocivité de ces derniers qui sont devenus indispensables à nos activités quotidiennes.

DELIMITATION DE LA RECHERCHE

La délimitation de notre étude est une condition sine qua non pour mener une recherche fouillée et concrète surtout qu'il est difficile voire impossible de mener une étude sur tout l'espace territorial ou dans tous les domaines. Ce qui nous a obligés de délimiter notre travail dans le domaine et dans l'espace.

Le rayon d'action de la présente étude touche uniquement l'applicabilité, et l'impact des téléphones mobile dans les pays en voie de développement précisément en République Démocratique du Congo.

Dans le temps, nos recherches ont débuté en septembre 2012 pour s'achever en Décembre 2015.

PLAN DU TRAVAIL

Outre l'introduction et la conclusion ; la présente étude se présente sous trois chapitres :

- Le premier chapitre présente le fondement Conceptuel, La définition des concepts clés, et une brève présentation de la revue de la littérature théorique et empirique.
- Le deuxième chapitre met en exergue la méthodologie de la recherche ainsi que les procédés utilisées dans le traitement, suivi de l'interprétation des données, leur validité et la fiabilité des instruments de recherche ainsi que les limites de l'étude ;
- Le troisième chapitre est axé sur la réalité et les discussions issues de l'analyse des données en rapport avec l'utilisation des téléphones mobiles par la population Congolaise et l'impact de ces derniers dans la santé humaine. Ici nous tenterons de proposer une réponse provisoire à notre question de recherche : une Hypothèse à confirmer, infirmer ou nuancer.

METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Faisons revenir à l'esprit que nous nous sommes passionné à la zone de télécommunication et de Santé qui sont en fait des zones les plus fatales de l'économie du pays. Il convient donc de rappeler que le but de cette étude est de mieux comprendre les usages des téléphones mobiles ressources et, de prévenir le danger que comportent ces nouvelles technologies sur l'évolution de la vie humaine. Dans notre contexte, il s'agit de mettre l'accent sur une relation claire, structurée et cohérente entre les objectifs de notre recherche et les questions d'investigation. Pour mieux cerner notre problématique, et atteindre nos objectifs par la vérification sur le terrain de l'hypothèse que nous nous sommes proposées d'avance, nous avons jugé nécessaire d'élaborer un questionnaire et un guide d'entretien sous une approche mixte.

Rappelons qu'entre les deux indispensables approches, il existe une troisième option, une voie du milieu, qui combine les méthodes de collecte et d'analyse de données propres aux approches quantitative et qualitative⁴¹. Les différentes méthodes utilisées sont alors arrimées aux objectifs de la recherche de manière à approfondir notre entendement et notre éclaircissement des phénomènes observés. Pour notre cas, l'approche qualitative par observation, et par entretien nous a permis de récolter énormément d'informations du point de vue non quantifiables; alors que l'approche quantitative nous a donné l'occasion de recueillir des informations mesurables en vue de cerner singulièrement les dangers micro-ondes utilisées par les téléphones portables et les antennes relais sans fil dans les pays en voie de développement, précisément, en République Démocratique du Congo.

Il s'agira de décrire la méthodologie utilisée pour matérialiser la présente recherche. Intégralement, une méthodologie idéale s'appuie, non seulement sur un raisonnement rigoureux du processus d'élaboration d'un projet de recherche mais aussi, sur l'organisation des étapes faisant partie de ce processus méthodologique⁴². La méthode, pris dans le sens étymologique, signifie une marche raisonnée pour atteindre un but⁴³.

⁴¹ P. Mongneau, *Réaliser son mémoire ou sa thèse*, Presses de l'université du Québec, 2008, p.33

⁴² M. Grawitz, *Méthodes des sciences sociales*, Ed. Dalloz, 2001, p.431

⁴³ *Idem*

METHODES UTILISEES

Pour M. Grawtiz, la méthode est l'ensemble des opérations intellectuelles par lesquelles une discipline cherche à atteindre les vérités qu'elle poursuit, les démontre et les vérifie⁴⁴. Nous avons utilisées les méthodes suivantes dans cette recherche :

- ↘ La méthode historique** : Cette méthode nous a facilitée à mettre primitivement en œuvre une critique documentaire qui porte sur des aspects spécifiques à notre sujet d'étude. Nous avons utilisé des écrits, revues, journaux, encyclopédies et des nombreux ouvrages afin de cerner notre sujet, d'appréhender et d'avancer avec notre enquête sur le terrain. Bref, cette méthode nous a permis de remonter dans le temps afin d'avoir un aperçu général de notre possibilité de recherche.
- ↘ La méthode comparative** : ou L'approche comparative consiste tout naturellement à comparer les phénomènes à étudier. C'est une approche que l'on retrouve très utilisée dans les sciences sociales comme instrument de mesure. M. Grawitz estime que cette méthode vaut sur le plan scientifique ce que valent les types qu'elle compare; la comparaison aura de l'intérêt que si elle correspond à ce que la réalité a de plus significatif. Et cette méthode ne peut pas constituer à elle seule le tout de la recherche puisqu'elle dépend de la rigueur des faits et de celui qui les utilise⁴⁵. Cette méthode nous a permis de comparer les effets des téléphones fixes des téléphones mobiles, les différentes générations de ces derniers et leur impact nocif sur les organismes humains en remontant progressivement le temps.
- ↘ La méthode systémique** : La méthode systémique est un champ interdisciplinaire relatif à l'étude d'objets dans leur complexité. Pour tenter d'appréhender cet objet d'étude dans son environnement, dans son fonctionnement, dans ses mécanismes, dans ce qui n'apparaît pas en faisant la somme de ses parties, cette démarche vise à identifier : la « *finalité* » du système, les niveaux d'organisation, les états stables possibles, les échanges entre les parties, les facteurs d'équilibre et de déséquilibre les boucles logiques et leur dynamique, etc. Le plus souvent les principes sont utilisés sans être nommés, voire sans être identifiés⁴⁶.

⁴⁴ MWILO-MWIHI WATUTA Auguste, *Méthodes de Recherche en Sciences Sociales*,

⁴⁵ M. Grawitz, *idem*, p 437

⁴⁶ M. Grawitz, *idem*. p 469

La terminologie « *approche systémique* » est donc employée plus couramment dans certains domaines d'application que dans d'autres, pour y faire expressément référence, mais il existe bien une unité dont on peut identifier les articulations historiques⁴⁷. Un savoir-être, à la fois, en tant que comportement de la personne qui agit pour penser sur le système, que du comportement du système lui-même, que du comportement à mettre en œuvre par les acteurs qui veulent mettre en œuvre ce « *nouveau savoir-penser* », cette nouvelle façon de se représenter un système. Le savoir-être se situe essentiellement dans un nouveau regard porté sur les systèmes humains. Ce savoir-être consiste à appréhender les composants fondamentaux du référentiel d'accès à la complexité.

Pour notre cas, il s'est agi de comprendre en analysant chaque partie du système de communication électronique, Et bien d'avoir une vision globale des sous-systèmes appartenant au système à considérer et de leurs interactions récurrentes. Elle a donc privilégié une approche globale, holistique (*Théorie épistémologique selon laquelle on doit toujours considérer un énoncé à caractère scientifique relativement à l'environnement dans lequel il se manifeste*), la multiplication des perspectives selon différentes dimensions ou à différents niveaux d'organisation, et surtout la prise en compte des relations et interactions entre composants. Après avoir émis notre approche méthodologique, il nous a requis de décrire les outils de collecte de données. Le choix de ces techniques de collecte s'est effectué lors de la planification de notre projet d'étude ; Spécialement, avec l'approche quantitative, les instruments ont été déterminés avant le début de la collecte des données. Par contre, avec l'approche qualitative, le choix des instruments de collecte ont demeuré relativement plus souple... Ceci veut donc dire que, les éléments de notre questionnaire ont été précisés au fur et à mesure que se sont développés certains aspects de notre compréhension du phénomène étudié.

TECHNIQUES UTILISEES

Pour rendre opérationnelles nos méthodes, nous avons fait usage des techniques qui sont, selon M. Grawitz, définit comme moyen d'atteindre un but situé au niveau de faits, des étapes pratiques impliquant l'utilisation des machines, des gestes ou d'étapes et comprenant des procédés opératoires rigoureux, définis, transmissibles, susceptibles d'être appliqué à nouveau dans les même conditions, adaptées au genre du problème en cause⁴⁸.

⁴⁷ M. Grawitz, *ibidem*. p 47

⁴⁸ M. Grawitz, *Méthodes des Sciences Sociales*, 3ème éd., Dalloz, Paris, 1987, p. 334.

Pour bien collecter nos données et les traiter en toute objectivité, nous nous sommes servi des plusieurs techniques entre autres :

- ✚ La technique de l'enquête par questionnaire** a consistée à l'établissement d'un questionnaire au préalable, il s'est agi des questions logiquement hiérarchisées autour d'une de notre hypothèse de départ. Outre, la collecte des données s'est basée sur un questionnaire afin d'aborder un certain nombre de thèmes en lien avec le cadre conceptuel spécifique de notre étude. Ce questionnaire avait pour principal objectif d'identifier les principaux critères dont tiennent compte les usagers des téléphones portables pour évaluer la qualité de la prestation de service offert par les entreprises, de vérifier si celles-ci répondent adéquatement aux besoins des usagers et finalement connaître la satisfaction générale de ces derniers afin de déterminer leurs implications. Les résultats recueillis ont été validés, voire même crédibles, parce que les répondants avaient juste à cocher sur des modalités parmi un impact varié de réponses suggérées à travers le questionnaire. Faisons remarquer que cette technique ne pourrait pas s'appliquer à toutes les circonstances. Elle a été orientée vers les diverses catégories des gens, entre autres, des agents cadres des entreprises, distributeurs des téléphones cellulaires, des usagers pilotes et simples, dans un mode généralement indirect.
- ✚ L'entretien** : Cette technique a supplée aux insuffisances de la technique précédente, celle de l'enquête par questionnaire. Elle a consisté à une communication verbale entre moi et les divers enquêtés. Elle s'est adressée à toute la population à enquêter et a pris des formes variées selon le contexte : Elle a été de type semi-structuré, quand elle a été adressée aux agents-Cadres des Entreprises en RDC pour permettre les gains de temps ; Elle a été de type libre et quelque fois directif, quand, elle a été adressée aux usagers des téléphones portables. Mais il n'est pas exclu qu'au cours de la pratique elle a combinée le tout.
- ✚ La technique documentaire** : Elle nous a permis de récolter les informations existantes déjà dans les écrits.
- ✚ La technique de sondage** : Le sondage (*interview structurée*) est une des approches de collecte des données choisie pour la conduite de notre recherche, puisqu'il constitue un moyen adéquat pour se procurer des informations auprès des répondants. De même, il représente une stratégie préférable auprès des professionnels dans le domaine de la recherche scientifique... Cette technique de sondage m'a permis non seulement d'approfondir le sujet de recherche, mais aussi d'établir des liens fermés avec les enquêtés.

✎ **La technique d'observation directe** : Cette combine suppose une posture empathique et réflexive pour observer, écouter, « *être avec* ». Par ce biais, nous recueillons des informations sur les pratiques des personnes enquêtées, l'univers matériel et symbolique dans lequel elles évoluent⁴⁹. L'observation directe se repose sur une présence durable sur le terrain d'enquête. Elle permet aux enquêteurs de devenir des habitués des lieux (*en résidant dans un quartier, par exemple*), d'être ainsi reconnus d'un certain nombre d'utilisateurs et, par-là, de favoriser un dialogue informel. L'exploitation des données d'observation se fait parallèlement au déroulement d'entretiens semi-directifs. Elle nous a permis d'enrichir l'analyse des éléments recueillis par entretiens, en confrontant discours et pratiques. À la suite de ce processus méthodique, on pourra mieux aborder le décodage, l'examen et l'explication des résultats recueillis sur le terrain.

DEROULEMENT DE L'ENQUETE ET COLLECTE DES DONNEES

Nos enquêtes se sont déroulées du 26 Avril 2014 au 15 juillet 2015. La collecte de données s'est faite sur base d'un questionnaire. Les questions fermées à choix multiple ont été retenues afin de permettre à l'enquêté de choisir parmi les réponses proposées celles qui se rapprochent le plus de sa propre opinion. Les réponses obtenues nous ont permis de faire une appréciation objective de l'étude et d'en tirer une conclusion. Cependant, Les difficultés que nous avons éprouvées dans la collecte des données sont d'ordre opérationnelles liées à l'interview directe; certaines personnes, surtout celles du sexe féminin, ne voulant pas répondre à nos questions, d'autres ne les comprenant.

Compte tenu du grand nombre pour saisir toute la population cible, nous avons tiré un échantillon⁵⁰ aléatoire de 300 utilisateurs de réseaux mobiles dans toute la République Démocratique du Congo. Des résultats obtenus auprès de 300 personnes interrogées reflètent de manière plus ou moins satisfaisante ceux qui auraient pu être obtenus en interrogeant la totalité des utilisateurs dans les pays en voie de développement.

⁴⁹ 20 J.M. Bouroche et G. Saporta, op. Cit. p. 192 19

⁵⁰ *L'échantillonnage est une opération qui consiste à prélever un certain nombre d'éléments (un échantillon), dans l'ensemble des éléments à observer ou à traiter (la population). L'échantillon nous permet de tirer des conclusions au sujet d'un tout en examinant qu'une partie. Malgré cela, Nous ne nous sommes pas intéressés à l'échantillon lui-même, toutefois à ce qu'il est possible d'apprendre à partir de l'enquête et à la façon dont on peut appliquer cette information à l'ensemble de la population.*

PREMIERE PARTIE: LES THEORIES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES

Les réseaux sont nés du besoin d'échanger des informations de manière simple et rapide entre des machines. En d'autres termes, les réseaux de télécommunications sont nés du besoin de relier des terminaux distants à un site central puis des ordinateurs entre eux, et enfin des machines terminales, telles que les stations de travail et leurs serveurs. Dans un premier temps, ces communications étaient uniquement destinées au transport des données informatiques, mais aujourd'hui avec l'intégration de la voix et de la vidéo, elle devient de plus en plus complexe et de plus en plus préjudiciable à la santé humaine ainsi que la pollution de l'environnement. Avant de nous attaquer aux infrastructures réseaux, reprenons quelques notions théoriques de base sur les réseaux de télécommunications en général. Un réseau permet de partager les ressources entre les ordinateurs : données aux périphériques (*imprimante, connexion internet, sauvegarde sur bandes, scanné, etc.*).

L'histoire des réseaux informatiques remonte au déploiement des premiers réseaux de télétransmission (*télégraphe, télévision, téléphone, etc.*), qui débuta avec la révolution de l'informatique⁵¹. Depuis la fin des années 1960, les réseaux informatiques n'ont cessé de se développer. Ils sont d'abord nés du besoin de faire communiquer des terminaux distants avec un ordinateur central. Dans un premier temps, les réseaux informatiques étaient réservés à l'interconnexion d'ordinateurs et terminaux des grands laboratoires et universités ainsi que des centres de commandement militaire. Ensuite, L'idée était de permettre aux utilisateurs du grand « *public* » de différents équipements de communiquer entre eux. C'est ainsi, le réseau que se développa par de nombreuses étapes résultantes. Irrémédiablement, tous ces développements conduisirent au « *réseau des réseaux* » (*network of networks*⁵²) que nous expérimentons à ce jour comme « *Internet* », qui regroupe à la fois de développements technologiques et du regroupement d'infrastructures réseau existantes et de systèmes de télécommunications.

⁵¹ Le terme « *informatique* » provient « *d'information* » et « *d'automatique* », l'*informatique* étant le traitement automatique de l'*information*.

⁵² Ronda Hauben publica *The Internet: On its International Origins and Collaborative Vision* en 2004.

Le terme « *Un réseau* », est un concept utilisé dans plusieurs propriétés de la vie. Et peut-être défini comme une organisation de voies de communication entre différentes ou alors, comme un ensemble d'entités (*objets, personnes, ordinateurs, etc.*) interconnectées les unes avec les autres en vue de partager des informations et des services⁵³. Cette définition est générale et peut s'appliquer par exemple aux réseaux routiers, ferroviaires, réseau de télécommunications, réseau d'amis, réseau de neurones, etc. ... Par contre, « *Un réseau informatique* » est un ensemble *d'équipements homogènes (c'est lorsque tous les équipements d'interconnexion sont de même constructeurs : AppleTalk par exemple) et hétérogènes (c'est lorsque tous les équipements d'interconnexion reliés au réseau sont de constructeurs divers : c'est par exemple l'Ethernet.)* reliés entre eux permettant la circulation, la distribution et l'échange des informations... Et au-delà de son apparente complexité, les réseaux informatiques constituent une nouvelle étape du développement de la civilisation et ses avantages demeurent clairs pour tout le monde notamment « *la rapidité, et la précision, fiabilité* ».

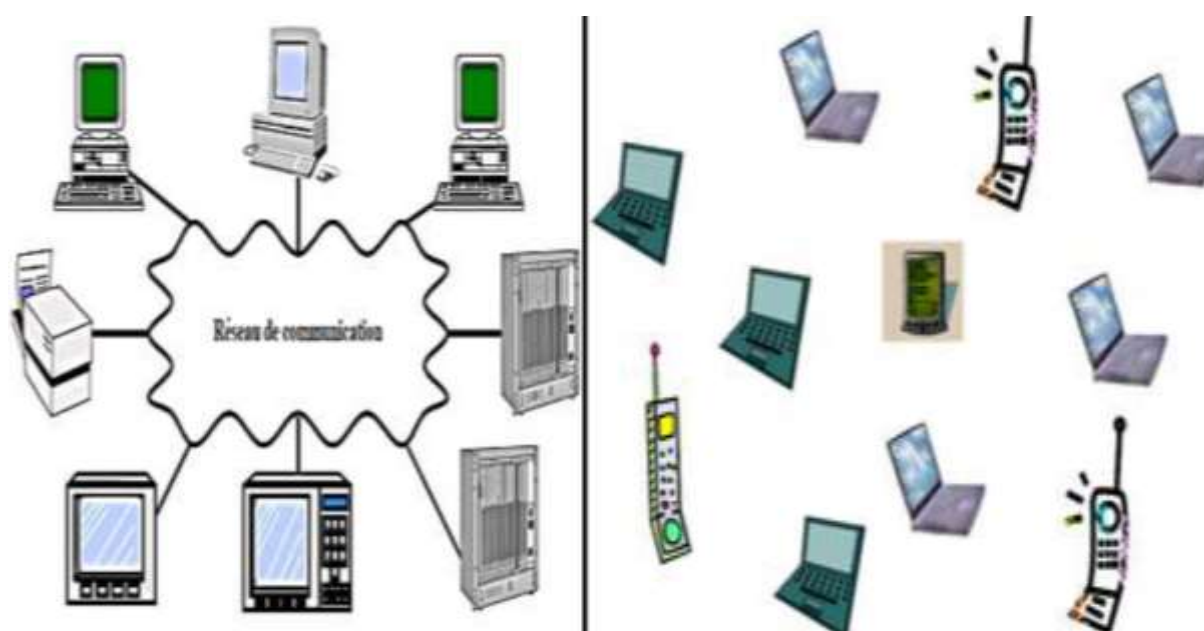


Figure 1. Réseau informatique filaire et Sans fil

⁵³ Saint-Jean A.O. Djungu, Réseaux par la pratique, Ed. CRIA2014

Comme la figure ci-dessus l'illustre, Un réseau est composé d'un ensemble de « *nœuds* »⁵⁴ aussi appelés « *station ou site* ». Un nœud est composé d'un équipement de traitement de données et d'un équipement dédié à la communication. Ce dernier assure des fonctionnalités plus au moins complexes selon le type de réseau utilisé. Dans le cas des réseaux locaux en général, cet équipement est appelé *contrôleur de communication*.

Un contrôleur de communication peut être intégré ou non à l'équipement qu'il relie au réseau. De nos jours, le contrôleur de communication est à l'intérieur du boîtier de l'ordinateur, donc le réseau est de plus en plus invisible. Chaque équipement est relié au support physique par l'intermédiaire d'une unité de raccordement au support appelée MAU (*Medium Access Unit*). Dans certains réseaux comme Ethernet, la MAU est aussi appelée « *transceiver (transmitter-receiver)* ».

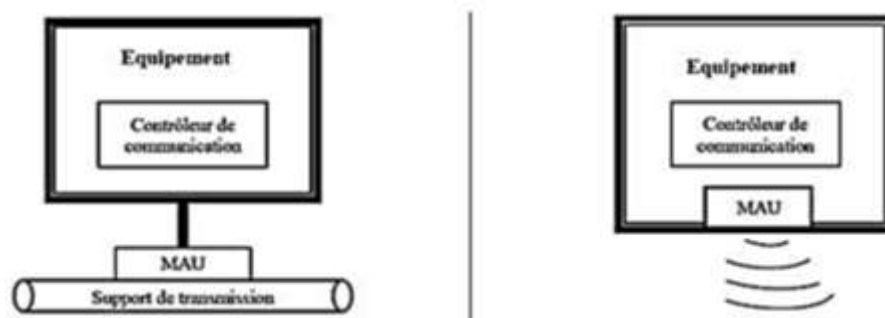


Figure 2. Connexion physique réseau filaire et Sans fil

Outre ces moyens informatiques, la mise en œuvre d'un réseau informatique suppose des infrastructures telles que : *des liaisons physiques (câbles, ondes hertziennes...)* et, *des équipements de transmission et d'interconnexion (carte réseau, routeur, Switch...)*, ainsi que *les protocoles de communication* permettant de définir de façon rationalisée la manière dont les informations seront échangées entre les équipements du réseau.

⁵⁴ Un nœud est l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions ou équipements (un ordinateur, un routeur, un concentrateur, un commutateur).

Bien qu'un réseau soit un ensemble de plusieurs ordinateurs reliés entre eux par un système de communication permanent. Et même s'il arrivait que nous relierions momentanément deux ordinateurs pour, par exemple, copier des données de l'un sur l'autre, nous ne pouvons pas vraiment parler de réseau. Puisque un réseau informatique doit nécessairement comporter trois caractéristiques fondamentales : *les machines d'un réseau doivent fonctionner comme un tout ; cet interfonctionnement doit être automatique ; et disponible et actif 24 heures sur 24* ... Tout de même, les réseaux informatiques comprennent généralement les points communs ci-après : *les Serveurs, les Clients, le Support de connexion, et les Ressources partagées.*

De nos jours, les réseaux demeurent un outil indispensable et concurrentiel à tous les domaines applicable à la vie. Et avec le développement d'Internet, les réseaux informatiques sont partout. En effet, les réseaux informatiques se retrouvent dans les installations industrielles, les véhicules, les bâtiments, les hôpitaux, les administrations, les campus universitaires, etc. ... De ce fait, les besoins de communication de données informatiques entre les différents systèmes deviennent alors multiples notamment : « *la transmission de messages, partage de ressources, transfert de fichiers, consultation de bases de données, gestion de transaction, télécopie* »... c'est ainsi que nous distinguerons deux grandes familles de réseaux :

1. Les réseaux informatiques

Les réseaux informatiques (*dont font partie les réseaux locaux*) est un ensemble de ressources matérielles et logicielles permettant à des utilisateurs distants de coopérer, d'utiliser des informations communes ou des logiciels communs, de partager des imprimantes, etc. Les lignes de transmission et les équipements de raccordement sont le plus souvent la propriété de l'utilisateur tels que :

- *L'informatique centralisée (Concentrée ou Canalisée : c'est un ensemble de réseau interconnectée des ordinateurs autonomes) ;*
- *L'informatique répartie (distribuée ou partagée : c'est un réseau où les ordinateurs sont rendus transparents à l'utilisateur à l'aide d'un système logiciel) ;*
- *L'informatique synergique (coopérative ou parallèle : c'est un réseau permettant de communiquer, d'échanger les informations, de partager des ressources, afin de coopérer pour réalisation des applications en commun)...*

Et leur mises en œuvre a été pour faciliter et organiser la communication et autres avantages tels que *La diminution des coûts grâce aux partages des données et des périphériques ; La régularisation ou standardisation des applications ; L'accès direct et en temps réel aux données automatisées...* Ces réseaux sont constitués des moyens à la fois matériels et logiciels mis en œuvre pour assurer les communications entre des ressources informatiques. Les entités qui communiquent au sein d'un réseau informatique sont des ressources informatiques dont on distingue deux types :

- *les ressources matérielles : C'est une partie informatique pouvant être employée par différents utilisateurs comme les équipements de traitement (c'est par exemple : les ordinateurs, les imprimantes, les scanners, qui sont les équipements de traitement des données automatisées) et les techniques de transmission de données automatisées (c'est par exemple : les modems, les cartes réseaux, les commutateurs, les routeurs, les câbles, qui sont des composants de transmission).*
- *les ressources logicielles: C'est un ensemble des Règles de communications entre les composantes et systèmes interconnectés, outre, ce sont les protocoles de communication. C'est par exemple : applications informatiques, jeux, bases de données.*

2. les réseaux de télécommunication

Les réseaux de télécommunication aussi appelés « *les réseaux de transmission des données* » peuvent être définis comme un ensemble de ressources (*lignes de transmission, prises de raccordement, modems, etc.*) permettant l'échange de données entre équipements distants. Cette catégorie de réseaux est particulièrement réservée pour des liaisons longues distances et dont les systèmes communicants ne sont pas nécessairement informatiques (*c'est par exemple : le traitement du signal, transmission analogique, etc....*).

Ces réseaux sont la propriété d'opérateurs ou FAI « *Fournisseur d'Accès Internet* » (*c'est par exemple : France Télécom, ATT, Arabsat ...*) qui louent leur utilisation et des services aux clients ... Les réseaux téléphoniques forment une génération des réseaux de télécommunication qui a précédé celle de l'informatique. Depuis quelques années maintenant, ces deux réseaux convergent l'un vers l'autre. En effet, les nouvelles technologies permettent le transport de la voix et des données sur les mêmes supports.

I.1. FINALITES DES RESEAUX INFORMATIQUES

Rappelons qu'un réseau informatique est une infrastructure de communication permettant le travail collaboratif et/ou les échanges entre personnes géographiquement séparées. Ceci étant posé, les objectifs d'un réseau sont généralement les suivants :

1. **La connectivité** : C'est une technique qui permet à plusieurs types d'équipements informatiques utilisant des logiciels différents de communiquer entre eux,
2. **Le partage des ressources** : C'est un procédé qui permet la segmentation d'un système informatique pouvant être employée par différents utilisateurs. Autrement dit, C'est rendre accessible à une communauté d'utilisateurs des programmes, des données et des équipements informatiques (*i.e. un ensemble de ressources*) indépendamment de leur localisation.
3. **La modularité** : (*Ajout graduel des performances*), elle consiste à utiliser un ensemble restreint d'appareils généraux pour tester leurs performances.
4. **L'implantation simple** : C'est une solution générale qui permet d'installer aisément et sans aucune difficulté les équipements informatiques selon leurs différentes configurations.
5. **L'utilisation facile** : C'est une disponibilité d'outils de communication libérant les utilisateurs de la connaissance de la structure du réseau ;
6. **La fiabilité⁵⁵** : C'est la capacité de détection et correction d'un dispositif à fonctionner sans défaillance (*sauvegardes, duplication*). Autrement dit, C'est une disposition du fonctionnement même en cas de problèmes matériels (*c'est par exemple, les applications militaires, bancaires, le contrôle des centrales nucléaires ou aérien...*).
7. **Une mise à jour aisée** : C'est un procédé qui permet aux réseaux informatiques d'évoluer et d'être modifiée selon les besoins des utilisateurs et des nouveaux équipements.
8. **La réduction des coûts** : l'accès à distance des matériels informatiques a considérablement réduit les coûts de ces derniers, en permettant ainsi aux différents utilisateurs de s'en procurer au prix standard (le PC, par exemple).

⁵⁵ En informatique par exemple, la fiabilité s'exprime par une durée qui correspond au temps moyen de bon fonctionnement d'un équipement.

I.2. PRIVILÈGES ET INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES

Un réseau informatique est essentiellement constitué de plusieurs machines et de matériels ayant besoin d'être reliés entre eux pour remplir leur fonction primaire. Il n'y a cependant pas que des avantages à s'en servir, mais aussi des inconvénients.

I.2.1. PRIVILÈGES DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les avantages offerts par les réseaux informatiques sont multiples et vont, en fait bien au-delà des privilèges quotidiens de l'informatique. Le problème de la communication entre les personnes et les services sont capital pour les entreprises depuis toujours, désormais l'adoption du travail en réseau est capable de lui apporter une réponse définitive. Ainsi, parmi les principaux avantages des réseaux informatiques :

1. ***Une meilleure communication (Facile et rapide)*** : Grâce aux réseaux informatiques, La communication entre les personnes est dorénavant plus aisée et l'information circule plus librement pour tout le monde y compris les différentes collaborations entre les entreprises et pour ne citer que cela. Mêmes les personnes travaillant dans des distincts endroits, en voyage ou chez eux, peuvent aussitôt se connecter au réseau et communiquer plus facilement en utilisant les supports et matériels de communication (*tels que, les emails, la messagerie instantanée, les lignes téléphoniques, la vidéoconférence ou le Skype,...*) pour pleinement en profiter.
2. ***Une Optimisation et gain du temps*** : Un réseau informatique permet identiquement d'améliorer et de gagner du temps sur le partage des fichiers et des données informatiques. Dorénavant, les utilisateurs arrivent à trouver et partager les données dont ils ont besoin. Depuis des années, cette fonctionnalité du réseau informatique est devenue la plus utilisée par les grandes organisations afin de maintenir leurs données d'une manière organisée facilitant les accès à distance pour les personnes souhaitées.

3. ***Une productivité accrue*** : Un réseau permet de donner à toute activité humaine, une vitesse d'exécution assez importante de la tâche ; l'exactitude et la fiabilité des outils informatiques entraînent des économies du temps et d'argent à tous les niveaux de l'activité humaine, particulièrement l'allégement des tâches à effectuer. Tout de même, il implique une communication permettant aux équipes professionnelles de se consacrer foncièrement à leurs missions. Beaucoup d'obstacles qui entravaient jusqu'alors la productivité tombent d'eux-mêmes, et les énergies de l'entreprise peuvent alors se concentrer sur les véritables objectifs. Succinct, Les réseaux informatiques créent une chaîne de collaboration entre les équipes.
4. ***L'accès et la connexion à distance*** : Avec un réseau, le téléphone n'est plus le seul moyen de contact avec les autres de partout dans le monde. Il permet sitôt de faire des partages de fichiers et des ressources et y avoir accès même à distance. Il est tout aussi possible, pour qui le veut, de faire des mises à jour de tous ces fichiers conservés. Cela ouvre par exemple, un accès aux différentes sociétés et clients qui souhaitent avoir des renseignements concernant leurs activités. Désormais un professionnel peut se connecter et trouver les informations ou les contacts dont il a besoin.
5. ***Une prise sur l'avenir*** : Les économies mondiales sont de plus en plus dépendantes de l'informatique. Nous ne pouvons ignorer que le réseau est devenu aujourd'hui le moteur de la croissance de l'activiste mondiale. Les réseaux informatiques deviennent de plus en plus la figure parfaite qui intègre les nouvelles technologies au fur et à mesure de leur apparition, ils évoluent et s'adaptent aux réalités de toute activité humaine, y compris celle de l'entreprise.
6. ***Un investissement efficace*** : La mise en réseau d'un plus grand nombre de nos équipements (*tels que ordinateurs, imprimantes, scanners, systèmes de stockage et de sauvegarde des données, télécopieurs et système téléphonique*), nous ouvre l'accès à l'ère numérique en nous permettant de connecter à d'autres utilisateurs ainsi qu'à maintes convenances. Elle permet aussi de profiter des versions réseaux des logiciels, toujours moins coûteuses que leurs équivalents poste à poste.

I.2.2. INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les conséquences fâcheuse et les nombreux risques que comportent les réseaux informatiques peuvent désavantageusement contribuer au mauvais fonctionnement de ces derniers et par conséquent altérer la qualité de son service ainsi son perfectionnement. Voici quelques-uns des inconvénients majeurs des réseaux :

1. **Problèmes de sécurité :** L'un des inconvénients majeurs des réseaux informatiques est les problèmes de sécurité impliqués. Si un ordinateur est connecté sur un réseau, il serait plus vulnérable à toutes sortes d'attaques. De même, un pirate informatique peut obtenir tous les renseignements qu'il désire ou alors un accès non autorisé à l'aide de différents outils. En cas de grandes organisations, divers logiciels de sécurité réseau sont utilisés pour empêcher le vol de données confidentielles et les classifiées.
2. **La propagation rapide de virus informatiques:** Si tout système informatique dans un réseau est affecté par un virus informatique, il y a une menace possible d'autres systèmes obtenant aussi affectés. Les virus se répandent sur un réseau facilement en raison de l'interconnexion des postes de travail. Un tel écart peut être dangereux si les ordinateurs ont importante base de données qui peut être corrompues par le virus.
3. **Coût élevé des « Setup »:** La mise en place initiale des coûts d'un réseau informatique peut être importante selon le nombre d'ordinateurs à connecter. Appareils coûteux comme les routeurs, commutateurs, concentrateurs, etc., peuvent s'additionner aux projets de loi d'une personne qui tente d'installer un réseau informatique. Il aura également besoin de se procurer des cartes d'interface réseau (*Network Interface Cards*) pour chacun des postes de travail, au cas où ils ne sont pas intégrés.
4. **Dépendance sur le serveur de fichiers principal:** Dans le cas où le serveur de fichiers principal d'un réseau informatique tombe en panne, le système devient inutile. Dans le cas de grands réseaux, le serveur de fichiers doit être un puissant ordinateur, ce qui rend souvent coûteux la conception et la configuration d'un système informatique.

CHAPITRE II. HISTORIQUE ET REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES

II.1. HISTORIQUE DES RESEAUX

Dans le cadre de cette étude; il est plutôt question de répertorier les différentes inventions technologiques qui ont permis à la science d'appliquer ces méthodes et techniques, en vue de l'échange d'informations numériques entre plusieurs systèmes informatiques⁵⁶. Cependant, l'invention des réseaux informatiques fut selon les différentes époques suivantes :

II.1.1. LA COMMUNICATION VISUELLE

La communication est l'échange d'informations entre un émetteur et un receveur. *Dawkins et Krebs (1978)* définissent la communication comme étant l'action d'un émetteur qui influence le système sensoriel d'un récepteur, ce qui change le comportement du récepteur au bénéfice du premier, le bénéfice se manifestant par une augmentation de la fitness de l'émetteur. Les signaux sont les véhicules convoyant l'information lors de la communication. Ils sont définis par *Otte (1974)* comme des caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales des organismes maintenus par la sélection naturelle parce qu'ils convoient de l'information. On notera cependant que ces traits peuvent transmettre de l'information sans avoir été originellement sélectionnés pour cette fonction. La communication visuelle est une spécialité liée aux domaines de l'image, du design graphique et de la publicité. Elle désigne l'ensemble des techniques d'information par l'image, l'illustration, le graphisme destinées au public. Elle concerne surtout l'ensemble des interactions accordant avec le mode de transmission de l'information ou des signaux visuels, c'est-à-dire, le sens associé à ce moyen de communication est la vue. Autrement, elle est une communication au moyen d'aides visuelles. C'est le moyen de transporter des idées et des informations dans des formulaires qui peuvent être lu ou regardé. Elle comprend: *des signes, la typographie, le dessin des ressources, la conception graphique, illustration, couleur et électroniques.*

⁵⁶ Autrement dit, c'est un ensemble des techniques associant les télécommunications et les matériels informatiques. Ainsi, le terme « télécommunications » fut inventé en 1904 par E. Estaurié et signifie « communiquer à distance ». Le but des télécommunications est donc de transmettre un signal, porteur d'une information (voie, musique, images, données...), d'un lieu à un autre lieu situé à distance

L'homme a toujours cherché à transmettre des messages. Dès la préhistoire, il a laissé sa marque avec des images et des symboles ainsi que la naissance des divers dispositifs de communication (*c'est par exemple, Tous les dessins sur les murs des grottes, tels que ceux dans la grotte de Lascaux en France, ou le système de signaux militaires qui permettait de faire circuler assez vite, de poste en poste, les ordres et les nouvelles d'importance étaient une forme de communication visuelle basée sur l'échange de quelques signes conventionnels qui codaient une signification globale du message*).

D'une façon succincte, La communication visuelle est un langage de communication primitif qui fait appel au sens de la vue pour être décodé, mais qui fait également appel à l'interprétation. D'où l'importance d'être précis et clair dans les visuels créés pour illustrer un message. Pour préciser davantage le message qu'il voulait communiquer, l'homme a développé divers langages symboliques, par exemple les hiéroglyphes chez les Égyptiens. Au fil du temps ceux-ci ont pris la forme de lettres d'alphabet telles qu'on les connaît aujourd'hui. Le premier procédé de reproduction des écrits fut *la transcription manuelle (par exemple, Les livres étaient écrits à la main par des moines-copistes, un travail très laborieux qui demandait une patience d'or. C'est probablement de là que vient l'expression « un travail de moine »)*. Ensuite *les caractères mobiles furent inventés*. Il s'agissait de petits cubes de terre dans lesquels on sculptait une lettre en renversé. Les cubes étaient placés côte à côte afin de former du texte, on les recouvrait d'encre que l'on transposait ensuite sur du papier. Cette technique fut perfectionnée par *Gutenberg* avec l'invention des caractères métalliques mobiles, ce qui lui a valu le nom de « *Père de l'imprimerie* ». Ce procédé n'a pas cessé d'évoluer jusqu'à aujourd'hui.

Avec l'arrivée de l'ordinateur et d'Internet, nous avons pu être en mesure de réaliser des documents infographiques et des pages Web, mais les établissements d'enseignement n'étaient pas encore branchés et les ordinateurs étaient équipés seulement de lecteurs de disquettes. Ensuite, les ordinateurs et les appareils de reproduction se sont améliorés à une vitesse folle, ce qui se poursuit aujourd'hui. L'affluence de supports, de procédés d'impression et de modes de diffusion disponibles pour communiquer visuellement un message ne cesse d'évoluer avec l'optimisation constante des fonctionnalités des logiciels et des procédés d'impression qui sont directement reliées à l'évolution des technologies. Aujourd'hui encore, devant cette multitude de possibilités, il est important d'en revenir à la base de la communication visuelle et de ne pas se laisser submerger par l'évolution technologique.

II.1.2. TELEGRAPHE

Le télégraphe (*du grec ancien télé : loin et graphein : écrire*) est un système destiné à transmettre des messages, appelés télégrammes, d'un point à un autre sur de grandes distances, à l'aide de codes pour une transmission rapide et fiable. Cependant, Le télégraphe n'est pas le premier système permettant de transmettre des informations à distance. Plusieurs peuples ont mis au point des procédés de communication permettant de répercuter une information sur de longues distances *à l'aide de signaux de fumée ou de torches placées sur des points élevés*. Ces systèmes étaient toutefois limités dans leurs possibilités d'expression ; le télégraphe s'en distingue par l'utilisation d'un alphabet ou code linguistique permettant de transmettre n'importe quel type de message, sans se limiter à un ensemble de messages prédéfinis.

La Chronologie du télégraphe nous exposera l'apparition et le développement des technologies des lignes de télégraphe à travers le monde. Les principales avancées se déroulèrent au cours du XIXe siècle. Elles modèlent en profondeur l'histoire de la presse écrite sur cette période. À cette époque furent inventées les principales technologies qui sont les fondations des moyens de télécommunications modernes (*duplex, multiplexages, système binaire, débit, commutateur, etc.*) :

II.1.2.1. TELEGRAPHE AERIEN (OU OPTIQUE)

- 1672 : Histoire du télégraphe commence par *Robert Hooke (1635-1703)* propose et expérimente en 1672 un système composé de trois mâts reliés par une poutre transversale. En partie gauche un cache derrière lequel sont placés les symboles en attente (*24 symboles différents*), puis chaque symbole est amené successivement en partie droite grâce à un palan⁵⁷.

⁵⁷ *La télégraphie Chappe », ouvrage collectif sous la direction de Guy DE SAINT DENIS, Strasbourg, Éditions de l'Est, 1993, 441 pages (FNARH : 19, rue Émile Bertin, BP 4020, NANCY CEDEX.)*

- ▼ 1695 : Ultérieurement, *Guillaume Amontons (1663-1705)* mène en 1690 au Jardin du Luxembourg⁵⁸, puis en 1695 entre Meudon et Paris une expérience qui consiste à transmettre un message entre deux points par le biais de signaux optiques émis par un poste, et intercepté par le poste suivant grâce à une longue-vue, qui lui-même le transmet au poste suivant, jusqu'au point d'arrivée. Chaque lettre de l'alphabet a son signal dont la signification n'est connue que des postes extrêmes. *L'écrivain FONTENELLE* décrit ainsi le dispositif de Guillaume Amontons en ces termes : « *Le secret consistait à disposer, dans plusieurs postes consécutifs, des gens qui par des lunettes de longue-vue, ayant aperçu certains signaux du poste précédent, les transmettaient au suivant, et toujours ainsi de suite* »⁵⁹.

- ▼ 1786 : C'est maintenant le tour de *Johann Andreas Benignus Bergsträsser (1732-1812)*, qui effectue un essai de son *Synthematographe* entre le Feldberg, Homberg et Philippsruhe, le 11 juin 1786 (*pour leur anniversaire de mariage*). Ils proposent l'utilisation d'un mât et de deux barres pivotant sur des axes pour former des symboles.

- ▼ 1790ou 1994 : Claude Chappe (*1763 - 1805*) est un ingénieur français. Il a Créé la première ligne de télégraphe optique communément reconnu sous le nom du « *télégraphe visuel mécanique* »⁶⁰, qui a relié Paris à Lille. Vers 1790, il expérimente différents modèles de télégraphie et met finalement en place un système à base de sémaphores. Les 2 et 3 mars 1791, il procède à une première expérience à Parcé puis la réitère à Paris. Le 26 juillet 1793, son invention est adoptée par la Convention Nationale et il est nommé ingénieur en télégraphe. En 1794, il achève l'installation de la première ligne entre Paris et Lille. Peu à peu, sa santé, surtout mentale, décline et il met fin à ses jours le 23 janvier 1805.

⁵⁸ Catherine Bertho, *Télégraphes et téléphones, de Valmy au microprocesseur*, Éditions Le Livre de Poche, Paris, 1981, numéro 5581, (ISBN 2-253-02832-0)

⁵⁹ Fontenelle, « Éloge d'Amontons », in *Éloges*, cité par Luke Flichy, *Une histoire de la communication moderne : Espace public et vie privée*, La Découverte, 1997, p. 17-18.

⁶⁰ *Le principe du télégraphe optique est simple. Il repose sur un mécanisme visible de loin, à l'aide d'une lunette et par l'utilisation d'un code de transmission. Il n'y a pas de modèle unique et les systèmes ont évolué, principalement en matière de solidité et de lisibilité. Comme il doit être visible de loin, le télégraphe est souvent placé en haut d'une colline, d'une montagne, voir sur des monuments existants. L'appareil s'appelle une station et comprend deux parties principales. La partie visible et une autre divisée en deux pièces. La première sert à la manipulation des bras, l'autre de salle de repas aux employés. Généralement toutes les parties du mécanisme sont en bois et en persiennes pour ce qui est exposé au vent. Enfin, deux stations sont généralement séparées par une distance moyenne de 10 kilomètres. Cependant, Le premier Télégraphe Chappe exploité est optique et totalement manuel. Il s'agit, au monde, du premier réseau de télécommunications d'envergure nationale. Et ce n'est que vers la fin du 18e siècle, que les premiers usages du télégraphe de Chappe sont dédiés à la communication militaire.*

II.1.2.2. TELEGRAPHE ELECTRIQUE

Le développement de l'électricité et de l'électrodynamique fait naître l'ère du télégraphe électrique. Ce dernier est un appareil qui envoie un code électrique. Ce télégraphe fonctionne tout comme une sonnette. En appuyant sur le bouton, on ferme un circuit électrique ; l'électricité passe alors par ce circuit et fait tinter un signal à l'autre bout du fil. On pouvait envoyer de cette façon environ 30 mots par minute. Chaque lettre a eu un code de sons long et court ; c'est ce qu'on appelle *l'alphabet morse ou simplement le morse*. Un point représente un son court et un tiret un son long. La lettre A est donnée d'abord par un son court, puis un long. La chronologie ci-dessous nous expose succinctement l'évolution du télégraphe électrique :

- ✚ 1753 : histoire du télégraphe électrique commence avec un projet théorique proposé par un auteur écossais anonyme qui entend relier un générateur d'électricité statique via 26 fils isolés et dédiés chacun à une lettre de l'alphabet et à un éclateur ;
- ✚ 1774 : *Georges-Louis Le Sage* construit et fit fonctionner à Genève un télégraphe électrique, constitué de vingt-quatre conducteurs, dont chacun aboutissait à un électromètre correspondant à une lettre de l'alphabet. Une machine électrostatique mise en contact avec l'autre extrémité du fil déplaçait les boules de l'électromètre ;
- ✚ 1816 : *Francis Ronalds* développe un télégraphe électrique primitif. Il l'expérimente en envoyant des messages le long d'un fil de 13 km de longueur encastré dans un tube de verre et enterré dans son jardin à Kelm Scott House (*extrémité ouest de Londres*). Ronalds propose son appareil à l'Amirauté britannique qui ne montre aucun intérêt et il renonce à pousser plus loin sans même faire breveter son travail ;
- ✚ 1820 : *Ampère* propose en ces termes devant l'Académie des Sciences un télégraphe fondé sur les principes de l'électromagnétisme ;
- ✚ 1832 : À partir de cette année, plusieurs inventeurs contribuent par leurs travaux à la conception du télégraphe électrique dont le diplomate russe *Pavel Schilling*, l'anglais *William Fothergill Cooke*, *Samuel Morse*, et *Charles Wheatstone*, un physicien.

- ✎ 1932 :L'américain *Samuel (Finlay Breese) Morse (1791 - 1872)* est peintre, inventeur et physicien américain. Il crée en 1826 à New York une société des Beaux-Arts qui deviendra plus tard la National Academy of Design. Morse s'inspire des travaux de ses prédécesseurs (*notamment André-Marie Ampère, François Arago*) pour inventer un système simple et robuste. Après un voyage en Europe, c'est en 1832, sur le Sully navire qui le ramène aux États-Unis, qu'il conçoit l'idée d'un télégraphe électrique après une conversation sur l'utilisation de l'électro-aimant et les travaux d'Ampère avec le géologue Charles Thomas Jackson. Le 20 juin 1840, un brevet est accordé pour l'invention du télégraphe électrique pour lequel son *assistant Alfred Vail* invente un code original de transmission, le code Morse⁶¹, via la transcription en une série de points et de traits des lettres de l'alphabet, des chiffres et de la ponctuation courante. Le point est une impulsion brève et le trait une impulsion longue. La télégraphie en morse fut utilisée par les forces armées pendant les guerres de Crimée, de Sécession ainsi que dans les tranchées de la première guerre mondiale. Au même instant apparurent les premiers postes TSF. Malgré tout, la radiotélégraphie joua encore un grand rôle pendant la seconde guerre mondiale car ce fut le seul moyen de communication entre la Résistance en France et le quartier général allié en Angleterre. C'est ce principe qui servira plus tard pour réaliser les premières liaisons radio.
- ✎ 1838 : le premier télégraphe électrique est construit par *Charles Wheatstone et William Cooke*, et mis en service entre Londres et Birmingham. Il fonctionne selon les principes suivant. Une ligne électrique relie deux points. À chaque extrémité est placée une machine constituée d'un émetteur et d'un récepteur.

⁶¹ *Le système est simple : des piles, un interrupteur, un électro-aimant et des fils sont suffisant pour transmettre les deux seuls signes possibles : un court ou un long (appelés un point ou un trait). Le premier appareil de Morse était équipé d'un crayon contrôlé électro-magnétiquement. Ce crayon imprimait des marques sur une bande de papier fixée sur un cylindre animé par un mouvement d'horlogerie. Samuel Morse découvre que les signaux sont transmis avec force sur une distance de 30 kilomètres environ. Il procède donc à l'installation de relais tous les 30 Km. Les opérateurs ont donc rapidement appris à comprendre ce nouveau langage par impulsion électrique plus ou moins longue. Le plus célèbre des premiers usages du morse en mer eu lieu dans la nuit du 14 avril 1912, lorsque le Titanic heurta un iceberg et coula. Les deux officiers radio restèrent à leur poste jusqu'au dernier moment, envoyant des messages de détresse. Ce fût d'ailleurs l'apparition du célèbre « SOS = ...---... ». On connaît la suite de l'histoire...*

II.1.2.3. TELEGRAPHE SANS FIL

La télégraphie sans fil (*appelée aussi TSF*) permet d'émettre des messages à distance en utilisant des ondes radio. Dès les premières expériences de transmission par radioélectricité faites par *Guglielmo Marconi* en 1895, les principes du télégraphe électrique Morse et le code Morse furent employés pour assurer les transmissions de messages par radio⁶². La transmission de l'information venait de s'affranchir des obstacles physiques, il ne restait plus qu'à perfectionner le système pour arriver aux systèmes de transmissions (radiotéléphonie et aux réseaux mobiles) du XXe siècle et du XXIe siècle.

Le code Morse, bien que tombé en désuétude pour les télécommunications privées, est encore utilisé comme système de transmission de secours dans l'armée et comme passe-temps chez les radioamateurs. Son mérite est d'être facilement décodable « *à l'oreille* » par un opérateur radiotélégraphiste spécialement formé et un émetteur-récepteur peu sophistiqué. La grande efficacité de la transmission radio en morse est la possibilité de décoder un signal « tout-ou-rien » avec un rapport signal/bruit très faible.

La modulation utilisée pour transmettre du code morse par radio est la « *modulation partout ou rien* » (en anglais *OOK = on-off-keying*) encore appelée abusivement CW pour des raisons historiques. Pour la transmission de messages, le télégraphe a ensuite été détrôné par le téléscripteur puis par le fax et enfin par Internet.

⁶² *L'émetteur est un manipulateur manuel ; un simple interrupteur alimente avec une batterie plus ou moins brièvement la ligne. Le récepteur est un électro-aimant connecté directement sur la ligne qui actionne un mécanisme chargé de transcrire le code par le marquage d'une bande de papier, qui avance au rythme des impulsions émises sur la ligne. Lorsqu'un opérateur appuie sur le manipulateur de son émetteur, le récepteur distant, tout comme le sien entrent en action, laissant une marque sur la bande de papier en émettant un bruit. Voilà pourquoi la bande de papier permet de garder une trace du message et de pallier une éventuelle absence de l'opérateur en réception.*

II.1.3. TELEPHONE

L'histoire du téléphone présente les chroniques lors du développement du téléphone dit électrique et inclut un résumé de ses prédécesseurs :

II.1.3.1. TELEPHONE MECANIQUE ET OPTIQUE

Avant l'invention du téléphone électromagnétique, des objets mécaniques et acoustiques afin d'envoyer la voix et de la musique à de bien plus grandes distances que celles que la voix ordinaire pouvaient accomplir. Les premiers téléphones mécaniques étaient basés sur la transmission du son à travers des tuyaux ou d'autres objets physiques creux et longs. Parmi les premières expériences, figurent celles entreprises par le physicien anglais Robert Hooke de 1664 à 1685. Un brevet de téléphone acoustique à câble tendu lui a été attribué en 1665, la version avec une corde tendue lui étant attribuée dès 1667⁶³. Le « *téléphone de l'amant* »⁶⁴, est également connu depuis des siècles. Il permet de relier deux diaphragmes avec du fil, en coton, en fer, etc., en utilisant les vibrations mécaniques afin de transmettre les ondes sonores d'un bout du fil à l'autre. L'exemple classique est le jouet pour enfants constitué de deux verres en plastique percés reliés par un fil. Au cours du XXe siècle, de nombreuses écoles maternelles et primaires se servent de ces téléphones pour éveiller les enfants aux rudiments de la vibration sonore.

Au cours du XVIIIe siècle, que le tube acoustique fut mis au point. Pendant une période de temps, au XIXe siècle, les téléphones acoustiques basés sur le tube furent commercialisés comme une alternative au téléphone filaire électrique d'Alexander Graham Bell en 1876, comme ils ne tombaient pas sous la protection de son brevet. Cependant dès que le brevet de Bell expira, l'industrie et le commerce du téléphone électrique montèrent en flèche, laissant son prédécesseur tomber dans l'oubli et poussant à la faillite un grand nombre de commerçants vendant ces appareils. En 1880, *Alexander Graham Bell* met au point un photophone, transmettant le signal par ondes lumineuses, sur une distance d'environ 200 m.

⁶³ Richard Waller, édité par R.T. Gunther. *The Posthumous Works of Robert Hooke, M.D., S.R.S. 1705 Réimprimédans "Early Science In Oxford", R.T. Gunther, Vol. 6, p. 185, 25*

⁶⁴ Un téléphone « tin-can », dit boîte de conserve, ou téléphone de l'amant, datant du XIXe siècle.

La portée de ces téléphones optiques était très limitée au départ, mais des centaines d'inventions (on estime leur nombre à 300) les améliorèrent, augmentant leur portée jusqu'à plus de 800 m sous de bonnes conditions. La société « *Pulsion Telephone Supply Company* », créée par *Lemuel Mellett* dans le Massachusetts aurait même fabriqué une première version d'un téléphone en 1888 dont on annonçait une portée de 3 km et le déploya immédiatement dans le domaine ferroviaire⁶⁵. Parallèlement, les tubes acoustiques ont longtemps été utilisés à bord des navires et bâtiments et on en retrouve encore aujourd'hui dans le monde militaire.

II.1.3.2. TELEPHONE ELECTRIQUE

L'histoire du téléphone électrique commence avec *Alexander Graham Bell* dans l'année 1876, l'année où il a utilisé le téléphone électromagnétique qu'il a inventé pour la première fois sur une distance test de 8,5 km à l'extérieur de son laboratoire à Boston. Mais il n'était pas vraiment le premier, car avant lui, déjà en 1860, *Philipp Reiss* a communiqué la parole par moyen de signaux électriques. Ce n'était qu'avec le téléphone de Bell et sa simplicité que cette technologie a réussi à atteindre une importance pratique. Bien sûr, il ne faut pas aussi oublier tous les collègues de recherche de Bell, qui se sont penchés sur la question de la communication des messages et l'électricité avant lui et dont les découvertes Bell n'aurait pu se passer en tant que base pour ses recherches, notamment *Samuel Finley Morse* avec son appareil de Morse, *Benjamin Franklin* avec son paratonnerre, *Georg Simon Ohm* avec sa loi d'Ohm et bien d'autres.

Alexander Graham Bell (1847 - 1922), comme son grand-père, se lance dans les méthodes d'enseignement pour les sourds et muets et dans l'étude des mécanismes de la parole. En 1870, il se rend au Canada et en 1871, à Boston, où il donne des conférences. En 1876, après avoir découvert que seul un courant régulier pouvait servir à transmettre la voix, *Graham Bell* produit le premier téléphone capable de transmettre et de recevoir la voix humaine, en respectant la qualité et le timbre. Ayant fait cette merveilleuse invention très tôt dans sa vie, *Graham Bell* est vite financièrement indépendant et le 9 juillet 1877, il fonde la « *Bell Telephone Company* ».

⁶⁵ *9The Pulsion Telephone, Nouvelle-Zélande, Hawke's Bay Herald, Vol. XXV, Iss 8583, 30 janvier 1890, p. 3*

Dans les premiers postes téléphoniques, la voix fait vibrer une plaquette en bois solidaire de crayons en graphite. Les vibrations de ces derniers établissent un contact électrique imparfait et donc, une résistance variable. Des batteries envoient dans la ligne un courant électrique rendu variable (« *modulé* ») en traversant cette résistance. Le signal acoustique est ainsi transformé en un signal électrique analogique (*car leurs variations sont analogues*). Dans le récepteur, le courant électrique venant de la ligne téléphonique est envoyé dans un électro-aimant qui agit sur une plaque souple dont les vibrations reconstituent la voix. Dans les années 1870, un service d'appel télégraphique est créé à New York. Les utilisateurs, à l'aide d'une manivelle, peuvent envoyer un signal au Central. Le nombre de tours indique d'ailleurs le service demandé (*Pompiers, police, médecin, ...*). En 1877, ce dispositif est basculé en réseau téléphonique. Dans les centraux, l'établissement des communications se fait manuellement par des opératrices appelées les « *Demoiselles du téléphone* ». En 1889, un certain Almon B. Strowger, entrepreneur de pompes funèbres à Kansas City, invente le premier autocommutateur électromagnétique parce que l'opératrice du téléphone, épouse de son concurrent, dirigeait les clients éventuels vers le bureau de son mari.

L'invention de la *lampe triode*, en 1906, par l'américain *Lee de Forest* rend enfin possible l'amplification du signal téléphonique qui devenait trop faible au bout d'une quinzaine de kilomètres. On raccorde les centraux entre eux et on constitue un réseau national. Le premier câble français, de Paris à Strasbourg, est mis en service en 1924 puis celui de Paris Lyon, en 1925. Jusqu'en 1950, l'établissement des communications téléphoniques internationales est réalisé manuellement par une opératrice. Il faut attendre 1971 pour que soit ouverte la liaison complètement automatisée entre la France et les Etats Unis. En 1970, les liaisons entre les centraux électroniques sont numérisées en adoptant le dispositif de modulation par impulsions codées (*MIC*). Le signal vocal est représenté par des échantillons mesurés 8.000 fois par seconde et chaque échantillon est codé avec 8 éléments binaires (*les bits*). Ce dispositif fabriqué en grande série dans les puces électroniques permet aujourd'hui l'accès direct des abonnés à des liaisons numériques à 64 Kbit/s. Dans l'organisation actuelle du réseau, les communications avec le monde entier sont établies par les centres spécialisés qui ont accès à tous les circuits internationaux (*câbles coaxiaux, faisceaux hertziens, fibres optiques, satellites, etc...*).

II.1.3.3. TELEPHONE PORTABLE

Presque un siècle après l'invention du premier téléphone fixe, le téléphone portable fut inventé durant la fin des années 60 par un américain du nom de Martin Cooper ... En 1876 le scientifique britannique Alexander Graham Bell, scientifique, ingénieur et inventeur dépose le brevet de l'invention du téléphone fixe, c'est une véritable révolution technologique qui jouera un rôle très important dans le développement de la société ... Grâce aux nouvelles technologies du début du siècle, en particulier la technologie radio développée à partir des années 40 et celle des « *cellules hexagonales* » permettant d'envoyer et de recevoir des signaux dans trois directions différentes. Le premier téléphone mobile fut inventé en 1973, par l'Américain Martin Cooper, directeur général de la division de la communication chez Motorola, et passe le premier appel de l'histoire depuis un téléphone portable en 1973. Il faudra attendre 1983 pour la validation du premier téléphone à être commercialisé, le *Motorola Dyna TAC 8000X* par la FCC (*Federal Communications Commission*)⁶⁶.

Depuis la fin des années 80 du dernier siècle, le réseau de téléphone est de plus en plus numérisé, surtout avec le trafic de données et de conversations téléphoniques entre les centres de commutation, mais aussi, avec l'apparition du RNIS en 1989, en partie déjà sur les derniers miles⁶⁷.

⁶⁶ *La commercialisation de ce téléphone a nécessité 15 ans de développement avec l'aide du Dr. Martin Cooper, et plus de 100 millions de dollars en coûts de recherche. L'appareil reste tout de même très imposant, mesurant 25cm sans compter l'antenne et pesant 783 grammes. A ce stade, le monde est encore loin du téléphone portable d'aujourd'hui que nous pouvons glisser dans sa poche. La batterie intégrée proposait une autonomie de 60 minutes en communication, mais présentait le défaut majeur de nécessiter 10 heures pour être rechargée grâce au chargeur d'origine (une heure avec un nouveau modèle de chargeur sorti plus tard). Ce téléphone était vendu sur le marché au prix de 3995\$ et était disponible en trois coloris: gris sombre, gris et blanc, et blanc clair ... Le téléphone évoluera ensuite vers des modèles plus petit, avec de nouvelles caractéristiques.*

⁶⁷ *Aujourd'hui, un abonné du téléphone peut obtenir automatiquement un des 32 millions d'abonnés pour son pays ou encore l'un des 650 millions d'abonnés dans le monde... Et c'est Ainsi, que le téléphone s'est rapidement développé d'un article de luxe réservé à la haute société à ses débuts, vers un appareil banal dont nous ne pourrions plus se passer dans le monde d'aujourd'hui.*

Depuis ce temps-là, les signaux de parole analogues sont transformés en données numériques au premier centre de commutation au plus tard, et ils sont transférés dans cette forme vers le centre de commutation cible et, si nécessaire, sont retransformés à la fin en signal de parole analogue. Et cette tendance continuera, puisque les informations numériques en combinaison avec les réseaux à commutation de paquets offrent des avantages imbattables où, contrairement aux réseaux classiques de commutation de circuits, la ligne n'est occupée que lorsqu'il y a aussi vraiment des données à transmettre, sans compter que dans ce cas, les données par paquets individuels peuvent prendre différents chemins en route vers leurs destinataires, dépendamment des charges sur les lignes, permettant aux entreprises de télécommunication d'utiliser leur infrastructure beaucoup plus flexiblement.

C'est en conséquence que plus tard, l'Internet fut utilisé pour le transfert des données de parole « Voice over IP (*VoIP*) ». On pouvait ainsi téléphoner partout au monde à un tarif local ou même gratuitement, vu que la communication doit être transmise de l'Internet vers le réseau téléphonique classique, et cela, dans la boucle locale de l'interlocuteur si possible. Ainsi, pour la première fois, les fournisseurs d'accès Internet pouvaient faire concurrence aux opérateurs de ligne fixe ... C'est seulement vers 1987 que La RDC, alors Zaïre, ne disposait que d'un réseau de téléphonie et de télégraphe de l'*OCPT (Office de Contrôle de Poste et Télécommunication)* ; c'est à cette même année que parut les premières téléphones cellulaires analogique en RDC. Il est à noter également que Vers la fin des 70 - 80, la RDC était un des pays le plus informatisé en Afrique, rivalisant ainsi avec l'Afrique du Sud, l'Algérie, le Nigeria et la Côte d'ivoire, pour devenir aujourd'hui le plus pauvre en infrastructure de télécommunications.

II.1.4. LA RADIO NAVIGATION

Un signal radio est une onde électromagnétique qui se déplace à la vitesse de la lumière. Correctement codé, ce signal peut transporter de l'information. C'est James Clerk Maxwell qui découvrit le premier que la variation d'un champ magnétique induit un champ électrique qui induit à son tour un changement de champ magnétique et que la transition produit une onde électromagnétique. Cette découverte fut mise en pratique par Heinrich Hertz et surtout par Édouard Branly qui découvrit comment les détecter. Hertz avait fait l'émetteur, Branly le récepteur. Il ne restait qu'à inventer l'antenne, ce dont se chargea un dénommé Popov. C'est Marconi qui assembla les pièces du puzzle pour réaliser la première communication radio. L'invention de Branly se limitant à la détection d'une onde en tout ou rien, les premières communications étaient en morse sur le mode transmission. Un peu plus tard, on découvrit la modulation qui permit alors de transporter un signal audio sur la radio, donc de la phonie, puis de la vidéo. La découverte des ondes hertziennes allait ouvrir l'ère du « sans fil » et métamorphoser les lourds, fragiles et coûteux câbles de cuivre en liaisons invisibles que constituent les ondes électromagnétiques ... L'invention de la radio est une œuvre collective, qui part de la découverte des ondes électromagnétiques, de l'invention du télégraphe et aboutit aux premiers matériels utilisables pour communiquer sans fil.

Le physicien italien Guglielmo Marconi est considéré comme le père des transmissions par radio ou TSF, bien que ses inventions se soient inspirées des découvertes de nombreux prédécesseurs (*Hertz, Popov, Branly et Lodge*). En 1894, Le physicien italien Guglielmo Marconi, âgé de 20ans, amorce des expériences dans le grenier de ses parents après avoir entendu parler des ondes hertziennes. Il profite de plusieurs inventions et découvertes pour réaliser la première installation de la radio, il utilisa alors *l'éclateur d'Hertz comme émetteur, l'antenne de Popov et le cohéreur de Branly comme récepteur*. A force de ténacité, il augmente progressivement la portée des signaux qu'il émet jusqu'à atteindre une portée de plus de 3km en 1895. C'est en 1954 qu'apparu le premier poste à transistor. Il permit à plusieurs stations d'émettre simultanément, et sans interférence, sur des longueurs d'ondes différentes.

Entre les années 60 et 70, la radio était en forme rectangulaire et possédait environ 4 postes de radio. Elle pesait entre 5 et 10 livres. Elle mesurait 60 cm de longueur, 30 cm de largeur et 25 cm de hauteur. À cette époque, il n'y avait que la station AM. Quelques années plus tard, le poste FM a fait son apparition. Ensuite, il y eu les grosses radios non portatives. Elle possédait les postes AM et FM avec 10 postes de radio.

II.1.5. LA TELEVISION

La télévision est un ensemble de techniques destinées à émettre et recevoir des séquences audiovisuelles, appelées programme télévisé (*émissions, films et séquences publicitaires*). Le contenu de ces programmes peut être décrit selon des procédés analogiques ou numériques tandis que leur transmission peut se faire par ondes radioélectriques ou par réseau câblé. L'appareil permettant d'afficher des images d'un programme est dénommé « *Téléviseur* », ou, par métonymie, « *Télévision* », ou par apocope « *Télé* », ou par siglaison « *TV* ». le 25 août 1900, le mot « *télévision* » est entendu pour la 1ère fois au congrès international de Paris pour la transmission d'images fixes, mot prononcé par le *Capitaine Constantin Perskyi*.

C'est vers les années 20 que les premiers prototypes de télévision apparaissent. *Tout de même, il est nécessaire d'admettre qu'il n'y a pas d'inventeur unique de la télévision*. La première télévision fonctionna ainsi : On explora l'image ligne par ligne en utilisant un disque mobile percé de trous en spirales. La lumière qui traversa ces trous tomba sur une cellule photo-électrique et produisit un courant variable. La transmission se fit par radio et à la réception, on recréa l'image par un mécanisme inverse. Ce procédé fut appelé « *système mécanique* ». L'histoire de la télévision remonte de 1856, avec *L'Abbé Giovanni Caselli* mettant au point un dispositif appelé le « *Pantélégraphe* » qui permet de transmettre par câble un texte ou un dessin. L'analyse du document se fait grâce à un stylet électrisé balayant horizontalement la feuille posée sur un cylindre métallique. En 1873, *Joseph May (télégraphiste irlandais)* découvre la photosensibilité du sélénium ce qui va permettre de convertir la lumière en électricité. En 1875, *John Kerr (physicien écossais)* fait varier l'intensité d'un rayon lumineux en appliquant un courant électrique (*cellule de Kerr*).

Le 16 janvier 1879, Constantin Senlecq publie la théorie d'un système de transmission d'images animées appelé le « *Télectroscope* » utilisant le sélénium comme cellule photo sensible qui balaie la surface dépolie d'une chambre photographique. En 1881, Senlecq améliore son Télectroscope en utilisant des écrans multicellulaires avec contacteurs rotatifs synchrones en phase reprenant l'idée de 1879 de George R. Carey qui préconise l'emploi de cellules au sélénium sous forme de mosaïques comme l'œil de la mouche. *Le 6 janvier 1884, Paul Nipkow* dépose le brevet de son disque analyseur d'images.

En 1897, *Karl Ferdinand Braun* invente le principe du tube à rayon cathodique. Ce tube cathodique de Braun à cathode froide, les électrons étaient arrachés à la cathode à l'aide d'une tension très élevée de l'ordre de 100 000V ; Le 22 janvier 1908, *Edouard Belin* présente son appareil de transmission de photographies par le téléphone, le *Bélinographe*. En 1923, l'ingénieur Ecossais *John Logie Baird* réussit à reproduire sur un écran des formes géométriques simples. Il a autant été le premier à produire une image télévisée d'objets en mouvement et dépose un brevet de télévision mécanique utilisant le disque de Nipkow, l'image ne comporte que 8 lignes. Le 25 mars 1925, Baird fait une démonstration publique de télévision mécanique « *au London département store Selfridges on Oxford Street à Londres* », mais n'arrive pas à régler correctement l'image et ne fait apparaître qu'une vague silhouette. Le 26 janvier 1926, ce dernier présente à la Royal Institution de Londres la télévision mécanique comportant 16 lignes, c'est la naissance officielle de la télévision.

En 1930, il commercialise le premier récepteur de télé grand public et crée la première société de télévision au monde. Quelques mois plus tard, il fit sa première démonstration publique. En 1929, la BBC émet des programmes expérimentaux de mauvaise qualité. Seules quelques centaines de privilégiés pourront regarder ces images. Il faut savoir que le système Baird était un système à 30 lignes. La BBC se reposera dessus jusqu'en 1936 où elle adoptera le système EMI (*haute résolution*) à 405 lignes. Le système Baird présentait l'avantage d'être économique et facile à mettre en œuvre. La BBC avait pu utiliser ses émetteurs radio existants à faible bande passante pour diffuser les programmes. La première pièce avec diffusion simultanée de l'image et du son a eu lieu en juillet 1930.

De son côté, *Vladimir Kosma Zworykin* émigre aux Etats Unis après la première guerre. Il sait que l'avenir de la télévision passe par l'électronique. En 1923, il prouve l'efficacité de son système avec un poste et une caméra, et le 29 décembre 1923, il dépose le brevet d'un tube analyseur d'image, connu sous le nom de « *l'iconoscope* ». En 1928, il s'intéresse aux travaux des Ets Belin (*France*) sur les tubes cathodiques de réception. Il en débauche l'ingénieur en chef. A la même époque, la société EMI est créée à la suite d'une restructuration de l'industrie du disque et de la radio britannique. Les chercheurs d'EMI s'orientent vers une solution toute électronique. En 1933, la société fait une démonstration de son dispositif à la BBC. La qualité est largement supérieure au système Baird (*3 fois plus de lignes et 2 fois plus d'images par seconde*).

Le 7 avril 1927, première démonstration publique de la télévision aux Etats Unis par les laboratoires Bells, utilisant une transmission hertzienne (*station AM de Whippany, 3XN*) et utilisant comme écran une dalle comportant 50 tubes néon avec 50 anodes chacun soit 2500 pixels, qui donnent une image de 50 lignes et 18 images par seconde. L'analyse de l'image se fait par disque de Nipkow. Ainsi que, les premiers essais d'enregistrement vidéo sur disque 78tr en 30 lignes et 12,5 images par seconde, c'est « *la Phonovision* ».

En 1988, arrivée de la télévision analogique avec le D2Mac Paquet (son en numérique et vidéo en analogique avec une compression temporelle), le format change aussi et passe pour la première fois en 16/9. Ce système n'aura pas le succès commercial escompté et sera définitivement abandonné en 2000 dû à l'avènement du numérique. En 1991, c'est la commercialisation par Philips du Compact Disc Interactif (CDI) sorte de CD-Rom sans ordinateur et du Vidéo Compact Disc (VCD), image et son numérique au format MPEG 1, ancêtre du DVD, les 2 formats furent des échecs commerciaux...

En 1995, c'est le lancement de la 1ère télévision à écran plasma. Et en décembre de cette même année intervient le lancement du nouveau format de disque vidéo numérique, le Digital Versatile Disc (DVD) traduit en français par disque numérique polyvalent. En 2003, lancement des premières « Box » permettant de regarder la télévision par l'ADSL. Et le 31 mars 2005, la télévision numérique terrestre (TNT) en MPEG 2 et MPEG 4 (payante) fait également son apparition un peu partout dans le monde... le 31 octobre 2008, début officiel de la télévision numérique en HD gratuite sur la TNT au standard MPEG 4 H264 avec une définition maximale de 1920 x 1080 pixels entrelacé...

Le 25 novembre 2009, début du retrait de Canal + de la bande III VHF qui sera affectée pour la radio numérique DAB+/DMB. Et en décembre de cette même année interviendra le lancement des premiers téléviseurs en 3D....

A partir de 2010, le monde assiste à des arrêts définitifs des émissions de Canal analogique et de la bande VHF 1 et 3 (canaux historiques) pour la télévision. Et à partir de 2012, c'est le début de la création des nouvelles chaînes sur la TNT gratuite en HD (6ter, L'équipe HD, Chérie HD, Numéro 23, HD1 et RMC Découverte)... L'année 2013, annoncera le lancement des premiers téléviseurs 4K soit 7680 x 4320 pixels ; enfin l'année 2016, couronnera l'abandon de la norme de compression MPG2 au profit de la norme MPG4 H264 pour les émissions haute définition de télévision numérique.

II.1.6. LES SATELLITES

Un satellite est un corps qui gravite en orbite autour d'un autre corps plus important. Il existe deux types de satellites: *les satellites naturels (ce sont des corps solides qui gravitent autour d'une planète de masse plus importante. Par exemple : la Lune autour de la Terre, etc.)*, *les satellites artificiels (ce sont, tout comme les satellites naturels des corps solides qui gravitent autour d'une planète de masse plus importante, mais ces corps sont créés et lancés dans l'espace par l'homme)*.

La guerre froide entre les Etats-Unis et l'Union Soviétique est au départ de l'histoire des satellites. Chacune des deux grandes puissances mondiales veut espionner l'autre et conquérir l'espace le premier. Mais Il a fallu attendre 1945 pour que le concept de satellite puisse voir le jour. C'est en effet, le britannique Arthur Charles Clarke qui introduit le premier, le concept de communication par satellite. Au début des années 1960, les communications téléphoniques internationales restent très difficiles car les câbles sous-marins ont une capacité réduite. De même la télévision ne permet pas encore de réaliser des émissions en « directs » sur de très longues distances. Un projet est alors avancé : construire un satellite de télécommunications. L'Union Soviétique invente le premier satellite artificiel : SPOUTNIK 1. Il est mis en orbite le 4 octobre 1957. Le 3 novembre 1957, les russes lancent SPOUTNIK 2 avec à son bord, « *la chienne Laïka* » et enfin le 15 mai 1958, c'est le tour de SPOUTNIK 3. C'est que plus tard, le 18 décembre 1958, que La réplique américaine se fait attendre. Les Etats Unis placent afin sur orbite le satellite SCORE. Il sera opérationnel pendant 34 jours en activité, période durant laquelle sept messages lui furent transmis par télex.

En 1961, un accord est signé entre la *Grande Bretagne, la France* et les Etats- Unis pour la réalisation du satellite (*Telstar*), qui est construit par « *Bell Telephone Laboratories* » et sera lancé de Cap Canaveral le 10 juillet 1962. Pour l'occasion la France construit en Bretagne (*Pleumeur-Bodou*) une antenne réceptrice composée entre autres, d'une portion de sphère de 64 mètres de diamètre. Le 11 juillet 1962, l'antenne capte dans d'excellentes conditions des images émises des Etats-Unis.

En cette même année, les satellites TELSTAR 1 et RELAY révèlent au grand public l'importance des télécommunications transatlantiques en diffusant des Etats Unis vers l'Europe quelques transmissions de télévision. TELSTAR 1 a également été chargé de relayer des communications téléphoniques entre Andover (*Etats Unis*), Goonhilly Downs (*Grande Bretagne*) et Pleumeur Bodou (*France*). Les domaines d'utilisation des satellites sont divisés en deux catégories :

1. les satellites d'application: (*ces satellites⁶⁸ sont occasionnellement mis en œuvre pour prendre en charge les télécommunications sur de vastes territoires et observer la Terre comme par exemple : l'observation, le géo-positionnement, la télédétection, la reconnaissance militaire, etc.*) :

✎ *Les satellites de télécommunications* sont utilisés pour transmettre des informations d'un point à l'autre de la Terre, notamment les communications téléphoniques, la transmission de données (*par exemple Thuraya*), les communications par satellite et les programmes télévisés. C'est le seul domaine qui génère des revenus très supérieurs aux dépenses. Les clients sont des sociétés privées ou d'anciens organismes internationaux privatisés qui disposent généralement d'une flotte de satellites en orbite. Ce domaine d'application est le plus grand utilisateur de l'orbite géostationnaire. Les principales flottes de satellites de télécommunications sont celles : Intelsat (*couvrant tous les pays du monde pour les communications générales*) ; Inmarsat (*pour les communications maritimes*) ; Eutelsat (*Hot-Bird, Atlantic Bird 3, W1, 2,3, ... et de la Société européenne de satellites, (Astra 1 et 2), pour l'Europe*) ; Arabsat (*couvrant depuis les années 1980 l'ensemble des pays de la Ligue arabe*). Dans cette même catégorie, nous retrouvons « *les satellites dits de diffusion directe* », qui sont en forte progression depuis une dizaine d'années : ils émettent des bouquets de chaînes payants et cryptés, ainsi que des centaines de chaînes TV & Radio en clair et gratuites, qui peuvent être reçues sur une antenne, de type parabole, domestique de petite dimension (*<60 cm*) et de faible prix, grâce à la forte puissance d'émission des satellites de diffusion.

⁶⁸ *Leur service ne devant pas s'interrompre, ils nécessitent des redondances en orbite et des remplacements par de nouvelles générations.*

- ✎ *Les satellites d'observation* : Les satellites de télédétection observent la Terre, dans un but scientifique (température de la mer, manteau neigeux, sécheresse...), un but économique (ressources naturelles, agriculture...) ou dans un but militaire (rôle majeur dans les guerres contemporaines ; ils sont plus couramment désignés sous le nom de satellites-espion). Le spectre d'observation est vaste, optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques. La résolution atteint actuellement moins d'un mètre pour certaines gammes de fréquence. Celle-ci dépend de la technologie employée mais aussi de l'altitude du satellite (une bonne résolution exige une orbite basse en général héliosynchrone utilisée par exemple par les satellites d'observation de la Terre de la famille SPOT. L'orbite géostationnaire fixe, est préférée pour la surveillance permanente en temps réel comme dans le cas du programme de veille météorologique mondiale et ses familles de satellites météorologiques, dont l'europpéen METEOSAT...). Par contre, Les satellites radar peuvent analyser, par des techniques interférométriques, des variations de quelques millimètres de certaines structures. Ils sont utiles pour examiner les mouvements des plaques continentales, particulièrement avant ou après un séisme, ou les variations d'épaisseur de la banquise.
- ✎ *Les satellites de localisation et de navigation* : Ces satellites permettent de connaître la position d'objets à la surface de la Terre, dans les airs (exemples : avions, missiles) et même dans l'espace (Exemples : DORIS, le système américain GPS, le futur système européen Galileo, le système russe GLONASS ou encore le chinois COMPASS)... Dans cette catégorie, se situe également le « système Argos de positionnement d'objets mobiles », datant de 1978 et emportés par les satellites météorologiques américains et « l'europpéen MetOp ».
- ✎ *Les satellites militaires* : Les besoins des militaires sont à l'origine des premiers satellites d'observation : dès 1959, dans le cadre de la guerre froide, les États-Unis et l'URSS ont développé des satellites militaires d'observation, que l'on appelle couramment et abusivement « satellites-espions⁶⁹ ». Ils permettaient d'observer les ressources militaires de l'ennemi dans des zones peu accessibles.

⁶⁹ 11 Les premiers d'entre eux furent la série des Discoverer

Aujourd'hui les conflits modernes y font largement appel et ne pourraient certainement plus s'en passer, employant différents types de satellites militaires : *les satellites de reconnaissance (par exemple Hélios, qui utilisent les techniques optiques, infrarouges, radars pour obtenir des images des installations stratégiques)*; *les satellites de télécommunications* utilisés pour les liaisons militaires généralement chiffrées (*par exemple satellites Syracuse*) ; *les satellites d'écoute et des signaux radars* qui déploient des antennes dont le diamètre pourrait atteindre plus de 100 mètres (*satellites américains Mentor*) ; *les satellites de suivi des flottes marines (RORSAT)* qui repèrent les navires de guerre grâce aux émissions radar ; *les satellites de navigation* utilisés dans le cadre des opérations militaires pour le guidage précis des missiles de croisière, des obus et le positionnement des unités de tous types;

2. les satellites scientifiques : (*ces satellites ont un éventail très vaste de missions allant de l'étude du milieu spatial à celle de l'espace lointain grâce à des télescopes spatiaux*). Les satellites scientifiques regroupent les satellites affectés aux études scientifiques depuis l'espace. On retrouve dans cette catégorie les premiers satellites comme Spoutnik 1 dont les émissions radio ont permis d'étudier les couches atmosphériques supérieures. Les premières briques de l'Europe spatiale ont été posées à la demande des scientifiques qui sont à l'origine des organismes européens de l'ELDO et de l'ESRO :

- ✚ *Les satellites d'étude de la Terre et de l'espace proche* : Dans cette catégorie, nous retrouvons les satellites dont les missions portent sur *la géodésie (niveau des océans : TOPEX/Poséidon)*, *la géodynamique (étude de la tectonique des plaques)*, *la modélisation du fonctionnement de la biosphère (devenue un enjeu vital dans le cadre de la théorie du réchauffement climatique)*.
- ✚ *Les satellites de recherche en physique fondamentale* : L'espace est également un lieu idéal pour vérifier certaines théories physiques dans lesquelles la gravité est en jeu : nous pouvons citer la vérification du principe d'équivalence avec les satellites (*Microscope*) et STEP ou la recherche d'ondes gravitationnelles avec (*Lisa*).

✚ *Les satellites d'astronomie* : Les satellites d'astronomie, sont des *télescopes* en orbite, qui permettent d'observer l'espace lointain avec une résolution qui dépasse celles des observatoires terrestres les plus puissants (*Hubble*). Tout le spectre électromagnétique est aujourd'hui étudié par des télescopes spatiaux : rayonnement *X* (*XMM-Newton*), *gamma* (*INTEGRAL*), infrarouge (*télescope ISO*). La fin de la décennie 2000 est fertile en nouveaux instruments (*pour l'Europe Herschel, Planck*). L'absence d'atmosphère permet la détection d'exoplanètes situées dans des systèmes stellaires extérieurs (*Corot*).

En résumé, retenons que les agences spatiales les plus avancées n'ont cessé de lancer dès le début de l'ère spatiale des engins spatiaux pour explorer le système solaire à l'aide d'instruments scientifiques. Le progrès des techniques spatiales et la puissance croissante des lanceurs ont permis de placer certains de ces engins en orbite d'abord autour de la Lune et des planètes proches (*Mars, Vénus*) puis de corps célestes plus lointains (*Jupiter, Saturne, Vesta, Cérès*) ou difficilement accessibles comme Mercure profondément enfoncé dans le puits gravitationnel du Soleil ou les comètes et astéroïdes au champ gravitationnel irrégulier. Ces recherches sont suivies d'une mission de dépose d'un engin spatial de type atterrisseur (*statique*) ou rover (*mobile*) à la surface du corps céleste pour une étude in situ.

II.3.1.7. INTERNET

L'histoire d'Internet remonte au développement des premiers réseaux de télécommunication. L'idée d'un réseau informatique, permettant aux utilisateurs de différents ordinateurs de communiquer, se développa par de nombreuses étapes successives. La somme de tous ces développements conduisit au « réseau des réseaux » (*network of networks*⁷⁰) que nous connaissons aujourd'hui en tant « qu'Internet ». Il est le fruit à la fois de développements technologiques et du regroupement d'infrastructures réseau existantes et de systèmes de télécommunications.

Le réseau Internet est composé de plus de plus de 65 millions d'ordinateurs dans plus de 100 pays. Né aux Etats-Unis dans les années 1970 sous l'impulsion du *DoD* (*Department of Defence*), Internet (*Interconnected Networks*) est un réseau international en pleine expansion, mettant en relation des millions de réseaux de tous types et des millions d'ordinateurs à travers le monde. L'Internet permet d'accéder à divers services dont les plus utilisés sont *la messagerie (E-mail)* et *la recherche de documents en ligne (le Web)*. Il est devenu le moyen de communication privilégié de la recherche scientifique, avant de séduire dans la deuxième moitié des années 1990 le monde des entreprises, et est constitué de milliers de réseaux interconnectés, chacun financé et géré par des organismes aussi divers que des universités, des fondations publiques, des entreprises privées, des laboratoires de recherche.... Internet est donc l'ensemble des ordinateurs du monde entier reliés entre eux. Chacun de ces ordinateurs peut offrir des informations aux autres: des textes, des images, des films, de la musique.

Le terme « *Internet* » est d'origine américaine et dérivée du concept « *D'internetting* » (*en français : « interconnecter les réseaux »*) dont Toutefois les origines exactes du terme « *Internet* » restent à déterminer. Bien que, ce fut le *1^{er} janvier 1983* que le nom « *Internet* », déjà en usage pour désigner l'ensemble *d'ARPANET* et plusieurs réseaux informatiques, est devenu officiel ... En anglais, on utilise un article défini et une majuscule, ce qui donne « *the Internet* ». Cet usage vient du fait que « *Internet* » est de loin le réseau le plus étendu, le plus grand « *internet* » du monde, et donc, en tant qu'objet unique, désigné par un nom propre. Un *internet* (*un nom commun avec « i » minuscule*) est un terme d'origine anglaise utilisé pour désigner un réseau constitué de l'interconnexion de plusieurs réseaux informatiques au moyen de routeurs⁷¹ ...

⁷⁰ Ronda Haubenpublia *The Internet: On its International Origins and Collaborative Vision en 2004.*

⁷¹ *TCP/IP Illustrated Volume 1, the Protocols, W. Richard Stevens, chap. 1.13.*

En français, il existe une controverse sur l'usage ou non d'une majuscule (« Internet » ou « internet ») et l'usage d'un article défini (« *l'Internet* » ou « *Internet* »). Dans l'usage courant, l'article est très peu employé. Une publication au « *Journal officiel* » de la République française indique qu'il faut utiliser le mot « internet » comme un nom commun, c'est-à-dire sans majuscule. L'OQLF recommande d'utiliser une majuscule car il « *est considéré comme un nom propre qui désigne une réalité unique* ». Dans son dictionnaire, l'Académie française utilise « *l'internet* » dans un exemple. Par contre, de nombreux correcteurs orthographiques intégrés aux logiciels francophones utilisent la majuscule (Microsoft Office, Firefox...) ⁷². L'avènement de l'Internet poursuit *deux grandes phases* d'accélération qui se produisirent notamment « *à la fin des années 1960-1970* », lors de l'application pratique, par des scientifiques américains et français, des concepts évoqués à la fin des années 1950 et ensuite, dans « *les années 1990* », lorsque la popularisation des fondements de l'Internet moderne passa par l'apparition du « *World Wide Web* » :

1. Les années 1960 – 1970 :

En 1961, *Leonard Klein rock* du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) publia le premier texte théorique sur la commutation de paquets. En juillet 1962, *Licklider* du MIT écrivit des mémos qui sont les plus anciens textes décrivant les interactions sociales possibles avec un réseau d'ordinateurs. Cela devait notamment faciliter les communications entre chercheurs de la *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*. Et Licklider fut le premier chef du programme de recherche en informatique de la DARPA. Il persuada ses successeurs Ivan Sutherland, Bob Taylor et le chercheur du MIT Lawrence G. Roberts de l'intérêt des réseaux informatiques.

En 1965, *Roberts* testa avec *Thomas Merrill* la première connexion informatique à longue distance, entre le Massachusetts et la Californie. Le résultat montra que des ordinateurs pouvaient travailler ensemble à distance, mais que le mode de communication par commutation de circuit du système téléphonique était inadapté. Le concept de communication par commutation de paquets de *Klein rock* s'imposa. En 1966, *Roberts* fut engagé par *Taylor* à la DARPA pour concevoir *ARPANET*. Il publia les plans en 1967. En présentant ce texte, il découvrit deux autres groupes de chercheurs travaillant indépendamment sur le même sujet : *un groupe du National Physical Laboratory (NPL)*

⁷² Dans la 9e édition de son Dictionnaire, l'Académie écrit « Un ordinateur connecté à l'internet » ;

du Royaume-Uni avec *Donald Davies et Roger Scantlebury*, et un groupe de la *RAND Corporation* avec *Paul Baran*.

Entre 1962 et 1965, le groupe de la RAND avait étudié la transmission par paquets pour l'armée américaine. Le but était de pouvoir maintenir les télécommunications en cas d'attaque (éventuellement nucléaire), ce que permet une transmission par paquets dans un réseau non centralisé. Il s'agissait d'un développement indépendant de « *ARPANET* » : bien que probablement robuste face à une telle attaque, *ARPANET* n'a pourtant été conçu que pour faciliter les télécommunications entre chercheurs. Le rapport de *Paul Baran* est resté purement théorique, et est rapidement tombé dans l'oubli. Mais le mythe de « *ARPANET* » comme dernier rempart à une attaque atomique » trouve là son origine.

Pendant ce temps, au *British National Physical Laboratory*, l'équipe de *Donald Davies* avait progressé : *NPL Network*, le premier réseau maillé fondé sur la transmission de datagrammes (*packets*) qui était fonctionnel. Mais l'histoire d'internet n'a pas été écrite par les Européens : *ARPANET* sera désormais l'origine officielle d'internet. En août 1968, la *DARPA* accepta de financer le développement du matériel de routage des paquets d'*ARPANET*. Ce développement fut confié en décembre à un groupe de la firme *Bolt, Beranek and Newman (BBN)* de Boston. Ce dernier travailla avec *Bob Kahn* sur l'architecture du réseau. *Roberts* améliorait les aspects topologiques et économiques du réseau. *Kleinrock* préparait des systèmes de mesures du réseau.

Le 20 septembre 1969, *BBN* installa le premier équipement à l'*UCLA* où travaillait *Kleinrock*. Le second nœud du réseau fut installé au *Stanford Research Institute (SRI)* où travaillait *Douglas Engelbart* sur un projet d'hypertexte. Deux nœuds supplémentaires furent ajoutés avec l'université de Santa Barbara et l'université d'Utah. Fin 1969, *ARPANET* comptait donc quatre nœuds. En décembre 1970, *Le Network Working Group (NWG)* conduit par *Steve Crocker* finit le protocole de communication poste-à-poste *NCP*. Ce protocole fut adopté entre 1971 et 1972 par les sites branchés à *ARPANET*. Ceci permit le développement d'applications par les utilisateurs du réseau. La perspective d'une informatique plus décentralisée commence à intéresser les constructeurs souhaitant rivaliser avec le géant *IBM* ... En 1972, *Ray Tomlinson* mit au point la première application importante : « le courrier électronique ». En octobre 1972, *Kahn* organisa la première démonstration à grande échelle d'*ARPANET* à l'*International Computer Communication Conference (ICCC)*. C'était la première démonstration publique.

Le concept d'Internet est né d'ARPANET. L'idée était de permettre la connexion entre des réseaux divers : ARPANET, des communications avec les satellites, des communications par radio. Cette idée fut introduite par *Kahn en 1972* sous le nom « *d'Internetting* ». Le protocole NCP d'ARPANET ne permettait pas d'adresser des hôtes hors d'ARPANET ni de corriger d'éventuelles erreurs de transmission. *Kahn* décida donc de développer un nouveau protocole, qui devint finalement TCP/IP... En parallèle, un projet inspiré par ARPANET était dirigé en France par *Louis Pouzin* : le projet Cyclades. De nombreuses propriétés de TCP/IP ont ainsi été développées, plus tôt, pour Cyclades. Pouzin et Kahn indiquent que TCP/IP a été inspiré par le réseau Cyclades français, poussé par la CII et sa « *Distributed System Architecture* » : on commence à parler de Calcul distribué. Aux États-Unis, IBM et DEC créent les architectures SNA et DECnet, en profitant de la numérisation du réseau d'AT&T (*Réseau téléphonique commuté*)⁷³.

En 1973, Kahn demanda à *Vint Cerf* (parfois appelé le père d'Internet) de travailler avec lui, car Cerf connaissait les détails de mise en œuvre de NCP. Le premier document faisant référence à TCP est écrit en 1973 par Cerf : *A Partial Specification of an International Transmission Protocol*. La première spécification formelle de TCP date de décembre 1974, c'est le RFC 675. La version initiale de TCP ne permettait que la communication en établissant un circuit virtuel. Cela fonctionnait bien pour le transfert de fichiers ou le travail à distance, mais n'était pas adapté à des applications comme la téléphonie par Internet. TCP fut donc séparé de « *IP et UDP* » proposé pour les transmissions sans établissement d'un circuit. Vers cette même année (1974), les laboratoires Bell mettent au point un programme, qui permet d'échanger des données par modem via le réseau téléphonique. Grâce à cette innovation, débute le premier véritable réseau planétaire, UUNET.

2. Les années 1980 – 1990 :

À la fin des années 1980, la *NSF* (*National Science Foundation*) qui dépend de l'administration américaine, met en place cinq centres informatiques surpuissants, auxquels les utilisateurs pouvaient se connecter, quel que soit le lieu où ils se trouvaient aux États-Unis : ARPANET devenait ainsi accessible sur une plus grande échelle. Le système rencontra un franc succès et, après la mise à niveau importante (*matériels et lignes*) à la fin des années 1980, s'ouvrit au trafic commercial au début des années 1990. En 1981,

⁷³ Otlet Paul, *Traité de documentation : le livre sur le livre, théorie et pratique*, Bruxelles, Editions Mundaneum, 1934, 431 p. (lire en ligne), p. 428

les Français découvrent l'univers de la télématique avec le Minitel ... *En janvier 1992, l'Internet Society (ISOC) voit le jour avec pour objectif de promouvoir et de coordonner les développements sur Internet. L'année 1993 voit l'apparition du premier navigateur web (browser), mêlant texte et image. Cette même année, la National Science Foundation (NSF) mandate une compagnie pour enregistrer les noms de domaine. À la fin des années 1990, des sociétés pionnières comme Yahoo, Amazon, eBay, Netscape, et AOL, sont devenues célèbres grâce à un attrait pour les capitalisations boursières des jeunes sociétés sans équivalent dans l'histoire, qui finit en krach.*

En 1994, avec l'introduction de Netscape, doté d'une interface graphique spectaculaire, qui intègre les ressources multimédias, l'Internet connaît une explosion phénoménale. L'expression « Internet » sert à désigner un ensemble de réseaux connectés entre eux. La collectivité y a maintenant accès, par l'intermédiaire des fournisseurs de services (Wanadoo, free...). Le début des années 1990 marque la naissance de l'aspect le plus connu d'Internet aujourd'hui : le web, un ensemble de pages en HTML mélangeant du texte, des liens, des images, adressables via une URL et accessibles via le protocole HTTP. Ces standards, développés au CERN par Tim Berners-Lee et Robert Cailliau devinrent rapidement populaires grâce au développement au NCSA par Marc Andreessen et Eric Bina du premier « navigateur multimédia Mosaic »⁷⁴.

En septembre 2014, internet dépasse un milliard de sites en ligne, pour près de trois milliards d'internautes. Le nombre de sites, d'internautes, de courriels envoyés, de recherches effectuées sur le moteur de recherche Google, est en augmentation permanente. L'influence environnementale est grandissante⁷⁵... L'infrastructure d'Internet se répandit autour du monde pour créer le large réseau mondial d'ordinateurs que nous connaissons aujourd'hui. Il se répandit au travers des pays occidentaux puis frappa à la porte des pays en voie de développement, créant ainsi un accès mondial à l'information et aux communications sans précédent ainsi qu'une fracture numérique. Internet contribua à modifier fondamentalement l'économie mondiale, y compris avec les retombées de la bulle Internet. C'est seulement vers 1995 que l'Internet est ouvert au public congolais à travers quelques cybercafés de la capitale Congolaise.

⁷⁴ C'est en mars 1993 qu'est inventé « Mosaic », le premier des navigateurs grand public, doté d'une interface graphique. Son auteur est Marc Andreessen, étudiant à l'Université de l'Illinois, et assistant au NCSA (National Center for Supercomputing Applications).

⁷⁵ Nicolas Ochoa, « Le principe de libre-circulation de l'information - Recherche sur les fondements juridiques d'Internet », HALSHS, 2016.

II.2. REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES

La révolution qu'apportent Les réseaux informatiques est une transformation du système productif comparable à celle de la révolution industrielle (*L'imprimerie, l'électricité, l'automobile*). Ils ouvrent une nouvelle dimension avantageux et bouleversent le système d'information et l'organisation des entreprises, révolutionnent les relations que l'entreprise entretient avec ses partenaires et les consommateurs... Nous sommes sans ignorer que Les réseaux informatiques abolissent les distances, écrasent les durées, nous introduisent dans le monde de l'instantané et offrent une flexibilité longtemps recherchée.

Ils présentent donc un substantiel avantage aux activités humaines qui sauront s'accommoder ses nouveaux outils, et même face à une compétition rendue plus âpre par la mondialisation... D'une façon simpliste, nous pouvons résumer cette révolution en trois grandes étapes :

- *Étape1 – La période de l'automatisation de la transmission des données au début du XIXème siècle : ce sont des Réseaux à intégration de service (RIS) : capables de véhiculer données multimédia. (c'est par exemple : la différence entre ftp au débit « discontinu », et la transmission de la voix, du son et de l'image.) Exemple : NUMERIS débit de 64kbps (insuffisant actuellement, car C'est un RNIS à bande étroite)*
- *Étape2: numérisation, i.e. information a été transformée en une suite de 0 et de 1. RNIS : Réseaux Numériques à Intégration de Services. On passe donc au RNIS à large bande implémenté par la technologie ATM (Asynchronous Transfer Mode). C'est une commutation de cellules.*
- *Étape3: multimédia, i.e., utilisation simultanée de plusieurs modes de représentation de l'information. Depuis l'apparition du haut débit de nouveaux protocoles se sont développés : FDDI (Fibre Distributed Data Interface) ;*

CHAPITRE III. CLASSIFICATION DES RESEAUX INFORMATIQUES

Apparentes classes de réseaux peuvent être dénombrées et les critères de classification de réseaux abondent. Généralement, Il n'est Pas facile de classer ou de catégoriser les réseaux car les critères sont variés ; néanmoins les réseaux peuvent être classés selon :

1. *les domaines d'application,*
2. *les distances couvertes,*
3. *les types d'infrastructures,*
4. *les débits,*
5. *la mobilité (Mode de transmission)*

III.1. CLASSEMENT DES RESEAUX INFORMATIQUES SELON LES DOMAINES D'APPLICATION

La considération de champ d'activités et d'opérations qui fait correspondre les grands domaines d'utilisation des réseaux, permet de distinguer plusieurs les catégories distinctes. Ainsi, En général, les critères de choix pour tenir compte du domaine d'applications sont :

1. *la fiabilité et la disponibilité (exigées en particulier par les applications critiques),*
2. *la possibilité de fonctionner dans des environnements difficiles (exigée particulièrement par les applications industrielles et embarquées),*
3. *la mobilité, et l'autonomie (en énergie),*
4. *le débit et le coût de connexion (exigé surtout pour les applications grand public). Dans ce classement, nous retrouvons les sous catégories des réseaux suivants :*

- ✎ *Les Réseaux bureautiques* : utilisés pour la communication de données au sein d'une entreprise, d'une université ou d'une administration pour l'échange d'informations, de documents, etc.
- ✎ *Les Réseaux industriels* : utilisés pour l'échange de données entre systèmes de commande d'une installation industrielle (*un complexe pétrochimique, un laminoir ou une usine de montage de véhicules par exemple*).
- ✎ *les Réseaux embarqués* : utilisés dans les robots, les voitures, les trains, les avions, les engins spatiaux, etc.
- ✎ *les Réseaux militaires* : utilisés par les systèmes de commandement militaire.
- ✎ *les Réseaux de télécommunications* : utilisés pour la communication de la voix (*réseaux téléphoniques*).
- ✎ *les Réseaux domestiques* : utilisés pour la communication dans les maisons et appartements (*pour raccorder, par exemple, des appareils électroménagers, la centrale d'alarme, le système de chauffage, la télévision et le système d'éclairage*).
- ✎ *les Réseaux pour le bâtiment* : utilisés essentiellement pour la vidéosurveillance de bâtiments, la distribution de chaînes de télévision ou de radio, le relevé à distance des compteurs d'électricité et du gaz, etc.
- ✎ *les Réseaux personnels* : utilisés par une personne pour le raccordement de plusieurs appareils appartenant à un même individu, famille ou groupe.
- ✎ *les Réseaux de corps/vêtement (body/wear)* : réseaux portés par des personnes (*raccordement d'appareils téléphoniques, de musique, RFID « Radio frequency Identification », implants...*)

III.2. CLASSIFICATION DES RESEAUX SELON LES DISTANCES COUVERTES ET LA TAILLE

Les réseaux peuvent interconnecter des équipements distants de quelques centimètres (*ou moins*) à quelques milliers de kilomètres (*voire plus*). Ainsi, on distingue les cinq classes de réseaux suivantes :

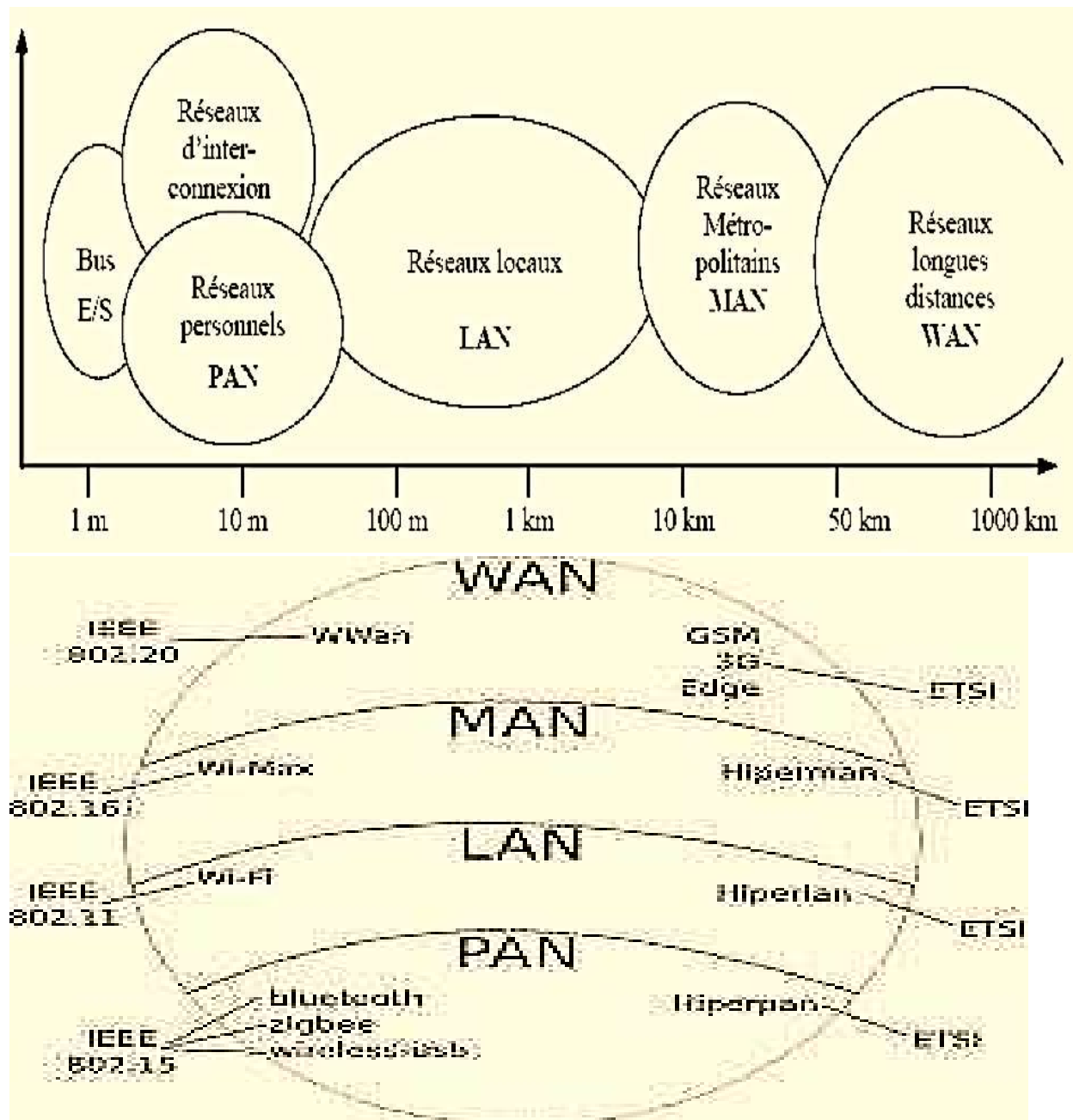


Figure 3. Différentes Catégories des réseaux selon la distance et la taille

1. *Les Bus de calculateur* : la communication entre l'unité centrale d'un ordinateur et ses différents organes (*clavier, imprimante, etc.*) se fait via un bus. Même si le bus d'un ordinateur n'est pas un réseau au sens communément utilisé pour parler de réseaux, C'est un moyen de communication avec ses propres protocoles.
2. *Les Réseaux d'interconnexion dans les multiprocesseurs* : dans une architecture multiprocesseur, les différents processeurs (*dont le nombre peut dépasser le millier*) sont reliés les uns aux autres et aux blocs de mémoire par un réseau d'interconnexion. Même si leur longueur est relativement faible, les réseaux d'interconnexion s'apparentent (*par leurs structures et leurs protocoles*) aux autres réseaux.
3. *Les Réseaux personnels (appelés aussi PAN : « Personal Area Networks »)*: ils permettent l'interconnexion d'un nombre réduit d'équipements appartenant à un même utilisateur. Un PAN (*comme Bluetooth, HomeRF...*), Ils permettent le raccordement d'imprimante, unité de stockage... sur une distance de quelques mètres et permet ainsi d'éviter d'avoir des câbles partout (*10 à 100m*).
4. *Les Réseaux locaux*⁷⁶ (*appelés aussi LAN ou RLE (« Local Area Networks »*) : ils permettent d'assurer l'interconnexion d'équipements au sein d'un site géographiquement limité à quelques kilomètres (100 à 1000m ou soit 1km), C'est par exemple : un campus universitaire, un hôpital, une usine ou un laboratoire... ces genres des réseaux utilisent Ethernet, Token Ring, Wi-Fi, HipperLan.

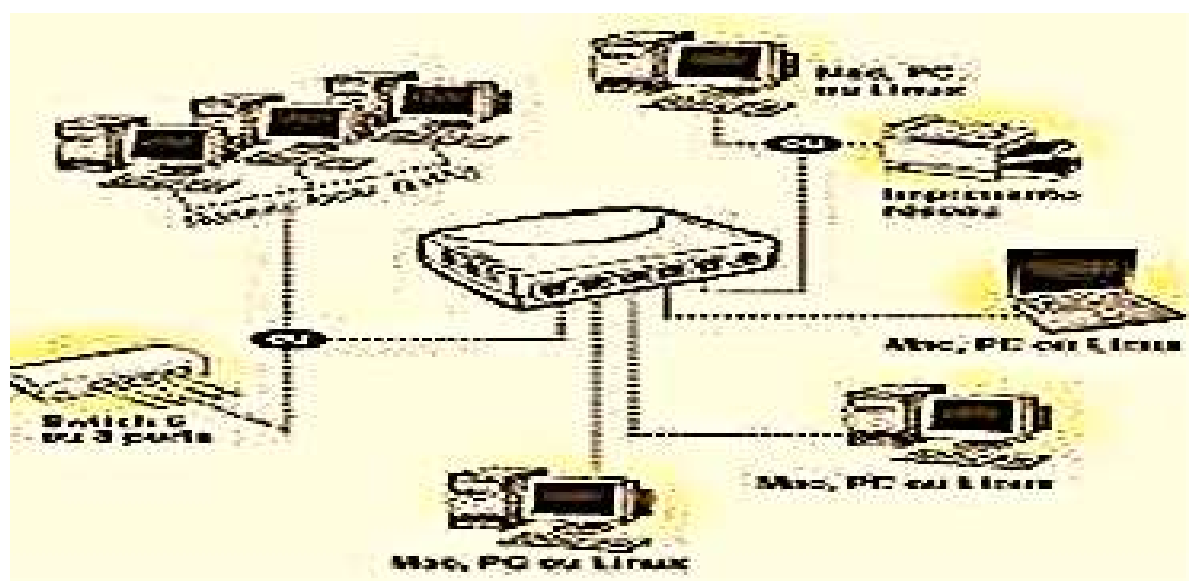


Figure 4. Réseau LAN

⁷⁶ Il ne dépasse pas généralement la centaine de machines et ne s'étend jamais au-delà du kilomètre. Le partage des ressources est ici fréquent et les vitesses de transmissions vont de 10 à 100 Mb/s (mégabits/seconde).

5. *Les Réseaux métropolitains (appelés aussi MAN (« Metropolitan Area Networks »))*: ils sont utilisés pour l'interconnexion au sein d'une agglomération urbaine (*interconnexion de sites universitaires ou d'une entreprise par exemple*) ...ces genres des réseaux utilisent *FDDI, DQDB, ATM, Wi-Max...* Le MAN correspond à la réunion de plusieurs réseaux locaux (*LAN*) à l'intérieur d'un même périmètre d'une très grande Entreprise ou d'une ville par exemple pouvant relier des points distants de 10 à 25Km. En général le câble coaxial est le support physique le plus utilisé dans ce type de réseau. Il existe alors une interconnexion qui nécessite quelques matériels particuliers conçus pour réunir ces différents réseaux et aussi pour protéger l'accès de chacun d'eux suivant des conventions préalables. Il Peut être privé ou public, il utilise un ou deux câbles de transmission, il ne possède Pas d'éléments de commutation (*routage*), sa norme spéciale est IEEE-802.16 ;

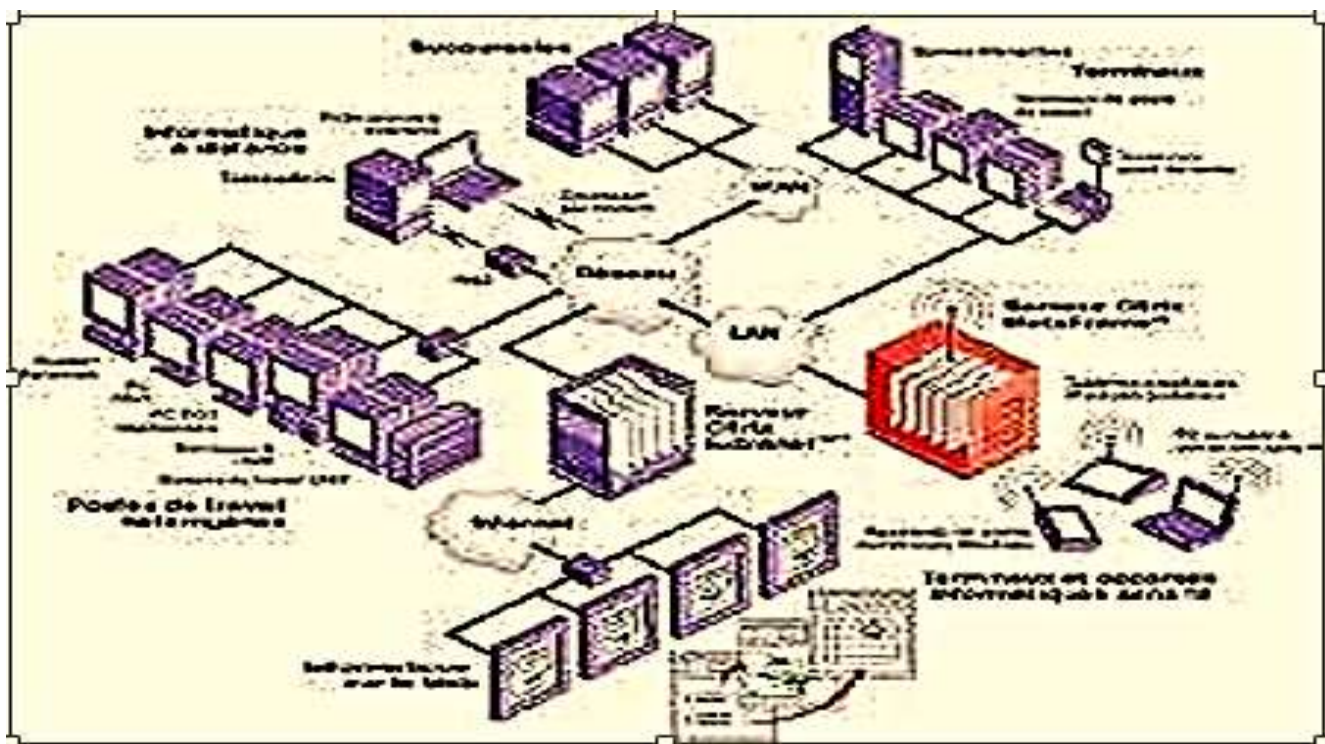


Figure 5. Réseau MAN

6. *Les Réseaux longue distance (appelés aussi WAN ou RLD (« Wide Area Networks »))*: comme leur nom l'indique, ces réseaux permettent de transporter des données sur de longues distances, entre pays ou entre continents. Ces réseaux utilisent des infrastructures au niveau du sol et des satellites... Pour permettre à un équipement raccordé physiquement à un réseau d'accéder à des équipements

raccordés à d'autres réseaux, on utilise des équipements d'interconnexion (*que l'on appelle des ponts, des routeurs ou des passerelles selon le type de service qu'ils offrent*). Ainsi, aux yeux de l'utilisateur, un réseau peut avoir des limites qui dépassent de très loin le contexte de son réseau physique. L'exemple typique aujourd'hui est le réseau Internet où l'on peut accéder de n'importe où à un nombre quasi-infini d'informations. En réalité, Internet est un réseau de réseaux... ces genres des réseaux utilisent RNIS, IP, ATM, WATM, GSM ...



Figure 6. Réseau WAN

ICI, Il s'agit cette fois d'un réseau multiservices couvrant un pays ou un groupe de pays, qui est en fait constitué d'un ensemble des réseaux locaux interconnectés. Un WAN peut être privé ou public, et les grandes distances qu'il couvre (*plusieurs centaines de kms*) font que les liaisons sont assurés par du matériel moins sophistiqué (*raisons financières*) et le débit s'en trouve un peu pénalisé. Il est maintenant plus facile de comprendre pourquoi différentes structures de réseaux peuvent être d'une part exploités localement, et d'autre part interconnectés pour en élargir le périmètre d'exploitation.

III.3. CLASSEMENT SELON LES TYPES D'INFRASTRUCTURE

La classification selon les types d'infrastructure, on distingue :

1. *Les réseaux Peer to Peer* : Dans cette architecture d'égal à égal (*en anglais Peer to Peer*), contrairement à l'architecture client/serveur, il n'y a pas de serveur dédié. Ainsi, chaque ordinateur dans un tel réseau est un peu serveur et un client. Cela signifie que chacun des ordinateurs du réseau est libre de partager ses ressources. Et, Un ordinateur relié à une imprimante pourra donc éventuellement la partager afin que tous les autres ordinateurs puissent y accéder via le réseau. La mise en œuvre de ce réseau est simple et Chaque utilisateur est son propre administrateur et planifie lui-même sa sécurité. Pour les connexions, on utilise un système de câblage simple et apparent ; Il s'agit généralement d'une solution satisfaisante pour des environnements ayant les caractéristiques suivantes :
 - ✎ Moins de 10 utilisateurs ;
 - ✎ Tous les utilisateurs sont situés dans une même étendue géographique ;
 - ✎ Ni l'entreprise ni le réseau ne sont susceptibles d'évoluer de manière significative dans un proche avenir ;
 - ✎ Tous les utilisateurs peuvent partager leurs ressources comme ils le souhaitent (données dans des répertoires partagés, imprimantes,...)

2. *Les réseaux (Modèle) Client/serveur* : Nombreuses applications fonctionnent selon un environnement client/serveur, c'est-à-dire toutes les machines faisant partie du réseau communiquent à un serveur central de ce réseau. Une machine à très grande puissance en termes de capacité d'entrée et sortie, qui leur fournit des services. Ces services sont des programmes fournissant des données telles que l'heure, des fichiers, une connexion, etc.

Les services sont exploités par des programmes clients, exécutant sur les machines clients, Là on parle du protocole FTP (*le programme tournant à la machine client capable de traiter les informations récupérées auprès du serveur*), clients de messagerie (*il s'agit des courriers électroniques*) ...

Le modèle client/serveur est particulièrement recommandé pour des réseaux nécessitant un grand niveau de fiabilité, ses principaux atouts sont :

- ✎ *Des ressources centralisées* : étant donné que le serveur est le centre du réseau, il peut gérer les ressources communes des utilisateurs, comme par exemple une base des données centralisées, enfin d'éviter les problèmes de redondance et de retraduction.
- ✎ Une meilleure sécurité : car le nombre de points d'entrée permettant l'accès aux données est moins important ;
- ✎ *Une administration au niveau de serveur* : les clients ayant peu d'importance de ce modèle, ils ont moins besoin d'être administré ;

Un réseau évolutif : grâce à cette architecture, il est possible de supprimer ou ajouter des clients sans perturber le fonctionnement du réseau et sans modification majeure.

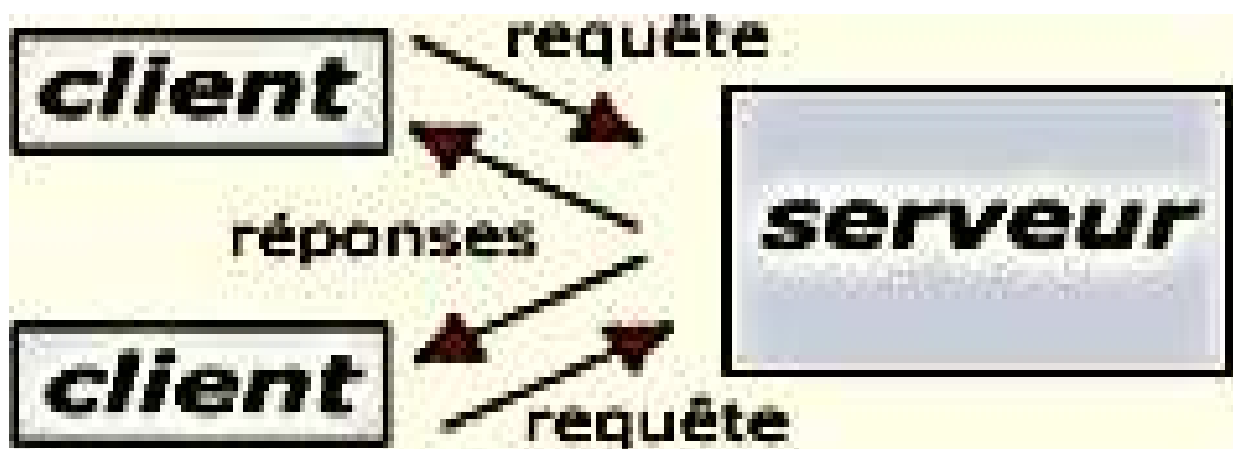


Figure 7. Modèle client/serveur

III.4. CLASSIFICATION DES RESEAUX SELON LES DEBITS DE TRANSMISSION

Le débit d'un réseau désigne le nombre de bits qu'un équipement peut transmettre au maximum par seconde. Il est exprimé *kb/s* (*kilo bits par seconde*), *Mb/s* (*méga bits par seconde*) ou *Gb/s* (*giga bits par seconde*). Comme pour la vitesse des processeurs, le débit des réseaux ne cesse d'augmenter. Il était de quelques centaines de bits/s fin des années 1960. Aujourd'hui, le débit de certains réseaux se chiffre en Gb/s. Pour tenir compte du débit offert, les réseaux sont regroupés en trois catégories :

1. *Réseaux à faible débit (ou basse vitesse)* : leur débit est de quelques dizaines ou centaines de kb/s. De tels réseaux tendent à disparaître, étant donné les exigences de plus en plus fortes en termes de débit dans tous les domaines
2. *Réseaux haut débit* : leur débit varie de quelques Mb/s à 100 Mb/s. Des réseaux comme FDDI, DQBD, Fast Ethernet font partie de cette classe.
3. *Réseaux très haut débit* : leur débit dépasse la centaine de Mb/s et peut atteindre aujourd'hui des Gb/s. Ces réseaux sont essentiellement destinés à l'interconnexion d'agglomérations, à la distribution de chaînes de télévision et radio, à l'accès rapide à Internet. Des réseaux comme ATM entrent dans cette catégorie. On notera que les applications les plus « *gourmandes* » en débit sont généralement celles où il y a des échanges d'images fixes ou animées

III.5. CLASSEMENT DES RESEAUX SELON LA MOBILITE (OU LE MODE DE TRANSMISSION)

La technologie de la mobilité a envahi le domaine des télécommunications et s'impose comme moyen performant pour la téléphonie. Elle s'installe petit à petit pour remplacer le câblage filaire dans les systèmes informatiques. Ce qui conduit à distinguer aujourd'hui deux classes de technologie de réseaux :

1. *Réseaux filaires* : ils utilisent des câbles pour raccorder les équipements au réseau. La mobilité des équipements est extrêmement limitée, voire impossible.
2. *Réseaux sans fil* : les équipements émettent et reçoivent en utilisant des antennes, ce qui leur permet de se déplacer (*ou d'être déplacés*), sans interruption de la communication. L'étendue de la mobilité dépend de l'infrastructure utilisée (*types d'ondes utilisées, nombre de relais, puissance des relais, etc.*). Dans les réseaux sans fil on distingue deux classes :
 - ⊗ Les réseaux avec infrastructure (*ceux sont les réseaux utilisant des points d'accès*).
 - ⊗ Les réseaux ad hoc ou sans infrastructure

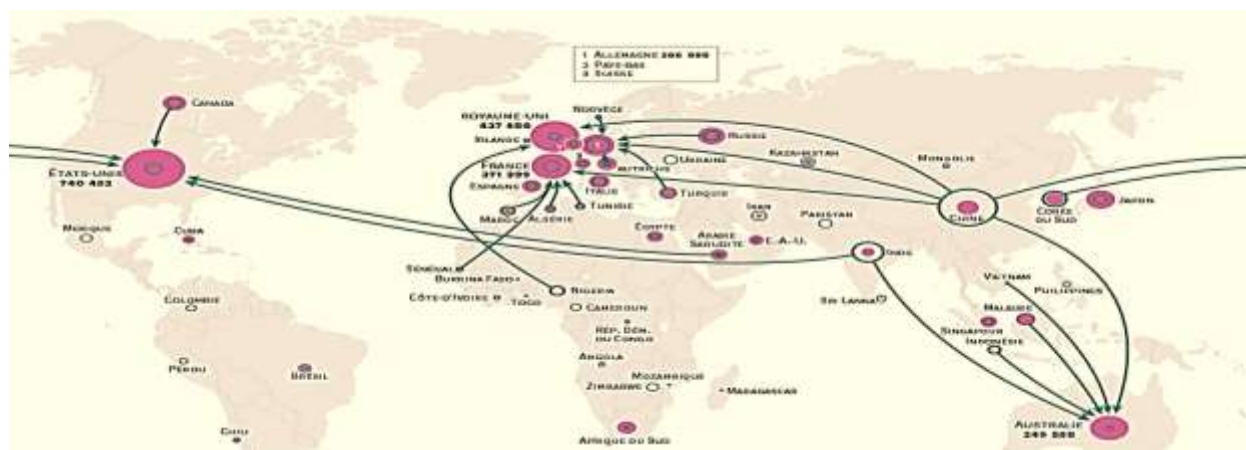


Figure 8. Classement des réseaux selon la mobilité

CHAPITRE IV. TOPOLOGIES DES RESEAUX INFORMATIQUES

IV.1. TOPOLOGIES DES RESEAUX

Une topologie⁷⁷ de réseau informatique correspond à l'architecture (*physique ou logique*)⁷⁸ de celui-ci, définissant les liaisons entre les équipements du réseau et une hiérarchie éventuelle entre eux. Autrement, Elle définit la façon dont les équipements sont interconnectés et la représentation spatiale du réseau C'est-à-dire du point de vue de l'emplacement des matériels : câbles, postes, dispositifs de connectivité (*topologie physique*) ; Ou la façon dont les données transitent dans les lignes de communication c'est-à-dire du point de vue du parcours de l'information entre les différents matériels, (*topologies logiques*). Bref, La topologie est tout simplement une représentation d'un réseau.

IV.1.1. TOPOLOGIE PHYSIQUE

Une topologie physique est en fait la structure physique de votre réseau. C'est donc la forme, ou l'apparence du réseau. La topologie d'un réseau peut avoir une extrême importance sur l'évolution du réseau, sur son administration, et sur les compétences des personnels qui seront amenés à s'en servir. Les différentes topologies de réseaux sont les suivantes : En bus, En étoile, En arbre (*hiérarchique*), Maillé, En anneau, Les réseaux mixtes : (*En bus-étoile, En anneau étoile*). Physiquement, les réseaux en bus, en étoile et en anneau peuvent se ressembler beaucoup parce qu'ils peuvent être tous organisés autour d'un boîtier. Selon la topologie, le boîtier contient un bus, un concentrateur ou un anneau. D'une manière plus générale, la représentation d'un réseau peut s'établir en fonction de la circulation de l'information. D'un point de vue Client-serveur, les rôles sont bien définis et bien séparés. Ainsi, un réseau peut être « *centralisé* », « *répartis* » ou « *distribués* » bien que ces notions soient relatives et souples.

⁷⁷ En général, la topologie représente la disposition physique de l'ensemble des composants d'un réseau. La topologie d'un réseau est aussi appelée le **schéma** de base, l'**architecture** ou le **plan**... La topologie d'un réseau se représente souvent par un **dessin** qui réunit l'ensemble des postes, des périphériques, du câblage, des routeurs, des SER, des protocoles, etc....

⁷⁸ Une topologie : un réseau informatique est constitué par d'ordinateur reliés entre eux grâce à des lignes de commutation (câble réseau, etc.) et des éléments matériels (carte réseau, ainsi que d'autres équipements permettant d'assurer la bonne circulation des données), l'arrangement physique, c'est-à-dire la configuration spatiale du réseau est appelé topologie physique. La topologie logique, par opposition à la physique, représente la façon dont les données transitent dans les lignes de communication.

IV.1.1.1. LES RESEAUX EN BUS

Les réseaux en bus sont aussi appelés (*réseaux en bus linéaire, épine dorsale ou backbone*). Les différents postes ou périphériques du réseau sont reliés à un seul et même câble (*tronçon « trunk », segment*). A toutes les extrémités du câble est fixé un bouchon, un terminateur. La topologie en bus est dite « *topologie passive* » parce que le signal électrique qui circule le long du câble n'est pas régénéré quand il passe devant une station.



Figure 9. La topologie en bus

Les réseaux en bus⁷⁹ sont **simples**, peu coûteux, facile à mettre en place et à maintenir. Si une machine tombe en panne sur un réseau en bus, alors le réseau fonctionne toujours, mais si le câble est défectueux alors le réseau tout entier ne fonctionne plus. Le bus constitue un seul segment que les stations doivent se partager pour communiquer entre elles.

⁷⁹ Un réseau de type bus est ouvert à ses extrémités. Chaque PC y est connecté par l'intermédiaire d'un connecteur spécial. Certains périphériques, comme des imprimantes, peuvent également être directement reliés au réseau. Ils doivent alors comporter une carte adaptateur réseau. A chaque extrémité, le réseau est terminé par une résistance (appelé bouchon) pour empêcher l'apparition de signaux parasites. L'exemple le plus courant de ce type de réseau est le réseau Ethernet. Ce type de montage est simple à mettre en œuvre et peu coûteux ; cependant il a un inconvénient s'il y a rupture du câble, tout le réseau tombe en panne.

IV.1.1.2. LES RESEAUX EN ETOILE

Dans un réseau en étoile⁸⁰ chaque poste est relié au réseau par l'intermédiaire de son propre câble à un concentrateur (*un hub*). Les concentrateurs s'appellent différemment selon la topologie à laquelle ils appartiennent (*les switches, les commutateurs, les MAU ne concernent que les réseaux en anneau de type Token Ring*), et les termes employés par les spécialistes peuvent également être utilisés indifféremment. Les concentrateurs sont dénommés différemment selon leurs fonctionnalités :

- ✘ Les HUB sont de simples concentrateurs qui régénèrent le signal et le transmettent à tous les ports (*ceux sont des répéteurs*).
- ✘ Les SWITCH sont des HUB améliorés qui peuvent transmettre des données simultanément entre plusieurs couples de stations (*des répéteurs plus efficaces*).
- ✘ Les commutateurs segmentent le réseau et filtrent les paquets.



Figure 10. La topologie en étoile

⁸⁰ Dans un réseau en étoile, chaque nœud du réseau est relié à un contrôleur (ou hub) par un câble différent. Le contrôleur est un appareil qui recevant un signal de données par une de ses entrées, va retransmettre ce signal à chacune des autres entrées sur lesquelles sont connectés des ordinateurs ou périphériques, voir d'autres contrôleurs. Il a pour avantage, Un nœud peut tomber en panne sans affecter les autres nœuds du réseau et comme inconvénient Ce type d'architecture est plus coûteux que les réseaux en bus et en anneau. En effet, la longueur du câblage est importante, ce qui entraîne un coût supplémentaire. De plus le contrôleur est un élément relativement cher. D'autre part, une panne du contrôleur provoque la déconnexion du réseau de tous les nœuds qui y sont reliés.

Quand un des ports d'un concentrateur est inoccupé, alors le concentrateur le court-circuite automatiquement afin que le réseau ne soit pas coupé (*à contrario d'un réseau en bus qui ne fonctionne plus si une station est déconnectée*). Il existe des « *HUB administrables* » qui permettent de segmenter le réseau. Les concentrateurs sont essentiellement un segment à l'intérieur d'une boîte. Il existe de vieux concentrateurs à « *média partagé* » qui sont « mono segment » (*le réseau est constitué d'un seul segment logique*), et les nouveaux concentrateurs (*on parle plus facilement de commutateurs*) qui segmentent le trafic (le réseau est constitué de plusieurs segments logiques). Le concentrateur centralise tous les échanges (*le trafic*), et toutes les communications passent au travers du concentrateur. Le concentrateur régénère le signal électrique (*comme un répéteur multiport*). Un concentrateur peut posséder 8 ou 10 ports, les ports peuvent être de différents types (*concentrateurs hybrides*).

Les commutateurs permettent de créer des segments logiques pour chacune des stations qui sont reliées à l'un de ses ports, et indépendamment des autres segments des autres stations. Le trafic est ainsi segmenté, et chacune des stations peut émettre n'importe quand, C'est alors au commutateur de répartir les communications qui lui parviennent. Il existe des commutateurs qui disposent d'une fonction d'auto découverte (*auto-discovery en anglais*) et qui en 10 minutes enregistrent les adresses MAC des nœuds du réseau.

Un commutateur peut être relié à plusieurs concentrateurs, en cascade (*à l'aide d'un câble UPLINK, le port juste à côté ne fonctionne plus*), ce qui permet d'étendre un réseau en longueur et en nombre de stations. L'utilisation du commutateur permet de compartimenter le trafic de tout le réseau, les concentrateurs sont tous reliés au commutateur, les stations reliées à un même concentrateur (*HUB*) constituent un segment logique, et il y a autant de segment logique qu'il y a de HUB. L'incorporation d'un commutateur au milieu de concentrateurs permet d'augmenter la bande passante relative des stations appartenant au même segment logique. 3 HUB de 4 ports chacun en cascade équivalent à un seul HUB de 10 ports. Les réseaux en étoile sont plus faciles à administrer et à planifier. Si une machine ou un câble tombe en panne, alors le réseau fonctionne toujours pour les autres machines ; mais si le concentrateur tombe en panne, alors C'est tout le réseau qui ne fonctionne plus. Les réseaux en étoile sont plus faciles à gérer car très facile à déplacer.

IV.1.1.3. LES RESEAUX EN ANNEAU

Les réseaux en anneau sont constitués d'un seul câble qui forme une boucle logique. Les réseaux en anneau sont des réseaux qui gèrent particulièrement le trafic. Le droit de parler sur le réseau est matérialisée par un jeton qui passe de poste en poste. Chaque poste reçoit le jeton chacun son tour, et chaque station ne peut conserver le jeton qu'un certain temps, ainsi le temps de communication est équilibré entres toutes les stations. Le trafic est ainsi très réglementé, il n'y a pas de collisions de « paquets », le signal électrique circule seul sur le câble, depuis la station émettrice jusqu'à la station réceptrice, et cette dernière renvoi un accusé de réception.

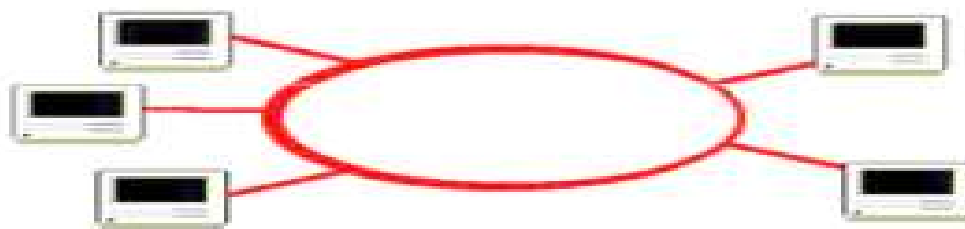


Figure 11. La topologie en anneau

La méthode d'accès au réseau s'appelle le passage du jeton. La topologie en anneau est dite « *topologie active* » parce que le signal électrique est intercepté et régénéré par chaque machine. Il existe un mécanisme qui permet de contourner une station qui est tombée en panne, C'est le « *by-pass* ». Quand une station n'a pas reçu le jeton au bout d'un certain temps, une procédure permet d'en créer un autre. En général, l'anneau se trouve à l'intérieur d'un boîtier qui s'appelle un MAU (*Multistation Access Unit*)⁸¹. Toutes les stations sont reliées au MAU. Il existe des anneaux doubles, où chaque station est reliée à deux anneaux différents. Cette redondance permet d'assurer une certaine sécurité. C'est généralement le cas de figure des réseaux étendus de type FDDI.

⁸¹ En réalité, dans une topologie anneau, les ordinateurs ne sont pas reliés en boucle, mais sont reliés à un **répartiteur** (appelé MAU, *Multistation Access Unit*) qui va gérer la communication entre les ordinateurs qui lui sont reliés en impartissant à chacun d'entre eux un temps de parole.

IV.1.1.4. LES RESEAUX MAILLES

Une topologie maillée correspond à plusieurs liaisons point à point (*Une unité réseau peut avoir (1, N) connexions point à point vers plusieurs autres unités.*) Chaque terminal est relié à tous les autres. L'inconvénient est le nombre de liaisons nécessaires qui devient très élevé lorsque le nombre de terminaux l'est.

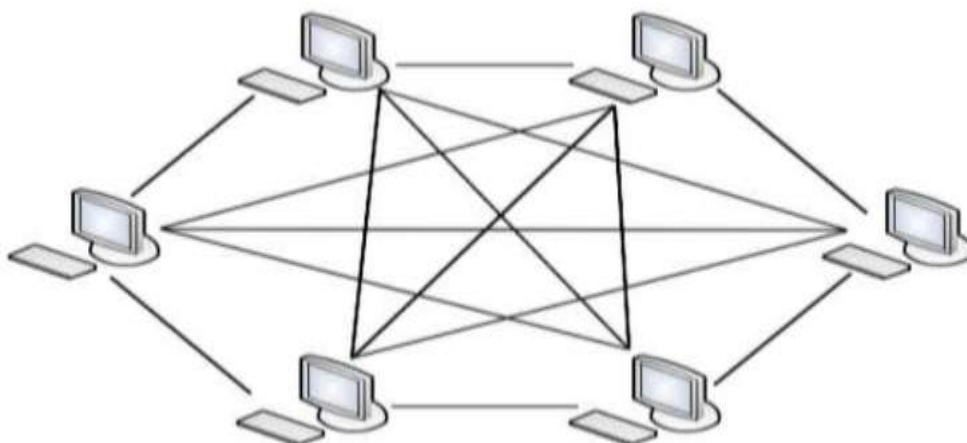


Figure 12. La topologie maillée

Cette topologie se rencontre dans les grands réseaux de distribution (*Exemple : Internet*). L'information peut parcourir le réseau suivant des itinéraires divers, sous le contrôle de puissants superviseurs de réseau, ou grâce à des méthodes de routage réparties. Elle existe aussi dans le cas de couverture Wi-Fi. On parle alors bien souvent « *de topologie mesh* » mais ne concerne que les routeurs Wi-Fi. Ceux-ci se relaient les paquets grâce au protocole OLSR.

IV.1.1.5. LE RESEAU HIERARCHIQUE

Aussi connu sous le nom de « *Réseau en arbre* », il est divisé en niveaux. Le sommet, de haut niveau, est connecté à plusieurs nœuds de niveau inférieur, dans la hiérarchie. Ces nœuds peuvent être eux-mêmes connectés à plusieurs nœuds de niveau inférieur. Le tout dessine alors un arbre, ou une arborescence. Le point faible de ce type de topologie réside dans l'ordinateur « *père* » de la hiérarchie qui, s'il tombe en panne, interdit alors toute communication entre les deux moitiés du réseau.



Figure 13. La topologie hiérarchique

IV.1.1.6. LES RESEAUX MIXTES

Les réseaux mixtes sont des réseaux qui mélangent deux topologies :

- ✗ Les bus en étoile ;
- ✗ Les réseaux 100VG-Any LAN (*ETHERNET à 100 Mb/s*) de la spécification IEEE 802.12 qui fonctionnent avec la méthode d'accès de la priorité de la demande ;
- ✗ Les anneaux en étoile

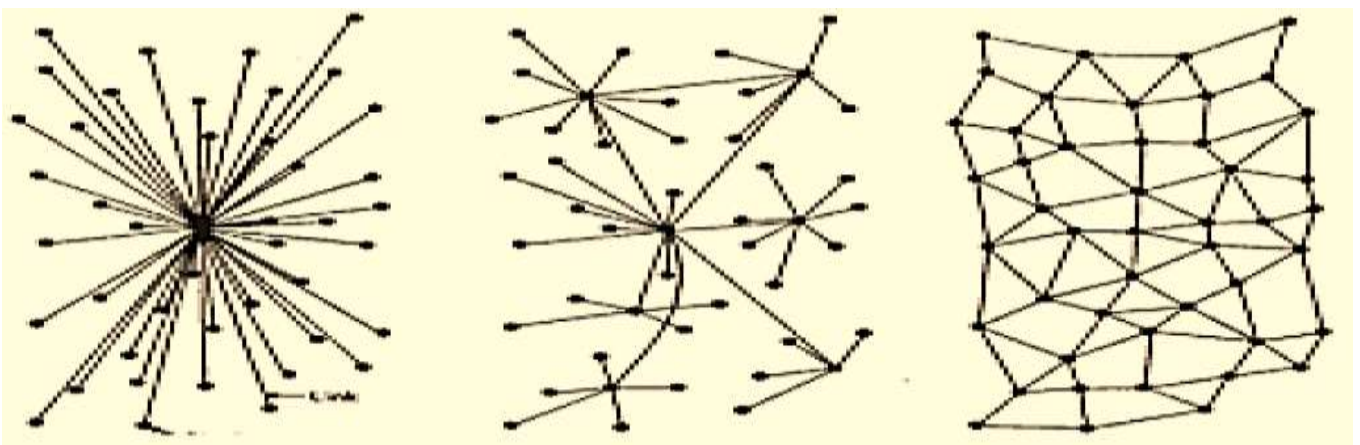


Figure 14. Les topologies mixtes

IV.1.2. TOPOLOGIE LOGIQUE

Une topologie logique⁸² est la structure logique d'une topologie physique, c'est-à-dire qu'elle détermine la manière dont les stations se partagent le support et dépend de la méthode d'accès au réseau. Par exemple, un réseau peut être considéré comme appartenant à une topologie en étoile, du point de vue physique, alors qu'en réalité il appartient à une topologie en anneau, du point de vue logique. Selon la méthode d'accès⁸³ au réseau, dans ce critérium de topologie, nous distinguerons 3 types de méthodes d'accès :

- ✎ La méthode par contention (*topologie d'initiative d'appel*) ;
- ✎ La méthode interrogatoire (*topologie par interrogation*) ;
- ✎ La méthode de jeton passant (*la topologie de passage de jeton*).

IV.1.2.1. LA TOPOLOGIE PAR CONTENTION

La topologie par contention, aussi appelée « *topologie d'initiative d'appel*⁸⁴ » est un mode de fonctionnement d'un canal dans un réseau sur lequel plusieurs entités (station) peuvent émettre en même temps. Dans la topologie par contention, chaque station émet quand elle en a besoin, après écoute du canal ou de la porteuse, qui doit être disponible. La trame émise est écoutée, pour vérifier qu'aucun signal ne vient perturber l'émission. Il n'existe, dans ce cas, aucun arbitrage du canal. C'est ainsi, dans cette technique, il y a possibilité que deux stations émettent simultanément, ce qui peut conduire à une surtension dans le cas d'un câble coaxial, ou à une réception d'informations sur la paire réceptrice, alors que des données sont émises sur l'autre paire torsadée. Cet état est qualifié « *de collision* »⁸⁵ et il peut être nécessaire qu'elle soit détectée et lorsqu'il se produit une collision, la première station, qui la détecte prolonge son émission par un signal spécial (*trame de brouillage ou JAM*), afin de prévenir les autres stations qu'une collision a eu lieu.

⁸² La topologie logique définit comment se passe la communication dans la topologie physique.

⁸³ Tout d'abord rappelons qu'une méthode d'accès décrit les règles qui régissent, pour chaque matériel, l'accès, la transmission et la libération du canal partagé.

⁸⁴ En général, la topologie dite « l'initiative d'appel » est utilisée dans la configuration de la topologie en Bus.

⁸⁵ La collision est tout événement se produisant quand plusieurs émetteurs émettent en même temps sur un même canal et qu'il se produise surcharge ou surtension du support de transmission.

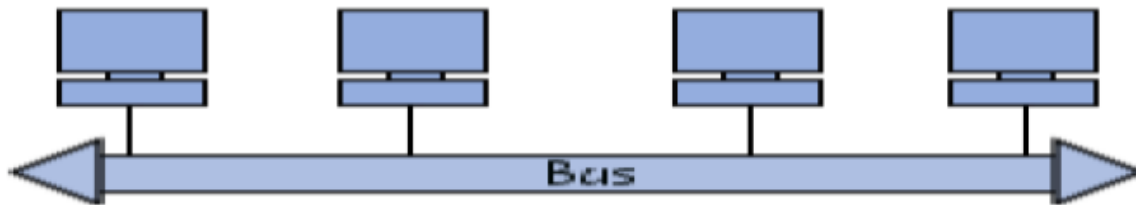


Figure 15. Topologie par contention

Dans ce cas, un temps d'attente est défini aléatoirement, pour chaque machine qui émettait au moment de la collision. Ainsi, elles n'essaieront pas de reprendre le contrôle du canal au même moment. C'est alors pour pallier à la problématique cette configuration logique, il existe deux implémentations (ou protocoles) les plus répandues de contention notamment : le CSMA/CD⁸⁶ (*Carrier sense multiple access / Collision Detection* ou *Détection de signal avec accès multiple et détection de collision* : utilisé le plus souvent dans les réseaux Ethernet) et le CSMA/CA (*Carrier sense multiple access / Collision Avoidance* ou *Détection de signal avec accès multiple et résolution* : utilisé le plus souvent dans les réseaux Macintosh)... bref, les 2 mises en œuvres, se distinguent par le fait que l'une détecte les collisions(*Collision Detection*) et l'autre tente de les éviter (*Collision Avoidance*).

Le principal avantage de cette gestion du support est sa simplicité. Cependant, la méthode n'est pas déterministe, car le temps d'accès au canal n'est pas prévisible. De plus, aucune gestion de priorité n'est possible pour les matériels qui ont des besoins d'accéder rapidement au support partagé.

IV.1.2.2. LA TOPOLOGIE PAR INTERROGATION

A ce niveau, un équipement du réseau est désigné comme « *administrateur de l'accès au canal* ». Ce matériel, aussi appelé « *maitre* » interroge dans un ordre prédéterminé chacun des autres nœuds et leur demande s'ils ont des informations à transmettre. Souvent le maitre est un concentrateur et les matériels secondaires sont les nœuds de l'étoile. L'avantage de cette méthode ou topologie par interrogation⁸⁷ est que les accès au canal sont centralisés. De plus, le temps d'accès et le volume des données manipulées sur le support sont prévisibles et fixes. Cependant, elle présente comme inconvénient, celui d'utiliser une partie de la bande passante du réseau pour émettre des

⁸⁶ Les protocoles CSMA/CD sont assez répandus et représentés entre autres par Ethernet version 2 et IEEE 802.3.

⁸⁷ Généralement, La topologie par interrogation est utilisée pour la topologie en étoile.

messages de gestion (*interrogations, avertissements, acquittements, ...*) ; ce qui est couteux en bande passante.

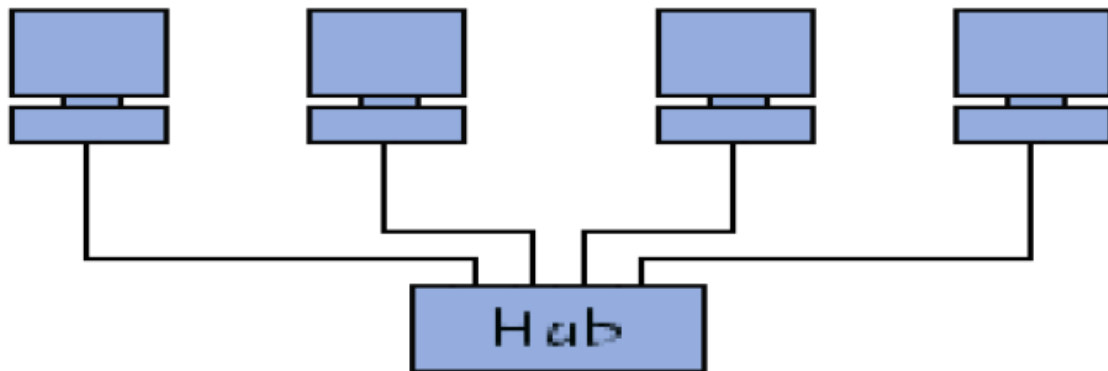


Figure 16. Topologie par interrogation

IV.1.2.3. LA TOPOLOGIE DE PASSAGE DE JETON

Dans cette topologie du jeton passant, les trames circulent de poste en poste, chacun se comportant comme répartiteur (*aussi bien, répéteur*). Initialement, une petite trame, le jeton (*ou token en anglais*), est répétée de poste en poste jusqu'à ce qu'une machine qui désire émettre le conserve pendant un temps fixée. Cette méthode d'accès est généralement utilisée sur une architecture en anneau.

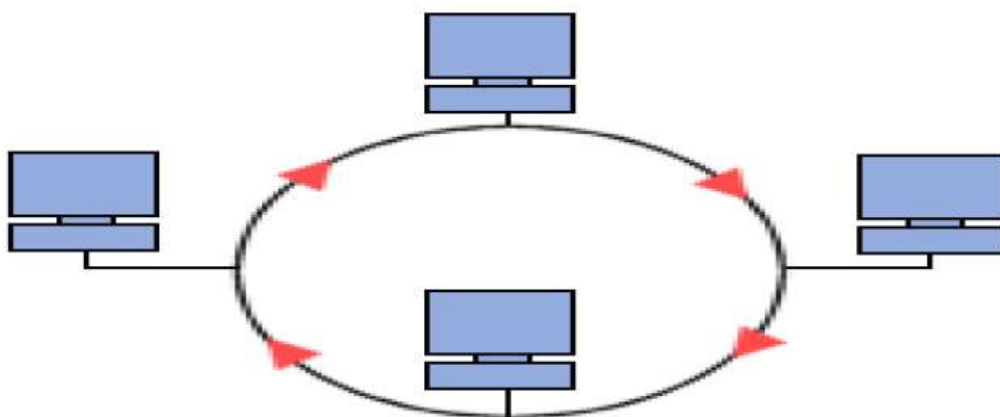


Figure 17. Topologie du jeton passant

CHAPITRE V. LA COMMUTATION DES RESEAUX INFORMATIQUES

Dans cette partie du cours, nous généralisons l'échange entre deux équipements à un ensemble de N équipements. Il s'agit d'examiner spécifiquement les matériels réseaux et les procédures à mettre en place pour permettre un dialogue entre deux équipements quelconques de cet ensemble. Les équipements considérés ici peuvent être des ordinateurs ou bien tout équipement susceptible de communiquer comme un simple téléphone, désignés par le terme générique « *d'équipements terminaux* ». En effet, la communication informatique dans ce cadre, examinera le nombre de liaisons point à point à mettre en place pour permettre tous les dialogues au sein d'un ensemble de N équipements terminaux, soient $N(N-1)/2$ liaisons nécessaires. C'est alors que chaque équipement devrait ainsi gérer $N-1$ liaisons. C'est par exemple, Pour 100 stations, il faudrait environ 5000 liaisons. Ceci montre l'impossibilité d'envisager des liaisons exclusives entre équipements terminaux.

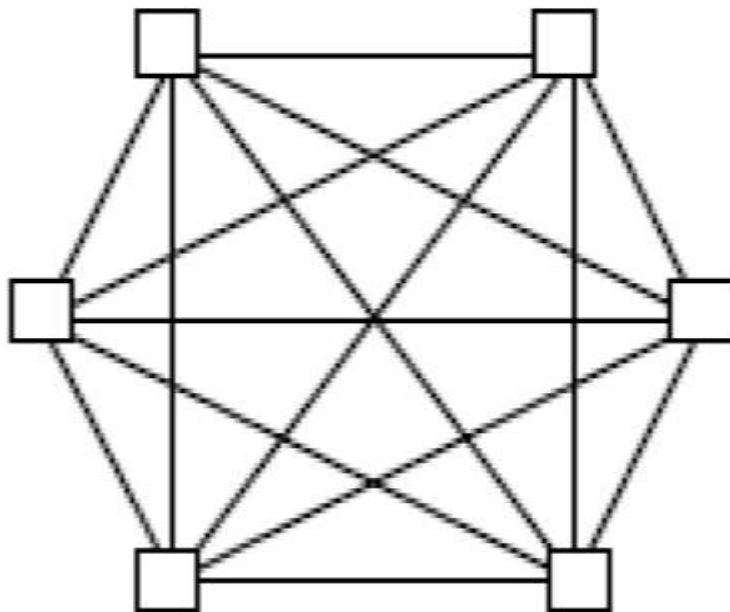


Figure 18. Tous les équipements sont reliés 2 à 2 : il y a $N(N-1)/2$ liaisons pour N terminaux.

Il est donc nécessaire de grouper les moyens de communication et de les *partager* entre les équipements terminaux pour réaliser un réseau. Ces moyens de communication peuvent être soit « *des liaisons point à point ou multipoint, soit des équipements capables de stocker et d'aiguiller l'information* ». Ainsi, de ces liaisons naîtra « *Un réseau de communication* » est donc un ensemble de ressources mis à la disposition d'équipements pour leur permettre d'échanger de l'information. Le terme réseau désigne suivant le contexte soit l'ensemble des ressources y compris les équipements terminaux, soit seulement le réseau de communication. On parle parfois de *réseau de transport* ou de *sous-réseau*.

La présence d'une multitude d'équipements terminaux oblige à définir un système d'identification cohérent au sein du réseau pour les différencier: C'est la technique dite « *l'adressage*⁸⁸ ». De plus, le réseau doit être capable d'acheminer une information vers tout destinataire en fonction de son adresse : c'est la fonction de « *routage*⁸⁹ ».

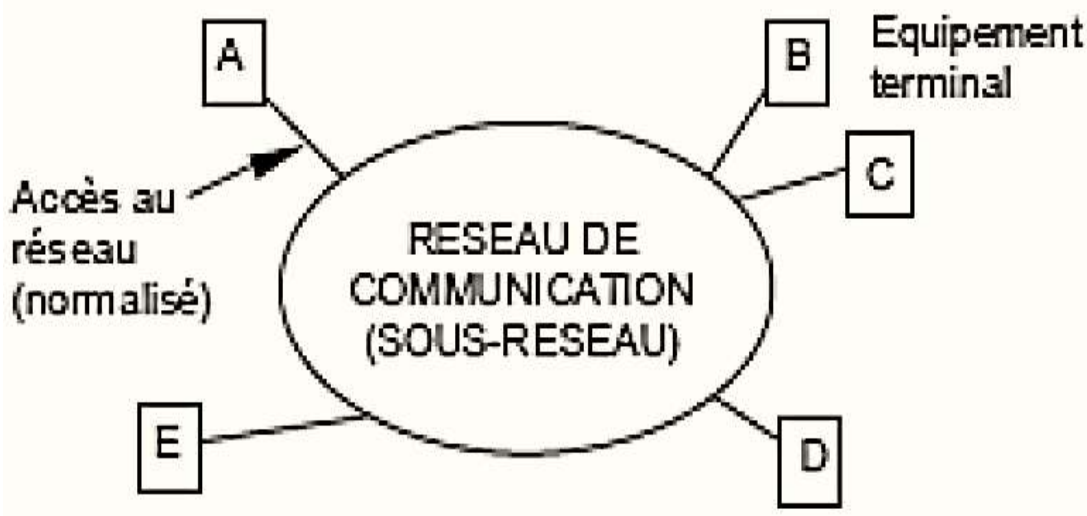


Figure 19. Réseau de communication

⁸⁸ L'adressage est un mécanisme de calcul des adresses

⁸⁹ Le routage est une méthode consistant à l'acheminement des informations à la bonne destination travers un réseau.

Un réseau de communication est généralement la propriété d'un « *opérateur*⁹⁰ » qui met cette ressource à la disposition de tiers moyennant rétribution. Dans ce cas, l'organisation du réseau est du ressort exclusif de l'opérateur. L'accès au réseau doit être normalisé tant pour les caractéristiques mécaniques et électriques que pour les procédures de dialogue. Cet accès au réseau peut être très différent de la nature interne du réseau : (*dans le cas des réseaux radio-mobiles, l'accès se fait par transmission sur la voie hertzienne alors que toutes les transmissions au sein du réseau se font sur des liaisons filaires*). De plus, un même réseau de communication peut avoir différents types d'accès : (*un réseau radio-mobile et le réseau téléphonique peuvent être organisés comme un seul réseau avec des accès classiques par fils et des accès par voie hertzienne*).

Un réseau peut être aussi la propriété exclusive de l'utilisateur. C'est le cas des *réseaux locaux d'entreprise* dont tous les équipements et les moyens de communications sont gérés entièrement par l'entreprise utilisatrice, appelés aussi *LAN (Local Area Network)*, ils peuvent accueillir plusieurs centaines d'équipements sur une distance de quelques kilomètres. La ressource partagée dans ce cas est le support de transmission qui est de type « *diffusif* » c'est-à-dire tous les équipements sont reliés à ce support commun et tout message émis est reçu par l'ensemble des équipements. Cette caractéristique amène à des architectures spécifiques qui seront traitées dans le chapitre sur les réseaux locaux.

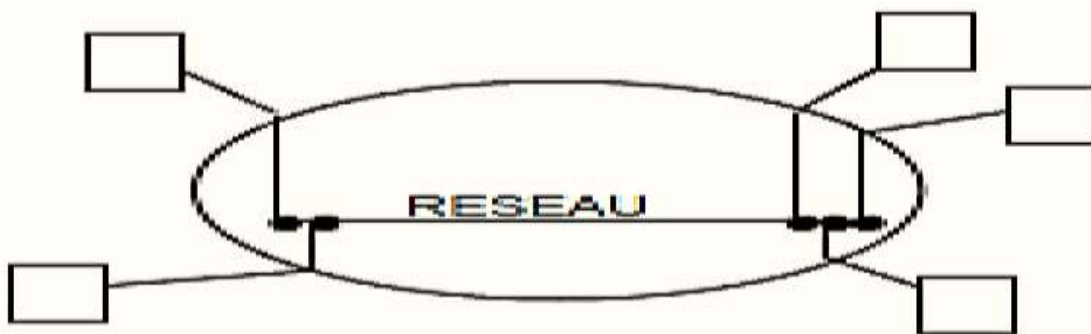


Figure 20. Réseau local

⁹⁰ Un opérateur est tout simplement une compagnie gérant le réseau. Ex : Orange, Vodacom.

V.1. RESEAUX A COMMUTATION

Dans le cas des réseaux grande distance, appelés aussi *WAN* (*Wide Area Network*), reliant plusieurs centaines de milliers voire millions d'équipements terminaux sur un territoire national, il n'est pas possible de partager un même support de transmission. On utilise un réseau à commutation. Les équipements terminaux sont reliés à des « commutateurs ». Ces derniers sont les « carrefours » du réseau et ont pour fonction de concentrer, d'éclater et de rediriger les informations. Les commutateurs sont reliés entre eux par des « circuits point à point » qui constituent des artères de communication. Un réseau de communication peut ainsi se définir comme un graphe ou un ensemble de nœuds, les *commutateurs*, et d'arcs, les *circuits*⁹¹.

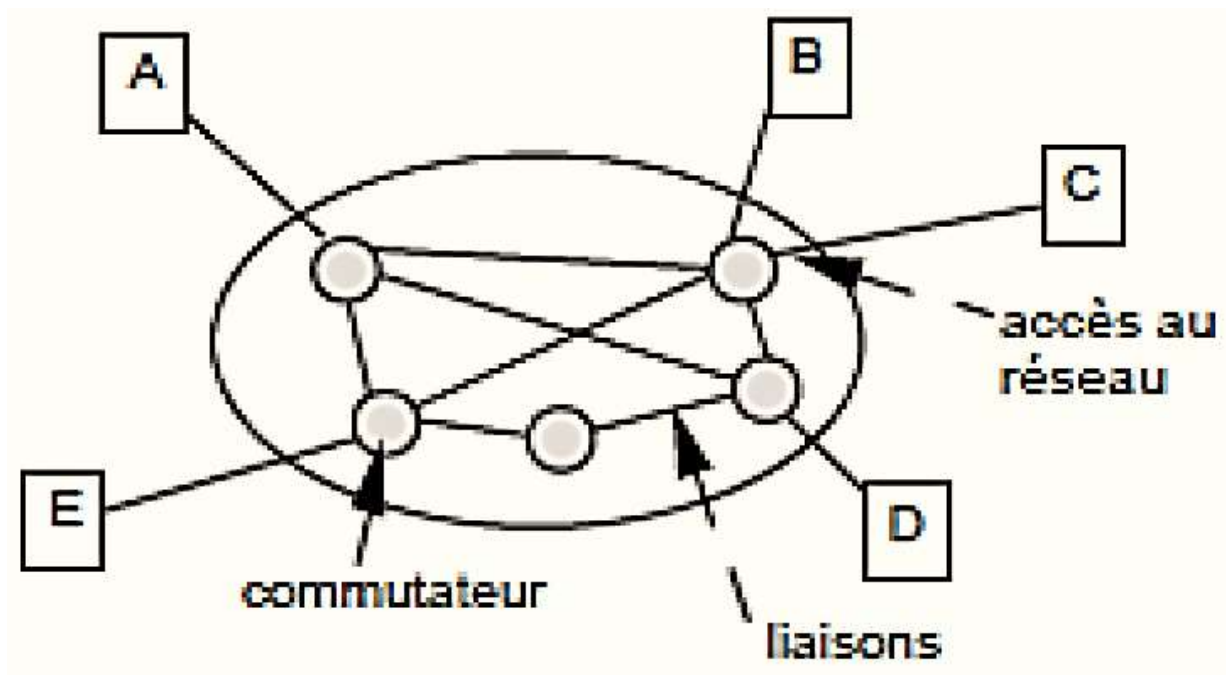


Figure 21. Réseau à commutation

⁹¹ Ces circuits sont quelquefois appelés « canaux, jonctions, lignes de transmission ou même liaisons selon les cas ».

V.2. DIFFERENTS TYPES DE COMMUTATION

V.2.1. LA COMMUTATION DE CIRCUITS

Dans les réseaux à *commutation de circuits*, de multiples supports de transmission sont installés entre les différents commutateurs. Pour échanger des informations entre deux équipements terminaux, il est nécessaire de déterminer un chemin à travers le réseau et de réserver un support de transmission entre chaque paire de commutateurs situés sur ce chemin. Chaque commutateur réémet les signaux qu'il reçoit suivant ce chemin. Le réseau fournit donc l'équivalent d'un support de transmission point à point entre les équipements terminaux. Le réseau téléphonique est un exemple classique de réseau à commutation de circuits. Dans le contexte de la téléphonie, le mot « *circuit* » désigne « *une liaison entre 2 commutateurs* ». Tout dialogue se décompose en 3 phases : une première phase d'établissement du circuit entre les équipements terminaux par réservation de l'ensemble des circuits nécessaires à l'intérieur du réseau, la seconde phase classique de transfert des informations puis la troisième phase de libération pour permettre la réutilisation des différents circuits par d'autres équipements terminaux.

La libération se fait à la demande d'un des équipements terminaux (*ou si le réseau détecte qu'un équipement est en panne*). Tant qu'elle n'a pas eu lieu, les circuits restent réservés à l'intérieur du réseau, même s'il n'y a aucun transfert d'information. Ce type de commutation présente l'inconvénient de monopoliser les circuits entre commutateurs pendant la durée entière du dialogue. Il est donc nécessaire de multiplier les circuits entre commutateurs, on parlera dans ce cas de *faisceaux* (*ou trunks*). Il nécessite, de plus, la disponibilité simultanée des deux équipements terminaux pour tout dialogue.

En revanche, il présente l'avantage d'être assez simple : (*la commutation de circuits peut s'appliquer sur un réseau analogique ou bien numérique*). Dans le cas d'un réseau numérique, la mémoire nécessaire dans les commutateurs est réduite et il n'y a aucun traitement à faire sur l'information transmise⁹².

⁹² Un faisceau peut correspondre à plusieurs supports physiques différents (par exemple une paire torsadée par circuit) ou bien à un seul support physique sur lequel les circuits sont multiplexés en temps ou en fréquence mais la philosophie reste la même : (il y a toujours réservation d'une partie de la capacité de transmission pendant tout le dialogue).

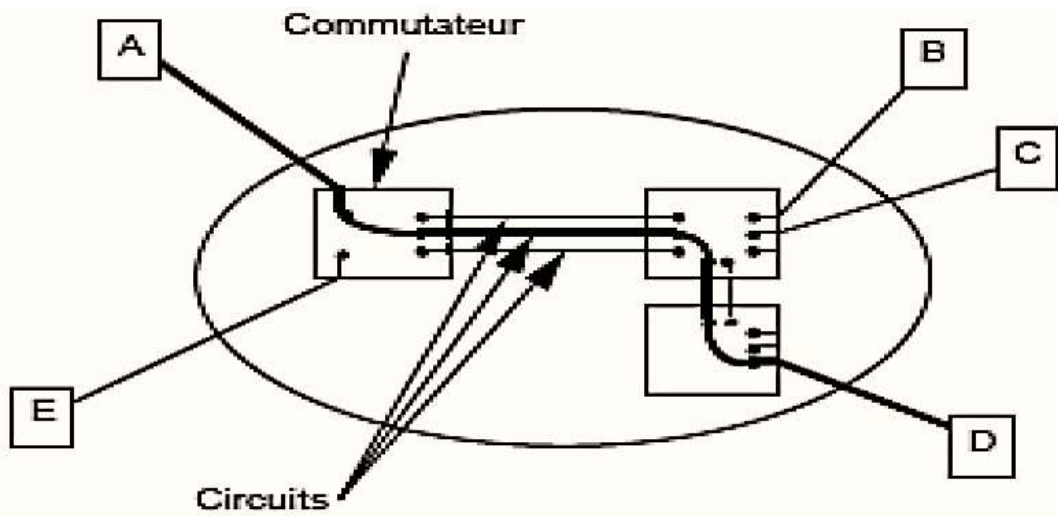


Figure 22. Commutation des circuits

V.2.2. COMMUTATION DE MESSAGES

La *commutation de messages* s'applique aux seuls réseaux numériques. Un *message* est défini comme une suite de données binaires formant un tout logique pour les équipements terminaux : (*C'est, par exemple, un fichier complet, un courrier électronique ou une page d'écran*). Lorsqu'un équipement veut transmettre un message, il lui ajoute l'adresse du destinataire et le transmet au commutateur. Celui-ci attend la réception complète du message, le stocke, analyse son adresse et le réémet alors vers le commutateur voisin adéquat.

Le message transite ainsi à travers le réseau par réémissions successives entre les commutateurs⁹³ (*on utilise quelquefois le terme anglais store-and-forward*). Dans un tel réseau, chaque commutateur doit être capable de stocker le message en entier. Comme un commutateur supporte simultanément plusieurs dialogues et que la taille d'un message est déterminée par les équipements, la mémoire nécessaire peut être importante.

⁹³ Les commutateurs sont reliés deux à deux par une liaison de données. Celle-ci est occupée uniquement pendant la durée de transmission du message mais elle n'est jamais monopolisée par un équipement indépendamment de toute transmission. De plus, si un équipement terminal est temporairement indisponible, le réseau peut stocker le message jusqu'au rétablissement de l'équipement.

De plus, le délai de transmission à travers le réseau est fonction du nombre de commutateurs traversés et de la taille du message. Il peut donc être assez important. Enfin, pour un taux d'erreur donné par bit transmis, la probabilité d'une erreur sur un message augmente avec la taille du message. La transmission de longs messages dans le réseau est donc très pénalisante. Le réseau *Télex* est un réseau à commutation de messages. La commutation de messages n'étant plus l'objet de développements aujourd'hui, elle n'est pas traitée ici.

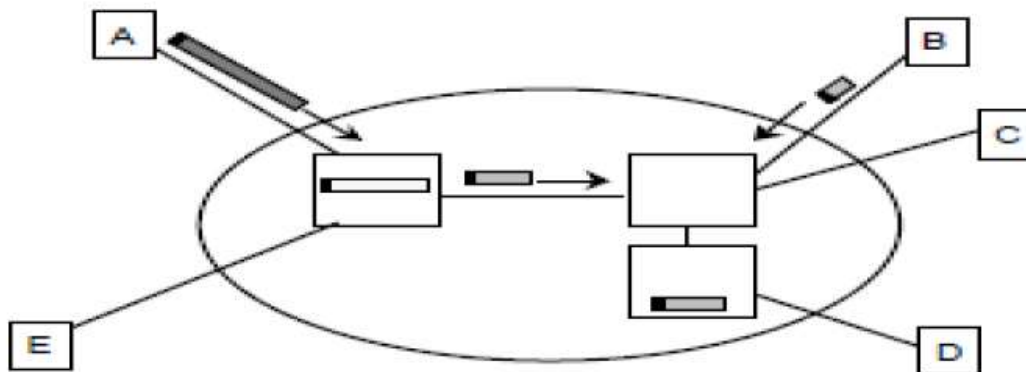


Figure 23. Commutation des messages

V.2.3. COMMUTATION PAR PAQUETS

Les inconvénients de la commutation de messages sont liés à la taille des messages. La *commutation par paquets* consiste à découper les messages en morceaux appelés segments. Ce découpage est la *segmentation*. Il est fait par l'expéditeur. A chaque segment sont ajoutées des informations permettant d'identifier l'expéditeur et le destinataire (*l'ensemble forme un paquet*).

La taille maximale d'un paquet est fonction du réseau. Les paquets sont acheminés par le réseau comme dans un réseau à commutation de messages jusqu'au destinataire. Celui-ci attend la réception de tous les paquets pour reconstituer le message et le traiter. Cette opération est appelée le « *réassemblage* ». Un paquet ne forme pas un tout logique pour l'équipement terminal. Il n'a de sens que comme « *atome d'information* » acheminé par le réseau par rémissions successives entre les commutateurs. Sa petite taille permet de réduire le délai global d'acheminement des messages à travers le réseau.

Une liaison entre commutateurs n'est pas monopolisée par un équipement mais supporte la transmission de paquets de multiples utilisateurs. Si le débit de la liaison est supérieur au flux transmis par l'ensemble des utilisateurs, elle peut supporter de multiples dialogues simultanés tout en donnant l'impression à chacun d'être seul sur le réseau. Le flux généré par un utilisateur donné et peut augmenter subitement, l'impact sera faible sur le flux global. On a donc un effet de *multiplexage statistique*⁹⁴.

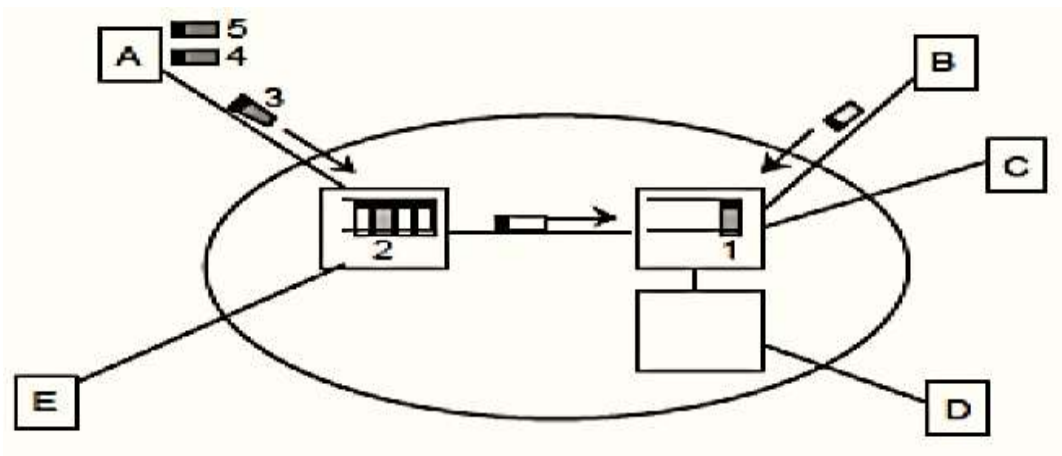


Figure 24. Commutation par paquet

Comme chaque paquet doit traverser le réseau, il est nécessaire qu'il contienne un « *en-tête* » comportant des informations de contrôle. Ces informations sont utilisées par les commutateurs pour un aiguillage correct. Le format de l'en-tête est défini par l'opérateur du réseau. Chaque paquet reçu par un commutateur est stocké puis son entête est analysé. En fonction des informations de contrôle, le paquet est aiguillé vers un autre commutateur ou le cas échéant vers l'équipement terminal. Si la liaison vers le commutateur concerné est occupée, le paquet est conservé en mémoire : (*chaque commutateur se comporte donc comme une mémoire tampon*).

⁹⁴ Action de faire passer plusieurs communications à travers un seul et même canal en quantifiant les flux d'informations lors de la transmission.

Le dimensionnement de la mémoire des commutateurs est un des éléments déterminant la capacité et les performances d'un réseau à commutation par paquets. Si la mémoire d'un commutateur est entièrement utilisée, celui-ci n'est plus en mesure de recevoir de nouveaux paquets. Il peut, dans certains cas, détruire des paquets et dégrader les performances du réseau. L'ensemble des techniques mises en œuvre pour éviter la saturation de la mémoire des commutateurs s'appelle le « *contrôle de congestion*⁹⁵ ».

De plus, les liaisons entre les commutateurs ne sont pas d'une fiabilité totale. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des protocoles de liaison de données entre chaque paire d'équipements. Les commutateurs gèrent donc autant de liaisons de données que le nombre d'équipements auxquels ils sont reliés. L'approche utilisée pour la structuration des équipements est une approche hiérarchique : (*pour chaque liaison dans le réseau, une entité de liaison de données s'occupe de fournir un dialogue fiable*).

La gestion de l'aspect réseau, c'est-à-dire l'aiguillage des paquets, est réalisée par une autre entité, *l'entité réseau* qui utilise l'entité de liaison de données comme une boîte noire fournissant un service. L'entité réseau est la seule entité à interpréter l'en-tête des paquets. En revanche, l'entité de liaison de données considère les paquets comme un tout logique à transmettre, c'est-à-dire comme de l'information à placer dans une trame, par exemple HDLC (*High level Data Link Control : le paquet constitue donc le champ Information de la trame*). Ce processus s'appelle *l'encapsulation*⁹⁶.

⁹⁵ On parle de *contrôle de congestion*, lorsqu'un réseau a des ressources insuffisantes pour faire face à toutes les demandes de transfert qui lui sont adressées.

⁹⁶ C'est faire en sorte que le fonctionnement interne d'un programme ou d'une procédure ne soit pas accessible par l'utilisateur.

V.2.4.. COMMUTATION DE TRAMES

La commutation de trames ou *relais de trames* est une évolution de la commutation par paquets avec service circuit virtuel. Le réseau offre toujours un service en mode connecté, utilisant des principes identiques à X25 pour le routage des informations, mais n'assure pas l'intégrité totale ni le contrôle de flux sur les données. Dans un réseau utilisant X25, chaque paquet (*élément vu par l'entité réseau*) est transporté dans une *trame* (élément vu par l'entité liaison de données). Le paquet possède ses informations de contrôle (référence à la connexion établie, numéros de paquet,...) et la trame qui le transporte possède elle aussi ses informations de contrôle (*adresse, numéros de trame, bloc de contrôle d'erreur...*).

Le relais de trames consiste à assurer les fonctions de routage à travers le réseau directement sur les *trames* (*il compacte les couches 2 et 3 en une seule*) et supprime les fonctions de contrôle d'erreur et de contrôle de flux entre les commutateurs du réseau : (*ces fonctions sont reportées sur les utilisateurs, qui les assureront, s'ils en ont besoin*). Typiquement, pour le contrôle d'erreur, on conserve les mécanismes de détection mais il n'y a aucune correction des erreurs dans le réseau : l'utilisateur sera obligé de commander lui-même les retransmissions.

Cette simplification des procédures *dans le réseau* est d'autant plus acceptable que les transmissions utilisent des fibres optiques de très bonne qualité. Il s'agit donc d'une solution intéressante pour offrir des débits plus élevés. Le relais de trames offre ainsi un service en mode connecté avec établissement de *liaisons virtuelles rapides* (*similaires au circuit virtuel d'X25*). La taille des trames est quelconque. Transpac a fait évoluer son protocole X25 vers le relais de trames. Dans un premier temps, le relais de trame a été utilisé à l'intérieur du réseau, ce qui reste transparent pour les utilisateurs. Puis, Transpac a offert aux utilisateurs d'accéder au réseau en relais de trames.

V.2.5. COMMUTATION DE CELLULES

Une nouvelle technique de commutation émerge aujourd'hui, en particulier pour le réseau numérique à intégration de services large bande. Il s'agit d'une commutation hybride, qui allie commutation de circuits et commutation par paquets. Elle utilise une technique de transfert dite ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Les informations (*voix, données, images...*) sont toutes découpées en paquets de taille fixe, baptisés *cellules* et contenant 48 octets d'informations utiles. Le Mode de transfert asynchrone défini par une norme l'ITU, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) est une technologie de télécommunication basée sur le principe de la commutation par *cellules* qui sont des paquets de taille *fixe* et *petite* (53 octets), ce qui lui permet d'être très rapide et efficace.

ATM a été développé à l'origine par des chercheurs français (*CNET, Centre National d'Etudes des Télécommunications*). L'objectif est de transmettre sur le même réseau des données, de la parole, des images, en temps réel. Les problèmes posés par les autres technologies sont multiples : trop faible capacité des réseaux, faibles vitesses de transmission, rigidité des services offerts, interconnexion difficile entre différents types de réseaux, coût élevé des solutions performantes, incapacité de transmettre parole et images en temps réel, qualité de service insuffisante.

La commutation de cellules pousse le raisonnement précédent (*évolution d'X25 vers le relais de trames*) encore plus loin. Elle supprime la détection d'erreur sur les données et réduit les contrôles au seul « *en-tête* » des cellules. L'unique traitement dans les commutateurs du réseau est alors la commutation et le routage (*il n'y a plus de liaison de données et le niveau réseau est réduit au strict minimum*). Le fait que les liaisons soient des fibres optiques, que les cellules soient petites et de taille fixe, qu'elles passent toutes par le *même chemin virtuel* sont des atouts de la technologie ATM qui peut ainsi offrir une excellente qualité de service et apporter un confort d'utilisation tel que les qualités des liaisons commutées et des liaisons permanentes sont équivalentes. Les débits peuvent être quelconques et en particulier variables.

Ceci apporte une très grande souplesse par rapport au RNIS *bande étroite* du fait qu'il est entièrement construit sur la base de l'unique débit 64 kbit/s. Par ailleurs, les délais de traversée du réseau sont garantis très faibles (*commutateurs puissants et dimensionnés pour le traitement de cellules de taille fixe*). Ceci permet la mise en œuvre d'applications d'images avec compression en temps réel et fait d'ATM l'unique technologie pour le multimédia.

CHAPITRE VI. LES SUPPORTS DE TRANSMISSION

La transmission de données entre un émetteur et un récepteur suppose que soit établie une liaison sur un *support de transmission* (appelée aussi *Ligne*⁹⁷ ou *canal transmission*) munie d'équipement de transmission à ses extrémités. Le terme « *Support de transmission* » désigne le support physique qui permet de transporter les informations d'un appareil à un autre, il peut y avoir différents types de supports de transmission de nature très divers : *ligne téléphonique, câble coaxial, fibre optique, atmosphère et autres*. Ces moyens de transmission ont des *caractéristiques* spécifiques et impliquent des *contraintes* à leur utilisation.

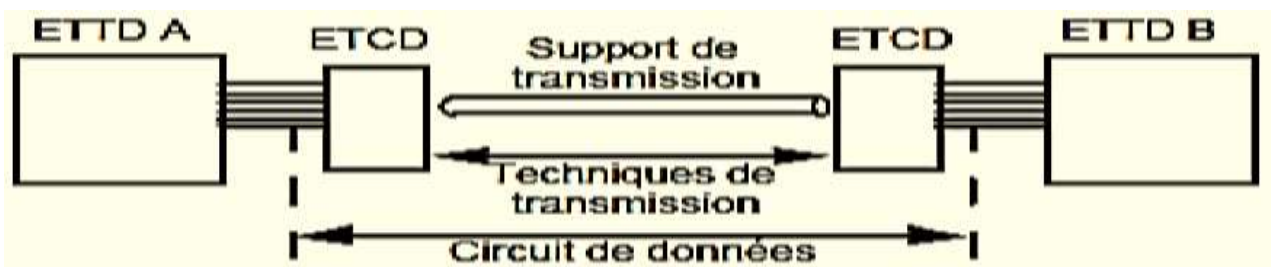


Figure 25. Constitution d'un circuit des données

- ✦ L'ETTD « DTE » (Équipement Terminal de Traitement des Données ou *Data Terminating Equipment*) : désigne l'équipement informatique qui génère les données à transmettre et traite les données reçues. (L'ETTD est, par exemple, un ordinateur personnel).
- ✦ L'ETCD « DCE » (Équipement de Terminaison du Circuit de Données ou *Data terminating Circuit Equipment*) : il reçoit en entrée la suite de données binaires et fournit en sortie un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support de transmission. Il effectue également l'opération inverse : recevant le signal qui s'est propagé dans le support, il en extrait une suite de données binaires. L'ETCD est couramment appelé *modem* pour modulateur-démodulateur. Il est souvent intégré aux ordinateurs (le *minitel*, par exemple, est un terminal très simple muni d'un *modem intégré*)⁹⁸.

⁹⁷ Une ligne de transmission est un ensemble des conducteurs qui suivent le même trajet, acheminant un signal entre deux points (d'un émetteur vers un récepteur), en particulier pour assurer une propagation

⁹⁸ Pour permettre une indépendance entre les ordinateurs et les ETCD, une interface a été définie sous le nom de V24. Cette interface peu performante mais relativement simple s'est considérablement développée. La grande majorité des ordinateurs en sont pourvus.

VI.1. LA QUALITE DU CIRCUIT DE DONNEES

La qualité du circuit de données est mesurée à l'aide de différents critères :

- ✚ Le *taux d'erreurs* : est le rapport du nombre de bits erronés reçus au cours d'une période d'observation, au nombre total de bits transmis pendant cette période.
- ✚ La *disponibilité* : permet d'évaluer la proportion de temps pendant lequel la transmission est possible (absence de panne ou de coupure). Dans certains cas, on s'intéresse également au nombre d'incidents et à leur durée cumulée, afin d'en déterminer la durée moyenne et, le cas échéant, le coût.
- ✚ Le *débit binaire D* : représente le nombre de bits transmis par seconde. On précise éventuellement si ce débit est possible en duplex intégral, en semi duplex ou en simplex.
- ✚ La *rapidité de modulation R* : indique le nombre de symboles transmis par unité de temps et s'exprime en *bauds*. Le mot baud vient d'Emile BAUDOT (1845-1903), ingénieur français. Si d représente la durée exprimée en secondes de l'intervalle significatif le plus court séparant deux symboles successifs, alors $R = 1/d$ bauds. La relation liant la rapidité de modulation au débit binaire est la suivante : $D = R \cdot \log_2 V$ Où V est la valence des signaux émis, c'est-à-dire le nombre de symboles utilisés. Pour des signaux de valence 2, donc pour lesquels chaque intervalle d transporte un bit, les valeurs numériques du débit et de la rapidité de modulation sont égales.

VI.2. CARACTERISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilités des métaux (*paires torsades, câble coaxial*) ou celles des ondes électromagnétiques (*faisceau hertzien, fibre optique*). Les supports de transmission, quels qu'ils soient, ne sont malheureusement pas parfaits. Ils ont une bande passante limitée, supportent divers bruits et ont de ce fait une capacité à transmettre les signaux limitée :

VI.2.1. LA BANDE PASSANTE

La largeur de la bande passante (*le débit auquel des données sont transférées à travers un réseau*) est la *caractéristique essentielle* d'un support de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse donc passer qu'une bande limitée de fréquence appelée *bande passante*. Toute fréquence en dehors de cette bande est fortement affaiblie et limitée c'est-à-dire que certains signaux se propagent correctement dans le support (*ils sont affaiblis mais encore reconnaissables à l'autre extrémité*), mais d'autres ne le traversent pas du tout (*ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les retrouve plus du tout à la sortie*).

La bande passante d'un support est la bande de fréquences des signaux dont la puissance à la sortie, après la traversée du support, est supérieure à un seuil donné. En général, on caractérise un support par sa bande à 3 dB (*décibels*), c'est-à-dire par la plage de fréquence à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie d'un signal sinusoïdal est au pire divisée par deux (*en notant P_s la puissance de sortie et P_e la puissance d'entrée, l'affaiblissement en dB s'exprime comme $10 \log_{10} P_e/P_s$. Pour $P_e/P_s = 2$, on trouve $10 \log_{10} P_e/P_s = 3$ dB*). Intuitivement, plus un support à une bande passante large et plus il pourra transporter d'informations par unité de temps.

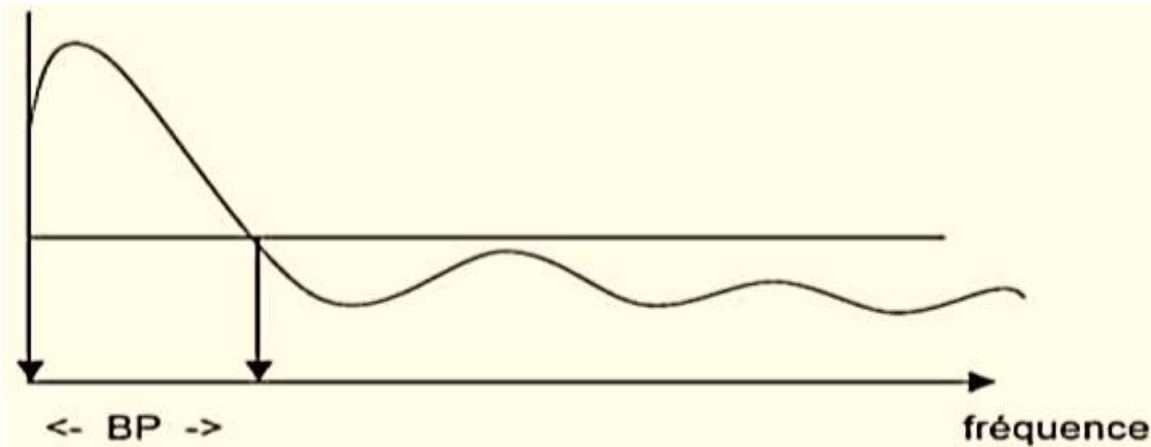


Figure 26. Schéma d'une Bande passante

Exemple : une ligne téléphonique ordinaire ne laisse passer que les signaux de fréquence comprise entre 300Hz et 3400Hz. Au dehors de cette bande les signaux sont fortement atténués et ne sont plus compréhensibles, on dit alors que la bande passante d'une telle ligne est de 3400–300 Hz soit 3100Hz. Par contre un câble coaxial utilisé dans les réseaux locaux a une bande passante nettement supérieure dont la largeur est de l'ordre des centaines de MHz (300 à 400 MHz). Il est important de noter que lorsqu'on parle de bande passante W (en Hz), on indique une longueur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle.

VI.2.2. BRUITS

Le bruit est un *signal perturbateur* provenant du canal lui-même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient *s'ajouter* au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les *erreurs de transmission*.



Figure 27. Signal bruité

On distingue généralement *deux types de bruit* :

- **bruit blanc** : Le bruit blanc⁹⁹ est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal, il s'agit essentiellement d'un bruit provoqué par l'agitation thermique des électrons dans le conducteur électrique.
- **bruit impulsif** : Comme son nom l'indique ce type de bruit est à caractère impulsif, il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très gênants pour la transmission de données, car le signal perturbateur modifie la *forme* du signal reçu à des instants quelconques (*aléatoires*) telles qu'il se produit des erreurs à la réception. Les sources de bruit impulsif sont nombreuses. On peut citer notamment :
 - ⊗ *la diaphonie (crosstalk)* est d'une manière générale, *une influence mutuelle indésirable entre signaux utiles transmis sur des conducteurs voisins l'un de l'autre dans l'espace, par exemple dans un même câble*. Cela résulte principalement d'un couplage inductif dû au champ magnétique de l'une des lignes sur l'autre et réciproquement.
 - ⊗ *Les brusques variations de courant* sur les lignes d'alimentations électriques.
 - ⊗ *Les Phénomènes atmosphériques*, solaires, ou autres.

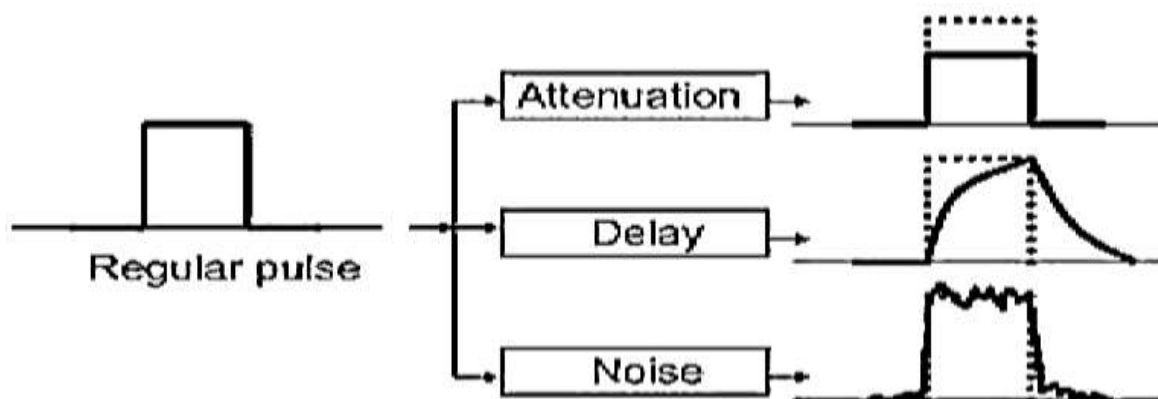


Figure 28. Bruit impulsif

⁹⁹ On l'appelle blanc par analogie à la lumière blanche qui possède une densité spectrale uniforme. Le concept de bruit blanc n'est permis qu'à travers des systèmes linéaires.

VI.2.3. DEPHASAGE OU DISTORSION

Le déphasage¹⁰⁰, encore appelé « *distorsion de phase* », implique un retard du signal reçu par rapport au signal émis dû au temps de propagation de ce signal de l'émetteur vers le récepteur.

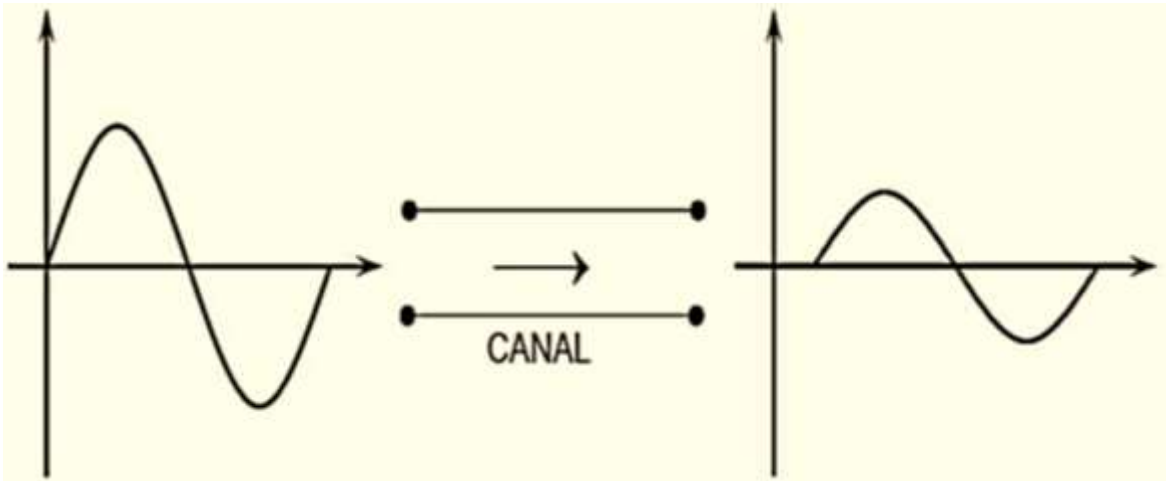


Figure 29. Atténuation et retardement subis pour un signal sinusoïdal traversant un canal

Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent même lorsque ceux-ci ont des fréquences adaptées. En effet, plusieurs sources de *bruit* perturbent les signaux et des *distorsions* (*d'amplitude ou de phase*) peuvent s'avérer gênantes pour la reconnaissance des signaux en sortie. Par ailleurs, la distance est un facteur d'affaiblissement, particulièrement important pour les liaisons par satellite.

Enfin, certaines perturbations de l'environnement peuvent également introduire des bruits (*foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers pour les supports métalliques...*). Même lorsque les signaux sont adaptés aux supports de transmission, on ne pourra pas garantir à 100% leur exactitude à la réception.

¹⁰⁰ Le terme « **déphasage** » ne concerne en toute rigueur que les signaux sinusoïdaux (la phase est un angle); pour les autres signaux le terme exact est « *décalage (temps)* » ; mais on a coutume par simplification d'utiliser le terme « *déphasage* » quelle que soit la forme des signaux.

VI.2.4. AFFAIBLISSEMENT

Un canal de transmission atténué (*affaiblit*) l'amplitude du signal qui le traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à une *perte d'énergie du signal* pendant sa propagation sur le canal, et *s'accroît* avec la longueur de celui-ci. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la *fréquence du signal* et de la *bande passante du système*. On mesure l'atténuation par le rapport P_s/P_e où P_s est la puissance du signal à la sortie du canal et P_e la puissance du signal à l'entrée du canal. Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (*dB*) sous la forme $10 \log(P_s/P_e)$ (*elle est aussi exprimée en décibels par kilomètre*).

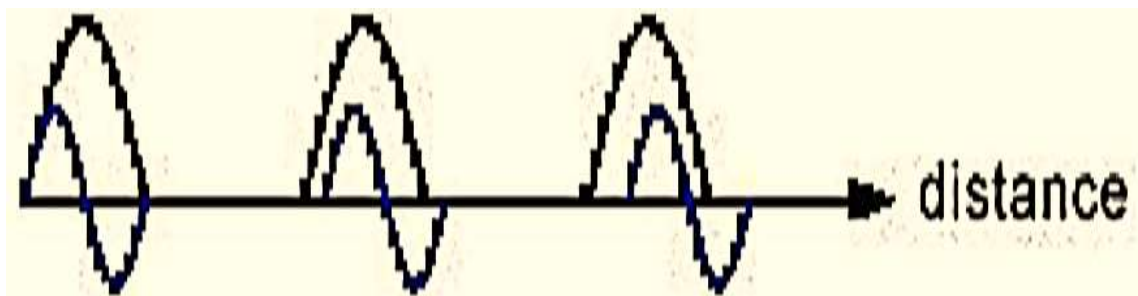


Figure 30. Affaiblissement du signal

VI.2.5. CAPACITE LIMITEE

L'ensemble des caractéristiques ci-haut ne fait que la capacité d'un support de transmission est limitée. Par capacité, nous entendons la quantité d'information transportée par unité de temps. Un théorème dû à *Shannon*¹⁰¹ donne une borne maximale de cette capacité, notée *CapMax* et exprimée en bits par seconde :

$$CapMax = W \log_2 (1 + S/B)$$

Où W est la largeur de la bande passante exprimée en Hertz, S/B est la valeur du rapport puissance du signal à puissance du bruit, la base deux du logarithme servant pour exprimer l'information en bits. A titre d'exemple, sur une liaison téléphonique dont la bande passante a une largeur de 3100 Hz et avec un rapport S/B correspondant à 32 dB (valeurs courantes), on obtient : $10 \log_{10} S/B = 32$ donc $\log_{10} S/B = 3,2$ soit $S/B = 1585$ $CapMax = 3100 \log_2 (1 + 1585)$ soit avec $1586 = 210,63$ $CapMax = 3100 \times 210,63 = 33000$ bit/s.

¹⁰¹ Claude Shannon, mathématicien américain du XX^{ème} siècle qui a développé la théorie de l'information

VI.3. LES PRINCIPAUX SUPPORTS DE TRANSMISSION

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : *les supports métalliques, non métalliques et immatériels*. Les supports métalliques, 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 immatériels des *communications sans fil* propagent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

VI.3.1. LES PAIRES TORSADÉES

Une *paire torsadée non blindée* (UTP, *Unshielded Twisted Pair*) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal.

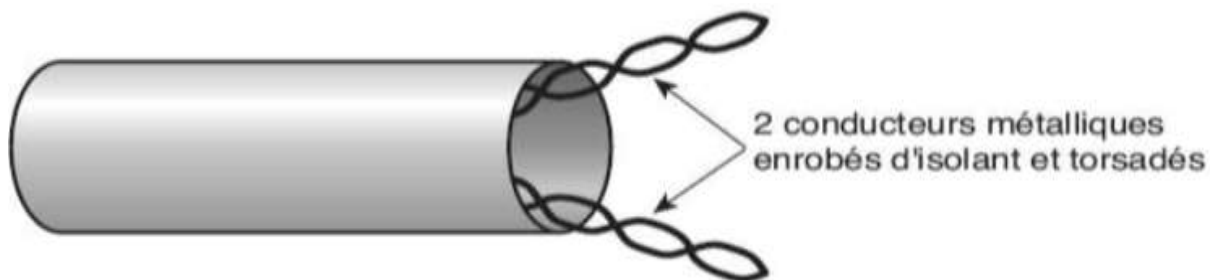


Figure 31. Schéma de la Paire torsadée.

L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites dues à l'environnement. L'utilisation courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la *boucle locale*) ou la desserte des usagers de réseaux privés. Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible. Les paires torsadées contiennent, à intervalles réguliers, des *répéteurs* qui régénèrent les signaux. Quand un câble dit câble multi-paire rassemble plusieurs paires, les courants transportés interfèrent les uns avec les autres. Les torsades des paires présentent l'intérêt de limiter ce phénomène appelé *diaphonie* (*crosstalk*).

La paire torsadée suffit pour les réseaux locaux d'entreprise où les distances se limitent à quelques kilomètres. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements, faible coût. Certains constructeurs proposent des *paires torsadées blindées* (STP, *Shielded Twisted Pair*). Enrobées d'un conducteur cylindrique isolant, elles sont mieux protégées des rayonnements électromagnétiques parasites. Une meilleure protection prévoit un blindage par paire. La *catégorie* d'un câble de paires torsadées définit sa *qualité* : celle-ci correspond à des normes américaines et internationales.

À titre d'exemple, le câble de *catégorie 5* (*norme EIA/TIA 568A de 1994*), variété la plus couramment déployée dans le câblage des immeubles, contient quatre paires aux couleurs d'enrobage normalisées (*bleu, orange, vert et brun*) avec une impédance de 100 Ω d'une longueur de 100 m, supportant une fréquence maximale de 100 MHz, pour un débit inférieur à 1 Gbit/s et des caractéristiques précises de diaphonie (*27 dB*), de pertes en retour (*8 dB*) et d'affaiblissement (*24 dB* par tranche de 90 m). Un câble de catégorie supérieure, *5e* par exemple, supporte jusqu'à 155 MHz avec de meilleures caractéristiques de diaphonie (*30 dB*) et de pertes en retour (*10 dB*).

Le connecteur de raccordement de ces câbles est la prise *RJ45*. Les normes spécifient aussi le type d'isolation et de blindage utilisé entre les différentes paires du câble. Les réseaux évoluant vers des débits toujours plus élevés, les instances de normalisation ont travaillé à la définition de standards de câblage plus performants, avec des spécifications très strictes : *catégorie 6* (*fréquence maximale 250 MHz et débit inférieur à 10 Gbit/s*), voire *catégorie 7*, qui utilise une connectique différente et que l'on réserve aux environnements ayant des exigences de sécurité et de performances très élevées.

TYPE DE CABLE	VITESSE SUPPORTEE	TYPE DE RESEAU
CATEGORIE 1	TELEPHONIE	Téléphone
CATEGORIE 2	1Mbps	Token-ring et telephone
CATEGORIE 3	16Mbps	Token-Ring et 10baseT
CATEGORIE 4	20Mbps (Full duplex)	10 Base T
CATEGORIE 5	100Mbps	10BaseT et 100 Base TX
CATEGORIE 5 ^e	1Gbps	Giga Ethernet
CATEGORIE 6	250GHZ (≤ 5 Gbps)	Réseau à très haut débit
CATEGORIE 7	600GHZ (≤ 10 Gbps)	

Tableau 1. Récapitulatif des différentes catégories de la paire torsadée

VI.3.2. LES CABLES COAXIAUX

Pour éviter les perturbations dues aux bruits externes, on utilise deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. Le tout forme un *câble coaxial*. Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée : affaiblissement moindre, transmission de signaux de fréquences plus élevées, etc. La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs centaines de mégabits par seconde peut être atteint. Sur des distances supérieures à 10 km, l'atténuation des signaux réduit considérablement les débits possibles. C'est la raison pour laquelle on utilise désormais les fibres optiques sur les liaisons grandes distances. Les câbles coaxiaux restent très utilisés dans les réseaux de télévision et les réseaux métropolitains (*à l'échelle d'une grande ville*).

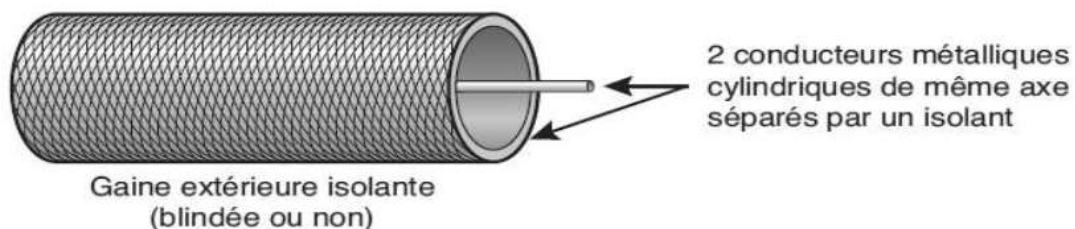


Figure 32. Schéma Câble coaxial

VI.3.3. LA FIBRE OPTIQUE

Une *fibre optique* est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une « *diode électroluminescente* » ou « *une source laser* », et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre et s'y propage sur plusieurs kilomètres sans pertes. Nettement plus chère, la fibre optique permet des débits élevés. Utilisant un signal lumineux, elle est insensible aux parasites électromagnétiques. Ce support est fragile, difficile à installer et se casse facilement sous un effet de torsion.

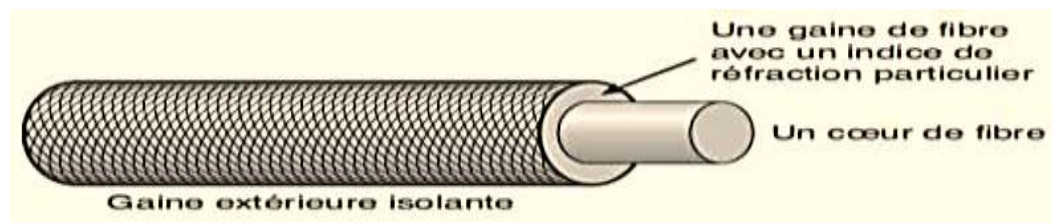


Figure 33. Schéma de la Fibre optique

La fibre optique possède néanmoins de plusieurs avantages :

- ✗ Légère ;
- ✗ Parfaite immunité aux signaux parasites électromagnétiques ;
- ✗ Faible atténuation du signal avec la distance ;
- ✗ Accepte des débits supérieurs à 10 Gb/s ;
- ✗ Largeur de bande élevée, de quelques dizaines de MHz à plusieurs GHz ;
- ✗ Elle est interconnecter dans des réseaux locaux ou sur de longues distances ;
- ✗ Elle possède un diamètre extérieur de l'ordre de 0,1 mm, poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facile à utiliser.

Le **câblage optique** est souvent utilisée pour les connexions entre plusieurs bâtiments (*appelé backbone*) et longues distances (*de quelques kilomètres à 60 km pour la fibre monomode*). Ce type de câble ne permet pas non plus d'écouter sur le câble, il n'émet aucun signal électromagnétique lors d'un transfert de données¹⁰². Deux types de fibres optiques sont utilisés :

¹⁰² En outre, sa très grande capacité autorise la transmission simultanée de nombreux canaux de télévision, de téléphone... Les points de régénération des signaux sont plus éloignés (jusqu'à 200 km), du fait de l'atténuation moindre de la lumière.

- ✎ **Le monomode (SMF)** : utilise un seul canal de transfert à l'intérieur du conducteur et permet des transferts jusque 100 Gb/s par kilomètre. Le chemin est parfaitement linéaire, il n'y a aucune dispersion du signal. Par contre, la source d'émission est une diode laser, plus chère et plus difficile à mettre en œuvre.

- ✎ **Le multimode (MMF)** : utilise une simple diode LED moins chère mais avec un signal non rectiligne. Les rayons utilisent différents trajets suivant les angles de réfraction et donc différents temps de propagations: le signal doit être reconstruit à l'arrivée. Principalement utilisées pour les réseaux internes, les performances sont de l'ordre du Gb/s.

Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques est un avantage très apprécié, puisqu'une fibre supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques. On peut l'utiliser dans des environnements perturbés (*avec de puissants champs électromagnétiques ou des corrosions chimiques agressives, par exemple*). Par ailleurs, elle résiste bien aux écarts de température. La fibre optique constitue la plupart des artères des réseaux de télécommunications et des réseaux locaux à très haut débit.

Les premières fibres optiques employées dans les télécommunications, apparues sur le marché à partir des années 1970, étaient **multimodes** (*à saut d'indice ou à gradient d'indice, selon que l'indice de réfraction de la lumière varie de manière brutale ou progressive entre le cœur et la gaine de la fibre*). Ces fibres étaient réservées (*et le sont encore*) aux débits inférieurs au gigabit par seconde, sur des distances de l'ordre du kilomètre.

Plusieurs longueurs d'onde bien choisies se propagent simultanément en de multiples trajets dans le cœur de la fibre. Pour des débits plus élevés et des distances plus longues, la fibre *monomode*, de fabrication plus récente, plus fine, assure la propagation d'une seule longueur d'onde dans son cœur (*quelques micromètres de diamètre*) et offre donc de meilleures performances : on atteint le téraoctet par seconde sur plusieurs kilomètres. Comme pour les paires métalliques, des câbles, ou faisceaux, recouverts de gaines isolantes regroupent plusieurs fibres optiques. Ces câbles sont enfouis dans le sol à un mètre de profondeur ou posés sur le fond des océans, par exemple, pour les communications transcontinentales.

VI.3.4. LES TRANSMISSIONS SANS FIL

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère ou dans le vide (*le terme d'éther désigne parfois ce type de support*). L'absence de support matériel apporte une certaine souplesse et convient aux applications comme la téléphonie ou les télécommunications mobiles, sans nécessiter la pose coûteuse de câbles. On utilise des transmissions directionnelles avec des faisceaux hertziens pour franchir de grandes distances ou, au contraire, des transmissions avec des ondes diffusées pour atteindre des récepteurs géographiquement dispersés.

VI.3.4.1. LES FAISCEAUX HERTZIENS

Les *faisceaux hertziens* reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (*de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz*) et de faisceaux produits par des antennes directionnelles (*émettant dans une direction donnée*). La propagation des ondes est limitée à horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

La seconde moitié du XXe siècle a vu le développement de systèmes de télécommunications par satellite, avec des *satellites géostationnaires* (positionnés dans le plan de l'équateur à 36 000 km d'altitude) et des micro-stations terrestres (VSAT, *Very Small Aperture Terminal*) dotées de petites antennes et déployées dans des zones rurales par exemple. Plusieurs expériences de satellites en orbite basse (*750 km d'altitude*) furent tentées à la fin du siècle avec 66 satellites pour le projet *Iridium* et 48 satellites seulement mais des relais terrestres pour le projet *Global star*. Les solutions de télécommunications par satellite, malgré leur coût de déploiement, restent intéressantes pour les applications militaires et sont indispensables dans l'organisation rapide des secours lors de catastrophes naturelles comme le tsunami dans l'océan Indien en 2004 ou celui du Japon en 2011, suite à un important tremblement de terre.

IV.3.4.2. ONDES RADIOELECTRIQUES

Les *ondes radioélectriques* correspondent à des fréquences comprises entre 10 kHz et 2 GHz. Un émetteur diffuse ces ondes que des récepteurs dispersés géographiquement captent. 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. En revanche, la qualité de la transmission est moindre car les interférences sont nombreuses et la puissance d'émission est beaucoup plus faible.

VI.3.5. LES AUTRES TRANSMISSIONS

Les opérateurs de télécommunications recherchent des solutions pour faire face à une demande toujours plus forte. Ils explorent ainsi la totalité du spectre des ondes, avec des fréquences de plus en plus élevées. Notons que certaines bandes de fréquences sont libres (*réservées à un usage industriel, scientifique ou médical*) pourvu que la puissance d'émission soit faible (*10 mW par exemple*) et que l'émission ne soit pas continue (*afin de limiter les interférences*).

Malgré ces contraintes, ces bandes sont plutôt encombrées et souffrent de nombreuses perturbations, sans parler des problèmes de confidentialité. Les ondes infrarouges ont fait l'objet d'expérimentation pour les communications. Elles ne sont guère utilisables qu'entre un ordinateur et son imprimante car elles ne traversent pas les obstacles. Enfin, la transmission d'ondes lumineuses en espace libre pourrait s'imaginer entre sommets d'immeubles en visibilité directe, pour raccorder les réseaux contenus dans chacun d'eux, surtout s'il s'agit d'un besoin temporaire.

CHAPITRE VII. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les normes établies par les organismes internationaux (*et particulièrement américains*) de normalisation ont contribué à l'ouverture des architectures propriétaires, à la convergence des efforts des petites sociétés, et à l'expansion de la micro-informatique dans le monde... D'une certaine façon, les organismes de normalisation sont à l'origine de la compatibilité, de l'interopérabilité et de la démocratisation des outils informatiques. Par exemple, les réseaux de l'architecture SNA d'IBM, ne pouvaient communiquer avec les réseaux DNA de DIGITAL ... Les besoins croissants des entreprises en matière d'interactivité, de partage de données, et de portage des applications dans différents environnements ont accéléré le développement des normes pour les réseaux.

VII.1. LES ORGANISMES DE NORMALISATION

En général, les normes sont des spécifications techniques qui imposent certaines contraintes de fabrication aux constructeurs. Les fabricants adhèrent volontairement à ces directives, à ces recommandations, parce qu'elles leur assurent une large part de marché. Aujourd'hui, la conformité aux normes est presque un impératif. Les normes concernent tous les aspects de l'informatique : les matériels, les logiciels, et même les personnels avec les certifications. Tout doit rentrer dans l'ordre. Les normes correspondent à la publication d'une certaine technologie par des organismes, tandis que les standards correspondent à la reconnaissance des utilisateurs pour une certaine technologie. Les principaux organismes de normalisation sont soutenus par les grandes entreprises de l'industrie informatique.

L'objectif de la normalisation est de définir et promouvoir des normes pour permettre aux utilisateurs et fournisseurs de logiciels ou de matériels de travailler avec les mêmes concepts (*au niveau syntaxique et sémantique*). La normalisation a aussi pour objectif de stimuler la concurrence entre fournisseurs de produits, ce qui devrait conduire à la baisse des coûts pour les utilisateurs.

La normalisation, dans le domaine des réseaux, s'avère de plus en plus importante vis-à-vis des types d'accès existants aujourd'hui (*n'importe qui peut accéder à des données se trouvant à l'autre bout de la planète, ce qui ne peut se faire que s'il y a un minimum de normes d'échange à respecter*). Le processus de normalisation est souvent très lent :

- normalisation au niveau d'un pays (*convaincre au niveau national*) ;
- normalisation au niveau continental (*convaincre au niveau européen, par exemple*) ;
- normalisation au niveau mondial (*arriver à imposer une idée au niveau international*).

Parfois, la normalisation conduit à freiner le développement de certaines idées pour lesquelles les produits et concepts changent trop vite, comme c'est le cas des réseaux. Il y a toujours les partisans et les adversaires de la normalisation tous azimuts. Les premiers mettent en avant les avantages de la normalisation et les seconds ont pour argument la difficulté de mettre en place des organisations efficaces, rapides et surtout vraiment indépendantes (*souvent les attitudes partisans de tel ou tel pays conduisent à geler pendant des années le programme d'une norme*). Certains considèrent que les réseaux propriétaires (*c'est-à-dire non normalisés*) constituent une arme efficace pour accroître la sécurité d'un système informatique (*en effet, si on ne connaît pas les règles de communication utilisées au sein du réseau d'une organisation, il est plus difficile d'y pénétrer*). Les organismes de normalisation peuvent être constitués de différentes manières :

- ✕ Les services d'un état ;
- ✕ Des instituts universitaires ;
- ✕ Des organismes de recherche ;
- ✕ Des consortiums d'entreprises privées ;
- ✕ Un « *melting pot* ».

Avant la naissance des principaux organismes de normalisation, deux grandes catégories de problèmes se sont posées : d'abord, « *la diversité propriétaires* », ensuite, « *l'hétérogénéité croissante des réseaux* »... cela engendra maintenant, le besoin de protocoles ouverts normalisés et/ou standardisés. C'est la naissance des Organismes de normalisation :

- ✎ *Les Opérateurs télécoms : ITU ou UIT (« International Telecommunication Union ou Union Internationale de la télécommunication » avec comme **recommandations V., X., I.**) créé en 1865, à Genève, anciennement appelée CCITT « Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique ou Consulative Committee for International Telegraph and Telephone » ; actuellement sous l'appellation de l'UIT-T ou ITU-T¹⁰³. Cet organisme a pour rôle de publier des recommandations tous les 4 ans, qui se distinguent par la couleur de la couverture. Le CCITT se divise en 15 groupes de travail. C'est par exemples, Les normes de la série V pour les modems.*

- ✎ *Les Organismes officiels de normalisation : ISO (« International Standard Organisation » : dont le siège est à Paris, avec comme **modèle de référence OSI** « Open System for Interconnexion ») : qui regroupe les organismes de normalisation nationaux dont :*
 - *l'ANSI (« American National Standard Institute ou Organisme de Normalisation Américain »), qui se charge « des constructeurs, des consommateurs et des groupes d'intérêt général », ayant mise au point le système « **AINSL.SYS** » dans MS-DOS, qui est un pilote se chargeant actuellement de l'interprétation des commandes. Cet organisme a aussi normalisé les 128 caractères du codage ASCII¹⁰⁴, les langages de programmation tels que (FORTRAN, COBOL, C), ainsi que les interfaces SCSI (Small Computer System Interface).*

 - **COSE** (Common Open Software Environment) dont l'objectif est de développer une interface graphique commune à tous les environnements UNIX. Une interface (CDE pour Common Desktop Environment), et des API (Application Programming Interface).

¹⁰³ *UIT-T ou ITU-T : (Union Internationale de la télécommunication – Standardisation des Télécommunications ou International Telecommunication Union – Standardisation Telecom)*

¹⁰⁴ *ASCII : « American Standard Code for Information Interchange », qui est une table de codage des caractères habituels et spécifiques présentés pendant différentes périodes, d'abord pour la première fois en 1963, puis 1965 et enfin en 1968 ;*

- **OMG** (*Object Management Group*) qui certifie des produits. L'architecture OMA (*Object Management Architecture*) pour servir de modèle aux applications et aux environnements orientés objet.
- **OSF** (*Open Software foundation*) qui crée des environnements hétérogènes et multi fournisseurs en combinant des technologies provenant de différents fabricants. La plate-forme DCE (*Distributed Computing Environment*). L'outil d'administration réseau DME (*Distributed Management Environment*). OSF/1 qui est un système d'exploitation UNIX fondé sur le noyau MACH et qui intègre le multi traitement symétrique, des fonctionnalités avancées de sécurité et la configuration dynamique. OSF/MOTIF qui est une interface graphique commune à plusieurs environnements. OSF/ANDF qui permet de développer des applications portables sur n'importe quel environnement.
- **l'IEEE** (« *Institute of Electrical and Electronic Engineer* » ou « *Association américaine des ingénieurs en électronique* »), basé dans la normalisation des principaux LAN.
- **l'EIA** (« *Electronic Industries Association* »), créé en 1924, dans le domaine de l'électronique, il se charge de la normalisation du câblage et interfaces physiques ; c'est par exemple : **la norme RS-232C** (*Recommended Standard : pour la famille de standards d'interface de ports de communication série, là où, on y branche des souris, des modems et même des imprimantes avec des connecteurs à 9 ou 25 broches*).
- **SAG** (*SQL Access Group*) fondé en 1989 et qui travaille avec l'ISO. L'objectif du SAG est l'interopérabilité des différentes variantes du langage de requête SQL, et de définir des normes pour les logiciels frontaux et dorsaux des différentes bases de données. La normalisation du langage SQL. SQL RDA (*Remote Database Access*) pour la communication entre un serveur et un client. SQL Access CLI (*Call Level Interface*) qui est un ensemble d'API.
- **l'IETF** (« *Internet Engineering Task Force* ») : c'est une organisation de normalisation dépendant de la direction des architectures d'Internet, chargé de définir les outils utilisés par l'internet. C'est grâce à cette organisation que le « *IPv6* » a été normalisé. Et cet organisme compte plus de centaine de groupes de travail, qui œuvrent dans tous les domaines concernant le réseau.

- **AFNOR** (« *Association Française de Normalisation* »), c'est une organisation de normalisation qui représente l'ISO en France, travaillant également dans le domaine généralisé informatique.
- **ISOC** (« *Internet Society* »), organisation de Normalisation, fondée en janvier 1992 et rattachée **IAB** « *Internet Architecture Board* », chargé de promulguer les standards au niveau Mondial. Actuellement, l'ISOC, reconnaît le **HTML** « *HyperText Markup Language : qui définit le format des documents web* », le **SGML** « *Standard Generalized Markup Language : Métalangage utilisé pour définir de façon générale des langages hypertextes de toutes sortes* » et le **VRML** « *Virtual Reality Modeling Language : Langage orienté objet de manipulation d'objet 3D* » comme les langages informatiques.
- **DIN** (« *Deutsches Institut für Normung* »), organisme de standardisation Allemand, faisant aussi partie de la représentation de l'ISO en Allemagne.
- **BSI** (« *British Standardization Institut* »), Organisme National de Standardisation Anglais, aussi membre de l'ISO, en Angleterre.
- **IBN** (« *Institut Belge de Normalisation* ») ; en Belgique.
- **JISC** (« *Japanese Industrial Standards Committee* »), au Japon.
- **SEV** (Schweizerischer Electrotechnischer Verein), en Suede.
- **RFC¹⁰⁵** (« *Request For Comments* »): Dans le domaine Internet, on ne parle pas de normes mais de « *standards* ». Comme les standards Internet sont censés évoluer dans le temps suite à des améliorations, remarques et critiques émanant de tout le monde, les documents officiels qui contiennent les standards sont appelés « *RFC¹⁰⁶* ». Ils sont publiés par un organisme appelé IETF (*Internet Engineering Task Force*). Voici quelques numéros de RFC très utilisés :

¹⁰⁵ La liste complète des RFC se trouve à : http://www.ietf.org/iesg/1rfc_index.txt

¹⁰⁶ Il existe des milliers de RFC (presque 4800 en janvier 2007). Depuis avril 1969, des centaines de RFC sont rajoutés chaque année. Des RFC peuvent devenir obsolètes suite à l'apparition de nouveaux RFC. Les RFC sont classés, selon cinq classifications : obligatoire, recommandé, facultatif, limité, non recommandé ainsi que trois niveaux de maturité qui sont standard proposé, standard brouillon, standard internet.

- ➔ IP (Internet Protocol) : RFC 791 ;
- ➔ Assigned Numbers : RFC 1340;
- ➔ The IP Network Address Translator (NAT) : RFC 1631;
- ➔ ARP (Address Resolution Protocol) : RFC 826;
- ➔ ICMP (Internet Control Message Protocol) : FRC 792;
- ➔ TCP (Transmission Control Protocol) : RFC 793;
- ➔ UDP (User Datagram Protocol) : RFC 768;
- ➔ DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) : 2131;
- ➔ BOOTP (Bootstrap Protocol) : RFC 951;
- ➔ IPsec (IP Security): RFC 2401, 2402, 2406, 2408, 2409, 3095...
- ➔ PPP (Point-to-Point Protocol) : RFC 1661;
- ➔ DNS (Domain Name Server) : RFC 1033, 1034, 1035 ;
- ➔ VoIP : RFC 3550, 2032, 3261

VII.2. LES PROTOCOLES RESEAUX

Un protocole réseau est un ensemble de règles et de procédures de communication utilisées de part et d'autre par toutes les stations qui échangent des données sur le réseau. Autrement, c'est un ensemble de règles convenues entre 2 entités désirant communiquer et permettant d'instaurer un dialogue compréhensible. Cependant, dans un réseau des données, Les protocoles est Ensemble de règles convenues entre 2 équipements informatiques désirant communiquer et permettant d'instaurer un dialogue compréhensible. Principaux problèmes à traiter pour échanger des informations :

- Codage des bits en signaux ;
- Procédure de transmission ;
- Détection des erreurs ;
- Retransmission des données perdues ;
- Contrôle de flux ;
- Contrôle et mise à jour du routage ;
- Vérification du séquençement des paquets ;
- Aiguillage locale vers une application ;
- Formatage des données.

Chacun de ces problèmes spécifiques peut être traité par une entité fonctionnelle appelée « *couche* », destinée à accomplir une tâche ou à rendre un service. C'est par Exemple, les 7 couches du modèle OSI : Principaux problèmes à traiter pour échanger des informations :

- Codage des bits en signaux - couche 1
- Procédure de transmission - couche 2
- Détection des erreurs - couche 2
- Retransmission des données perdues - couche 2
- Contrôle et mise à jour du routage - couche 3
- Contrôle de congestion - couche 3
- Vérification du séquençement des paquets □□couche 4
- Fragmentation des données - couche 4
- Aiguillage locale vers une application - couche 5
- Formatage des données - couche 6 et 7

La mise en considération de ces problèmes donnera naissance à deux catégories d'architectures protocolaires des couches notamment :

- ***L'architecture protocolaire point à point (Peering)***: ayant pour but de réaliser un dialogue entre un système d'extrémité et un relais, ou entre deux relais ; d'assurer le transport de l'information dans le réseau ; de faire fonctionner les entités en mode connecté ou non connecté.
- ***L'architecture protocolaire bout à bout (Ending)*** : ayant pour but de réaliser un dialogue entre les systèmes d'extrémités ; de vérifier l'intégrité des informations remises aux applications ; d'organiser le dialogue applicatif ; de faire fonctionner les entités en généralement en mode connecté.

Il existe de nombreux protocoles réseaux (*NETWORK PROTOCOLS*), mais ils n'ont pas tous, ni le même rôle, ni la même façon de procéder. Certains protocoles réseaux fonctionnent au niveau de plusieurs couches du modèle OSI, d'autres peuvent être spécialisés dans la réalisation d'une tâche correspondant à une seule couche du modèle OSI. Un paquet transmis sur le réseau est constitué de plusieurs couches d'informations correspondant aux différents traitements de chacun des protocoles de la pile¹⁰⁷. Différentes piles de protocoles peuvent coexister sur une même station, selon les besoins de communication vers des environnements différents. Les piles sont alors ordonnées entre elles afin que le processus de transmission essaye d'abord l'une puis l'autre. Un réseau qui comporte plusieurs segments doit en général utiliser un protocole routable.

VII.2.1. LE MODELE OSI ET LA PILE DE PROTOCOLES

Une pile de protocoles est une combinaison de plusieurs protocoles. Plusieurs protocoles peuvent collaborer ou coopérer au sein d'une suite ou d'une « *pile de protocoles* » (*PROTOCOL STACK*). Dans une pile de protocole, les différents protocoles sont organisés, ordonnés, hiérarchisés, les uns à la suite des autres, afin d'accomplir un ensemble de tâches correspondant à tout ou partie du modèle OSI. Le fonctionnement des différents protocoles de la pile doit être coordonné afin de prévenir les conflits et les opérations inachevées.

¹⁰⁷ Pile : c'est une structure des données classique où les premières données qu'on y met sont les dernières à sortir, voir le système FILO « *First In, Last Out* ou *Premier entrant, dernier sortant* ».

L'architecture en couche du modèle OSI se retrouve dans la pile de protocoles et assure la coordination de chacune des opérations du processus de transmission des données. En général, on parle de pile de protocole pour désigner l'ensemble du processus de transmission des données sur le réseau, et donc l'ensemble des couches du modèle OSI. Toutefois, le seul empilement de deux protocoles peut être également désigné par le terme de pile de protocoles.

Selon le modèle OSI, le processus de transmission des données sur un réseau est décomposé en plusieurs étapes, dans un ordre bien déterminé. Le modèle OSI distingue 7 étapes fondamentales, et décompose le processus de transmission des données en 7 couches. Chaque couche a une fonction bien précise dans le processus de transmission des données. A chacune de ces couches correspond la réalisation d'une ou de plusieurs tâches, et plusieurs cas de figure sont envisageables :

- ➔ Une tâche est réalisée par un seul protocole.
- ➔ Toutes les tâches d'une couche OSI sont réalisées par un seul protocole.
- ➔ Plusieurs tâches appartenant à différentes couches OSI sont réalisées par un seul protocole.
- ➔ Toutes les tâches de plusieurs couches OSI sont réalisées par un seul protocole.

Ainsi, les spécifications du modèle OSI sont respectées, mais la délimitation de chaque couche ne l'est pas forcément. Dans le processus de transmission, les données « *traversent* » la pile de protocoles, mais le nombre de protocoles constituant la pile n'est pas obligatoirement égale au nombre de couches du modèle OSI. La théorie ne correspond pas exactement à la réalité... Les couches du modèle OSI correspondent plus ou moins aux couches d'une pile de protocoles. Les couches basses spécifient la manière dont les matériels sont connectés, tandis que les couches hautes énoncent les règles de communication. Les opérations des couches hautes sont plus complexes que celles des couches basses.

MODELE OSI	
COUCHES	FONCTIONS
APPLICATION	Initie ou accepte une requête réseau
PRESENTATION	Ajoute des informations de formatage, d'affichage, de cryptage
SESSION	Ajoute des informations de flux pour indiquer le départ d'un paquet
TRANSPORT	Ajoute des informations pour le traitement des erreurs des paquets
RESEAU	Ajoute un numéro d'ordre et des informations d'adressage au paquet
LIAISON	Ajoute des informations de contrôle d'erreurs d'un paquet (CRC)
PHYSIQUE	Émet les paquets sur le réseau sous la forme d'un flot de bits bruts

Tableau 2. Résumé des couches du Modèle OSI et leurs fonctions

VII.2.2. LES LIAISONS DE PROTOCOLES

Dans une pile de protocoles, il y a au moins un protocole correspondant à chacune des couches du modèle OSI. Dans un tel cas, le processus de transmission des données est unique et traverse successivement tous les protocoles de la pile jusqu'à l'émission des trames sur le réseau. Il n'y a pas de liaison parce qu'il n'y a pas de choix à faire entre plusieurs protocoles de la même couche (*en fait, les liaisons sont évidentes et sous-entendues, mais on dit qu'il n'y a pas de liaison parce qu'il n'y a pas de bifurcations*).

Le plus souvent, la pile de protocole est constituée, pour chacune des couches du modèle OSI, de plusieurs protocoles différents. Une pile qui comporte à chaque niveau plusieurs protocoles est capable de communiquer dans plusieurs environnements (*ce sont les avantages de l'ouverture, de la compatibilité et de la diversité*).

Le processus de transmission des données doit obligatoirement passer par l'un des protocoles de chaque couche (*sinon la fonction de la couche correspondante ne serait pas réalisée*), mais selon les besoins, il peut passer par n'importe lesquels d'entre eux. Le processus de transmission des données est guidé par des liaisons (*BINDINGS*) qui indiquent à chaque niveau le protocole à choisir et le protocole suivant. Les liaisons des protocoles de la pile indiquent les différents chemins possibles pour le processus de transmission des données. Chacun des chemins peut être (*par un raccourci conceptuel et linguistique*) considéré et appelé une pile. Quand il existe plusieurs protocoles pour une même couche, il existe en général des liaisons en amont et en aval. Chacun des protocoles d'un même niveau est relié à l'un des protocoles précédents par une liaison, et à l'un des protocoles suivant par une autre liaison. Le processus de transmission des données doit faire un choix à chaque niveau où il y a une liaison.

Les liaisons sont hiérarchisées entre elles par un ordre de priorité. L'ordre des liaisons de la pile de protocole détermine l'ordre dans lequel le système d'exploitation réseau exécute les protocoles. Ainsi, selon le type de données à transmettre, le type de correspondant, ou le type de réseau, l'un ou l'autre des protocoles sera sélectionné ; par défaut, le protocole le plus prioritaire sera exécuté en premier, s'il n'aboutit pas, le protocole suivant sera exécuté, et ainsi de suite... Par exemple, dans un ordinateur NT, plusieurs protocoles de connexion ou d'acheminement des paquets (*par exemple TCP/IP et NWLink*) peuvent cohabiter à l'intérieur d'une même pile de protocole. Le protocole prioritaire de la pile (*par exemple TCP/IP*) sera d'abord utilisé pour établir la connexion avec l'ordinateur auquel les données doivent être transmises, si la connexion ne peut s'établir, alors le deuxième protocole (*par exemple NWLink*) effectuera à son tour une tentative de connexion ... En général, les liaisons de protocoles sont créées pendant l'installation du système d'exploitation réseau ou pendant l'installation des protocoles.

VII.2.3. LES AVANTAGES DES LIAISONS DE PROTOCOLES

- L'utilisation de plusieurs protocoles procure des avantages :
- La communication dans des environnements hétérogènes :
- La réunion d'ordinateurs différents sur le même réseau
- La coopération de systèmes d'exploitation différents sur le même réseau
- La jonction de réseaux utilisant des protocoles différents :
- L'utilisation conjointe d'un protocole routable et d'un protocole non routable

Les liaisons de protocoles permettent de combiner plusieurs protocoles réseaux sur un même ordinateur. Les liaisons de protocoles sont très utiles dans un réseau hétérogène parce qu'elles permettent de faire communiquer des ordinateurs qui fonctionnent sur différents systèmes d'exploitation (par exemple MICROSOFT et NOVELL) et des réseaux qui fonctionnent avec différents protocoles (*par exemple TCP/IP et SPX/IPX*).

Plusieurs protocoles (*par exemple TCP/IP et SPX/IPX*) peuvent être « liés » à la même carte réseau, et le processus de transmission des données utilise soit l'un, soit l'autre. Les liaisons de protocoles permettent de combiner plusieurs cartes réseaux. Plusieurs cartes réseaux peuvent être installées sur le même ordinateur, et à chacune peut correspondre une pile de protocoles différents.

VII.2.4. LES PILES STANDARDS

Certaines piles de protocoles sont reconnues par l'industrie informatique comme des standards ; ce sont soit des protocoles propriétaires, soit des protocoles issus d'organismes de normalisation (*la plupart du temps ces organismes sont américains*) qui ont initié une réflexion volontaire et concertée :

- *Le modèle OSI ;*
- *L'architecture SNA (Systems Network Architecture) de la société IBM ;*
- *L'architecture DECnet de la société DIGITAL EQUIPMENT COMPUTER pour mettre en œuvre l'architecture DNA (Digital Network Architecture) dans le cadre des réseaux locaux ETHERNET ou des réseaux étendus MAN. La version actuelle s'appelle DECnet phase V ;*
- *L'architecture NetWare de la société NOVELL ;*
- *L'architecture AppleTalk de la société APPLE COMPUTER ;*
- *La pile Internet TCP/IP.*

Les organismes de normalisation comme l'ISO, l'IEEE, l'ANSI (*American National Standard Organisation*), le CCITT devenue le l'ITU (*International Telecommunication Union*) et bien d'autres ont développé des protocoles correspondant aux spécifications du modèle OSI (*avec ses 7 couches*) et du modèle IEEE 802 (*avec les deux sous-couches LLC et MAC*).

Tableau comparatif des piles de protocoles									
Le modèle OSI	Windows NT				La pile internet				
APPLICATION	Redirecteurs		Serveurs		NFS	SNMP	FTP	Telnet	SMTP
					XDR				
PRESENTATION	TDI								
SESSION	TCP/IP	NWLink	NBT	DLC	TCP				
TRANSPORT	NDIS 4.0				IP				
RESEAU	Wrapper NDIS dont les pilotes des cartes réseaux NDIS				Pilotes LAN				
LIAISON					La sous-couche MAC				
PHYSIQUE	La couche Physique				La couche Physique				

Tableau 3. Comparatif des piles des protocoles en mode Windows & TCP/IP

Tableau comparatif des piles de protocoles						
Le modèle OSI	NetWare		APPLE			
APPLICATION	NCP		AppleShare			
PRESENTATION			NCP			
SESSION	Tubes nommés	NetBIOS	ASP	ADSP	ZIP	PAP
TRANSPORT	SPX		ATP	NBP	AEP	RTMP
	IPX		DDP			
RESEAU	Pilotes LAN		Pilotes LAN			
LIAISON	ODI	NDIS	Local Talk	TokenRing	EtherTalk	
PHYSIQUE	La couche physique		La couche physique			

Tableau 4. Comparatif des piles des protocoles en mode Netware & Apple

VII.2.5. LES TROIS CATEGORIES DES PROTOCOLES RESEAU

Les protocoles peuvent être classés par simplification en trois catégories et non plus en sept couches comme le recommande le modèle OSI. En effet, dans la réalité, les protocoles ne suivent pas strictement les frontières établies par l'organisme de normalisation ISO. Le modèle OSI est réduit à trois couches.

Le tableau de substitution des sept couches en trois catégories	
Les sept couches du modèle OSI	Les trois catégories de protocoles
APPLICATION	APPLICATION
PRESENTATION	
SESSION	
TRANSPORT	TRANSPORT
RESEAU	RESEAU
LIAISON	
PHYSIQUE	

Tableau 5. Substitution des sept couches en 3 catégories des protocoles

VII.2.5.1. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE APPLICATION

Les protocoles de la catégorie APPLICATION garantissent l'interaction et l'échange des données :

- **APPC** (*Advanced Program to Program Communication*) est le protocole SNA poste à poste d'IBM essentiellement utilisé sur les ordinateurs AS/400.
- **FTAM** (*File Transfer Access and Management*) est un protocole OSI d'accès aux fichiers.
- **X.400** est un protocole CCITT¹⁰⁸ permettant la transmission internationale de messagerie électronique.
- **X.500** est un protocole CCITT offrant des services de fichiers et de répertoires répartis sur plusieurs systèmes.
- **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*) est un protocole Internet pour le transfert de messagerie électronique.
- **FTP** (*File Transfer Protocol*) est un protocole Internet pour le transfert de fichiers.
- **SNMP** (*Simple Network Management Protocol*) est un protocole Internet permettant la surveillance des réseaux et de leurs composants.
- **TELNET** est un protocole Internet pour la connexion à des hôtes distants et le traitement local de données.
- **SMB** (*Server Message Blocks*) est le redirecteur client (shell) de MICROSOFT.
- **NCP** (*Novell Netware Core Protocol*) est le redirecteur client (shell) de NOVELL.
- **APPLETALK** et **APPLESHARE** est la suite de protocole d'APPLE.
- **AFP** (*AppleTalk Filing Protocol*) est un protocole APPLE (pour les ordinateurs MACINTOSH) destiné à l'accès distant à des fichiers.
- **DAP** (*Data Access Protocol*) est un protocole DECnet pour l'accès aux fichiers.

¹⁰⁸ Comité Consultatif International de Télégraphie et de Téléphonie

VII.2.5.2. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE TRANSPORT

Les protocoles de la catégorie TRANSPORT assurent les connexions et le contrôle des transferts de données :

- ➔ **TCP** (*Transmission Control Protocol*) est une partie du protocole Internet TCP/IP qui garantit la remise des données en séquence.
- ➔ **SPX** (*Sequential Packet Exchange*) est une partie du protocole SPX/IPX de NOVELL qui garantit la remise des données en séquence. C'est un protocole réduit, rapide et routable. SPX/IPX est un produit dérivé du protocole XNS (*Xerox Network System*) qui a été développé par la société XEROX pour les réseaux locaux ETHERNET. La pile XNS est un protocole qui a largement été diffusé dans les années 1980, mais qui a été progressivement remplacé par la pile TCP/IP. La pile XNS génère de nombreux messages de diffusion générale (*BROADCAST*), ce qui le rendait lent en plus d'être volumineux.
- ➔ **NWLink** est la version MICROSOFT du protocole SPX/IPX de NOVELL.
- ➔ **NetBEUI** (*NetBIOS Extended User Interface*) est un protocole qui crée des sessions NetBIOS (Network Basic Input Output System) et fournit des services de transport de données (NetBEUI). NetBEUI est basé sur le protocole de transfert SMB.
- ➔ **ATP** (*AppleTalk Transaction Protocol*) et **NBP** (*Name Binding Protocol*) sont des protocoles APPLE pour les ordinateurs MACINTOSH.
- ➔ **X.25** est un ensemble de protocoles pour les réseaux à commutation de paquets utilisés pour connecter des terminaux distants à de gros systèmes hôtes (*MAINFRAME*).

VII.2.5.3. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE RESEAU

Les protocoles de la catégorie RESEAU fournissent les services de liaisons (*adressage, routage, contrôle d'erreurs et requête de retransmission*) et définissent les règles de communication des réseaux ETHERNET, TOKEN RING :

- ➔ **IP** (*Internet Protocol*) est la partie du protocole Internet TCP/IP qui achemine et route les paquets ;
- ➔ **IPX** (*Internetworking Packet Exchange*) est la partie du protocole SPX/IPX de NOVELL qui achemine et route les paquets ;
- ➔ **NWLink** est la version MICROSOFT du protocole SPX/IPX de NOVELL ;
- ➔ **NetBEUI** est le protocole qui fournit les services de transport aux applications et sessions NetBIOS ;
- ➔ **DDP** (*Datagram Delivery Protocol*) est un protocole APPLE TALK pour le transport des données (*pour les ordinateurs MACINTOSH*)

A. LES PROTOCOLES ROUTABLES

Jusque vers le milieu des années 80, les réseaux locaux n'étaient constitués que d'un seul segment de câble, et pour la plupart étaient des réseaux isolés. L'évolution de la technologie et des besoins a conduit à une ouverture et un raccordement des réseaux. Les réseaux locaux devaient devenir des sous-ensembles de réseaux plus vastes, faisant partie intégrante d'un « *réseau étendu* ».

La complexité du maillage des réseaux s'est avec le temps de plus en plus accrue. Les chemins possibles pour qu'un paquet atteigne sa cible croissaient en fonction du nombre de nœuds du réseau. Il fallait non seulement garantir que le paquet arrive à destination, mais aussi qu'il le fasse dans un délai raisonnable. Certains protocoles permettent au paquet d'emprunter plusieurs chemins, on dit alors que ce sont des « protocoles routables ». Les protocoles routables permettent au paquet d'atteindre sa cible le plus rapidement possible :

- En utilisant le chemin le plus court ;
- En utilisant le chemin le moins encombré, en fonction du trafic du réseau.

Les protocoles routables permettent aux paquets de « traverser » les routeurs.

B. LE PROTOCOLE SPX/IPX

Le protocole SPX/IPX a été développé au début des années 1980 par la société Novell parce que le protocole TCP/IP était encore très compliqué. Longtemps, les systèmes NetWare étaient incompatibles avec Internet qui utilise le protocole TCP/IP. Avec la version « *Intra NetWare 4.11* », Novell permet aux utilisateurs de son système d'accéder à l'Internet. Toutefois, l'intégration de TCP/IP n'est pas « *native* », c'est une traduction de SPX/IPX en TCP/IP, ce qui prend un certain temps et ralentit quelque peu l'accès à Internet. En fait, SPX/IPX convient si les postes client n'ont pas besoin d'une adresse IP en interne pour pouvoir y accéder depuis l'extérieur du réseau NetWare.

Le protocole SPX/IPX est auto configurable, c'est à dire que Netware construit automatiquement une adresse réseau sous la forme d'un nombre hexadécimal à partir d'une plage d'adresses choisies par l'administrateur et de l'adresse MAC de l'ordinateur. Ainsi, l'adresse réseau IPX est unique et disponible immédiatement sans l'intervention de l'administrateur.

C. LE PROTOCOLE TCP/IP

Le protocole TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) est le plus connu des protocoles parce que c'est celui qui est employé sur le réseau des réseaux, c'est à dire Internet. Historiquement, TCP/IP présentait deux inconvénients majeurs, sa taille et sa lenteur. Le protocole TCP/IP fait partie du système d'exploitation UNIX depuis le milieu des années 1970 (*auparavant, c'est le protocole UUCP (UNIX to UNIX Copy Program) qui était employé pour copier des fichiers et des messages électroniques entre deux machines*).

Le protocole TCP/IP est une norme ouverte, c'est à dire que les protocoles qui constituent la pile de protocoles TCP/IP ont été développés par des éditeurs différents sans concertation. Le groupe de travail IETF (*Internet Engineering Task Force*) a rassemblé les différents protocoles de la pile TCP/IP pour en faire une norme. Le travail de l'IETF est régulièrement soumis à l'ensemble de la « communauté Internet » dans des documents appelés RFC (*Request For Comments*). Les RFC sont considérées comme des brouillons parce que les spécifications qu'elles contiennent peuvent à tout moment être réexaminées et remplacées. L'IETF essaye de statuer en ce moment sur une norme (*Internet Calendar, Simple Scheduling Transfert Protocol*) concernant le transport des données des agendas et des plannings. TCP/IP est une pile de protocoles relativement volumineuse, ce qui peut causer des problèmes avec un client comme MS-DOS. Toutefois, les systèmes d'exploitation réseaux avec une interface graphique comme WINDOWS 95 ou WINDOWS NT n'ont pas de contrainte de mémoire pour charger la pile TCP/IP. Quant à la vitesse d'exécution et de transmission des paquets, celle de TCP/IP équivaut à SPX/IPX.

Le protocole TCP/IP est devenu la référence à partir de laquelle sont évalués les autres protocoles. La pile de protocole TCP/IP est la plus riche fonctionnellement. Le protocole IP dispose de fonctions standardisées, les « *API sockets* » qui se comportent de la même façon sur tous les types de matériels. TCP/IP est très répandu et très fonctionnel, mais assez compliqué et assez volumineux. En fait, l'inconvénient majeur provient de son succès, et de la diminution du nombre des adresses IP disponibles (*en attendant la version IPV6 appelé aussi IPNG*). Les caractéristiques du protocole TCP/IP :

- ➔ Une norme industrielle ;
- ➔ Relativement volumineux et relativement rapide ;
- ➔ Tous les réseaux reconnaissent TCP/IP ;
- ➔ Une interopérabilité entre ordinateurs hétérogènes ;
- ➔ Un standard pour la communication inter-réseaux et particulièrement entre des réseaux hétérogènes ;
- ➔ Un protocole routable ;
- ➔ D'autres protocoles ont été développés spécialement pour TCP/IP ;
- ➔ SMTP pour la messagerie électronique ;
- ➔ FTP pour l'échange de fichiers ;
- ➔ SNMP pour la surveillance des réseaux.

LES PROTOCOLES DE LA PILE TCP/IP	
NOMS	FONCTIONS
FTP	FTP (File Transfer Protocol) s'occupe des transferts de fichiers.
TELNET	TELNET permet d'établir une connexion à un hôte distant et de gérer les données locales.
TCP	TCP (<i>Transmission Control Protocole</i>) s'assure que les connexions entre deux ordinateurs sont établies et maintenues.
IP	IP (<i>Internet Protocol</i>) gère les adresses logiques des nœuds (stations,...).
ARP	ARP (<i>Adress Resolution Control</i>) fait correspondre les adresses logiques (<i>IP</i>) avec les adresses physiques (<i>MAC</i>).
RIP	RIP (<i>Routing Information Protocol</i>) trouve la route la plus rapide entre deux ordinateurs.
OSPF	OSPF (<i>Open Shortest Path First</i>) est une amélioration de RIP, plus rapide et plus fiable.
ICMP	ICMP (<i>Internet Control Message Protocol</i>) gère les erreurs et envoie des messages d'erreurs.
BGP/EGP	BGP/EGP (<i>Border Gateway Protocol / Exterior Gateway Protocol</i>) gère la transmission des données entre les réseaux.
SNMP	SNMP (<i>Simple Network Management Protocol</i>) permet aux administrateurs réseaux de gérer les équipements de leur réseau.
PPP	PPP (<i>Point to Point Protocol</i>) permet d'établir une connexion distante par téléphone. PPP (<i>après SLIP</i>) est utilisé par les fournisseurs d'accès à Internet.
SMTP	SMTP (<i>Simple Mail Transport Protocol</i>) permet d'envoyer des courriers électroniques.
POP3 & IMAP4	POP 3 (Post Office Protocol version 3) et IMAP 4 (<i>Internet Message Advertising Protocol version 4</i>) permettent de se connecter à un serveur de messagerie et de récupérer son courrier électronique.

Tableau 6. Comparatif des piles des protocoles TCP/IP

D. LE PROTOCOLE NetBEUI

A l'origine les protocoles NetBIOS et NetBEUI constituaient une seule et même pile. Certains fournisseurs séparèrent le protocole de la couche SESSION (*NetBIOS*) afin de pouvoir l'utiliser avec des protocoles routables de la couche TRANSPORT (*le protocole de transport NetBEUI n'est pas routable*). NetBIOS est une interface pour les réseaux locaux développée par IBM. NetBIOS est relativement populaire parce que de nombreuses applications ont été programmées pour fonctionner avec cette interface.

Le protocole NetBEUI est un protocole de la couche TRANSPORT, mais n'est pas routable. Le protocole NetBEUI convient pour les réseaux « mono segment », il est très rapide si le nombre d'utilisateurs n'est pas trop grand. Pour accéder à Internet, les paquets NetBEUI doivent être « encapsulés » dans une couche TCP/IP, c'est ce qui s'appelle NBT. Le protocole NetBEUI utilise des noms alphanumériques (*les noms NetBIOS, ou les noms d'ordinateur*) pour reconnaître les différentes machines du réseau. Les paquets ne sont pas adressés avec des adresses numériques, les noms de machine ne sont pas traduits en numéros. Il est donc plus facile pour les utilisateurs de reconnaître les autres machines, et d'installer le protocole. Les noms NetBIOS doivent être résolus en adresses IP quand d'autres ordinateurs utilisent TCP/IP. L'inconvénient du protocole NetBEUI est qu'il n'est pas routable, les communications sont toujours transmises en « *broadcast* », et les machines connectées au réseau doivent continuellement se faire connaître aux autres machines, ce qui utilise de la bande passante. Le protocole NetBEUI convient pour les petits réseaux qui utilisent les produits de Microsoft. Les caractéristiques de NetBEUI :

- ✗ Petit, rapide et efficace ;
- ✗ Tous les produits MICROSOFT en sont équipés, comme OS/2 Warp et LanStatic de la société Artisoft ;
- ✗ Existe depuis le milieu des années 1980
- ✗ A été fourni avec MS NET, le premier produit réseau de MICROSOFT ;
- ✗ Fonctionne très bien avec les clients MS-DOS ;
- ✗ Mais c'est protocole qui n'est pas routable, et qui reste donc limité à de petits réseaux sur un seul segment de câble...

VII.2.6. L'INSTALLATION DES PROTOCOLES

L'installation des protocoles s'effectue le plus souvent en même temps que l'installation du système d'exploitation réseau. Par exemple, WINDOWS NT installe TCP/IP et le considère comme le protocole par défaut du système. Le module RESEAU du PANNEAU de CONFIGURATION de WINDOWS NT SERVER permet d'installer ou de supprimer des protocoles, et permet de modifier l'ordre des liaisons entre les différents protocoles qui sont installés.

Un réseau découpé en plusieurs segments doit utiliser un protocole routable, si les stations d'un segment sont censées communiquer avec les stations d'un autre segment. Par contre, l'utilisation d'un protocole non routable garanti que les données du segment ne seront pas détournées vers un autre segment ...

VII.3. LE MODELE DE REFERENCE OSI

Le modèle OSI (*Open System InterConnect Model*) défini en 1977 régit la communication entre 2 systèmes informatiques selon 7 niveaux. A chaque niveau, les deux systèmes doivent communiquer « compatibles ». En matériel réseau, nous n'utilisons que les couches inférieures, jusqu'au niveau 3. Ces niveaux sont également appelés couches. L'OSI est un modèle de base normalisé par ISO (*l'International Standard Organisation*).

<i>Application</i>	7	<i>Couche d'Application</i>	
	6	<i>Couche de Présentation</i>	
	5	<i>Couche de session</i>	
<i>Transport des données</i>	4	<i>Couche de Transport</i>	
	3	<i>Couche de Réseau (Network)</i>	<i>Paquets</i>
	2	<i>Couche de liaison des données (Data Link)</i>	<i>Trames</i>
	1	<i>Couche Physique (Physical)</i>	<i>Bits</i>
<i>Support de communication</i>			

Tableau 7. Illustration des 7 couches du modèle OSI

- **Niveau 7 (*application*)**: gère le format des données entre logiciels ;
- **Niveau 6 (*présentation*)**: met les données en forme, éventuellement du encryptage et de la compression, par exemple mise en forme des textes, images et vidéo ;
- **Niveau 5 (*session*)**: gère l'établissement, la gestion et coordination des communications ;
- **Niveau 4 (*transport*)**: s'occupe de la gestion des erreurs, notamment avec les protocoles UDP et TCP/IP ;
- **Niveau 3 (*réseau*)**: sélectionne les routes de transport (*routage*) et s'occupe du traitement et du transfert des messages: gère par exemple les protocoles IP (*adresse et le masque de sous-réseau*) et ICMP. Utilisé par les routeurs et les switchs manageables. ;
- **Niveau 2 (*liaison de données*)**: utilise les **adresses MAC**. Le message Ethernet à ce stade est la trame, il est constitué d'un en-tête et des informations. L'en-tête reprend l'adresse MAC de départ, celle d'arrivée + une indication du protocole supérieur.
- **Niveau 1 (*physique*)**: gère les connections matérielles et la transmission, définit la façon dont les données sont converties en signaux numériques: ça peut-être un câble coaxial, paires sur RJ45, onde radio, fibre optique, ...

A chacun de ces niveaux du modèle OSI¹⁰⁹, on encapsule un en-tête et une fin de trame (*message*) qui comporte les informations nécessaires en suivant les règles définies par le protocole réseau employé. Le protocole est le langage de communication (*la mise en forme*) utilisé pour le transfert des données (*actuellement TCP/IP mais d'autres ont été utilisés comme Net-Beui (antérieur à Windows 98), Novell IPX, ...*). Sur le graphique ci-dessous, la partie qui est rajoutée à chaque couche est sur fond blanc. La partie en grisée est celle obtenue après encapsulation (*intégration*) du niveau précédent. La dernière trame, celle qu'on obtient après avoir encapsulé la couche physique, est celle qui sera envoyée sur le réseau.

¹⁰⁹ Dans le cadre de ce cours, seules les trois premiers niveaux du modèle OSI (jusqu'aux routeurs et switch de haut de gamme) sont utilisés, éventuellement jusqu'au niveau 4 pour certains switchs manageables et firewall. Les couches supérieures sont réservées aux autres cours de la formations technicien PC/ Réseaux, notamment base réseau et protocole TCP/IP.

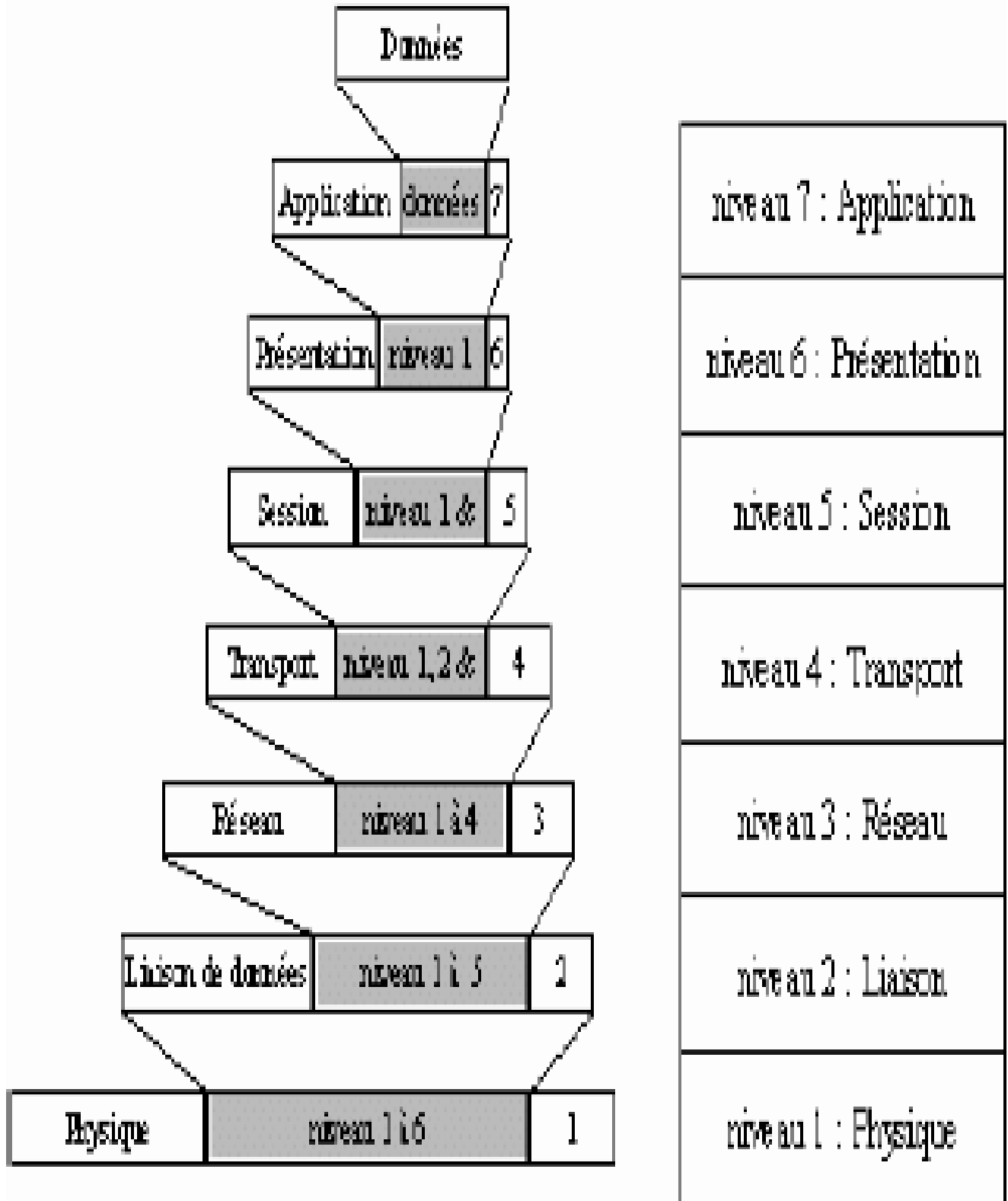


Figure 34. Commutation des 7 Couches du modèle OSI

VII.4. LE MODELE TCP/IP

Le modèle TCP/IP s'inspire du modèle OSI auquel il reprend l'approche modulaire mais réduit le nombre à quatre. Les trois couches supérieures du modèle OSI sont souvent utilisées par une même application. Ce n'est pas le cas du modèle TCP/IP. C'est actuellement le modèle théorique le plus utilisé.

PROTOCOLES UTILISES	MODELE TCP/IP	CORRESPONDANCE EN OSI
	COUCHE D'APPLICATION	APPLICATION
		PRESENTATION
		SESSION
TCP / UDP, GESTION DES ERREURS	COUCHE DE TRANSPORT	TRANSPORT
IP / ARP et RARP /ICMP / IGMP	COUCHE D'INTERNET	RESEAU
	COUCHE D'ACCES RESEAUX	LIAISON DE DONNEES
		PHYSIQUE

Tableau 8. Illustration de la correspondance entre le modèle OSI et TCP/IP

De nouveau, on ajoute à chaque niveau une « *en-tête* », les dénominations des paquets de données changent chaque fois. Le paquet de données est appelé **message** au niveau de la couche application. Le message est ensuite encapsulé sous forme de **segment** dans la couche transport. Le message est donc découpé en morceau avant envoi pour respecter une taille maximum suivant le MTU¹¹⁰. Le segment une fois encapsulé dans la couche Internet prend le nom de **datagramme**. Enfin, on parle de **trame** envoyée sur le réseau au niveau de la couche accès réseau. Les **couches du modèle TCP/IP** sont plus générales que celles du modèle OSI :

➔ **La Couche application** : c'est une Couche qui reprend les applications standards en réseau informatique et Internet :

¹¹⁰ MTU : « Maximum Transmission Unit », c'est la taille maximale d'un frame physique sur le réseau. Elle se mesure en octet...

- ✎ **SMTP**: « *Simple Mail Transport protocol* » gère le transfert de mails entre serveurs ;
- ✎ **POP**: gère le transfert des mails entre un serveur de messagerie et un ordinateur client ;
- ✎ **TELNET**: connexion sur une machine distante (*serveur*) en tant qu'utilisateur ;
- ✎ **FTP** (*File Transfer Protocol*), transfert des fichiers via Internet et beaucoup d'autres.

➔ La **Couche transport** : c'est une couche qui permet le transfert des données et les contrôles qui permettent de vérifier l'état de la transmission. Les protocoles des couches suivantes permettent d'envoyer des données issues de la couche application. On ne définit pas réellement les logiciels qui communiquent, mais des numéros de **ports** associés au type d'application (*numéro variant de 0 à 65535, 2¹⁶*). Par exemple, la navigation Internet utilise le port TCP 80, l'https, le 443, le FTP utilise le 21, ... La couche transport gère 2 protocoles de transport des informations, indépendamment du type de réseau utilisé :

- ✎ **TCP** est orienté connexion (*il vérifie la bonne transmission de données par des signaux d'accusés de réception ou « acknowledge » du destinataire*), il assure ainsi le contrôle des données.
- ✎ **UDP**, archaïque et non orienté connexion, n'assure aucun contrôle de transmission des données, par exemple utilisé en streaming.

Ces 2 types (*orienté connexion ou pas*) sont une notion utilisée pour les firewalls. Si vous fermez un port en TCP, l'envoi d'un message ne renvoie pas de signal de retour (*acknowledge*), faisant croire que l'adresse IP est libre, non utilisée. En UDP au contraire, un port fermé ne renvoie pas d'informations, faisant croire à une adresse IP utilisée. Le protocole UDP renvoie uniquement un message si le port est en erreur (*ne répond pas*).

➔ La **couche INTERNET** : est une couche chargée de fournir le paquet des données. Elle définit les datagrammes¹¹¹ et gère la décomposition / recombinaison des segments. La couche Internet utilise 5 protocoles, seuls les 3 premiers sont importants :

- ✎ Le **protocole IP** (*Internet Protocol*): gère les destinations des messages, adresse du destinataire ;
- ✎ Le **protocole ARP** (*Adresse Resolution Protocol*): gère les adresses des cartes réseaux et la correspondance avec l'adresse IP. Chaque carte a sa propre adresse MAC d'identification codée sur 48 bits.
- ✎ Le **protocole ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) gère les informations relatives aux erreurs de transmission. ICMP ne les corrige pas, il signale uniquement que le message contient des erreurs, utilisé par exemple par la « *commande DOS Ping* ».
- ✎ Le **protocole RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*) gère l'adresse IP pour les équipements réseaux qui ne peuvent en récupérer une automatiquement par lecture d'information dans un fichier de configuration ou via un serveur DHCP. Lorsqu'un équipement réseau démarre, le gestionnaire réseau lit l'adresse IP à utiliser, ce qui est impossible pour certains équipements qui ne possèdent pas de disques durs (*principalement les terminaux*)
- ✎ Le protocole **IGMP** (*Internet Group Management Protocol*) permet d'envoyer le même message à des ordinateurs qui font partie d'un groupe. Il permet aussi à ces machines de s'abonner et se désabonner d'un groupe. La principale application HARDWARE de l'IGMP se retrouve dans les SWITCH managés. Ce protocole permet de regrouper des stations.

➔ La **couche Accès réseau** : c'est une couche qui spécifie la forme sous laquelle les données doivent être transmises. Elle prend en charge les notions suivantes : Type de réseaux (*Ethernet, Token Ring*), y compris les cartes réseaux ; Transfert des données ; Synchronisation de la transmission de données ; Mise en forme (*format*) des données ; Conversion analogique/numérique pour les modems téléphoniques ; Contrôle des erreurs.

¹¹¹ Bloc des données indépendant transitant sur un réseau, et contenant toutes les informations nécessaires à son routage.

DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESEAUX DE TELECOMMUNICATION

CHAPITRE VIII. RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS MOBILES

Les réseaux de télécommunications fournissent un abri mondial et souscrivant d'établir une communication à travers le monde par le biais de cellule, la communication du téléphone mobile est une communication via les ondes électromagnétiques permettant à l'émetteur de rester en communication avec le récepteur tout en étant en déplacement sur des grandes distances. Ils répondent aux obligations infligées par la mobilité d'un abonné dans le réseau, par l'étendue du réseau et enfin par les ondes radios qui lui sont allouées. L'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication a permis des évolutions éclatantes ces dernières années dans les réseaux de télécommunication.

En 1950, personne ne parlait de communication de données, de téléphonie sans fil, de téléfax ou de vidéoconférence. Les seuls services de télécommunications disponibles étaient la téléphonie, le télégramme et le télex. Les communications étaient encore partiellement établies manuellement et leur qualité était parfois très médiocre. Si la téléphonie mobile se standardise aujourd'hui, on le doit à la conjonction de l'avènement du numérique, à l'accroissement des performances des semi-conducteurs et à différentes avancées technologiques. C'est ainsi que les technologies telles que le GSM, GPRS, EDGE et UMTS ont vues le jour.

VIII.1. LES DIFFERENTES GENERATIONS DES RESEAUX MOBILES

VIII.1.1. GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)

L'histoire de la téléphonie mobile (*numérique*) débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (*CEPT*) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915 [MHz] pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 [MHz] pour l'émission à partir de stations fixes.

Il y eut bien des systèmes de mobilophonie analogique (*MOB1 et MOB2, arrêté en 1999*), mais le succès de ce réseau ne fut pas au rendez-vous. Le GSM (*Global System for Mobile Communications*) est la première norme de téléphonie cellulaire qui soit pleinement numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes de radiocommunication mobile. Elle offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est la plus importante des services offerts.

Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles ou entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services sont la transmission des données et la transmission des messages alphanumériques courts. Le GSM présente des services supports sans restriction sur le type de données utilisées par l'utilisateur. Il transporte l'information sans modification de bout en bout en mode circuit dans le réseau GSM, ce qui garantit la chronologie des informations échangées. Dans le réseau GSM, les données de l'utilisateur et la signalisation du réseau sont transportées dans des canaux de communication différents.

Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau du traitement des signaux, avec pour dérivés des techniques de transmission fiables, grâce à un encodage particulier des signaux préalablement à l'envoi dans un canal, et l'obtention de débits de transmission raisonnables pour les signaux (*par exemple : 9 ou 6 kilobits par seconde, noté [kbps], pour un signal de parole*).

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles: transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, Chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient Global System for Mobile communications et les spécifications sont adaptées pour des systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 [MHz].

En Belgique, c'est en 1994 que le premier réseau GSM (*proximus*) est déployé; Mobistar et Orange (*rebaptisé Base*) viendront plus tard. Aujourd'hui, le nombre de numéros attribués pour des communications GSM dépasse largement le nombre de numéros dédiés à des lignes fixes et cette tendance se poursuit. Tel quel, le réseau GSM est adéquat pour les communications téléphoniques de parole. En effet, il s'agit principalement d'un réseau commuté, à l'instar des lignes «fixes» et constituées de circuits, c'est-à-dire de ressources allouées pour la totalité de la durée de la conversation. Rien ne fut mis en place pour les services de transmission de données. Or, parallèlement au déploiement du GSM en Belgique, en 1994, la société Netscape allait donner un tour spectaculaire à un réseau de transmission de données, appelé Internet, en diffusant le premier logiciel de navigation grand public, articulé sur le protocole http et communément appelé web.

Comme le réseau GSM ne convenait guère pour la transmission de données, les évolutions récentes ont visé à accroître la capacité des réseaux en termes de débit mais à élargir les fonctionnalités en permettant par exemple l'établissement de communications ne nécessitant pas l'établissement préalable d'un circuit. Pour dépasser la borne des 14,4 kbps, débit nominal d'un canal téléphonique basculé en mode de transmission de données, l'ETSI a défini un nouveau service de données en mode paquet : le General Packet Radio Service (*GPRS*) qui permet alors l'envoi de données à un débit de 115kbps par mise en commun de plusieurs canaux.

VIII.1.2. GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)

Le GPRS (*General Packet Radio Service*) est une technologie datant de la fin des années 1990. Les deux grandes phases du GPRS sont 1997 et 1999, et marquent une avancée vers les premiers tests. Et ce n'est qu'à partir du début 2002, que le GPRS arrive sur le marché européen. En effet, les opérateurs de téléphonie mobile (*Airtel, Orange et Vodacom*) ont dû mettre en place un certain nombre d'équipements et les déployer au fur et à mesure bien que GPRS utilise en partie le réseau GSM. Enfin, il faut savoir que le GPRS est une technologie dite « 2,5G » car elle contient la voix et les données. Une norme pour la téléphonie mobile dérivée du GSM et permettant un débit de données plus élevé, Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5G pour classer le standard GPRS.

VIII.1.3. EDGE (ENHANCED DATA FOR GSM EVOLUTION)

La norme EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) concerne la circulation des données, la voix continuant toujours de transiter sur le réseau GSM. Ce n'est pas une nouvelle norme de télécommunication mobile à proprement parler, comme l'UMTS, il s'agit d'une simple évolution de la technologie GSM/GPRS permettant d'obtenir des débits moyens de 130 kb/s en réception et de 60 kb/s en émission, 6 à 10 fois plus importants que le GPRS. Mais c'est beaucoup moins performant que la 3G avec ses 250 kb/s de débit moyen en téléchargement, et autant performant en émission, voire un peu plus (50 kb/s).

Les taux de transfert plus élevés autorisent un plus grand confort d'utilisation de son terminal mobile. Les téléchargements et envois de données (*sonneries, jeux, MMS, e-mails, messagerie instantanée*), ainsi que l'accès aux contenus WAP et i-mode sont plus rapides. En outre, il est plus facile d'accéder à de nouveaux types de services multimédias comme la vidéo (*clips ou télévision en direct*) ou la musique en streaming...

Les professionnels nomades, quant à eux, pourront exploiter la fonction modem d'un téléphone EDGE ou bien opter pour une PC Card, afin de connecter leur PC portable à l'Internet (*et à des débits corrects*) en situation de mobilité, là où la 3G et le Wi-Fi ne sont pas présents. La modulation est différente : c'est une modulation en phase, ajoutée à la modulation de fréquence du GSM classique. Elle permet de multiplier par trois le volume de données transporté.

Par conséquent, les antennes et les stations de bases (*BTS*) doivent être modifiées, ainsi que les terminaux. Le débit théorique est ainsi porté à 384 kbps, et remplit donc les conditions pour être qualifié de 3G par l'ITU (*International Telecommunication Union*). Il permet de profiter pleinement du débit disponible dans le système HSCSD, surdimensionné par rapport au débit des terminaux GSM. D'une certaine manière, le GPRS prépare l'arrivée de la téléphonie de troisième génération, appelée Universal Mobile Telecommunications System (*UMTS*), qui permettra d'atteindre un débit de 2 Mbps.

VIII.1.4. UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM)

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants. Les réseaux existants GSM et GPRS apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Data ; le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia. Il est important de noter deux éléments :

- ✎ Le coût élevé de la mise en place d'un système UMTS (achat licence + modification majeures sinon totales des éléments de base du réseau (*station/antenne*) répartis de manière massive sur un territoire national).
- ✎ La difficulté à définir avec précision l'architecture d'un futur réseau UMTS dans la mesure où le 3GPP et l'UMTS Forum travaillent encore aujourd'hui à la définition des normes et des spécifications techniques.

La mise en place d'un réseau UMTS va permettre à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS. Le réseau UMTS est complémentaire aux réseaux GSM et GPRS. Le réseau GSM couvre les fonctionnalités nécessaires aux services de type Voix en un mode circuit, le réseau GPRS apporte les premières fonctionnalités à la mise en place de services de type Data en mode paquets, et l'UMTS vient compléter ces deux réseaux par une offre de services Voix et Data complémentaires sur un mode paquet.

C'est ainsi une extension du GPRS et fonctionne également en mode paquet. La vitesse de transmission offerte par les réseaux UMTS atteint 2 Mb/s. L'infrastructure UMTS permet l'élargissement des fréquences ainsi que la modification du codage des données. Mais les investissements en architecture réseau sont conséquents puisque le mode de communication entre les terminaux 3G et les BTS (*appelé Node B*) est différent. Les modifications matérielles sont très importantes. Après le GSM le réseau GPRS constituait finalement une étape vers le réseau UMTS. Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectées afin d'optimiser la qualité de service rendue à l'abonné.

VIII.2. ARCHITECTURE ET FONCTIONNEMENT DES RESEAUX MOBILES

Chaque norme de communication radio mobile possède une architecture décrivant ces constituants matériels et immatériels, et un mode de fonctionnement décrivant comment ces éléments s'interagissent pour établir, maintenir et libérer une communication. Toutefois parmi ces normes certaines ont une architecture et un fonctionnement fondamentalement unique : tel est le cas du GSM, GPRS, EDGE, et UMTS, dont l'architecture et le fonctionnement découle d'une même base regroupée sous la notion de couverture cellulaire.

VIII.3. NOTION DE COUVERTURE CELLULAIRE

La notion de couverture cellulaire s'applique à ces différentes technologies et permet de répartir et de mieux distribuer le signal et le débit en fonction des cellules. Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (*50km de rayon*) au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission). Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles.

La première amélioration consista à allouer un canal à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin permettant ainsi d'augmenter « *statistiquement* » le nombre d'abonnés, étant entendu que tout le monde ne téléphone pas en même temps. Mais ce système nécessitait toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante ($8W$) et donc des appareils mobiles de taille et de poids conséquents. De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne pouvaient pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilisait donc le spectre fréquentiel d'une manière sous optimale. C'est pour résoudre ces différents problèmes qui sont apparus dans le concept de cellule.

Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (*reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC*) à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommées fréquences.

Comme précédemment, ces fréquences ne pouvaient pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Ainsi, on définit des motifs, aussi appelés clusters, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. La figure 35 montre un tel motif, en guise d'exemple.

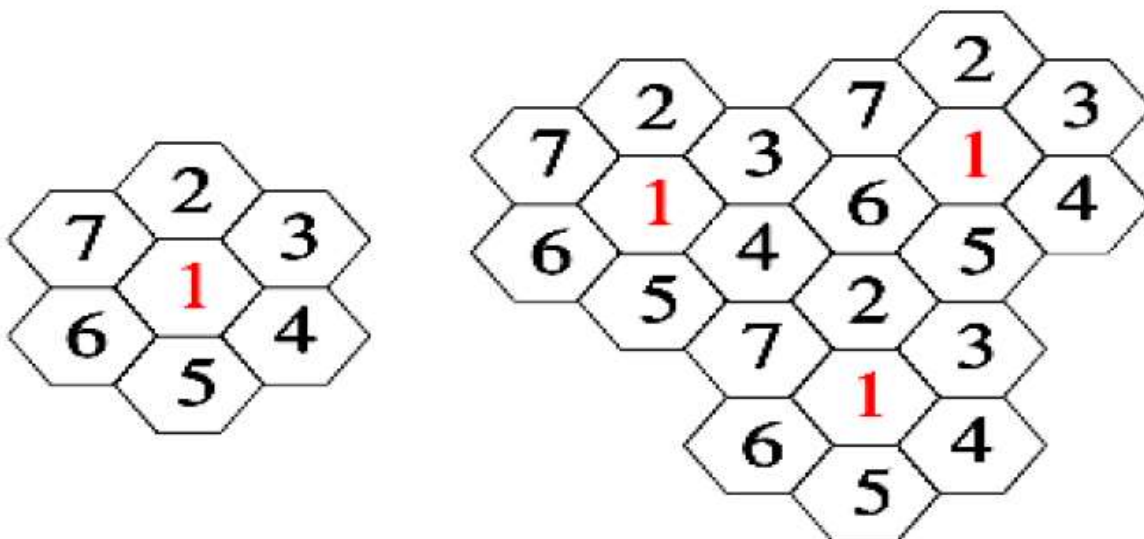


Figure 35. Figure représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle. Cependant, en fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. De plus, afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%, ce qui renforce la contrainte de ne pas avoir une même bande de fréquences dans deux cellules voisines.

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus du contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse.

En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base. Grâce à des mesures permanentes entre un téléphone mobile et une station de base, les puissances d'émission sont régulées en permanence pour garantir une qualité adéquate pour une puissance minimale. En résumé, une cellule se caractérise :

- par sa puissance d'émission nominale : ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé ;
- par la fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique
- et par le réseau auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :

- ✗ du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone ;
- ✗ de la configuration du terrain (*relief géographique, présence d'immeubles, ...*) ;
- ✗ de la nature des constructions (*maisons, buildings, immeubles en béton, . . .*) ;
- ✗ de la localisation (*rurale, suburbaine ou urbaine*) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela quatre services principaux :

1. Le service « *OutDoor* » qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication à l'extérieur ;
2. Le service « *In car* » qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibels Watt, notée 6dB, dans le bilan de puissance pour en tenir compte.
3. Le service « *Indoor* » qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :

- a. le « *Soft Indoor* » lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment ;
- b. le « *Deep Indoor* » lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10Db d'atténuation supplémentaire pour le *Soft Indoor* et de 20dB pour *Deep Indoor* à 900 MHz.

Quand on sait que 10dB représentent un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain. Par rapport au système de première génération, les cellules étant de taille plus petite, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la capacité de son réseau. En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence. Il y a ainsi toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leur taille (*macro, micro, pico, etc.*). Étant donné que, dans un réseau, une même fréquence est réutilisée plusieurs fois, il est nécessaire d'évaluer la distance minimum qui doit séparer deux cellules utilisant la même fréquence pour qu'aucun phénomène perturbateur n'intervienne.

En calculant le rapport entre la puissance de la porteuse et celle du bruit, il est possible d'estimer cette distance. Pratiquement, dans une cellule, un mobile reçoit à la fois le message utile (*dont la puissance vaut C*) qui lui est destiné et un certain nombre de signaux perturbateurs. La connaissance du rapport entre ces puissances, nous permettra de connaître la qualité de la communication. Pour commencer, il est nécessaire d'identifier les différents signaux perturbateurs. On peut les subdiviser en deux classes :

- ✎ *Les interférences de puissance totale I qui sont dues aux signaux émis par les autres stations. On peut distinguer :*
 - a. Les interférences Co-canal qui sont dues aux signaux émis par les autres stations de base utilisant la même fréquence ;
 - b. Les interférences de canaux adjacents dues aux signaux émis par les stations de base utilisant des fréquences voisines.
- ✎ *Le bruit, de puissance N , provenant principalement du bruit de fond du récepteur. Dès lors, c'est le rapport $C/N + I$ (1) qui permet d'évaluer la qualité de la communication ainsi que la distance de réutilisation des fréquences.*

CHAPITRE IX. ARCHITECTURE DU RESEAUX GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

- ✎ Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur ;
- ✎ Le sous-système réseau ou d'acheminement ;
- ✎ Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

Les éléments de l'architecture d'un réseau GSM sont repris sur le schéma de la figure 36.

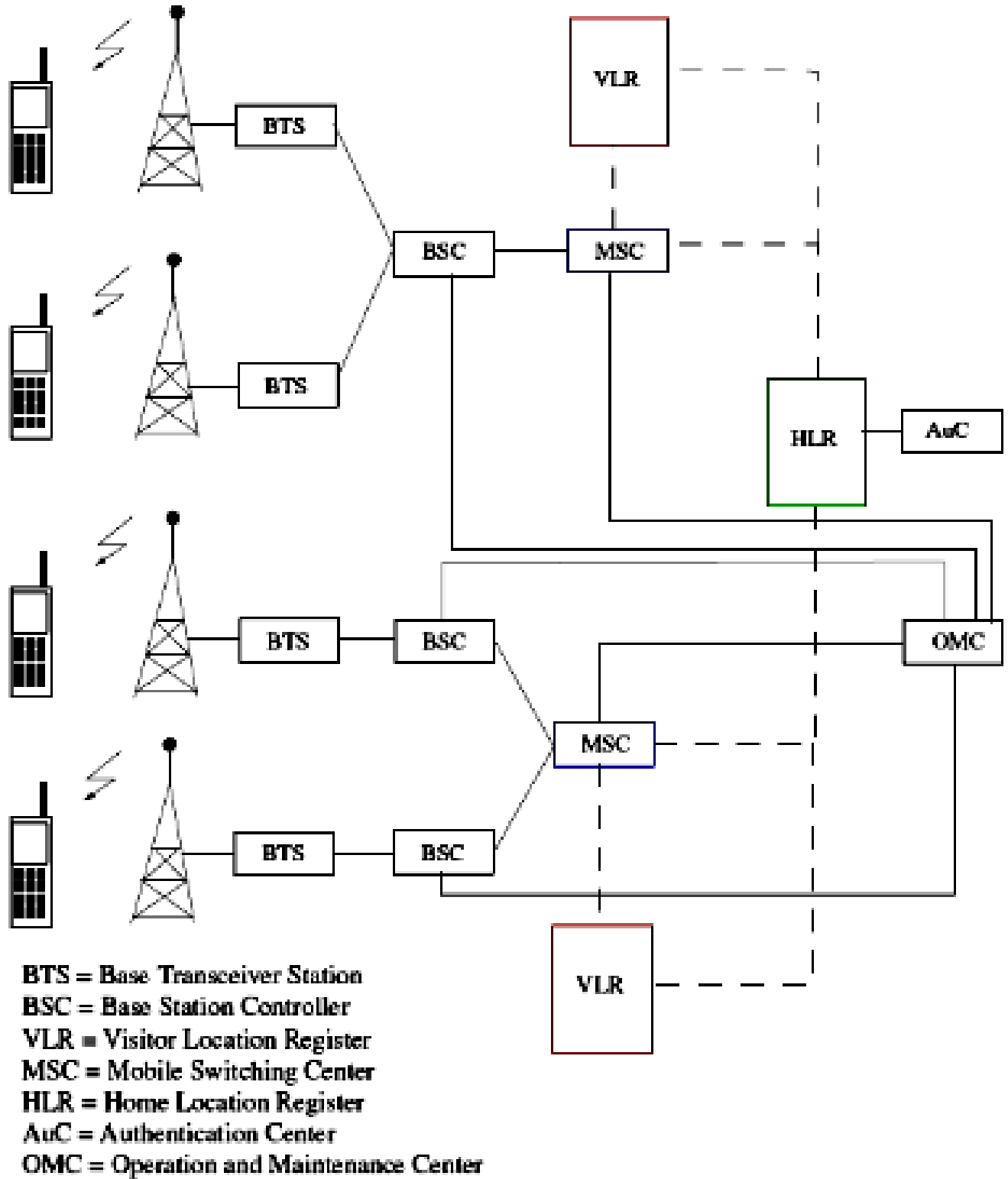


Figure 36. Architecture d'un réseau GSM

	GSM	DCS-1800
Bande de fréquence (/)	890.2-915Mhz	1710-1785 Mhz
Bande de fréquence (\)	935.2-960 Mhz	1805-1880 Mhz
Nombre d'intervalle de temps par trames TDMA	8	8
Débit total par canal	271kbps	271kbps
Débit max de donnée	13kbps	13kbps
Débit de la parole	12kbps	12kbps
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentielle et temporelle	Multiplexage fréquentielle et temporelle
Puissance des terminaux	2-8w	0.25-1w
Sensibilité des terminaux	-102db	
Sensibilité de la station de base	-104db	
Rayon de la cellule	0.3-30km	0.1-4km

Tableau 9. Tableau comparatif des deux bandes de fréquence en GSM

IX.1. LA BSS (BASE STATION SUB-SYSTEME) OU SOUS SYSTEME RADIO

Encore appelé réseau d'accès, sa fonction principale est la gestion de l'attribution des ressources radio, indépendamment des abonnés, de leur identité ou de leur communication. On distingue dans le BSS :

IX.1.1. MOBIL STATION (MS)

La station mobile (MS) est composée d'une part du terminal mobile, et d'autre part du module d'identification de l'abonné SIM (*Subscriber Identification Module*). Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI. Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction de terminaux volés. Le SIM est une carte à puces qui contient dans sa mémoire le code IMSI qui identifie l'abonné de même que les renseignements relatifs à l'abonnement (services auxquels l'abonné a droit). Cette carte peut être utilisée sur plusieurs appareils. Il est à noter que l'utilisateur ne connaît pas son IMSI mais il peut protéger sa carte à puce à l'aide d'un numéro d'identification personnel à 4 chiffres.

IX.1.2. LA BTS OU STATION DE BASE (BASE TRANSCEIVER STATION)

Elle est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX (Transceiver), pilotant une ou plusieurs cellules. Elle permet le dialogue avec le mobile sur l'interface Air (aussi appelée interface Radio ou interface Um), elle dialogue également avec son BSC grâce à l'interface A-Bis. Cette liaison est une liaison MIC (*Modulation par Impulsions Codées*) à 2 Mb/s réalisée sur ligne cuivre classique, parfois sur faisceaux hertziens (2, 4 ou 8 Mb/s). Nous vous parlerons avec plus en détail de l'installation et la maintenance d'une BTS dans la suite elle est chargée de récupérer le signal des mobiles pour envoyer au BSC et vice versa. Elle gère les problèmes liés à la transmission radio (*modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur...*). Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules. Elle réalise aussi des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement (*évaluation de la distance et de la puissance du signal émis par le terminal de l'abonné*): Ces mesures sont directement transmises à la BSC.

Les chaînes de télévision et les radios sous-traitent à des entreprises privées pour l'étude et l'installation des émetteurs et réémetteurs afin de permettre à la population de regarder ou écouter leurs émissions, on compte plus de 6 000 émetteurs pour les chaînes de télévision et radio hertziennes au RDC.

De la même façon, les opérateurs de téléphonie mobile GSM sous-traitent à des entreprises privées tel que SILICON Technologie pour l'étude et l'installation de leurs sites GSM. L'opérateur définit de nouvelles zones à équiper, pour compléter la couverture du territoire ; pour cela, il commande à un sous-traitant spécialisé la réalisation d'une étude pour de nouveaux emplacements de relais.

L'opérateur définit une zone de quelques kilomètres en zone rurale ou de quelques centaines de mètres en ville où devra se trouver le relais, il définit aussi les besoins de couverture, la capacité en trafic, les fréquences utilisées (900, 1800, 1900-2200 MHz) :

- ✎ *Recherche des emplacements* : Le sous-traitant cherche des emplacements pour le site, qui seront classés par ordre de priorité par l'opérateur.
- ✎ *Début de la négociation* : Quand des emplacements ont été trouvés, le sous-traitant s'occupe de la négociation avec le propriétaire ou le syndicat. C'est cette phase la plus délicate, puisque les propriétaires sont très réticents pour accueillir des antennes. Cette négociation dure tout au long de l'étude, et après la visite technique qui définit la position des baies et des antennes, une proposition est faite au propriétaire. Si la négociation s'est bien déroulée, le montant de la location (qui peut aller d'une centaine à un millier des dollars par mois) payé par l'opérateur est fixé et un accord de principe est signé.
- ✎ *Visite technique* : Les services de l'opérateur font une visite technique sur place, pour définir le type d'antenne et leurs positions. Le sous-traitant fait lui aussi des relevés pour prévoir l'installation du matériel et des chemins de câbles.
- ✎ *Dossier technique* : L'opérateur donne les spécifications générales du site au sous-traitant, qui va établir un dossier technique minimal contenant les plans, descriptifs des travaux, position sur le cadastre. Une fois le dossier retourné à l'opérateur, celui-ci va le compléter en faisant des simulations pour choisir définitivement le type d'antennes, leur orientation, azimut, tilt, bilan de liaison, puissance apparente rayonnée (*PAR*).
- ✎ *Démarches administratives* : Le sous-traitant prend connaissance du dossier complet et accomplit les démarches nécessaires. Il fait les demandes administratives pour la réalisation des travaux (*permis de construire, demande de travaux...*), fait une déclaration auprès de l'A.R.T. (*Agence Régulation des Télécommunications*). Si l'un de ces agréments n'est pas donné, le site doit être abandonné ou modifié de manière à devenir conforme et ainsi obtenir les autorisations nécessaires.
- ✎ *Dossier technique complet* : Une fois toutes les autorisations obtenues, un dossier technique définitif est renvoyé à l'opérateur qui vérifie que tout correspond bien aux spécifications techniques initiales. Les travaux devront suivre scrupuleusement ce dossier.

- ✎ *Décision finale* : L'opérateur étudie le dossier et vérifie que la négociation effectuée avec le propriétaire (*prix d'achat, location*) est convenable. Si tout est bon, l'accord de financement est donné, l'opérateur et le propriétaire concluent la négociation (*signature du bail, acte de vente*) et les travaux peuvent débuter.

Le sous-traitant choisi par l'opérateur organise les travaux, il les réalise entièrement ou peut en sous-traiter une partie à des entreprises spécialisées dans le gros œuvre, l'installation du pylône :

- ✎ *Gros œuvre* : Cette étape doit permettre l'accès au site en question. S'il s'agit d'une région difficile d'accès, il faudra au préalable mettre en place un chemin praticable par les engins nécessaires à l'installation du pylône et autres matériels. Si le site se trouve sur un toit d'immeuble, il faudra sécuriser les abords du toit et préparer à accueillir les antennes et les BTS. C'est à ce moment-là que seront faites les fondations et chapes en ciment destinées à supporter le pylône et les baies. Lorsqu'ils seront utiles, les préfabriqués, jouant le rôle de shelter (*abris pour les baies et matériel*) seront mis en place, ou (*si existant*) aménagés pour recevoir le matériel.
- ✎ *Installation et test du matériel* : Le sous-traitant installe les antennes dans les azimuts et inclinaisons définis, met en place les câbles et prépare la structure pour accueillir les baies ; Il s'occupe aussi de la sécurité du site, pour protéger les personnes qui seront amenées à y travailler (garde-fous, rampe d'accès, échelle d'accessibilité...) Le service de l'opérateur chargé de la planification des fréquences et du trafic désigne le nombre de TRX nécessaires, les fréquences à attribuer au site, ainsi que les cellules voisines à déclarer. Une équipe du constructeur des BTS (*Nortel, Alcatel, Motorola ou Nokia*) vient sur place pour installer les baies et configurer les BTS avec les fréquences et le nombre de TRX donnés. Un technicien de l'entreprise qui fournit les BTS se rend sur place, pour terminer l'installation des baies. Il achève les derniers branchements : alimentation électrique, connexion des antennes, de la « *liaison Abis* » et procède aux premiers essais en collaboration avec une personne du centre de supervision de l'opérateur, pour vérifier le bon fonctionnement et la bonne configuration de la BTS et des antennes, secteur par secteur. L'opérateur organise une visite qui lui permet de vérifier la conformité du site aux spécifications du dossier technique. Si le site est conforme, le sous-traitant est payé.

- ✎ **Mise en route** : Le site ouvre en exploitation, il est surveillé par le service optimisation de l'opérateur qui procède à des réajustements notamment au niveau de la puissance, pendant le premier mois de fonctionnement. Des interventions peuvent avoir lieu sur le site pour affiner les réglages : baies, tilt, panne... Le site ne sera ensuite visité que quelques fois par an, notamment pour des pannes. Si le site ne peut être mis en service immédiatement du fait d'un risque de brouillage avec une autre station proche utilisant les mêmes canaux, il sera configuré lors d'une prochaine modification du PDF (*Plan De Fréquence*) pour être intégré dans le motif régulier utilisé. Cette mise en service se fait sans aucune intervention humaine locale, ce sont les personnes qui gèrent le BSC qui configurent à distance, via la liaison A-bis, toute la BTS.

IX.1.2.1. DIFFERENTS TYPES STATIONS DE BASE (BTS)

Il existe différents types de BTS proposés pour répondre aux différents besoins étudiés ci-dessus. Le réseau MTN en compte plus de 2 000 en RDC. Ces stations sont conçues par différents constructeurs qui respectent strictement la norme GSM de manière à ce que le matériel de différents constructeurs puisse être compatible. Les BTS sont de puissance variable de manière à éviter les interférences entre deux cellules: comme nous le verrons, il est important de réguler la puissance du portable de manière à éviter ces mêmes interférences :

- ✎ *Les BTS rayonnantes* : Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible. Elles sont situées sur des points stratégiques (*sommets, pylônes...*). Ces stations émettent dans toutes les directions: ce sont les stations les plus visibles. Elles couvrent des macros cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes.
Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance (*jusqu'à 20 Kms*).
- ✎ *Les BTS ciblés* : Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les retrouve en ville par exemple. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis: on peut grâce à cela réutiliser facilement le même canal dans une autre cellule à proximité.

- ✎ *Les micros BTS* : Elles couvrent des zones très restreintes et sont très utilisées dans les sites où la densité d'abonnés est importante: ce sont les microcellules. On retrouve ce type de couverture dans la rue de Douala et Yaoundé. Leur grande discrétion permet de les installer dans les périmètres autour des centres villes. Une bonne étude d'implantation permet avec ce type de BTS de créer une couverture à deux niveaux: sur un premier niveau, les micro-BTS couvrent les 3 premiers mètres grâce à des émetteurs très ciblés. Un second niveau (*étage plus élevé des immeubles*) sera couvert par des BTS ciblées.
- ✎ *Micro BTS (Les amplificateurs de signal)* : Ce ne sont pas des BTS proprement dites mais ils permettent de couvrir une autre cellule comme le ferait une véritable BTS. Les amplificateurs de signal captent le signal émis par les BTS, l'amplifient et le réémettent d'un autre site. Ils permettent de couvrir une cellule à moindre coût. De plus, ces amplificateurs ne nécessitent aucune connexion vers les BSC, ils peuvent donc être placés sans contraintes physiques (*sommet isolé de tous réseaux électriques et télécoms*). Idéals pour couvrir les zones à faible densité ou à relief difficile, ils sont néanmoins très gourmands en ressource réseau, car la BTS mère doit gérer tout le trafic des réémetteurs.

IX.1.2.2. COMPOSITION ET ROLE DES ELEMENTS D'UNE BTS

Les BTS utilisées jouent un rôle primordial pour évaluer la qualité d'un réseau. La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses, c'est-à-dire qu'elle peut supporter au plus une centaine de communications simultanées. Une configuration en zone urbaine est constituée d'une BTS à 4 porteuses pouvant écouler environ 28 communications. Comme nous l'avons vu plus haut la bande passante allouée à un opérateur est limitée. C'est pourquoi il doit réduire au minimum la puissance de ses BTS en ville de manière à ce qu'elles couvrent une zone la plus restreinte possible. Elle se compose de :

IX.1.2.3. ANTENNES

Les antennes sont les composantes les plus visibles du réseau GSM. On les voit un peu partout, souvent sur des hauts pylônes, sur des toits d'immeubles, contre des murs, à l'intérieur des bâtiments ; il arrive assez souvent qu'elles soient invisibles puisque camouflées, pour des raisons esthétiques, à proximité de bâtiment classés « *monuments historiques* ». Ces antennes permettent de réaliser la liaison Um entre la MS (*téléphone mobile*) et la BTS :

- ➔ *Fréquences d'utilisation* : La caractéristique la plus importante d'une antenne, aussi appelée aérien, est la bande de fréquences supportée ; c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir. Sur les sites GSM, on trouve des antennes qui émettent seulement en 900 MHz, seulement en 1800 MHz ou des antennes bi-bandes 900 et 1800 MHz. On les trouve déjà, et leur nombre ne fera qu'augmenter, des antennes bimodes (*GSM & UMTS*) et bi-bandes (*1800 & 1900-2200 MHz*) ou tri-bandes (*900, 1800 & 1900-2200 MHz*), qui sont des antennes qui servent à la fois pour le GSM en 900 et/ou 1800 MHz, mais aussi pour l'UMTS en 1900-2200 MHz.
- ➔ *Directivité* : La deuxième caractéristique importante est la directivité sur le plan horizontal, c'est en fait la ou les directions dans laquelle l'antenne va émettre. En GSM, il existe deux grands types de directivités pour les antennes :
 - ✎ *Omnidirectionnelle* : Elles sont assez peu répandues. Lors de l'utilisation pour des macros cellules, elles ressemblent à des brins d'environ 2 m de haut et 5 cm de diamètre, alors que pour les micros cellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre. Ces antennes brins sont omnidirectionnelles, elles émettent de manière égale dans toutes les directions. Pour les macros cellules, les sites comportent souvent deux à trois antennes omnidirectionnelles.

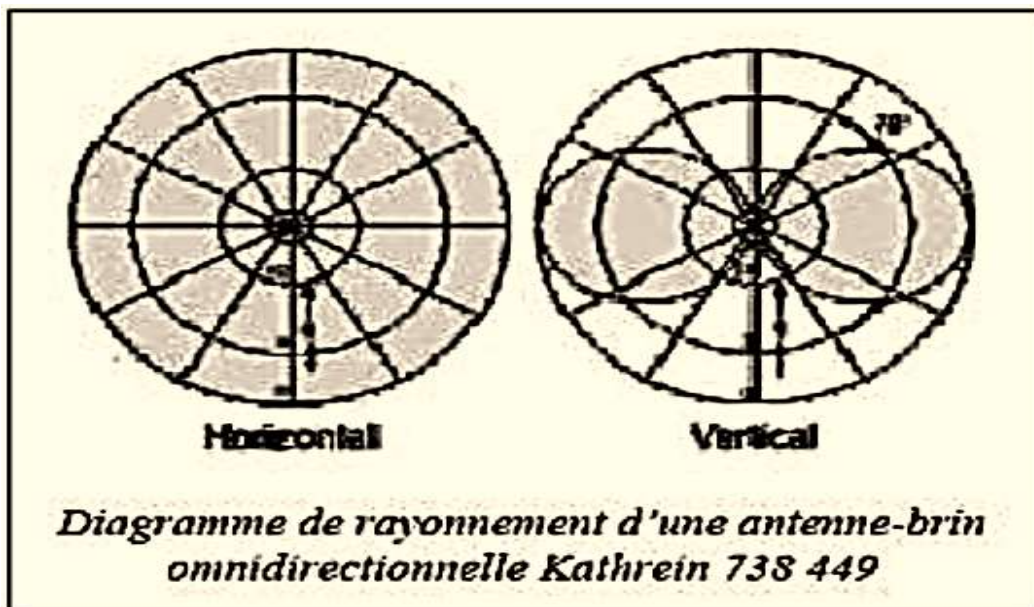


Figure 37. Directivité Omnidirectionnelle

Comme on peut le voir sur ces diagrammes, l'antenne émet dans toutes les directions sur le plan horizontal, et dans deux directions principales sur le plan vertical.

✎ *Directionnelle* : Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées. Lors de l'utilisation pour la couverture de macro cellules, elles ressemblent à des panneaux de couleur beige ou blanche d'environ 2 m de haut, 20 cm de large et 10 cm d'épaisseur, alors que pour les micros cellules, ce sont de petits panneaux d'une vingtaine de centimètres de haut, 10 cm de large et quelques centimètres d'épaisseur. Ces antennes-panneaux sont directionnelles, elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées, ce qui permet de limiter le champ de propagation d'une fréquence pour pouvoir ainsi de la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillage. Les relais sont souvent composés de trois antennes-panneaux orientées à environ 120° l'une de l'autre, de manière à couvrir sur 360° .

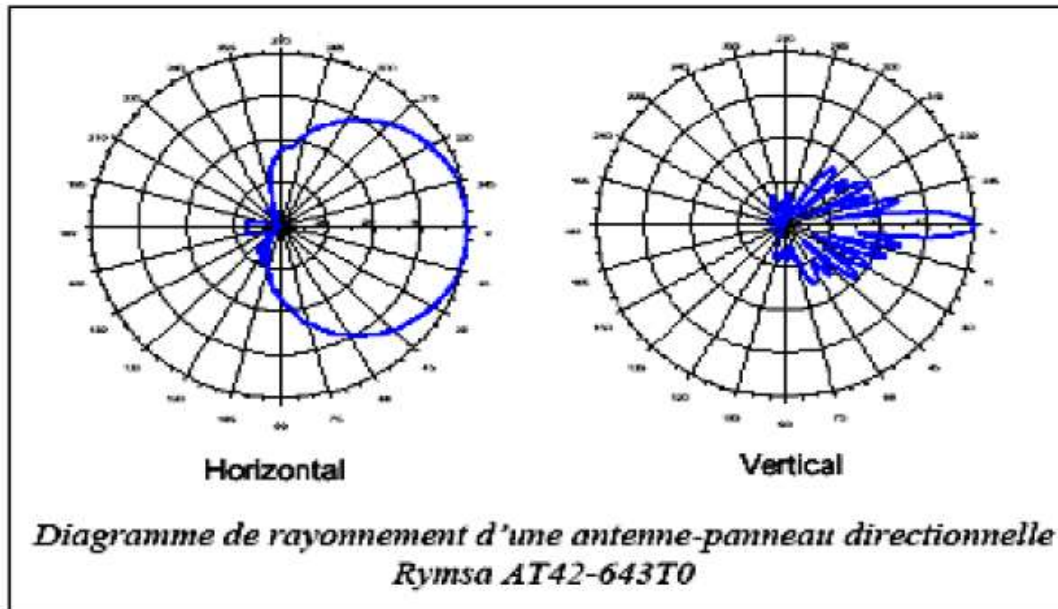


Figure 38. Directivité Directionnelle

On peut constater sur le plan horizontal que l'antenne-panneau émet à forte puissance vers l'avant, et avec une puissance faible derrière elle. On remarque sur le plan vertical, que l'antenne émet avec une puissance faible au-dessus et au-dessous, mais avec une puissance beaucoup plus importante devant elle :

- ✎ *Portée* : Une autre caractéristique est la portée des antennes. Elle dépend pour beaucoup de la PIRE (*Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente*) de l'antenne, mais aussi de son orientation. En général, une antenne assure la couverture d'une zone appelée secteur ou cellule. Il existe deux grands types de cellules :
 - *le premier étant la micro (petite) ou pico (très petite) cellule* qui couvre une zone de taille réduite, par exemple une rue très fréquentée, une galerie marchande, un centre commercial au moyen d'antennes de petite taille, souvent omnidirectionnelles.
 - *Le deuxième type est celui des macros cellules* qui couvrent des zones de grande superficie (*plusieurs dizaines de kilomètres carrés*), que l'on trouve près des autoroutes, et dans les zones périurbaines ou rurales ; dans ce cas, les antennes utilisées sont souvent de type directionnel.
- ✎ *Gain et Puissance* : Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Le gain est l'amplification que l'antenne effectue du signal d'entrée. Ce gain s'exprime en

dB ou dBi, et est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles. La puissance émise par l'antenne est appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) ou PAR (*Puissance Apparente Rayonnée*, $PAR = PIRE - 2,15 \text{ dB}$). Cette puissance est fournie par la BTS et ses amplificateurs de puissance, commandés depuis le BSC. La PIRE est de quelques watts pour des antennes couvrant des micros cellules, et d'une vingtaine à une cinquantaine de watts pour des macros cellules. La PIRE est exprimée en dbm, ce qui est plus pratique pour le calcul des pertes des coupleurs, câbles coaxiaux et gain des antennes.

- ✎ *Azimut* : Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante est dirigée dans l'azimut établi. L'azimut est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°). De cette façon, l'azimut 90° correspond à l'est, l'azimut 180° au sud, etc.

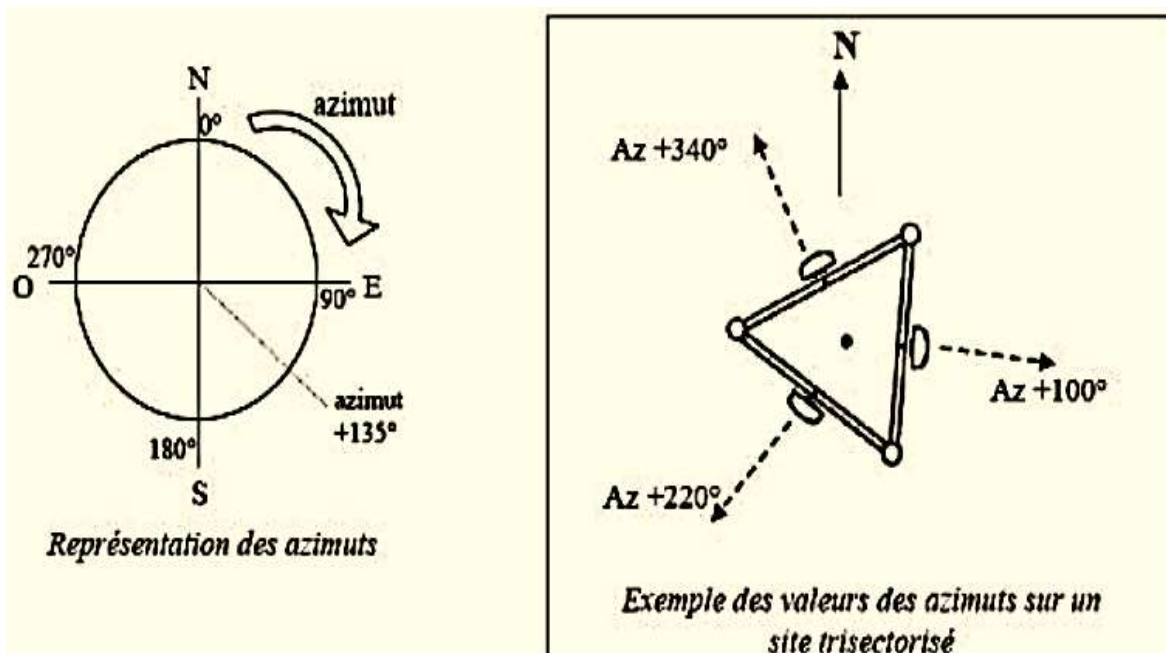


Figure 39. Angle azimut

Tout comme l'azimut, le tilt (*ou down-tilt*) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur.

Le tilt est l'angle d'inclinaison (*en degrés*) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas. Il existe deux types de tilt :

- ➔ *mécanique* : il suffit de relever légèrement l'antenne sur son support, pour qu'elle soit dirigée dans la direction souhaitée.
- ➔ *électrique* : réglage d'environ 2 à 10°, en tournant une partie mécanique à l'arrière de l'antenne qui joue sur le déphasage des signaux dans les différents dipôles constituant. Le signal est envoyé à l'équipement de transmission.



Fig. 40. Antenne directionnelle avec tilt négatif. Antenne directionnelle avec tilt positif

- ✎ *Diversité spatiale* : La liaison U_m dans le sens montant (*mobile vers BTS*) est plus difficile à assurer que la liaison descendante (*BTS vers mobile*), puisque la puissance des terminaux est limitée à 2 watts en 900 Mhz et 1 watt en 1800 MHz, on utilise donc deux antennes au lieu d'une pour favoriser la réception du signal. À cause des diverses réflexions du signal émis par le mobile (*contre des immeubles, des falaises...*), deux ondes peuvent arriver en un point donné en s'annulant ou s'atténuant fortement (*à cause de leur déphasage*), c'est ce que l'on appelle l'évanouissement (*fading*) de Rayleigh, mais quelques mètres (*et longueurs d'ondes*) plus loin, ces ondes ne seront plus atténuées, d'où l'intérêt de placer des antennes espacées d'environ 3 à 6 m l'une au-dessus de l'autre ou l'une

à côté de l'autre. On place donc deux antennes, au lieu d'une, pour augmenter les chances de recevoir un signal correct, on augmente ainsi le signal reçu jusqu'à 5 dB.

- ✎ *Diversité de polarisation* : La diversité de polarisation est la technique d'utilisation de plusieurs plans de polarisations, pour favoriser la réception du signal. La polarisation d'une onde électromagnétique est décrite par l'orientation de son champ électrique. Si celui-ci est parallèle à la surface de la terre, la polarisation est linéaire horizontale, s'il est perpendiculaire à la surface de la terre, la polarisation est linéaire verticale. Pour un téléphone mobile, la polarisation est verticale lorsque le téléphone est tenu vertical, mais s'il est légèrement orienté, l'onde polarisée verticalement parvient plus faiblement à la BTS, alors qu'en même temps, le niveau reçu de cette même onde polarisée horizontalement augmente.

En effet, il existe des signaux en polarisation verticale et horizontale, et il faut que les antennes émettrices et réceptrices communiquent toutes les deux avec un signal dans la même polarisation, sous peine d'avoir un signal fortement atténué. L'antenne du relais est capable de conserver une polarisation constante, mais le téléphone mobile, ne reste jamais parfaitement vertical et ne peut donc conserver une polarisation verticale.

On utilise donc des antennes qui ont une double polarisation (*ou polarisation croisée*), ni verticale, ni horizontale, mais intermédiaire : $+45^\circ$ et -45° , et l'on utilise le plan de polarisation qui reçoit le meilleur signal, pour augmenter les chances de recevoir un niveau correct ; on peut gagner ainsi jusqu'à 6 dB. En émission, on utilise une seule de ces polarisations, au choix de l'opérateur.

- ✎ *Diversité de fréquence* : La diversité fréquentielle est, la technique utilisant un changement régulier des fréquences utilisées ; c'est-à-dire, que la BTS et le mobile changent régulièrement de fréquence d'émission et de réception, c'est ce que l'on appelle le saut de fréquence ou Frequency Hopping, un changement de fréquence 217 fois par seconde, qui permet de lutter contre l'évanouissement du signal (*ou fading*). Ce procédé permet aussi de moyenniser le brouillage ; par exemple : si un canal est brouillé, et si une communication est établie sur ce canal,

la communication sera fortement perturbée, alors que si l'on change très régulièrement de canal (*fréquence*) ; La communication ne sera perturbée qu'à certains instants, mais restera en moyenne, audible. On utilise le saut de fréquence pendant les communications, ce qui peut permettre de gagner quelques dB supplémentaires.

- ✎ *L.N.A.* : Dans certains cas, les sorties des antennes sont suivies immédiatement de LNA (*Low Noise Amplifier - Amplificateur à Faible Bruit*) qui permettent d'amplifier le signal reçu par l'antenne, en provenance du mobile, sur la liaison Um (*voie montante*). Les LNA doivent être situés au plus près de la sortie des antennes, pour éviter qu'un signal trop faible ne soit totalement inexploitable à la sortie des câbles coaxiaux. Ces LNA ressemblent à de petits cubes situés à quelques centimètres des antennes, en haut des pylônes.

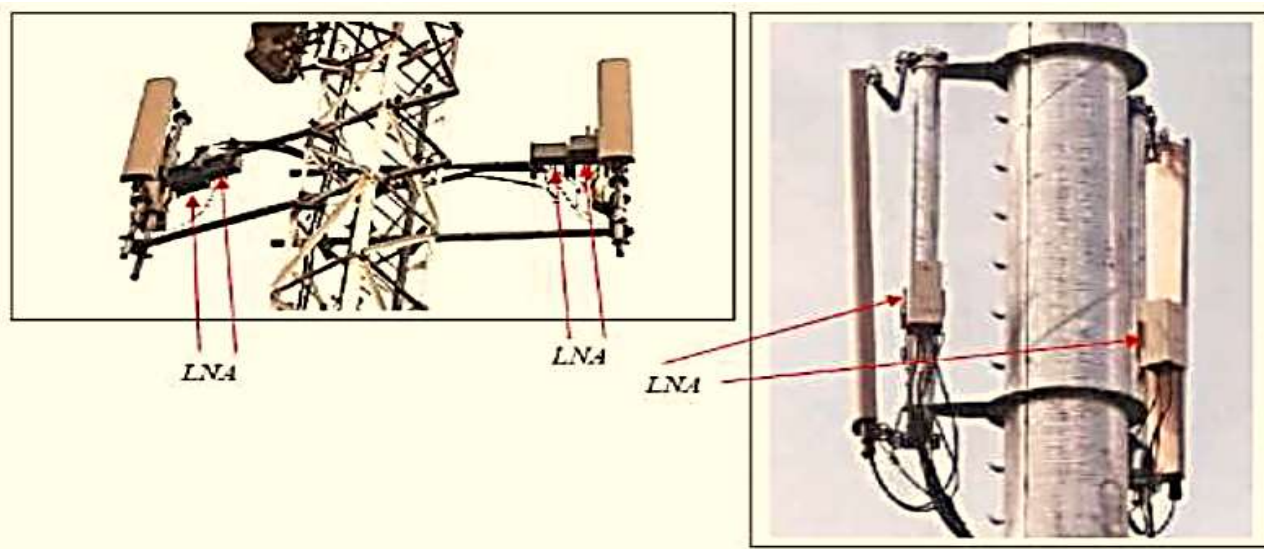


Figure 41. Low Noise Amplifier

- ✎ **Sectorisation** : Chaque relais GSM est partagé en plusieurs zones d'émission, une pour chaque antenne (*sauf présence de diversité spatiale*), habituellement jusqu'à 3 zones par relais, appelées aussi secteur ou cellule :
 - *Mono sectorisé* : Est dit mono sectorisé un site GSM qui ne possède qu'un seul secteur, c'est-à-dire qui ne gère qu'une seule cellule. Il y a une seule

antenne, ou deux si la diversité spatiale est utilisée, voire jusqu'à trois pour certains sites omnidirectionnels constitués de trois Brins omnidirectionnels.

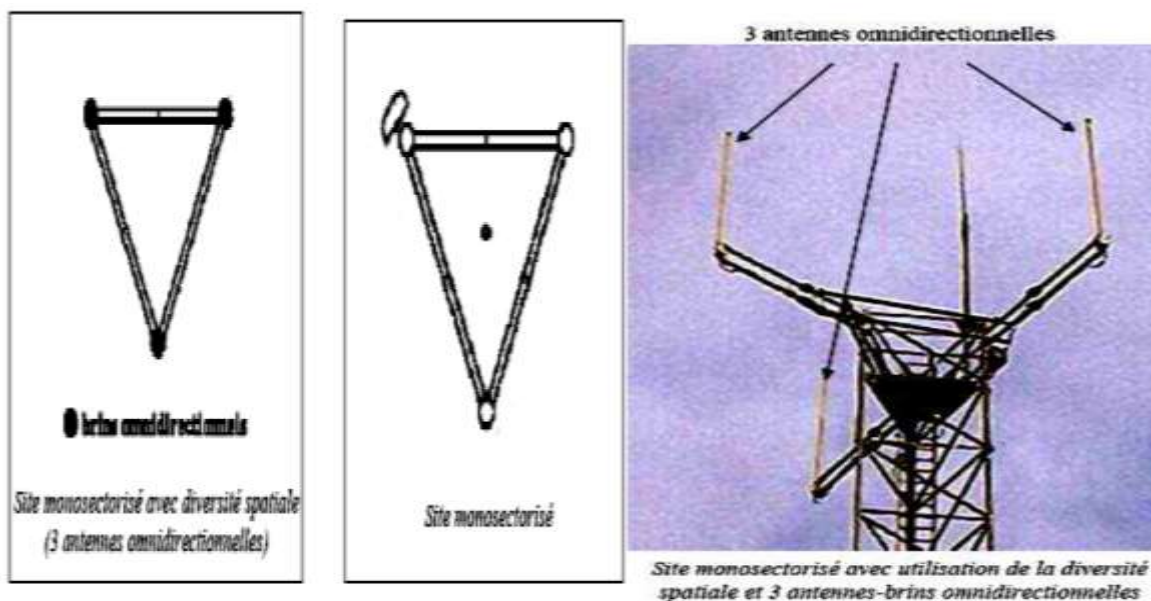


Figure 42. Site Mono sectorisée

Ce type de site omnidirectionnel est utilisé en zone rurale pour assurer une couverture assez importante, sans permettre une grande quantité de communications, ou en zone urbaine importante, pour micro cellule, afin de supporter des communications passées dans une zone réduite (*centres commerciaux, rues piétonnes...*). Un site mono sectorisé avec panneau directionnel, peut être utilisé pour affiner une couverture locale, ou en zone rurale, au-dessus d'une vallée encaissée, où les deux autres secteurs ne seraient pas utiles

- *Bi sectorisé* : Un site bi sectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs, et donc deux cellules distinctes. Le site peut comporter au moins deux antennes et jusqu'à quatre si la diversité spatiale est utilisée. Ce type de site sert à couvrir des zones où seuls deux secteurs sont utiles (flanc d'une colline...).

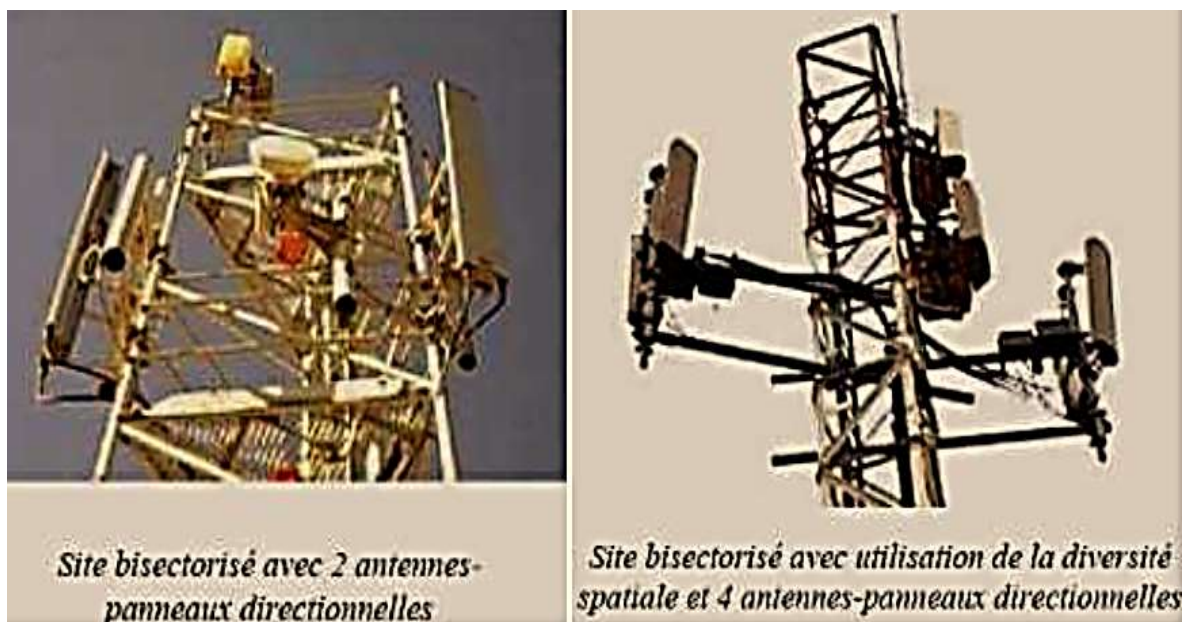


Figure 43. Site bi sectorisé

- **Tri-sectorisé** : La majorité des sites GSM sont des sites trisectorisés, c'est-à-dire qu'ils sont constitués de trois cellules, ce qui permet une meilleure intégration au PDF (*Plan De Fréquences*). Ces sites sont très répandus en zone rurale et périurbaine, où la couverture n'est quasiment assurée qu'à partir de ce type de sites.

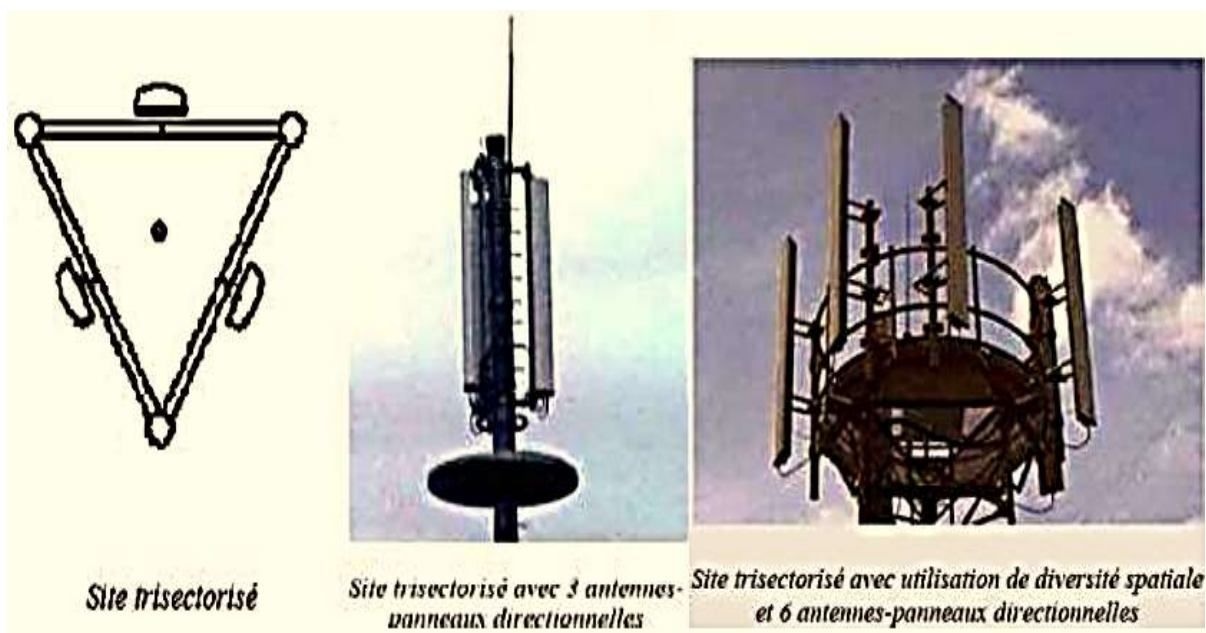


Figure 44. Site tri sectorisée

- ✎ **Numérotation** : Les secteurs de chaque site sont numérotés. Le secteur n°1 est le secteur qui a l'azimut le moins élevé, c'est-à-dire, c'est le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord (*Az. 0°*).
- ✎ *Câbles coaxiaux* : Pour relier la BTS aux antennes, on utilise des câbles coaxiaux (ou *feeders en anglais*), qui peuvent atteindre jusqu'à une cinquantaine, voire exceptionnellement une centaine de mètres de longueur, pour parcourir la distance entre la BTS et les antennes. Ces câbles sont blindés et parfaitement isolés, de manière à n'introduire aucun parasite entre l'antenne et la BTS, mais surtout pour éviter les pertes. Les câbles utilisés apportent une atténuation d'environ 2dB pour 100 mètres, ils ont très souvent un diamètre de 7/8 pouce (environ 2,2 cm) et sont constitués de deux couches de cuivres, une au cœur et une autre vers l'extérieur, séparées par un isolant plastique.
- ✎ *Etiquetage* : Pour repérer les différents câbles, les installateurs d'antennes placent des étiquettes à des endroits où les câbles sont nombreux : pied du pylône, sortie du local technique... Ces étiquettes contiennent une ou plusieurs des informations suivantes : *azimut (« AZ »)* ; *tilt (« TILT »)* ; *N° de secteur (« SECT »)* ; *nom de l'opérateur GSM* ; *longueur du câble (« L »)* ; *signal traversant le câble : Emission (« EM »)*, *Réception (« REC »)*, *Diversité (« DIV »)* ; *nom du signal provenant de l'antenne, polarisation (« +45 ») et (« -45 »)*.
- ✎ *Base Transceiver Station* : La BTS est le premier élément électronique actif du réseau GSM, vu par le mobile. C'est l'élément intermédiaire entre le BSC qui reçoit des informations, donne des ordres et le mobile qui les exécute.

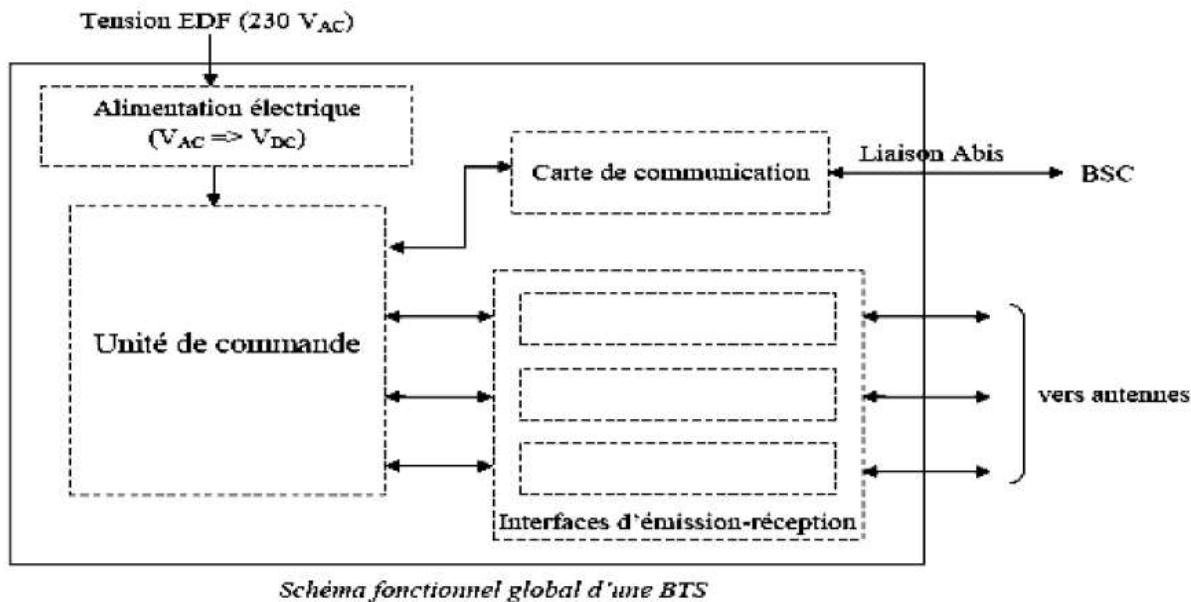


Figure 45. Schéma fonctionnel d'une BTS

Ce schéma synoptique est très simplifié, afin de présenter de manière très claire les éléments essentiels d'une BTS. Une BTS est composée d'un équipement de transmission (*grande armoire métallique*) modulaire avec des emplacements disponibles pour enficher des cartes électroniques. L'équipement de transmission est une grande armoire métallique, parfaitement blindée électriquement, hermétique, climatisée en saison sèche ou saison du soleil et chauffée en saison de pluie pour conserver une température de fonctionnement constante.

Elle est modulaire, elle contient des emplacements pour des cartes électroniques qui sont ajoutées suivant les besoins du site. C'est aussi une unité de commande qui est la partie essentielle de la BTS, elle gère tout son fonctionnement. Elle génère les fréquences de référence, crée les différentes porteuses, assure la modulation et démodulation des signaux, commande les amplificateurs de puissance, fournit les signaux aux TRX, et ceci sur tous les secteurs. Elle est généralement pour les sites MTN appelé RBS (*Radio Base Station et est en deux exemple : RBS 900 et RBS 1800*) et ces RBS dépendent de la technologie. L'alimentation de l'unité de transmission se fait avec la tension du réseau SNEL 230V alternatif. Ensuite, le transformateur convertit cette tension en une tension continue pour l'alimentation de tous les éléments de la BTS, qui peut consommer jusqu'à une trentaine d'ampères en fonctionnement à plein régime.

Des batteries sont associées à cette alimentation, pour permettre un fonctionnement de plusieurs heures en cas de coupure de courant. Ces batteries sont appelées BBS (Battery Back-up System) qui comporte 8 batteries, des fusibles qui dirige et fournit l'énergie nécessaire pour alimenter les équipements de transmissions ce qui laisse une sensibilité plus longue de temps de secours pour le fonctionnement de la RBS. Elle est aussi équipée des alarmes, des unités de climatisations et des convertisseurs et régulateur de tension :

- **Protection** : La protection est nécessaire pour les équipements et elle est de deux sortes : le para tonnerre et le para foudre qui sont installés et la mise à la terre pour permettre au équipement de bénéficier d'une certaine sécurité.

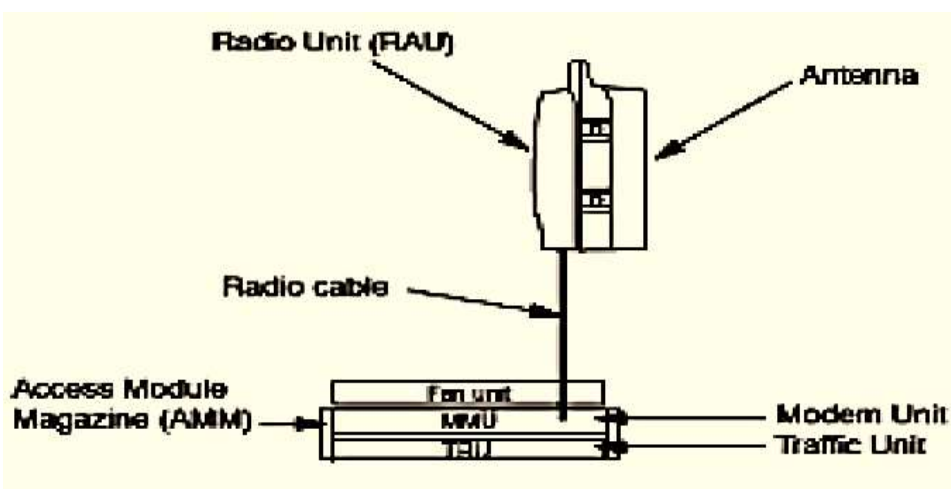


Figure 46. Schéma du Mini Link

MINI LINK qui permet d'assurer la liaison entre la BTS et la BSC. Elle est constituée de trois modules qui sont répartis suivant deux types d'unité : *Les unités Indoor et Outdoor.*

- ➔ *Le module Indoor (AMM : Access Magazine Module, MMU : Modem Module Unit) qui permet de connecter le trafic principal de 155 Mbit/s et la transmet. Elle permet d'effectuer la commutation, la démodulation et la modulation des données utilisée pour protégé et configuré les terminaux. Elle possède une unité de ventilateur qui est toujours adaptée pour garantir suffisamment le refroidissement.*

→ *Le module Outdoor (RAU : Radio Access Unit et l'antenne)* permet de produire et recevoir l'onde radio fréquence et le converti en un format de signal qui va circuler dans le câble par radio, qui relie les deux modules. Antennes du Mini Link est différente de celle de la BTS. C'est à travers cette antenne que les signaux traités par la RBS sont envoyés à La BSC. Elle a la forme d'un tambour et est installé au niveau d'une des antennes suivant la direction où est situé la BSC. C'est le Mini Link qui assure la liaison entre la BTS et la BSC.

IX.1.3. LE BSC OU CONTROLEUR DE STATION DE BASE (BASE STATION CONTROLLER)

Il assure le contrôle d'une ou de plusieurs BTS. Il gère la ressource radio, exploite les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS. La plupart des fonctions intelligentes du BSS sont implantées à son niveau, notamment les fonctions de gestion des ressources radioélectriques tels que :

- L'allocation des canaux ;
- La gestion de la configuration des canaux ;
- Le traitement des mesures et la décision de hand over intra BSC.

Le BSC est relié au NSS par le biais de l'interface A. c'est une liaison à grand débit (32Mb/s) sur fibre optique, elle est acheminée via le réseau public. Le BSS est relié au serveur de l'OMC-R par l'Interface REM. Cette liaison suivant le protocole X25, utilise habituellement une ligne cuivre classique.

IX.1.4. LE SOUS-SYSTEME RESEAU NSS (NETWORK STATION SUB-SYSTEM)

Le NSS assure principalement les fonctions de commutation et de routage. C'est lui qui permet d'établir les communications entre mobile d'un même PLMN ou de PLMN différent et entre mobile et PSTN. En plus des fonctions indispensables de commutation, on y retrouve les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM. Le NSS est constitué de :

IX.1.4.1. LE MSC (MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER)

C'est la partie centrale du NSS. Il prend en charge l'établissement des communications des abonnés GSM. Du fait de la mobilité, l'implantation de la seule fonction de commutation n'est pas suffisante. Le MSC gère la mobilité et les fréquences et enregistre la localisation des abonnés visiteurs (*base de données VLR*). Il est relié aux autres équipements du sous-système réseau EIR, HLR, VLR.

IX.1.4.2. LE VLR : (VISITORS LOCATION REGISTER)

C'est la base de données associée à chaque MSC. Le VLR contient une partie des informations des HLR concernant les abonnés des mobiles situés dans les BSS dépendant du MSC. Le VLR enregistre les informations de localisation des mobiles. Il détermine les numéros de réacheminement MSRN (*Mobile Station Roaming Number*) pour les communications à destination des mobiles. Les informations sont effacées lorsque le mobile quitte cette zone.

IX.1.4.3. LE HLR (HOME LOCATION REGISTER)

Il contient les informations nécessaires à la gestion des communications d'un certain nombre d'abonnés. Pour chaque abonné qu'il gère, le HLR possède l'identité internationale de l'abonné (IMSI), son numéro d'abonné MSISDN et les services souscrits. Il connaît le VLR/MSC dont dépend le mobile à un instant donné.

IX.1.4.4. L'AUC (AUTHENTICATION CENTER)

Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour le chiffrement des communications. Un AuC est en général associé à chaque HLR.

IX.1.4.5. EIR (EQUIPEMENT IDENTITY REGISTER)

C'est une base de données contenant le numéro international de l'équipement IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) permettant ainsi son identification.

IX.1.5. LE SOUS-SYSTEME OPERATIONNEL OSS (OPERATING SUB-SYSTEM)

Cette partie permet à l'opérateur de superviser son PLMN (*Public Land Mobile Network*). Le centre d'exploitation et de maintenance OMC (*Opération and Maintenance Centre*) est décomposé en deux parties :

- ➔ *OMC-S* : (*Opération and Maintenance Centre Switching part*), supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.
- ➔ *OMC-R* : (*Opération and Maintenance Center Radio Part*) : exploite et maintient le sous-système radio.

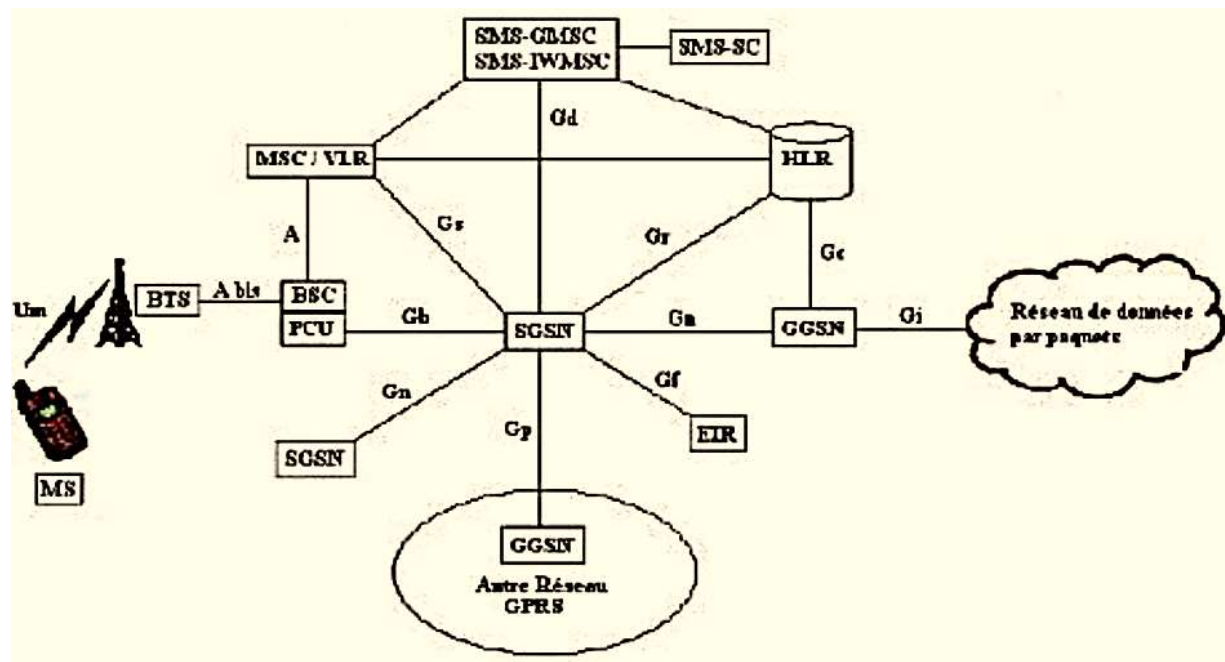


Figure 47. Architecture d'un réseau GPRS.

CHAPITRE X. LES RESEAUX GPRS, EDGE ET UMTS

X.1. LES RESEAUX GPRS

Dans cette partie nous allons vous montrer l'architecture d'un réseau GPRS. Cependant, comme nous l'avons mentionné, GPRS est un service complément de GSM et s'intègre dans ce dernier. C'est pourquoi nous verrons le sous réseau GSM dans l'architecture GPRS. Nous allons voir les différentes parties qui composent cette architecture avec les interconnexions entre ces entités. Cette architecture peut paraître complexe, cependant GPRS étant un service de GSM, une partie de cette infrastructure est le sous réseau GSM. Ce réseau est composé en différentes parties que nous allons expliquer, avec les différents équipements et interfaces d'interconnexions. Voici maintenant un descriptif de chacune des entités du réseau GPRS :

- ✎ *MS (Mobile Station)* : terminal mobile de l'utilisateur (*TE pour Terminal Equipment*) avec sa carte SIM (*Subscriber Identity Mobile*).
- ✎ *BTS (Base Transceiver Station)* : émetteur / récepteur gérant une cellule, la couche physique sur la voie radio et la couche liaison de données avec le mobile.
- ✎ *BSC (Base Station Controller)* : commutateur qui réalise une première concentration de circuits, qui s'occupe de la gestion de la ressource radio (*allocation des canaux, ...*).
- ✎ *MSC (Mobile services Switching Center)* : commutateur du réseau GSM, qui gère l'établissement de circuits à travers le réseau.
- ✎ *VLR (Visitor Location Register)* : base de données locale qui contient les profils de tous les abonnés présents dans la zone gérée par ce VLR. Dans la plupart du temps, cet équipement est dans le même équipement que le MSC.
- ✎ *HLR (Home Location Register)* : base de données globale du réseau GSM, dans laquelle les profils de services des abonnés, la localisation des abonnés et la gestion de la sécurité sont enregistrés.

- ✎ *EIR (Equipment Identity Register)* : base de données dans laquelle sont enregistrés les numéros d'identification des terminaux mobiles au sens matériel avec l'IMEI (*International station Mobile Equipment Identity*).
- ✎ *SMS-GMSC (Short Message Service - Gateway Mobile Services Switching Center)* et *SMS-IW MSC (Short Message Service – Inter Working MSC)* : ces deux MSC sont des commutateurs dédiés au service des messages courts.
- ✎ *SMS-SC (Short Message Service - Service Center)* : cette entité est très importante dans le traitement des messages courts.
- ✎ *PCU (Packet Control Unit)* : cet équipement gère les fonctions de couches basses, c'est-à-dire les protocoles RLC, MAC, contrôle de puissance, adaptation des débits, ... pour envoyer sur le réseau « GPRS ». Il gère les fonctions de transmissions et d'acquittements.
- ✎ *SGSN (Serving GPRS Support Node)* : serveur d'accès au service GPRS (équivalent au MSC), et qui gère les MS présentes dans une zone donnée. Son rôle est de délivrer des paquets aux MS.
- ✎ *GGSN (Gateway GPRS Support Node)* : routeur connectant le réseau GPRS et un réseau externe de commutation par paquets (*IP ou X.25*). Il sert de passerelle entre les SGSN du réseau GPRS et les autres réseaux de données.

Comme nous pouvons le voir sur la figure 45, de nombreux équipements sont présents dans l'architecture d'un réseau GPRS. C'est pourquoi, voyons désormais les différents sous-ensembles qui constituent ce réseau :

- ➔ *Équipement utilisateur* : Il est composé du terminal utilisateur (TE) ainsi que de la carte SIM. Ceci est appelé la MS. Celui-ci est raccordé au sous-système radio par l'interface Um.
- ➔ *Sous-système radio* : Ce sous-système radio est appelé BSS (*Base Station System*). Il est composé de la BTS et la BSC. Ce sous-système radio est connecté au sous-système réseau GSM via l'interface A, et au sous-système réseau GPRS via l'interface Gb.

- *Sous-système réseau GSM* : Ce sous-système réseau GSM est composé des MSC/VLR, HLR et EIR qui sont très peu implémentées compte tenu du coût de ce genre d'équipement. De plus, les équipements SMS-GMSC et SMS-IW-MSC font partie de ce sous-système, mais ils sont utilisés dans le sous-système réseau GPRS, car tout utilisateur GPRS comme tout utilisateur GSM, peut émettre et recevoir des messages courts.
- *Sous-système réseau GPRS* : Le sous-système réseau GPRS se compose principalement des SGSN et des GGSN. D'autres éléments sont nécessaires au bon fonctionnement du réseau GPRS, mais ils ne sont pas représentés ici par souci de clarté. Nous les retrouverons plus tard, dans la figure 6, lors de la description fonctionnelle du GPRS.

X.2. LES RESEAUX EDGE

Les Réseaux EDGE signifie « *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* ». Il s'agit d'une interface hertzienne différente de celle utilisée en GSM, c'est à dire que le lien entre les terminaux et les antennes est modifié. Elle utilise une interface différente. La modulation est aussi différente : c'est une modulation en phase, ajoutée à la modulation de fréquence du GSM classique. Elle permet de multiplier par trois le volume de données transportées. Par conséquent, les antennes et les stations de bases (*BTS*) doivent être modifiées, ainsi que les terminaux. Elle joint aussi Les débits : Le débit théorique est ainsi porté à 384 kbps, et remplit donc les conditions pour être qualifié de 3G par l'ITU (*International Telecommunications Union*). Il permet de profiter pleinement du débit disponible dans le système HSCSD, surdimensionné par rapport au débit des terminaux GSM.

Ce réseau n'est qu'un réseau de transition ou une passerelle entre le GPRS et l'UMTS c'est pour cette raison qu'il est presque improbable d'avoir une architecture physique et aussi certaine interface que régit cette technologie.

X.3. LES RESEAUX UMTS

L'UMTS est l'acronyme d' « *Universal Mobile Télécommunications System* ». Les systèmes de première et deuxième générations étaient considérés comme des systèmes de téléphonie mobile, donc la troisième génération se différencie des deux précédentes par le fait que l'on passe de téléphonie à télécommunication ce qui sous-entend l'apparition de services multimédia à tout instant et en tout lieu.

L'UMTS est un système cellulaire de troisième génération qui fait partie de la famille IMT 2000 et dont les spécifications techniques sont développées au sein du 3GPP. L'architecture de ce système est composée essentiellement d'un réseau terrestre d'accès radio, l'UTRAN (*Universal terrestrial Radion Access Network*) et d'un réseau cœur dérivé de celui spécifié pour la phase 2+ du GSM. L'UTRAN utilise deux modes d'accès fondés sur la technologie CDMA large bande :

- ✎ L'UTRA/FDD (*Universal terrestrial Radion Access/Frequency Duplex Division*) ;
- ✎ L'UTRA/TDD (*Universal terrestrial Radion Access/Time Duplex Division*).

Ceux qui caractérisent l'UMTS sont ses performances radio liées à la nouvelle technologie radio utilisée par l'UTRAN, un réseau de services mobiles complexes et une architecture flexible et modulaire permettant l'évolutivité de la technologie et sa compatibilité avec les différents systèmes de deuxième et troisième générations. Le système UMTS est modélisé à partir de deux points de vue, l'un physique et l'autre fonctionnel.

L'architecture physique : Pour modéliser L'architecture physique, le concept de domaine est utilisé. Il permet d'introduire les équipements composant ce réseau ainsi que la façon de les délimiter. Cette architecture se compose de deux domaines principaux, le domaine de l'équipement usager et le domaine de l'infrastructure, ce dernier se subdivisant en deux sous-domaines : *le domaine du réseau d'accès et le domaine du réseau cœur*.

Le domaine de l'équipement usager comprend tous les équipements terminaux, il peut être également divisé en deux sous domaines, l'équipement mobile et le module d'identité des services de l'utilisateur USIM (*Universal Subscriber Identity Module*). Évidemment les mobiles UMTS ne seront plus de simples téléphones, mais des terminaux multimédias capables d'offrir simultanément des services de transmissions de données, d'audio et de vidéo en tout lieu et en tout moment. Le domaine de l'infrastructure se compose de deux domaines :

- ✎ Le réseau d'accès propose les fonctions permettant d'acheminer les informations (*trafic de données et trafic de signalisation*) depuis l'utilisateur jusqu'au réseau cœur. C'est l'UTRAN qui est utilisée pour ce domaine. Elle fournit à l'équipement usager les ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au cœur du réseau. C'est la plus importante innovation de l'UMTS (*c'est une des raisons du coup élevé de sa mise en place*) et nous en parlerons donc de façon plus approfondie dans la deuxième partie.
- ✎ Le domaine du réseau cœur regroupe les fonctions permettant, la gestion des appels, l'itinérance, la sécurité, la communication avec les réseaux externes. Il permet à l'utilisateur de communiquer à l'intérieur d'un même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux internes ou externes, fixes ou mobiles, numériques ou analogiques. Ce réseau cœur est une évolution de ce qui existait déjà pour le GPRS.

L'évolution de l'UMTS va se faire également par phases comme cela fut le cas pour le GSM. Sa phase 1 a pour consigne de garder une compatibilité technique maximale avec l'infrastructure déployée pour la phase 2+ du GSM. Un même réseau UMTS pourra à la fois s'interconnecter avec des réseaux par commutation de circuits permettant l'accès à des réseaux de type RNIS et avec des réseaux par commutation de paquets pour accéder à Internet. L'architecture fonctionnelle : Elle se modélise par strates. Ces strates définissent la façon dont les trois domaines communiquent entre eux. Cette architecture UMTS se compose de deux strates, une strate d'accès et une strate de non accès :

- ✎ *La strate d'accès* : La strate d'accès regroupe les fonctions propres au transport de l'information entre la partie terminale mobile et le nœud du réseau cœur qui fait l'interface avec les réseaux externes.
- ✎ *La strate de non accès* : Cette strate représente l'ensemble des protocoles qui permet l'échange d'information entre l'équipement usager et le réseau cœur indépendamment du réseau d'accès radio utilisé.

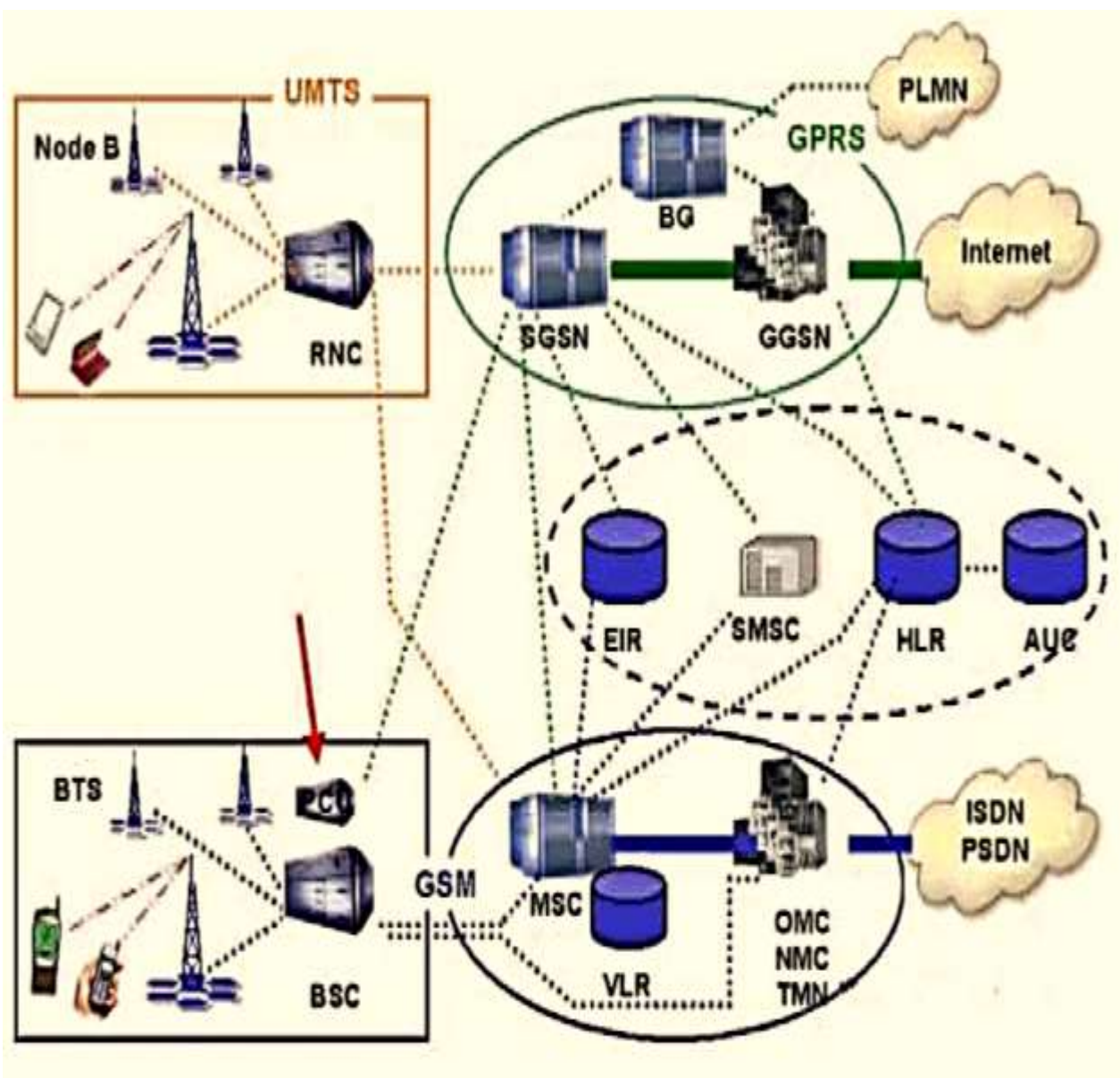


Figure 48. Architecture de l'UMTS

CHAPITRE XI. LES DIFFERENTS MODES DE COMMUNICATION AVEC UN TELEPHONE MOBILE

Le téléphone mobile propose différents modes de communication, parmi lesquels on trouve : le vocal ; le SMS (*transmission de texte*) ; le MMS (*textes agrémentés de photos couleurs, d'animations, de son ou, depuis peu, de vidéo*) ; l'Internet mobile : le Wap et le i-mode ; Les mobiles de 3^{ème} génération permettent également d'utiliser la visiophonie, mais le coût actuel de cette technologie ainsi que sa trop faible diffusion auprès des publics qui nous concernent nous amènent à ne pas en tenir compte dans cette étude.

De même, les SMS et MMS Plus, c'est-à-dire les SMS et MMS surtaxés permettant de rémunérer le service d'un tiers, sur un principe similaire à celui du minitel, ont été écartés. Chacun de ces modes de communication possède des caractéristiques spécifiques qui les orientent vers des utilisations particulières.

XI.1. LE MODE VOCAL

Les acteurs sociaux utilisent déjà le téléphone mobile pour communiquer avec des publics qui possèdent de plus en plus cet outil. Cependant l'immédiateté généralement attendue, principal intérêt de l'outil, n'est pas toujours possible. Quand le formateur ou le conseiller appelle sur un téléphone mobile, c'est souvent la boîte de messagerie qu'il arrive à joindre. Il peut soit réitérer son appel soit laisser un message.

Les entretiens réalisés montrent que dans plus de la moitié des cas, il n'est pas recontacté. Une des raisons, avancée par des jeunes en situation d'insertion, est qu'ils n'ont pas envie d'être appelés par leur référent sur leur propre téléphone mobile. Au-delà de l'aspect personnel de leur téléphone que certains veulent limiter à un usage privé, il n'a pas été possible d'en savoir plus. La nature même de l'information à transmettre peut limiter l'intérêt du mode uniquement vocal : un formateur désirant communiquer une information de type offre d'emploi à un bénéficiaire appelle celui-ci qui se trouve dans la rue, décroche mais n'a pas rien pour noter la référence.

Dans ce cas, une deuxième communication téléphonique sera nécessaire pour transmettre l'information voulue : elle engendre un coût supplémentaire et une perte de temps. Le formateur peut difficilement maîtriser la durée et donc le coût d'une communication vocale. Par exemple, si le mode répondeur du téléphone appelé est activé, l'écoute du message d'accueil est parfois très longue. Enfin le vocal est dépendant du forfait : un bénéficiaire dont le forfait est consommé ne peut pas consulter les messages reçus sur son répondeur. Ces différents inconvénients rencontrés lors d'une communication téléphonique classique montrent que si l'objectif est de développer et de faciliter les moyens de communication entre les structures d'insertion et les bénéficiaires, le choix du mode vocal, qui reste très utile pour de nombreuses situations, ne semble pas être suffisant.

XI.2. LE MODE SMS (Short Message Service)

Un SMS est une suite de caractères transmis d'un téléphone vers un ou plusieurs autres téléphones. La longueur d'un SMS est limitée à 160 caractères, ponctuation et espaces compris, bien que maintenant certains Opérateurs permettent parfois de dépasser cette limite moyennant un surcoût. Les premiers SMS datent de 1992, depuis un ordinateur vers un téléphone mobile. A partir de 1995 les terminaux peuvent envoyer des SMS au sein d'un même réseau et depuis 1999, l'envoi de SMS n'est plus limité aux abonnés d'un même opérateur.

Le SMS semble correspondre à des besoins de communication rapide. C'est un service accessible depuis tous les téléphones mobiles et qui connaît un très fort développement notamment chez les jeunes qui n'hésitent pas à y consacrer des sommes d'argent non négligeables. Le SMS est devenu un mode de communication très répandu, et nous le voyons particulièrement chez les jeunes qui restent en contact avec leur groupe par SMS. La fonction de maintien d'un lien social quasi-permanent semble évidente. Les SMS sont consultés en permanence et de façon quasi-réflexe. Pour Francis Jauréguiberry, sociologue au CNRS, le SMS « *permet de concilier l'immédiat et l'asynchrone, d'interpeller son correspondant tout en respectant son autonomie* ». C'est sans doute ici que se trouve l'intérêt majeur du SMS.

Les principaux avantages du SMS sont les suivants : Le service est quasi-instantané : chaque envoi est acheminé immédiatement aux destinataires sélectionnés, La réception et la lecture des SMS est gratuite au Congo, ils n'induisent donc aucune charge financière pour le récepteur, et peuvent être consultés malgré un forfait épuisé, La communication, non intrusive, ne dérange pas le récepteur, Un accusé de réception peut attester de la lecture du message par le destinataire, ainsi que de l'heure à laquelle il a été consulté, Il est possible de gérer l'envoi de SMS par ordinateur Pour l'administration d'envois importants, des fonctionnalités très utiles sont offertes par certains sites web, telles que de gestion de listes de diffusion, l'envoi différé, etc.

Pour transmettre un message bref, le SMS est le moyen de communication le moins cher, si on le compare au prix d'un ou à celui d'une communication courte sur un mobile. L'utilisation des SMS n'est cependant pas dépourvue d'inconvénients : La frappe d'un texte sur un téléphone mobile n'est pas très ergonomique pour les personnes utilisant peu ce mode de communication. Un peu d'entraînement semble nécessaire, surtout chez les plus âgés et malgré les efforts des constructeurs pour proposer des interfaces conviviales et intuitives par rapport au format réduit du terminal, A l'inverse d'un courrier papier ou d'un message courriel, la longueur du message SMS est limitée à 160 caractères. En rapport à la taille du message, la tarification SMS est à l'heure actuelle la plus élevée de tous les modes de transports de données, La limitation du nombre de caractères et les difficultés de saisie ont conduit les jeunes à simplifier les règles orthographiques pour développer une écriture SMS.

XI.3. Le MMS (MultiMedia Messaging Service)

Le MMS, qui fait son apparition sur le marché en 2002, offre la possibilité d'envoyer des messages intégrant photos couleurs, images, sons et texte, voire vidéo pour les téléphones les plus récents, vers un téléphone mobile ou une adresse courriel. Pour l'usager, l'utilisation de cette technologie est semblable à celle du SMS, dont elle accroît les possibilités d'expression.

Il existe trois grandes catégories de MMS : Le MMS Texte permet uniquement l'envoi de texte mais, à la différence du SMS limité à seulement 160 caractères, ce dernier accepte jusqu'à 5 Ko de données, soit 32 fois plus qu'un SMS¹¹². Il est possible d'envoyer un MMS directement sur une adresse courriel. Il est plus économique que le SMS si l'on a à envoyer un texte relativement long. Il est possible d'envoyer un MMS à partir d'Internet, bien que cette technologie ne semble pas encore suffisamment développée pour permettre une gestion simple d'envois importants. Mais aussi Pour envoyer ou recevoir un MMS, le téléphone mobile doit être compatible avec ce service.

En cas de non compatibilité il est possible d'être averti de la réception d'un MMS. Le destinataire recevra un SMS d'alerte et pourra consulter son MMS sur le site Web de son opérateur téléphonique, mais ces opérations ont peu de chance d'aboutir si les bénéficiaires sont peu motivés. Parfois limité à seulement 5 destinataires différents. Le tarif est actuellement élevé pour les MMS image et vidéo.

XI.4. LE MODE DE L'INTERNET MOBILE

C'est la possibilité d'accéder à des ressources interactives, de type Web, à partir de terminaux mobiles, tels que les téléphones portables. Ce procédé se décline actuellement à travers deux technologies distinctes. La technologie *Wap* (*Wireless Application Protocol* ou *protocole d'application sans fil*) utilise le langage WML, sorte de HTML allégé, adapté à des écrans de faible résolution et à un débit réduit.

Ces restrictions empêchent une véritable navigation sur le Web à partir d'un téléphone mobile, car les sites voulant être visités à partir d'un téléphone mobile doivent être convertis en WML. C'est pourquoi les opérateurs de téléphonie mobile ne proposent encore l'accès qu'à un nombre restreint de sites Web. La technologie *i-mode* : s'apparente au *Wap*, à la différence près qu'il permet l'accès à des sites Web en HTML.

¹¹² <http://www.webjs.net/main/sms.php> et http://www.sfr.fr/FR/utiliser/services/texto_mms

Le i-mode marche très bien au Japon et ailleurs mais n'est pas encore développé au Congo: il faudra du temps pour que les abonnés investissent dans d'autres téléphones portables uniquement pour être compatible avec cette technologie¹¹³.

Le principal avantage du *Wap* est son interactivité, permettant de concevoir de vrais sites fortement structurés, intégrant photos, vidéos basse qualité et éléments sonores. Il offre ainsi la possibilité de créer des rubriques, mettre des informations en ligne, consultables à l'initiative de l'utilisateur, à partir de son téléphone mobile. L'inconvénient principal du *Wap* est le coût important à la charge de l'utilisateur, frein important pour des bénéficiaires en réinsertion ou en formation. L'impossibilité d'envoyer des messages sollicitant directement le bénéficiaire peut également poser problème, en particulier si l'on a à faire à un public faiblement motivé, car la prise de contact se fait ici toujours à l'initiative de l'utilisateur.

XI.5. ANTENNES RELAIS DE TELEPHONIE MOBILE

Il est important de distinguer la problématique des antennes-relais, de celle de l'usage des téléphones mobiles. Bien que s'inscrivant toutes les deux dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques, les niveaux d'exposition sont très différents. Par ailleurs, il est également utile de rappeler que nous sommes entourés d'ondes électromagnétiques de différentes fréquences (*lignes électriques, écrans TV, radiodiffusion, téléphones et internet, radars...*), principalement des ondes radio FM ; les ondes liées à la téléphonie GSM ne représentent qu'une faible part de l'ensemble des sources électromagnétiques. A des puissances importantes, les radiofréquences provoquent un échauffement de la peau, pouvant conduire à des brûlures.

¹¹³ <http://www.sfr.fr/FR/outils/faq/texto/mms/> et <http://www.orange.fr/0/visiteur/PV>

Des interactions avec les stimulateurs cardiaques ont également été observées. Certaines études ont noté des effets, dont les mécanismes sont encore inconnus. Il est important de retenir que l'observation d'effets biologiques n'implique pas forcément la présence d'effets sanitaires; ainsi, la peau rougit avec le froid, sans que cela altère la santé. Du fait de leur propagation en "effet parapluie", les ondes électromagnétiques émises par les antennes affectent peu les bâtiments proches et leur puissance, forte au niveau de l'antenne, décroît rapidement avec la distance. Malgré ces réalités, le public s'inquiète de l'existence éventuelle de risques.

Alertés par des riverains ayant observé divers troubles (*cas de mononucléose, de cancers*) à proximité de stations de base, les pouvoirs publics ont mené des études épidémiologiques ciblées : elles n'ont pas prouvé que ces pathologies étaient liées à la présence d'antennes, mais étaient le fruit du hasard. Ce discours est d'autant moins compréhensible par le public, qu'il est impossible de démontrer avec une certitude absolue que ces installations ne sont pas responsables de ces troubles. De nombreuses études épidémiologiques ont été menées à proximité d'antennes de radiodiffusion, dont la puissance rayonnée est supérieure à celle des stations de base de téléphonie mobile : leurs résultats sont non conclusifs, voire négatifs, concernant le risque « *cancer* ».

Les experts (*OMS¹¹⁴, conseil de l'Union Européenne, ministère de la santé britannique, OPCS¹¹⁵, AFSSET¹¹⁶*) s'accordent à dire, avec quelques nuances, que les antennes-relais ne présentent pas de risques sanitaires ; toutefois, des recommandations techniques de limite d'exposition et d'implantation sont formulées (*zone de sécurité de 2 à 3 m, règles techniques d'installation à moins de 100m...*) Les études épidémiologiques sont également très nombreuses sur le sujet, mais ne permettent pas de conclure sur le risque de cancers liés à l'utilisation de ces téléphones.

¹¹⁴ OMS : organisation mondiale de la santé

¹¹⁵ OPCS : office parlementaire des choix scientifiques

¹¹⁶ AFSSET : agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Une importante étude (*INTERPHONE*), pilotée par le CIRC¹¹⁷ a été lancée en 2000 dans 13 pays¹¹⁸. Elle a pour but d'étudier s'il existe une relation entre l'usage du téléphone mobile et les tumeurs de la tête ; elle porte sur des modèles de téléphones anciens et couvre une période de plus de 10 ans. Les premiers résultats sont parus très récemment : « *la possibilité d'une augmentation du risque de tumeur du cerveau est suggérée pour les gros consommateurs* ». Toutefois, bien que ces résultats soient observés dans plusieurs pays participants, ils doivent être nuancés (*manque de recul, biais de mémorisation,...*). Par ailleurs, d'autres études ont clairement mis en évidence que l'utilisation du téléphone mobile en conduisant (*avec ou sans kit main libre*) augmenterait considérablement le risque d'accident de la route.

Enfin, chez des personnes prédisposées, l'usage du téléphone mobile occasionnerait des maux de tête. Afin d'éviter les confusions fréquentes dans l'opinion publique, M. ROUFAST (*Elu de Muret*) insiste sur la nécessité de sensibiliser la population et les enfants en particulier, sur les risques qui sont liés à l'usage du téléphone et non aux antennes-relais. Il regrette que les opérateurs ne communiquent pas clairement sur ce sujet. M. RAYNAL rappelle que la Direction Générale de la Santé (*DGS*) a récemment émis des recommandations pour limiter l'usage des portables par les enfants. Il soulève la difficulté de changer les habitudes individuelles, contrairement à la facilité de contestation des choix externes à la sphère privée.

M. FRENDON (*ADEQVAAR*) interpelle les participants sur la prise en compte du principe de précaution. Ne reprenant que les conclusions de son intervention, M. SAUTHIER estime que le réel enjeu sanitaire se situe plus sur les téléphones portables que sur les antennes-relais, bien qu'on ne soit pas en mesure de conclure à l'absence totale de risque. Le principe de précaution est pris en compte par les diverses instances : la DGS a édité un guide de recommandations sur l'usage du portable par les enfants ; les opérateurs optimisent les puissances émises par les stations-relais, les fabricants diminuent les niveaux de champs électromagnétiques des téléphones portables.

¹¹⁷ Centre international de recherche sur le cancer

¹¹⁸ Etude *INTERPHONE* : France, Royaume-Uni, Allemagne, Italie, Danemark, Suède, Norvège, Finlande, Canada, Japon, Nouvelle-Zélande, Australie, Israël

Confrontés aux inquiétudes voire à l'opposition de riverains relatives à l'implantation d'antennes-relais, de nombreux élus sont tentés d'interdire ces installations sur leur territoire. M. FONTAN (*APPA*) mentionne que le principe de précaution doit désormais inscrit dans les différentes constitutions des pays. M. RAYNAL estime qu'il n'appartient pas aux citoyens d'invoquer le principe de précaution dans le cas de la problématique sur les antennes-relais. La difficulté est de trouver un équilibre entre l'acceptation du risque et le blocage total.

On sait que la voiture (*pollution, et accident*) ou le sucre (*diabète*) présentent des risques totalement avérés ; pourtant l'application du principe de précaution n'a jamais été demandée. Comme on l'a vu précédemment, l'utilisation du portable présenterait un risque ; pour autant, faut-il interdire les antennes-relais ? Certains pays nordiques ont imposé des distances très importantes d'implantation des antennes par rapport aux bâtiments sensibles ; puis considérant que l'exposition du public au champ électromagnétique était d'autant plus importante que la distance à l'antenne est grande, ils sont revenus sur ces décisions.

M. HAUGUEL (*Elu de Cornebarrieu*) s'interroge sur la nouvelle technologie Wifi et s'inquiète de la multiplication du nombre d'antennes Wifi. M. LANGOLFF (*direction de l'informatique et des télécommunications du Conseil Général*) ajoute qu'afin de couvrir les « zones blanches » du domaine des télécommunications dans chaque pays devrait prendre en charge le développement de réseaux Wifi et Wimax ; cela concernerait communes rurales, non desservies par les opérateurs privés. Il indique que les puissances électromagnétiques émises par les antennes-relais de ces technologies sont de l'ordre de 1000 fois inférieures à celles reçues lors de l'utilisation du téléphone portable.

M. FABRE (*ANFR*) précise que le Wifi est une technologie de réseau informatique sans fil, que chacun peut utiliser chez soi ; le Wimax est également une technologie de connexion à haut-débit par voie hertzienne. Ces nouvelles technologies Wifi-Wimax sont complémentaires des technologies existantes UMTS et répondent à un même besoin ; par conséquent, le nombre d'antennes ne devrait pas sensiblement augmenter. Avec pragmatisme, M. RAYNAL rappelle que pour baisser la puissance des antennes et ainsi limiter les doses d'exposition, il faut multiplier leur nombre. Or, l'implantation de nouvelles antennes n'est pas acceptée par la population. Ce qui est contradictoire.

M. FONTAN (*APPA*) précise que les ondes électromagnétiques se caractérisent par plusieurs paramètres : la fréquence, la dose d'exposition et la propagation des ondes, qu'il convient de considérer pour juger de leurs effets sur la santé. Les effets des faibles doses des champs électromagnétiques sont particulièrement difficiles à appréhender, tout comme pour les expositions radioactives ou à la pollution atmosphérique.

M. CASSAN (*Elu de Caraman*) se demande si les effets cumulatifs des ondes électromagnétiques sont observés, de la même manière que pour les ondes ionisantes. M. SAUTHIER répond que le niveau de connaissances est différent : il y a présomption d'effets sanitaires pour les radiations, alors qu'aucune étude sérieuse ne montre des effets cumulatifs pour les ondes électromagnétiques. M. CASSAN (*Elu de Caraman*) propose de communiquer sur les sources de champs électromagnétiques dans les logements (*TV, micro-ondes, ordinateur, téléphone...*) et de mettre ainsi en évidence la faible implication des niveaux émis par les antennes-relais par rapport à ces sources domestiques.

**TROISIEME PARTIE : MODELISATION
DU SYSTEME ET IMPACT DES ONDES
ELECTROMAGNETIQUE SUR LA
SANTÉ HUMAINE**

CHAPITRE XII. CADRE SYSTEMATIQUE DE LA RECHERCHE

Le travail à réaliser dans cette tranche est d'arborer la démarche adoptée afin de rétorquer aux nécessités d'information. Cela consistera à exposer tout en préambule le cadre de l'étude, ultérieurement de décrire les dispositions d'enquête, et finalement déterminer le spécimen, ce qui permettra de discuter sur les aboutissements obtenus et arriver à la vérification de l'hypothèse envisagée de notre étude.

Faisons revenir à l'esprit que nous nous sommes passionné à la zone de télécommunication, réseaux informatiques et de la Santé publique qui sont en fait, des zones les plus fatales de l'économie du pays. Il convient donc de rappeler que le but de cette étude est de mieux comprendre les usages des téléphones mobiles ressources et, de prévenir le danger que comportent ces nouvelles technologies sur l'évolution de la vie humaine. Dans notre contexte, il s'agira de mettre l'accent sur une relation claire, structurée et cohérente entre les objectifs de notre recherche et les questions d'investigation. Pour mieux cerner notre problématique, et atteindre nos objectifs par la vérification sur le terrain de l'hypothèse envisagée. En cela, nous avons jugé nécessaire d'élaborer un questionnaire et un guide d'entretien sous une approche mixte. Rappelons qu'entre les deux indispensables approches, il existe une troisième option, une voie du milieu, qui combine les méthodes de collecte et d'analyse de données propres aux approches quantitative et qualitative¹¹⁹.

Les différentes méthodes utilisées sont alors arrimées aux objectifs de la recherche de manière à approfondir notre entendement et notre éclaircissement des phénomènes observés. Pour notre cas, l'approche qualitative par observation, et par entretien nous a permis de récolter énormément d'informations du point de vue non quantifiables; alors que l'approche quantitative nous a donné l'occasion de recueillir des informations mesurables en vue de cerner singulièrement les dangers micro-ondes utilisées par les téléphones portables et les antennes relais sans fil dans les pays en voie de développement, précisément en République Démocratique du Congo.

¹¹⁹ P. Mongneau, *Réaliser son mémoire ou sa thèse*, Presses de l'université du Québec, 2008, p.33

XII.1. DEFINITION DES CONCEPTS CLES

Définir les termes qui seront utilisés dans un travail scientifique, n'est pas une tâche fortuite. Pourtant elle s'impose si l'on veut éviter toute confusion et surtout si l'on veut bien parler le même langage que nos lecteurs. C'est ainsi que nous tâcherons de donner un sens aux quelques concepts clés relatif à notre étude :

XII.1.1. USAGE

Par définition, le mot usage peut être considéré sous différents angles à savoir : Le fait de se servir de quelque chose ; Coutume et mœurs ; Façon dont doit être utilisée une chose.

XII.1.2. TELEPHONE PORTABLE

Un téléphone mobile, également nommé téléphone portable (*ou simplement mobile et portable*), téléphone cellulaire (*en Amérique du Nord*), natel (*en Suisse*), GSM ou familièrement G (*en Belgique*), permet de communiquer par téléphone sans être relié par câble à une centrale. Les sons sont transmis par des ondes électromagnétiques dans un réseau spécifique. On peut donc communiquer de tout lieu où une antenne de relais capte les émissions de l'appareil utilisé. Le fait qu'il n'y ait que quatre opérateurs sur le marché congolais (*Orange, Tigo, Vodacom et Airtel*), implique que le coût de la téléphonie mobile au Congo est particulièrement élevé en comparaison des tarifs pratiqués dans les pays voisins.

Le téléphone portable, dans leur mode de fonctionnement sont régis des normes¹²⁰ (*les normes informatiques sont des règles et des procédures de fonctionnement des appareils informatiques dans un pays quelconque*) et celles, les plus connues :

- ✎ *Advanced Mobile Phone System (AMPS)* : Norme analogique de première génération déployée aux États-Unis à partir de 1976.

¹²⁰ Cette norme est particulièrement utilisée en Europe, en Afrique, au Moyen-Orient et en Asie.

- ✘ *CDMA 2000* : Évolution de troisième génération (3G) du CDMA (*incompatible avec l'UMTS*) principalement destiné à être déployé en Amérique du Nord.
- ✘ *Code Division Multiple Access (CDMA)* : Norme de seconde génération dérivée de la norme ANSI-41, mais dont les brevets appartiennent à la société étatsunienne Qualcomm.
- ✘ *Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE)* : Norme dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé pour un utilisateur stationnaire.
- ✘ *General Packet Radio Service (GPRS)* : Norme dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé. On le qualifie souvent de 2,5G.
- ✘ *Global System for Mobile Communications (GSM)* : Norme numérique de seconde génération (2G) mise au point par l'ETSI sur la gamme de fréquence des 900 MHz. Une variante appelée Digital Communication System (DCS) utilise la gamme des 1 800 MHz.
- ✘ *Radiocom 2000* : Norme analogique de première génération (1G) déployée en France par France Télécom.
- ✘ *Universal mobile telecommunications system (UMTS) ou Wide band Code Division Multiple Access (WCDMA)* : Évolution de troisième génération du CDMA (*incompatible avec le CDMA-2000*), soutenu par l'Europe et le Japon.
- ✘ *i-mode* : Protocole permettant de connecter des téléphones portables à Internet. Le langage utilisé pour les sites est une version modifiée de HTML appelée C-HTML.
- ✘ *Multimedia Messaging Services (MMS)* : Service de messagerie multimédia pour téléphones portables.
- ✘ *Personal Ring Back Tone (PRBT)* : Service qui permet aux abonnés d'un opérateur de remplacer leur sonnerie d'attente habituelle par des musiques
- ✘ *Short Message Service (SMS)*: Service de messagerie pour téléphones portables, permettant l'envoi de messages écrits de 160 caractères maximum. Ce canal peut également être utilisé pour transférer des données (*carte de visite, données applicatives pour la carte SIM, sonneries, logos...*)

- ✎ *Wireless application protocol (WAP)* : Protocole permettant de connecter des téléphones mobiles à Internet. Toutefois, le langage utilisé pour les sites destinés au WAP utilise un langage de balisage spécifique, le WML.

<i>GENERATION</i>	<i>ACRONYME</i>	<i>INTITULE</i>
1G	RADIOCOM 2000 BIBOP	Radiocom 2000 France Telecom
2G	GSM	Global System for Mobile Communication
2.5G	GPRS	General Packet Radio Service
2.75G	EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution
3G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
3.5G	HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
4G	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Tableau 10. Les différentes générations des téléphones portables¹²¹

Sa fonction d'usage est la communication vocale mais le téléphone mobile permet d'envoyer des messages succincts, désignés SMS. Avec l'évolution de l'électronique, le texte a pu être agrémenté d'images, puis de photographies, de sons et de vidéos. Des équipements embarqués associés à des services à distances permettent aussi de : *Lire et rédiger des emails ; Naviguer sur Internet ; Jouer ; Photographier et enregistrer des vidéos ; Écouter de la musique ; Regarder la télévision, Assister à la navigation et etc.*

LA SECURITE

Un code allant de quatre à huit chiffres le protège de l'utilisation frauduleuse, c'est le NIP (plus connu sous l'appellation française code PIN). L'appareil est identifié sur le réseau grâce à un numéro unique, ce numéro IMEI pour International Mobile Equipment Identity est à donner à votre opérateur dans le cas de perte ou de vol de votre téléphone, cela lui permettra de bloquer l'utilisation de ce dernier au niveau national et international. Malheureusement, en général, les opérateurs ne peuvent bloquer que son utilisation sur le réseau national, faute de pouvoir le faire à l'échelle internationale.

¹²¹ Source : Wikipédia

LES ÉVOLUTIONS FUTURES

- ✎ Localisation automatique (*ou géolocalisation*) : comme la couverture des antennes de relais est réduite et que celles-ci se recoupent (*il y en a environ 30 000 au Congo*), il est facile, par triangulation, de localiser assez précisément la position du téléphone mobile. Les opérateurs vont mettre cela à profit pour offrir des services de guidage automatique pour piétons ou des informations locales. En France, ce service est disponible pour les mobiles équipés d'i-mode d'un certain opérateur depuis novembre 2003.
- ✎ Augmentation de l'aptitude des GSM à transmettre des données numériques. Maintenant qu'on est passé à la norme GPRS, pour aller encore plus loin, il faudra installer un nouveau réseau radio. On passerait alors à la norme UMTS (*dite de 3e génération*). Cela donnerait un débit de l'ordre de 384 Kbits/s (*pouvant aller théoriquement jusqu'à 1,9 Mbits/s*) alors que le GPRS ne permet qu'un débit théorique de 110 Kbits/s (*en pratique 30/40 Kbits/s*) et le mode GSM de base 9,6 Kbits/s.
- ✎ Le téléphone mobile semble réussir là où ont échoué des technologies antérieures : devenir un couteau suisse numérique. Comme ce dernier, le téléphone mobile tient dans la poche, est relativement simple à utiliser et recouvre une multitude de fonctions liés au nomadisme : de simple téléphone à l'origine, il permet désormais d'envoyer des messages textuels (SMS, MMS, courriel), il sert de montre/chronomètre/minuteur, de télécommande (s'il est équipé de Bluetooth) et il remplace de plus en plus les PDA (*c'est alors un smartphone*) ou même l'appareil-photo (*c'est alors un photophone*). Des modèles faisant office de caméscopes numériques ou de puissantes consoles de jeu 3D portable sont également disponibles depuis 2006.
- ✎ Le téléphone mobile est également amené à évoluer vers les systèmes de paiement : porte-monnaie électronique. Par exemple, au Japon, l'opérateur de téléphonie mobile japonais « *NTT DoCoMo* » et l'établissement de crédit JCB déploient en 2005 un téléphone mobile équipé du système de paiement « *QuicPay* » qui communique par radio, sans contact, avec le terminal du commerçant (*opération pilote en 2005 avec les taxis de Yokohama près de Tokyo*). Actuellement Sagem, le Crédit Mutuel et NRJ mobile intègre la technologie NFC pour permettre également le paiement sans contact.

- ✎ Distribution et vente de contenu sous forme numérique, comme la musique, en France les principaux opérateurs disposent d'une offre dans ce domaine. Les MVNO, NRJ Mobile et M6 Mobile en font même leur principal produit d'appel. Il s'agit en fait d'un système de radio personnalisée, qui après inscription et définition des goûts n'envoie que les morceaux qui sont le plus susceptible de plaire à l'utilisateur. Le gros avantage de cette innovation serait la possibilité de découvrir de nouveaux groupes/artistes. Cette technologie fonctionnerait sur le même principe que les « *PodCasts* », avec des morceaux téléchargés précédemment et que l'on peut écouter à son gré.
- ✎ Il semble que la voie tracée par la plupart des producteurs, mais aussi ce que demande le public soit une convergence des technologies et des concepts vers un seul appareil multimédia. Ainsi, les téléphones mobiles se sont vu ajouter, ces dernières années, des fonctions agenda, lecteur multimédia, appareil photo numérique et autres chronomètre ou dictaphone... À l'avenir sans doute connaîtrons nous aussi une compatibilité totale entre tous les appareils nous entourant, nous facilitant ainsi leur utilisation et nous permettant de nous focaliser sur leur apport bénéfique dans notre vie quotidienne plutôt que sur des préoccupations techniques de compatibilité.

RISQUES ELECTROMAGNETIQUES

Si, concernant l'usage du téléphone lui-même, les risques sont aujourd'hui considérés comme mineurs pour une utilisation normale par un adulte, il est à noter que les manuels d'utilisation des téléphones avertissent tout de même d'un danger possible, et affirment qu'il vaut mieux éviter de coller son oreille sur la partie du téléphone où est présente l'antenne intégrée. Les opérateurs de téléphonie mobile, quant à eux, assurent prendre en compte ce risque lors de l'installation des relais, bien que certains événements aient alerté l'opinion publique. Afin d'avertir les consommateurs et de limiter les rayonnements des téléphones mobiles, les constructeurs doivent afficher le rayonnement émis par leurs produits sous la forme d'un indice DAS (*Débit d'absorption spécifique*).

Depuis le décret français du 8 octobre 2003, cet indice doit être inférieur à 2 W/kg (*moyenne sur 10g*), alors qu'aux États-Unis, cet indice est limité à 1,6 W/kg (*moyenne sur 1g*). L'état des connaissances concernant les risques potentiels pour les enfants, notamment pour le cerveau, en plein développement, est mal évalué car les simulations ont lieu sur des modèles adultes. Le principe de précaution pousse à limiter l'utilisation des portables par les enfants. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) coordonne l'étude internationale « *Interphone* » qui vise à préciser les liens éventuels entre utilisation des portables et le cancer. Mais les opérateurs mobiles apportent le tiers des financements à cette recherche, ce qui fait craindre à certains des conflits d'intérêts, alors même que l'argent est versé dans un pot commun puis géré et redistribué par le CIRC.

À l'heure actuelle, les fréquentes évolutions technologiques des téléphones portables ne permettent pas d'avoir une connaissance fiable du risque. En effet, il faut plusieurs années pour mener une étude épidémiologique ayant assez de puissance pour s'attaquer aux faibles doses de rayonnement émis par les portables. Ainsi, les études dont nous disposons aujourd'hui ne concernent que les premières générations de portables. Mais depuis, la 3G se développe et les fréquences évoluent. Selon une étude suédoise conduite par « *Kjell Mild* », les utilisateurs intensifs de téléphone mobile auraient un risque d'être atteints d'une tumeur maligne au cerveau du côté où ils utilisent leur téléphone 2,9 fois plus élevé, de nombreuses études concluent à un très faible risque voir à l'absence de risque.

Plusieurs associations et scientifiques assurent que les systèmes de téléphonie portable posent des problèmes pour la santé de certains groupes d'individus (*femmes enceintes ou jeunes enfants, par exemple*). A Prague en 2004 le congrès de l'OMS concluait que la notion d'hypersensibilité aux champs électromagnétiques ne reposait pas sur des fondements scientifiques, il s'est trouvé que les causes de ces maux seraient plutôt liés à l'environnement, par ailleurs la peur liée à l'installation de nouvelles antennes relais pourraient provoquer des pathologies d'ordre psychosomatiques. Ainsi, le tribunal d'instance de Strasbourg devait entendre en septembre 2006 une habitante affirmant être atteinte d'électro hypersensibilité, une invalidité reconnue en 2004 par l'OMS et la Suède, mais pas par la France ni la Belgique.

La plaignante entend invoquer au procès une jurisprudence de juin 2003 selon laquelle le tribunal de grande instance (TGI) de Grasse (*Alpes- Maritimes*) avait estimé que " l'identification d'effets potentiellement négatifs découlant d'un phénomène, d'un produit ou d'un procédé, ainsi que l'incertitude dans l'estimation de leur risque, doit conduire à l'application du principe de précaution ". La maire de la Roquette-sur-Siagne (*Alpes- Maritimes*), avait assigné SFR pour avoir édifié à proximité d'une école un pylône de 12 mètres destiné à l'installation de deux antennes de téléphonie mobile. Les usagers de l'école présentaient des migraines, des troubles du sommeil et une fatigue accrue.

RISQUE COMPORTEMENTAL

Le fait de téléphoner mobilise une partie de l'attention. Le fait que le téléphone portable puisse être utilisé n'importe où induit une surcharge mentale qui détourne de la tâche en cours. Son utilisation, « *mains libres ou pas* » est source d'accidents (accident du travail, accident domestique, accident de la route). En outre, l'utilisation des téléphones mobiles est interdite dans les hôpitaux, les avions de ligne et les stations-service pour des raisons de sécurité et par mesure de précaution.

Le risque n'est pas uniquement lié au fait qu'une main est occupée par l'appareil, problème facilement réglé par les systèmes d'écouteur et microphone déportés (*kits « main-libre » ou « piéton »*), mais par le manque d'attention. Une étude de l'administration pour la sécurité sur les autoroutes, la NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), a relevé qu'aux États-Unis en 2005, à un instant donné, environ 6 % des conducteurs utilisaient un téléphone tenu en main en conduisant (soit 974 000 véhicules à un moment donné), et que 0,7 % des conducteurs téléphonaient avec un écouteur-microphone déporté, et que 0,2 % des conducteurs étaient en train de composer un numéro.

LE PHENOMENE DE SOCIETE MODERNE

L'utilisation du téléphone mobile a connu une augmentation brutale dans les années 1990, jusqu'à saturation du marché peu après 2000. D'abord réservé à une élite sociale pour une utilisation professionnelle, il s'est répandu jusqu'à devenir le moyen de communication privilégié d'un grand nombre de personnes. Le formidable succès commercial et la concurrence acharnée qui en résulte font émerger des phénomènes de mode : apparition de téléphones à coques multiples interchangeables, incorporation de la photographie numérique ou de la lecture multimédia ... Des études sociologiques en Angleterre ont montré que le téléphone mobile avait supplanté la cigarette en tant que symbole du passage à l'âge adulte pour les jeunes adolescents.

LA JOURNEE MONDIALE SANS TELEPHONE PORTABLE

En 2001, l'idée d'une Journée mondiale sans téléphone portable a été lancée par l'écrivain français Phil Marso. C'est en référence au célèbre refrain de Nino Ferrer « *Gaston y'a le téléphone qui son, y'a jamais person qui y Répond* » que la date du 6 février a été retenue : c'est en effet à cette date que Saint Gaston est fêté dans le calendrier français. L'organisateur de cette initiative se défend de partir en croisade contre le téléphone portable et pour cause : il est aussi l'auteur, entre autres, de divers ouvrages qui y sont consacrés, et notamment de romans entièrement écrits en langage SMS.

Il s'agit donc d'une démarche qu'il qualifie de « *citoyenne* », et à l'occasion de laquelle il entend bien créer un débat de réflexion autour des bouleversements que cet outil de communication a occasionnés dans la société depuis son avènement. En 2005, *Phil Marso* rebaptise son rendez-vous par Journées Mondiales « *moins de blabla au téléphone portable* » plus de SMS dans les lieux publics. La journée se déploie sur trois jours : 4-5-6 février 2005 afin de fédérer les associations et les médias. En 2007, les dates sont le 6 - 7 - 8 février 2007.

LES ACCESSOIRES POUR TELEPHONE PORTABLE

Aujourd'hui les téléphones portables ne se conçoivent plus sans accessoires : housses, coques interchangeable, cordons décoratifs, etc. L'une des tendances est celle des accessoires sans fil, comme les oreillettes ou les kits mains-libres de voiture. Le téléchargement de « logos » et de sonneries par le biais de numéros ou SMS surtaxés représente également un marché lucratif.

LE RECYCLAGE, DECHETS ET AVENIR

Un téléphone mobile contient des éléments nuisibles à l'environnement. En Europe, les téléphones mobiles font l'objet d'une collecte sélective, et ne doivent pas être jetés à la poubelle (*ceci est rappelé par un sigle sur la batterie par exemple*). Le cadre légal est défini par la directive européenne 2002/96/CE relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques. Il impose aux fabricants et vendeurs de téléphones portables d'organiser leur collecte.

Les déchets électroniques dans leur ensemble sont ceux dont le volume croît le plus rapidement. Ils nécessitent une filière de collecte et de recyclage spécialisée. De plus, un téléphone portable contient des métaux lourds, notamment sa batterie, qui ne sont pas traités dans les filières classiques puisque très toxiques pour la nature. En effet, beaucoup de téléphones mobiles restent chez leur consommateur alors qu'ils sont hors service comme souvenir, cela est très nuisible pour la nature. Lors de la vente d'un téléphone mobile, un distributeur est désormais tenu de reprendre gratuitement le téléphone mobile usagé remis par le client. Il existe aussi des centres de collecte, mais ils manquent actuellement de publicité. Les trouver relève du jeu de pistes. Une partie des téléphones mobiles est également remise en service pour les pays les plus pauvres (*tiers-monde*) sous l'égide d'organisations humanitaires ou de développement.

XII.1.3. ONDES ELECTROMAGNETIQUES

C'est Un flux d'énergie qui ne transporte pas de matière. Elle est émise lors de la variation simultanée du champ électrique et du champ magnétique. Le spectre électromagnétique est constitué d'une multitude d'ondes dont les différents éléments sont caractérisés par leur longueur d'ondes, leur fréquence et leur quantité d'énergie. Certaines de ces caractéristiques font que des ondes sont potentiellement délétères pour la santé. Une onde électromagnétique est, telle la lumière, une vibration pouvant se déplacer.

Elle est composée de deux champs, un champ électrique et un champ magnétique. Tous deux se déplacent sous forme d'onde à la vitesse de la lumière, soit 300 000km/s, et sont perpendiculaires l'un à l'autre. Le champ électrique s'exprime en Volts par mètres, le champ magnétique en Ampères par mètres. Les ondes électromagnétiques agissent sur deux plans différents : l'espace et le temps mais toujours sous forme sinusoïdale. Dans l'espace, la grandeur fondamentale est la longueur d'onde λ . Elle s'exprime en mètres et correspond à la distance entre deux motifs, ici deux « vagues », comme indiqué sur la figure 47 ci-dessous :

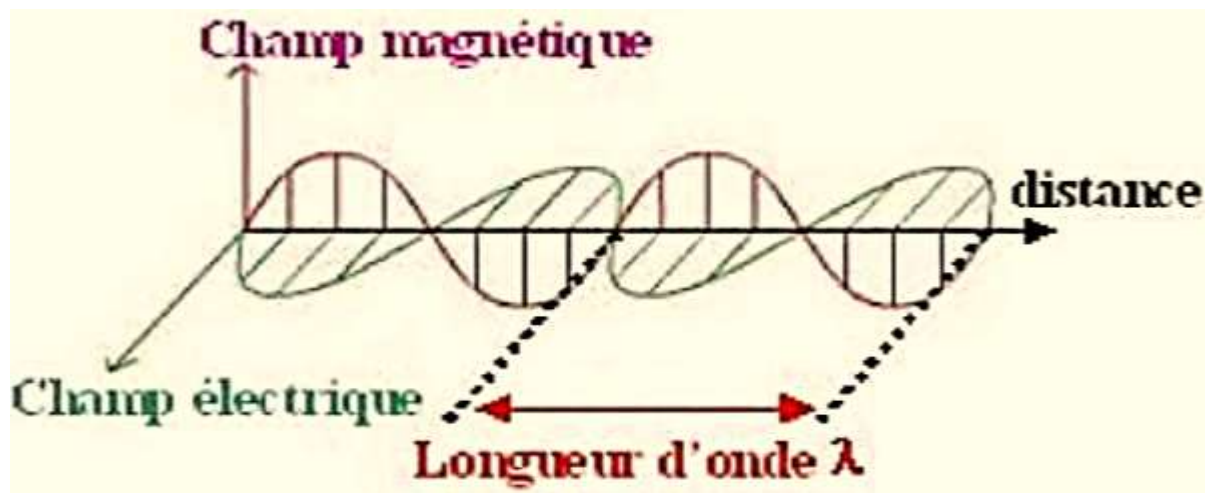


Figure 49. Onde électromagnétique

Dans le temps, deux grandeurs proportionnelles interviennent: La période et la fréquence, l'une étant égale à l'inverse de l'autre. La période T s'exprime en secondes, la fréquence f en Hertz. Cette dernière correspond au nombre d'oscillations en une seconde. (*Voir la figure 48 ci-dessous*)

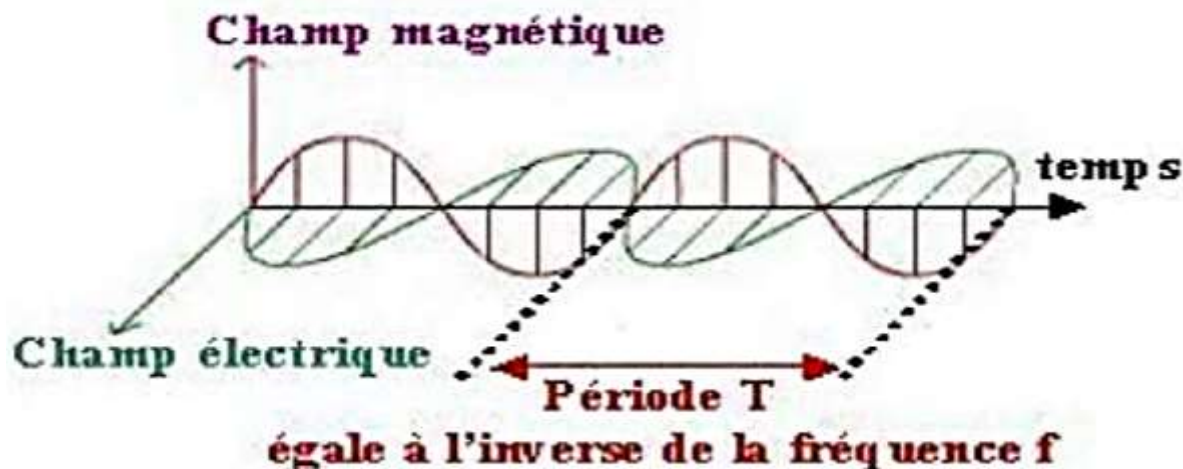


Figure 50. Grandeur d'une onde électromagnétique

Les ondes qui nous intéressent dans le cadre du téléphone portable sont les ondes radioélectriques. On classe les ondes radioélectriques en fonction de leur fréquence. D'après le règlement des radiocommunications, les ondes radioélectriques ont des fréquences comprises entre 9KHz et 3000GHz, ce qui correspond à des longueurs d'ondes comprises entre 33 kms et 0,1mm. A l'intérieur de cette classe, les téléphones portables émettent dans la bande des UHF, les Ultra Hautes Fréquences qui sont comprises entre 300MHz et 3GHz (*longueurs d'ondes de 10 cm à 1m*). Voir spectre radioélectrique (figure 49, ci-contre).

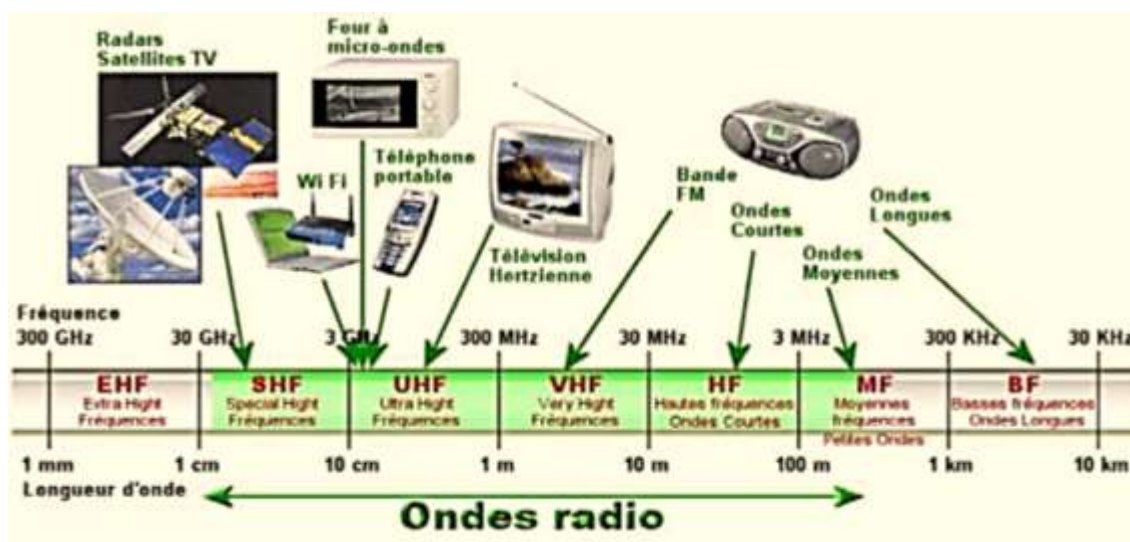


Figure 51. Spectre radioélectrique¹²²

¹²² Source : www.espace-svt.ac-rennes.fr/applic/images_sat/ondes/ondes.htm

Invisibles et imperceptibles, elles peuvent pénétrer la matière vivante et provoquer des chocs thermiques, des lésions cellulaires et des altérations de l'ADN. Les plus dangereuses sont celles qui sont au début du spectre électromagnétique, celles dont les longueurs d'ondes sont les plus courtes. En effet, plus la longueur d'onde est courte plus la fréquence est élevée et plus le rayonnement est énergétique. Ces rayonnements peuvent être ionisants ou radioactifs et avoir des conséquences sanitaires et environnementales très dommageables. Ainsi, il est établi que les rayons gamma, les rayons X et les ultraviolets induisent des effets cellulaires nuisibles et génotoxiques explicatifs de leur pouvoir cancérigène. Seulement, l'imagerie médicale et la médecine nucléaire (*Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), scintigraphie, radiographie, tomodynamométrie...*) utilisent ces rayonnements à des doses infra-toxiques. De plus, la surexposition des patients à des doses même minimales est proscrite pour éviter les effets cumulatifs des radiations.

En revanche, la radiothérapie exploite ces propriétés génotoxiques à des fins curatives avec un contrôle très sécurisé sur les zones irradiées, les doses et les temps d'exposition. En pratique, la puissance surfacique correspond à l'énergie transportée par l'onde et reçue par une surface de 1 mètre carré. Elle s'exprime en Watts par mètre carré. Elle dépend bien sûr des deux champs, mais aussi de la permittivité du milieu exposé, appelée Epsilon et notée ϵ . La permittivité est une propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné à un champ électrique appliqué. La formule simple de la puissance surfacique dans le cas d'une onde plane est $P = E^2 / 2\mu_0 c$; où E est le champ électrique, μ_0 la perméabilité du vide et c la célérité de la lumière.

On connaît la formule $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, qui donne $c^2 = 1/\mu_0 \epsilon_0$ soit $\mu_0 = 1/\epsilon_0 c^2$. En remplaçant dans la formule de base, on obtient $P = E^2 / 2c \cdot 1/\epsilon_0 c^2$, soit $P = E^2 \cdot c \cdot \epsilon_0 / 2$. Ceci est la formule dans le vide, pour l'avoir sur un milieu donné il faut remplacer ϵ_0 par ϵ , sachant que $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$. Bien sûr, cette formule est un peu simpliste mais fonctionne pour de courtes distances dans le cas du téléphone portable, et peut permettre de donner un bon aperçu de l'énergie absorbée. Les ondes et les champs électromagnétiques sont et ont toujours été présents autour de nous ; en effet, nous vivons dans un environnement électromagnétique naturel : le soleil et même notre organisme émettent un rayonnement sous forme de radiations infrarouges.

Or, depuis la démocratisation des téléphones portables dans les années 2000, on remarque que la quantité de radiation artificielle a été multipliée par 19 entre 2000 et 2011. Il est donc urgent de prendre conscience de ce phénomène grandissant et de prendre à notre niveau quelques précautions de base ; En attendant de connaître ces effets sur la santé, les pouvoirs publics Européens ont imposé une valeur maximale pour les émissions de radiofréquences en téléphonie mobile : le DAS ou Indice de Débit d’Absorption Spécifique (*ou en anglais SAR, Specific Absorption Rate*).

Dans le domaine des radiofréquences, la restriction est définie par le taux d’absorption massique qui représente la puissance absorbée par unité de masse. Le DAS, exprimé en watts/kg, est le rapport entre la puissance totale absorbée par l’individu exposé à un rayonnement et sa masse. Il correspond ainsi au niveau maximal de radiofréquences émises par l’appareil vers l’utilisateur.

Par conséquent, tout téléphone portable commercialisé en occident possède cet indice strictement inférieur à 2W/Kg au niveau du tronc et de la tête mais qu’en est-il de la République Démocratique du Congo? Même malgré cela, Retenons que cette mesure reste une mesure réglementaire mais n’est pas une garantie sanitaire et reste discutable pour certains, ne prenant en compte que l’effet thermique des ondes électromagnétiques et non l’effet biologique : des effets biologiques sont ainsi observés même en dessous des seuils de puissance imposés par les normes de sécurité européennes. Ce n’est qu’une norme, parmi plusieurs, nécessaire pour garantir une sécurité pour les usagers en terme de santé.

LES EFFETS BIOLOGIQUES DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Une onde de radiofréquence (*ou micro-onde, microwave en anglais*) qui entre en contact avec du tissu vivant est susceptible de créer deux types d’effets :

- ✎ *Effets thermiques* : ils sont engendrés par l’exposition à des champs de forte intensité. Ils se traduisent par une augmentation de la température du corps ou du tissu exposé et peuvent entraîner, chez l’animal, des modifications du système nerveux ou du système de reproduction ;

☞ *Effets non thermiques ou spécifiques* : d'autres effets ont été décrits qui ne paraît pas être dus à un dégagement de chaleur. Certains effets biologiques (*ce qui n'est pas synonyme d'effet délétère*) ont été rapportés pour de faibles densités de puissance ($< 1 \text{ mW/cm}^2$) et avec un DAS faible ($< 1 \text{ W/Kg}$). Les normes existantes sont basées sur les effets thermiques et ne concernent pas les effets non thermiques (ou de basse intensité) dont les effets biologiques et les effets nocifs sur la santé en cas d'exposition chronique ont été clairement démontrés⁶ sur : (Les effets biologiques peuvent à la fois inclure les effets nocifs pour la santé et la perte de l'homéostasie et du bien-être)¹²³ :

☞ l'ADN (*génotoxicité affectant directement l'intégrité du génome humain*) ;

☞ la communication intercellulaire ;

☞ la réparation cellulaire et la cicatrisation des tissus ;

☞ la survenue de cancers

☞ ou de maladies neuro-dégénératives

☞ Ont également été observés : des effets neurologiques, notamment sur la structure et les troubles du sommeil, la mémoire et les fonctions cognitives; la dépression ; des pathologies cardiaques ; la perméabilité pathologique de la barrière hémato-encéphalique ; les perturbations du fonctionnement normal des mécanismes d'immunité, de fertilité et de reproduction ; des troubles du comportement (*problèmes émotionnels, difficultés relationnelles, hyperactivité*) chez les enfants exposés aux téléphones portables in utéro (*augmentation du risque de 80 %*)¹²⁴.

¹²³ Rapport Bioinitiative : BioInitiative Working Group, 31 août 2007 ; www.bioinitiative.org: Arguments pour des seuils de protections du public fondés sur les effets biologiques des rayonnements électromagnétiques (EBF et MO).

¹²⁴ Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children: H Divan et al, mai 2008.

XII.1.4. ANTENNES RELAIS

Une station relais ou antenne relais ou encore une station de base est un émetteur-récepteur des signaux radioélectriques pour les communications mobiles qui convertit des signaux électriques en ondes électromagnétiques et réciproquement. Le terme « *antenne relais* » désigne fréquemment les antennes de la téléphonie mobile car elles constituent la base des réseaux cellulaires et sont très nettement le type d'antenne-relais le plus répandu.

XII.1.5. SANTE HUMAINE

Demandez aux Congolais comment ils restent en bonne santé et vous obtiendrez des réponses nombreuses et variées. Certains d'entre eux citeront la chance ou les antécédents familiaux, mais la plupart mentionneront leur mode de vie : le fait qu'ils fument ou non, la quantité de nourriture et d'alcool qu'ils consomment ainsi que leur niveau d'activité physique, et peut-être même leur capacité à gérer leur stress. Il ne fait aucun doute que le mode de vie personnel affecte la santé de manière tout à fait directe. Cependant, le concept de santé est en règle générale considéré comme étant bien plus complexe. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) offre une définition de la santé simple : « *La santé est un état de bien-être physique, mental et social complet et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* ».

Le « bien-être social » est un aspect important de cette définition, qui peut quelquefois nous échapper lorsque nous pensons à notre santé. Il existe dans la vie de nombreux facteurs généraux qui influencent notre santé. Ces facteurs sont : *le niveau de revenu et le statut social; les réseaux de soutien social; la scolarité et l'alphabétisme; l'emploi et les conditions de travail; les environnements sociaux; les environnements physiques; l'hygiène de vie et la capacité d'adaptation personnelles; le développement sain des enfants; le patrimoine biologique et génétique; les services de santé; le sexe; et la culture.*

Ces facteurs sont connus sous le nom de déterminants de la santé. C'est la complémentarité et la modification de ces déterminants qui font de la santé d'une personne une combinaison complexe de facteurs. Les expériences en matière de santé varient considérablement d'une personne à l'autre tout au long de la vie. Face à une situation difficile, comme un problème de travail, des problèmes relationnels ou la perte d'un être cher, une bonne santé nous fournit la capacité d'adaptation physique et émotionnelle

nécessaire pour affronter des circonstances pénibles, rétablir notre équilibre et mener une vie pleine et riche. Tout individu, selon la définition de la santé produite par l'O.M.S., doit pouvoir accéder à « *un état complet de bien-être physique, mental et social* » et la santé ne consiste « *pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* ». La santé est un état (*alors que la maladie est une réaction*).

Selon la NATUROPATHIE, la santé est plus qu'un patrimoine, mais un équilibre dynamique exprimant la libre circulation de la vie sur tous les plans de l'être (*physique, énergétique, psychique, social et environnemental*) et un état d'harmonie se traduisant par une réelle sensation de bien-être tant physiologique que psychologique. Cet état suppose un « *capital santé* » correctement géré qui permette d'optimiser les capacités d'homéostasie, de défense et d'auto-régénération permanente de l'organisme.

La conception naturopathique énonce 5 lois qui unissent la santé et la vie : La santé est la condition normale et naturelle de tous les êtres vivants, car cette capacité est inhérente à la vie. La nature tend spontanément vers une harmonie et refuse tout déséquilibre. La propriété fondamentale de la vie est l'auto-préservation : toute perturbation fonctionnelle tend naturellement à retourner vers son état d'origine en usant d'un procédé vital d'auto-défense, dénommé maladie (*ou pathologie*), laquelle est un processus de purification de l'organisme tout entier et une tentative de retour spontané à la santé.

C'est la même énergie vitale qui préside à la pérennité du passé (phénomène de l'hérédité), à l'affirmation du présent (*croissance, autodéfense, auto-guérison et apoptose*), et à la survie dans l'avenir (*processus d'adaptation*). Etre en bonne santé, c'est obéir aux lois de la Nature et de la Vie, enfreindre ces lois, c'est devenir malade ; guérir, c'est éliminer les causes de la maladie¹²⁵.

¹²⁵ On peut lire notamment dans le Rapport du Conseil Economique et Social, Organisation mondiale de la santé, dès 1986 : « *La santé est donc perçue comme une ressource de la vie quotidienne, et non comme le but de la vie. Il s'agit d'un concept positif mettant en valeur les ressources sociales et individuelles, ainsi que les capacités physiques. Ainsi donc, la promotion de la santé ne relève pas seulement du secteur sanitaire : elle dépasse les modes de vie sains pour viser le bien-être* ».

XII.2. PRESENTATION DES AGENCES DE TELECOMMUNICATIONS CONGOLAISES

Dans cette section, nous allons présenter sommairement les entreprises de la télécommunication; il s'agit de : *Airtel, Vodacom, Orange et Tigo*.

XII.2.1. L'AGENCE « AIRTEL »¹²⁶

D'abord Celtel ensuite Zain puis Airtel, est l'une des filiales du groupe MSI/CI (Mobil System International-cellular investments) créée en 1998 par Dr Ibrahim, directeur technique de l'opérateur britannique de téléphone mobile BT cellnet), cette société est une panafricaine dont le siège se situe à Amsterdam (Pays-Bas). Cette entreprise a investi plus de 750 millions de dollars afin d'y exploiter les réseaux de télécommunication mobile. Le lancement officiel de la société en RDC a eu lieu le 04/12/2000 à Kinshasa.

Aujourd'hui, la société Celtel a changé de nom pour devenir Zain international puis Airtel. Airtel Congo est une SARL enregistrée au registre de commerce sous le numéro RNC 47889 Kinshasa, avec une identification nationale 01-70-N353842. Son siège social est situé à Kinshasa, immeuble inna-invert au croisement des avenues Bas-Congo et Tchad, en face de l'Hôtel Memling, dans la commune de la Gombe.

Airtel s'est fixé comme objectif de Contribuer à l'effort du développement tant social qu'économique de notre pays ; Couvrir tous les coins de la République Démocratique du Congo en assurant les liaisons téléphoniques fiables et de qualité. Airtel Congo est une société de droit congolais. Elle opère grâce à son adhésion au Mou (*Memorandum Of Under standing*), et pour lui permettre d'ouvrir son réseau, il lui faut obtenir une licence et signer des accords. La société dans sa dimension, présente une structure de plusieurs directions parmi lesquelles nous citons :

¹²⁶ Tiré de <http://www.airtel.com/technologie>. Consulté le 16 avril 2015

- ✎ *Le Marketing* : la direction marketing a comme activité principale l'observation du marché ainsi que la diffusion et la promotion des produits et services de la société.
- ✎ *Les ressources humaines* : cette direction fournit à l'ensemble des directions, le personnel dont elles ont besoin tant en qualité qu'en quantité, tant au moment du recrutement qu'à celui de la formation.
- ✎ *Finances* : la direction des finances a pour rôle de fournir des fonds nécessaires pour permettre la production, approvisionner l'entreprise en produit et services et assurer la rémunération de tous les agents et facteurs de production. Elle est aussi chargée de gérer les liquidités et le patrimoine de l'entreprise.
- ✎ *Le Commercial* : la direction commerciale ou direction des ventes a la charge de la distribution. Cela veut dire qu'elle s'assure que les produits de l'entreprise sont disponibles partout où sont implantées les agences. Elle a pour mission première la préparation et l'exécution des travaux de construction et d'installation des infrastructures de télécommunication pour l'extension aux zones déjà couvertes. Elle travaille en étroite collaboration avec la direction technique et la direction commerciale.

XII.2.2. L'AGENCE « VODACOM¹²⁷ »

Dans le souci de moderniser, de développer et de vulgariser la téléphonie mobile en République Démocratique du Congo, le groupe Vodacom International Holding avait lancé en date du 1er mai 2002 les ondes radio électroniques servant de support des communications mobiles cellulaires en République Démocratique du Congo. Ce groupe s'intéressera au Congo, car selon l'expertise menée sur la totalité de son étendue territoriale nationale, ce dernier ne disposait que de cent mille téléphones pour plus de soixante millions d'habitants, soit 1 téléphone pour 1300 habitants.

¹²⁷ Tiré de <http://www.vodacom.com>. Consulté le 16 avril 2015

C'était le début de toute une révolution technologique en République Démocratique du Congo, ainsi appelée VODACOM CONGO. Cette société s'est donné la mission de devenir un grand réseau au cœur de l'Afrique. Société par actions à responsabilité limitée, Vodacom Congo est une filiale de Vodacom Group, une société sud-africaine. La libération des télécommunications a facilité l'utilisation des téléphones.

Cette libéralisation a aussi facilité davantage les nouvelles technologies utilisant la carte GSM introduites en République Démocratique du Congo par la société Cellnet. Vodacom Congo s'est assigné comme objectif de ramener la République Démocratique du Congo dans le peloton de tête des Etats africains, voire de dépasser le seuil fixé par l'Union Internationale des Télécommunication (UIT), organisme spécialisé des Nations Unies en matière des télécommunications, qui avait recommandé à tous les pays du monde d'atteindre la télé-densité d'un téléphone pour cent habitants. Nul n'est censé douter que pendant plusieurs années, le téléphone mobile fut un objet de luxe réservé à une certaine classe sociale dans la mesure où l'acquisition d'un appareil cellulaire nécessitait plusieurs conditions à remplir, surtout sur le plan financier.

A ce jour, la concurrence menée par Vodacom Congo tend à rendre possible les objectifs assignés par l'UIT qui soutient qu'il faudrait une moyenne d'un téléphone pour 100 habitants. Le lancement officiel de Vodacom Congo est intervenu le 1er mai 2002, avec un effectif de 62 personnes, mais compte actuellement plus de 750 employés parmi lesquels on trouve les expatriés, les permanents locaux, les temporaires, les contractants ainsi que plusieurs intermédiaires commerciaux.

Le siège social de Vodacom Congo se situe sur 3157 Boulevard du 30 juin, Building Gulf Oil, dans la commune de Gombe à Kinshasa. Notons que cette entreprise a délocalisé certains services et départements compte tenue de l'augmentation de ces agents ainsi que de la collaboration avec de certains partenaires privés. Vodacom Congo est une société constituée des directions, lesquelles sont constituées des divisions, nous citons : *Direction générale ; Direction des ventes ; Direction du marketing ; Direction juridique ; Direction des ressources humaines ; Direction de la facturation, informatique, technologie et service clientèle ; Direction des finances ; Direction technique ; Direction du corporatif ; Direction de bonne gouvernance ; Direction de la nouvelle technologie et support commercial ; Direction des cabines publiques.*

XII.2.3. L'AGENCE « ORANGE¹²⁸ »

L'avènement d'une nouvelle donnée politique depuis 1997 en République Démocratique du Congo coïncida avec une nouvelle ère dans le domaine des télécommunications. En effet, c'est lors de la visite du Président Laurent Désiré KABILA en Chine en décembre 1997 que naquit l'idée de la création d'une société d'économie mixte dans le domaine de télécommunication.

En décembre 2000, un protocole d'accord fut signé entre la RD Congo et première entreprise publique chinoise de télécommunication créant ainsi l'entreprise baptisée « Congo-Chine Télécom ». C'est de cette société Congo- Chine Télécom située en plein centre commercial de la ville de Kinshasa, commune de la Gombe sur l'avenue du Port n°8 que naquit la société Orange.

Orange RDC, filiale à 100% du groupe France Télécom Orange, lance ses offres et services 3G le 5 décembre 2012 en République Démocratique du Congo. L'ambition d'Orange en RDC est d'être l'opérateur préféré des congolais en leur apportant les services et les offres dont ils ont besoin et envie, en leur permettant d'aller plus loin et de communiquer mieux en toute simplicité. A sa création, sa promesse est de proposer au grand public, aux jeunes et aux professionnels une offre pour chacun, une offre qui ressemble au niveau de vie congolaise. Orange se dit plus près des congolais pour :

- ✎ démocratiser l'accès au mobile, avec des offres simples et proches, et à l'internet mobile 3G grâce à la connectivité internationale;
- ✎ favoriser et augmenter les usages de l'internet haut débit;
- ✎ dynamiser le secteur des technologies de l'information et de la communication;
- ✎ offrir la meilleure qualité de réseau grâce à ses infrastructures réseaux modernes et évolutives;
- ✎ proposer une expérience client différente grâce à un réseau de distribution renforcée;

¹²⁸ Tiré de <http://www.orange.fr>. Consulté le 16 avril 2015

- ✎ accompagner le développement de nouveaux usages via sa gamme d'offres et de services, adaptée pour chacun (*voix, SMS, internet mobile haut débit 3G*).

Orange et l'internet mobile haut débit pour tous :

- ✎ *plus de liberté* : un accès facilité et fiable;
- ✎ *plus de sensations* : un partage d'images, de musique;
- ✎ *plus d'efficacité* : une qualité aux standards de la France.

La structure d'Orange comprend une Direction générale, un comité de gestion et cinq directions, à savoir : *La Direction administrative; La Direction financière; La Direction commerciale; La Direction des ressources humaines; La Direction technique.*

XII.2.4. L'AGENCE « TIGO¹²⁹ »

La société de télécommunication OASIS SPRL est un établissement privé à caractère commerciale dont le plein fonctionnement est régi par le Ministère des Postes et Télécommunications(*PTT*) par l'entremise de l'ARPTC (*Autorité de Régulations des Postes et Télécommunications Congolais*).

L'entreprise tient ses débuts en 2000 avec la dénomination de SAIT télécom avec les équipements Siemens et Harris, puis fut acheté par la société égyptienne ORASCOM en 2005 et prend le nom de commercial de OASIS. En fin en 2006, la société fut rachetée par le groupe MILLICOM International Cellular qui effectue son élargissement à travers le territoire national sous le nom commercial de TIGO (*OASIS MILLICOM*) et utilise les équipements de marque chinoise Huawei et japonaise Née Pasolini.

Tigo totalise, à ce jour, 14 ans d'expérience dans la téléphonie et est présent dans dix-sept pays dans le monde. En Afrique elle est implantée dans huit pays, avec sa politique de proximité. Nous avons : Le Sénégal, le Tchad, la Sierra Leone, le Ghana, la Tanzanie, l'Ile Maurice, le Rwanda et La République Démocratique du Congo.

¹²⁹ Tiré de <http://www.tigo.cd>. Consulté le 16 Avril 2015

Oasis sprl, une Compagnie Millicom a son siège national à Kinshasa, capital de la RDC à l'adresse ci-après : 372, avenue Colonel Mondjiba Commune de Ngaliema. Précisément dans l'enceinte du complexe Utex- Africa, B.P. 8149 Kinshasa/Gombe, République démocratique du Congo. A l'est du pays le Quartier Général se situe en diagonal avec le rond-point SIGNEURS à Goma. Le numéro au registre de Commerce est 41940 – IDN K30326, Le numéro d'impôt est A0700037Z¹³⁰.

La mission de la société OASIS SPRL est de donner aux consommateurs le goût du téléphone grâce à la qualité du service, de faire accéder les congolais aux technologies de l'information et de la communication tournée vers le monde, de rendre l'usage du téléphone pratique et ludique en lui donnant la dimension d'un out de l'information et de la communication tournée vers le monde, de rendre l'usage du téléphone pratique et ludique en lui donnant la dimension d'un out. La société de télécommunication OASIS SPRL est hiérarchiquement organisé et comprend différents département Ci-dessous l'organigramme de l'organisation au niveau central. (*DRC-Executive Organisation Chart*).

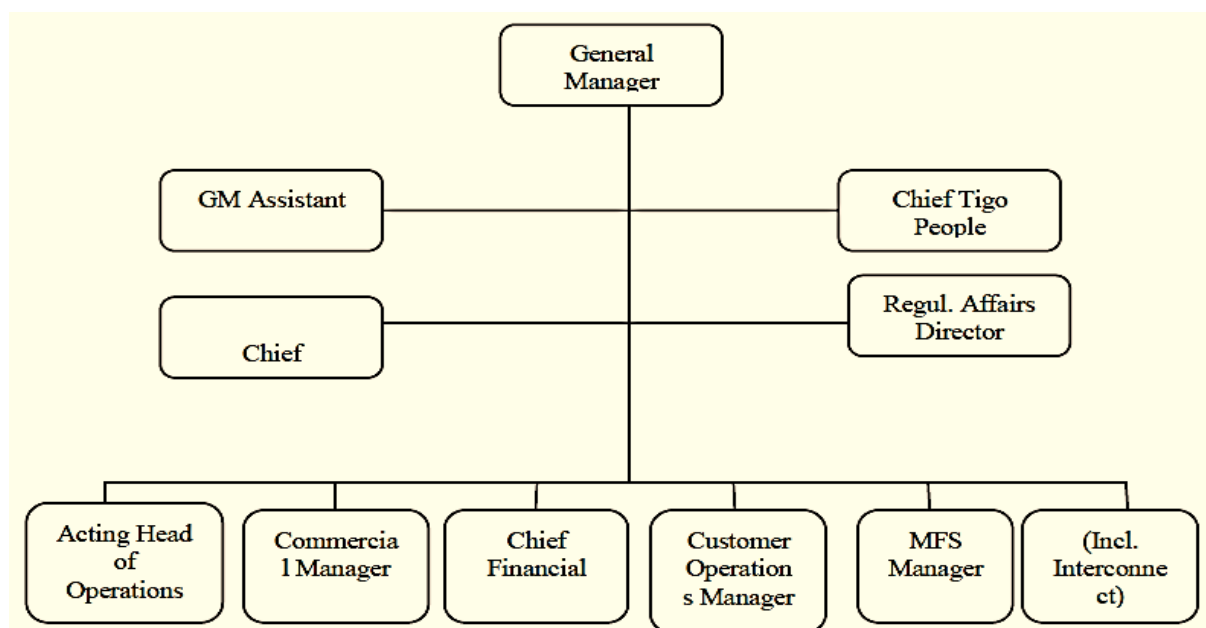


Figure 52. Structure administrative de Tigo Congo

¹³⁰ Toutes les conformations relatif la société OASIS SPRL/ TIGO-RDC figurent sur son site web suivant : www.tigo.cd.

Parmi les partenaires de la société OASIS sprl nous comptons le gouvernement congolais, les organisations de la société civile comme les écoles, les universités, les propriétaires des biens privés etc. Il s'avère important de souligner que ces différentes personnalités externes interviennent pour le bon fonctionnement de la société.

Pour ce qui concerne l'avenir de la société OASIS sprl, elle reste prometteuse, ce ci départ les indicateur qui se font observer sur l'étendue de la République voir même au niveau mondial. Il est envisagé la domination du marché mondial en matière de télécommunication en vue de maximiser les recettes en accroissant les chiffres d'affaire face à la concurrence. Sur le plan social Tigo-RDC compte voir chaque congolais avec un téléphone et lui fournir ses services à un coût abordable en vue de contribuer au développement de la RDC.

Le fait que la société OASIS SPRL vient de s'implanter dans un pays post conflits, ce ci lui coûte d'énormes sacrifice quant à ce qui concerne le pouvoir d'achat de la population, celle-ci n'étant pas à la hauteur de s'approprier tous ce que TIGO/OASIS sprl propose comme produits¹³¹.

¹³¹ Aussi la communication en voirie inter province cause un sérieux problème en République Démocratique du Congo, pour transporter leurs kits d'installations les techniciens de la société OASIS/Tigo-RDC doivent passer trop longtemps en cours route avant pour atteindre leurs destinations.

XII.3. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDES

XII.3.1. PRESENTATION

La République Démocratique du Congo (en kikongo « *Repubilika ya Kongo Demokratiki* », en swahili « *Jamhuri ya Kidemokrasia ya Kongo* », en lingala « *Repubilika ya Kongó Demokratiki* », en tshiluba « *Ditunga dia Kongu wa Mungalaata* ») est un pays d'Afrique centrale et jadis, le troisième plus vaste pays d'Afrique derrière le Soudan et l'Algérie (*Mais depuis l'indépendance du soudan du sud, le 9 juillet 2011, la RDC est désormais devenu le deuxième pays le plus vaste du continent Africain après l'Algérie*). C'est le quatrième pays le plus peuplé d'Afrique (*derrière le Nigeria, l'Éthiopie et l'Égypte*) ainsi que le pays francophone le plus peuplé avec une population estimée à plus de 68 millions d'habitants¹³². Le pays est aussi appelé plus simplement « *Congo* », ou plus souvent « *RDC, Congo-Kinshasa ou RD Congo* » pour le différencier de la république du Congo voisine, elle-même appelée « *Congo-Brazzaville* » pour la même raison. De 1908 à 1960, cette ancienne colonie était appelée Congo belge mais aussi « *Congo-Léopoldville* » jusqu'en 1966, date du changement de nom de la capitale en Kinshasa. Avec la zaïrianisation, le pays s'est appelé « *Zaire* » de 1971 à 1997. Il s'étend de l'océan Atlantique au plateau de l'Est et correspond à la majeure partie du bassin du fleuve Congo. Le Nord du pays est un des plus grands domaines de forêt équatoriale au monde, l'Est du pays borde le grand rift est-africain, domaine des montagnes, des collines, des Grands Lacs mais aussi des volcans. Le Sud et le centre, domaine des savanes arborées, forment un haut plateau riche en minerais. À l'extrême ouest, une quarantaine de kilomètres au nord de l'embouchure du fleuve Congo s'étale une côte sur l'océan Atlantique. Le pays partage ses frontières avec l'enclave de Cabinda (*Angola*) et la république du Congo à l'ouest, *la République centrafricaine* et le *Soudan du Sud* au nord, *l'Ouganda, le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie* à l'est, *la Zambie et l'Angola* au sud¹³³.

La RDC est membre de l'Organisation internationale de la francophonie depuis 1977. Plusieurs centaines d'ethnies forment la population du pays ; le « *français* » est la langue officielle et quatre langues bantoues (*le lingala, le kikongo, le swahili et le tshiluba*) ont le statut de langue nationale. L'économie repose principalement sur le secteur primaire (*agriculture et exploitation minière*). Le pays est instable et, après deux guerres civiles, il voit depuis 2016 la résurgence de plusieurs milices.

¹³² Jules Marchal, *Forced labor in the gold and copper mines: a history of Congo under Belgian rule, 1910-1945*, Per Ankh Publishers, 1999

¹³³ Tom Zoellner, *Uranium: war, energy, and the rock that shaped the world*, New York, Penguin Group, 2009, 4-5 p., « 1 Scalding Fruit »

XII.3.2. GEOGRAPHIE

La république démocratique du Congo s'étend de l'océan Atlantique au plateau de l'Est et correspond à la majeure partie du bassin du fleuve Congo, véritable colonne vertébrale du pays. Grand comme quatre fois la France, quatre-vingt fois la Belgique, une fois et demie plus grand que le Québec (*Canada*)¹³⁴, ou encore grand comme la partie des États-Unis située à l'est du Mississippi, c'est le 11^{ème} État du monde par sa taille avec ses 2 345 409 km². Le fleuve Congo donne au pays son seul accès à l'océan Atlantique dans la ville portuaire de Banana (*dans un étroit corridor sur la rive gauche du fleuve traversant le territoire de l'Angola, qui dispose de la rive gauche, et dont il crée une petite exclave sur la côte atlantique entre le nord du fleuve et la frontière de l'enclave angolaise du Cabinda*). En raison de sa grande superficie, de sa localisation au centre de l'Afrique, de ses énormes richesses naturelles et de son importante population, la république démocratique du Congo est l'un des « géants » de l'Afrique. Elle est traversée par l'équateur et comprend trois climats : le climat équatorial, le climat tropical et le climat de montagne¹³⁵.

XII.3.3. HYDROLOGIE

Par sa longueur de 4 700 km, son débit de 7 500 à 21 000 m³ par seconde, et l'étendue de son bassin de 3 700 000 km², le Congo est le deuxième fleuve du monde après l'Amazone. Il prend sa source à « *Lwalaba* », sur le haut plateau du Katanga, et se jette dans l'Atlantique. Il reçoit ses deux principaux affluents, l'Oubangui, réunion de « *l'Uele* » et du « *Mbomou* », et le Kasai, grossi par le « *Kwango* », avant d'atteindre le « *Malebo Pool* » sur les rives duquel Kinshasa et Brazzaville se font face.

De nombreux autres cours d'eau irriguent l'intégralité du territoire : la *Lubundi*, la *Lufira*, la *Lomam*, la *Mongala*, la *Lulonga*, l'*Ikelemba*, ainsi que le *Sankuru*, la *Lukénié*, le *Kwango*, la *Mai-Ndombe*, la *N'djili*, etc¹³⁶... Les principaux lacs de la république démocratique du Congo sont généralement répartis en trois groupes :

- ✎ Les lacs de plateaux (*Moero*, *Tshangalele* et *Delcommune*) ;
- ✎ Les lacs résiduels (*Tumba*, *Mai-Ndombe*) ;
- ✎ Les lacs de montagnes (*Tanganyika*, *Kivu* et *Albert*).

¹³⁴ A. de Maere d'Aertrycke, A. Schorochoff, P. Vercauteren, A. Vleurinck, *Le Congo au temps des Belges*, Bruxelles, Masoin, 2011, 319 p. (ISBN 9782872020232), p.284-5

¹³⁵ Données sur la population de la République démocratique du Congo sur le site worldbank.org

¹³⁶ *Idem*

XII.3.4. RELIEFS

Le centre de la République Démocratique du Congo est constitué d'une vaste cuvette alluviale couvrant environ un tiers du territoire et dont l'altitude s'étage entre 300 et 500 mètres. Sa végétation se compose de forêts équatoriales et de marais. Le bassin du fleuve Congo comporte un réseau hydrographique dense et de larges plaines inondables. Une pente régulière mène, au nord et à l'est, aux plateaux parsemés des vallées profondes de l'Oubangui, de « l'Uele », de la « Lukénié » et du « Kasai » (1 000 m) et à l'ouest, aux plateaux Batéké et de Lunda (1 200 m). À la frontière orientale, les grands rifts occupés par les lacs Tanganyika, Kivu, Édouard et Albert sont dominés par des môles granitiques (*Rwenzori*, 5 109 mètres) et des formations volcaniques (*chaîne des Virunga*) parmi lesquelles le volcan actif Nyiragongo (3 470 mètres). Au sud-est s'étendent de hauts plateaux parsemés d'inselbergs (*plateau du Katanga*), des massifs aux sommets aplanis (*monts Mitumba*) et des fossés d'effondrement (*lac Upemba*). À l'ouest, une étroite bande sablonneuse et parfois marécageuse offre un accès à l'Atlantique¹³⁷.

XII.3.5. ENVIRONNEMENT

La deuxième guerre du Congo a fait des combats et des expulsions, qui ont eu des conséquences sur la nature. Une grande partie du pays est constituée de forêt tropicale. Des zones de conservation comprennent 11 % de l'aire du pays (2014). Cependant, l'extraction de cuivre, de cobalt et de diamants menace la forêt. La forêt humide est menacée par des projets d'hydroélectricité. La RD du Congo possède une importante diversité floristique et faunique. On y trouve de nombreuses espèces de mammifères dont des espèces au territoire restreint telles que le Gorille de montagne, le Gorille de plaine, le Bonobo ou chimpanzé nain, l'Okapi, le Rhinocéros blanc du Nord, le Paon congolais¹³⁸.

Le pays compte également de nombreuses espèces d'oiseaux, de batraciens et de reptiles. La faune ichtyologique est représentée par une quarantaine de familles de poissons regroupant environ 1 000 espèces, dont environ 80 % vivent dans le système fluvial et le reste dans les lacs de l'Est¹³⁹.

¹³⁷ A. de Maere d'Aertrycke, A. Schorochoff, P. Vercauteren, A. Vleurinck, *Le Congo au temps des Belges*, Bruxelles, Masoin, 2011, 319 p. (ISBN 9782872020232), p.284-5

¹³⁸ Adam Hochschild, *King Leopold's Ghost: a story of greed, terror, and heroism in colonial Africa*, Boston, Mariner Books, 1999, « 18. Victory? »

¹³⁹ Raymond Leslie Buell, *The native problem in Africa, Volume II*, New York, The Macmillan Company, 1928, 540-544 p

XII.3.6. BREF HISTORIQUE DE LA RDC

XII.3.6.1. PREHISTOIRE

Les plus anciennes traces de peuplement au Congo sont associées à un « *préacheuléen* », découvert sur les sites archéologiques de la Mulundwa au Katanga, de Katanda 2 et de Sanga 5 au Kivu. Les « *galets taillés ou choppers* » ont un âge estimé à plus de 200.000 ans, sans qu'il soit possible d'être plus précis aujourd'hui. Le territoire de la République Démocratique du Congo était anciennement peuplé uniquement par des « *chasseurs-collecteurs* », peut-être en partie ancêtres des peuples pygmées actuels. Entre les traces d'un « *préacheuléen* » et l'arrivée des premiers villageois, le Congo sera toujours occupé par des groupes nomades, chasseurs-collecteurs, tailleurs de pierre, de cultures différentes. L'Acheuléen est attesté par de nombreuses découvertes isolées de bifaces et de hachereaux ainsi que par le site de La Kamoia au Katanga.

Durant le II^{ème} millénaire av. J.-C., le nord de l'Afrique équatoriale vit une vague de migrations de populations productrices de nourriture, « *néolithiques* », parlant pour certaines des « *langues bantoues* ». Entre 3500 et 2000, une première occupation villageoise dont l'épicentre se trouvait au sud-Cameroun, aboutit à l'installation d'un mode de production néolithique dans le nord et l'ouest de l'Afrique centrale. Au Congo, les premières traces de ces populations se matérialisent vers -2600 par la dite « *tradition Imbonga* » près de Mbandaka et du lac Tumba, et par la « *tradition Ngovo* » au bas-Congo à partir de 2300. De l'autre côté du pays, au Kivu, on voit apparaître des villages de la « *tradition Urewé* ». Ces villages ne sont que l'extension occidentale de communautés productrices de nourriture, métallurgistes, installées surtout en Ouganda, au Rwanda, au Burundi, dans l'ouest du Kenya et de la Tanzanie ; les plus anciennes traces y sont datées de 2600.

La métallurgie du fer se développe de manière indépendante à ces installations, les plus anciennes traces se découvrent en Afrique centrale au nord-ouest (*sud-Cameroun et zone de Bouar en Centrafrique*), et au nord-est (*région interlacustre*). Au Congo-Kinshasa, le fer n'est pas connu dans la région occupée par la tradition Imbonga ; ce n'est que plus tard vers 2000 que l'on travaillera ce métal (*sites de Pikunda et de Munda*). Vers la même époque, le Bas-Congo connaît ses premières fontes du fer dans le cadre de la « *tradition Kay Ladio* » qui suit dans le temps « *la tradition Ngovo* ». Au Kivu, dès l'installation des premières communautés villageoises, il est probable que le fer est présent, comme l'attestent les nombreux fours de réduction du fer bien connus au Rwanda et au

Burundi. Plus tard, comme l'indiquent des recherches allemandes sur les affluents du fleuve Congo, ces premières populations vont lentement coloniser le cœur de la forêt équatoriale en suivant les axes des cours d'eau de l'aval vers l'amont ; des travaux espagnols dans « *l'Ituri* » suggèrent qu'il faut attendre 800 pour rencontrer les premiers villages dans certains secteurs de la forêt.

XII.3.6.2. ROYAUMES ET EMPIRES

Vers la fin du Moyen Âge, différentes populations, alors organisées en chefferie, s'édifient en royaumes (*luba, kuba, lunda, kongo, etc.*) qui, pour certains, voient leurs apogées correspondre avec les premiers contacts avec les Européens du XVe siècle. Cette période est marquée par différents royaumes marchands, commerçant avec les esclavagistes sur la côte et entre eux à l'intérieur du continent. Certains royaumes s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres et possèdent des réseaux commerciaux par-delà leurs frontières. Le commerce se fait par portage ou voie fluviale.

Ces populations ne connaissaient pas la propriété privée, la terre cultivée en groupe ne se vend pas, les différents royaumes n'ont pas de frontières exactes (*le territoire d'une petite ethnie comprend à peu près 5 000 km²*). Beaucoup ne connaissent pas la monnaie et font du troc, les membres d'une même chefferie s'entraident gratuitement. La science non écrite se transmet d'une génération à l'autre, les enfants devant assumer le même métier que leurs parents. Les rois ou empereurs n'ont pas de véritable pouvoir. Ce sont plutôt les chefs de villages qui ont de l'autorité. Les royaumes sont plutôt le résultat d'unions temporaires de différents regroupements de villages de même langue pour se défendre contre une ethnie voisine. La traite des noirs sur la côte occidentale, du XVe au XIXe siècle, s'étend jusqu'à l'intérieur du continent et correspond, avec la traite de l'ivoire, à l'essor économique ou au déclin des différents royaumes. Sur la côte occidentale, elle prend fin au milieu du XIXe siècle. Par contre, à cette époque, à l'est du pays, aujourd'hui Ituri et Kivu, les Arabo-Swahili, venus de Zanzibar, ne se contentent pas d'acheter les esclaves aux indigènes, ils fondent des sultanats. À partir de 1870 ces sultans étendent leur emprise jusqu'au bassin du Congo, et y fondent des villes telles Nyangwe ou Kasongo. En 1890, la zone sous influence arabe couvrait plus d'un tiers du territoire du Congo¹⁴⁰.

¹⁴⁰ A. de Maere d'Aertrycke, A. Schorochoff, P. Vercauteren, A. Vleurinck, *Le Congo au temps des Belges*, Bruxelles, Masoin, 2011, 319 p. (ISBN 9782872020232), p.284-5

XII.3.7. COLONISATION

XII.3.7.1. EXPLORATIONS PRECOLONIALES

Les Européens se limitèrent aux régions côtières du pays jusqu'à la moitié du XIXe siècle :

- ✎ 1482 : le Portugais « *Diego Cão* », à la recherche du mythique « Royaume du prêtre Jean », atteint l'embouchure du fleuve Congo.
- ✎ 1579 : le Portugais « *Duarte Lopez* » est le premier occidental à remonter le fleuve Congo.
- ✎ 1874-1877 : exploration du fleuve Congo par « *Henry Morton Stanley* » ;
- ✎ 1876 : fondation de l'Association internationale africaine (*AIA*) par Léopold II de Belgique.
- ✎ 1879 : retour de Stanley au Congo pour fonder une chaîne de stations de l'AIA/AIC

XII.3.7.2. ÉTAT INDEPENDANT DU CONGO (1885–1908)

Les frontières de l'actuelle république démocratique du Congo ont été reconnues à l'issue de la conférence de Berlin qui s'est tenue de novembre 1884 à février 1885. Le 1er août 1885, Léopold II de Belgique accepta la souveraineté sur l'État indépendant du Congo. Le terme « *indépendant* » signifie que toutes les puissances coloniales reçoivent la garantie de pouvoir y accéder librement. La spécificité de ce régime colonial résida dans le fait que dans un premier temps le Congo fut considéré comme une possession personnelle et privée du roi. Géré sous une forme commerciale, le Congo est divisé en deux parties : l'une constituant le domaine de la couronne et l'autre attribuée à des entreprises privées sous forme de concessions¹⁴¹.

¹⁴¹ Saïd Bouamama, *Figures de la révolution africaine, La Découverte, 2014*

Les richesses abondantes (*caoutchouc, ivoire, mines, etc.*) du Congo incitent la couronne et les compagnies concessionnaires à entreprendre l'exploitation brutale de sa population. Celle-ci diminue de moitié entre 1880 et 1926, au point que certains historiens désignent cette période comme un « *holocauste oublié* »¹⁴². En 1894 prend fin la campagne menée par les Belges contre les Sultans arabes trafiquants d'esclaves. En 1904, un rapport du consul britannique à Boma dénonce les corvées excessives imposées aux indigènes pour la production du caoutchouc.

XII.3.7.3. LE CONGO BELGE (1908–1960)

En 1908, le parlement belge, qui avait soutenu par des crédits et par l'envoi de troupes l'entreprise de colonisation du roi des Belges, accepte le transfert du Congo à la Belgique à la suite notamment de certaines critiques de la presse anglo-saxonne concernant la gestion des représentants du roi au Congo. Léopold II, roi des Belges, cède l'EIC à la Belgique, qui administre la colonie sous le nom de Congo belge jusqu'à son indépendance. Une charte coloniale est publiée pour la gestion du Congo mais des scandales dans la presse belge ne tardent pas à éclater.

Durant la Première Guerre mondiale en 1914-1918, la force publique contribue victorieusement à la guerre au Cameroun et dans l'Est Africain allemand par la victoire de Tabora. En 1928, l'épiscopat proteste contre les abus dans le recrutement de la main-d'œuvre autochtone. En 1940, le Congo entre en guerre du côté des Alliés. La force publique remporte les victoires de Saïo et d'Asosa contre les forces italiennes d'Abyssinie. Certains de ses éléments s'en iront combattre en Égypte et Palestine.

Dès les années 1940, dans ce qui était alors le Congo belge, deux tendances indépendantistes importantes se manifestaient dans la capitale Léopoldville : celle des « gens d'en bas » (*Bas-Congo et Bandundu*) parlant le kikongo et celle des « gens d'en haut » parlant le lingala, venant de l'Équateur d'abord et finalement de tout l'intérieur du pays.

¹⁴² Daniel Vangroenweghe, *Du sang sur les lianes*, Éditions Aden, 1986

Dans la première catégorie se forma en 1949 une association d'abord culturelle et finalement politique, l'Alliance des Bakongo (*ABAKO*), dont Joseph Kasa-Vubu devint président en 1954. Son rêve devint de rétablir l'ancien royaume Kongo de l'époque portugaise, en fait celui des Bakongo. Cette tendance se durcit très vite et réclama bientôt l'indépendance immédiate tout en demeurant fédéraliste lorsqu'il s'agit plus tard de discuter le problème du reste du Congo.

Les populations « *d'en haut* », venant de régions plus diversifiées et séduits par le « *plan de 30 ans pour l'émancipation de l'Afrique* » du Professeur belge Van Bilsen, publié en 1956, étaient aussi désireux de maintenir le grand Congo unitaire. Leur manifeste dans ce sens pour la conscience africaine, publié le 1er juillet 1956 sous la direction de Joseph Ileo, fut vigoureusement combattu par l'ABAKO dès son assemblée générale du 23 août 1956. Le plan de 30 ans est déclaré utopique : « *la nationalisation des grandes compagnies vivrières et agricoles comme des parastataux est souhaitable. Puisque l'heure est venue, il faut accorder aujourd'hui même l'indépendance immédiate* »

En 1957 se tiennent les premières élections communales dans trois villes du Congo. La Belgique, qui croyait à la progressivité de la transition vers l'indépendance organisa les premières élections à l'échelon communal, limitées aux grandes villes en 1957. L'ABAKO triompha inévitablement à Léopoldville et cela impressionna certains unitaristes, tel Patrice Lumumba, un Tetela du Kasaï, intelligent et idéaliste, qui ne tarda pas à fonder son propre « mouvement national congolais » MNC-Lumumba, plus revendicatif que celui du MNC-Kalonji, Albert Kalonji étant aussi un Kasaïen unitariste. Ces jeunes rivalités politiques confrontées aux structures tribales compliquées du Congo allaient former un mélange détonant qui détruirait au bout de cinq années la première démocratie parlementaire congolaise. On ne peut que rappeler ici quelques épisodes saillants :

- ✎ Les 4–7 janvier 1959, les ba-Kongo déclenchent des émeutes à Léopoldville pour l'indépendance du Congo-Central, provoquées par l'interdiction tardive d'un meeting de l'ABAKO. Arrestation de Kasa-Vubu le 12 janvier. Il sera libéré le 14 mars.

- ✎ Le 13 janvier, déclaration gouvernementale annonçant l'intention belge de réaliser rapidement l'indépendance du Congo unitaire. L'ABAKO rejette cette déclaration deux jours plus tard.
- ✎ La suite de l'année 1959 voit d'abord l'autorisation des partis congolais, suivie d'élections générales sur l'ensemble du territoire congolais marquées par toutes sortes de manœuvres de ces partis dont se dégagent trois pôles : un Cartel des nationalistes fédéralistes formés de 6 partis séparatistes ou autonomistes dont l'ABAKO et le MNC-Kalonji, le pôle du MNC-Lumumba et finalement celui de l'homme fort du Katanga, Moïse Tshombé, conscient de la force économique de sa région et de l'intérêt de s'entendre avec l'Union minière du Haut Katanga (tout comme Kalonji vis-à-vis des exploitations de diamant au Kasai). Parmi les partis qui émergent on retrouve le PSA (*Parti Solidaire Africain d'Antoine Gizenga*), le PNP (*Parti national du peuple conduit par Albert Delvaux et Laurent Mbariko*) Le LUKA (*L'Union kwangolaise*) par André Petipeti Tamata et Pierre Masikita.
- ✎ Du 20 janvier au 20 février 1960, ce fut la Table Ronde de Bruxelles qui fixe au 30 juin suivant l'indépendance du Congo, et où représentants congolais et belges fixèrent les étapes suivantes :

En mai eurent lieu les élections législatives. La première chambre des députés désigne par tirage au sort « *André Petipeti Tamata* » comme le premier président de chambre des représentants. Il dirige le bureau provisoire pour valider les mandats des députés élus et l'élection définitive du bureau. Les élections législatives et provinciales marquèrent de nouveaux clivages et alliances (*scission de l'ABAKO*) d'où résulta un compromis : Joseph Kasa-Vubu fut élu Président par le Parlement, Lumumba étant Premier ministre.

Au moment de l'indépendance du pays, le roi des Belges se rendit en personne à Léopoldville (*future Kinshasa*) pour assister aux cérémonies consacrant la fin de l'union coloniale entre la Belgique et le Congo, et marquant la naissance sur la scène internationale de ce nouvel État francophone (*langue officielle*) d'Afrique.

XII.3.7.4. REPUBLIQUE DU CONGO (1960–1964)

Le 30 juin 1960 l'indépendance du Congo belge est proclamée en tant que « république du Congo »¹⁴³, Joseph Kasa-Vubu, Président; Lumumba Premier ministre. En même temps, l'ancienne colonie française voisine du Moyen-Congo adoptait également le titre de « *République du Congo* » à son indépendance, le 15 août 1960. Les deux pays se différenciaient en accolant le nom de leur capitale au nom du pays (*Congo-Léopoldville*, *Congo-Brazzaville*)¹⁴⁴. Dans l'armée du nouvel État indépendant, les blancs gardent le pouvoir. La radio accuse alors les anciens colons de complot contre le nouvel État, ce qui provoque la colère des soldats bangalas et balubas qui se mettent à persécuter la communauté blanche. La Belgique menace alors d'intervenir militairement.

Le 11 juillet 1960, les dignitaires du Katanga, sous la direction de Kapenda Tshombé Moïse et à l'instigation de quelques colons belges, proclament l'indépendance de l'État du Katanga, en état de sécession depuis juin. Les autorités du Katanga créent alors leur propre monnaie et leur propre police. L'ONU propose sa médiation à la place des troupes soviétiques ou belges. Le 13 juillet, Lumumba accepte alors la venue des casques bleus... Le 20 août 1960, fait sécession le Sud-Kasaï, qui avait également proclamé son indépendance avant l'indépendance du reste du Congo, le 14 juin 1960. Ainsi, le gouvernement central perd ses deux provinces minières. Les troupes de l'ONU, censées intervenir pour mettre fin à la sécession, n'agissent pas.

Le 2 septembre 1960, le Premier ministre Lumumba appelle alors l'Union soviétique à l'aide. Les 5-14 septembre, lutte entre Joseph Kasa-Vubu et Lumumba. Les soldats balubas et bangalas n'étant pas représentés dans le gouvernement, ils commettent alors un coup d'État, et renversent le Premier ministre. Au sein de l'armée, devenue complètement africaine, le général Mobutu Sese Seko prend les rênes et installe un gouvernement de commissaires. Mobutu est bientôt soutenu par les États-Unis, qui voient d'un mauvais œil le socialisme de Lumumba. Les médias occidentaux montrent en effet Lumumba du doigt et saluent la sécession katangaise comme seul rempart de la liberté individuelle contre l'étatisme.

¹⁴³ *Histoire de la république démocratique du Congo [archive], Congolite.ca.*

¹⁴⁴ ISIDORE NDAYWEL È NZIEM, 1998

Le 17 janvier 1961, Lumumba est assassiné, il avait été déporté au Katanga par Mobutu. En 1962, le gouvernement central s'attèle à reconquérir les provinces sécessionnistes. Une fois Lumumba éliminé, la reprise du Katanga (*devenant alors Province de Shaba*) et du Sud-Kasaï marqueront le début de l'ascension du général Mobutu Sese Seko. Les troupes de l'ONU, au départ immobiles, passeront soudainement à l'offensive avec les troupes de Mobutu pour reconquérir les deux provinces rebelles. (*C'est ce qu'on appelle the UN betrayal.*), En 1963 prend fin de la sécession katangaise; rébellion lumumbiste.

XII.3.7.5. PREMIERE REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO SOUS MOBUTU (1964–1971)

- ✎ 1964 : le titre « *République Démocratique du Congo* », un nouveau drapeau et une nouvelle devise sont adoptés le 1er août 1964 (nouvelle constitution)¹⁴⁵.
- ✎ 1965 : le Congo est pacifié, toutes les révoltes tribales, ethniques ou des partisans de Lumumba sont matées.
- ✎ 24-25 novembre 1965: Mobutu Sese Seko renverse Joseph Kasa-Vubu et s'empare définitivement du pouvoir. La libération de Stanleyville marque le début des années de guerre qui se poursuivirent jusqu'en 1966. Toute cette région vit des atrocités qui firent au moins 500 000 morts civils et militaires. Il faudra l'intervention de troupes étrangères pour mettre fin à ce carnage. Après les décrets de 1966, 1967 et 1969, les mines et les plantations sont nationalisées.
- ✎ 1969 : les évêques dénoncent les penchants dictatoriaux du régime. Mobutu lance un plan économique qui permettra de doubler la production du cuivre.

¹⁴⁵ NDAYWEL È NZIEM, 1998, p. 64

XII.3.7.6. REPUBLIQUE DU ZAÏRE SOUS MOBUTU (1971–1977)

Dans les années qui suivent la prise du pouvoir par le général Joseph-Désiré Mobutu, ce dernier entame à partir de 1972 une campagne d'« *authenticité* » afin de maintenir sa popularité. Le pays est renommé république du Zaïre en 1971 d'après un mot local pour rivière, et portera ce nom jusqu'en 1997. Dès lors il n'y aura plus de confusion avec la « *République congolaise* » voisine dont le nom va aussi être modifié en « *République du Congo* », mais les deux républiques du Congo étaient généralement distinguées par leur capitale : on parlait de Congo-Léopoldville et de Congo-Brazzaville. De même, le fleuve Congo est rebaptisé Zaïre et une nouvelle monnaie, le zaïre, divisé en 100 makuta (*singulier likuta*), remplace le franc.

Les noms des personnes sont africanisés. Le général Mobutu prend le nom de Mobutu Sese Seko et oblige tous ses concitoyens à supprimer les prénoms à connotation occidentale et à rajouter un « *postnom* ». L'abacost est promulgué, interdisant le port de costumes occidentaux, et de nombreuses villes sont rebaptisées :

Nom colonial	Nom actuel	Nom colonial	Nom actuel
Léopoldville	Kinshasa	Leverville	Lusanga
Stanleyville	Kisangani	Baudoinville	Moba
Élisabethville	Lubumbashi	Ponthierville	Ubundu
Jadotville	Likasi	Banzville	Mobayi-Mbongo
Albertville	Kalemie	Cattier (Bas-Congo)	Lufu-Toto
Cocquilhatville	Mbandaka	Élisabetha	Lukutu
Costermansville	Bukavu	Charlesville	Djokupunda
Bakwanga	Mbuji-Mayi	Aketi Port-Chaltin	Aketi
Luluabourg	Kananga	Bomokandi	Bambili
Banningville	Bandundu	Kilomines	Bambumines
Nouvelle Anvers	Makanza	Moerbeke (Bas-Congo)	Kwilu-Ngongo
Port Francqui	Ilebo	Sentery	Lubao
Paulis	Isiro	Vista	Nsia Mfumu
Thysville (Bas-Congo)	Mbanza-Ngungu	Wolter	Luila
Baie-Burton (Sud-Kivu)	Baraka		

Source : archive national de la RDC

À partir de 1974, de nombreux biens des étrangers sont confisqués (*zairianisation*), nombre d'étrangers commencent à quitter le pays. L'économie se met à péricliter avec la hausse du prix du pétrole (*double choc pétrolier*) et la baisse de celui du cuivre. La corruption et la mauvaise gestion entraînent une inflation vertigineuse. La banque centrale de Kinshasa faisant l'objet de ponctions des dirigeants, le FMI impose en 1978 Erwin Blumenthal à la tête de la banque centrale pour endiguer les détournements d'argent mais celui-ci ne peut se maintenir longtemps. Les hauts fonctionnaires zaïrois investissent l'argent détourné sous forme d'avoir dans des pays occidentaux.

XII.3.7.7. AFFAIBLISSEMENT DU REGIME ZAÏROIS (1977–1996)

- ✎ 1977 : Première guerre de Shaba,
- ✎ 1978 : Seconde guerre de Shaba,
- ✎ 1979 : une répression de l'armée zaïroise provoque la mort de plus de 300 creuseurs de diamant indépendants au Kasai, au mois de juillet, protestation des parlementaires, dont le Kasaien Étienne Tshisekedi.
- ✎ 1982 : création d'un parti d'opposition, l'Union pour la démocratie et le progrès social (*UDPS*), par 13 parlementaires qui seront condamnés à 15 ans de prison. Un expert du FMI, Erwin Blumenthal, rend un rapport sévère sur la corruption du régime.
- ✎ 1990 : Mobutu annonce la fin du parti unique (*24 avril*). le multipartisme ne sera autorisé que le 18 décembre. Un massacre d'étudiants à l'Université de Lubumbashi par des membres de la garde présidentielle fait un nombre indéterminé des victimes. La coopération belge est suspendue. Création du front de l'opposition, qui réclame une conférence nationale (*août*).
- ✎ 1991 : début de la conférence nationale (*août*) sous la direction du premier ministre Mulunda Lukoji. Le 23 Septembre les militaires impayés se livrent à de graves pillages à Kinshasa ainsi que dans plusieurs autres villes du pays. Mobutu affaibli acceptera de négocier avec l'opposition politique pour aboutir aux accords du Palais de Marbre qui conduiront à la nomination de l'opposant Étienne Tshisekedi de l'Udps comme Premier ministre. Il le reste du 1^o au 21 octobre, date à laquelle il fut limogé par le président Mobutu pour être remplacé par Mungulu Diaka et ensuite Nguz Karl-i-Bond.

- ✎ 1992 : Le premier ministre Nguz Karl-i-Bond suspend les travaux de la Conférence Nationale devenue trop insolente aux yeux de Mobutu (*janvier*). Le 16 février, une marche des chrétiens pour obtenir la réouverture de la Conférence Nationale ainsi que sa souveraineté est réprimée dans le sang par les militaires sous le gouvernement du premier ministre Nguz Karl-i-Bond et son ministre de la défense Honore Ngdanda (*19 morts et plusieurs blessés*). Cet incident grave conduit le 6 avril à la réouverture de la Conférence nationale, qui se déclare Souveraine (CNS) et installe à sa tête Monseigneur Laurent Monsengwo pour diriger les travaux. Le 15 août Étienne Tshisekedi est élu premier ministre par la CNS. Cette dernière clôturera ses travaux en décembre 1992 après avoir jeté les bases de la démocratisation. Mobutu travaille à saper ses résultats, notamment par l'introduction anarchique de nouvelles coupures de zaïre, monnaie aussitôt démonétisée par le Premier Ministre.
- ✎ 1993 : le parlement mis en place par la CNS annonce une procédure de destitution du président Mobutu pour haute trahison (*15 janvier*). Pillages à Kinshasa, lancés par les militaires (*24-29 janvier*). Plus de 1 000 morts sont déplorés. Évacuation de 1 300 Occidentaux.
- ✎ 1993 : des heurts interethniques au nord Kivu entre rwandophones (*Hutus et Tutsis*) et non rwandophones (*les autres ethnies locales de Nord-Kivu*) font 4 000 morts. Création de la monnaie Nouveau zaïre, qui vaut 3 millions des zaïres anciens.
- ✎ 1994 : alors que le Front patriotique rwandais gagne la guerre contre l'armée génocidaire au Rwanda, Mobutu accorde à la France le droit d'utiliser le Kivu comme arrière de son opération « *turquoise* », qui permet la fuite au Zaïre du gouvernement, de l'armée et des milices génocidaires rwandais avec leurs armes, ainsi qu'un million de civils (*juin-juillet 1994*). Malgré la législation internationale, ceux-ci s'installeront dans des camps très proches de la frontière, d'où, les soldats et miliciens mèneront des attaques meurtrières contre le Rwanda en s'assurant des réfugiés civils comme otages et bouclier humain.

XII.3.7.8. PREMIERE GUERRE DU CONGO (1996-1997) ET EFFONDREMENT DU REGIME

En 1996, les tensions provenant de la guerre civile et du génocide au Rwanda se propagent au Zaïre. La milice Hutu rwandaise Interahamwe, ayant fui le Rwanda à la suite de l'installation d'un gouvernement Tutsi, s'est mise à utiliser les camps de réfugiés Hutus dans l'Est du Zaïre comme bases pour des raids contre le Rwanda. Une manifestation anti-Banyamulenge (*Tutsis congolais du Sud-Kivu*) marque le début de la rébellion contre Mobutu, avec l'appui des pays voisins.

Le Rwanda disperse par la force les camps des réfugiés Hutus à la frontière et appelle à rentrer au pays. La majorité s'exécute, mais une partie, surtout les hommes en armes prennent la direction de l'ouest et la plupart d'entre eux disparaîtront dans la forêt, et une partie, tuée par l'armée rwandaise qui la poursuivait. Mobutu se fait soigner en Suisse, pendant que l'armée zaïroise brille par son absence dans la guerre contre la coalition anti-Mobutu pour la conquête du Zaïre. Ces milices Hutu se sont vite associées avec les forces armées du Zaïre (*FAZ*) pour lancer une campagne contre les Tutsis congolais vivant dans l'Est du Zaïre¹⁴⁶.

Par la suite, une coalition des armées rwandaise et ougandaise, sous le couvert d'une petite milice Tutsi, a envahi le Zaïre afin de combattre la milice Hutu, de renverser le gouvernement de Mobutu et finalement, de prendre le contrôle des ressources minières du Zaïre. Ils ont été très vite rejoints par différents hommes politiques du Zaïre, qui s'étaient opposés pendant nombre d'années sans succès à la dictature de Mobutu et qui voyaient une opportunité pour eux dans l'invasion de leur pays par deux des plus fortes armées de la région. Cette coalition de quatre rébellions agrandie de deux armées étrangères et des figures d'opposition de longue date, menée par Laurent-Désiré Kabila, prend le 25 octobre le nom d'Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo-Zaïre (*AFDL*). Leur objectif, de manière plus large, était de chasser Mobutu et de prendre le contrôle des richesses du pays.

¹⁴⁶ Thom, William G. "Congo-Zaire's 1996–97 civil war in the context of evolving patterns of military conflict in Africa in the era of independence." *Conflict Studies Journal at the University of New Brunswick*, vol. XIX No. 2, Fall 1999 ;

À la fin des années 1990, les « *juniors* » canadiennes, investies dans plus de 8 000 propriétés minières, dans plus de 100 pays, pour la plupart encore à l'État de projet³¹ multiplient les contrats signés dans les zones de conflit de la république démocratique du Congo¹⁴⁷, même s'il reste compliqué d'extraire les métaux, cuivre et cobalt en raison des conflits. Le 2 janvier 1997, Kinshasa annonce une réplique « foudroyante » contre les rebelles. Chute de Kisangani, troisième ville du pays le 15 mars. Le lendemain, Bruxelles estime que « *l'époque Mobutu est révolue* » ; Le 4 avril, chute de Mbuji Mayi, capitale du diamant, et dans les jours qui suivent, chutes de Kananga, Kolwezi, Kikwit, Lisala. Le 4 mai 1997 se tient un face-à-face entre Mobutu et Laurent-Désiré Kabila sur un bateau sud-africain, l'Outeniqa, au large de Pointe-Noire en république du Congo.

XII.3.7.9. SECONDE REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO (1997–)

A. PRESIDENCE DE LAURENT-DESIRE KABILA (1997–2001)

Le 17 mai 1997, les troupes de Kabila entrent dans Kinshasa sans rencontrer de résistance. Laurent-Désiré Kabila, depuis Lubumbashi, se déclare président du pays, qu'il rebaptise république démocratique du Congo. Mobutu, malade, trouve refuge à Gbadolite pour s'exiler ensuite au Maroc, où il décèdera en septembre à Rabat. Quelques mois plus tard, le président Laurent-Désiré Kabila remercie toutes les forces armées étrangères qui l'ont aidé à renverser Mobutu, et leur demande de retourner dans leurs pays. Il avait peur que les officiers militaires rwandais qui commandaient son armée ne complotent un coup d'État contre lui dans le but de placer au pouvoir un Tutsi qui répondrait directement au président du Rwanda, Paul Kagame. Cette annonce n'a pas été bien accueillie par les gouvernements rwandais et ougandais, qui comptaient prendre le contrôle de leur grand voisin. En février 1998, Tshisekedi est relégué au Kassaï, il sera libéré en juillet. Kabila nomme un chef d'état-major katangais à la place du Rwandais qui occupait ce poste, avant de remercier les soldats étrangers (*juillet*). Kinshasa rompt avec ses alliés rwandais et ougandais, et commence une rébellion contre Kabila, soutenue par Kigali, Kampala et Bujumbura. Le Zimbabwe, l'Angola, le Tchad et la Namibie interviennent militairement aux côtés de Kinshasa.

¹⁴⁷ Mutamba Lukusa, « *L'économie congolaise de 2003 à 2011: défis et opportunités* », 102p

XII.3.7.10. DEUXIEME GUERRE DU CONGO (1998–2002)

Deux mouvements rebelles apparaissent : Les troupes rwandaises se sont alors retirées jusqu'à Goma, d'où elles ont lancé une nouvelle milice, ou mouvement rebelle, baptisé Rassemblement congolais pour la démocratie (*RCD*), mené par les Tutsis pour combattre leur ancien allié, le président Kabila. Pour contrebalancer le pouvoir et l'influence du Rwanda en RDC, les troupes ougandaises créent un autre mouvement rebelle, appelé Mouvement pour la Libération du Congo (*MLC*), mené par le chef de guerre congolais Jean-Pierre Bemba, fils du milliardaire congolais « *Jeannot Bemba Saolona* ».

Ces deux mouvements, soutenus par les troupes rwandaises et ougandaises, déclenchent la deuxième guerre du Congo en attaquant, le 2 août 1998, l'armée encore fragile de la RDC. Le conflit durera jusqu'en 2002. Le 10 août 1998, le président Laurent-Désiré Kabila et quasiment l'ensemble de son gouvernement se retirent à Lubumbashi, où s'organise la résistance militaire. Resté à Kinshasa en ministre de la guerre, « *Didier Mumengi* », ministre de l'Information et porte-parole du gouvernement, lance le mot d'ordre de résistance populaire. Il invente le slogan « *la Paix se gagne* » et organise des Forces d'auto-défense populaire (*FAP*). Les mouvements rebelles et leurs alliés rwandais et ougandais échouent à Kinshasa. L'Angola, le Zimbabwe et la Namibie s'impliquent militairement du côté du gouvernement de Laurent-Désiré Kabila¹⁴⁸, pour défendre l'intégrité territoriale de la RDC, pays membre comme eux du SADC (*Communauté de développement d'Afrique australe*). La guerre s'enlise à l'Est du pays.

Pour tenter de rétablir la paix et l'intégrité du pays, l'ONU décide en 1999 l'envoi d'une mission internationale intérimaire de surveillance et de maintien de la paix, la MONUC, en attendant la présence d'appuis militaires de différents pays. En mai 1999 intervient la première scission de la rébellion, qui sera suivi de plusieurs autres. En juillet-août, un accord de paix est signé à Lusaka, qui prévoit un « *Dialogue intercongolais* » pour jeter les bases d'un nouveau départ. Un premier combat rwando-ougandais a lieu sur le territoire congolais, à Kisangani. Kabila crée en novembre des unités d'auto-défense. En mai-juin 2000 de nouveaux combats Rwando-ougandais ont lieu à Kisangani.

¹⁴⁸ Le 16 janvier 2001, Laurent-Désiré Kabila est assassiné par un de ses gardes du corps. Son fils Joseph Kabila est désigné par le gouvernement pour assurer l'intérim (en attendant 'le rétablissement du blessé', que tous savent pourtant déjà décédé). Kinshasa reconnaît enfin le décès de Laurent Désiré Kabila le 18 janvier.

A. GOUVERNEMENT INTERIMAIRE DE JOSEPH KABILA KABANGE (2001–2003)

Joseph Kabila, proclamé chef de l'État, prête serment le 26 janvier et appelle à des négociations pour la paix. À Gaborone, s'ouvre une réunion préparatoire au Dialogue intercongolais : celui-ci ne s'ouvrira officiellement à Addis-Abeba que le 15 octobre, et les négociations continuent sans mettre réellement fin au désordre. En février 2001, un accord de paix est signé entre Kabila, le Rwanda et l'Ouganda, suivi de l'apparent retrait des troupes étrangères. Les troupes de maintien de la paix de l'ONU, la MONUC, arrivent en avril, afin de soutenir les difficiles efforts de paix ou au moins soutenir le cessez-le-feu, protéger les populations et les organisations humanitaires prêtant assistance aux nombreux réfugiés et déplacés.

Cependant le conflit éclate à nouveau en janvier 2002 à la suite d'affrontements entre des groupes ethniques dans le Nord-est ; l'Ouganda et le Rwanda mettent alors fin au retrait de leurs troupes et en envoient de nouvelles. Des négociations entre Kabila et les chefs rebelles aboutissent à la signature d'un accord de paix par lequel Kabila devra désormais partager le pouvoir avec les anciens rebelles. Le 15 février 2002 s'ouvre réellement en Afrique du Sud le Dialogue intercongolais : l'accord de paix est signé à Pretoria en décembre; le Dialogue sera clôturé en avril 2003.

B. GOUVERNEMENT DE TRANSITION (2003–2006)

Le 4 avril 2003, la Cour d'ordre militaire (*COM*), condamne, sans convaincre, 30 personnes à mort pour l'assassinat de Laurent Kabila. La même année se met en place le gouvernement de transitions « 4+1 » (*4 vice-présidents et un président*) ; En juin 2003, l'armée rwandaise est la seule de toutes les armées étrangères à ne pas s'être retirée du Congo. L'essentiel du conflit était centré sur la prise de contrôle des importantes ressources naturelles du pays, qui incluent les diamants, le cuivre, le zinc, et le coltan¹⁴⁹.

¹⁴⁹ « *Democratic Republic of Congo profile* », *BBC News*, 12 mai 2013

En mars 2004 échoue une tentative de coup d'état attribuée à d'anciens mobutistes. En mai 2004, des militaires banyamulenge déclenchent une mutinerie à Bukavu, sous les ordres du général tutsi congolais Laurent Nkunda, et prennent Bukavu le 2 juin. Ces mutins abandonnent la ville le 9 juin sous la pression internationale. Les 3 et 4 juin, dans les grandes villes congolaises, sont organisés des manifestations anti-rwandaïses par des étudiants, qui tournent à l'émeute anti-Onu au Kivu. Le 11 juin, des membres de la garde présidentielle tentent un coup d'état. Le RCD-Goma suspend sa participation au gouvernement; il réviendra sur sa décision le 1er septembre.

En janvier 2005 des émeutes se déclenchent à Kinshasa lorsque la Commission électorale envisage publiquement un report de la date des élections, comme le lui permettent les textes. La MONUC déclenche une offensive militaire, médiatique et diplomatique contre les milices lendues et hemas, après la mort de neuf casques bleus banglashedis, tués en Ituri par ces dernières. La Cour pénale internationale annonce ses premiers mandats d'arrêts pour 2005 dont un accusé en Ituri.

En mai, l'avant-projet de constitution est approuvé par le parlement. Fin juin, celui-ci décide de prolonger la transition de 6 mois. Un gouvernement de transition est établi jusqu'aux résultats de l'élection. Une constitution est approuvée par les électeurs, et le 30 juillet 2006, les premières élections multipartites du Congo depuis son indépendance (*en 1960*) se tiennent :

- ☒ Joseph Kabila obtient 45 % des voix,
- ☒ Son opposant, Jean-Pierre Bemba, 20 %.

Les résultats de l'élection sont contestés et cela se transforme en une lutte frontale, entre les partisans des deux partis, dans les rues de la capitale, Kinshasa, du 20 au 22 août 2006. Seize personnes sont tuées avant que la police et les troupes MONUC de l'ONU ne reprennent le contrôle de la ville. Une nouvelle élection a lieu le 29 octobre 2006, et Kabila remporte 58 % des voix. Bien que tous les observateurs neutres se félicitent de ces élections, Bemba fait plusieurs déclarations publiques dénonçant des irrégularités dans les élections.

C. PRESIDENCE DE JOSEPH KABILA (2006–)

Le 6 décembre 2006, Joseph Kabila prête serment comme Président et le gouvernement de transition prend fin. La fragilité du nouveau gouvernement a permis l'installation d'affrontements répétés et de violations des Droits de l'Homme. Dans l'affrontement se déroulant actuellement dans la région du Kivu, les Forces démocratiques pour la libération du Rwanda (*FDLR*) continuent de menacer la frontière rwandaise et le Banyarwanda ; le Rwanda soutient les rebelles du RCD-Goma (*Rassemblement congolais pour la démocratie*) contre Kinshasa; et une offensive rebelle ayant eu lieu fin octobre 2008 a causé une crise de réfugiés à Ituri, où les forces de MONUC se sont révélées incapables de maîtriser les nombreuses milices et groupes à l'origine du conflit d'Ituri.

Dans le Nord-Est, la LRA de Joseph Kony (*LRA pour Lord's Resistance Army, l'Armée de résistance du Seigneur*), s'est déplacée depuis leur base originelle en Ouganda (où ils ont mené une rébellion pendant 20 ans) ou au Sud-Soudan, jusqu'en république démocratique du Congo, en 2005, et a établi des campements dans le parc national de Garamba¹⁵⁰. Dans le Nord du Katanga, les Maï-Maï (*anciennes milices créées par Laurent Kabila pour lutter contre les milices rwandaises et ougandaises dans le Kivu, mais oubliées dans l'accord de Lusaka en 1999*) ont échappé au contrôle de Kinshasa.

Depuis novembre 2010, l'ancienne mission de maintien de la paix de l'ONU, la MONUC qui n'était pas parvenue à désarmer les milices rwandaises, est renforcée militairement pour intervenir dans l'est du pays et devient la MONUSCO, mais plusieurs dissidences et révoltes persistent et de nombreuses violences continuent. Dans la nuit du 4 au 5 novembre 2013, l'armée congolaise appuyée par une brigade d'intervention de l'ONU chasse les rebelles du M23 des dernières positions qu'ils occupaient dans les montagnes du Nord-Kivu, à la frontière du Rwanda et de l'Ouganda, les rebelles déposent les armes et dissolvent leur mouvement en décembre 2013 dans un traité de paix signé à Nairobi. Depuis 2015, des tensions sont apparues concernant l'élection présidentielle de 2016 sur le prolongement de mandat de Joseph Kabila¹⁵¹.

¹⁵⁰ Thomas Fessy, « Congo terror after LRA rebel raids », *BBC News*, 23 octobre 2008

¹⁵¹ Sabine Cessou, « Transition à haut risque en république démocratique du Congo : Manifestations de masse contre un président qui s'accroche au pouvoir », *Le Monde diplomatique*,

D. DIVISIONS ADMINISTRATIVES AVANT JUIN 2015

Le Congo est divisé en vingt-six provinces. Auparavant on en comptait onze. Ces nouvelles subdivisions ont notamment pour objectif d'éloigner les risques de sécession de certaines grandes régions congolaises, comme le Katanga. Les différents niveaux de subdivision sont les suivants : « *province ; territoire ; collectivité (secteur ou chefferie) ; groupement* ».

#	<i>Province</i>	<i>Chef-lieu</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Population (2015)</i>
1	Bas-Uele	Buta	148 331	1 138 000
2	Équateur	Mbandaka	103 902	1 528 000
3	Haut-Katanga	Lubumbashi	132 425	4 617 000
4	Haut-Lomami	Kamina	108 204	2 957 000
5	Haut-Uele	Isiro	89 683	1 864 000
6	Ituri	Bunia	65 658	3 650 000
7	Kasaï	Luebo	95 631	2 801 000
8	Kasaï-Central	Kananga	60 958	3 317 000
9	Kasaï-Oriental	Mbuji-Mayi	9 481	3 145 000
10	Kinshasa	Kinshasa	9 965	11 575 000
11	Kongo-Central	Matadi	53 920	5 575 000
12	Kwango	Kenge	89 974	2 152 000
13	Kwilu	Kikwit	78 219	5 490 000
14	Lomami	Kabinda	56 426	2 443 000
15	Lualaba	Kolwezi	121 308	2 570 000
16	Mai-Ndombe	Inongo	127 465	1 852 000
17	Maniema	Kindu	132 520	2 333 000
18	Mongala	Lisala	58 141	1 740 000
19	Nord-Kivu	Goma	59 483	6 655 000
20	Nord-Ubangi	Gbadolite	56 644	1 269 000
21	Sankuru	Lusambo	104 331	2 110 000
22	Sud-Kivu	Bukavu	65 070	5 772 000
23	Sud-Ubangi	Gemena	51 648	2 458 000
24	Tanganyika	Kalemie	134 940	3 062 000
25	Tshopo	Kisangani	199 567	2 352 000
26	Tshuapa	Boende	132 957	1 600 000

Table 11. Le découpage de 26 provinces de la RDC

Note: Bandundu est la seule ville qui n'est pas restée chef-lieu de province après le redécoupage effectif. En dehors des 26 chefs-lieux des provinces, la république démocratique du Congo a 9 villes socio-économiques: Baraka, Bandundu, Beni, Boma, Butembo, Likasi, Mwene-Ditu, Uvira et Zongo.

XII.3.8. ÉCONOMIE

L'économie est essentiellement agricole (*70 % des actifs*) ou tournée vers l'exportation. Les minerais sont de grandes ressources. L'économie a été gravement frappée par la corruption et la mauvaise gestion depuis 1977. Ce qui explique le fort taux de contrebande, d'exportation illicite et d'activité minière clandestine. Les recettes gouvernementales et les exportations ont fortement diminué depuis 40 ans. L'économie a été ravagée par la guerre (*1997-2005 : 5 millions de morts*). Le plus gros partenaire commercial est aujourd'hui la Chine (*importation, exportation, crédit*).

Depuis la colonisation belge, l'économie est fortement tournée vers l'exportation, notamment grâce aux produits miniers. Aucune industrie de pointe n'a été développée par les colonisateurs ni par les gouvernements du Congo indépendant. Par exemple, le cuivre est extrait en grandes quantités, mais il doit être exporté pour être traité, avant de revenir importé sous des formes finies (*câbles, fils électriques...*). Le tourisme a été ruiné par les guerres civiles.

La majeure partie de la population reste alors active dans l'agriculture bien que les terres cultivées ne représentent que 3 % du territoire. L'élite politique de Mobutu a détourné énormément d'argent des caisses de l'État. En effet, tous les hauts fonctionnaires mobutistes possédaient des avoirs dans presque tous les pays industrialisés et ont fait du Congo/Zaire un des pays les plus endettés d'Afrique.

Dans le détail, la République Démocratique du Congo possède un important potentiel de ressources naturelles et minérales⁴⁶. Son économie s'est cependant drastiquement ralenti depuis le milieu des années 1980 à cause de détournements de fonds. L'agriculture reste le principal secteur de l'économie. Les principales ressources agricoles sont le café, le bois (*afromosia, ébène, wengé, iroko, sapelli, sipro, tiama, tola, kambala, lifaki...*) et le caoutchouc.

La RDC se lance dans la mise en place de zones économiques spéciales pour encourager la renaissance de son industrie. La première ZES devrait voir le jour en 2012 dans la commune kinoise de N'Sélé et sera consacrée aux agro-industries. Les autorités congolaises prévoient déjà d'en ouvrir une autre consacrée aux industries minières (*dans le Katanga*) et une troisième consacrée aux cimenteries (*dans le Bas-Congo*)¹⁵². Les principales exploitations de cuivre et de cobalt sont dominées par la Gécamines et ses partenaires. Le diamant industriel est extrait par la MIBA. Mais dans un pays ravagé par la guerre civile, une grande partie de l'exploitation et l'exportation de produits miniers se fait clandestinement.

La république démocratique du Congo détiendrait 10 % des réserves mondiales connues d'or. Exploité dans des mines à ciel ouvert comme près de Mongbwalu, le minerai est l'objet de tous les trafics. Randgold Resources, une société sud-africaine, vient de lancer la construction d'une des plus grandes mines d'or d'Afrique dans la même région¹⁵³. Voici une liste des ressources minières par province :

- ✕ diamant : Kasai Oriental, Kasai Occidental, Bandundu, Équateur, Province Orientale.
- ✕ or : Province Orientale, Maniema, Katanga, Bas-Congo, Nord-Kivu, Sud-Kivu, Équateur.
- ✕ cuivre : Katanga.
- ✕ Étain : Katanga, Nord-Kivu, Sud-Kivu, Maniema.
- ✕ Colombo tantalite (coltan) : Nord-Kivu, Sud-Kivu, Katanga, Maniema.
- ✕ Bauxite : Bas-Congo.
- ✕ Fer : Banalia, Katanga, Luebo, Kasai-Oriental.
- ✕ Manganèse : Katanga, Bas-Congo.
- ✕ Charbon : Katanga.
- ✕ Pétrole : Bassin côtier de Moanda (*en exploitation*), la Cuvette Centrale, Ituri, Bandundu (*indices*)
- ✕ Gaz méthane : Lac Kivu
- ✕ Schistes bitumeux : Mvuzi (*dans le Bas-Congo*)
- ✕ cobalt : Katanga.

¹⁵² « Le « paradis » où le droit fera la loi », *l'Echo*, novembre 2010.

¹⁵³ *GEO* n° 403 de septembre 2012 p. 90

Le pays ne compte pas seulement une industrie minière, les grandes villes comptent aussi des industries alimentaires, textile, chimique, de montage (*chanimetal*) et des chantiers navals. Mais elle ne compte aucune industrie de pointe¹⁵⁴. L'industrie des télécommunications sans fil était d'abord sous le monopole de la compagnie Télécel. Depuis la libéralisation, elle se partage entre des sociétés comme Starcel Congo, Vodacom, Airtel, Orange, Sogetel, Supercell. Standard Telecom, Africell, etc.

XII.3.9. PAUVRETE ET INEGALITES

La république démocratique du Congo est l'un des pays les plus pauvres du monde, avec 87,7 % de sa population en dessous du seuil de pauvreté et des inégalités très marquées malgré ses multiples et diverses richesses. Cette situation s'explique surtout par les différents conflits aux effets dévastateurs qu'a connus le pays. Il reste dépendant de l'aide internationale. L'indice de développement humain de la république démocratique du Congo est extrêmement bas, et il a été classé au dernier rang, 186e, comme le Niger en 2013, par le Programme des Nations unies pour le développement¹⁵⁵. Les violations des droits humains, – résultat des conflits armés – en particulier des enfants et des femmes, ont eu des répercussions très profondes au sein des populations. En 2002, 80 % de la population vivait en dessous du seuil de pauvreté fixé à 2 dollars par jour, en 2013, c'est 87,7 % de la population qui vit en dessous du seuil de pauvreté fixé à 1,25 \$ par jour¹⁵⁶.

Près de 44 % des femmes et environ 22 % des hommes n'ont aucun revenu. Les disparités régionales sont très fortes. Les populations de l'est du pays vivaient en moyenne avec 32 dollars par an et par habitant alors que celles du sud disposaient de 138 dollars et celles de la province de Kinshasa, de 323 dollars, dix fois plus qu'à l'est. La pauvreté se manifeste par la malnutrition qui touche entre 30 et 50 % des femmes et des enfants. Au total, 16 millions de personnes sont en situation d'insécurité alimentaire. De nombreux groupes vulnérables se sont formés (*réfugiés, orphelins, enfants déscolarisés ou enfants soldats*) qui manquent de soins et de nourriture¹⁵⁷.

¹⁵⁴ *Le Point* du 21 juillet 2011 n. 2027 « République démocratique du Congo, le jour d'après », p. 2.

¹⁵⁵ « La république démocratique du Congo au dernier rang de l'indice de développement humain du PNUD » [archive], *Le Monde*, 15 mars 2013

¹⁵⁶ *Idem*

¹⁵⁷ *Perspectives économiques en Afrique, RDC 2005*

XII.3.10. ÉDUCATION ET RECHERCHE

Du fait de la carence de l'État, le système éducatif au Congo est essentiellement financé par les parents. Les instituteurs perçoivent un salaire de moins de 100 \$ par mois. Le taux de scolarisation a fortement progressé depuis la fin de la guerre civile en 2002. Le nombre d'enfants inscrits dans les écoles primaires est passé de 5,5 millions en 2002 à 13,5 millions en 2014, et celui des enfants et adolescents inscrits dans les écoles secondaires est passé de 2,8 millions en 2007 à 4,4 millions en 2014 d'après l'UNESCO. En 2014, d'après une enquête EDS menée sur tout le territoire national, 82,4 % des enfants âgés de 6 à 11 ans fréquentaient effectivement l'école (*83,4 % pour les garçons, 80,6 % pour les filles*)¹⁵⁸. Le programme national prévoit l'école universelle à l'horizon 2015¹⁵⁹.

D'après la même enquête EDS de 2014, le taux d'analphabétisme de la population âgée de 15 à 49 ans était de 24,1 % (*11,9 % pour les hommes ; 36,2 % pour les femmes*), en forte chute ces dernières années : si le taux d'analphabétisme des 25-49 ans est de 28,5 %, il tombe à 17,6 % pour les 15-24 ans¹⁶⁰. La recherche scientifique et technologique est menée tantôt sous la direction du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique et tantôt sous la direction du ministère de la Recherche scientifique et technologique.

XII.3.11. DEMOGRAPHIE

Relativement à sa taille, la république démocratique du Congo est peu peuplée ; la densité de population est comparable à la moyenne africaine. La population se concentre sur les plateaux, dans la savane près des fleuves et des lacs ; le nord et le centre du pays, domaine de la jungle, sont quasiment vides. L'exode rural a gonflé les villes. Les plus grandes agglomérations sont Kinshasa, Lubumbashi, Mbuji-Mayi, Kananga, Kisangani, Bukavu.

¹⁵⁸ Ministère du Plan et Suivi de la Mise en œuvre de la Révolution de la Modernité (MPSMRM), ministère de la Santé publique (MSP) et ICF International, « Enquête démographique et de santé en république démocratique du Congo 2013-2014 » [archive] (consulté le 16 mai 2015), p. XXV

¹⁵⁹ *Idem*

¹⁶⁰ *Idem*

La traite esclavagiste des Portugais à l'ouest et celle des Arabo-Swahilis à l'est a considérablement vidé le territoire. Le régime de Léopold II a conduit à des massacres de grande ampleur et a encore plus diminué la population. Ce n'est qu'avec la crise de 1929 et la fin de la Seconde Guerre mondiale que la population commence à augmenter rapidement. La population est caractérisée par sa grande jeunesse, en 20xx?, 60 % des habitants ont moins de 20 ans. Durant la guerre interafricaine (1997-2005), 3,9 millions de Congolais sont décédés, majoritairement de maladies infectieuses dues à la malnutrition et à l'exode. C'est le conflit le plus meurtrier depuis la Seconde Guerre mondiale¹⁶¹.

Environ 40 000 enfants travaillent sans protection et dans des conditions extrêmes de pénibilité dans le secteur informel des mines de cuivre et cobalt qui s'est chaotiquement développé depuis les années 1990, au profit de revendeurs et de compagnies privées (*ex. : Chemaf, Somika, Rubamin, Volcano et notamment le Groupe Bazano via un comptoir appartenant à un Libanais pour faire traiter ses produits dans les usines Bazano de Likasi*), sans respect du code minier ou du droit international du travail¹⁶². Après les nombreuses guerres en son sein et chez ses voisins, la république démocratique du Congo abritait environ 177 500 réfugiés et demandeurs d'asile à la fin de 2007. Ceux-ci provenaient de l'Angola, du Rwanda, du Burundi, de l'Ouganda et du Soudan¹⁶³.

XII.3.12. SANTE

De manière générale, les indicateurs sociaux ont des niveaux préoccupants : le taux de mortalité infantile est passé de 12,4 % en 1990 à 11,2 % en 2011, le taux de mortalité maternelle de 800 décès pour 100 000 naissances vivantes en 1990 à 2 000 décès pour 100 000 naissances actuellement, l'espérance de vie est passée de 45,7 ans en 2000 à 48,7 ans 2013 contre une moyenne africaine de 55 ans, l'accès aux services de santé de base est inférieur à 26 pour cent, près des 3/4 de la population vit en dessous du seuil de pauvreté multidimensionnel. Le paludisme fait des ravages en RDC.

¹⁶¹ Rapport sur le rôle de GLENCORE dans le partenariat KCC, voir chap. 9.11, p. 62/87 Les produits provenant des creuseurs artisanaux

¹⁶² Idem

¹⁶³ Idem

De plus, des maladies autrefois éradiquées comme la trypanosomiase, la lèpre et la peste ont resurgi, et la pandémie du VIH/sida touche 3 % de la population entre 15 et 49 ans. Le chiffre pourrait s'élever à 20-22 pour cent dans les provinces orientales où il y a encore quelques troubles. Selon les dernières estimations, environ 750 000 enfants ont perdu au moins un de leurs parents en raison de la maladie¹⁶⁴. Cette situation perdure depuis déjà des décennies.

XII.3.13. CRIMINALITE

Les guerres répétitives et incessantes, usant du viol comme arme de découragement des camps adverses, ont causé d'énormes dégâts sur la population civile. Praticué par tous les groupes armés, hutus, maï-maïs, congolais et M23, depuis des dizaines d'années et sur toutes les tranches d'âge (*des bébés de 18 mois ont été décomptés parmi les victimes*), ce phénomène cause d'importants problèmes sanitaires, et a touché au moins 500 000 victimes depuis 1996. Ces chiffres sont toutefois difficiles à vérifier et le nombre pourrait être bien supérieur. En avril 2010, Margot Wallström, l'envoyée spéciale de l'ONU pour les violences faites aux femmes et aux enfants dans les conflits, qualifie le pays de « capitale mondiale du viol ». En 2011, selon une étude réalisée par trois chercheurs, quatre femmes seraient violées toutes les cinq minutes, soit presque une femme par minute¹⁶⁵

XII.3.14. ETHNIES

Le peuple congolais est composé de plusieurs centaines d'ethnies certains donnent le nombre de 200, 250, plus de 365, 400 ou 450¹⁶⁶ formant différents groupes. Néanmoins, de nombreuses langues et cultures de petites ethnies ont tendance à disparaître au profit de celles des grosses ethnies.

✎ *Groupe bantou (80 % de la population) : Luba (18 %), Mongo (17 %), Kongo (12 %) ;*

¹⁶⁴ *Perspectives économiques en Afrique, RDC 2005*

¹⁶⁵ *Democratic Republic of the Congo [archive], Women Under Siege, 8 février 2012*

¹⁶⁶ *Discours du président de l'Assemblée nationale de la RDC, Olivier Kamitatu Etsu, à l'occasion de la Conférence internationale sur le fédéralisme [archive] (PDF)*

- ✎ *Autres* : Ambala, Ambuun, Angba, Babindi, Bangala, Bango, Pende, Bazombe, Bemba, Bembe, Bira, Bowa, Dikidiki, Dzing, Fuliru, Havu, Hunde, Hutu, Iboko, Kanioka, Kaonde, Kuba, Kumu, Kwango, Lega, Lengola, Lokele, Lundas, Lupu, Lwalwa, Mbala, Mbole, Mbuza (Budja), Nande, Ngoli Bangoli, Ngombe, Nkumu, Nyanga, Popoi, Poto, Sango, Shi, Songo, Songye, Sucus, Tabwa, Tchokwé, Téké, Tembo, Tetela, Topoke, Ungana, Vira, Wakuti, Yaka, Yakoma, Yanzi, Yeke, Yela, Batsamba, Baholo, Baboma, kongo, Yombe, Basakata, Bantomba, Batiene, etc.
- ✎ *Groupe soudanique central et ancienne population de Nubie* : Ngbandi, Ngbaka, Manvu, Mbunja, Moru-Mangbetu, Zande, Lugbara, Logo, Lendu, Balendru Lendu Nord, Walendu Bindi (Indru, Lendu sud).
- ✎ *Groupe nilotique* : Alur, Kakwa, Bari
- ✎ *Groupe chamite* : Hima-Tutsi
- ✎ *Groupe pygmée* : Mbuti, Twa, Baka, Babinga.

XII.3.15. RELIGION

En raison de l'absence de recensement en RDC depuis 1970¹⁶⁷, il est impossible de se baser sur des pourcentages fiables concernant la répartition des religions dans le pays. Néanmoins, la population congolaise est majoritairement chrétienne, départagée entre catholiques et protestants. L'islam est la deuxième religion en termes de nombre de fidèles. Cependant, il est également difficile d'évaluer le nombre exact de musulmans en RDC, étant donné la divergence des sources¹⁶⁸. Il existe également encore des animistes, de l'ordre de 1 %.

¹⁶⁷ <http://www.jeuneafrique.com/34196/politique/rdc-et-maintenant-le-recensement/>

¹⁶⁸ <http://dkm-tv.com/2015/12/09/rd-congo-islam-le-nombre-de-musulmans-congolais-sous-estime/>

XII.3.16. FEMMES

La RDC est le pays le plus dangereux pour être femme. Elle a ratifié la Convention sur l'élimination de toutes les formes de discrimination à l'égard des femmes en 1986. La tradition limite les femmes. Les femmes ont moins de droits que les hommes. La femme reste soumise à l'autorité de son mari. Les allocations familiales sont reversées directement aux époux. En général, ils contrôlent l'argent de la famille. Filles/femmes sont plus nombreuses à interrompre leur formation à tous les niveaux. Beaucoup des filles ne sont pas inscrites à l'école. Les femmes ont peu de postes de décision. La législation qui protège les femmes est peu appliquée. Selon le Code de la Famille, les femmes mariées doivent l'autorisation de leur mari pour lancer une action en justice. Les mutilations génitales féminines sont interdites. Les femmes sont surreprésentées dans les zones de conflit. La prostitution reste courante. Traditionnellement, les femmes congolaises n'ont pas le droit d'hériter de terres. Souvent, les femmes ne sont même pas autorisées à enregistrer des terres dans leur nom. Le mari a le droit à la propriété de sa femme. Les femmes n'ont pas également d'accès à l'eau potable ni à l'électricité. 75 % des personnes déplacées sont féminines¹⁶⁹.

XII.3.16. CULTURE

La culture congolaise est très diverse car le Congo-Kinshasa est composé d'une centaine de groupes ethniques, en majorité bantous, et s'étend de l'embouchure du fleuve Congo, puis dans la forêt du bassin du Congo jusqu'à la région des Grands Lacs et la savane. Depuis la fin du XIXe siècle, les modes de vie traditionnels de la région ont changé à cause du colonialisme, la lutte pour l'indépendance, le long règne de Mobutu, et récemment, les première et seconde guerres du Congo. Malgré cela, les traditions et la culture congolaises ont su garder leurs particularités. La Bibliothèque rétrospective de la RD-Congo : 1960-2004, éditée par les Presses de la Médiathèque francophone de la Funa, recense plus de 9 000 notices bibliographiques, plaçant la république démocratique du Congo parmi les premiers pays d'Afrique francophone dans la publication d'œuvres.

¹⁶⁹ « *Democratic Republic of the Congo: The practice of female genital mutilation (FGM) and legislation prohibiting the practice (2008-March 2012)* ».

XII.3.17. LANGUES

Le français évolue constamment partout au Congo ; la capitale du Congo, Kinshasa, avait en 2008 87 % de francophones, ce nombre est passé à 92 % en 2010. Le pays fait partie de l'Organisation internationale de la francophonie, ainsi que de l'Assemblée parlementaire de la francophonie¹⁷⁰. La population du Congo parle entre 200 et plus de 400 langues selon le classement. Sur le plan linguistique, il est l'un des pays les plus multilingues de toute l'Afrique. En effet, l'Atlas linguistique du Congo Kinshasa dénombre 221 langues pour une population totale (*estimée en 1996*) à 42,2 millions d'habitants, c'est-à-dire une langue par tranche de 190 000 locuteurs. Cependant, 186 langues appartiennent à la seule famille bantoue et elles sont parlées par plus de 80 % de la population congolaise. Les autres langues sont représentées par la famille nilo-saharienne. Tous les Congolais parlent l'une des quelque 200 langues « ethniques », voire plus de 400 dialectes. En plus du français, langue officielle, la loi reconnaît quatre langues nationales : lingala, swahili, kikongo et tshiluba. La plupart des Congolais parlent plusieurs langues. Le français, le lingala (*à l'ouest*) et le swahili (*à l'est*) servent de langues véhiculaires.

La république démocratique du Congo est le deuxième pays francophone du monde, derrière la France. Une minorité grandissante parle couramment le français (*33 millions de Congolais savent le lire et l'écrire, selon une estimation de l'OIF en 2014, soit 47 % de la population du pays*). En effet, langue officielle, le français est la langue principale de l'éducation, et la langue de l'administration, des médias et des affaires. Le français de la république démocratique du Congo, ancienne colonie belge, a beaucoup emprunté au français de Belgique et au wallon. Il a également développé des caractères propres et de nombreux néologismes¹⁷¹. 36 millions de Congolais utilisent le lingala comme première ou seconde langue, il est également parlé au Congo-Brazzaville, en Centrafrique et en Angola, ce qui peut faciliter les communications vers ces pays.

¹⁷⁰ *La Langue française dans le monde en 2010 [Broché] Nathan*

¹⁷¹ *Marie-France Cros, François Misser, Le Congo de A à Z, André Versaille éditeur, 2010, p. 125-127*

Le lingala est ainsi une des grandes langues africaines, bien qu'il soit largement méconnu en dehors du continent. Le lingala, parlé initialement par les Ngala, s'est répandu car il était la langue la plus parlée par les militaires et les missionnaires pendant la colonisation belge. Il a connu son apogée sous Mobutu, car il était la langue du pouvoir et de la très populaire musique de Kinshasa.

Le swahili, qui compte 10 millions de locuteurs au Congo mais qui est aussi parlé dans de nombreux pays d'Afrique de l'Est, a été introduit au Congo avant la colonisation par le biais du commerce, en particulier celui des marchands d'esclaves. Les Kabila ont favorisé cette langue parlée dans leur région d'origine et elle est la seule avec le français à figurer sur les billets de banque. Le kikongo (2 millions de locuteurs) est la langue des Bakongo des deux Congo, en Angola et Gabon. C'est la première langue d'Afrique centrale à avoir disposé d'une grammaire écrite lorsque le royaume Kongo est entré en contact avec les Portugais en 1645¹⁷².

Vers les zones frontalières du Cabinda et de l'Angola, le pays compte quelques milliers de lusophones, mais leur nombre exact est inconnu. Vestige de la colonisation belge, le néerlandais qui fut la deuxième langue administrative du Congo belge de 1908 à 1960 n'est plus parlé que par quelque 100 000 à 250 000 personnes (*plus de 200 000 en 1980*) le plus souvent âgées de plus de 60-65 ans, mais aussi par des plus jeunes, éparpillées sur tout le territoire, qui sont le plus souvent des métis, ou retraités de l'ex-administration coloniale, souvent métis. Le néerlandais, dont les statistiques sont difficiles à établir, devient différent du néerlandais parlé en Belgique, ou aux Pays-Bas, car il n'est pas enseigné dans le pays. Isolé du néerlandais parlé en Belgique, ou aux Pays-Bas, le néerlandais parlé en RDC du Congo a tendance à avoir de nouveaux mots lingala, français, ou anglais, dans son vocabulaire, et surtout depuis 1980.

¹⁷² Idem

Le Néerlandais en RDC, au vu de son isolement, d'une région à une autre, avec des groupes isolés de locuteurs, évolue avec les langues africaines. Le néerlandais reste cependant une langue de culture en RDC. Les archives, entre 1908 et 1960, sont bilingues français-néerlandais avec d'importantes variantes, avec même certains documents uniques en néerlandais. Les 15 plus grandes bibliothèques du pays ont un fonds de milliers de livres en néerlandais dont certains rares ou uniques. Les locuteurs du néerlandais sont le plus souvent bilingues néerlandais-français ou même néerlandais-anglais. Le néerlandais n'est plus une langue universitaire depuis 1971, et il a cessé d'être une langue administrative en 1961, quand fut choisie la langue française comme seule langue officielle par l'État congolais devenu indépendant.

Cependant, en février 2014, l'ambassade des Pays-Bas à Kinshasa indiquait que le néerlandais était resté une langue bien vivante en RDC, et qu'après des recherches et statistiques, entre 410 000 et 500 000 personnes de tous âges parlaient Néerlandais en RDC, dispersés dans tout le pays. Cependant, l'avenir du néerlandais dans le pays reste incertain : il n'a plus aucun rôle officiel, et n'est pas enseigné. De plus, il n'offre aucune perspective, car l'anglais est parlé dans de nombreux pays voisins, et semble plus courant de nos jours.

L'anglais est très présent depuis l'arrivée de rebelles venus d'Ouganda, de Tanzanie, et du Rwanda pendant le conflit congolais. Le président Joseph Kabila a passé son enfance en Tanzanie, et parle plus couramment l'anglais que le français. Vu le chaos post-conflit, le recensement des anglophones n'était pas une priorité, et il ne l'est pas encore de nos jours. Le nombre de locuteurs devrait cependant s'élever à plusieurs milliers de locuteurs. Il est au moins plus parlé que le portugais. L'anglais est une langue commerciale, enseignée dans les universités du pays, et devient de plus en plus important, car il est la langue souvent utilisée par les soldats de l'ONU et par les réfugiés (*et maintenant certains jeunes*) de retour au pays qui étaient partis dans les pays anglophones voisins depuis les années 1960 (*il y a plus de 300 000 jeunes citoyens de la république démocratique du Congo qui vivent dans les pays anglophones voisins des grands lacs et qui souhaitent rentrer, ou qui sont revenus en RDC*).

XII.3.18. MUSIQUE

Le Congo a une culture musicale très riche, sa musique connue sous le nom de rumba ou encore ndombolo fait danser toute l'Afrique. La musique congolaise a du succès par-delà les frontières depuis les années 1960 aux côtés de la musique de la Côte d'Ivoire, de Guinée ou du Nigeria. Actuellement appelée soukous, elle a donné naissance à d'autres styles de musique comme le quassa-quassa et d'autres. Le kotazo est un style de musique qui est apparu en 2002 un mélange de soukous et ndombolo :

- ✎ *Première génération* : On situe cette génération entre les années 1930 et 1950, où la fusion de la musique tradition de la région de Léopoldville avec d'autres styles de musique, notamment afro-cubaine et haïtienne, mais aussi d'autres sont venus de l'Amérique latine, ce qui a donné naissance à des styles très variés. Mais le style cubain surpasse tout autre style et la musique congolaise obtient son premier nom : la rumba congolaise, et le chanteur le plus connu de cette époque est Wendo Kolosoy.
- ✎ *Deuxième génération* : 1950-1970 : L'année 1953 marque le début de cette génération ; c'est celle qui a donné naissance à la musique congolaise moderne. Les artistes les plus connus sont les pionniers de la musique moderne : Grand Kalle avec son African Jazz, Luambo Makiadi Franco avec son « *OK Jazz* » devenus « *TP OK Jazz* », Tabu Ley Rochereau qui a formé « *African fiesta* » avec Nico KAsanda. Avec l'« *African fiesta* », Jeanot Bombenga et le Vox Africa, Conga de Jhonny Bokelo, Co - Bantous de Champro King, la musique du Congo est connue sous le nom de soukous qui prend ses racines dans la rumba des années 1950, et dont le nom est une déformation du mot « secousse ».
- ✎ *Troisième génération* : 1970-1990 : Elle est marquée par la naissance de groupe Zaïko Langa Langa qui produit des musiciens dont Papa Wemba qui à son tour a créé Viva La Musica, Koffi Olomidé, King Kester Emeneya issu de Viva La Musica, Pepe Kalle avec L'Empire Bakuba, Kanda Bongo Man, Tshala Muana avec le Mutuashi, Defao, Big star, Ntesa Nzitani Daliens, Sam Mangwana, Mayaula Mayoni, Négro Succès, Thu Zahina, Géo Malebo, Bella Bella, Festivals des Maquisards, Les Grands Maquisards, Kintueni National, Zembe Zembe, Tabou National, Afrizam, Makinaloka, Kossa Kossa, Isifi Lokole, Yoka Lokole, etc.

- ✎ *Quatrième génération : 1990-2010* : Marqué par l'ascension du groupe musical Wenge Musica, c'est l'époque de la gloire de la musique congolaise. La musique du Congo prend le nom de « *ndombolo* ». les figures marquantes de cette époque sont les chanteurs Werrason, JB Mpiana, Marie Paul, Adolphe Dominguez, Aimé Buanga et Blaise Bula tous issus de Wenge Musica.

- ✎ *Cinquième génération : 2010-* : La cinquième génération marque la naissance des deux plus grandes figures actuelles de cette génération s'agissant de Fally Ipupa (*ex-musicien du groupe Quartier Latin de Koffi Olomidé durant 7 ans, de 1999 à 2006, en étant aussi à partir de 2002 jusqu'à son départ, chef d'orchestre*) et de Ferré Gola (*ex-musicien du groupe Wenge Musica de 1995 à 1997, puis cofondateur du groupe Wenge Musica Maison Mère avec Werrason, Didier Masela et Adolphe Dominguez, de 1997 à 2004. De mai 2005 au mois de juin 2006, il se retrouvera aux côtés de son rival actuel, Fally, en intégrant le groupe Quartier Latin de Koffi Olomidé*)... La cinquième génération débute en réalité en 2006 avec la sortie des premiers albums solos de Fally Ipupa et Ferré Gola étant respectivement Droit Chemin et Sens Interdit.

XII.3.19. GASTRONOMIE

Les ingrédients principaux de la cuisine congolaise sont : poisson, viande, patate douce, haricot, tomate, riz, fufu, maïs, sorgho, bananes plantain et manioc presque toujours accompagnés de sauces typiques de chaque région. À part les fruits épluchés, on ne mange pas cru, le climat étant propice aux parasites. Les feuilles de manioc (*pondu*) sont consommées seules, en accompagnement ou servent pour la cuisson. Le plat le plus courant est la muambe, poulet aux feuilles de manioc pilées (*parfois à l'arachide*), et à l'huile de palme, accompagné de riz ou de bananes plantains (*makemba*).

XII.3.20. SPORTS

Le football est très populaire en république démocratique du Congo. L'équipe nationale de football a remporté deux fois la Coupe d'Afrique des nations (1968 et 1974). Elle a remporté deux fois le Championnat d'Afrique des nations (2009 et 2016). Elle a terminé à la troisième place de la Coupe d'Afrique des nations 1998 et de la Coupe d'Afrique des nations 2015. Deux clubs congolais ont gagné la Ligue des champions africaine : le TP Mazembe en 1967, 1968, 2009, 2010 et 2015 et l'AS Vita Club en 1973. Deux clubs ont gagné la Coupe d'Afrique des vainqueurs de coupe : le TP Mazembe en 1980 et le DC Motema Pembe de Kinshasa en 1994. En 2010, le TP Mazembe est devenu le premier club non européen ou sud-américain à atteindre la finale de la Coupe du monde des clubs. Le très célèbre combat de boxe du 30 octobre 1974 opposant Mohamed Ali à George Foreman, comptant pour le titre de champion du monde poids lourds de boxe anglaise s'est déroulé dans la ville de Kinshasa au stade Tata-Raphaël.

XII.3.21. JOURS FERIES

FETES ET JOURS FERIES ¹⁷³	
Date	Nom français
1er janvier	jour de l'An
4 janvier	journée des Martyrs de l'indépendance
16 janvier	date anniversaire de l'assassinat du président Laurent Désiré Kabila
17 janvier	date anniversaire de l'assassinat du premier Ministre Patrice Émery Lumumba père de l'indépendance nationale
8 mars	journée internationale de la femme
30 avril	fête nationale de l'enseignement
1er mai	journée internationale du travail
17 mai	fête du 17 mai (<i>journée de la prise du pouvoir par l'AFDL, libération du mobutisme</i>)
30 juin	date anniversaire de l'indépendance
1er août	fête des parents / anciens
25 décembre	Noël

Plusieurs de ces jours fériés ont remplacé des jours fériés des régimes précédents¹⁷⁴.

¹⁷³ « Problématique du calendrier des jours fériés légaux en RDC », *Le Potentiel*, 26 janvier 2007 »

¹⁷⁴ « Le repos hebdomadaire et les jours fériés légaux selon le Code du travail congolais », *JDCOnline.com*, 2005

CHAPITRE XIII. LES NUISANCES SONORES ET ELECTROMAGNETIQUES

Une nuisance est un élément de l'environnement jugé néfaste pour la santé ou la qualité de la vie. Une nuisance sonore est donc une « *pollution* » par le son, un son trop important, qui gêne ou crée des dégâts. Les éléments sonores qui polluent sont : la circulation, les hurlements, la musique à plein volume, les sons trop violents, trop forts, les armes, les pétards, les cloches, etc.

Les nuisances sonores sont dénoncées par une large majorité de nos concitoyens comme la première gêne à laquelle ils sont confrontés quotidiennement. Malgré la succession de rapports alarmants, cette pollution n'est pas encore prise en compte par les pouvoirs publics à l'échelle qui devrait être la sienne. Les champs électromagnétiques sont constitués d'une onde électrique et d'une onde magnétique qui se déplacent perpendiculairement ensemble à la vitesse de la lumière soit 300 000 kilomètres par seconde. Une onde est caractérisée par sa fréquence ν et sa longueur d'onde λ grandeurs liées par l'expression :

$$\lambda = c/\nu$$

Où C est la célérité de l'onde dans le milieu considéré, ν la fréquence c'est-à-dire le nombre d'oscillations de l'onde par seconde. Ainsi, plus la longueur d'onde du rayonnement est élevée, plus sa fréquence est basse, et inversement. Quels sont les effets sur la santé des champs et ondes électromagnétiques ? Une interrogation préoccupante compte-tenu de l'importance de la population concernée. Lignes à haute tension, chauffage par induction, électrique, écrans de visualisation (*moniteurs et téléviseurs*), fours à micro-ondes, radars, radiotéléphones portables, ... envahissent nos vies, le phénomène est planétaire.

XIII.1. L'OREILLE ET LES EFFETS DE LA POLLUTION SONORE

L'oreille comprend une partie visible, le pavillon et une partie protégée à l'intérieur du rocher. Elle est divisée en trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. L'oreille externe a une fonction double pour l'audition et le système auditif. En effet elle sert à la fois de protection et de résonance. Elle s'étend du pavillon à la membrane du tympan. Le pavillon est une formation fibrocartilagineuse de forme tourmentée, recouverte d'un revêtement cutané et disposée autour de l'orifice du conduit auditif externe, conduit sinueux de structure fibrocartilagineuse dans son tiers externe et osseuse dans ses deux tiers internes. Son extrémité est obturée par la membrane du tympan.

Le pavillon de l'oreille reçoit et concentre les ondes sonores, tout en diminuant le choc du au passage des ondes se propageant dans l'air environnement et le corps humain à celui enclos dans le système auditif. Ensuite les ondes reçut se propagent dans le conduit auditif avec les propriétés des ondes rectilignes sur deux à trois centimètres avant de rencontrer la membrane du tympan. Le tympan se met alors en vibration sous l'effet des ondes reçues. L'oreille moyenne a un double rôle puisqu'elle doit protéger l'oreille interne et transformer les ondes provenant de l'oreille externe (*ondes aériennes*) en ondes analysables par l'oreille interne (*ondes solidiennes*). L'oreille moyenne ou caisse du tympan est une cavité aérienne limitée au dehors par le tympan et en dedans par l'oreille interne.

Elle communique en avant avec le rhino-pharynx par la trompe d'eustache (*qui assure l'aération*) et en arrière avec la cavité mastoïdienne par un autre orifice, l'aditus. Elle renferme les trois plus petits os de l'organisme : les osselets articulés entre-deux et reliés aux deux extrémités de la cavité par des ligaments ; ce sont, de dehors en dedans, le marteau, l'enclume et l'étrier. Le marteau à la forme d'une massue dont le manche est inclus dans l'épaisseur de la membrane tympanique et dont la partie renflée s'articule avec l'enclume qui lui fait suite. Celle-ci à la forme d'une molaire et présente un prolongement vertical descendant qui s'articule avec l'étrier, osselet le plus léger dont l'extrémité interne vient obstruer un petit orifice de l'oreille interne la fenêtre ovale.

L'ensemble forme la chaîne des osselets qui, par le jeu de ces articulations et deux de muscles annexes (*le muscle du marteau et celui de l'enclume*), amplifie et transmet les vibrations du tympan aux structures de l'oreille interne. L'oreille interne ou labyrinthe est située dans le rocher. Elle comporte le labyrinthe osseux, coque rigide abritant le labyrinthe membraneux qui contient les récepteurs sensoriels baignés par un liquide l'endolymphe. On reconnaît deux parties distinctes de l'oreille interne : l'une, antérieure, la cochlée (*ou limaçon*) qui est l'organe de l'ouïe ; l'autre, postérieure, le vestibule qui est l'organe de l'équilibre. Située dans l'oreille interne (*en bleu*), la cochlée, (*en bleu*), enroulée en spirale comme la coquille d'un escargot, est responsable de l'audition. Elle contient le canal cochléaire (*rempli d'endolymphe*), lui-même entouré des rampes vestibulaire et tympanique (*remplies de périlymphe*). Les vibrations transmises par la chaîne des osselets (*en jaune*) montent dans la rampe vestibulaire jusqu'au sommet et redescendent dans la rampe tympanique, tout en se propageant dans le canal cochléaire. Les cellules ciliées de l'organe de Corti transmettent les informations sonores aux fibres nerveuses. La partie postérieure de l'oreille interne (*le vestibule et les trois canaux semi-circulaires*) est responsable de l'équilibration.

L'organe de Corti : Les cellules ciliées sont situées de part et d'autre du tunnel de Corti, dont les parois sont constituées de deux rangées de cellules rigides, « les Piliers de Corti », s'appuyant l'une à l'autre par leur sommet. Entre les piliers de Corti, se trouve de la corti lymphique, dont la composition ionique est voisine de celle de la périlymphe. Les cellules ciliées sont disposées en rangées parallèles de la base au sommet de la cochlée : une rangée de cellules ciliées internes (*C.C.I.*), situées entre le modiulus et le tunnel de Corti, et trois rangées de cellules ciliées externes (*C.C.E.*) situées au-delà du tunnel de Corti (*Ce dernier nombre varie selon les espèces de 3 à 5*). Les 4 rangées de cellules sont régulièrement espacées, tous les 10 µm, le long de la membrane basilaire.

Dans chaque rangée, on compte environ 100 cellules ciliées par mm, soit au total 3 500 cellules ciliées internes et 12 000 cellules ciliées externes. Il y a donc seulement 160 000 cellules ciliées dans la cochlée comparé aux 100 millions de photorécepteurs dans l'œil. De plus, les cellules ciliées ne se renouvellent pas. L'organe de Corti est donc très fragile. Toutes les agressions se cumulent au cours du temps, pouvant déclencher une surdité de perception.

Coupe transversale de l'organe de Corti: Dans cette section transversale de la partie basale d'une cochlée de mammifère, 1 CCI et 3 CCEs sont représentées de part et d'autre du tunnel de Corti. La membrane tectoriale, flottant dans l'endolymphe coiffe les stéréocils des cellules ciliées. La CCI est entourée de cellules de soutien, alors que la CCE solidement ancrée sur la cellule de Deiters, a sa membrane latérale en contact direct avec la corti colymphe (*peu différente de la périlymphe*) qui remplit le tunnel de Corti et les espaces de Nuel. La partie apicale des cellules ciliées, celle du pilier interne et des autres cellules annexes comme les cellules de Hensen, forment la lame réticulaire qui isole le compartiment endolymphatique. Les fibres nerveuses gagnent ou quittent L'organe de Corti par l'habenula perforata au travers de la membrane basilaire.

Les cellules ciliées internes, longues de 35 μm , ont une forme d'amphore évasée, en U très ouvert au pôle apical (10 μm). Elles reposent sur des cellules de soutien, les cellules de Deiters qui entourent complètement leurs parois latérales. Implantés au pôle apical de la plaque cubulaire, une centaine de stéréocils sont alignés en 3 ou 4 rangées de taille croissante. Ils plongent en totalité dans l'endolymphe. La présence de filaments d'actine dans les stéréocils assure leur rigidité. A leur base, 95 % des neurones du ganglion auditif font synapse. Elle varie selon les espèces. Le cochon d'inde et l'être humain qui entendent la même gamme de fréquence ont des longueurs maximales identiques. Les chauves-souris qui perçoivent les très hautes fréquences ont des CCE de petites tailles.

Les cellules ciliées externes, cylindriques, 6 μm de diamètre, ont une longueur passant de 25 μm au tour basal (*Perception des Hautes Fréquences*) à 55 μm au 3ème tour et 70 μm au tour apical (*Perception des BF*). A la base, la cellule ciliée externe est courte, les stéréocils les plus longs sont fortement implantés dans la membrane tectoriale, la cellule de Deiter (*D*) est courte et rigide (*faisceau de microtubules*) : un couplage ferme est donc réalisé entre les membranes basilaire et tectoriale et la contraction de la cellule ciliée externe peut modifier la mécanique cochléaire. A l'apex, la cellule ciliée externe est longue, simplement posée sur une cellule de Deiter peu rigide et le couplage MB/MT est pratiquement inexistant.

Le corps cellulaire des CCE baigne dans la périlymphe. Elles reposent fermement par leur base sur des cellules de soutien, les cellules de Deiters (*CD*), qui forment un siège sans les entourer. Les cellules de Deiters sont profondément ancrées dans la membrane basilaire et sont solidaires des mouvements de celle-ci qu'elles répercutent. Les cellules ciliées externes assurent donc le couplage mécanique entre la membrane basilaire et la membrane tectoriale. Les cellules de Deiters émettent, à leur base, un fin prolongement qui s'élargit au niveau de l'apex des cellules ciliées pour occuper les espaces intercellulaires et donc participer à la formation de la lame réticulaire riche en myosine et enactine. Il existe d'autres cellules de soutien ayant des fonctions nutritives, les cellules de Hensen.

Nous verrons que leurs membranes latérales sont libres d'échange avec la périlymphe et leur structure, unique dans l'organisme, permet aux CCE de se contracter avec des fréquences égales à la fréquence de stimulation. A l'apex, les cils des C.C.E., en trois rangées de taille croissante, dessinent un W. Les plus longs vont directement s'ancrer dans la membrane tectoriale. Pliés par la différence de pression hydraulique entre les RV et RT, la force de cisaillement sur la membrane tectoriale sera à l'origine de l'ouverture des canaux ioniques. Le pôle apical des cellules ciliées internes et externes forme, avec les cellules de soutien, la lame réticulaire qui assure la solidité entre les divers éléments de l'organe de Corti ainsi que l'étanchéité entre l'endolymphe et la corti lymph. La lame réticulaire est formée d'éléments divers tels que l'apex des cellules ciliées, l'expansion des piliers de Corti. Ces éléments étroitement soudés par accollement de leurs membranes et de nombreux desmosomes forment une barrière, séparant :

- ✎ l'endolymphe dans laquelle plonge les cils des cellules ciliées de la périlymphe (*corti lymph*) dans laquelle baigne le reste de l'organe de Corti. La périlymphe provient de la rampe tympanique, à travers certaines régions de la membrane basilaire, et des perforations à l'extrémité de la lame osseuse spirale (*habenula perforata*).
- ✎ *Les cils* : Implantés dans la plaque cuticulaire apicale ou lame réticulaire, les cils sont longs de 6 à 7 mm et forment un W pour les cellules ciliées externes. Les cils des cellules ciliées internes sont plus petits, de 3 à 4 mm, et forment un U. Les stéréo cils sont liés entre eux par des liens transversaux et apicaux dont

l'intégrité fonctionnelle est primordiale. Le Kinocyl, présent avant la naissance, disparaît ensuite mais son emplacement reste marqué à la base du W ou du U par l'interruption de la plaque cuticulaire et la persistance de la racine ciliaire (*organe basal*). Dans la plaque cuticulaire, les filaments d'actine sont associés à de la myosine. Ces protéines ne servent pas uniquement à rigidifier le pôle apical des cellules mais elles constituent un système contractile susceptible de modifier les caractéristiques mécaniques de l'organe de Corti.

- ✎ *La membrane tectoriale* : Sur l'organe de Corti, repose la membrane tectoriale, solidaire du limbe par son bord interne. L'autre extrémité, libre, « *sui v r a* » les oscillations de la membrane basilaire. Il s'agit d'un gel glycoprotéique sécrété par les cellules du limbe. Sorte d'éponge contenant un fort pourcentage d'eau, elle a une composition ionique voisine de celle de l'endolymphe. Une mutation de sa protéine constitutive, la tectonine est à l'origine d'une baisse de l'acuité auditive. Willems (2000) a montré qu'elle inhibait la fonction de résonance de l'organe de Corti.

Les relations entre la membrane tectoriale et les cils des cellules ciliées ne sont pas encore bien explicitées. Elles présentent des variations d'une espèce à l'autre et dans une même espèce, de la base du sommet de la cochlée. L'extrémité des cils les plus longs, ceux des cellules ciliées externes, est insérée dans la membrane tectoriale où elle laisse des empreintes en creux parfaitement visibles. Pour les cellules ciliées internes, il en va différemment, la liaison avec la membrane tectoriale pouvant être chez les chauves-souris inexistante, et, chez l'être humain réalisée indirectement, de manière assez lâche par un système de filaments. Les CCI seront activées secondairement à l'amplification active par les CCE.

XIII.2. LES EFFETS DE LA POLLUTION SONORE

La pollution sonore peut entraîner une détérioration des cils de l'organe de corti ce qui provoque une surdité. Il n'existe aucune solution à cette surdité. Le son est une vibration de l'air qui se propage, sa sensation peut être agréable ou non (bruit) et parfois même gênante ou nocive. Les nuisances sonores peuvent être liées aux transports (*routiers, ferroviaires, aériens...*), au voisinage (*entreprises, chantiers, restaurants, discothèques...*). En RDC, plus de deux millions de personnes sont exposées de manière prolongée à des nuisances sonores d'intensité supérieure à 85 décibels sur leur lieu de travail. Cette exposition peut entraîner une surdité irréversible. Le bruit est lié à des phénomènes physiques et à un phénomène perceptif. En effet, le bruit est une combinaison de sons qui dépend de la fréquence (*exprimée en Hz*), de l'intensité et de la durée.

L'intensité nous permet de juger de la force d'un son, son faible ou fort, tandis que la fréquence donne la sensation de grave ou d'aigu. Pour pouvoir percevoir un son, il faut que sa durée soit comprise entre 25 ms et 125 ms pour un individu dont le système auditif fonctionne correctement. Le trafic routier est la principale source des nuisances sonores suivie par les bruits de voisinage. Le bruit est mesuré en décibels grâce aux niveaux sonores L :

$$L = 10 \log I/I_0 \text{ (en dB) avec } I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique, c'est un terme sans dimension. Il est noté dB. Il est intéressant de remarquer que :

$$80 \text{ dB} + 80 \text{ dB} = 83 \text{ dB}$$

$$80 \text{ dB} + 90 \text{ dB} = 90 \text{ Db}$$

Quelques repères en décibels :

- ✗ 15 décibels correspondent au bruit le plus faible qu'une oreille puisse percevoir ;
- ✗ 90 décibels correspondent au seuil de danger pour l'oreille humaine ;
- ✗ 120 décibels correspondent au seuil de douleur pour l'oreille ;

Pour évaluer le danger représenté par un son pour l'oreille, il faut prendre en compte la durée d'exposition ainsi que le niveau sonore (*les niveaux sonores ne s'additionnent pas*). De plus, l'oreille n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences audibles.

Par exemple, un son de 50 dB et de fréquence 1000 Hz produit une sensation auditive plus forte qu'un son de 50 dB à la fréquence de 100 Hz. Pour tenir compte de cette particularité du système auditif, on utilise des filtres qui pondèrent les niveaux en fonction des fréquences. Plusieurs filtres sont utilisés, le plus commun étant le filtre A. Le nouveau niveau tenant compte de cette pondération est alors exprimé en dB (A). On obtient ainsi une grandeur physiologique pour le niveau sonore, et non plus seulement une grandeur physique. L'importance de cette pondération est considérable.

En effet, des bruits de très basses fréquences, qui peuvent atteindre plus de 140 dB dans un TGV entrant dans un tunnel, ne semblent pas dangereux pour l'audition (*ce qui ne signifie pas qu'ils sont sans effet sur la santé*). De même, les basses fréquences émises par la grosse caisse d'une batterie, qui traverse les murs, perçue par les voisins des discothèques ne sont pas dangereuses pour l'ouïe, malgré la gêne qu'il représente. Parmi toutes les ondes acoustiques, seules certaines peuvent être perçues par l'oreille : il s'agit des ondes dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20000 Hz. En dessous de 20 Hz on parle d'infrasons et au-dessus de 20000 Hz on parle d'ultrasons. L'émission du bruit est inhérente à l'activité humaine. Cependant, quand ces nuisances sonores deviennent trop importantes et donc insupportables, la loi civile et pénale permettent de mettre un terme ou de réduire les bruits persistants.

Néanmoins, il existe des bruits incontournables tels que les pleurs d'enfants, l'ouverture et la fermeture des portes, le déchargement de colis... Les bruits de voisinages sont de différents ordres. Le tapage nocturne est le fait de faire du bruit de nuit en troublant la tranquillité d'autrui. Cette nuisance est passible d'une contravention si la ou les personnes dérangées réclament le calme et qu'il n'est pas rétabli. Les bruits provenant de la circulation de véhicules sur la voie publique, les discothèques, les chantiers etc. peuvent être soumis à un arrêté provenant de la mairie pour faire cesser ou atténuer le bruit.

L'isolation du logement peut aussi parfois être en cause, il faut donc vérifier les normes en rigueur et les faire appliquer. Il existe également des nuisances liées aux réseaux ferroviaire et aérien lorsque ces derniers sont à proximité de zones habitables mais également pour les personnes qui travaillent dans ces entreprises. La santé comprend selon la définition donnée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) deux points : l'absence de maladie et d'infirmité et un état complet du bien-être physique, mental et social ; Les conséquences du bruit sont de deux types : auditives et non auditives. Les premières consistent généralement en des lésions auditives suite à l'exposition à des hauts niveaux de bruit. Le risque de pertes auditives directes est principalement lié à des activités de loisirs (*discothèques, tir, feux d'artifice*) ou au travail (*usines, chantiers*).

Les conséquences non auditives proviennent de tous les autres bruits de l'environnement dont les niveaux et les temps d'expositions sont plus faibles (*circulation, bruits interne à l'habitation, bruits de voisinage*). Elles peuvent se manifester sous forme de troubles psychiques (*ex: stress*), sociaux (*ex: difficultés de communication*) ou physiques (*ex: hypertension*). Le fait d'être exposé de manière répétée au bruit peut entraîner des maladies mentales et physiologiques telles que : l'anxiété, le stress émotionnel, la nervosité, les nausées, le mal de tête, l'instabilité, l'impuissance sexuel, les sauts d'humeur, les conflits sociaux. Et parfois même, les gens peuvent devenir névrosé, psychotique et hystérique... Une étude a montré que des enquêtes avaient été menées dans différents pays auprès de personnes exposées au bruit aéronautique.

Ces enquêtes avaient mis en évidence certains effets extra-auditifs du bruit : troubles du sommeil, pathologies cardiovasculaires, pathologies psychiatriques et répercussions psychologiques... Autour de Roissy pourtant, aucune étude de grande envergure n'a été réalisée. Seule une étude préliminaire auprès de sept généralistes a tenté en 1996-1997 d'évaluer les effets du stress environnemental sur la santé. De plus, cette étude n'était pas ciblée sur le bruit aérien, elle analysait également les nuisances au travail et dans les transports.

Quand les défenses de l'organisme sont débordées par le stress, il se constitue une maladie, un état pathologique franc, que de nombreuses enquêtes internationales ont confirmés : dépression nerveuse, crise d'angoisse, anxiété généralisée, repli sur soi, isolement relationnel, sentiment d'impuissance, trouble du sommeil (*réveil nocturne, difficultés pour se rendormir*), perturbations du comportement individuel et du climat social, irritabilité et instabilité émotionnelle, malaises divers et une tension artérielle un peu élevée. Tout ceci peut nécessiter un recours aux soins spécialisés et à des hospitalisations psychiatriques. De plus, nous remarquons un taux de suicide plus important chez les riverains des aéroports, un accroissement des décès cardio-vasculaires au-delà d'un certain âge et une atteinte des fonctions immunitaire avec infections plus fréquente. Il est très important de souligner que chez les enfants, de moins bons résultats scolaires et une instabilité comportementale se font ressentir.

Afin de réduire ces nuisances sonores au quotidien, il est nécessaire de prendre des mesures aussi bien sur le lieu de travail, que dans les transports ou même chez soi. Pour cela, il existe des protections individuelles (*casques ou bouchons d'oreilles*), un traitement acoustique des locaux, un encoffrement des machines... De très nombreuses associations ont été créées afin de limiter les nuisances sonores quel que soit les lieux et/ou les circonstances pour donner une meilleure qualité de vie à la population. La réglementation actuelle peut être divisée en 4 grands domaines : l'urbanisme et les constructions ; les sources mobiles (*avion...*) et les sources fixes (*engins...*) ; les bruits au travail ; les bruits liés au comportement (*voisinage, les effets sur la santé...*).

Il existe de nombreuses réglementations acoustiques telles que pour les constructions et l'insonorisation des bâtiments. Dans les pays européens par exemple, La réglementation pour l'isolation des logements a commencé en 1955 juste après la première guerre mondiale, ce n'était alors que des recommandations telles que : « *il faut une isolation acoustique suffisante* ». Par la suite, l'arrêté du 14 juin 1969 en France, a établi les règles et les seuils limites concernant l'acoustique des constructions neuves. A partir de ce moment, il est fait une différence entre les constructions neuves et anciennes. Cet arrêté prend en compte 3 types de bruits dans le logement : les bruits aériens (*voisins, télévision...*), les bruits d'impacts (*chaises, pas, portes...*) et les bruits d'équipement (*chasse d'eau, ascenseurs...*).

En ce qui concerne les bruits aériens, ils ne doivent pas dépasser 51 dB (A), les bruits d'impacts doivent être inférieurs à 70 dB (A) et les bruits d'équipement sont limités à 30 dB (A) (*collectif*) et 35 dB(A) (*individuels*). D'une manière générale, pour avoir un confort correct dans un logement, la pièce principale ne doit pas dépasser 30 dB (A). En 1978, la réglementation a pris en compte l'isolation des façades des bâtiments vis à vis des bruits routiers. Et c'est à partir des années 1990 qu'une nouvelle réglementation des logements c'est mise en place en fonction des directives de l'Europe. La construction de bâtiments est soumise à une réglementation¹⁷⁵ qui fixe l'isolement acoustique minimal à respecter contre les bruits extérieurs.

L'isolement acoustique minimal est de 30 dB contre les bruits de l'espace extérieur pour les bâtiments d'habitation neuf. De plus, il est imposé une quantité minimale de matériaux absorbant dans les circulations communes intérieures (*couloirs, escaliers ...*) afin de réduire la durée de réverbération de ces locaux souvent bruyants¹⁷⁶.

En ce qui concerne les nuisances sonores causées par les véhicules et les matériels il existe des lois qui fixent des limites. En effet, la loi bruit¹⁷⁷ vise à sanctionner les fabricants, importateurs, vendeurs ou utilisateurs de matériels ou d'objets ayant un niveau sonore excessif et non conforme aux réglementations en vigueur. Ce texte de loi prend en compte le matériel utilisé sur les chantiers, les appareils domestiques, de jardinage, de bricolage... D'autre part, les matériels utilisés dans les transports ferroviaires et aériens ainsi que les alarmes et les dispositifs d'échappement des engins et véhicules (*deux roues, quatre roues et plus*) font l'objet d'une réglementation spécifique, hors du régime traditionnel institué par la loi bruit. Ils sont couverts par une réglementation d'origine européenne prévoyant des niveaux sonores admissibles. Pour ce qui est du matériel militaire, de police et de secours, aucune réglementation sur l'émission sonore n'est actuellement en vigueur.

¹⁷⁵ Arrêté du 30 juin 1999

¹⁷⁶ Protection des travailleurs contre le bruit : décret n°88-405 du 21 avril 1998, titre I ; Réduction du bruit des machines : décret n°92-767 du 29 juillet 1992 ; Insonorisation des locaux de travail : décret n°88-930 du 20 septembre 1988 ;

¹⁷⁷ Décret n° 95-79 du 23 janvier 1995

Le trafic routier est un ensemble de sources : voitures, 2 roues, poids lourds... qui peut parfois atteindre 65 dB (A) et plus. En 1972, une directive européenne est mise en œuvre et permet de diminuer tous les deux ou trois ans les niveaux sonores émis par les véhicules. Les nouvelles routes construites doivent répondre à des normes : elles ne doivent pas générer plus de 60 dB (A) le jour et 50 dB(A) la nuit. Il faut savoir que la recherche sur les nuisances sonores n'aboutit généralement pas à quelque chose de suffisamment concluant. En effet, les axes de recherches concernant les effets du bruit sur la santé sont très nombreux mais très peu développés à l'heure actuelle.

Nous savons pourtant qu'au-delà de 85 dB, les nuisances sonores peuvent entraîner une surdité partielle ou totale, de l'hypertension artérielle, des maladies cardio-vasculaires... De nos jours, il y a beaucoup de bruits en tout genre dans notre quotidien : marteaux piqueurs, moteurs de voitures, avions... Un des moyens que nous pourrions utiliser pour limiter ses nuisances sonores serait le vide. En effet, le bruit se propage jusqu'à nos oreilles par l'intermédiaire des molécules qui nous entourent (*air, eau...*). Le but serait donc de confiner la source du bruit dans une cloche sous vide. Il semble possible d'isoler les moteurs des avions ou des voitures sans en gêner leur fonctionnement ; les fusées fonctionnent bien dans l'espace là où il n'y a que le vide.

Même s'il n'est pas possible de faire le vide total, nous pourrions simplement diminuer le nombre de molécules et donc nous diminuerions le bruit produit par les moteurs. Cette technique ne serait utilisable que pour les moteurs électriques car les moteurs à explosion ont besoin d'une source d'oxygène. La recherche s'intéresse au paysage sonore urbain afin d'élaborer de nouvelles conceptions de la ville et de ces bruits. En effet, les architectes travaillent sur les formes que peuvent prendre les bâtiments pour atténuer les bruits. Il faut également prendre en compte les matériaux utilisés ainsi que la disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres.

Actuellement, le « *contrôle actif* » est un projet qui permet de contrecarrer le bruit par le bruit. Cette technique récente est en train d'être testée et sera peut-être commercialisée dans le futur. Elle permet à l'heure actuelle de diminuer les nuisances sonores de 13 à 15 dB (A) ce qui n'est pas négligeable.

XIII.3. LES NUISANCES ELECTROMAGNETIQUES

Une onde électromagnétique (*OEM*) est l'association d'un champ électrique périodique sinusoïdal, E , et d'un champ magnétique B , sinusoïdal de même période, perpendiculaire en tous points. Propriétés :

- ✎ dans le vide, l'OEM se propage perpendiculairement au plan (*vecteurs E et B*) à une vitesse constante ($c = 3.108 \text{ m.s}^{-1}$) ;
- ✎ la propagation de cette onde, plane, est rectiligne.

Les Micro-ondes sont une forme d'énergie électromagnétique, comme les vagues légères ou les ondes radio, et occupent une partie du spectre électromagnétique de la puissance ou de l'énergie. Les micro-ondes sont des vagues très courtes d'énergie électromagnétique qui voyagent à la vitesse de la lumière (3.108 m/s). Dans notre âge de technologie moderne, les microondes sont utilisées pour transmettre à longue distance les signaux téléphoniques, les programmes de télévision, et des données informatiques d'un côté à l'autre de la terre ou vers un satellite dans l'espace. Mais les micro-ondes sont plus familièrement utilisées comme une source d'énergie pour faire cuire la nourriture. En terme plus simple, un four à micro-onde délabre et change la structure moléculaire de la nourriture par le processus de rayonnement.

Des fréquences de 1 à 30GHz s'appellent habituellement des « *microondes* ». Un four à micro-ondes utilise des micro-ondes pour chauffer la nourriture. Les microondes sont les ondes radio. Dans le cas des fours à micro-ondes, la fréquence d'onde radio communément utilisée est à peu près de 2500 mégahertz (*2.5 gigahertz*). Les ondes radio dans cette gamme de fréquence ont une propriété intéressante : elles sont absorbées par l'eau, les graisses et les sucres. Quand elles sont absorbées, elles sont directement converties en mouvement atomique – chaleur. Les micro-ondes ont, dans cette gamme de fréquence, une autre propriété intéressante : elles ne sont pas absorbées par la plupart des plastiques, verres ou céramiques.

Le métal reflète les micro-ondes, donc quel que soit le récipient en métal, le four ne pourra pas fonctionner. On a de nos jours, répertorié de nombreuses nuisances électromagnétiques, tel que : Les armes EM, Les fours à micro-ondes, La pollution, Les rayonnements EM Mais celui auquel on a à faire quotidiennement sont les micro-ondes, certaines études ont démontrées que le rayonnement émis par un téléphone mobile est semblable à celui d'un four à micro-ondes : Nous savons que : Les téléphones cellulaires augmentent le risque de cancer du cerveau (*tumeur au cerveau*) ; Les téléphones cellulaires peuvent entraîner des dommages biologiques à travers des effets thermiques.

Les téléphones cellulaires causent des symptômes : maux de têtes, maux d'oreilles, trouble de la vision, perte de mémoire à court terme, engourdissement, picotement, sensations de brûlure, trouble du sommeil, fatigue et inquiétudes. Les brins simple et double d'ADN se brisent dans les cellules du cerveau et augmentent après une exposition aux fréquences radio (FR). L'exposition continue aux ondes et aux vibrations FR (*téléphone mobile*) endommage l'ADN. Les brins doubles se brisent et s'ils ne sont pas réparés conduisent à des cellules mortes. Les recherches par d'autres scientifiques indiquent qu'une utilisation prolongée des téléphones mobiles peut causer des tâches de chaleur qui se développent à l'intérieur du cerveau, causant des dommages qui peuvent conduire à la maladie d'Alzheimer ou au cancer du cerveau (*tumeur cérébral*).

Dr Henry Lai et Dr N. P. Singh de l'université de Washington à Seattle pensent que les rayonnements changent les cellules des membranes du cerveau chez les rats. Les effets sont si graves que cela pourrait affecter le cerveau humain. Symptômes et maladies liés aux ondes électromagnétiques:

- ✗ Maladie d'Alzheimer ;
- ✗ Inquiétudes ;
- ✗ Asthme ;
- ✗ Malformation de naissance ;
- ✗ Augmentation de tension artérielle ;
- ✗ Cancer et tumeur du cerveau ;
- ✗ Sensations brûlures ;
- ✗ Sensibilité chimique ;

- ✗ Fatigue chronique ;
- ✗ Stresse chronique ;
- ✗ Dépression ;
- ✗ Diabète ;
- ✗ Désorientation ;
- ✗ Epilepsie ;
- ✗ Disfonctionnement de la vue et de l'ouïe ;
- ✗ Rougeurs faciales ;
- ✗ Maladie cardiaque ;
- ✗ Rein endommagé ;
- ✗ Leucémie et autres cancers du sang ;
- ✗ Réductions mélatonine ;
- ✗ Perte de mémoire ;
- ✗ Méningites ;
- ✗ Méningiomes ;
- ✗ Scléroses en plaques ;
- ✗ Symptômes Neurocognitifs ;
- ✗ Engourdissement ;
- ✗ Cancers de la gorge (*thyroïde*) ;
- ✗ Interférences avec les pacemakers ;
- ✗ Douleurs ;
- ✗ Maladie de Parkinson ;
- ✗ Tumeurs des glandes Parotides ;
- ✗ Vieillesse prématuré ;
- ✗ Altération du temps de réaction

Des recherches récentes ont mis en évidence la complexité de la relation entre le bruit mesuré et la nuisance éprouvée : non proportionnalité entre la proximité des sources et la gêne ressentie, effets sanitaires difficilement mesurables, lien fort avec la qualité de vie ressentie, poids de l'activité professionnelle. Depuis bientôt trente ans, les chercheurs constatent un vieillissement prématuré de l'audition des populations des pays développés. Ce phénomène est tout autant imputable au vieillissement physiologique qu'aux agressions sonores communes à nos sociétés. Industrialisation, développement des moyens de transport, exode urbain, et apparition des musiques électroniquement amplifiées semblent être les causes

premières du phénomène qui touche surtout la jeunesse. Le bruit est responsable de nombreux troubles que nous avons décrits dans ce dossier, néanmoins il existe des solutions qui limitent les gênes occasionnées comme par exemple l'isolation des logements.

Les ondes électromagnétiques sont extrêmement utiles, et donc présentes dans notre vie de tous les jours. Aujourd'hui des millions de personnes les utilisent sous une forme ou une autre, malgré leur caractère nocif. En effet les portables, les fours à microonde ou encore les plaques à induction font partie de nos vies et peu de personnes se soucient de leurs effets. Les études réalisées restent trop peu nombreuses et ne débouchent pas sur des recherches poussées. L'état des connaissances actuelles présente des lacunes qui doivent être comblées pour permettre une meilleure évaluation des risques sanitaires.

Le contexte économique est peut-être une des causes de ce non sensibilisation des usagers lorsque l'on sait que chaque année, le marché mondial de la téléphonie mobile affiche une envolée par rapport à l'année précédente. On estime à plus d'un milliard le nombre de mobiles vendus chaque année tandis que 2,6 milliards ont en circulation dans le monde en 2009. A l'état actuel de nos recherches, nous n'avons trouvé aucune explication scientifique sur le fonctionnement des réducteurs d'ondes. Il semblerait que les chercheurs n'arrivent pas à se mettre d'accord sur le bien-fondé de ces réducteurs d'ondes. Les informations que nous détenons sur les « stop-ondes » sont contradictoires sur plusieurs points :

- ✗ L'efficacité ;
- ✗ Le prix ;
- ✗ La composition.

CHAPITRE XIV. EFFETS DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DE TELEPHONIE MOBILE SUR LE FONCTIONNEMENT DU CERVEAU ET INCIDENCES SUR LE SOMMEIL ET AUTRES SYMPTOMES.

Depuis de nombreuses années les champs électromagnétiques en général et ceux de la téléphonie mobile en particulier divisent le monde scientifique. Début 2001, un rapport français¹⁷⁸ conclut à l'absence de risque « *en fonction des connaissances actuelles* »; mais depuis cette date, les publications scientifiques c'est à dire les comptes rendus d'expériences réelles confirment la nocivité de ces ondes. L'effet qui est complètement prouvé depuis quelques années mais jusqu'à l'an 2002 certains doutaient des effets sanitaires (*les maladies*) et de leur survenue chez les riverains d'antennes-relais. Aujourd'hui les effets sur le cerveau des riverains, les conséquences en terme de troubles du sommeil, de fatigue ou de maux de tête sont parfaitement établis (*À partir de 0,6 V/m*).

A la fois effet biologique et effet sanitaire, la baisse de l'immunité aux doses de radiations rencontrées chez les riverains d'antennes relais est également parfaitement établie (*à partir de 1,3 V/m*). Il n'y a aujourd'hui plus aucun doute sur l'existence de ces effets à faible dose et les conséquences en terme de santé individuelle ou publique peuvent être considérables à la fois pour les utilisateurs de téléphones portables ou pour les riverains d'antennes relais pour lesquels il est également prouvé que le temps d'exposition est un facteur aggravant (*valeur calculée de 0,2 V/m*). « *Comprendre comment* », un maillon essentiel de la preuve des effets néfastes des ondes de la téléphonie mobile.

Longtemps ignoré parce que « *impossible à comprendre* » en fonction des « *connaissances scientifiques actuelles* », la nocivité des ondes électromagnétiques à très faible dose est maintenant bien comprise tant au niveau moléculaire que cellulaire. Les normes actuelles sont bien sûr inadéquates puisqu'elles ne garantissent absolument pas la protection de la santé individuelle et la façon de définir celles qu'il faudrait adopter pour ne voir apparaître aucune maladie est assez simple.

¹⁷⁸ le rapport Zmirou

Depuis plusieurs années, les compagnies d'assurances et de réassurances ne couvrent plus les risques liés aux champs électromagnétiques. Comment les opérateurs assurent-ils donc leur couverture en responsabilité civile ? L'argument des assureurs est: les compagnies d'assurances n'assurent pas les risques prévisibles. Les publications concernant le cas particulier des micro-ondes émises par les téléphones GSM ou leurs bases sont bien sûr peu nombreuses vu la récente mise sur le marché de ces technologies, mais de nombreuses études mentionnent depuis longtemps le "syndrome des micro-ondes" caractérisé principalement par un syndrome asthénique (*fatigabilité, irritabilité, nausées, céphalées, anorexie, dépression*). A ce moment, les hommes politiques ne se sont pas préoccupés du problème et les opérateurs de téléphonie mobile ont installé leurs antennes en s'appuyant sur le fait que les puissances utilisées sont faibles.

Ils masquaient ainsi les particularités de cette technologie: la puissance annoncée est une valeur moyenne au cours du temps, d'une part, alors que les émissions se font par paquets (*micro-ondes pulsées*) et dans l'espace d'autre part parce que ces émissions sont directionnelles. De même la composition des ondes n'est pas abordée alors que la modulation entre extrêmement basses et hautes fréquences couplée avec une modulation de phase qui caractérise les émissions GSM est justement telle qu'elle pourrait interagir avec le corps humain de façon beaucoup plus importante que les autres ondes radio et micro-ondes telles celles de la TV ou de la FM ou des radars.

L'ICNIRP¹⁷⁹ en 1998 établit des recommandations de protection qui concernent les effets thermiques des micro-ondes, ces recommandations sont ensuite reprises par l'Organisation Mondiale de la Santé et par l'Union Européenne. De nombreux groupements d'experts au niveau national ou international rendent leurs conclusions, de nombreuses publications font état des dernières recherches. Pour la France on peut trouver des publications telles : « *Danger des téléphones cellulaires et de leurs antennes relais*¹⁸⁰ ». « *Il faut appliquer le principe de précaution vis-à-vis des antennes relais de téléphonie mobile* »¹⁸¹.

¹⁷⁹ Comité International de Protection contre les Radiation Non-Ionisantes

¹⁸⁰ R. SANTINI et al. *Pathol. Biol.* 2000-48:525-528

¹⁸¹ Prof. R. SANTINI (*La revue du Praticien Mars 2001*) Le rapport à la Direction Générale de la Santé par un groupe d'experts dont le Dr ZMIROU (Janvier 2001).

Dans la conclusion de ce rapport les experts indiquent la présence d'effets thermiques dus aux micro-ondes et reprenant la recommandation de l'Union Européenne du 12 juillet 1999 proposant des normes de valeurs limitant d'exposition aux micro-ondes qui seront inscrites dans tous les pays du monde où ces appareils sont utilisés¹⁸². Mais ce rapport fait également mention d'effets biologiques non-thermiques¹⁸³ dont les conséquences sont aujourd'hui mal connues et l'hypothèse d'effets sanitaires non thermiques associés aux champs de fréquences radio de faible niveau ne peut être exclue, en l'état actuel des connaissances. Ils indiquent ensuite que la priorité de la recherche doit s'effectuer dans la direction des téléphones eux-mêmes et que dans le cas des antennes relais il n'existe aucune méthode épidémiologique permettant de donner des résultats valides concernant les risques qui doivent être faibles.

Leur proposition de mettre en place une surveillance épidémiologique concernant le « *syndrome des micro-ondes* » n'a pas été suivi d'effet. La surveillance est donc dévolue aux études épidémiologiques non spécifiques concernant Ce que regrettent d'ailleurs Lorrain et Raoul, Sénateurs français, chargé par l'Office Parlementaire d'Evaluation de Choix Scientifiques et Technologiques de la rédaction du rapport « *Téléphonie mobile et santé* », Les résultats sont sans doute à attendre dans une dizaine d'année ou plus. Et du fait que les effets des micro-ondes des GSM sont cumulatives, c'est dès maintenant qu'il faut appliquer le Principe de Précaution.

Dans d'autres pays, les conclusions d'autres rapports sont légèrement différentes (*Angleterre*) ou carrément opposés, avec par exemple la publication du *Prof. Neil CHERRY* qui démontre que les effets non thermiques sont bien prouvés et montre, en analysant un très grand nombre de publications, les insuffisances de la publication de l'ICNIRP. Les contradictions entre les différentes publications et les doutes existent donc toujours, ce qui justifie encore une fois l'application du Principe de Précaution, ce que le groupe d'experts demande d'ailleurs.

¹⁸² Il serait injuste de ne pas citer les rares hommes politiques qui se sont très tôt préoccupés de ce problème : les députés européens P. LANNOYE, G. TAMINO. Dans le rapport de G. TAMINO est cité le livre de 1998 : « *Téléphones cellulaires Danger ?* » (Édition Marco Pietteur, Liège) du Dr ès science R. SANTINI qui présente plus de 150 références bibliographiques sur le sujet et préfacé par P. LANNOYE Docteur ès Sciences physiques. Il faut également signaler la publication du Prof. R. SANTINI en 1999 dans la Presse Médicale (28: p 1884-1886) d'une synthèse : « *Les téléphones cellulaires et leurs antennes relais: risques pour la santé* ».

¹⁸³ p 181 du Rapport Zmirou

En 2001 encore, l'International Agency for Research on Cancer (*IARC*) qui fait partie de l'Organisation Mondiale de la Santé classe les champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences (*ELF*) dans les « *carcinogènes humains possibles* ». Il s'agit de basses fréquences théoriquement non utilisées par les bases de téléphonie mobiles mais il a été démontré que les bases GSM émettent également en basses et très basses fréquences, ce fait est d'ailleurs accepté par tous en 2002. Au niveau international la finalisation du projet international de l'Organisation Mondiale de la Santé concernant les champs électromagnétiques¹⁸⁴ : Certains résultats des études en cours seront connus dans les années qui viennent⁵⁰ : Ce qui aura de l'importance pour les générations à venir, mais pas pour ceux qui deviendront malades. D'où la nécessité d'appliquer le Principe de Précaution dès maintenant.

D'autres études concernant les champs électromagnétiques non GSM sont bien sûr en cours avec par exemple une grande étude épidémiologique Américaine et revue de publications¹⁸⁵ sur les champs émis par les lignes électriques et montrant une augmentation du nombre de cancers, de leucémies infantiles, et de fausses couches. En Septembre 2002, de nombreux scientifiques de renommée internationale, déclarent dans la résolution de Catania reconnaître les effets non thermiques et l'existence d'effets induits par les champs électromagnétiques pouvant être défavorables pour la santé.

Ils demandent instamment à l'Organisation Mondiale de la Santé de proposer des recommandations plus restrictives basées sur la santé et non sur l'intérêt des industriels de la téléphonie mobile. Le 9 Octobre 2002, un collectif de médecins et de *scientifiques allemands du Baden Württemberg* appelée « *Interdisziplinäre Gesellschaft für Umweltmedizin* »¹⁸⁶ à Freiburg. Cette association scientifique indépendante a publié « *l'Appel de Fribourg* ». Dans cet appel, les praticiens et les scientifiques indiquent que de plus en plus de personnes sont victimes des ondes des antennes relais et des téléphones mobiles.

¹⁸⁴ *l'EMF PROJECT* (www.who.int/peh-emf/) 502003 *WHO/ICNIRP Health Risk Assessment of Static and Extremely Low Frequency Fields 2005 IARC carcinogen identification and evaluation of Radio Frequency Fields 2006-7 WHO/ICNIRP Health Risk Assessment of Radio Frequency Field.*

¹⁸⁵ R. NEUTRA et al.

¹⁸⁶ *Société Interdisciplinaire de Médecine Environnementale – IGUMED.*

Ils observent chez ces personnes: des troubles de l'apprentissage, de la concentration et du comportement chez les enfants, des troubles de la tension artérielle, des troubles cardiaques, des infarctus et des accidents vasculaires cérébraux, des maladies à dégénérescence neurologique (*Par exemple: la maladie d'Alzheimer*) et épilepsies, des maladies cancéreuses par exemple les Leucémies et tumeurs du cerveau chez les adultes. Ils notent également d'autres troubles souvent interprétés à tort comme psychosomatiques: maux de tête et migraines, fatigue chronique, inquiétude intérieure, insomnies et asthénie, acouphènes, prédisposition aux infections, douleurs nerveuses et douleurs dans les parties molles, que l'on ne peut expliquer par des raisons normales etc.

En France une enquête sanitaire est enfin réalisée sur les riverains d'antennes relais: "Enquête sur la santé de riverains de antennes relais de téléphonie mobile " par R. SANTINI et al. Laquelle montre une corrélation entre la distance à l'antenne et la fréquence des plaintes des différents symptômes faisant partie du syndrome asthénique décrit plus haut. Fin Mai 2002, un colloque fut organisé par la Société Bouygues Telecom, sous l'égide de l'Académie Nationale Française de Médecine. Dans ce colloque il est beaucoup question du coût financier de l'application du Principe de Précaution (*les opérateurs sont pourtant des sociétés privées*) mais le représentant de l'Organisation Mondiale de la Santé le Docteur Larry Goldstein remarque que le coût actuel sera toujours inférieur aux bénéfices que l'on pourra en tirer et demande donc pourquoi se priver de l'application du Principe de Précaution? En Juillet le *Prof. G. Hyland* récapitule les mécanismes des effets non-thermiques ainsi que les différentes pathologies entraînées par les antennes relais.

Pour l'usage des téléphones mobiles, de simples précautions sont utilisables avec en premier lieu l'utilisation de kit piéton ou le fait de garder le moins de temps possible le téléphone à moins de 15 cm du corps, il s'agit du propre choix de chacun, à condition d'être correctement informés. Pour les stations-relais personne n'a le droit de mettre la santé des populations en danger pour des raisons commerciales et, devant les incertitudes scientifiques actuelles et compte-tenu des effets probablement cumulatifs des micro-ondes d'une part, et du long délai avant les résultats des études en cours d'autre part, nous demandons l'application du Principe de Précaution concernant les antennes émettrices de téléphonie mobile avec instauration d'un périmètre d'exclusion autour de toute habitation de 400 mètres, en attendant dans 10 ans le résultat de toutes les enquêtes épidémiologiques.

A la fin de 2002 les nombreuses publications permettent de faire le point sur les effets sur la santé, il ne s'agit plus de principe de précaution mais bien d'effets néfastes avérés. En 2002 le consensus semble total sur l'acceptation des effets des champs électromagnétiques pulsés sur l'activité électrique cérébrale mesurée par EEG et traduits par des modifications aux résultats de diverses tâches ou dans le sommeil, ce qui est plus discuté et le fait que ces effets biologiques¹⁸⁷ puissent être considérés comme des effets sanitaires. Il est montré que ces effets sanitaires, apparaissant à des doses inférieures aux valeurs limites actuelles (*donc en effets non-thermiques*) semblent pourtant évidents à de nombreux scientifiques et soient déjà mesurés dans certaines publications. Si ces effets ne sont pas aussi menaçants que les effets éventuels en termes de cancer ils représentent quand même un enjeu de santé individuel si ce n'est de santé publique. Les questions éthiques doivent également être évoquées. Des publications scientifiques montrant un effet sur le fonctionnement du cerveau existent depuis de nombreuses années mais sont parfois contradictoires. Elles nécessitent surtout d'être vérifiées.

Ainsi les scientifiques exposent des volontaires à des antennes émettant les mêmes ondes (*champs électromagnétiques pulsés - PEMF*) que les téléphones portables ou leurs antennes relais, selon les doses appliquées. Ensuite on évalue pendant à l'état d'éveil soit les capacités à répondre à des questions, soit la vitesse de réaction à un stimulus visuel ou auditif. Les ondes émises par le cerveau (*électroencéphalogramme = EEG*) pendant l'état d'éveil ou pendant le sommeil sont également enregistrées. Ce qui a été montré par les premières expérimentations il y a 3 à 7 ans c'est une modification des résultats de tests psychologiques, des modifications de l'EEG avec surtout des diminutions d'une phase particulière du sommeil : le sommeil paradoxal pendant lequel se produisent les rêves avec des mouvements rapides des yeux (*phase REM*); cette phase est indispensable à un sommeil correct. Les modifications vues à l'EEG sont ce qu'on appelle un « *effet biologique* ».

¹⁸⁷ Bilan de ces différents effets en 2001 par Bortkiewicz

Toute modification de ces paramètres entraîne des troubles du sommeil, de la fatigue par mauvaise récupération, c'est ce qu'on appelle un "effet sanitaire" réversible pour les utilisateurs de portables mais il n'y a pas de réversibilité dans le cas des riverains d'antennes relais puisqu'ils sont soumis en permanence aux PEMF avec de plus des variations de puissance selon l'heure de la journée. Les effets des champs de micro-ondes pulsées de la téléphonie mobile sur le cerveau sont donc démontrés et reconnus par tous. Ces effets, dits « *biologiques* » sont parfaitement mesurables que ce soit par examen des modifications de l'électroencéphalogramme soit par les modifications, par rapport à des témoins non exposés, des tests d'attention, de réaction ou de mémoire. Les tests d'attention sont le plus souvent améliorés et ceux de mémoire altérés, mais quel que soit le sens de la modification c'est bien cette dernière qui est importante.

D'autre part la liaison avec les troubles du sommeil est démontrée par les expériences qui l'ont explorée; ces mêmes troubles se retrouvant parmi les enquêtes épidémiologiques citées. Il est à noter que les mécanismes d'action sont en rapport avec la nature de l'onde et particulièrement avec sa fréquence et non avec son intensité; les puissances dans les expériences de provocation sont parfaitement applicables aux antennes-relais dont les riverains reçoivent en permanence des ondes modulées en ELF, à 217 Hz, 4,2 Hz ou 8,3 Hz. L'importance relative de ces modulations est fonction du taux d'occupation des émissions, ce qui entraîne donc une variabilité des expositions en fonction de chaque antenne et en fonction du temps (*sans parler des sources extrêmement basses fréquences extérieures: lignes et transformateurs électriques, et/ou intérieures: machines-outils, ordinateurs, appareils domestiques et électroménagers*).

En s'en tenant aux simples troubles de l'EEG et du sommeil, on peut affirmer qu'ils ont été démontrés et les mécanismes d'action établis, les effets sur l'être humain ou sur la population ont également été quantifiés. Toutefois ces effets ne sont pas qualifiés de sanitaires par les responsables, qu'ils soient politiques ou en charge de la santé publique. Ces effets sont donc supportés par les utilisateurs de téléphone mobile sans qu'ils en soient prévenus ainsi qu'aux populations riveraines d'antennes relais sans leur consentement.

Cette dernière phrase révèle ce qui est peut être une question particulièrement délicate au point de vue éthique : ces effets sont reconnus depuis longtemps, dès 1975 par A. FREY pour les effets des micro-ondes sur la barrière hémato-méningée et dans le rapport Zmirou qui reconnaît également les modifications des fonctions cognitives. Ce qui veut dire que les responsables ont accepté que chez les riverains d'antennes relais, l'activité cérébrale, avec tout ce que cela implique de noblesse et d'identité humaine, soit modifiée SANS LEUR CONSENTEMENT. Une personne qui, en accord avec la loi actuelle, place des antennes relais sur le toit de son domicile transforme ainsi ses voisins en cobayes sans leur consentement éclairé. Des cobayes pour lesquels les premiers effets biologiques décrits ci-dessus sont connus avec certitude et qui sont considérés comme des maladies par le "cobaye" lui-même ou par son médecin traitant, justifiant souvent le recours à des médicaments. Des « *cobayes* » pour lesquels des effets à long terme sont désormais prévisibles et considérés comme graves puisque les effets non-thermiques sont maintenant démontrés.

CHAPITRE XV. CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DES TELEPHONES PORTABLES ET ANTENNES RELAIS, IMMUNITE ET CONSEQUENCES.

Parmi les effets sanitaires prouvés des champs électromagnétiques, la baisse de l'immunité¹⁸⁸ prend une place prépondérante. En effet toute atteinte à l'immunité des individus est à la fois un effet biologique et un effet sanitaire (*Syndrome d'Immunodéficience*) dont les conséquences sont très nombreuses et variées avec principalement une moindre résistance aux infections mais également des conséquences plus graves, telles les fausses couches, ou prévisibles telles les maladies auto-immunes ou le développement de cancer. Contrairement à ce qui était envisagé il y a quelques années, les mécanismes d'action des champs électromagnétiques ne font pas intervenir de rupture des liaisons chimiques.

Il est bien établi aujourd'hui que le mécanisme débute au niveau ionique des membranes cellulaires avec modifications des flux d'ions tels le calcium ce qui entraîne des changements électriques à l'intérieur des cellules et des modifications de l'expression des gènes, des quantités et des activités des protéines : protéine de choc thermique (*HSP*) chargée de la protection des cellules contre des multiplications anormales, mais aussi de nombreuses autres protéines parmi lesquelles on retrouvera les anticorps ou les protéines chargées des mécanismes de phagocytose (*c'est-à-dire de l'immunité non spécifique*).

Concernant les mécanismes spécifiquement liés à la baisse de l'immunité, certaines publications montrent la complexité du sujet pouvant expliquer un certain retard dans les explications scientifiques ou la nécessité de ne pas oublier que l'être humain est complexe et qu'il ne faut donc pas avoir l'esprit trop rigide¹⁸⁹. Des études « *IN VITRO* »¹⁹⁰ sur les cellules ont montré depuis longtemps une action des champs électromagnétiques sur les lymphocytes¹⁹¹ avec diminution de la cytotoxicité¹⁹².

¹⁸⁸ Immunité d'un corps humain, c'est la capacité de ce dernier à résister aux maladies

¹⁸⁹ Marino et al. 2002

¹⁹⁰ Une opération biologique effectuée en dehors de l'organisme.

¹⁹¹ C'est la variété des globules blancs du sang qui jouent un rôle essentiel dans l'immunité de l'organisme

¹⁹² La cytotoxicité, c'est le fait qu'un organisme a un pouvoir destructeur envers les cellules

Ces travaux ont été confirmés par exemple Belyaev et al. en 2002. Lyle et al, avaient déjà montré l'importance de la modulation sur les effets négatifs des champs électromagnétiques de la téléphonie mobile. Des études « *IN VIVO* »¹⁹³ : Lors d'études en laboratoire sur des animaux, l'importance de la modulation a été montré également par Veyret B. en 1991: les variations de la réponse anticorps sont fonction de la modulation. Travaux confirmés ensuite par Elekes et al, en 1996 à 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. D'autres études ont confirmé l'action des champs électromagnétiques sur l'immunité non spécifique : Kolomytseva et al. En 2002 à 150 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

D'autres équipes ont montré ces mêmes actions et montré également l'importance du temps d'exposition à 150 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ⁶², à 2.75 μT ⁶³, à 0,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (1,3 V/m)¹⁹⁴. Ce paramètre de la durée du temps d'exposition explique, d'une part, certaines publications négatives et, d'autre part, prend toute son importance pour les riverains d'antennes relais exposés de façon chronique aux ondes. D'autres équipes ont confirmé les actions sur l'hématopoïèse en général¹⁹⁵.

XV.1. ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES

Les études spécifiques concernant les effets des champs électromagnétiques sur l'immunité humaine sont beaucoup plus rares (*en général sont plutôt mesurés par les conséquences « visibles »: fausses couches, leucémies, cancers*) et on peut signaler l'étude de *Boscolo* en 2001 qui étudie les riverains d'un émetteur radio-TV dont l'environnement électromagnétique est à 4,9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (4,3 V/m) et chez lesquels on a constaté une modification des lymphocytes sanguins avec diminution de l'activité cytotoxique, confirmant ainsi les études « *in vivo* » et « *in vitro* », ainsi que celles de Bonhomme et al, en 1998 montrant des modifications hématologiques lymphocytaires chez des travailleurs proches de transformateurs électriques.

¹⁹³ *In vivo*, c'est en effet une opération qui s'effectue dans l'organisme

¹⁹⁴ Bonhomme et al. en 1998, Lushnikov et al. en 2001

¹⁹⁵ Busljeta et al, en 2001 et 2002

Dans ce domaine d'affaiblissement de l'immunité tous les paramètres sont réunis: explication des mécanismes, études « *in vivo* » et « *in vitro* », études sur l'homme et donc effets biologiques et effets sanitaires. Ces différents effets immunologiques apparaissent dès $0,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit $1,3 \text{ V}/\text{m}$ (*fréquent chez les riverains d'antennes relais*) mais il faudrait en plus tenir compte d'un facteur de sécurité, du fait des variations individuelles et du facteur temps d'exposition. Les scientifiques demandent pour l'exposition résidentielle un facteur de 50 ce qui donnerait ici : $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit $0,194 \text{ V}/\text{m}$ qu'il ne faudrait jamais dépasser.

Si en 2000-2001 il était encore possible de s'interroger sur les effets négatifs des micro-ondes pulsées de téléphonie mobile, ce n'est plus le cas aujourd'hui en 20016toutefois les publications font état depuis longtemps de l'existence d'effets non-thermiques¹⁹⁶. Durant l'année 2002 ces effets non thermiques se voient confirmés dans leurs mécanismes d'action ainsi que leurs effets biologiques sur les cellules éventuellement avec génotoxicité ou par action sur le cerveau ou sur l'immunité et également les effets sanitaires (*c'est à dire des maladies avérées*) par des études épidémiologiques¹⁹⁷.

Les pathologies dont l'augmentation en découle sont soit graves: leucémies infantiles, cancer, soit plus légères: troubles du sommeil, dépression, migraines, fatigue. En janvier 2005, une association de médecins et de chercheurs finlandais dans une requête aux membres du Parlement Européen, l'Appel d'Helsinki, demande l'application du Principe de Précaution en matière d'ondes électromagnétiques et spécialement de fréquences radio et de micro-ondes. Ils réclament l'application de nouvelles normes de sécurité au sein de l'Union Européenne. Ils déplorent que les normes et recommandations actuelles en Europe ne tiennent pas compte des effets biologiques démontrés qui sont susceptibles de léser à court ou à long terme les enfants ainsi que d'autres personnes à risques¹⁹⁸.

¹⁹⁶ p181, 2, 3, 17 du rapport français et p.16987, §2, du Moniteur belge du 22.05.2001

¹⁹⁷ Le décret français du 3 Mai 2002, l'Arrêté Royal belge du 29 Avril 2001 ainsi que l'Ordonnance suisse sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (O.R.N.I.) ne concernent que les effets thermiques de ces champs électromagnétiques (p.15 du rapport français et p.14, 2.2 du document 302 du BUWAL-Suisse).

¹⁹⁸ EFM-Team.Finland@jippii.fi

En juillet 2005, une lettre ouverte est adressée au Premier Ministre de Bavière (R.F.A.), E. Stoiber, afin de l'informer de troubles graves de la santé produits par les téléphones mobiles, les stations de base et les téléphones sans fil DECT, ainsi que les systèmes WI-FI et Bluetooth. Cette lettre appelée « *Appel de Bamberg* » émane de groupes de médecins bavarois qui ont constaté des altérations nettes de l'état de santé d'habitants de quartiers exposés à des antennes relais de téléphonie mobile. Ces constatations ont été corroborées par des mesures de champs électromagnétiques réalisées au domicile de ces personnes. Dans cette lettre figure un rapport circonstancié expliquant entre autres que les troubles cessent lorsque les personnes concernées changent de domicile ou font protéger leurs lieux de vie par des « *blindages* » métalliques.

Ces médecins demandent que des études officielles concernant l'impact des antennes relais de téléphonie mobile sur la santé des habitants proches soient réalisées sous les auspices du Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement. Toujours en 2005, l'Association des Médecins Irlandais de l'Environnement (I.D.E.A.)¹⁹⁹ constate que de plus en plus de personnes en Irlande, se plaignent de symptômes clairement en relation avec l'exposition aux rayonnements électromagnétiques. Elle demande aux autorités que des réglementations beaucoup plus sévères soient appliquées quant à l'exposition du public aux micro-ondes émises par les antennes relais de téléphonie mobile. Ces effets non-thermiques apparaissent à des niveaux très bas de micro-ondes avec un effet dose/réponse (*proximité ou puissance des émetteurs /effets ou maladies*) ou spécifiquement temps d'exposition/effets; il est donc essentiel et urgent d'appliquer des distances/puissances de Sécurité aux antennes-relais afin que personne ne puisse séjourner dans le rayonnement direct de ces émetteurs à moins de 300 mètres ou alors à moins de 0,3 V/m en faisceau direct.

En 2004, au vu des témoignages et des publications les plus récentes, il est urgent d'agir ; En ce qui concerne les téléphones mobiles, au vu des dernières publications, il est urgent d'informer l'ensemble des utilisateurs des précautions à prendre.

¹⁹⁹ www.ideaireland.org

XV.2. LES LIMITES D'EXPOSITIONS

Les normes actuelles En France elles reposent sur le décret du 3 Mai 2002. Ces valeurs reprennent celles que l'ICNIRP (*Comité International de Protection contre les Radiations Non Ionisantes*) avait établies en ne considérant sur les effets thermiques à partir d'expérimentation animales datant des années 1980-1990. A la valeur la plus basse ayant montré un effet, ils appliquent un facteur 10 pour les expositions occasionnelles (*travailleurs*) et de 50 pour les expositions résidentielles (*le grand public*). Les valeurs de l'ICNIRP protègent uniquement contre les effets de chauffage des champs électromagnétiques (*CEM*). Elles ont été reprises dans la recommandation du Conseil de l'Union Européenne du 12 juillet 1999 et dans le rapport Zmirou. Elles sont de $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*1800 MHz*) ou de $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*900 MHz*) et pour une exposition de six minutes. Elles s'appliquent très mal à l'utilisateur de portable "bavard" et aux riverains d'antennes relais.

En Belgique, l'Arrêté Royal (*Aelvoet*) du 29 avril 2001 fixe à $29,1 \text{V}/\text{m}$ soit $225 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*1800 MHz*) et à $20,6 \text{V}/\text{m}$ soit $112 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*900 MHz*) les normes d'exposition maximale aux antennes relais. En Suisse, l'Ordonnance sur la protection contre le rayonnement ionisant (*O.R.N.I.*) du 23 décembre 1999 fixe à $58,33 \text{V}/\text{m}$, soit $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*pour 1800 MHz*) ou à $41,25 \text{V}/\text{m}$ soit $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*pour 900 MHz*) l'exposition du public aux radiations de téléphonie mobile.

Comme pour le décret français, ce sont les valeurs recommandées par l'ICNIRP qui ont été purement et simplement transcrites sous forme de loi dans l'O.R.N.I. Le Grand-Duché de Luxembourg a dès le 19 décembre 2000, adopté une norme plus prudente (*bien qu'insuffisante*) de $3 \text{V}/\text{m}$ soit $2,38 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (valeur d'émission applicable à toutes des fréquences), ce qui est la Norme Européenne de Compatibilité Electromagnétique (89/336/CE) (*Norme de protection contre les interférences, applicable aux appareils électriques et électroniques*). Dans les lignes suivantes nous envisagerons donc les limites d'exposition nécessaires au point de vue médical, c'est-à-dire pour éviter de voir apparaître des pathologies.

A partir des études de provocation sur l'homme montrant un effet sur l'EEG : Les études d'exposition sur l'homme ayant montré un effet visible sur l'EEG ou sur des résultats à des tâches cognitives ont été faites à des puissances fortes (simulant l'utilisation du téléphone) ou faibles (*que l'on retrouve avec les antennes-relais*). Ainsi les densités de puissance obtenues au niveau de la tête des utilisateurs vont de 2500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pour les valeurs hautes étudiées à 20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Mann et al) et même 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pour la valeur la plus basse ayant montré un effet (Von Klitzing L.). A la valeur la plus basse on applique un facteur de 50, comme dans le cas de l'ICNIRP, ce qui donne 0,02 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit 0,3V/m de valeur seuil à ne pas dépasser.

A partir des études épidémiologiques sur les champs électromagnétiques : Pathologies « légères » ; En Suisse, des perturbations significatives du sommeil ont été observées à un niveau d'exposition très bas (*selon la 'norme d'insomniaques' considérée le seuil va de 1 pW/cm² à 10nW/cm²*)²⁰⁰. Kolodynski et Kolodynska, montrèrent des affaiblissements physiques et intellectuels chez des enfants lorsqu'ils étaient exposés chroniquement dans leur école dans la plage de 0,01 à 0,04 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. En France, le Prof. R. Santini montre des influences sur la fatigue jusqu'à un taux minimum de 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (0,6 V/m). Pathologies graves : Plusieurs études sur les lieux de travail ont découvert des accroissements significatifs de cancer²⁰¹. Des études résidentielles montrant des accroissements significatifs de cancer et de leucémies venant d'expositions aux RF/MW²⁰², incluent : seuil d'apparition : 0,2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, seuil d'apparition : 0,13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ²⁰³. Le Dr. Neil Cherry déduit : « *En conséquence, il y a un grand volume de preuves épidémiologiques qui montre des accroissements significatifs de cancers parmi les populations exposées aux fréquences radio de micro-ondes dont les expositions directes moyennes chroniques sont de moins que 0,1 à 0,2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, et donc comprennent des expositions moyennes chroniques dans les plages de 0,015 à 0,03 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$* » .

²⁰⁰ Altpeter et al. (1995) et Abelin (1998) – L'étude de Schwarzenburg

²⁰¹ Lilienfeld et al. (1978) ; Robinette et al. (1980), Milham (1985, 1988), Thomas et al. (1987), Demers et al. (1991), Cantor et al. (1995), Szmigielski et al. (1996), Grayson et al. (1996), Beall et al. (1996)

²⁰² Hocking et al. (1996)

²⁰³ Dolk et al, (1997-2001) et Michelozzi et al. (1998)

Boscolo en 2001 étudie les riverains d'un émetteur Radio-TV exposés à $4,9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ et montre un affaiblissement de l'immunité. Les valeurs minimum entraînant des pathologies sont donc de $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, par rapport à des études épidémiologiques un facteur de sécurité de 10 suffit ce qui donne un seuil de $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit $0,2 \text{ V}/\text{m}$. Autres effets rapportés : Les travaux du Dr G. Salford sur la barrière sang-cerveau du rat ont montré des actions à une exposition de $0,0004 \text{ W}/\text{kg}$ à $1 \text{ mW}/\text{kg}$ soit 1 à $2,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, ($2,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ également pour Persson et al.), ceux de Kwee sur le cycle cellulaire ont été obtenus à $0,05 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. La plus basse intensité de fréquences radio publiée qui a été étayée pour produire des fuites significatives de Ca^{2+} est $0,00015 \text{ W}/\text{kg}$ de Schwartz et al. Ceci correspond à une intensité d'exposition d'environ $0,08 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Sur des souris, Magras et Xenos montrent que dans le groupe soumis à une exposition de basse puissance ($0,168 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), il y eut infertilité après 5 générations ; diminution de la fertilité confirmée en 2000 à $5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ en un temps très court. à $0,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ²⁰⁴ montrent un affaiblissement de l'immunité. De nombreuses études confirmées rapportent des actions sur les chromosomes (*cassures des brins d'ADN, augmentation des protéines de choc, altération de certains gènes*) sans toutefois préciser de valeurs seuils²⁰⁵ trouvent une action sur les ostéoblastes à $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. La valeur minimale est donc ici de $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. En résumé la valeur maximum d'exposition des riverains de station relais à appliquer est de $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit $0,2 \text{ V}/\text{m}$.

Tout niveau supérieur de champ électromagnétique (*lignes électriques, radars, émetteurs radio/TV, antennes relais de téléphonie mobile*) revient à accepter l'apparition de maladies. Cette valeur peut être obtenue soit par éloignement des antennes à plus de 300 m des habitations ou autres lieux de vie soit par diminution des puissances d'émission, soit les 2 simultanément. En 2002 il n'est plus possible de dire que les antennes-relais ne représentent pas de danger pour les populations voisines, les puissances des micro-ondes pulsées de la téléphonie mobile présentant des effets néfastes sur la santé sont largement de l'ordre de celles que les riverains de stations-relais reçoivent en permanence, les publications récentes montrant de plus qu'il y a une action plus importante lors d'exposition à long terme.

²⁰⁴ Novoselova et al en 2002

²⁰⁵ Adlkofer – BEMS 2002) Dans ce même symposium Li et al

A partir du moment où les effets non-thermiques ont été prouvés en 2002, il est évident que malgré leur « faible » puissance les antennes-relais représentent un danger. Le caractère pulsé et la présence d'ondes de basses fréquences (les 8 Hz et 217 Hz principalement) renforcent ce risque. Il n'est pas nécessaire de rappeler que des scientifiques demandent des valeurs équivalentes : Dr Neil Cherry ($0,01 \mu W/cm^2$), Prof. R. Santini ($0,1 \mu W/cm^2$), Dr Hyland ($0,01 \mu W/cm^2$), la résolution de Salzburg ($0,1 \mu W/cm^2$), Von Klitzing ($0,01 \mu W/cm^2$).

Ainsi, avec les connaissances scientifiques actuelles, cette technologie ne pourrait plus être mise en œuvre aujourd'hui, mais le problème réside dans le fait qu'elle existe. Avec des valeurs maximum d'exposition de $0,2V/m$ on peut éviter le développement d'un grand nombre de pathologies. Le monde médical doit le dire, à l'instar de ce que font les médecins et les scientifiques allemands de l'IGUMED, et c'est au monde politique d'approcher au plus près de ces valeurs, ce n'est pas à la population de payer le prix des incertitudes passées avec des $41 V/m$ ou d'accepter $6 V/m$ ou $3 V/m$ qui ne représentent aujourd'hui rien d'autre qu'une concession au monde industriel. La sensibilité de fonctionnement d'un téléphone GSM correspondant à une densité de puissance de $0,0000024 \mu W/cm^2$ ($0,003V/m$); une norme plus restrictive ne remettrait donc pas en cause le fonctionnement des réseaux GSM.

Il sera peut-être difficile d'arriver à la valeur de $0,2V/m$, en particulier en ville, mais est-ce une raison pour que le monde médical n'avertisse pas le public des risques de façon à apprendre à s'en prémunir, à ne pas en rajouter ? (*téléphones sans fil DECT, systèmes de réseaux hertziens, systèmes d'alarmes, système WI-FI et Bluetooth, émissions des écrans vidéos...*). A quoi correspond le fait de se préoccuper du cancer et de sa prévention si en même temps on impose à la population une technologie reconnue comme génotoxique, donc mutagène ? Le monde médical doit crier haut et fort la réalité.

Si des technologies mettent en péril la santé des individus cela doit être en toute connaissance de cause, le consentement doit être un consentement éclairé. Comment accepter aujourd'hui que l'homme subisse des ondes modifiant l'activité de son cerveau, modifiant les phases de son sommeil sans qu'il puisse intervenir. Il est à noter également que beaucoup d'espairs sont fondés sur une évolution future de ces technologies qui entraînerait une diminution des intensités de rayonnements subis. D'une part cela sous-entend qu'un certain nombre de personnes va être exposé en attendant ces évolutions, ce qui est inacceptable en matière de santé, et d'autres part cela ne tient pas compte de la multiplication simultanée de ces systèmes dans tous les pays (*TETRA + GSM + DCS + UMTS etc..*) ainsi que de la concurrence (*Orange, Tigo, Vodacom, Africel, Airtel, etc.*).

Ces facteurs augmentant nettement les intensités de rayonnements reçues par les riverains d'antennes relais même si isolément les densités de puissance de chaque système évoluent vers le bas et/ou se dirigent vers un système n'appliquant pas la technologie TDMA. Dans la pratique, il est sans doute déjà trop tard pour revenir à une norme de 0,2 V/m, c'est à dire qu'il est impossible de prévoir un facteur de sécurité par rapport aux connaissances scientifiques actuelles indiquant l'apparition de pathologies à partir de 0,6 V/m. Il faudrait donc que cette valeur devienne la norme actuelle : 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit 0,6 V/m pour l'ensemble du champ électromagnétique de la bande de fréquence 300 kHz à 3 GHz avec comme but à moyen terme de réduire encore ces taux d'exposition du public.

Au niveau des téléphones, il est évident que les valeurs limites ne sont pas du tout adaptées. Heureusement il existe la possibilité d'utiliser les « *kits piétons* » qui sans supprimer tout effet, diminuent au moins d'un facteur 10 du danger et le niveau de rayonnement autour de la tête²⁰⁶. Contrairement aux antennes, l'utilisation d'un téléphone portable est un choix personnel mais ce consentement doit obligatoirement être « *éclairé* » par des recommandations insistantes du milieu médical ainsi que des opérateurs eux-mêmes. Depuis plusieurs années, les compagnies d'assurances et de réassurances ne couvrent plus les risques liés aux champs électromagnétiques (*les risques nucléaires sont dans le même cas*).

²⁰⁶ *Chou et al.*

Dans la police d'assurance en responsabilité civile professionnelle de tout particulier ou de toute société, figure la clause d'exclusion suivante : « *tous les dommages, pertes, frais ou dépenses de quelque nature que ce soit, causés directement ou indirectement par, résultant de ou liés de quelque manière que ce soit aux champs électromagnétiques (EMF)* ». Ceci nous indique que contrairement aux politiques, les compagnies d'assurances tiennent compte des publications révélant le risque des champs électromagnétiques et prennent ces risques très au sérieux au point de ne plus les couvrir. Dans le numéro 960 (*décembre 2002*) du journal « *Le particulier, France* », on peut lire cette phrase: « *inciter à la prudence les particuliers situés à proximité de ces relais* ».

Ceci signifie-t-il tout simplement que les compagnies d'assurances incitent les citoyens à prendre conscience du problème et à faire en sorte que l'on n'implante plus de relais? Ce risque (*tout comme le risque nucléaire*) fait partie des exclusions de tous les contrats d'assurances. Le citoyen doit en prendre conscience. Comment les opérateurs de téléphonie mobile assurent-ils la couverture des conséquences éventuelles des risques électromagnétiques en responsabilité civile, vis-à-vis des tiers ; Il serait bon que les politiques informent les populations quant à l'existence réelle de contrats particuliers et de l'étendue de la valeur couverte. Tout ceci nous fait redouter que les décideurs politiques à tous les niveaux, engagent les états dont les citoyens leur ont confié la gestion dans une situation qui pourrait se solder dans le futur, par des catastrophes financières en cascades d'ampleur à peine imaginable.

XV.3. LES ARGUMENTS CONTRE LA NOCIVITE²⁰⁷

Ils existent bien sûr, sinon notre santé serait mieux protégée aujourd'hui. Mais en fait il est plus exact de dire qu'ils existaient avant 2002. Les antennes relais émettant à des puissances beaucoup trop faibles ; mais la question serait de savoir Trop faibles par rapport à quoi ? Les publications scientifiques ont confirmées en 2002 que l'action des champs électromagnétiques (CEM) de la téléphonie mobile apparaît à des doses très faibles même plus basses que celles reçues par les riverains d'antennes relais : action sur le cerveau à partir de 0,6 V/m, action sur le système immunitaire à partir de 1,2 V/m, action sur les cellules à partir de 0,2 V/m.

Les mécanismes théoriques disent que ces actions sont impossibles à ces doses, Les mécanismes faisant appel à la rupture des liaisons chimiques uniquement (*effets ionisants*) ne permettent pas d'expliquer les mécanismes d'action observés. Les actions des ondes elles-mêmes, sans faire appel à la rupture de liaisons chimiques, expliquent parfaitement ces actions à des doses très faibles.

On rejoint ici l'évocation de "l'impossibilité physique" de l'action des champs électromagnétiques dus aux lignes haute tension, en dessous de 10T (100 mG), alors que les études épidémiologiques ont montré une augmentation du risque de leucémies infantiles à partir de 0,2T (2 mG), de même pour de nombreuses études (*confirmées*) en laboratoire par exemple sur les embryons de poulet. Pourtant tous les riverains d'antennes relais n'ont pas de cancers. Bien sûr, comme tous les fumeurs n'ont pas de cancer du poumon, il s'agit d'une augmentation du risque : au lieu de 2 cancers sur 1000 personnes dans la population générale, il y en aura peut-être 4 sur 1000 riverains, et cela ne sera pas facile à voir dans les premières années comme actuellement. D'autre part le cancer n'est pas et de loin le principal problème, il y a aussi les actions sur le cerveau et sur le système immunitaire. Celles-ci seront encore plus difficiles à évaluer au début.

²⁰⁷ Présentés par les opérateurs, certains politiques, certains chercheurs financés par les industriels de la téléphonie mobile et certaines personnes mal informées.

Dans votre argumentation vous mélangez les fréquences radio et les basses fréquences, Bien sûr puisque les ondes de la téléphonie mobile contiennent des fréquences radio de micro-ondes (400 à 2400 MHz) et des basses fréquences (8 Hz, 217 Hz principalement mais également d'autres). Il y a depuis longtemps des ondes identiques dues aux émetteurs de Télévision et de Radio.

Pas identiques puisque les ondes de la téléphonie mobile utilisent une technologie particulière (TDMA) avec une modulation dont la conséquence est l'émission d'extrêmement basses fréquences (ELF : 8 Hz, 217 Hz notamment) qui sont aujourd'hui officiellement reconnues comme dangereuses pour la santé. De plus certaines études ont montrées que les ondes de radio ou de TV ne sont pas si anodines que cela; elles n'avaient pas été étudiées c'est tout, Les micro-ondes pulsées ont donc les caractères néfastes des radiofréquences plus les caractères nocifs des extrêmement basses fréquences plus le caractère nocif de l'association entre extrêmement basses fréquences et hautes fréquences.

S'il y a un problème c'est avec les téléphones eux-mêmes, pas avec les stations-relais (*Permettez-nous de dénoncer au passage le danger des téléphones*). L'exposition est dite aiguë avec les téléphones, chronique avec les antennes relais mais les intensités de rayonnements subis sont dans les deux cas au-dessus des doses dangereuses; de plus l'exposition prolongée des riverains est un facteur qui augmente bien sûr la quantité d'ondes reçues et de plus, favorise certaines pathologies (*fatigue, troubles du sommeil, atteintes du système immunitaire, maladies neuro-dégénératives*) que l'on verra moins avec les téléphones eux-mêmes. L'importance de l'augmentation du temps d'exposition qui équivaut à l'augmentation de la dose a été montrée dans de nombreuses études. En fait: forte intensité x courtes expositions (*utilisateur de portable*) = faible intensité x longue durée (*riverain d'antenne relais*).

Si on diminue la puissance des émetteurs ce sont les téléphones qui vont devoir augmenter la leur et devenir plus dangereux. Exact, mais il est facile de diminuer le risque du téléphone avec un kit piéton par exemple (*diminution des doses reçues par 10 à 20*) alors qu'il est difficilement possible de se protéger individuellement d'une antenne relais et d'autre part l'usage du téléphone est un acte volontaire, un risque accepté, tandis qu'être riverain avec son lot de conséquences est un risque imposé (*par des sociétés commerciales de surcroît*) ce qui va à l'encontre des droits de tout homme.

Certains responsables politiques disent qu'il n'y a pas de danger lié aux antennes-relais, Cela pourrait être considéré comme exact, si l'on ne se réfère qu'à un rapport datant de plus de deux ans et qui est dépassé aujourd'hui. Il existe des publications disant qu'il n'y a aucun risque !ou encore : Vous ne citez que les publications mettant le risque en évidence! Bien sûr, les études scientifiques ont montré que dans le cas de l'action des champs électromagnétiques, les résultats sont non linéaires c'est à dire qu'à certaines fréquences, à certaines intensité il y aura action alors qu'à d'autres même assez proches il ne se passera rien (*c'est la notion d'effet « fenêtre de fréquence » ou « fenêtre d'intensité »*).

Une étude négative veut donc dire que « *Dans les conditions précises de l'étude, il n'y a aucun risque* ». Une étude positive veut donc dire que « *Dans les conditions précises de l'étude, il y a risque* »; or ce sont des conditions qui peuvent se retrouver chez les riverains d'antennes-relais. D'autre part, depuis 2000 les publications montrant les dangers des champs électromagnétiques sont beaucoup plus nombreuses. Certaines études n'ont jamais été reproduites ou sont sujettes à caution, Vrai en 2000, faux en 2002 ; L'étude de *Henri Lai et al*, en 1995 sur les ruptures d'ADN n'avait jamais été reproduite et pour cela était ignorée par les divers « *rapports d'experts* ». Mais *Schlatterer et al*, en 2002 ont montré que les soi-disant études destinées à reproduire les expériences négatives avaient en fait modifié soit les lignées cellulaires, soit les fréquences radio utilisées. L'étude de *H. Lai et al*, a donc été désormais répliquée par des équipes *du projet REFLEX*.

Eulitz et al, en 1995, avaient montré les modifications de l'activité électrique du cerveau soumis à ces champs électromagnétiques, des « *experts* » avaient attribué les résultats à des interférences avec l'appareillage et avaient donc ignoré les résultats de l'expérience. Depuis de nombreuses études ont confirmé l'expérience initiale, sans aucune interférence possible. Autre exemple *Tore et al*. en 2000, ont montré chez des rats des fuites au niveau de la barrière hémato-méningée à 0,5 W/kg mais pas à 0,12 W/kg.

Le résultat négatif n'est valable que pour 2 heures d'exposition comme dans l'expérience. *Persson et al*, ont montré qu'avec des expositions répétées sur 6 semaines le seuil descend à 0,001 W/kg. *Chagnaud et al*, en 1999, au bout de 10 jours, *Pioli et al*, en 2002, au bout de 4 semaines n'ont trouvé aucune influence des champs électromagnétiques sur l'immunité alors que d'autres équipes²⁰⁸, avaient montré antérieurement qu'il fallait des temps beaucoup plus longs pour obtenir un résultat. L'importance des temps d'exposition prolongés pour mettre en évidence les effets nocifs sur l'immunité a été confirmée en 2002. *De Pomerai D*, qui en 2000 invoquait comme mécanisme les variations de la protéine de choc thermique soi-disant sans s'appuyer sur des études scientifiques, a vu ses dires confirmés par de nombreuses études. Les travaux de *Salford et al*, sur la barrière hémato-encéphalique n'étaient pas confirmés en 2000, ils le sont maintenant en 2002. Il faut d'autres études.

Pour prouver quoi de plus ? Les effets nocifs démontrés sont déjà suffisants pour exiger la diminution immédiate des rayonnements à 0,6 V/m pour les riverains d'antennes relais. Les études qu'il faudrait tout de même mettre en route ou poursuivre sont celles destinées à prouver qu'il n'y a pas d'effets néfastes en-dessous de 0,6 V/m, Signalons que le 19 mai 2005, le Professeur Denis Zmirou-Navier, chercheur à l'INSERM a démissionné de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (AFSSE).

²⁰⁸ *Bonhomme L. et al. 1998*

Dans la conférence de presse qu'il a donnée, il motive sa démission par le fait que cette agence souffre d'une hypertrophie bureaucratique qui décourage la bonne volonté de nombreux experts. Il ajoute : « *les sujets traités ont souvent des implications socio-économiques importantes* » ... *Dans tous les cas, la direction de l'agence d'expertise doit s'interdire de s'ingérer dans la production scientifique en suggérant telle interprétation ou présentation des faits. Elle doit s'obliger à exposer le résultat de ce travail difficile dans les meilleurs délais, après pleine validation par les experts, en l'accompagnant des recommandations qu'elle juge nécessaire de formuler. Ces principes n'ont malheureusement pas été scrupuleusement respectés par la direction de l'AFSSE. En témoigne l'extrême frilosité de l'expression publique de l'Agence, peu soucieuse de s'exposer à l'interpellation extérieure* ». Devons-nous déduire de cette déclaration que certains faits ont été mal interprétés ou distordus à certains niveaux de pouvoir, à propos de la téléphonie mobile ?

✎ Les Unités en Radiocommunications et en Téléphonie mobile, Champ électrique : en Volt / mètre (V/m). Densité de puissance : en W / m² ou en μW / cm²

$$1 \text{ W / m}^2 = 100 \text{ } \mu\text{W / cm}^2$$

Conversion de Champ électrique (V / m) en Densité de puissance ($\mu W / cm^2$) et réciproquement :

$$D (\mu\text{W/cm}^2) = E^2 (\text{V/m})$$

$$3,77$$

$$E (\text{V/m}) = \sqrt{3,77 \times D (\mu\text{W/cm}^2)}$$

Taux d'absorption spécifique TAS ou SAR : en W / kg (*Valeurs obtenues par calcul sur des fantômes remplis d'un gel*) Complètement antiscientifiques car comparaison d'un être vivant avec une outre pleine d'un liquide ! Max (ICNIRP) : 0,4 W/kg (*milieu professionnel*) :

$$0,08 \text{ W /kg (public en général)}$$

$$1 \text{ W/kg} = 1000 \text{ mW / kg}$$

Conversion de TAS en Densité de puissance pour fréquences de 900 MHz

$$\text{On admet que } 0,4 \text{ W/kg} \approx 1000 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$$

Donc $0,08 \text{ W/kg} \approx 200 \text{ } \mu\text{W / cm}^2$ et $0,001 \text{ W / kg} \approx 2,5 \text{ } \mu\text{W / cm}^2$ (or $2,38 \text{ } \mu\text{W / cm}^2$ équivalent à 3 V / m).

XV.4. CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET SANTÉ

Tout conducteur électrique génère un champ électrique dans son voisinage s'il est sous tension. Lorsqu'il est le siège d'un courant électrique, ce conducteur génère alors également un champ magnétique. Lorsque ce courant est alternatif et que la fréquence d'alternance atteint une certaine valeur, le conducteur génère alors également une onde ou rayonnement électromagnétique (EM), devenant ainsi une antenne émettrice. L'onde EM est constituée par la combinaison des champs électrique et magnétique dont l'alternance dans le temps assure l'induction mutuelle et la propagation dans l'espace.

A ce jour, si l'on considère les intensités maximales de champs EM auxquelles la population générale est exposée de façon usuelle ou même occasionnelle, on doit retenir qu'à l'exception de certaines sources d'exposition dans les fréquences dites « intermédiaires », il n'existe pas de mécanisme d'interaction reconnu ou validé avec la santé ou avec la physiologie humaine. Néanmoins, en raison de l'omniprésence des champs EM et de la persistance de certaines incertitudes, les études scientifiques sont toujours en cours afin de mettre en évidence un éventuel impact de ces champs EM de faible intensité sur la santé ou sur le bien-être. La présente fiche fait le point sur les connaissances acquises et les constats effectués à ce jour tout en pointant les zones d'ombre persistantes. Une confusion est régulièrement faite entre les ondes ou rayonnements EM dont il est question ici et le rayonnement dit « *ionisant* ».

Ce dernier recouvre les plus hautes fréquences du spectre électromagnétique (*rayons UV de haute fréquence, rayons X et gamma*). Il est caractérisé par sa haute énergie intrinsèque, dont découle précisément son caractère ionisant. Les effets délétères (*cancérigènes en particulier*) de l'ionisation des atomes et molécules existent dès les plus faibles intensités de ce rayonnement ionisant. Également, ces effets s'accumulent avec le temps, de sorte qu'une exposition prolongée à de faibles doses peut produire les mêmes effets qu'une exposition plus brève à de plus fortes doses. Ceci n'est par contre pas vrai pour ce qui concerne les champs et ondes EM dont il est question ici.

En effet, de par leur fréquence (*inférieure à celle des infrarouges*), ceux-ci possèdent une énergie intrinsèque très insuffisante que pour causer la moindre ionisation. Pour ces champs EM, un seuil d'intensité existe en principe pour chaque type d'effet considéré et il n'y a pas d'impact cumulatif dans le temps pour l'exposition aux très faibles intensités, telles que les intensités moyennes auxquelles tout un chacun est exposé au quotidien dans un environnement urbain moderne, par exemple. Champs EM statiques : Les champs sont dits « statiques » lorsqu'ils ne varient pas dans le temps. Ces champs existent à proximité de toute installation fonctionnant en courant continu. Le champ électrique statique ne pénètre que peu ou pas l'organisme. De plus, il est fort atténué par tout matériau interposé entre la source et le lieu d'exposition considéré. Egalement, sa distribution dans l'espace est très inhomogène, de sorte qu'il est très difficile et aléatoire de quantifier l'exposition moyenne des personnes et des populations.

A l'inverse du champ électrique, le champ magnétique (*CM*) pénètre aisément l'organisme et n'est que peu ou pas perturbé ou atténué par les matériaux interposés. Sa distribution dans l'espace autour d'une source quelconque est donc assez homogène et prédictible. C'est donc essentiellement le CM qui a été retenu à ce jour dans les études qui se sont penchées sur la question de l'impact éventuel des champs EM statiques sur la santé. Les principales sources d'exposition aux CM statiques sont les caténaires des transports électrifiés (*trains, trams et métros*).

A proximité immédiate (intérieur d'un wagon), l'intensité d'exposition varie généralement entre 10 et 100 micro-teslas (μT) environ, intensité qui est à comparer avec celle du champ magnétique terrestre, de l'ordre de 50 Mt sous nos latitudes. Cette intensité décroît assez rapidement avec l'éloignement aux caténaires. Une source plus anecdotique pour la population générale est l'électro-aimant des appareils de résonance magnétique nucléaire (*RMN*) utilisés pour l'imagerie médicale, et dont le CM atteint le plus souvent des intensités de l'ordre de 1,5 à 3 Teslas, soit plus de 20.000 fois supérieures à celle du champ magnétique terrestre. On connaît divers effets des CM statiques sur la matière. Mais aux intensités qui nous concernent, soit 100 μT , ces CM ne peuvent exercer une action perceptible que sur les animaux pourvus du sens de la magnéto réception. Les études réalisées à ce jour sur les conséquences des CM statiques sur la santé, n'ont investigué que les effets à court terme.

A cet égard, des indications existent pour divers effets, essentiellement de type neurosensoriel, accessoirement d'ordre génétique, mais uniquement à partir d'intensités typiques de celles utilisées dans le cadre de la RMN. Il y a lieu ici de signaler que l'exposition au CM d'un appareil de RMN est toujours brève et est motivée par une décision médicale qui tient compte des avantages et inconvénients de toute procédure d'examen. Ainsi, en remplaçant bien souvent le scanner, la technique de la RMN a permis de diminuer fortement l'exposition médicale aux rayons X et l'accroissement du risque relatif de cancer qui lui est corrélé.

XV.5. CHAMPS ELECTRO-MAGNETIQUE D'EXTREMEMENT BASSE FREQUENCE

On appelle « *extrêmement basses* » les fréquences comprises entre 3 et 300 hertz (Hz). Les champs 50 Hz y sont largement dominants et c'est donc essentiellement d'eux qu'il est question dans ce chapitre. Ces champs 50 Hz sont générés par tout conducteur ou appareil électrique en fonctionnement. Comme pour ce qui concerne les champs statiques, et pour les mêmes raisons, seul le CM est seul retenu à ce jour pour caractériser l'impact éventuel sur la santé des champs EM en 50Hz. Les autres fréquences les plus représentées dans la gamme des fréquences extrêmement basse sont, notamment, le 16,7 Hz des voies ferrées. Mais les données d'exposition à ces champs sont insuffisantes et leur impact éventuel sur la santé n'a pas été étudié à suffisance.

XV.5.1. LES CHAMPS 50 HZ DANS NOTRE ENVIRONNEMENT

Les CM 50 Hz existent à proximité de toute ligne de transport ou de distribution d'électricité, de tout poste de transformation, ainsi qu'à proximité de tout appareil électrique en fonctionnement. Cette intensité décroît assez rapidement avec l'éloignement à la source, le plus souvent en fonction inverse du carré de la distance R à la source (*donc en $1/R^2$*). Suivent ici avec les intensités moyennes approximatives de CM 50 Hz dans quelques situations exemplatives d'exposition telles que rencontrées en région bruxelloise (*la tension électrique est exprimée en kilovolts ou kV*) :

- ✗ Bruit de fond résidentiel (à distance de tout appareil électrique en fonctionnement) : 0,1 Mt ;
- ✗ Proximité (30 cm) de divers appareils électriques en fonctionnement : 0,1 à 10 μ T ;
- ✗ Cabine de transformation 10-15kV/220-400V: 0,4-2,5 μ T à 2 m ; 0,2- 2 μ T à 4 m ;
- ✗ Poste de transformation 30kV/10-15kV: > 1 μ T à 4m ; 0,5 μ T à 6 m ;
- ✗ Câble enterré à haute tension (150 kV) : 1 à 3,5 μ T à l'aplomb ; 0,2 μ T à 10m ;
- ✗ Ligne aérienne à haute tension (150 kV) : 1 μ T à l'aplomb ; 0,5 μ T à 30m ;

XV.5.2. EFFETS CONNUS SUR L'ORGANISME

Les Effets directs et induction EM : A la fréquence de 50 Hz, un CM exerce sur l'organisme les mêmes actions qu'un champ statique. Mais aux intensités qui nous concernent (*voir ci-dessus*), la seule action possible de ce CM est l'impact sur le sens de la magnéto réception dont, jusqu'à preuve du contraire, seuls les animaux (*y compris plusieurs mammifères*) sont pourvus. Par contre, dès qu'il est alternatif, le CM va causer le phénomène d'induction électromagnétique. Celui-ci est exploité dans l'industrie (*transformateurs, alternateurs et moteurs électriques*) et est caractérisé par l'apparition de courants induits dans le corps qui est soumis à ce CM, pour autant que ce corps soit conducteur d'électricité.

L'intensité de ces courants induits est proportionnelle à la fréquence du CM. C'est sur base de cet effet, et en appliquant un facteur de sécurité, que la Commission européenne recommande que l'exposition de la population générale ne dépasse pas l'intensité de 100 μ T en 50 Hz. Aux intensités qui existent dans notre environnement, les courants induits sont tout-à-fait négligeables dans le corps humain, étant toujours d'intensité très inférieure à celle des courants endogènes créés par les diverses activités cellulaires de nos tissus.

Les Effets indirects et courants de contact : Des effets des champs 50Hz, et dû cette fois essentiellement au champ électrique, sont aussi possibles lors du contact du corps avec un conducteur métallique (*effets dits « indirects »*). Ainsi, une personne entrant en contact avec une masse métallique non mise à la terre (*ex : clôture*) et située à proximité d'une ligne à haute tension sera le siège d'un courant de décharge si elle n'est pas elle-même isolée de la terre. En fonction de son intensité, ce courant provoquera, ou non, une sensation de décharge (*le seuil de perception est d'environ 0,5 milliampères ou mA*). A noter que la question reste posée d'effets éventuels sur la santé de contacts répétés de ce type dès 0,1 mA de courant de décharge, donc en-dessous du seuil de perception.

Des courants peuvent être induits par les CM 50 Hz dans la boucle de détection d'un pacemaker. Mais aucune interférence préjudiciable n'est observée en-dessous de 100 μ T environ. A ce propos, il faut signaler que les implants médicaux modernes présentent un blindage de plus en plus efficace contre les interférences des champs EM, quelle qu'en soit la fréquence.

XV.5.3. CONSEQUENCES POUR LA SANTE

Comme indiqué ci-dessus, aucun impact n'est attendu des champs Magnétiques 50 Hz sur la santé aux intensités d'exposition qui nous concernent. Pourtant, à la suite du constat, toujours inexpliqué à ce jour, d'une augmentation de la prévalence de la leucémie infantile à proximité des lignes à haute tension, de multiples études ont investigué la prévalence de divers problèmes de santé en rapport avec l'exposition à ces champs. A notre niveau, nous avons exercé une Etudes observationnelles pour parvenir aux maladies ci-après :

- ✎ *Maladie cancéreuse* : une association a été observée et confirmée entre une exposition résidentielle prolongée à une valeur de Champs magnétiques de 0,4 μ T et un doublement du risque de leucémie infantile avant l'âge de 15 ans. Plusieurs éléments suggèrent le rôle prépondérant de l'exposition nocturne de l'enfant dans cette association. Aucune association n'a par contre pu être confirmée, ni avec les cancers cérébraux chez l'enfant, ni avec aucun type de cancer chez l'adulte.

- ✎ *Maladies neuro-dégénératives* : des indications existent d'un doublement du risque de décès par maladie d'Alzheimer en rapport avec une exposition résidentielle prolongée (15 années) à une intensité de CM que l'on peut évaluer à 0,5 μT environ. Mais le nombre restreints de cas observés ne permet pas encore de tirer des conclusions définitives à ce jour.
- ✎ *Reproduction et développement, Dépression nerveuse, maladies cardiovasculaires, troubles immunitaires et maladies hématologiques* : selon les études réalisées à ce jour, un impact de l'exposition paraît exclu pour les intensités d'exposition qui concernent la population générale. Seule ne peut être exclue la possibilité d'une augmentation du risque de fausses-couches chez la femme enceinte exposée à des valeurs dont les maxima atteignent 2 μT environ ;
- ✎ *Maladie cancéreuse et effets génétiques* : les études cellulaires (*in vitro*) et animales (*in vivo*) effectuées à ce jour ont été négatives. Seules existent des indications d'un effet dit « cocarcinogène » pour des intensités 100 μT . Mais il faut noter qu'il n'existe toujours pas de modèle animal valide pour l'étude de la leucémie infantile.
- ✎ *Effets neurologiques et neuroendocriniens* : certains effets ont été observés sur le système nerveux central (*statut antioxydant, électroencéphalogramme*), mais pour des intensités 100 μT . D'autre part, un effet inhibiteur modéré sur la sécrétion nocturne de mélatonine est possible chez le rongeur dans le contexte d'une exposition prolongée, mais sans qu'un niveau précis d'exposition ne puisse être défini.

Malgré l'absence de mécanisme causal explicatif, on doit retenir que le risque de leucémie infantile, et peut-être aussi celui de décès par maladie d'Alzheimer, est doublé pour une exposition résidentielle prolongée à ³ 0,4 μT d'intensité de CM 50 Hz. Tenant compte de la proportion probable d'enfants exposés à ³ 0,4 μT et de l'incidence annuelle de la leucémie infantile dans notre pays, on peut supposer que les CM 50 Hz seraient « responsables » d'un peu moins d'un cas de leucémie infantile tous les 10 ans en région bruxelloise. Les incertitudes actuelles concernent, d'une part, la responsabilité effective des CM 50 Hz dans la leucémie infantile, dans la mesure où aucun mécanisme d'action n'a pu être identifié pour ceux-ci à ce jour, et d'autre part, l'implication possible mais non encore certaine de ces champs dans l'évolution de la maladie d'Alzheimer.

Par ailleurs, dans l'hypothèse où une relation causale était confirmée entre ces champs et les maladies citées ici, d'autres effets sanitaires non encore étudiés pourraient éventuellement aussi exister. Enfin, et toujours dans cette hypothèse, tout CM d'extrêmement basse fréquence pourrait alors également être concerné, en ce compris les CM 16,7 Hz des caténaires des voies ferrées. Dans le but de limiter l'intensité d'exposition, en particulier nocturne, aux CM 50 Hz, et tout en gardant à l'esprit les incertitudes persistantes quant aux effets de ces CM sur la santé ainsi que l'impact limité de ceux-ci en termes de santé publique, il est justifié de conseiller les mesures suivantes, en particulier à l'attention des enfants de moins de 15 ans et les femmes enceintes :

- ✎ Eviter l'usage régulier d'une couverture chauffante ou d'un chauffage électrique par le sol dans la chambre à coucher ;
- ✎ Respecter les distances suivantes entre le lit et certains appareils ou dispositifs électriques à fonctionnement continu : 50 cm pour un réveil électrique, 1 mètre pour un tableau domestique ou un compteur d'énergie avec disque rotatif;
- ✎ Eviter l'installation d'une chambre à coucher dans une zone où la valeur moyenne du CM peut être égale ou supérieure à $0,4 \mu\text{T}$, c'est-à-dire à moins de : 5,5 m par rapport à une cabine de transformation (10-15 kV/220-400 V), 8 m par rapport à un poste de transformation ($>30 \text{ kV}/10-15 \text{ kV}$), 43 m par rapport à une ligne aérienne de 150 kV, 3,75 m par rapport à un câble enterré de 150 kV ;
- ✎ Eviter toute configuration d'installation domestique où phase et neutre d'un même circuit sont distants l'un de l'autre.

XV.5.4. CHAMPS ELECTRO-MAGNETIQUE DE FREQUENCE INTERMEDIAIRE

Les fréquences situées entre 300 Hz et 100 kilohertz (*kHz*) sont dites «intermédiaires ». Comme en 50 Hz, c'est le champ magnétique qui retient l'attention. Les fréquences intermédiaires dans notre environnement Suivent ici les sources les plus courantes de ces fréquences dites « intermédiaires » en région congolaise avec, pour chacune, un ordre de grandeur d'intensité d'exposition : Portique antivol des magasins et détecteur de métaux (*selon la fréquence de fonctionnement*) : jusqu'à $> 300 \mu\text{T}$ (220 - 530 Hz) et jusqu'à $> 20 \mu\text{T}$ (58 - 132 kHz), Ecran cathodique des télévisions et d'ordinateurs (1 à 150 kHz) : $< 0,05 \mu\text{T}$ à 30 cm, Plaques de cuisinière à induction (20 à 50 kHz) : $2 \mu\text{T}$ à 5 cm et $0,2 \mu\text{T}$ à 30 cm (*intensités x 3 à 20 pour un récipient de diamètre inférieur à celui de la plaque et/ou en position décentrée sur celle-ci*), Ampoule économique (entre 30 et 60 kHz) : $< 0,03 \mu\text{T}$ à 30 cm et pour ne citer que cela.

A ce jour, il n'existe que très peu de données concernant les effets des champs magnétiques à ces fréquences sur la santé. Seuls sont connus les effets liés à la génération de courants induits (*voir CM 50 Hz*), ceux-ci pouvant surtout être préjudiciables au niveau du système nerveux central. Ces effets motivent les niveaux limites recommandés par la Commission européenne pour la protection des personnes.

Ce niveau varie en fonction de la fréquence et tient compte d'un facteur de sécurité. Il est ainsi de $6,25 \mu\text{T}$ entre 800 Hz et 150 kHz, Cette valeur limite peut donc être dépassée à proximité des portiques antivol, des détecteurs de métaux ou des plaques de cuisson par induction. A noter qu'à proximité de ces dispositifs, des interférences sont possibles avec les dispositifs médicaux implantables (*pacemakers et défibrillateurs implantables*). Les avertissements que l'on peut formuler à ce jour concernent, d'une part, les enfants en raison de leur courte taille et donc de la plus grande proximité de leur tête (*partie la plus sensible aux effets éventuels*) avec les sources concernées, et d'autre part, les porteurs de pacemaker ou de défibrillateur implantable en raison des possibles interférences.

XV.5.5. CHAMPS ET ONDES ELECTRO-MAGNETIQUE EN RADIOFREQUENCE

La plupart des systèmes de radio- et télécommunication, mais aussi de nombreux autres systèmes, utilisent le support des champs EM de la gamme des radiofréquences (RF), soit entre 100 kHz environ et 300 gigahertz (GHz). Cette gamme englobe les « micro-ondes » (300 mégahertz ou MHz à 300GHz). A ces fréquences, les champs se combinent pour former un rayonnement EM dont la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence, valant 300 m à la fréquence de 1 MHz et 30 cm à la fréquence de 1 GHz, par exemple.

On exprime l'intensité d'exposition en valeur de champ électrique E (*en Volts/mètre*) ou, mieux, en densité de puissance incidente (*en Watts/m²*), celle-ci étant proportionnelle à E². Ainsi, avec l'éloignement à la source, alors que la valeur de E diminue en 1/R, celle de la puissance incidente diminue en 1/R². La dose de rayonnement reçue, quant à elle, est exprimée en valeur de débit de dose absorbée (*dans un volume tissulaire de 10 cm³*) ou *specific absorption rate (SAR)* dont l'unité est le watt par kilo de poids corporel (*W/kg*). Afin de pouvoir comparer entre elles les sources d'émission continue (*antennes diverses, Wifi,...*) avec les sources d'émission intermittente ou pulsée (*combiné GSM, téléphone sans fil,...*), les valeurs de SAR et de puissance incidente utilisées sont les valeurs moyennées dans le temps.

XV.5.6. LES RADIOFREQUENCES DANS L'ENVIRONNEMENT

Ici les sources de RF les plus représentées dans notre environnement, avec leur fréquence de fonctionnement. Dans le cas des sources distantes et/ou multiples, ce sont les intensités typiques d'exposition correspondante qui sont indiquées. A noter qu'aux fréquences du GSM et au-delà, l'intensité d'exposition est divisée par 2 derrière un mur, par 8 derrière une paroi en béton et par 10 derrière un mur doublé de placards métalliques. Dans le cas des sources proches de l'organisme, ce sont les intensités typiques de dose reçue (*SAR*) qui sont indiquées.

A noter que l'absorption a lieu dans les tissus situés au voisinage immédiat de la source. A noter également que le SAR varie, non seulement avec l'intensité d'exposition, mais aussi avec la fréquence. Ainsi, 1 W/m^2 (*qui correspond à un champ électrique de 20 V/m environ*) causera un SAR de 40 mW/kg environ aux fréquences de la radio FM (100 MHz) et de 10 mW/kg environ à la fréquence du GSM 1800 (1,8 GHz), ces chiffres étant à augmenter de 40% environ chez l'enfant. En voici maintenant certaines Sources distantes et/ou multiples :

- ✘ Radiodiffusion AM et OC (525 kHz à 26 MHz), FM (87,5-108 MHz), et radio et télévision numérique (*respectivement 175-230 MHz et 470- 860 MHz*) : 1 mW/m^2 , toutes fréquences confondues
- ✘ Babyphone (440 et 860 MHz) : 50 mW/m^2 à 50 cm ;
- ✘ Poste de radioamateur (*entre 2 et 430 MHz*) et antenne d'émission du système TETRA (415- 430 MHz): peu de données disponibles, mais il peut exister 100 mW/m^2 dans le voisinage immédiat ;
- ✘ Antenne GSM « panneau » typique de 16 watts (*autour de 900 et - 950MHz ; autour de 1.750 et 1.850 MHz*) à 20 m de distance: 100 mW/m^2 de face strict; 50 mW/m^2 de côté (45° par rapport à l'orientation du panneau) ; $< 10 \text{ mW/m}^2$ à l'aplomb. Si la distance est doublée, l'intensité est divisée par quatre. Si deux antennes de même orientation sont présentes ou si la puissance de l'antenne est multipliée par deux, ces chiffres sont à multiplier par deux.
- ✘ Station de téléphone sans fil domestique (DECT, 1.900 MHz) : $< 1 \text{ mW/m}^2$ à 1 m ;
- ✘ Antenne UMTS (*autour de 1.950 et de 2.150 MHz*) : intensité équivalant au huitième environ de celle qui est causée par une antenne GSM telle que décrite ci-dessus ;
- ✘ Routeur domestique sans fil (Wifi, 2,4 GHz) : 3 mW/m^2 à 1 m ;
- ✘ Systèmes divers à courte portée (*interphone ou microphones sans fil, alarmes et détecteurs de mouvement*) : intensité négligeable ;

En voici maintenant les Sources proches :

- ✗ Portiques antivol en RF : 0,4 à 10 mW/kg (10 MHz) ; 0,5 à 20 mW/kg (1 GHz) ;
- ✗ Walkie-talkie (*entre 30 et 900 MHz, dont les fréquences TETRA*): 2W/kg ;
- ✗ Combiné GSM contre l'oreille : 10 à 100 mW/kg et au maximum 0,2 à 1,5 W/kg (*en cas de mauvaises conditions de transmission et selon le modèle*) ;
- ✗ Combiné DECT (*téléphone sans fil domestique*) : 10 à 30 mW/kg ;
- ✗ Ordinateur portable avec carte Wifi : 50 à 400 mW/kg ;
- ✗ Système Bluetooth (2,4 GHz) : 1 à 3 mW/kg (oreillette) ; 10 à 500mW/kg (clef USB) ;
- ✗ Four micro-ondes (2,45 GHz) : 5 mW/kg à 30 cm.

XV.5.7. EFFETS CONNUS SUR L'ORGANISME

XV.5.7. 1. EFFETS THERMIQUES

Au contraire des champs magnétiques qui pénètrent indifféremment nos tissus, les ondes EM sont influencées par la présence du corps humain. Ainsi, au contact de la peau, elles sont partiellement réfléchies et partiellement pénétrantes, et ce, jusqu'à une profondeur qui varie en fonction inverse de la fréquence. Aux fréquences de la FM (*100 MHz*) par exemple, les tissus n'absorbent que moyennement l'énergie de l'onde pénétrante, de sorte que l'on retrouve encore 10% de celle-ci à 10cm de profondeur. Aux fréquences du GSM 1800 (*1,8 GHz*), par contre, les tissus absorbent beaucoup plus avidement cette énergie, la totalité de celle-ci étant alors absorbée endéans les 2 premiers centimètres de profondeur.

L'absorption dont il est question ici est le résultat de la transformation de l'énergie EM de l'onde en énergie thermique. Il y a donc production locale de chaleur, du moins au-delà d'un certain seuil d'intensité. C'est le principe du four à micro-ondes. C'est aussi ce qui sert de base au calcul des niveaux de SAR recommandés par la Commission européenne pour l'exposition des personnes : tenant compte d'un facteur de sécurité, les niveaux à ne pas dépasser sont de 80 mW/kg pour l'exposition du corps entier, et de 2 W/kg pour l'exposition locale de la tête ou du tronc.

En 2005, considérant les émetteurs publics et l'exposition du corps entier, le Gouvernement belge a imposé la limite légale de 20 mW/kg. Et en 2007, considérant les mêmes critères, la Région bruxelloise a imposé la limite de 3 V/m, ce qui correspond à 0,4 mW/kg à la fréquence de 900 MHz.

XV.5.7.2. EFFETS NON THERMIQUES

A côté des mécanismes dits « *thermiques* » (*liés à la transformation en chaleur*), de multiples mécanismes ont été proposés pour l'interaction des RF avec les tissus vivants afin, notamment, de tenter d'expliquer certains effets qui ont été rapportés pour des SAR inférieurs à environ 4 W/kg (*valeur en deçà de laquelle aucun échauffement significatif n'est observé*). Parmi ces mécanismes, deux sont toujours à l'étude. Le premier, que l'on pourrait appeler « micro-thermique », est lié à la nature tout-à-fait particulière de la production de chaleur sous exposition aux RF. Il pourrait expliquer certains effets survenant pour des valeurs de SAR légèrement inférieures au seuil thermique. Le deuxième appartient aux hypothèses de mécanismes dits « *athermiques* », c'est-à-dire non liés à la transformation de l'énergie EM en chaleur.

Il suppose un phénomène dit de « *résonance* » entre certaines basses fréquences contenues dans le « *signal* » de l'onde EM et certaines fréquences biologiques. S'il était avéré, ce mécanisme pourrait rendre compte d'effets pour des valeurs de SAR très inférieures au seuil thermique. Mais de nombreuses considérations théoriques rendent son existence peu vraisemblable.

Par contre, la possibilité existe d'effets liés aux basses fréquences, non pas de l'émission du combiné GSM, mais bien des décharges de la batterie de celui-ci. Celles-ci génèrent en effet des CM qui, à leur tour, créent des courants induits d'intensité non négligeable dans la tête. Il ne s'agit donc pas ici d'un phénomène de résonance. A ce jour, cependant, cet effet n'a pas encore été suffisamment étudié.

Certaines sources peuvent exposer à des intensités de RF qui sont en principe susceptibles de causer des interférences avec les appareils médicaux implantables (*pacemaker, défibrillateur implantable*), mais uniquement à leur proximité immédiate. Il s'agit des combinés GSM, de certaines stations de base de téléphone sans fil DECT ou encore de systèmes de détection fonctionnant en RF (*portiques antivols, RFID*). En ce qui concerne les combinés GSM, seuls quelques incidents sans conséquences ont cependant été relevés. Malgré l'absence de mécanisme évident d'interaction entre les RF et les tissus vivants aux intensités auxquelles tout un chacun peut être exposé, de très nombreuses études se sont penchées sur la question d'effets sur la santé à ces intensités.

XV.6. ARGUMENTS SCIENTIFIQUES JUSTIFIANT L'APPLICATION IMMEDIATE DU PRINCIPE DE PRECAUTION A L'ENCONTRE DE LA TELEPHONIE MOBILE

Des millions de personnes utilisent un téléphone mobile cellulaire et plusieurs centaines de milliers d'antennes relais générant des micro-ondes (*hyperfréquences*) pulsées en extrêmement basses fréquences, permettent à ces téléphones de fonctionner. Alors que le discours officiel va dans le sens de l'absence de dangerosité de cette nouvelle technologie, le texte ci-après présente des arguments scientifiques qui soulignent au contraire, sa nocivité avérée pour la santé. Certains des arguments scientifiques présentés dans ce texte ont fait l'objet d'une communication à Washington, au 26ième Meeting international de la « *Bioelectromagnetics Society* »²⁰⁹.

²⁰⁹ R. Santini. *Why to apply the precautionary principle against mobile phone base stations. Abstract book. 2004. Pages 293-294*.

Différents facteurs sont susceptibles de modifier le niveau d'exposition aux micro-ondes pulsées, des populations riveraines de antennes relais et en particulier : la distance de la source émettrice, le fait d'être ou non placé dans le lobe principal d'hyperfréquences situé en avant des antennes émettrices, la présence de « réémetteurs passifs » constitués de structures métalliques (*volets de fenêtres, portes de garages, rampes d'escaliers*), qui « peuvent renforcer » l'intensité du champ électrique micro-ondes au point de Mesure²¹⁰, les fluctuations dans les puissances émises par les antennes relais en fonction du nombre de communications téléphoniques traitées par celles-ci.

La présence d'autres sources électromagnétiques dans l'environnement, les modifications par les opérateurs du nombre et des caractéristiques des antennes présentes sur un site²¹¹. De même le niveau d'exposition des utilisateurs de téléphones portables est susceptible de varier avec : la durée des communications, l'emploi ou non d'un kit « *mains libres* » qui éloigne le téléphone de la tête, l'âge de l'usager (*plus grande sensibilité des enfants chez lesquels la pénétration des micro-ondes pulsées est plus importante que chez l'adulte*), les caractéristiques techniques de l'appareil utilisé, l'utilisation du portable en mauvaises conditions de transmission en sous-sol, par temps de pluie, de brouillard²¹². Plusieurs arguments scientifiques peuvent être avancés pour justifier une application immédiate du principe de précaution à l'encontre des antennes relais de téléphonie mobile et du téléphone cellulaire et en particuliers :

1. *L'exposition chronique aux micro-ondes est responsable d'effets biologiques* : Le « *syndrome des micro-ondes* » ou maladie des radiofréquences, a été décrit dès les années 1960. Une publication récente précise que cette pathologie est liée à l'exposition chronique à des hyperfréquences pulsées, semblables à celles générées par la technologie du téléphone mobile cellulaire.

²¹⁰ Rapport INERIS de décembre 2003, page 22

²¹¹ R. Santini. *Les téléphones cellulaires et leurs antennes relais : Risques pour la santé ? La Presse Médicale*. 1999. 28 : 1884-1886 – R. Santini et coll. *Danger des téléphones cellulaires et de leurs antennes relais. Pathol. Biologie*. 2000. 48 : 525-528)

²¹² R. Santini et coll. *Electric fields from 900 MHz digital cellular telephones. Bioelectromagnetics. 20th Meeting. Floride. Abstract book. 1998. Pages 95-96*).

Cette pathologie se caractérise par : un syndrome asthénique (*fatigabilité, irritabilité, nausées, céphalées, anorexie, dépression*), un syndrome dystonique cardiovasculaire (*bradycardie, tachycardie, hyper ou hypotension*) et un syndrome d'encéphalique (*somnolence, insomnie, difficultés de concentration*). On lui associe également du dermatographisme (*allergies cutanées, eczéma, psoriasis*), des modifications de la formule sanguine, des perturbations de l'électroencéphalogramme et de la reproduction, une atteinte d'organes des sens et des tumeurs. Des symptômes semblables à ceux décrits ci-dessus dans le « syndrome des micro-ondes », sont mis en évidence chez des riverains d'antennes de téléphonie mobile et des utilisateurs de téléphones cellulaires.

2. *L'exposition à un téléphone mobile cellulaire génère des effets biologiques. Troubles non spécifiques rappelant le « syndrome des micro-ondes »* : Une enquête épidémiologique suédo-norvégienne de *M. Sandström et coll.*, met en évidence une relation entre le nombre et la durée des appels téléphoniques et l'augmentation de plaintes telles que céphalées, fatigue, sensation de chaleur sur l'oreille.

Une enquête française conduite par *R. Santini et coll.*, rapporte également une augmentation significative de la fréquence des plaintes exprimées lors de la communication (*picotements à l'oreille, sentiment d'inconfort, chaleur sur l'oreille*), en relation avec la durée (*supérieure à 2 min*) et le nombre d'appels par jour (*supérieurs à 2*). Cette étude souligne en outre, une plus grande sensibilité des femmes pour les perturbations du sommeil. D'autres effets des téléphones cellulaires ont été observés chez l'homme : Perturbations de l'activité électrique cérébrale, Modifications du sommeil et de la pression artérielle, Augmentation des céphalées, ... Le rapport « *REFLEX* » de l'Union européenne – 2004 : Etude financée par l'Union européenne, la Suisse et la Finlande. Douze laboratoires ont expérimenté en « *double aveugle* » sur l'ADN de cellules humaines et animales exposées à des ELF (50 Hz) et à des radiofréquences de la téléphonie mobile (*1800 MHz – pulsées ou non en 217 Hz*).

Pour la téléphonie mobile les doses d'énergie utilisées (*TAS*) étaient de 0,3 à 1 W/kg donc inférieures au seuil de 2 W/kg recommandé par l'ICNIRP²¹³. Les champs électromagnétiques générés par les téléphones portables provoquent des ruptures de l'ADN et augmentent les aberrations chromosomiques dans certaines conditions d'énergie et de durée d'exposition²¹⁴. En 2003, une étude suédoise conduite sur 1617 patients met en évidence une augmentation significative du risque d'astrocytome chez les utilisateurs de téléphone analogique, digitale et sans fil²¹⁵.

En 2004, une autre étude suédoise portant sur 752 personnes rapporte une augmentation du risque de tumeur du nerf acoustique (*3,9 fois plus*) du côté de la tête où est placé le portable et pour une durée d'utilisation du téléphone supérieure à 10 ans²¹⁶. En 2006 et dans le cadre de l'étude européenne INTERPHONE²¹⁷, une publication anglaise ne trouve pas d'effet significatif sur les tumeurs du cerveau. Au contraire, une étude allemande²¹⁸ souligne pour les gliomes, une augmentation (*2,2 fois plus*) chez les seuls utilisateurs de téléphones portables après 10 ans d'utilisation. En 2006, L Hardell et coll²¹⁹, publient une étude de synthèse montrant une augmentation significative du risque de tumeur du nerf acoustique pour les utilisateurs de téléphones cellulaires et sans fils au de-là de 10 ans d'utilisation.

3. Des effets biologiques sont rapportés par des riverains d'antennes relais de téléphonie mobile et d'émetteurs de radiotélévision. Pour les riverains d'antennes relais de téléphonie mobile : La première étude parue est française. Publiée en 2001 par R. Santini dans une revue scientifique française (*La Presse Médicale*), elle porte sur 530 riverains d'antennes.

²¹³ En décembre 2004, le Pr. Franz Adlkofer, coordinateur du programme, a présenté les résultats. Pour l'essentiel : © Roger SANTINI – (Avril 2006) roger.santini@free.fr

²¹⁴ http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_Final%20Report_171104.pdf

²¹⁵ L. Hardell et coll. *Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumour*, Téléphones cellulaires et tumeurs du cerveau / L'étude européenne « INTERPHONE » – 2006

²¹⁶ S. Lonn et coll. *Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma*. *Epidemiology* 2004. 15 : 653-659

²¹⁷ S.J. Hepworth et coll. *Mobile phone use and risk of glioma in adults : case control study*. *BMJ Online First*, 20th January 2006

²¹⁸ J. Schüz et coll. *Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma*. *Am. J. Epidemiol.* 2006. Online ISSN 1476-6256

²¹⁹ L. Hardell et coll. *Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003*. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2006. - PubMed. PMID/16541280

Elle met en évidence par rapport au groupe référent (*personnes situées à plus de 300 m ou non exposées*), une augmentation significative de la fréquence de certaines plaintes jusqu'à une distance pouvant atteindre : 100 m pour l'irritabilité, la tendance dépressive, la perte de mémoire, les difficultés de concentration, les vertiges, 200 m pour les maux de tête, les perturbations du sommeil, le sentiment d'inconfort, les problèmes cutanés, 300m pour la fatigue. Les résultats obtenus montrent également une plus grande sensibilité des femmes et des sujets âgés de plus de 60 ans et soulignent une plus grande nocivité de la position face aux antennes. Des résultats complémentaires obtenus dans l'étude de R. Santini, ont été publiés en 2002 et 2003 dans une autre revue scientifique française (*Pathologie Biologie*) : R. Santini et coll. Enquête sur la santé de riverains de antennes relais de téléphonie mobile : Incidences de la distance et du sexe²²⁰.

Enquête sur la santé de riverains des antennes relais de téléphonie mobile : Incidences de l'âge des sujets, de la durée de leur exposition et de leur position par rapport aux antennes et autres sources électromagnétiques²²¹. Deux autres études, une espagnole d'E.A. Navarro et coll. en 2003 et une autrichienne de H.P. Hutter et coll. en 2006, ont été publiées depuis celles de R. Santini et coll. Leurs résultats qui confirment ceux obtenus par R. Santini, alertent également sur les problèmes de santé exprimés par les riverains des antennes relais de téléphonie mobile.

Une étude officielle du Gouvernement hollandais parue en septembre 2003 (*Rapport –TNO-FEL-Report-03148*) a été réalisée en laboratoire, sur des volontaires, en « *double aveugle* ». Elle met en évidence après seulement 45 minutes d'exposition à 0,7 Volts/m, à des radiofréquences de type antennes relais (*GSM 900 MHz – UMTS 2100 MHz*), des effets sur la mémorisation, l'attention visuelle, le sentiment de bien-être, ... Les résultats font également apparaître des différences significatives entre des sujets qualifiés « *d'électro-sensibles* » et d'autres qui ne le sont pas.

²²⁰ *Pathol. Biol.* 2002. 50 : 369-373. R. Santini et coll,

²²¹ *Pathol. Biol.* 2003. 51 : 412-415.

Plusieurs observations récentes font état d'un lien entre l'exposition de riverains à des antennes relais de téléphonie mobile et l'augmentation du risque de cancers:

- ✚ En France, une enquête a été conduite à Saint Cyr l'Ecole et a fait l'objet d'un rapport de l'Institut de Veille Sanitaire (IVS) en octobre 2004²²². Selon ce rapport, « *le nombre total de cas de cancer de l'enfant observés sur la commune est 2 fois supérieur au nombre de cas attendus, ...* », et « *on observe une plus forte proportion de tumeurs du système nerveux central que dans les populations de référence, avec un SIR de l'ordre de 4* ». Malgré ces conclusions inquiétantes, les augmentations des cas de cancers à Saint Cyr l'Ecole, ont été attribuées par l'IVS, « *au hasard* ». En Israël, une enquête réalisée à Usfie chez des riverains d'antennes relais et de radio émetteur, rapporte un nombre 9,3 fois plus élevé de cas de cancers pour une exposition maximale aux radiofréquences de 10 Volts par mètre (27 microWatts par centimètre carré)²²³.
- ✚ En Allemagne, dans la ville de Naila, des médecins ont conduit une étude sur plus de 900 personnes dont 302 habitaient dans un périmètre de 400 mètres d'antennes relais. Ces médecins rapportent un doublement du risque de cancer dans le groupe des riverains proches des antennes, par rapport aux personnes les plus éloignées²²⁴.
- ✚ Une publication parue en 2004 met en évidence dans la ville de Netanya (Israël) une augmentation de 4,15 fois du risque relatif de cancers chez les riverains qui vivent dans un rayon de 350 mètres des antennes relais de téléphonie mobile. Il y a plus de vingt ans, l'auteur de ce texte concluait un article sur la dangerosité des micro-ondes, par ces mots : « *... on ne peut écarter les risques mutagène et cancérigène qui pourraient résulter de l'exposition humaine aux micro-ondes* »²²⁵.

²²² « *Investigation du signalement d'un agrégat de pathologies diverses à Saint Cyr l'Ecole Département des Yvelines (78) – 2004. 67 pages* »

²²³ S. Aburuken et coll. *A cancer cluster in Usfie (Israël). Preliminary notice. Janvier 2005.*

²²⁴ *Electrosmog – Revue Raum et Zeit. 2004. 132 : 30*

²²⁵ *La Presse Médicale. 1984. 13 (3) : 126. (D.Wolf et coll. Increased incidence of cancer near a cellphone transmitter station. Int. J. Cancer. Prevention. 2004. 1 : 123-128), (R. Santini et coll. Potentialités mutagène et cancérigène des micro-ondes) ;*

- ✚ Pour les émetteurs de radiotélévision : Des adultes exposés (*rayon de 2 km*) à un émetteur de radiotélévision, présentent une augmentation significative du risque de leucémies et de cancers de la vessie ;
 - ✚ Des enfants exposés à un relais de télévision ont une augmentation significative du risque de leucémies dans un rayon de 12 km ;
 - ✚ Des enfants exposés à un émetteur radio souffrent d'une baisse de la mémoire et de l'attention, d'une baisse des performances musculaires et d'une diminution des réflexes ;
 - ✚ Des femmes exposées aux ondes d'un émetteur de radiotélévision présentent une baisse significative des défenses immunitaires ;
 - ✚ Il est observé chez des riverains d'un émetteur de radio à Rome, une augmentation significative de la mortalité par leucémie dans un rayon de 6 km.
4. Certains pays ont déjà adopté pour leur population des limites d'exposition inférieures à celles actuellement admises. L'Italie dans un décret de 1998, a adopté un seuil d'exposition de $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($6,1 \text{ V}/\text{m}$) au lieu de 450 et 900 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (41 et $58 \text{ V}/\text{m}$) recommandés par les instances européennes pour les fréquences de 900 et 1800 MHz respectivement. Le Grand-duché de Luxembourg a adopté en décembre 2000 un seuil d'exposition de $3 \text{ V}/\text{m}$. En Autriche, la Résolution de Salzbourg recommande $0,6 \text{ V}/\text{m}$.
5. La sensibilité aux hyperfréquences n'est pas la même pour tous. En 1995, l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) conclut suite à une étude épidémiologique au sein de l'armée de l'air française: « *Il existe indiscutablement une sensibilité individuelle à l'action des radiofréquences. Soumises à une même exposition, certaines personnes peuvent présenter des troubles cliniques, d'autres non* ». Selon l'International Radiation Protection Association (IRPA), cette sensibilité individuelle aux radiofréquences (*électro-sensibilité*) serait d'ordre génétique et également dépendante de l'âge et du sexe des personnes exposées.

6. Des extrêmement basses fréquences (*ELF*)²²⁶ sont présentes dans le signal de la téléphonie mobile. Les ELF ont des effets biologiques (*troubles du sommeil, effets dépressifs, perturbation de la glande pinéale et de la mélatonine, augmentation du risque cancérigène,...*) et ce pour des valeurs du champ magnétique ELF de l'ordre de 0,2 à 0,4 micro Tesla (2 à 4 *milliGauss*). On peut rappeler que des extrêmement basses fréquences à un niveau de champ magnétique pouvant atteindre 18 milli Gauss (1,8 *micro Tesla*), sont mises en évidence dans le signal généré par les téléphones cellulaires²²⁷. Au regard de ce qui précède et afin de protéger les populations riveraines de antennes relais et les utilisateurs de téléphones cellulaires, il convient dès à présent, d'appliquer le principe de précaution et mettre en œuvre des mesures de radio protection décrites dans le livre de R. Santini dès 1998 :

A. POUR LES ANTENNES RELAIS DE TELEPHONIE MOBILE

- ✗ On évitera de les implanter à moins de 300 mètres des lieux habités ;
- ✗ En aucun cas le lobe principal du faisceau micro-ondes issu de l'antenne ne sera orienté vers des habitations ou des lieux de vie ;
- ✗ Dans l'environnement des antennes, les riverains ne devront pas être exposés à une densité de puissance micro-ondes pulsées supérieure à 0,1 $\mu W/cm^2$ (0,61 *V/m*) ;

N.B. Afin de respecter les sujets « électro-sensibles » et les populations les plus fragiles (*enfants, personnes âgées, malades, immuno-déprimés, ...*) c'est une densité de puissance micro-ondes pulsées proche du niveau zéro qui devrait être la règle dans l'environnement des antennes relais de téléphonie mobile susceptibles d'affecter ces populations particulières.

²²⁶ Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a enfin classé en 2002 les extrêmement basses fréquences dans les cancérigènes possibles pour l'homme dès que le champ magnétique ELF atteint 0,4 micro Tesla (4 *milli Gauss*). Cette valeur représente pour le CIRC le seuil à partir duquel il y a doublement du risque de leucémie chez l'enfant⁸⁸. Or en 1993, dans un article « Controverse » paru dans la Revue de la MGEN, R. Santini signalait déjà, dans une polémique l'opposant au Docteur J. Lambrozo (Direction Médicale d'EDF), le risque cancérigène des extrêmement basses fréquences, dès 3 *milli Gauss* (0,3 *micro Tesla*). Ainsi, depuis la « révélation » de la dangerosité des extrêmement basses fréquences par le CIRC en 2002 soit plus de 10 ans après les alertes de R. Santini – on peut se demander combien de cas de leucémies d'enfants auraient pu être évités en France, si des mesures de radioprotection avaient été prises, dès 1993 ?

²²⁷ (IARC-Press. *Non-ionising radiation, Part. I: static and extremely low frequency (ELF)... Electric and Magnetic Fields*. 2002. 80 : 429 pages. ISBN 92-832-1280-0). R. Santini. *Les lignes à hautetension en question. Valeurs Mutualistes MGEN*. 1993. 154 : 40-41.

B. POUR LES UTILISATEURS DE TELEPHONES CELLULAIRES

- ✘ La communication téléphonique ne devra pas dépasser une durée de 2 à 3 minutes avec un maximum de 4 à 5 communications par jour ;
- ✘ Les jeunes de moins de 16 ans ne l'utiliseront qu'en cas d'urgence comme cela est déjà recommandé dans des rapports officiels en Grande Bretagne et en Russie,

On essaie encore d'attribuer les troubles exprimés par les riverains d'antennes relais à des manifestations psychosomatiques liées à la vue des antennes. Cette affirmation n'est pas crédible. En effet, il est mis en évidence chez des animaux sauvages (*cigognes blanches*) qui vivent à proximité d'antennes relais de téléphonie mobile, des comportements anormaux et une baisse de la reproduction. Une prise de conscience de la dangerosité de la technologie employée dans la téléphonie mobile est urgente. Elle irait dans le sens de l'alerte lancée dans « *l'Appel de Fribourg* », par des médecins allemands qui associent chez leurs patients des symptômes de la maladie des radiofréquences avec une « *claire relation temporelle et spatiale entre l'émergence de ces maladies et le début d'une richesse en ondes radio dans l'environnement* ».

XV.7. DES MULTIPLES SOURCES DE RADIOFREQUENCES, DES EXPOSITIONS DIFFICILES A EVALUER

Les technologies permettant de transmettre de l'information à distance (*données, voix, images...*) connaissent actuellement un essor considérable. Si les radiofréquences sont depuis longtemps utilisées comme support de cette transmission (*radio, télévision...*), elles ont aujourd'hui de multiples applications. Parmi elles, la téléphonie mobile est largement répandue, en particulier en RDC : 90 % des Congolais ont déclaré utiliser un téléphone mobile en 2009 (80 % en province)²²⁸.

²²⁸ www.radiookapi.net/information/actualite/12565

Les systèmes de réseaux sans fil se sont également multipliés et de nouvelles normes sont définies régulièrement (*Wi-Fi, Bluetooth, Wimax...*). Cependant, en raison du développement rapide et massif de ces technologies, des questions se posent, notamment sur leurs éventuels effets sanitaires à long terme. Les inquiétudes de la population à ce sujet sont croissantes, comme en témoignent les nombreux événements récents et largement médiatisés : procès contre l'implantation d'antennes-relais qui sont particulièrement pointées du doigt, retrait des bornes Wi-Fi à l'intérieur des villes congolaises, recrudescence des cas d'hypersensibilité électromagnétique (*électro-sensibilité*)... En particulier, en 2009, plus d'un congolais sur deux (51 %) percevait les risques liés aux antennes de téléphonie mobile comme plutôt ou très élevés pour la santé des congolais. Pour répondre à ces inquiétudes, l'expertise scientifique est mise à jour régulièrement.

À côté de ces aspects scientifiques, la mobilisation des pouvoirs publics s'est traduite récemment par l'organisation d'un « Grenelle des ondes ». Les individus évoluent dans un environnement baigné en permanence par des ondes électromagnétiques et en particulier par des radiofréquences, gamme d'ondes particulières. Les applications émettant ces radiofréquences sont multiples : radio, télévision, téléphonie mobile, Wifi... et les technologies évoluent très rapidement. Les situations d'exposition se sont également diversifiées : elles ont lieu au domicile, sur le lieu de travail, mais aussi lors des déplacements...

Afin d'évaluer l'exposition d'un individu aux radiofréquences, il faut tenir compte des caractéristiques des sources d'émission présentes dans son environnement (*caractéristiques physiques, fréquence des ondes émises...*), mais aussi de la distance entre l'individu et ces sources. Ainsi, cette exposition est variable selon que l'on utilise soi-même un téléphone mobile, que l'on croise un autre utilisateur ou que l'on se situe à proximité d'une station de base de téléphonie mobile ou encore d'une borne d'accès à un réseau sans fil ... L'évaluation de l'exposition globale aux radiofréquences s'avère donc particulièrement complexe²²⁹ :

²²⁹ SCENIHR, 2009)91 : *Exemples d'applications émettant des radiofréquences (source : Afsset, 2009)*

- ✗ 1 kHz = 103 Hz, 1 MHz = 106 Hz ;
- ✗ 9 kHz - 87,5 MHz Radiodiffusion, télédiffusion (*bande I*) ;
- ✗ 87,5 - 108 MHz Radiodiffusion FM ;
- ✗ 108 - 880 MHz Télédiffusion, alarmes, télécommandes ;
- ✗ 880 - 960 MHz Téléphonie mobile GSM 900 ;
- ✗ 1 710 - 1 880 MHz Téléphonie mobile GSM 1800 (*ou DCS*) ;
- ✗ 1 880 - 1 900 MHz Téléphonie sans fil domestique (*norme DECT*) ;
- ✗ 1 920 - 2 170 MHz UMTS (*standard téléphone-Internet*) ou 3G ;
- ✗ 2 400 - 2 500 MHz Wi-Fi, Bluetooth, four à micro-ondes.

XV.7.1. CARACTERISTIQUES DES PRINCIPALES SOURCES D'EMISSION

Parmi les sources de radiofréquences, il faut distinguer les émetteurs fixes qui émettent en permanence (*émetteur radio ou TV, antennes-relais de téléphonie mobile, bornes d'accès Wi-Fi*) et les émetteurs portables dont l'émission est ponctuelle et liée à un usage déterminé (*téléphone mobile, carte Wi-Fi sur un ordinateur portable...*)²³⁰. Les puissances d'émission de ces applications sont aussi très variables. Les antennes-relais émettent continuellement des radiofréquences et les puissances émises varient en fonction du nombre de communications en cours et des conditions dans lesquelles elles sont transmises.

La puissance de l'antenne-relais dépend aussi du territoire couvert : elle est plus élevée en zone rurale qu'en zone urbaine pour couvrir des zones plus étendues (*de 10 à 30 km selon le nombre d'utilisateurs potentiels, contre 500 m en zones urbaines*). Les antennes-relais sont généralement situées en hauteur et émettent un faisceau directionnel de radiofréquences. Concernant la radio et la télédiffusion, les émissions sont continues dans le temps et les stations émettrices sont installées sur des « *points hauts* ». Les récepteurs (*radio, TV*), quant à eux, n'émettent pas de radiofréquences²³¹.

²³⁰ Afsset, 2009

²³¹ Idem

Les téléphones mobiles émettent des radiofréquences essentiellement lors des communications. Leur puissance maximale instantanée d'émission autorisée est de 2 W, mais ils sont équipés d'un système de contrôle adaptatif qui réduit automatiquement la puissance émise au niveau maximum compatible avec une bonne qualité de communication. Cette réduction dépend de la qualité de connexion au réseau. Ainsi, dans des conditions de mauvaise réception ou lors des déplacements de l'utilisateur qui entraînent une prise de relais successifs par plusieurs antennes-relais, l'exposition est plus importante. Le système de puissance utilisé par les dernières générations de téléphones mobiles (*UMTS*) offre un bien meilleure efficacité que celui des précédentes technologies²³². Concernant les téléphones sans fil domestiques, leur puissance est généralement plus faible que celle des téléphones mobiles, de l'ordre de quelques dizaines de mW (*puissance maximale autorisée de 250mW*)²³³.

XV.7.2. LES RADIOFREQUENCES

Les radiofréquences peuvent être assimilées à un transport d'énergie sans support matériel⁹⁶. Ce sont des ondes électromagnétiques, résultant d'un champ électromagnétique variable dans le temps. Ce dernier correspond au couplage d'un champ électrique, produit par une tension, et d'un champ magnétique, lié à la circulation d'un courant électrique. Les intensités de ces champs s'expriment respectivement en volts par mètre (V/m) et en ampères par mètre (A/m)²³⁴. À proximité de la source d'émission, la situation est complexe car le champ électromagnétique peut être fortement inhomogène. À partir d'une certaine distance, les ondes électromagnétiques sont bien « *formées* ». Elles se caractérisent par leur fréquence, correspondant au nombre d'oscillations par seconde (*exprimée en hertz ou Hz*)²³⁵, et leur Fréquences 0 Hz 50 Hz 10 kHz 100 MHz 1 GHz 300 GHz 1015, 1018 GHz. Une oscillation longueur d'onde qui correspond à la distance entre deux oscillations consécutives (*mesurée en mètres*). Plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde n'est faible. Les ondes électromagnétiques se classent selon leur fréquence et on distingue généralement les basses fréquences (*1Hz - 9kHz*), les radiofréquences (*9 kHz-300 GHz*) et les rayonnements ayant une fréquence plus élevée : infrarouges, lumière visible, ultraviolets, X et Gamma.

²³² *Afsset, 2009 ; SCENIHR, 2009*

²³³ *Idem*

²³⁴ *OMS, 2009 ; Afsset, 2009*

²³⁵ *KHz = 103 Hz, MHz = 106 Hz, GHz = 109 Hz*

XV.7.3. ENVIRONNEMENT ET SANTÉ²³⁶

- ✎ *Téléphone mobile* : 2 W max < 2 W/kg ;
- ✎ *Téléphone sans fil DECT* : 0,25 W max < 0,1 W/kg ;
- ✎ *Wi-Fi* : 0,1 W max < 0,2 W/kg ;
- ✎ *Bluetooth* : 0,001 à 0,025 W max < 0,01 W/kg

La notion de puissance d'émission peut être décrite sous différentes formes. Elle s'exprime généralement en watts (W). On définit ainsi la puissance électrique fournie par l'émetteur. Cependant, un émetteur peut émettre des ondes dans toutes les directions (*émetteur omnidirectionnel*) ou dans certaines directions (*émetteur directionnel*). Afin de prendre en compte la façon dont l'énergie rayonnée est concentrée, d'autres grandeurs peuvent ainsi être utilisées : la puissance isotropique, rayonnée équivalente, la puissance apparente rayonnée... Dans un objectif d'évaluation de l'exposition, il est important de connaître la densité de puissance reçue en un lieu donné. Celle-ci s'exprime en puissance par unité de surface (W/m^2).

À partir d'une certaine distance de la source, on peut déduire cette densité (S) de l'intensité du champ électrique (E), qui lui s'exprime en V/m, grâce à la relation $S=E^2/377$. Enfin, cette densité peut être traduite en puissance absorbée par les tissus de l'organisme. Il s'agit du Débit d'absorption spécifique (DAS), exprimé en watts par kg (W/kg).

La puissance maximale autorisée pour un émetteur Wi-Fi est de 0,1 W, soit 20 fois moins élevée que celle d'un téléphone mobile. La puissance moyenne réellement émise est, quant à elle, beaucoup plus faible et varie en fonction du type d'échange, de la taille des données à transmettre, du débit et du nombre d'utilisateurs simultanés. D'une manière générale, l'intensité du champ électromagnétique décroît rapidement avec la distance, donc plus une personne est loin de la source, plus l'exposition est faible²³⁷. Pour évaluer les niveaux d'exposition, il convient donc de distinguer deux configurations d'exposition très différentes :

²³⁶ Afsset, 2009

²³⁷ INRS, 2005

- ✎ lorsque la personne se trouve proche de la source d'émission (*équipements mobiles tels que téléphones mobiles ou sans fil, clés ou cartes 3G, cartes Wi-Fi utilisées sur un ordinateur portable...*) ;
- ✎ lorsque la personne se trouve loin de la source d'émission (*émetteurs fixes tels qu'antennes-relais de téléphonie mobile, émetteurs de radio ou télédiffusion, bornes d'accès Wi-Fi...*).

La situation peut toutefois être plus complexe, notamment en ce qui concerne les antennes-relais. En effet, puisque la plupart des antennes relais sont situées en hauteur et émettent un faisceau très directif et légèrement incliné vers le sol, l'exposition aux radiofréquences au niveau du sol a tendance à augmenter avec la distance dans une zone proche de l'antenne, et ce jusqu'à atteindre un pic à l'endroit où le faisceau principal atteint le sol. Une étude a ainsi mis en évidence deux pics d'exposition aux antennes-relais GSM et DCS (*à environ 280 m de l'antenne-relais en zones urbaines et à environ 1 000 m en zones périurbaines*). En revanche, cette étude ne montre pas de tels pics pour les antennes UMTS et de télédiffusion, mais une décroissance continue de l'exposition avec la distance²³⁸ :

- ✎ Émetteur TV Jusqu'à 780 000 W Très forte à 5 m ;
- ✎ Émetteur radio FM Jusqu'à 300 000 W Très forte à 5 m ;
- ✎ Antennes-relais Jusqu'à 30 W Faible à 5 m ($E < 10 \text{ V/m}$) ;
- ✎ Bornes Wi-Fi Jusqu'à 1 W Faible à 5 m ($E < 0,1 \text{ V/m}$).

Bien que la puissance d'émission des téléphones mobiles soit plus faible que celle des antennes-relais, l'utilisation de ces appareils entraîne une exposition moyenne bien plus importante que celle liée au fait de vivre à proximité d'une antenne-relais, du fait d'une émission de radiofréquences à proximité immédiate de la tête²³⁹. Eloigner le téléphone mobile du corps, à l'aide d'un kit mains libres par exemple, permet néanmoins de diminuer l'exposition. Concernant les systèmes Wi-Fi, les niveaux de champs produits décroissent également très rapidement avec la distance²⁴⁰, l'exposition induite est donc relativement faible²⁴¹. Cependant, dans certaines conditions, notamment à proximité des bornes Wi-Fi, l'exposition peut ne pas être négligeable²⁴².

²³⁸ Viel et al. 2009

²³⁹ Afssset, 2009

²⁴⁰ Idem

²⁴¹ Fondation Santé et Radiofréquence, 2009

²⁴² SCENIHR, 2009

CHAPITRE XVI. EXPOSITION DU PUBLIC AUX RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES EMIS PAR LES STATIONS DE BASE DES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE ET PAR LES TELEPHONES PORTABLES

L'une des solutions avancées pour la diminution des niveaux d'exposition vis-à-vis des antennes-relais est d'éloigner ces dernières des « *zones de vie* » (*zones résidentielles, habitations, etc.*) et/ou de certains établissements particuliers (*crèches, écoles, hôpitaux, etc.*). Il s'agit par exemple d'installer les antennes à grande distance des établissements particuliers, souvent fort nombreux en ville.

Il est nécessaire de prendre en compte dans l'étude de cette solution l'équilibre du bilan de liaison antennes relais : équipements terminaux ; les niveaux de puissance du signal reçu par le terminal (*émission de l'antenne relais*) et de celui reçu par l'antenne relais (*émission du portable*) doivent être suffisants pour que le message soit correctement décodé et permette à la communication de s'établir. L'éloignement de l'antenne relais de l'utilisateur se traduit par la nécessité pour l'antenne relais, mais aussi pour le téléphone portable de l'utilisateur, d'émettre avec une puissance plus importante que dans la situation antérieure pour établir une communication correcte. Cela conduit aux trois conséquences suivantes :

- ✎ les antennes relais émettront avec une puissance plus importante, et les niveaux de champ atteints à proximité immédiate de l'antenne au voisinage de l'axe d'émission seront plus importants, et constitueront des points plus « *chauds* » ;
- ✎ les portables devront émettre à un niveau de puissance en moyenne plus important, et, pour le cas des téléphones GSM, plus souvent à leur niveau de puissance maximale de fonctionnement (*c'est le niveau qui correspond à la valeur de DAS, débit d'absorption spécifique en local dans la tête, affiché dans la documentation*). Cela entraîne une exposition plus importante de l'utilisateur au rayonnement de son propre téléphone, c'est-à-dire, en cas d'utilisation du portable à l'oreille, une exposition locale plus importante de la tête de cet utilisateur ;

- ✎ une augmentation du nombre de « trous » de couverture ; en effet, à l'intérieur des bâtiments, ou dans certaines rues des villes densément peuplées, les niveaux de puissances reçus par le terminal seront trop faibles pour permettre d'établir la communication.

Une autre solution avancée pour la diminution des niveaux d'exposition vis-à-vis des antennes relais est, à l'inverse, de diminuer leur puissance d'émission, afin de s'affranchir au maximum de ce que l'on appelle les macros cellules, et de s'orienter vers un réseau tout micro/pico cellules. Diminuer la puissance conduit à diminuer la taille des cellules. De plus, si l'on diminue la puissance de ces antennes, le niveau de champ au sol et à l'intérieur des habitations peut devenir trop faible pour établir la communication.

Pour conserver la couverture, il est alors nécessaire d'installer ces antennes en des points moins haut, en-dessous du niveau des toits (*microcellules*), ce qui réduira encore plus, pour des raisons liées à la propagation des ondes et à la taille des cellules. Par conséquent, le nombre d'antennes à installer dans un réseau composé uniquement de micro-cellules de faible puissance ou de micro-cellules augmentera significativement. De plus, les antennes des macros cellules sont installées sur des points hauts (*pylônes, toits d'immeuble, etc.*), ce qui permet d'éviter que le public ne soit soumis à une exposition trop importante (*zone proche de l'antenne dans l'axe du faisceau non accessibles au public*) alors que les antennes microcellules rapprochent les « *points chauds* » du public. Pour comparaison, le champ dans le faisceau d'une antenne de macro-cellule (*typiquement 20W injecté à l'antenne, gain de 16dBi*) atteint 3 V/m à 51,50m de l'antenne, tandis que pour une antenne de microcellule (*typiquement 2W injecté à l'antenne, gain de 16 dBi*), le champ atteint 3 V/m à 16,30 m de l'antenne.

Par ailleurs, le déploiement d'un réseau cellulaire s'effectue d'abord par un « pavage » du territoire au moyen de microcellules (*de taille plutôt importante, mais ne permettant d'écouler qu'une partie du trafic*), puis par une densification du réseau au moyen de microcellules pour les zones à densité de population plus importante, où le taux de pénétration du service de téléphonie mobile est important (*et donc plus de trafic à écouler*).

L'opérateur laisse cependant en place les stations macro-cellulaires, qui font office de fonction parapluie : elles permettent de combler certains trous de couverture de la couche micro-cellulaire et, du fait de leur taille plus importante, sont mieux adaptées aux terminaux se déplaçant rapidement. S'affranchir des micro-cellules à fonction parapluie aurait pour conséquences :

- ✗ une augmentation du nombre d'hand over (*changement de cellule*) avec des conséquences importantes, dans le cas du GSM, sur l'exposition vis-à-vis du terminal ;
- ✗ augmentation de la probabilité de blocage de la communication, voire de trous de couvertures.

Le risque est plus grand pour l'utilisateur de voir sa communication coupée ou refusée ou son débit diminué (*c'est-à-dire sa communication plus longue pour l'envoi ou la réception d'un fichier d'une taille donnée*). Deux technologies sont pour l'instant déployées pour les réseaux mobiles : le GSM et l'UMTS. Leur conception et mode de fonctionnement différents ont une influence sur les niveaux d'exposition vis-à-vis du terminal, principalement du fait d'une gestion différente du contrôle de puissance et du hand over (*changement de cellule*). Le GSM utilise une technique de FDMA/TDMA. Chaque canal de fréquence de 200 kHz est partagé par huit utilisateurs au maximum. Les téléphones mobiles d'un même canal bénéficient chacun d'un huitième du temps de transmission et n'émettent donc que 1/8 du temps.

La puissance maximale d'émission du mobile est de l'ordre de 2 Watts à 900 MHz (33 dBm) et de 1Watt à 1800 MHz (30 dBm). Au début d'un appel, le mobile émet à puissance maximale, puis sa puissance décroît jusqu'à la valeur indiquée par la station de base. L'adaptation de la puissance a lieu tous les 17 centièmes de seconde, par pas de 2 dB sur 15 paliers, par exemple de 33 dBm à 5 dBm dans le cas du GSM900. La Gestion du hand over : lors d'un changement de cellule, le mobile reprend l'adaptation de sa puissance depuis le début, c'est-à-dire que la puissance d'émission est de nouveau maximale puis elle sera de nouveau adaptée en décroissant. Plus un réseau sera densifiée (*micro et pico-cellules*), plus la probabilité de hand over est importante, et donc plus la puissance moyenne d'émission durant une communication téléphonique augmentera. Les études sur le contrôle de puissance montrent que :

- ✎ la répartition de la puissance d'émission est plutôt homogène, avec une probabilité plus fréquente pour la puissance maximale (*initialisation des appels, hand over, mauvaise couverture*) et la puissance minimale (*bonne couverture*) ;
- ✎ l'on a une médiane de 100/125 mW (20/21 dBm) pour la répartition de puissance d'émission du mobile GSM et une moyenne entre 0,4 et 0,8 W (26-29 dBm).

L'UMTS utilise une technique de FDMA/CDMA. Chaque canal de 5 MHz est utilisé par plusieurs utilisateurs. Les signaux utilisant le même canal sont séparés au moyen d'un code. Le téléphone émet alors en continu pendant la communication, contrairement au GSM. Le CDMA est une forme de partage de la puissance entre les utilisateurs : la capacité de transmission d'une cellule UMTS est optimisée en s'assurant que le niveau de réception des terminaux au niveau de la station de base est la plus basse possible, c'est-à-dire que le réseau ajuste la puissance d'émission des mobiles au minimum nécessaire.

Ceci explique que le contrôle de la puissance du terminal soit beaucoup plus « fin » que dans le cas du GSM. La puissance maximale d'émission du mobile UMTS est de 250 mW (24 dBm). L'adaptation de la puissance a lieu toutes les 0,7 centièmes de seconde, par pas de 1 dB. La gamme de puissance va de 24 dBm à -60 dBm (1 nW). Cependant, le téléphone mobile peut être connecté simultanément à plusieurs stations de base et n'a pas à se « déconnecter / reconnecter » en changeant de cellule. Lorsque le mobile arrive dans la zone de couverture d'une nouvelle station de base, le réseau est capable de combiner les signaux reçus par les deux stations de base (« soft hand over ») et la puissance du terminal ne passe donc pas par un pic. Les études sur le contrôle de puissance montrent :

- ✎ Qu'il n'y a pas de pic de puissance pour le hand over. La répartition de la puissance d'émission est quasiment une gaussienne autour d'une valeur médiane de 0,01 mW (-20dBm) ;
- ✎ La médiane pour la répartition de puissance d'émission du mobile UMTS de 0,01 mW (-20dBm) et la moyenne de 1 mW (0 dBm) (*bien plus faible que pour le GSM*).

XVI.1. METHODES DE MESURE DE L'EXPOSITION

L'évaluation de l'exposition d'une personne aux radiofréquences repose sur l'estimation de la quantité d'énergie absorbée au final par l'organisme. Les méthodes pour évaluer cette exposition diffèrent si l'on considère des sources d'émission proches ou loin du corps. En effet, à distance de la source, les ondes électromagnétiques sont bien « *formées* » et des méthodes de modélisation ou de mesures des intensités des champs électrique ou magnétique peuvent être utilisées. En pratique, il suffit de ne mesurer qu'une de ces grandeurs, généralement l'intensité du champ électrique. À partir de cette mesure, on peut déduire la densité de puissance, puis la quantité d'énergie absorbée par le corps. En revanche, à proximité d'une source, la situation est plus complexe et il faut alors évaluer directement la quantité d'énergie absorbée, en d'autres termes le Débit d'absorption spécifique (*DAS*)²⁴³. La mesure directe est aujourd'hui la plus répandue, mais des modèles numériques sont aussi en développement.

Différentes approches peuvent être envisagées : une mesure globale de l'exposition à l'aide d'une sonde large bande (*il s'agit cependant d'une mesure assez peu précise*), ou une mesure sélective en fréquence qui permet d'évaluer le niveau d'exposition pour chaque type d'émetteur (*mais le matériel est très coûteux et plus complexe à utiliser*). Il existe aussi des équipements de mesure plus simples d'utilisation, tels que des « *exposimètres* » portables, qui permettent la mesure en temps réel et en continu du niveau d'exposition par type d'émetteur²⁴⁴. L'utilisation d'appareils de mesures portables permet une meilleure évaluation de l'exposition individuelle, puisque ces appareils prennent en compte l'ensemble des micros environnements fréquentés durant la période de mesure. Ces appareils sont toutefois susceptibles de manquer de précision, du fait notamment d'interactions entre l'appareil et le corps. De plus, il n'existe pas de protocole standardisé, ce qui pose la question de la comparabilité des résultats obtenus dans les différentes études²⁴⁵.

²⁴³ *Afsset, 2009*

²⁴⁴ *Idem*

²⁴⁵ *Afsset, 2005*

S'agissant des téléphones mobiles, la mesure du DAS (*Débit d'absorption spécifique*) est réalisée suivant des protocoles normalisés à l'échelle internationale qui tiennent compte de l'utilisation de l'appareil fonctionnant au maximum de sa puissance. En pratique, le DAS est mesuré par une sonde placée à l'intérieur d'un modèle de tête humaine (*fantôme*), le téléphone mobile étant placé au contact de la tête.

Ces mesures sont avant tout utilisées pour vérifier la conformité des appareils à la réglementation. Les modélisations permettent notamment de prédire l'intensité du champ électrique ou magnétique en un point donné en prenant en compte les caractéristiques d'émission des antennes, ainsi que les obstacles à la propagation des ondes (*topographie, bâtiments...*). Des modèles complexes ont ainsi été développés concernant les antennes-relais, mais ils nécessitent encore des validations²⁴⁶. Par ailleurs, des modèles numériques permettant de simuler la propagation des ondes électromagnétiques dans les tissus humains sont également en cours de développement pour estimer les DAS. Chaque année, environ 2 000 mesures sont réalisées en France par des laboratoires accrédités et selon un protocole établi par l'Agence nationale des fréquences (*ANFR*). Ces mesures résultent, le plus souvent, de demandes de collectivités locales ou de particuliers vivant à proximité d'émetteurs (*généralement de téléphonie mobile*)²⁴⁷.

La synthèse des résultats pour la période 2004-2007²⁴⁸ montre que les moyennes des niveaux de champ relevés restent très faibles, de 0,01 à 0,65 V/m à l'extérieur des bâtiments selon les sources d'émission. Ces moyennes sont près de 50 fois inférieures aux valeurs limites, quel que soit l'émetteur considéré, et plus de 97 % des mesures n'atteignent pas 10 % des valeurs limites. Cependant, les résultats de ces mesures sont très liés aux sites de mesures choisis et ne permettent d'évaluer les niveaux qu'au point de mesure et à un moment donné. Ils n'ont donc pas vocation à être représentatifs de l'exposition de la population.

²⁴⁶ Viel et al. 2009

²⁴⁷ Les résultats de ces mesures sont accessibles sur le site Internet www.cartoradio.fr.

²⁴⁸ Idem.

Une étude évaluant l'exposition de 377 personnes représentatives de la population générale à l'aide de capteurs individuels²⁴⁹ a montré que la plupart des niveaux mesurés étaient très faibles (*inférieurs au seuil de détection*). Le niveau moyen total était de 0,201 V/m²⁵⁰. Toutefois, l'exposition était plus importante en milieu urbain, durant la journée, chez les adultes et lors des déplacements.

Les niveaux totaux mesurés à l'extérieur des bâtiments étaient supérieurs à ceux mesurés à l'intérieur. Les plus forts contributeurs étaient les radios FM, puis les fours à micro-ondes, les téléphones sans fil et les téléphones mobiles. Les expositions aux fours à micro-ondes étaient néanmoins susceptibles d'avoir eu lieu dans le cadre du milieu professionnel. Concernant le Wi-Fi, les niveaux étaient distribués de manière uniforme entre l'extérieur et l'intérieur, ceci étant probablement lié au développement des accès au Wi-Fi dans les lieux publics²⁵¹.

XVI.2. DAS LIÉS AUX TELEPHONES MOBILES

Le DAS peut être mesuré pour tous les appareils utilisés à proximité du corps. Concernant les téléphones mobiles, les DAS sont très variables selon les modèles (*de 0,05 à 1,8 W/kg*). Une étude ayant mesuré les DAS liés à l'utilisation de 124 téléphones montre qu'ils sont tous inférieurs à la valeur réglementaire de 2 W/kg et que l'utilisation d'un kit mains libres ou d'une oreillette Bluetooth permet de réduire l'exposition de la tête de l'utilisateur (*respectivement d'un facteur de l'ordre 5 et 400*)²⁵².

Par ailleurs, la puissance émise par un téléphone mobile variant au cours d'une communication, le DAS indiqué par le constructeur est un DAS maximal. Des mesures montrent qu'en moyenne, la puissance à laquelle un utilisateur est exposé équivaut à 40 % du DAS constructeur dans le cas du GSM²⁵³.

²⁴⁹ Viel et al, 2009

²⁵⁰ Les valeurs limites diffèrent selon les sources considérées. Par exemple, pour les antennes relais, elles vont de 41 à 61 V/m.

²⁵¹ Afsset, 2005

²⁵² Picard, 2009

²⁵³ Fouquet et al.2009

Toutes les études épidémiologiques sont confrontées à des difficultés pour évaluer l'exposition aux radiofréquences, puisque des données de mesures ne sont pas toujours disponibles, notamment lorsqu'il s'agit d'expositions passées. Certaines études utilisent des indicateurs indirects (*par exemple, la distance entre le domicile et l'antenne-relais la plus proche*), mais cela ne permet pas d'étudier l'ensemble des sources de radiofréquences et ces indicateurs peuvent se révéler très approximatifs.

XVI.3. EFFETS POTENTIELS DES RADIOFREQUENCES SUR LA SANTE

Lorsqu'une onde électromagnétique entre en contact avec la matière, plusieurs types d'interaction se produisent : réflexion, réfraction, diffraction, diffusion ou encore absorption. Ces interactions sont fonction du rapport entre la longueur d'onde et la taille de l'objet rencontré par le rayonnement, ainsi que des caractéristiques physiques de cet objet (*dimensions, forme, position, orientation, propriétés électriques*). La matière vivante, en raison de la structure des membranes cellulaires (bicouche lipidique), a la capacité de stocker de l'énergie et de la dissiper. Le corps absorbe ainsi environ 50 % de l'énergie de l'onde émise lors de l'utilisation d'un téléphone portable.

Une exposition aux radiofréquences en termes d'effets biologiques se traduit par des courants induits et des échauffements localisés, naturellement régulés par l'organisme en dehors de situation d'exposition exceptionnelle. À ce titre, une exposition à un champ électromagnétique intense, par exemple à proximité de radars ou d'émetteurs radio de forte puissance, est en effet susceptible de provoquer de graves brûlures. En revanche, les effets potentiels d'une exposition aux fréquences et la durée des appels. Les données sont parfois plus détaillées (*types de téléphone...*).

Quelques études ont utilisé les données provenant des opérateurs. Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. Le recueil d'informations auprès des utilisateurs permet d'avoir des données plus détaillées, mais se heurte à un problème de mémorisation pour les expositions anciennes et à des risques de

biais. En effet, des études semblent montrer que les « *gros* » utilisateurs de téléphones mobiles ont tendance à surestimer leur utilisation, de même que les personnes atteintes de tumeurs cérébrales, ces dernières surestimant d'autant plus leur utilisation qu'elle remonte à une période ancienne. Les données des opérateurs, quant à elles, peuvent être plus précises et objectives, mais aussi manquer de validité²⁵⁴. S'agissant des expositions liées spécifiquement aux ondes émises par les systèmes de type Wi-Fi, aucune étude épidémiologique n'a été recensée.

En effet, pour ce type d'exposition, la mesure directe constituerait l'approche la plus pertinente, or la sensibilité des appareils de mesures s'avère insuffisante compte tenu de la faiblesse des niveaux rencontrés. En conclusion, si l'évaluation de l'exposition aux radiofréquences doit se faire de manière aussi précise que possible pour pouvoir étudier les potentiels effets sanitaires, elle est confrontée à de nombreuses limites. En dehors de la précision des niveaux estimés, des questions plus fondamentales se posent. Comment estimer une exposition globale à des ondes émises par des sources proches du corps d'une part et loin du corps d'autre part, qui plus est se caractérisant par des fréquences différentes ?

Par ailleurs, les ondes se propageant différemment selon les parties du corps, faut-il considérer une exposition corps entier ou bien cibler une partie du corps, ou encore certains tissus ? Les radiofréquences de faible niveau sont moins bien connus. Encore appelés « *effets non thermiques* », ils sont susceptibles de répondre à d'autres mécanismes d'interaction avec la cellule. Les inquiétudes s'orientent vers différentes catégories d'affections : cancers, atteintes du système nerveux, troubles de la reproduction ou encore symptômes subjectifs réunis sous le terme « *hypersensibilité électromagnétique* ».

Les mécanismes biologiques envisagés comme pouvant être à l'origine de ces effets sont les suivants : génération de radicaux libres de l'oxygène, stress oxydant, génotoxicité, cogénotoxicité, mutagénèse, apoptose, atteintes des cellules du système immunitaire, atteintes de la barrière hématoencéphalique, sécrétion de mélatonine²⁵⁵.

²⁵⁴ Ahlbom et al, 2009

²⁵⁵ SCENIHR, 2009 ; Afsset, 2009

En l'état des connaissances telles que développées ci-après, aucun effet n'a pu être relié aux expositions aux radiofréquences et aucun de ces mécanismes biologiques n'a été confirmé. Le développement massif de la téléphonie mobile depuis le début des années 90 a justifié nombre de travaux de recherche afin de s'assurer de l'innocuité de cette technologie. Ces travaux relèvent soit d'une approche expérimentale (*sur l'animal, sur cultures cellulaires...*), soit épidémiologique, fondée sur des études castémoins.

À la fin des années 90, des travaux coordonnés dans 13 pays ont été initiés sous l'égide du Centre international de recherche sur le cancer (*étude INTERPHONE*). Ces études ciblent les tumeurs situées au niveau de la tête (*gliomes, méningiomes, tumeurs du nerf acoustique et de la glande parotide*), celle-ci étant plus particulièrement exposée aux ondes des téléphones mobiles. L'ensemble de ces travaux n'a pas permis de mettre en évidence des liens entre exposition aux radiofréquences liées à l'utilisation de téléphones mobiles et cancer²⁵⁶. Malgré la volonté d'harmoniser les protocoles de ces études, leur mise en œuvre est susceptible de différer. Ainsi parmi les résultats, une étude relevant un risque significatif se distingue²⁵⁷, mais elle ne permet pas d'infléchir la conclusion actuelle quant aux liens entre exposition et cancer. Toutefois, l'existence d'un risque faible ne peut être écartée, compte tenu des limites des études épidémiologiques, ainsi, les recherches doivent être poursuivies²⁵⁸. S'agissant des antennes-relais, les niveaux d'exposition attribuables sont beaucoup plus faibles que ceux liés à l'utilisation d'un téléphone mobile. Ainsi, les études épidémiologiques portant sur les antennes-relais sont rares.

Elles sont aussi sujettes à caution du fait de biais méthodologiques importants, tant au niveau de la définition des populations d'étude, de la prise en compte des éventuels facteurs de confusion que de l'estimation de l'exposition qui ne peut se déduire simplement de la distance à l'émetteur. Néanmoins, les résultats de ces travaux ne sont pas en faveur d'un risque accru de cancer en lien avec une exposition aux radiofréquences émises par les antennes de téléphonie mobile²⁵⁹.

²⁵⁶ Ahlbom et al, 2009 ; Moulder et al, 2005

²⁵⁷ Hardell et al, 2006

²⁵⁸ SCENIHR, 2009

²⁵⁹ Afsse, 2005

L'épidémiologie se heurte à de nombreuses difficultés méthodologiques. Dans le cas de l'étude d'un effet potentiel d'une exposition aux radiofréquences, les résultats et leur interprétation sont notamment influencés par les aspects suivants :

- ✎ La définition des cas de cancer n'est pas standardisée et peut englober des tumeurs à des stades de développement ou des situations anatomiques différents, ce qui n'exclut pas la présence de faux-positifs ou de faux-négatifs dans les études. Ceci contribue à diminuer la puissance des études et, d'une étude à l'autre, les résultats ne sont pas toujours comparables ;
- ✎ La sélection des témoins se traduit souvent par une sous représentation des non-utilisateurs de téléphone mobile susceptible de minimiser les risques, l'erreur estimée est de l'ordre de 10 %²⁶⁰.
- ✎ L'estimation de l'exposition peut être basée sur des approches différentes telles que détaillées dans le chapitre précédent. Chacune présente ses limites, certaines étant susceptibles de biaiser les estimations²⁶¹.
- ✎ Les temps de latence d'apparition des cancers peuvent aller jusqu'à 40 ans. Dans les études publiées actuellement, les plus longues fenêtres d'exposition sont de 10 ans et en moyenne de 4 ans²⁶². Il est donc fort probable que l'apparition des tumeurs soit antérieure à l'utilisation des téléphones mobiles, hormis peut-être pour des tumeurs à croissance rapide telles que les gliomes et dans l'hypothèse où les radiofréquences agissent en tant que facteur de promotion, accélérant ainsi la survenue de la pathologie.
- ✎ La taille des échantillons limite la puissance des études, ainsi les risques les plus faibles ne peuvent pas être mis en évidence. En parallèle de ces travaux épidémiologiques, de nombreuses études expérimentales visant à expliciter les mécanismes biologiques susceptibles d'être impliqués ont été conduites. Les travaux les plus récents ont été recensés et critiqués dans le dernier rapport de l'Afsset²⁶³.

²⁶⁰ Ahlbom et al., 2009

²⁶¹ Idem

²⁶² Kundi, 2009

²⁶³ Afsset, 2009

Ainsi, à ce jour, même si des résultats isolés mettent en évidence certains effets biologiques, ces études ne permettent pas de démontrer de lien causal entre expositions aux radiofréquences et cancer, tant du point de vue de l'induction (*ni effet mutagène, ni génotoxique*) que de la promotion de la pathologie (*absence d'effet cancérogène*). Par ailleurs, aucune altération du fonctionnement de la cellule (*expression génique, production de radicaux libres, apoptose...*) n'a pu être reliée à une exposition aux radiofréquences qui, en dehors des effets thermiques, ne semble pas représenter un facteur de stress pour la cellule.

Le système nerveux, dont le cerveau constitue l'élément central, contrôle toutes les fonctions du corps humain. Une atteinte de ce système est susceptible d'entraîner toutes sortes de troubles. Suite à une exposition aux radiofréquences, certaines manifestations telles que modification de l'activité électrique du cerveau, troubles du sommeil ont pu être observées, mais les résultats des différentes études sont trop discordants pour conduire à un consensus, d'autant plus qu'aucune explication physiologique à ces phénomènes n'a pu être fournie²⁶⁴. Ainsi, il n'a pas pu être montré d'effet délétère d'une exposition aux radiofréquences, à des niveaux habituellement rencontrés, sur le système nerveux ou le fonctionnement cérébral général, ni en termes de cognition, ni de bien-être.

Il a par ailleurs été envisagé qu'une exposition aux radiofréquences puisse entraîner une modification de la barrière hémato-encéphalique, qui constitue une protection indispensable pour le cerveau. Cependant, aucune preuve convaincante d'un effet des radiofréquences sur l'intégrité de cette barrière n'a pu être apportée²⁶⁵. Les travaux menés sur ce sujet visent à identifier une potentielle altération de la reproduction ou du développement des individus à tout stade de la croissance jusqu'à l'âge adulte (*embryon, fœtus, nourrisson, enfants, adolescents*). En effet, avant d'atteindre l'âge adulte, les organes ne sont pas encore matures et généralement plus sensibles aux agents toxiques. Les résultats de ces travaux, peu nombreux en l'occurrence, ne sont pas homogènes et ne permettent pas d'identifier un impact d'une exposition aux radiofréquences, aux niveaux habituellement rencontrés, sur la reproduction ou le développement²⁶⁶.

²⁶⁴ SCENIHR, 2009

²⁶⁵ Afsset, 2009

²⁶⁶ Afsset, 2009 ; SCENIHR, 2009 ; SCENIHR, 2007

L'hypersensibilité électromagnétique ou « *electromagnetic hypersensitivity (EHS)* » qualifie les personnes sujettes à des symptômes subjectifs non spécifiques dont elles attribuent la cause à une exposition à des champs électromagnétiques. Cette définition fait office de critère de diagnostic alors qu'il n'existe pas de description précise des symptômes évoqués. Pour progresser dans la compréhension de ce phénomène, une standardisation des méthodes de diagnostic serait souhaitable.

En effet, il peut s'agir d'irritations cutanées, de fatigue, de maux de tête, de douleurs ostéo musculaires, de troubles de la mémoire, du sommeil, d'irritabilité, de difficultés de concentration ou encore de symptômes oculaires, de palpitations ... Ces symptômes présentent une grande hétérogénéité, il en est de même des sources d'exposition incriminées: écrans (*TV, ordinateur*), téléphones sans fil, téléphones mobiles, antennes-relais, et pour ne citer que cela.

XVI.4. VULNERABILITE DES ENFANTS

Les enfants constituent-ils une population plus à risque vis-à-vis de l'exposition aux radiofréquences, en particulier via l'utilisation des téléphones mobiles ? Cette question est actuellement en débat et différentes hypothèses peuvent suggérer ce risque. Tout d'abord, il est admis une plus grande vulnérabilité intrinsèque des tissus des enfants. Par ailleurs, la manière dont les ondes interagissent avec les tissus repose notamment sur leurs caractéristiques, or un cerveau en développement à une morphologie différente de celle d'un adulte. Ainsi, il est suspecté une capacité d'absorption d'énergie plus importante pour des cerveaux non mûres, mais les résultats disponibles à ce jour n'ont pas permis de le démontrer. Enfin, concernant l'exposition, peu de chiffres sont disponibles sur l'usage des téléphones mobiles chez les jeunes, particulièrement attirés par ces technologies.

Toujours est-il que plus l'usage d'un téléphone portable ne sera précoce, plus les durées d'exposition s'allongeront, ce qui pourrait majorer le risque. En ce qui concerne l'ensemble de ces aspects, peu de travaux ont pu être menés jusqu'à présent, essentiellement pour des raisons éthiques. Les recherches doivent être poursuivies afin d'éclairer cette question. Les résultats semblent indiquer une influence de la perception du risque sur les symptômes déclarés. S'ils ne permettent pas de trancher en faveur d'une association significative, cette question reste ouverte en l'attente de travaux portant sur des échantillons d'individus de plus grande ampleur. Ainsi, aucune relation de causalité entre l'exposition aux ondes et les symptômes évoqués par les sujets EHS n'a pu être démontrée.

Aucune explication physiologique n'a pu être avancée, orientant plutôt les hypothèses vers des troubles psychosomatiques, avec une plus grande prévalence de Comorbidité psychiatrique chez les sujets EHS. Pour les individus atteints, la qualité de vie est susceptible d'être profondément altérée. La poursuite des recherches, avec la mise au point d'outils de diagnostic standardisés, devrait permettre de conforter ces hypothèses et proposer une prise en charge adaptée. En conclusion, de nombreux travaux ont été menés afin de déceler des effets potentiels d'une exposition aux radiofréquences. Différents types d'effets ont été étudiés avec des approches complémentaires. Les résultats ne sont pas toujours concordants.

L'absence d'effet ne peut jamais être affirmée, c'est pourquoi des doutes subsistent et la recherche se poursuit afin d'approfondir certaines hypothèses étayées par la mise en évidence, à la faveur de travaux isolés, d'effets biologiques ponctuels tels que la modification du débit sanguin cérébral ou l'atteinte de certaines fonctions cellulaires. Toutefois, considérant les travaux les plus rigoureux, ils n'invitent pas à conclure, à ce jour, à un effet délétère d'une exposition aux radiofréquences, quelle que soit la source considérée, à des niveaux rencontrés habituellement.

XVI.5. CONTROVERSE AUTOUR DES RADIOFREQUENCES, ENJEUX ET SOLUTIONS

De radio, lignes haute tension, bornes Wi-Fi, appareils ménagers... L'ampleur de ce phénomène est mal connue. Des estimations allant de 1,5 % (*en Suède*) à 5 % (*en Suisse*) ont pu être avancées, la prévalence des cas d'EHS en France n'ayant pas fait l'objet d'études²⁶⁷. La subjectivité des symptômes et leur manque de spécificité interrogent sur la causalité de leur lien avec les expositions. Afin de vérifier cela, des tests de provocation ont été réalisés, consistant à engendrer l'apparition des symptômes par une exposition expérimentale. La survenue de symptômes est observée au sein de groupes se déclarant EHS et de groupes témoins, que ce soit lors de phases réelles d'exposition ou lors d'expositions factices.

La plupart des résultats de ces études montrent que les sujets EHS décrivent plus de symptômes que les témoins, et ce indépendamment de l'exposition à des champs électromagnétiques²⁶⁸. Ainsi, ces études n'ont pas mis en évidence une capacité particulière des individus se déclarant EHS à différencier la présence ou l'absence de champs électromagnétiques. Certains travaux ont mis en évidence l'existence d'un effet nocif, c'est-à-dire la survenue de symptômes sévères chez certains sujets EHS lors d'expositions factices. Bien qu'aucune explication physiologique n'ait pu jusqu'à présent être avancée, ces résultats ne permettent pas d'écarter l'existence d'une réelle sensibilité aux radiofréquences pour de rares sujets. Ainsi, ces recherches méritent d'être poursuivies, d'autant plus que de légers effets, tels que modification de la qualité du sommeil et maux de tête, ont été mis en évidence suite à une exposition de plusieurs heures²⁶⁹. Plusieurs études ont par ailleurs exploré les problèmes de santé ressentis par les personnes exposées aux ondes émises par les antennes-relais de téléphonie mobile. La problématique des risques liés aux radiofréquences se cristallise autour de la question des antennes-relais plutôt qu'autour de celle de l'usage des téléphones mobiles, ces derniers étant pourtant plus particulièrement pointés du doigt par les autorités publiques et les experts scientifiques.

²⁶⁷ *Afsset, 2009*

²⁶⁸ *Rubin et al. 2006*

²⁶⁹ *idem*

Dans un rapport d'étude, examinent l'origine de la controverse autour de l'implantation de ces antennes montrent qu'elle ne puisse pas ses racines uniquement dans les questions de compréhension de la science et d'éducation du grand public²⁷⁰. Le déploiement des antennes-relais a été initié au début des années 90, sous l'impulsion de l'État qui poussa le développement de ce service d'intérêt collectif dans une optique de progrès social. Alors que la téléphonie mobile est au départ destinée à un public restreint, à la fin de l'année 1997, une explosion des ventes d'abonnements projette cette activité dans la consommation de masse. Les opérateurs sont alors confrontés à la nécessité d'intensifier leur réseau, parallèlement à son déploiement, afin de répondre à la demande.

À cette époque, environ 10 000 stations de base couvrent le territoire ; on en compte aujourd'hui environ 70 000²⁷¹, l'implantation des antennes-relais étant régie par différentes réglementations et accordée par l'ANFR. Dans ce contexte, l'implantation précipitée de nouvelles antennes s'est faite au détriment des riverains, dont les doléances n'ont pas été entendues. Le sentiment d'impuissance face à ce phénomène et le silence des autorités alimentent l'hostilité des riverains à l'égard des antennes ayant fait irruption dans leur paysage²⁷².

Bien que la question sanitaire n'ait pas été au premier plan des préoccupations exprimées par les riverains, la réponse tardive apportée par les opérateurs s'est focalisée sur ce point²⁷³, de même que celle de l'État qui produit un premier rapport sur la question des risques sanitaires de la téléphonie mobile en 2001²⁷⁴. Ce rapport évoque l'absence de risque lié aux antennes, mais paradoxalement préconise leur implantation à distance des lieux sensibles tels que crèches, écoles, hôpitaux... Ce message a pour effet d'ancrer la problématique des antennes autour de la question sanitaire²⁷⁵.

²⁷⁰ *Borraz et al.*, 2004

²⁷¹ *Afsset*, 2009

²⁷² *DeMarchi*, 2009

²⁷³ *Borraz et al.*, 2004

²⁷⁴ *Zmirou et al.*, 2001

²⁷⁵ *Idem*

À l'heure actuelle, les résultats des études ne plaident pas en faveur d'une relation causale entre expositions aux radiofréquences, aux niveaux d'exposition couramment rencontrés, et altération de la santé, qu'il s'agisse de cancers ou bien de symptômes plus généraux. Aucun mécanisme d'action des ondes sur les cellules ou les tissus n'a pu être mis en lumière, mais les doutes subsistent à la faveur de l'évocation d'effets biologiques par certains travaux isolés. Face à cette situation d'incertitude, les opinions sont souvent tranchées entre partisans de l'existence d'un effet avéré et partisans de l'innocuité des ondes, offrant ainsi un terrain propice à l'opposition de points de vue extrêmes. On assiste alors à l'affrontement de deux groupes.

XVI.6. REGLEMENTATION DES FREQUENCES

Au niveau mondial, la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (*ICNIRP*) émet des recommandations quant aux valeurs limites d'exposition permettant de garantir la protection des personnes contre les effets nocifs des champs électromagnétiques. Ces valeurs limites sont définies à partir de l'analyse des effets sanitaires avérés documentés dans la littérature, et de façon à prévenir l'effet qui se déclare au niveau d'exposition le plus bas. Des facteurs de sécurité sont appliqués pour prendre en compte les incertitudes scientifiques.

Dans le cas des radiofréquences, l'ICNIRP ne considère que les seuls effets avérés soient les effets thermiques et les valeurs limites peuvent s'exprimer en termes de Débit d'absorption spécifique (*DAS*) (*on parle de restrictions de base*) ou d'intensités de champ électrique (*on parle de niveaux de référence*). Les valeurs limites actuelles ont été proposées par l'ICNIRP en 1998 et l'analyse des études récentes a confirmé leur validité²⁷⁶. Ces valeurs ont été reprises par l'Union européenne²⁷⁷ et transposées dans la réglementation des autres pays du monde.

²⁷⁶ *Afsset, 2009*

²⁷⁷ *Recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques.*

Concernant les équipements terminaux tels que les téléphones mobiles, le DAS doit être inférieur à 0,08 W/kg pour l'ensemble du corps et, au niveau local, à 2 W/kg pour la tête et le tronc, et 4 W/kg pour les membres²⁷⁸. Le DAS local au niveau de la tête doit également figurer de façon visible dans la notice d'emploi des appareils, de même qu'une rubrique portant sur les précautions d'usage. Concernant les antennes-relais, les valeurs limites d'exposition varient actuellement de 41 à 61 V/m selon le type de réseau. L'exploitant doit s'assurer qu'en toute zone accessible au public, ces valeurs limites ne sont pas dépassées. Un périmètre de sécurité de l'ordre de quelques mètres doit notamment être matérialisé autour de l'antenne.

Par ailleurs, lorsqu'une antenne est située à moins de 100 m d'un établissement scolaire, d'une crèche ou d'un établissement de soins, l'exploitant doit indiquer les actions prises pour assurer une exposition aussi faible que possible tout en préservant la qualité du service rendu²⁷⁹. L'accord pour l'implantation des antennes-relais est délivré par l'Agence nationale des fréquences (ANFR) selon une procédure veillant notamment au respect de ces valeurs limites. Ce respect peut également être vérifié sur site par des organismes qualifiés appliquant le protocole de mesure de l'ANFR²⁸⁰.

Opposant d'une part, les autorités, experts scientifiques et opérateurs et, d'autre part, les associations, groupes de riverains et experts contestataires. Alors que la parole des experts est fondée sur des faits et des données scientifiques, qui par nature sont dénués de sentiments et placés hors du contexte social, l'argumentaire des mouvements contestataires mêle les éléments d'ordre scientifique, articles, pétitions signées par des médecins, faits locaux, récits individuels... et est restitué dans un contexte émotionnel. Les médias, sans prendre parti, portent sur le devant de la scène les deux propos et contribuent à semer la confusion dans les esprits. Ainsi, la méfiance à l'égard de l'expertise scientifique et des pouvoirs publics s'est généralisée.

²⁷⁸ Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication.

²⁷⁹ Arrêté du 8 octobre 2003 relatif à l'information des consommateurs sur les équipements terminaux.

²⁸⁰ Circulaire interministérielle du 16 octobre 2001 relative à l'implantation des antennes-relais de radiotéléphonie mobile.

En effet, la confiance accordée par la population à l'expertise scientifique concernant la téléphonie mobile est faible : moins d'un congolais sur deux (48,9 %) se déclarait plutôt ou très confiant dans cette expertise en 2009, la téléphonie mobile étant ainsi la problématique pour laquelle la confiance est la plus faible parmi différentes thématiques environnementales. De même, la population se montre largement insatisfaite de l'action menée par les pouvoirs publics congolais dans ce domaine (*seulement 38 % des Congolais se déclaraient plutôt ou très satisfaits en 2009*).

L'expertise s'appuie sur des données scientifiques qui sont mises à jour continuellement, synthétisées et critiquées dans divers rapports nationaux et internationaux émanant de groupes d'experts. Pour autant, à ce jour, elles n'ont pas permis de faire évoluer le débat, indiquant peut-être que le problème n'a pas de solution scientifique. En effet, il n'est pas possible de faire la preuve de la non-nocivité des ondes. Ainsi, il faut trouver un autre cadre à la controverse.

XVI.7. PRINCIPE DE PRECAUTION OU PRINCIPE D'ATTENTION

Le principe de précaution se veut un outil de gestion de l'incertitude en matière de risques. Son application découle de l'identification d'un risque plausible sur la base d'indices concluants. Si le principe de précaution donne plus de poids à la protection de la santé dans la balance des intérêts, la réponse doit être proportionnée en regard des autres considérations, qu'elles soient socio-économiques, politiques, techniques ou encore éthiques. Les mesures adoptées ont par ailleurs un caractère provisoire et peuvent être révisées en fonction de la progression des connaissances²⁸¹. Dans le cas des antennes-relais de téléphonie mobile, ce principe ne s'applique pas car aucun indice ne rend plausible l'existence d'un risque.

²⁸¹ Noiville, 2009

Or certaines décisions de justice sèment le trouble dans les esprits en faisant d'un risque sanitaire hypothétique et de l'angoisse qui en découle un préjudice, alliant ainsi le principe de précaution et la notion de trouble du voisinage. C'est en revanche le principe d'attention qu'appliquent les pouvoirs publics. Pour répondre à l'inquiétude manifeste du public, ils prônent notamment plus de transparence, d'information, de déontologie et un discours public assumé : « *Renforcer les prérogatives des élus locaux en vue de permettre la planification conjointe des installations dédiées à la téléphonie mobile avec une plus grande concertation du public. Tels que développés dans le paragraphe suivant, des exemples dans cette voie peuvent être décrits* ».

Les niveaux d'exposition acceptables pour la population générale constituent un enjeu important. Si les expertises ne mettent pas en exergue des raisons suffisantes pour réclamer la révision des valeurs limites d'exposition établies par les instances internationales, leur acceptabilité sociale s'est largement dégradée depuis quelques années²⁸². Pour répondre aux inquiétudes de la population, certains États ont choisi d'appliquer des valeurs limites d'exposition plus strictes, sur tout leur territoire ou dans des lieux définis comme plus sensibles.

D'autres mesures de gestion spécifiques visant à limiter les expositions, basées sur les connaissances scientifiques mais aussi sur d'autres critères (*inquiétude sociale, principe de précaution...*), ont également été adoptées par certaines collectivités. La valeur limite de 0,6 V/m est souvent citée, notamment par de nombreuses associations qui réclament sa généralisation. Si cette valeur a été proposée suite à une étude scientifique réalisée en 1996, elle n'a aucun fondement scientifique, les études ultérieures n'ayant pas confirmé les résultats obtenus²⁸³.

²⁸² Girard et al. 2009

²⁸³ Treiner, 2009

Or ces disparités dans les seuils appliqués contribuent à alimenter la confusion et l'inquiétude de la population²⁸⁴. Le sentiment d'abaisser les seuils pourrait ainsi provoquer une fuite en avant vers des réclamations toujours plus radicales. En effet, si l'intérêt de la concertation entre les différents acteurs et la prise en compte de l'ensemble de leurs préoccupations est indéniable, il s'avère aussi essentiel que les décisions prises soient clairement explicitées et la communication autour de ces décisions bien organisée²⁸⁵.

Par ailleurs, il convient de vérifier dans quelle mesure l'abaissement des seuils entraîneraient une diminution réelle de l'exposition²⁸⁶. En effet, abaisser les seuils implique notamment une diminution des puissances émises par les antennes-relais, donc potentiellement une augmentation des puissances émises par les téléphones mobiles pour se connecter au réseau, d'où une augmentation de l'exposition de leurs utilisateurs.

²⁸⁴ Girard et al. (2009),

²⁸⁵ OMS, 2004

²⁸⁶ Afsset, 2009

CHAPITRE XVII. PRESENTATION, ANALYSE, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Ce dernier chapitre nous conduira à arborer les résultats de l'enquête afin de les analyser pour arriver à trouver les différents usages et incidences électromagnétiques des téléphones portables et des antennes relais sur la santé humaine de la population Congolaise, l'agrément des usagers ainsi que l'exposition des opérateurs téléphoniques.

XVII.1. PRESENTATION DES DONNEES

Depuis une vingtaine d'années, moment où est apparu le téléphone cellulaire, les effets potentiels des ondes utilisées préoccupent les gens. Le sujet touche plusieurs groupes : les fabricants de téléphone, les opérateurs de réseaux téléphoniques avec leurs antennes de relais, les autorités de santé publique ainsi que les chercheurs et les scientifiques aux avis parfois divergents et souvent médiatisés. Alors qu'en est-il exactement? Pour y répondre, nous avons examiné les données expérimentales et épidémiologiques récentes mais cela n'a fait qu'augmenter notre confusion sur le sujet aussitôt nous avons décidé d'orienter notre vision sur les effets immédiats et réelles des ondes électromagnétiques que nous avons pu observer auprès de nos enquêtés et surtout la manière dont certains apprivoisent la nocivité des téléphones portables et des antennes relais dans leur environnement quotidien ;

En statistique, le concept de fréquence est assez facile à cerner. Pour notre cas, il s'agit ici de compter le nombre d'apparitions d'une réponse des enquêtés par rapport à la question. La réponse qui se répète le plus de fois possible s'avère occuper la première place et ainsi de suite. Les répondants à ce questionnaire ont été sélectionnés de manière aléatoire mais subdivisé en catégorie sociale distincte, à l'aide de la grille de Kish²⁸⁷.

²⁸⁷ Une procédure de sélection au hasard d'un individu parmi les individus éligibles d'un ménage appartenant à l'échantillon d'une enquête auprès des ménages, proposée par Leslie Kish.

L'univers de référence étant constituée des utilisateurs des téléphones cellulaires en RDC, notre échantillon de 300 personnes s'est composé de *59% des hommes* et *41% des femmes*. Tout ceci se résume dans le tableau ci-après :

Tableau 12. Structure de l'échantillon par tranche d'âges et sexe

SEXE	18- 28 Ans	28 – 40 Ans	Global
Féminin	27 %	14%	41%
Masculin	35%	24%	59%
Total	62%	38%	100%

Source : nos enquêtes

Tableau 13. Structure de l'échantillon par niveau d'études

CATEGORIE	Femmes	Hommes	%
Sans niveau	8%	13%	21%
Etude primaire	12%	4%	16%
Etude secondaire	10%	12%	22%
Etude universitaire	25%	16%	41%
Total	55%	45%	100%

Source : nos enquêtes

Tableau 14. Relatif à la question n°3

CRITERES	ÉCHANTILLON	1	2	3	4
Nombre de réseaux utilisés	300	56	125	74	35

Source : Nos enquêtes

COMMENTAIRE : le tableau ci-dessus, nous explique clairement comment la population Congolaise réagit face à la multiplicité des téléphones portables multi-SIM. Après notre conquêtes auprès de nos 300 participants, nous avons remarqués que la population Congolaise utilise en majorité un téléphone portable à deux cartes SIM soit 41,6%, les téléphones portables mono SIM sont utilisés en troisième position soit 18,6% ; Quant à la deuxième position, c'est les téléphones portables à trois SIM, soit 24,6% et enfin la quatrième position est occupée par les téléphones portables à quatre SIM soit 11,6%.

Tableau 15. La préférence de tous ces réseaux en RDC

CRITERES	ÉCHANTILLON	AIRTEL	VODACOM	ORANGE	TIGO
Préférence de réseaux	300	108	92	43	57
Positionnement	300	1er	2 ^e	4 ^e	3 ^e

Source : Nos enquêtes.

COMMENTAIRE : visiblement sur ce tableau, nous essayons de présenter les réseaux cellulaires de la RDC Et montrez le réseau de choix de la population locale mais c'est avec grand fiél que nous avons constaté que la plus grande population de la RDC choisisse un réseau cellulaire d'une façon tribale, c'est le cas du réseau cellulaire Vodacom qui est sans doute connu sous l'appellation des « réseaux des Kinois » et le réseau Airtel connu sous l'appellation des « réseaux des gens de l'Est » cependant après la récoltes des données auprès de nos répondants ; le réseau cellulaire « AIRTEL » semble occuper la première place en RDC, soit 36% ; suivi du réseau cellulaire « VODACOM » soit «30,6% » ; ensuite le réseau cellulaire « TIGO » soit 19% ; et enfin le réseau cellulaire « ORANGE » soit 14,3%.

Tableau 16. Récapitulatif des catégories des téléphones portables utilisés en RDC.

LES CATEGORIES DES TELEPHONES PORTABLES UTILISEES	EN RDC
TELEPHONES SIMPLES	90%
ANDROID	74%
SMARTPHONES	69%
IPHONES	25%

SOURCE : Nos Enquêtes

COMMENTAIRE : les analyses du tableau 16, porte sur la récapitulation de l'utilisation des différentes catégories des téléphones portables sur l'étendue de la RDC, il ressort que les téléphones portables simples sur l'étendue de la République sont seulement utilisés à 90% ; les téléphones portables ANDROID sont utilisés à 74%; les SMARTPHONES 69% et les IPHONES 25%.

Tableau 17. Comparaison du choix des téléphones portables utilisés en RDC.

<i>ENQUETES</i>	<i>BATTERIE</i>	<i>DESIGN PHYS.</i>	<i>FONCTIONNALITE</i>
HOMMES	65%	15%	37%
FEMMES	69%	63%	48%
ADOLESCENTS	80%	70%	76%

SOURCE : Nos Enquêtes.

COMMENTAIRE : Après l'analyse de nos données, nous avons pu catégoriser nos répondants en trois classes distinctes notamment la classe des hommes, la classe des femmes et la classe des jeunes ou des adolescents et nous avons remarqués que les hommes utilisent un téléphone portable à 65% à cause de la dureté de la batterie, ils sont moins motivés par l'aspect matériel soit 15% d'hommes utilisent vraiment un téléphone portable à cause du design physique et à 37% ils utilisent un téléphone portable à cause de ses multiples fonctionnalités. Contrairement aux femmes, elles utilisent un téléphone portable à 69% à cause de la dureté de sa batterie, à 63% de son design physique et à 48% de ses multiples fonctionnalités. Par contre, la troisième classe bat le record sur tous les points ; les adolescents utilisent un téléphone portable à 80% à cause de la dureté de la batterie, à 70% à cause de son design physique et à 76% à cause de ses multiples fonctionnalités.

Tableau 18. Les services sollicités pour l'usage des téléphones Portables

SERVICES	HOMMES	FEMMES	ADOLESCENTS
SMS	35%	33%	79%
MMS	10%	2%	56%
APPELS	87%	65%	35%
CAMERAS	23%	68%	78%
INTERNET	62%	67%	94%
JEUX	5%	19%	87%
MUSIQUE	16%	49%	76%

SOURCE: Nos Enquêtes.

COMMENTAIRE : Le tableau 18, synthétise le pourquoi la population Congolaise sollicite l'usage d'un téléphone portable, pour ce qui des hommes, ils sollicitent majoritairement à 87% un téléphone portable pour les appels, suivi de l'internet à 62%, suivi des SMS à 35%, suivi de la prise des photos à 23% etc. Contrairement aux femmes, elles sollicitent majoritairement à 68% un téléphone portable pour la prise des photos, suivi de l'internet à 67%, suivi des appels à 65%, suivi de la Musique à 49% etc. par contre, les adolescents sont plus indispensables à l'internet à 94%, aux jeux à 87%, aux SMS à 79%, à la prise des photos à 78%, etc.

Tableau 19. Formation de l'usage des téléphones portables en RDC

ENQUETES	FORMATION AVANCEE	FORMATION MOYENNE	AUTO FORMATION
HOMMES	10%	35%	55%
FEMMES	4%	23%	73%
ADOLESCENTS	55%	30%	15%

SOURCE : Nos Enquêtes.

COMMENTAIRE : l'usage des téléphones portables semble avoir un succès planétaire, ce qui nous pousse à nous demander comment ? Le tableau 11 tente de nous expliquer clairement la cause de ce succès. Bref, en matière de formation de l'usage du téléphone portable, il semblerait que seulement 10% d'hommes en RDC ont eu une formation avancée à l'utilisation des téléphones portables, 35% parmi eux ont reçus une formation moyenne et 55% n'ont aucune formation requise de l'usage des téléphones portables, cela va de même avec l'utilisation des téléphones portables par des femmes ; seulement 4% des femmes en RDC ont reçues une formation avancée en matière des téléphones portables, 23% parmi elles ont reçues une formation et 73% n'ont aucune formation. Par contre, 55% des adolescents ont reçus une formation avancée de l'utilisation des téléphones portables, 30% ont également une formation moyenne et enfin seulement 15% parmi eux n'ont aucune formation partielle en la matière.

Tableau 20. Connaissance sur le danger du DAS des téléphones Portables

ENQUETES	HOMMES	FEMMES	ADOLESCENTS
Lettrés	30%	43%	18%
Moyens	16%	18%	14%
Analphabètes	25%	23%	39%

SOURCE : Nos Enquêtes.

COMMENTAIRE : ce tableau 20, analyse la connaissance du danger des téléphones portables en RDC, il est parfaitement clair que seulement 30% des lettrés Hommes sont absolument informés sur le danger des téléphones portables et seulement 43% des femmes lettrées et 18% des adolescents sont formellement informées de la nocivité des téléphones portable en RDC. Quant au reste de la population Congolaise, ont des idées vagues sur la nocivité des téléphones portable et certains parmi eux semblent être méfiants quand a ce, et d'autres encore sont tellement paranoïaque qu'ils s'en séparent totalement d'eux.

Tableau 21. Connaissance sur le danger des Antennes Relais

ENQUETES	HOMMES	FEMMES	ADOLESCENTS
Lettrés	60%	23%	12%
Moyens	36%	43%	26%
Analphabètes	45%	33%	25%

SOURCE : Nos Enquêtes.

COMMENTAIRE : Ce tableau 21, analyse la connaissance du danger des Antenne-Relais en RDC, il est parfaitement clair que seulement 60% des lettrés Hommes sont absolument informés sur les Antenne-Relais portables et seulement 23% des femmes lettrées et 12% des adolescents sont formellement informées de la nocivité des Antenne-Relais en RDC. Quant au reste de la population Congolaise, ont des idées vagues sur la nocivité des Antenne-Relais et certains parmi eux semblent être méfiants quand a ce, et d'autres encore sont tellement paranoïaque qu'ils s'en écartent totalement d'eux.

XVII.2. ANALYSE, INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

L'interprétation et la discussion des résultats constituent ensemble la dernière étape de la démarche d'analyse. Elles s'alimentent mutuellement, tant en pratique que dans le texte de cette thèse. Discuter nos résultats, c'est les mettre en lien entre eux et avec ce qui était déjà connu. De façon allégorique, on pourrait dire que la discussion consiste à faire converser nos résultats avec toutes les autres sections de notre thèse : « *problématique, questions de recherche, cadre théorique, hypothèses, etc.* ».

En cela, notre réelle interprétation est basée sur les résultats directs de notre questionnaire qui n'affirme et n'infirme notre hypothèse ; d'où nous pouvons garantir selon les différentes réalités que nous nous sommes concentrés uniquement sur terrain que des ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables et les antennes relais sont si complexe dans leurs dangers et leur mode d'altération dépend d'un organisme ou d'une personne à une autre, cependant elles restent périlleuse car elles peuvent causer des effets négatives à long et à court terme sur n'importe quel individu comme par exemple les fatigues chroniques, les insomnies et pour ne citer que cela.

Succinct, l'hypothèse de cette recherche a été nuancée étant donné la bipolarité des effets des ondes électromagnétiques sur le corps humain : d'un côté, certains au premier contact avec ces ondes électromagnétiques succombent et frôlent même la mort, et de l'autre côté, ces ondes électromagnétiques au contact avec le corps humain ne produisent en réalité aucun effet néfaste. Il est important de distinguer la problématique des antennes-relais, de celle de l'usage des téléphones mobiles. Bien que s'inscrivant toutes les deux dans le domaine de l'impact des champs électromagnétiques, les niveaux d'exposition sont très différents. Par ailleurs, il est également utile de rappeler que nous sommes entourés d'ondes électromagnétiques de différentes fréquences (*lignes électriques, écrans TV, radiodiffusion, téléphones et internet, radars...*), principalement des ondes radio FM ; les ondes liées à la téléphonie GSM ne représentent qu'une faible part de l'ensemble des sources électromagnétiques.

A des puissances importantes, les radiofréquences provoquent un échauffement de la peau, pouvant conduire à des brûlures. Des interactions avec les stimulateurs cardiaques ont également été observées. Certaines études ont noté des effets, dont les mécanismes sont encore inconnus. Il est important de retenir que l'observation d'effets biologiques n'implique pas forcément la présence d'effets sanitaires; ainsi, la peau rougit avec le froid, sans que cela altère la santé mais pour certains organismes, cela peut autant s'avérer fatale ou même mortel. Du fait de leur propagation en « *effet parapluie* », les ondes électromagnétiques émises par les antennes affectent peu à peu les organismes proches et le plus souvent exposé et leur puissance, forte au niveau de l'antenne, décroît rapidement avec la distance. Malgré ces réalités, le public s'inquiète de l'existence éventuelle de risques qui reste présentement un mystère.

Après avoir observés et étudiés longuement, les antennes GSM et les téléphones portables, je me suis posé la question de savoir, pourquoi certains chercheurs affirment avec la plus haute certitude scientifique que ces derniers n'ont aucun effet néfaste sur la Santé alors qu'ils recommandent de s'en prévenir ? Ce n'est pas par ce que nos recherches concentrées sur une étendue donnée ne répondent pas à nos résultats que nous sommes forcés de conclure intégralement comme une vérité universelle ; il y a incontestablement certaines personnes quelque part qui sont victimes de ces mêmes enjeux.

Au regard des tableaux ci-haut qui synthétisent le pointage fait du dépouillement basé sur les données brutes recueillies, nous avons donc noté le nombre de fois que se sont répétés les résultats qui ont découlé de nos enquêtes :

- ✎ Les utilisateurs de deux réseaux à la fois (*multicartes Sim: carte Sim principale et cartes SIM secondaires*) se sont répétés 56 fois sur l'effectif de 100 sujets. Ce qui aboutit logiquement à conclure que la majorité des abonnés utilise au moins deux réseaux cellulaires à la fois (*56% des enquêtés*).
- ✎ Le rapport de la fréquence de l'utilisation d'Airtel figure en tête du classement des opérateurs de téléphonie mobile avec 35%, devant Vodacom (34%), Tigo (22%) et Orange (9%).

- ✎ La quasi-totalité des abonnés de la RDC se déclarent satisfaits de leurs opérateurs principaux, motivés par les avantages promotionnels qui reviennent 25 fois, la connexion intra réseau se produit à 24 phases, 20 séquences pour la qualité du signal, la couverture du réseau à 18 reprises et la tarification s'est renouvelée à 13 périodes.

- ✎ La satisfaction et le choix chez Airtel, Tigo, Orange, sont liés principalement aux avantages de vente, au fait d'éviter l'interconnexion et à la tarification abordable. Pour Vodacom, c'est la qualité de son signal et sa couverture réseau qui justifient surtout cette satisfaction.

Dans le sens inverse, les plaintes contre Vodacom ont plus trait à ses tarifs élevés alors que les abonnés d'Airtel se plaignent des encombrements des lignes et des pertes des crédits. Tigo et orange sont plutôt considérés comme des réseaux secondaires.

CONCLUSION

La diversité des modes de communication offerte par l'outil largement répandu qu'est le téléphone mobile est manifeste. Elle dépasse ainsi, ou plutôt réunit en un seul appareil, compact et léger, souvent à portée de main, divers modes de contact entre les individus, divers moyens de diffusion de l'information. Que ce soit la voie vocale, écrite, que l'on utilise sons ou images, une certaine forme d'interactivité ou au contraire la simplicité d'une information statique, chacune de ces manières de communiquer, d'interagir avec une personne intégrée dans un projet de formation ou d'insertion, possède des particularités qui en font un mode de communication adapté à des usages, à des situations ou des buts spécifiques.

Loin de concurrencer les unes les autres, ces diverses possibilités d'échange sont à envisager comme complémentaires, par ce que leur spécificité peut apporter relativement à leurs consœurs. La simplicité et la vulgarisation de son usage, la gratuité de sa réception, ainsi que la gestion aisée d'envois importants à partir d'un ordinateur, rendent d'ores et déjà pleinement réalisable, voire souhaitable, mais les incidences que transmettent ces nouvelles technologies nous laisse encore perplexe sur l'éventuel risque de la santé humaine.

Les Congolais évoluant dans l'économie informelle ont su bien intégrer la technologie de la téléphonie mobile dans leurs activités socioéconomiques. A la question de savoir ce que ces acteurs font du téléphone portable, l'observation des modes d'appropriation de cet outil portable laisse entrevoir les différentes incidences sur les aspects de leurs activités quotidiennes. Il se dégage une ambivalence de l'usage du téléphone portable au niveau de ces usagers qui se battent, en marge du cadre réglementaire, à la recherche de leur pitance quotidienne.

D'un côté, cet outil de communication favorise la fluidité des échanges et accroît l'efficacité ainsi que la rentabilité au travail ; de l'autre côté, il peut conduire à une dislocation intime environnementale notamment la pollution. L'usage de cet outil de communication se prête effectivement à des techniques d'ajustements particulières aussi bien dans la vie professionnelle que ménagère car ces utilisateurs, aussi ordinaires, savent bien ce qu'ils veulent. Les formes d'accommodation du téléphone portable identifiées par les résultats de cette étude montrent que les opérateurs des réseaux cellulaires de la ville de Beni font preuve de tactiques et inventent des stratagèmes pour éviter de subir la précarité de leurs conditions sociales et économiques.

Ainsi, les usages du téléphone portable par ces usagers s'insèrent réellement dans la perception de la notion d'usage développée par Michel De Certeau sur la vie des gens ordinaires. A travers ce panorama sur les usages du téléphone portable par les Congolais, on dispose à présent d'un certain nombre de résultats tangibles quant au rôle joué par cet outil de communication dans la vie quotidienne. La première évidence est celle qui met fin à une vision strictement manipulatoire des outils de communication sur les usagers car ces outils possèdent les sens que les usagers leur donnent. A ce titre, on ne saurait continuer à raisonner selon un schéma causal et déterministe de la communication. La seconde évidence est la prise en compte du contexte particulier dans lequel opèrent les usagers et cela évite toute forme d'extrapolation hâtive. Les technologies de communication ne prennent, en effet, leur sens que dans l'univers symbolique des croyances, des valeurs et des mythes sinon elles ne sont que un mal nécessaire sur la santé de ces derniers qui risquerait de dégénérer un de ces jours ; les utilisateurs ne prennent pas en compte les différents avertissements fournis à ce sujet.

Au Congo et même dans le monde, les ondes électromagnétiques sont au cœur d'un certain nombre de conversations et c'est surtout leur possible danger pour la santé qui fait de ces ondes un sujet plus que d'actualité. A notre époque, pour des raisons de logistique évidente, on ne peut pas se permettre de supprimer la téléphonie mobile ou d'autres appareils électroniques fonctionnant par l'intermédiaire des radiofréquences. On est donc condamné à ce que les ondes électromagnétiques soient présentes dans la vie de tous les jours et dans le futur. Mais c'est en particulier les téléphones mobiles qui ont suscité une énorme inquiétude de la part des citoyens, amenant ce problème à être pris au sérieux. De ce fait, de nombreuses études ont vu le jour mais suite aux résultats, il existe un véritable débat sur la possible nocivité des champs électromagnétiques.

On assiste à un face à face opposant deux camps. D'un côté, on a des réponses rassurantes et sécurisantes qui redonnent confiance aux citoyens. Il s'agit des conclusions apportées par la majorité des études traitant le sujet et par les agences nationales et internationales. En effet, la plupart des travaux provenant des études Interphone et des études de Hardell démontrent que les radiofréquences ne sont pas synonymes de danger. De son côté, l'OMS affirme, compte tenu des connaissances actuelles, qu'il n'existe pas de rapport de cause à effet entre les ondes électromagnétiques utilisées dans la téléphonie mobile et un risque pour la santé. Le rapport de l'Afsset reprend les mêmes conclusions.

De plus, le 2 février 2009, le SCENIHR a retenu un avis conforme aux analyses de l'OMS et de l'Afsset en garantissant, le tout en s'appuyant sur les résultats de l'ensemble des études épidémiologiques, qu'une « augmentation du risque de cancer due à l'exposition aux radiofréquences est improbable chez l'homme. ». De l'autre côté, des groupes de chercheurs internationaux ont publié des rapports fournissant des conclusions préoccupantes quant aux effets délétères des champs électromagnétiques sur la santé des citoyens. Ces effets néfastes ont été retrouvés dans un certain nombre, même petit, de travaux provenant des études Interphone et de Hardell.

Néanmoins, à l'heure actuelle, on constate que la majorité des spécialistes admettent que les ondes électromagnétiques n'ont pas d'impact sur la santé des usagers, faisant fortement pencher la balance vers une absence de nocivité des radiofréquences. Mais ces spécialistes écartent un danger à court terme. Donc compte tenu du manque de recul et de travaux concernant des utilisations de téléphones mobiles sur une très longue période (*supérieures au temps d'incubation des principales tumeurs cérébrales*), ainsi que de certains points d'interrogations encore présents, l'application du principe de précaution me semble indispensable.

De ce fait, sans pour autant proscrire les ondes électromagnétiques, il faut s'en méfier. Il existe des gestes simples pour minimiser notre exposition et ainsi nous protéger : utiliser le mobile le moins fréquemment possible et ceci durant une courte période, appeler sans se déplacer et dans des lieux dotés d'un bon réseau, ne pas mettre le téléphone portable sur la table de chevet pendant la nuit, utiliser un kit mains libres, privilégier l'envoi de SMS, attendre de mettre à son oreille le mobile tant que le correspondant n'a pas décroché, ... En adoptant ces recommandations, la santé des usagers s'en trouvera préservée.

D'autant plus que les études relatives aux divers systèmes de l'organisme sont fondamentalement rassurantes et ne soulignent aucun effet néfaste cohérent. Cependant, concernant les enfants et les adolescents, j'ai constaté un certain nombre d'études révélant un effet négatif des ondes électromagnétiques sur le développement, donc une attention particulière chez ces personnes est primordiale, en attendant avec impatience les résultats de l'étude MOBI-KIDS. De plus, les études concernant la reproduction ne permettent pas d'écarter avec certitude un éventuel risque sur ce système, un geste simple tel que d'éviter de mettre le portable dans la poche du pantalon permettrait de diminuer fortement la possibilité que ce système soit atteint.

Compte tenu du doute qui persiste quant à la possible nocivité des téléphones portables, les industriels profitent de la situation et commencent à mettre en place des moyens de protection censés diminuer la menace des radiofréquences sur la santé des congolais, mais l'efficacité n'est pas clairement établie. Seul le futur nous permettra de savoir si ces produits ont réellement la capacité de nous protéger, ou si la téléphonie mobile va faire un bond en avant en matière de sécurité en réduisant son émission d'ondes électromagnétiques. Je préconise donc une application totale du principe de précaution en respectant les diverses recommandations limitant notre exposition, surtout chez les enfants et les adolescents, plutôt que de faire confiance aux nouveaux produits mis sur le marché par les industriels.

Nous ne prétendons pas être capables de faire ce qu'aucun chercheur n'a actuellement fait. Nous ne prétendons pas pouvoir affirmer que le téléphone portable est ou non néfaste à long terme. Nous aspirons seulement à vous faire réfléchir, à vous interpeler. Nous avons constaté des interactions indéniables entre notre corps et le téléphone portable. Il en existe sûrement d'autres. Nous n'apportons aucune preuve, mais nous montrons, au vu des résultats obtenus, qu'il serait judicieux de prendre en compte les recommandations simples émises par certains chercheurs, afin de nous protéger d'effets indésirables qui nous seraient inconnus, ou non reconnus.

En effet, comme ils le suggèrent, une simple application du Principe de Précaution par des gestes banals du quotidien, à notre portée à tous, nous permettrait de nous prémunir en grande partie des risques potentiels liés au téléphone portable. Nous ne faisons que nous appuyer sur les études qui nous mettent raisonnablement en garde, celles-là même qui semblent inconnues du public. Protéger les jeunes et la génération suivante est une priorité absolue, car exposer des enfants, toujours plus jeunes, si fragiles, à un objet dont nous savons si peu est simplement de l'inconscience ; Chacun est maître de sa santé, chacun est libre d'agir ou non.

Le téléphone portable est certes une fabuleuse invention, très pratique, mais le revers de la médaille peut être lourd. Le bannir de notre vie serait un outrage à la modernité, mais ruiner notre santé sous couvert d'utilité serait ridicule. Trouver un juste milieu, qui nous permette d'en profiter sans nous exposer inutilement, voilà un raisonnement sage. Puisse ce positionnement toucher un maximum de personnes, seul l'avenir nous donnera raison ou tort, ce qui resterait une bonne nouvelle. Si ce travail vous a semblé correct, vous pouvez nous aider en diffusant ces saines recommandations, et si vous possédez une volonté forte, du matériel plus performant et suffisamment de temps, tant d'autres expériences restent à faire.

RECOMMANDATIONS ET SUGGESTIONS

1. RECOMMANDATIONS APPLIQUEES AUX TELEPHONES PORTABLES

Ces recommandations de prévention vous permettront de limiter notre exposition et de la rendre minime. Dans un premier temps, dans n'importe quelle situation, voici ces règles de bon usage du téléphone portable nécessaires dans l'intention de réduire notre exposition :

- ✗ Préconiser un usage modéré du téléphone portable ; les conversations prolongées ou inutiles devront être évitées. En effet, la communication téléphonique ne doit pas se poursuivre au-delà de 2 à 3 minutes avec un maximum de 4 à 5 contacts par jour ;
- ✗ Dès que la situation le permet, préférer le téléphone filaire à la place du mobile, et Privilégier un téléphone portable à faible DAS ;
- ✗ Dans les zones de mauvaise réception (*visible sur le mobile comportant 1 ou 2 barrettes*), le téléphone portable va voir sa puissance s'élever, et par conséquent, notre exposition aux ondes électromagnétiques en fera de même qu'augmenter. Donc éviter dès que possible l'usage du mobile dans ces zones où le signal est faible (*cave, ascenseur, métro...*). De même, ne pas l'utiliser lors d'un trajet (*voiture, train*) pour contourner les changements de stations de base car le fait de chercher un nouveau relais augmente la puissance du mobile ;
- ✗ Dans le but de minimiser l'exposition au niveau de la tête lors de la conversation et plus particulièrement au cours des premières secondes de la communication où les ondes sont les plus puissantes, préférer un kit oreillette afin de permettre un éloignement avec l'appareil (*même modeste de 20 cm*).
- ✗ Du fait des résultats des études démontrant un éventuel effet sur le développement, interdire au maximum l'usage du téléphone portable chez les enfants de moins de 15 ans dont la croissance et le développement de certains organes ne sont pas encore totalement achevés.

En juin 2011, le Centre International de Recherche sur le Cancer (*CIRC*) a conseillé de suivre ces mêmes mesures de prévention. En 2005, l'Anses aussi se base sur une attitude de précaution et apporte d'autres recommandations quant à l'usage du téléphone portable :

- ✗ Inciter les parents à conseiller les enfants sur la meilleure utilisation du mobile afin de limiter au maximum l'exposition, ou souscrire des abonnements limitant les appels.
- ✗ Vérifier l'affichage du DAS au niveau des lieux de vente et dans les notices des mobiles.
- ✗ Adapter les notices d'emploi des mobiles aux adolescents et Relancer une campagne d'information du public ayant pour objectif de limiter les expositions aux ondes électromagnétiques.
- ✗ Les DAS devront être affichés sur les lieux de vente et dans les notices de téléphone portable ;
- ✗ Les enfants ne doivent pas représenter une cible dans les campagnes de promotion de la téléphonie mobile ;
- ✗ Compte tenu des doutes qui existent à propos d'éventuels effets des radiofréquences chez les enfants, abandonner la fabrication et la distribution d'appareils conçus pour ces personnes.
- ✗ Ordonner la délivrance d'un kit mains libres optimisé lors de la vente d'un téléphone mobile.

RECOMMANDATIONS DE PROTECTION CONTRE ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Sur le marché, il existe divers moyens de nous protéger des ondes Électromagnétiques. On retrouve entre autres :

- ✎ *des pochettes antiradiations* : il s'agit d'un simple étui pouvant être adapté à n'importe quel mobile. Les pochettes sont composées des matériaux classiques (*coton, nylon, synthétique*) sauf qu'elles sont également doublées d'un tissu de protection électromagnétique ayant comme caractéristique de stopper les radiofréquences provenant des téléphones mobiles. Ce tissu révolutionnaire est composé de nano fibres d'acier inoxydable et de lin, il est également utilisé pour les vêtements de travail des personnels exposés aux radiations. Pour recevoir les appels, les pochettes disposent d'un premier compartiment où il faut loger le téléphone.
- ✎ La protection est conservée car ce compartiment est conçu spécialement avec une partie arrière doublée du tissu de protection que l'on place contre le corps. La pochette comporte un deuxième compartiment, véritable cage de Faraday, car ce dernier est doublé sur chaque face. Le téléphone placé dans ce compartiment est comme éteint. Les ondes ne passent plus (*selon les industriels, des tests montrent que les ondes sont bloquées à 99 %*). Lorsque le mobile est dans ce compartiment, le téléphone n'a plus accès au réseau, ce point est repris par les industriels pour prouver l'efficacité du produit. Cependant, quelques rares cas de réception téléphonique ont été enregistrés à proximité immédiate d'une station de base. Pour conserver une efficacité optimale, il faut éviter de laver et de froisser la pochette.
- ✎ Pour protéger l'habitat, on peut disposer de peintures de blindage : il s'agit de peintures électro-conductrices assurant aussi bien la protection contre les ondes hautes fréquences (*antennes relais*) et les champs de très basses fréquences (*courant EDF*). Ces peintures vont être composées de particules de métal qui vont apporter leur pouvoir de protection. Cependant pour éviter des problèmes de corrosion ou d'oxydation pouvant survenir après un certain temps, certaines de ces peintures utilisent exclusivement le carbone. Les industriels se reposent sur

des tests montrant qu'une seule couche peut stopper à 99 % les rayonnements hautes fréquences pour prouver l'efficacité de la peinture.

- ✂ D'autres produits vont pouvoir être utilisés dans l'habitat pour protéger les citoyens de la pollution électromagnétique notamment des toiles, des rideaux, des baldaquins ou des foulards. Ces derniers vont être composés d'un tissu spécifique conférant la faculté d'arrêter les champs électromagnétiques. Le secret de ce tissu est basé sur la présence d'un fil breveté ; un fil métallique très mince apportant au tissu sa capacité de réfléchir les radiofréquences. Pour l'entretien de ce tissu, la meilleure solution est le lavage à la main. Toutefois, un lavage en machine sans essorage et séchage à une température de maximum 30°C est possible. Le tissu doit toujours être nettoyé dans un sac de lavage et il faut éviter de le laver avec des objets comme des tirettes ou des boutons qui peuvent l'altérer. En ce qui concerne le séchage, il est préconisé de suspendre le tissu de manière à ce qu'il conserve au mieux sa forme. Pour contrer les possibles effets néfastes des ondes électromagnétiques. Il existe une technologie : le CMO (*Oscillateur Magnétique de Compensation*).

Le principe est de réémettre, au niveau cellulaire, une onde de compensation ultra-faible contrant l'effet électromagnétique provoqué par le téléphone portable. Cette technologie n'absorbe ou ne modifie donc pas le rayonnement de ce dernier. Elle se présente comme une petite coque d'aluminium à fixer à la surface du mobile. En pharmacie, on peut trouver des patchs anti-ondes. Cela se présente sous la forme d'une petite plaquette de 25 millimètres de diamètre, souple et adhésive, devant se coller au dos du téléphone mobile. Composé d'antennes utilisant le principe de compensation électromagnétique cité ci-dessus, ce patch protégerait l'utilisateur du mobile dans un rayon de 3 mètres en rétablissant l'équilibre énergétique des utilisateurs.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

1. **BALMORI**, “Possible *effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (Ciconia ciconia)*”. Electromagnetic Biology and Medicine.
2. **A. Kahn (1996)**, « *Société et révolution biologique - Pour une éthique de la responsabilité* », INRA Éditions (coll Sciences en questions)
3. **A.A. KOLODYNSKI et coll.** « *Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skunda Radio Location Station in Latvia*”. The Science of the Total Environment.
4. **Adlkofer F., 2002**, « *résumé des publications sur les actions des EMF sur les cellules* » (groupe REFLEX).
5. **Afsse, 2005** « *Téléphonie mobile et santé. Rapport du groupe d’experts* ». 129 p.
6. **Afsset, 2009** « *Les radiofréquences - mise à jour de l’expertise relative aux radiofréquences* ». 469 p.
7. **Afsset, 2005**, « *Santé et environnement, enjeux et clés de lecture. Champs électromagnétiques* ». 6 p.
8. **Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA et Swerdlow AJ.** “Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk”: a review. *Epidemiology*, 2009; 20: 639-52.
9. **Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA, Swerdlow AJ;** ICNIRP(International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee onEpidemiology.(2009) Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: a review.*Epidemiology*.20(5):639-52.
10. **Ahlbom A, Feychting M, Green A, Kheifets L, Savitz DA, Swerdlow AJ;** ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology.

11. Alterations of biological parameters in mice chronically exposed to low frequency (50 Hz) electromagnetic fields. *Life Sci* 1998;
12. *Ann Biomed Eng* 1996 May-Jun, Lee, T. Effect on Human Attention of Exposure to the Electromagnetic Field Emitted by Mobile Phones.
13. Apollonio F. , Liberti M. , D'Inzeo G. An analytical study on the sensitivity and frequency response of voltage-gated ion channels in cell membranes to electromagnetic fields. BEMS 2002, Québec
14. Astumian R.D. Possible effects of high frequency low amplitude electromagnetic waves on mechanisms for error correction in DNA synthesis. BEMS 2002, Québec
15. Avis du Comité scientifique européen pour les risques sanitaires émergents ou nouvellement identifiés (SCENIHR): Health Effects of Exposure to EMF (2009).
16. Aydin D, Feychting M, Schüz J, et al. (2011) Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst.*
17. B. HOCKING et coll. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers.
18. Balzano Q, Sheppard A. Thermodynamic theory and experimental methods for detection in vitro of non-linear interactions of radiofrequency energy with biological cells. BEMS 2002, Québec,
19. Barnes F., Kwon Y. Department of Electrical and Computer engineering A theoretical study of the effects of radiofrequency fields in the vicinity of membranes. BEMS 2002, Québec,
20. Bazán E., Reimers D., Fornasari D., Clementi F., Schlatterer K., Tauber R., Fitzner R., Adlkofer F., Wobus A.M. Gene expression profiling studies on global cDNA arrays show sensitivity of human and mouse cell lines to ELF-EMF exposure. BEMS 2002, Québec, Canada

21. Beason Robert C., Semm Peter. Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*. 2002 Nov 29; 333(3):175-8. Binhi V.N., Savin A.V. Molecular gyroscopes and biological effects of weak extremely low-frequency magnetic fields *Phys. Rev. E. Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.* 2002 May;65(5 Pt 1)
22. Belyaev I., Hillert L., Tamm C., Harms-Ringdahl M., Malmgren L., Persson B. Effects of ELF and microwave on human lymphocytes from hypersensitive persons. BEMS 2002, Québec
23. Binhi et al. 2002 Mécanisme d'action au niveau ionique et moléculaire, expliquent la question des 'fenêtres' d'action
24. Blank M. Electromagnetic fields: Biological transduction mechanisms. BEMS 2002, Québec Bonhomme-Faivre L, Marion S, Bezie Y, Auclair H, Fredj G, Hommeau C. Study of human neurovegetative and hematologic effects of environmental low-frequency (50-Hz) electromagnetic fields produced by transformers. *Arch Environ Health* 1998 Mar-Apr;53(2):87-92
25. Bonhomme-Faivre L, Mace A, Bezie Y, Marion S, Bindoula G, Szekely AM, Frenois N, Auclair H, Orbach-Arbouys S, Bizi E.
26. Borbely A.A., Huber R., Graf T., Fuchs B., Gallmann E., Achermann P. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram.
27. Borbely AA, et al. montrent une modification de l'EEG, une modification du sommeil, ces modifications sont dues au caractère pulsé des CEM des téléphones mobiles GSM
28. Borraz O, Devigne M et Salomon D. Controverses et mobilisations autour des antennes-relais de téléphonie mobile (rapport de recherche). 2004. 159 p.
29. Bortkiewicz AA study on the biological effects of exposure mobilephone frequency EMF *Med. Pr.* 2001;52(2):101-6

30. Boscolo, P. Effects of Electromagnetic Fields Produced by Radiotelevision Broadcasting Stations on the Immune System of Women *Sci. Total Environ.* (2001) 273:1-10
31. Busljeta et al. 2002 Actions sur l'hématopoïèse, influence du temps d'exposition
32. Busljeta, I., Trosic, I., Matausic-Pisl, M. Hematopoiesis of Rat after Whole Body Radiofrequency MW Radiation Biological Effects of EMFs meeting (2002) Rhodes Greece; EBEA 2001 meeting, Helsinki Finland
33. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours *European Journal of Cancer Prevention.* 2002;11:377-386
34. Cherry Neil (Dr.) Brain cancer review paper Epidemiological studies of enhanced Brain CNS Cancer incidence and mortality from EMR/EMF exposures 27 Septembre 2002
35. Chia, S.E. Prevalence of Headache Among Hand-Held Cellular Telephone Users in Singapore: A Community Study *Environ. Health Persp.* (2000) 108:1-8
36. CIRC (2011) Le CIRC classe les champs électromagnétiques de radiofréquences comme « Peut-être cancérigène pour l'Homme » communiqué de presse 208 du 31 Mai 2011 http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_F.pdf
37. Claudia Consales, Caterina Merla, Carmela Marino, Barbara Benassi (2012) Electromagnetic Fields, Oxidative Stress, and Neurodegeneration *Int J Cell Biol.* 2012:683897.
38. Claudia Consales, Caterina Merla, Carmela Marino, Barbara Benassi (2012) Electromagnetic Fields, Oxidative Stress, and Neuro degeneration *Int J Cell Biol.*
39. COLLET C., GUILLOT A., PETIT C., 2010. «Phoning while driving I: a review of epidemiological, psychological, behavioral and physiological studies». *Ergonomics*,

40. Croft A. et al. L'utilisation intense du téléphone mobile affecte les fonctions neurologiques chez les êtres humains,
41. Croft R, Chandler J, Burgess A, Barry R, Williams J, and Clarke A. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. Journal de neurophysiologie clinique, Octobre 2002.
42. D'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSM phase modulated microwave exposure. Bioelectromagnetics 2002 Jan;23(1):7-13
43. Dariusz Leszczynski and Zhengping Xu (2010) Mobile phone radiation health risk controversy: the reliability and sufficiency of science behind the safety standards Health Research Policy and Systems.
44. Datsenko, V.I., Karachev, I.I. Health Effects in Children Residentially Exposed to Electromagnetic Radiation in the RF Band EBEA 2001 meeting, Helsinki Finland
45. De Jager L., Van Zyl G.J., Geyer H.J., De Bruyn L. Effects of a 50Hz magnetic field on the immune status of the mouse musculus: Long and short term exposure. BEMS 2002 , Québec, Canada
46. De Marchi B. Electromagnetic fields (mobile phones). In final report of the Risk Bridge project. 2009. pp. 73-104.
47. De Pomerai David, 2000 Augmentation de la protéine de choc thermique,
48. De Pomerai Effects of microwave radiation may not be limited to heating. The Lancet Volume 355, Number 9217. 20 May 2000,
49. DECAT G., 2007. « Basis document ELF-project Hoge gezondheidsraad: Blootstelling van het publiek aan 50 Hz elektromagnetische velden van Belgische hoogspanningslijnen: een overzicht en aanbevelingen». Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek.

50. DECAT G., MEYEN G., PEETERS E., VAN ESCH L., DECKX L., MARIS U., 2007. «Resultaten van het gemeten magnetisch veld. In Modelleren en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen». Onderzoeksopdracht van Vlaamse Milieu maatschappij.
51. DECAT G., MEYEN G., PEETERS E., VAN ESCH L., DECKX L., MARIS U., 2007. «Modelleren GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen». Eindrapport van een studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek, 2007/IMS/R/426.
52. DECAT G., VAN DEN HEUVEL I., Mulpas L., 2005. «Monitoring survey of the 50 Hz magnetic field for the estimation of the proportion of Belgian children exposed to the epidemiological cut-off points of 0.2, 0.3, and 0.4 microtesla». Final report of the BBEMG research contract (July 2001 – June 2005).
53. Di Carlo A, White N, Guo F, Garrett P, Litovitz T. Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *J. Cell Biochem.* 2002;
54. Di Carlo A. et al. Démontrent le mécanisme d'action cellulaire des micro-ondes entraînant des cancers
55. Di Carlo A. et al. 2002, mécanisme d'action cellulaire avec modification du taux de la protéine de choc thermique.
56. Dolk, H. Cancer Incidence near Radio and Television Transmitters in Great Britain. 2. All High Power Transmitters *Am. J. Epidemiology* (1997) 145:1-9; *Am. J. Epidemiology* (1997);

57. Dr. Zmirou Le rapport de 2001 'de base' pour l'état Français, précise de façon étonnante que seuls les effets de chauffage sont considérés dans ce rapport. Ignore dès l'introduction la possibilité d'effets néfastes liées aux antennes-relais ;
58. E.A. NAVARRO et coll. The microwave syndrome: A preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2003.
59. E.A. NAVARRO et coll. The microwave syndrome : A preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2003.
60. Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuro Report* 2002 Jan 21;
61. Edelstyn N. et al. Effets des micro-ondes de téléphone mobile sur l'attention (effets sur le cerveau)
62. Elekes, Thuroczy Immune Response of Mice Exposed Chronically to Amplitude Modulated Microwave Radiation *Bioelectromagnetics* (1996)
63. Enquête sur la santé des riverains d'antennes relais de téléphonie mobile : II- Incidences de l'âge des sujets, de la durée de leur exposition et de leur position par rapport aux antennes et autres sources électromagnétiques.
64. *Environmental Health Perspectives*, vol. 113, 9, Sept.2005.
65. Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: a review. *Epidemiology*, 2009, New York Times, P.7.
66. Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuro Report* 1998 Oct 5;
67. Fabien Ndagijimana et François Gaudaire (2013) *Au coeur des Ondes/ les champs électromagnétiques en question* Dunod, Paris collection UniverSciences

68. Fabien Ndagijimana et François Gaudaire (2013) Au coeur des Ondes/ les champs électromagnétiques en question Dunod, Paris collection UniverSciences,
69. Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P (2009). "DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure". Mutation Research.
70. Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P (2009). "DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure". Mutation Research.
71. Fondation Santé et Radiofréquence [en ligne]. <http://www.santeradiofrequences.org/>. 2009.
72. Fouquet L, Galdeano S, Gilbergues M, Picard D, Chauvin S et Desreumaux J. Représentativité du DAS constructeur dans l'exposition moyenne des utilisateurs de téléphones mobiles GSM/DCS. Deuxièmes Rencontres Scientifiques. Fondation Santé et Radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
73. FRANCIS J., NIEHAUS M., 2006. «Interference between cellular telephones and implantable rhythm devices: a review on recent papers». Ind Pacing Electrophysiol J,
74. French P.W. Suppose l'existence d'effets non-thermiques et propose un mécanisme d'action, 2002, Paris, 3Ed. Tech-Paris,
75. French P.W., 2000 mécanismes en relation avec les protéines de choc thermique
76. French PW, Penny P,, Laurence JA, McKenzie DR Differentiation 2001,
77. Freude, G. Microwaves Emitted by Cellular Telephones Affect Human Slow Brain Potentials Eur. J. Appl. Physiol. (2000),
78. G. JOHNSON LIAKOURIS. Radiofrequency (RF) sickness in the Lillienfeld study. A effect of modulated microwaves? Arch. Environm. Health.

79. G. JOHNSON LIAKOURIS. Radiofrequency (RF) sickness in the Lillienfeld study. An effect of modulated microwaves? Arch. Environm. Health.
80. G.J. Hyland Comment les expositions aux stations de base GSM et Tetra peuvent affecter défavorablement les humains. Diffusé en Juillet 2002.
81. Gaëlle Coureau ,Ghislaine Bouvier ,Pierre Lebailly et al (2013) Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study *Occup Environ Med* *doi:10.1136/oemed-101754*
82. Gaëlle Coureau, Ghislaine Bouvier, Pierre Lebailly et al (2013) Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study *Occup Environ Med* *doi:10.1136/oemed-101754*
83. Girard J, le Bouler S et Février C. Table ronde radiofréquence, santé, environnement (23 avril-25 mai 2009) - rapport de restitution. 2009.
84. H. Atlan (1999) La fin des toutes génétiques? Vers de nouveaux paradigmes en biologie, INRA Éditions (coll. Sciences en questions)
85. H. Atlan (1999) La fin des toutes génétiques? Vers de nouveaux paradigmes en biologie, INRA Éditions (coll. Sciences en questions)
86. H. DOLK et coll. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I - Sutton Goldfield transmitter. *Am. J. Epidemiol.* 1997. 145: 1-9.
87. H.P. HUTTER et coll. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup. Environ. Med.*
88. Hamblin D.L. and Wood A. WAssessing Possible Effects of Electromagnetic Fields Emitted by GSM Mobile Phones on Human Event Related Potentials Proceedings of the Workshop on Applications of Radio Science, 2002, Leura Australia

89. Hamblin D.L. et al. Effets des micro-ondes de téléphone mobile sur le cerveau et sur le sommeil,
90. Hamblin D.L. et al. montrent une action des signaux GSM sur le cerveau humain et sa traduction sur des tâches visuelles ou auditives.
91. Hamblin DL, Wood AW. Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int. J. Radiat. Biol.* 2002 Aug;
92. Han YY, Kano H, Davis DL, et al. Cell phone use and acoustic neuroma: the need for standardized questionnaires and access to industry data. *Surg Neurol.* 72(3):216-22
93. Hardell et al. 2002(b) Confirment l'augmentation de tumeurs cérébrales coté portables (très significativement pour les analogiques et également fort pour téléphones digitaux et un peu moins pour téléphones sans fil)
94. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K. (2008) Metaanalysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumours. *Int J Oncol.*
95. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. (2013) Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between in 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol.*
96. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. (2013) Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed in 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol.*
97. Hardell L, Carlberg M. et Mild KH. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000-2003. *Environ.*
98. Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int. J. Radiat. Biol.* 2002 Oct; Hardell L. ; Hallquist A. ; Hansson Mild K. ; Carlberg M. ; Phlson A. ; Lilja A.

99. Hardell L. et al. Augmentation de 30 à 80 % du risque de tumeurs cérébrales chez les utilisateurs de téléphone portables
100. HARRIS C., BOIVIN W., BOYD S., COLETTA J., KERR L., KEMPA K., ARONOW S., 2000«Electromagnetic field strength levels surrounding electronic article surveillance (EAS) systems». Health Phys, 78(1):21-2
101. Health Organization (2007) Extremely Low Frequency Fields Environmental Health Criteria Monograph;
102. HERTZ H. (1893) Electric waves, Translated by D.E. Jones, London Macmillan co (1893) and New York Dover (1962).
103. Hinrikus, H., Lass, J., Ferenets, R. Comparison of Photic and Microwave Stimulation Effects on EEG. Biological Effects of EMFs meeting (2002) Rhodes, Greece,
104. Hinrikus, H., Lass, J., Ferenets, R. Modulated Microwave Effects on EEG. EBEA 2001 meeting
105. Hocking B, Westerman R. Neurological changes induced by a mobile phone. Occup. Med. (Lond) 2002 Oct; Hocking B., Westerman R. changements neurologiques après utilisation d'un portable
106. Hocking, B. Incidence de cancer et mortalité à proximité de tours de TV Med J Australia (1996),
107. Hocking, B. Preliminary Report: Symptoms Associated With Mobile Phone Use. Occup Med (London) (1998) 48(6):357-360
108. Huber et al. 2002, actions sur le flux sanguin cérébral et sur l'EEG
109. Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely AA, Achermann P. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG.

110. Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002 Dec;11(4):289-295
111. HUSS A., SPOERRI A., EGGER M., RÖÖSLI M., SWISS NATIONAL COHORT STUDY, 2009. «Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population». *Am J Epidemiol*,
112. IGUMED - Appel de médecins et scientifiques allemands notant une augmentation des maladies liées à la téléphonie mobile
113. *Immunol Invest* 2001 Nov;30(4):313-34 Inpes. Baromètre santé environnement 2007. 2008. 405 p.
114. INRS. Champs électriques, champs magnétiques, ondes électromagnétiques. Guide à l'usage du médecin de travail et de prévention. Edition INRS. ED. 785. 1995. 134 pages.
115. INRS. Généralités sur les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz. 2005. 4 p. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, «Dosimetry of high frequency electromagnetic fields». In: *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*. ICNIRP 16/2009.
116. INTERPHONE Study Group. (2011) Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol*.
117. INTERPHONE Study Group. (2011) Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol*.
118. Irmak et al. 2002 actions sur les enzymes et oxydants et antioxydants.

119. Irmak MK, Fadillioglu E, Gulec M, Erdogan H, Yagmurca M, Akyol O. Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits.
120. IRNICH W., BERNSTEIN A.D., 2006. «Do induction cooktops interfere with cardiac pacemakers?» *Europace*, 8(5):377-384.
121. IRPA. Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 KHz to 300 GHz. *Health Physics*. 1988. 54: 115-123.
122. Ivanova, Martynova, Krasnochekova, Polyakov, Kulikov Complex Study of Effect of Low Level MW Exposure on Brain Activity in the Cat. BEMS (2001) St. Paul MNJ. Li, W.H. Chang , H.W. Jan , J.C.A. Lin , H.C. Liu, Regulation of cell viability and prostaglandin E2 secretion by specific 7.5 Hz electromagnetic field stimulations on osteoblasts. BEMS 2002, Québec, Canada
123. J. Pharm Biomed Anal 26(4):605-608, 2001 Navarro E.A. et al. About the effects of microwave exposure from cellular phone base stations: A first approach. 2d. International Workshop on Biological effects of EMFs, Octobre 2002, Thodes (Greece), Vol. 1, pp. 353-358.
124. Jacquelyn W. Zimmerman, Hugo Jimenez, Michael J. Pennison et al (2013) Targeted treatment of cancer with radiofrequency electromagnetic fields amplitude-modulated at tumor-specific frequencies *Chin J Cancer*. 32
125. Jacquelyn W. Zimmerman, Hugo Jimenez, Michael J. Pennison et al (2013) Targeted treatment of cancer with radiofrequency electromagnetic fields amplitude-modulated at tumor-specific frequencies *Chin J Cancer*.
126. Jech, R. Electromagnetic Field of Mobile Phones Affects Visual Event Related Potential in Patients with Narcolepsy. *Bioelectromagnetics*,

127. JOKELA K., PURANEN L., SIHVONEN A., 2004. «Assessment of the magnetic field exposure due to the battery current of digital mobile phones». *Health Phys*,
128. Jonathan M Samet (2011) Radiation and cancer risk: a continuing challenge for epidemiologists *Environ Health*. 10(Suppl 1) : S4.
129. JOSEPH W., FREI P., ROÖSLI M., THURO'CZY G., GAJSEK P., TRCEK T., BOLTE J., VERMEEREN G., MOHLER E., JUHA'SZ P., FINTA V., MARTEN L., 2010. «Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe». *Environ Res*, 110(7):658-663.
130. JOSEPH W., VERLOOCK L., MARTENS L., 2006. «analyse van de blootstelling van de mens aan elektromagnetische velden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest». Studieopdracht, B.I.M/2006531
131. JOSEPH W., VERLOOCK L., MARTENS L., 2008. «Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public,
132. JOSEPH W., VERMEEREN G., VERLOOCK L., HEREDIA L., MARTENS L., 2008. «Characterization of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption of the general public». *Health Phys*, 95(3):317
133. JUUTILAINEN J., HEIKKINEN P., LAGROYE I., MIYAKOSHI J., VAN RONGEN E., SAUNDERS R., DE SEZE R., TENFORDE T., VERSCHAEVE L., VEYRET B., XU Z., 2010. «Experimental studies on carcinogenicity of radiofrequency radiation in animals». *Crit Rev Environ Sci Technol*, Inpress.
134. Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory.
135. Kolodynski AA, Kolodynska VV. Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radio Location Station in Latvia. *Sci. Total Environ*. 1996 Feb 2;180(1):87-93

136. Kolomytseva M.P. et al. 2002 diminutions de l'immunité non Spécifique
137. Kolomytseva MP, Gapeev AB, Sadovnikov VB, Chemeris NK. Suppression of nonspecific resistance of the body under the effect of extremely high frequency electromagnetic radiation of low intensity Biofizika,
138. Krause C.M. passe en revue les publications sur le sujet EEG/cognition et affirme ces effets
139. Krause C.M. Electromagnetic fields effects on human cognitive processes and the electroencephalograms. BEMS 2002 Québec, Canada
140. Krause, C. M., Hamalainen, H. Effects of Electromagnetic Field Emitted by Cellular Phones on the EEG during a Memory Task.
141. Kundi M. Essentiel problems in the interpretation of epidemiologic evidence. Deuxièmes Rencontres Scientifiques. Fondation santé et radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
142. KUNDI M., 2009. «The controversy about a possible relationship between mobile phone use and cancer». Environ Health Perspect, 117(3):316-24.
143. La Revue du Praticien - Médecine Générale Tome 15. 19 mars 2001.
144. Lagroye I., Haro E., Dulou P.-E., Billaudel B., Veyret B. Effect of GSM-900 MHz exposure on NOS-II expression in rat C-glioma cells. BEMS 2002, Québec, Canada
145. Lahkola A, Salminen T, Raitanen J, et al (2008) Meningioma and mobile phone use a collaborative case-control study in five North European countries. Int J Epidemiol.
146. Lahkola A, Salminen T, Raitanen J, et al (2008) Meningioma and mobile phone use a collaborative case-control study in five North European countries. Int J Epidemiol.

147. Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Korotkovskaya TI, Gailus T. Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones.
148. Lebet JP, Barbault A, Rossel C, Tomic Z, Reite M, Higgs L, Dafni U, Amato D, Pasche B. Electroencephalographic changes following low energy emission therapy.
149. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 2002 May;70(2-3):120-9
150. Leszczynski D. et al. Démontrent le mécanisme d'action cellulaire des micro-ondes entraînant des cancers et des effets sur le cerveau
151. Leszczynski D. et al. effets genotoxiques et sur les protéines
152. Leszczynski D., Billaudel B., Czyz J., Dulou P.-E., Guan K., Haro E., Joenväära S., Kuokka R., Lagroye I., Meister A., Reivinen J., Veyret B., Wobus A.M., Zeng Q. Effects of mobile phone radiation on gene and protein expression in vitro. BEMS 2002 , Québec, Canada
153. Leszczynski D., Joenväära S. Exposure to mobile phone radiation induces cellular stress response. BEMS 2001
154. Leszczynski D., et al., 2002, effets genotoxiques et sur les protéines, les enzymes.
155. Li J. et al. action sur les cellules, sur les prostaglandines en fonction du temps d'exposition
156. Li. J. et al. 2002, action sur les cellules, sur les prostaglandines.

157. LILIE J.L., DULAR P., SABARIEGO R.V., BEAUVOIS V., BARBIER P.P., LORPHEVRE R., 2008. «Effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF) on human beings. Anelectrical engineer viewpoint». Rev E Tijdschrift, 124(3):34-50.
158. Luisa Valdés-Valdivieso et Gaia Penteriani (2012) Rapport 2012 de Observatoire de la téléphonie mobile en Afrique subsaharienne GSMA et Deloitte, Novembre 2012
159. Luisa Valdés-Valdivieso et Gaia Penteriani (2012) Rapport 2012 de Observatoire de la téléphonie mobile en Afrique subsaharienne GSMA et Deloitte, Novembre 2012
160. Lushnikov et al. 2001. montrent l'importance du temps d'exposition sur la diminution de l'immunité
161. Lushnikov et al. 2002 font le lien entre les structures cellulaires, le système immunitaire et les différents mécanismes de régulation.
162. Lushnikov et al. 2002actions sur le système immunitaire
163. Lushnikov KV, Gapeev AB, Chemeris NK. [Effects of extremely highfrequency electromagnetic radiation on the immune system and systemic regulation of homeostasis] Radiats Biol Radioecol 2002 Sep- Oct;42(5):533-45
164. Lushnikov KV, Gapeev AB, Sadovnikov VB, Cheremis NK Effect of extremely high frequency electromagnetic radiation of low intensity on parameters of humoral immunity in healthy mice.
165. Ly Adama (2014) Risques biologiques et risques non biologiques : complexité desdéterminants du cancer en Afrique, XXème Actualités du Pharo « les maladies nontransmissibles en milieu tropical » Groupe d'intervention en Santé Publique etEpidémiologie (GISPE), Marseille, 11-12 septembre 2014, p.22

166. Ly Adama (2014) Risques biologiques et risques non biologiques : complexité des déterminants du cancer en Afrique, XXème Actualités du Pharo « les maladies non transmissibles en milieu tropical » Groupe d'intervention en Santé Publique et Epidémiologie (GISPE), Marseille, 11-12 septembre 2014, p.22
167. Lyle, D.B., Adey, W.R. Suppression of T-Lymphocyte Cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated-fields Bioelectromagnetics (1983) 4:281-292
168. M. Hunyadi (dir.) (2004), Les usages de la précaution. Préface de Jean- Pierre Dupuy, Genève, Droz, 2004.
169. M. Hunyadi (dir.) (2004), Les usages de la précaution. Préface de Jean- Pierre Dupuy, Genève, Droz, 2004.
170. M. SANDSTRÖM et coll. Mobile phone use and subjective symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phone. Occup. Med. 2001. 51: 25-35.
171. M. SANDSTRÖM et coll. Mobile phone use and subjective symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phone. Occup. Med. 2001. 51: 25-35.
172. M. Sanson, X. Wei Wang, B. Boisselier et al (2010) Mutation des gènes IDH1/IDH2 : un nouveau marqueur pronostique dans les gliomes Revue Neurologique, 166 (S1): 22-23
173. M. Sanson, X. Wei Wang, B. Boisselier et al (2010) Mutation des gènes IDH1/IDH2 : un nouveau marqueur pronostique dans les gliomes Revue Neurologique, 166 (S1): 22-23
174. Maercker, C. Czyz J., Ivancsits S., Ruediger H.W., Jahn O., Diem E., Pilger A., Rolletschek A., Schuderer J., Kuster N., Guan K., Trillo A

175. Magras, I.N. Pulsed Microwave Effects on Rat Embryos Millenium Int'l Workshop, Heraklion, Greece 2000
176. Marino AA, Nilsen E, Frilot C. Consistent magnetic-field induced dynamical changes in rabbit brain activity detected by recurrence quantification analysis. *Brain Res* 2002 Oct 4;951(2):301-10
177. Marino AA, Wolcott RM, Chervenak R, Jourd'heuil F, Nilsen E, Frilot C. Nonlinear determinism in the immune system. In vivo influence of electromagnetic fields on different functions of murine lymphocyte subpopulations.
178. Marino et al. 2002 montrent dans le cadre des conséquences sur l'activité cérébrale que ces mécanismes sont non-linéaires comme ils l'avaient montré en 2001 sur l'immunité.
179. Markova E., Häler L., Malmgren L., Persson B.R., Belyaev Y, 2005, effets de rupture des chromosomes de lymphocytes humains
180. Mausset A.L. , Hirbec H. , Vignon J., Privat A. and de Seze R. Effects of high power 900 MHz microwaves on neurotransmission in the rat brain. BEMS 2002 , Québec, Canada
181. Mausset A.L. et al. effets des champs sur la neurotransmission dans le cerveau *Med Hypotheses* 2002 Nov;
182. Michael Kundi (2009) The Controversy about a Possible Relationship between MobilePhone Use and Cancer, *Environ Health Perspect.*
183. Michael Kundi (2009) The Controversy about a Possible Relationship between Mobile Phone Use and Cancer, *Environ Health Perspect.*
184. Microwave from GSM mobile telephones affect 53BPA and γ -H2AX Foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons

185. Mironava, T.; Hadjiargyrou, M., Simon, M. and Rafailovich, M. H. (2012). "The Effects of UV Emission from Compact Fluorescent Light Exposure on Human Dermal Fibroblasts and Keratinocytes In Vitro". *Photochemistry and Photobiology* 88 (6): 1497–1506,
186. Mironava, T.; Hadjiargyrou, M., Simon, M. and Rafailovich, M. H. (2012). "The Effects of UV Emission from Compact Fluorescent Light Exposure on Human Dermal Fibroblasts and Keratinocytes In Vitro". *Photochemistry and Photobiology* 88 (6): 1497–1506,
187. Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS. (2014) Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol.*
188. Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS et McNamee JP. Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review. *Int. J. Radiat. Biol.*,
189. Moustafa et al. 2001 actions sur les radicaux libres, enzymes de globules rouges humains.
190. Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidant activities in human erythrocytes
191. Navarro E.A. et al. The microwave syndrome: A preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2003, 22: 161-169.
192. Navarro E.B. et al. 2003 confirment l'existence du syndrome des microondes avec diminution du bien être des personnes vivant à proximité d'antennes relais de téléphonie mobile en Espagne.
193. *Neuro Report* (2000), *Neuro Report* (2001), *Neuro Report* 2000 Jun 5; *Neuro Report* 2000 Oct 20;
194. *Neuropsychobiology* 2000; 42 (4):207-12 Weinberger Z, Richter ED. Cellular telephones and effects on the brain: The head as an antenna and brain tissue as a radio receiver.

195. Nobuyuki Hamada and Yuki Fujimichi (2014) Classification of radiation effects for doselimitation purposes: history, current situation and future prospects J Radiat Res. 55(4): 629–640.
196. Nobuyuki Hamada and Yuki Fujimichi (2014) Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects J Radiat Res. 55(4): 629–640.
197. Noiville C. Incertitudes et principe de précaution : retour sur 10 ans d'expériences. Conférence : gouverner l'incertitude : les apports des sciences sociales à la gouvernance des risques sanitaires environnementaux. Paris : Ecole des Mines, 7-8 juillet 2009.
198. Novikov et al. 2002 montrent l'existence de fenêtre d'action tant au niveau fréquence que au niveau puissance
199. Novikov et al. 2002, montrent l'existence de fenêtre d'action tant au niveau fréquence qu'au niveau puissance ;
200. Novikov V.V., Sheiman I.M., Lisitsyn A.S., Kliubin A.V., Fesenko E.E. Dependence of effects of weak combined low-frequency variable and constant magnetic fields on the intensity of asexual reproduction of planarians *Dugesia tigrina* on the magnitude of the variable field
201. Novoselova E.G., Ogai V.B., Sinotova O.A., Glushkova O.V., Sorokina O.V., Fesenko E.E. Effect of millimeter waves on the immune system in mice with experimental tumors.
202. OMS. Instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques. 2004. 42 p.
203. Omuro A, DeAngelis LM (2013) Glioblastoma and other malignant gliomas, a clinical review, JAMA, 310:1842-1850 Ferlay J, Soerjomataram I, Ervik M, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, Parkin DM, Forman D, Bray,

F.GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide:IARC CancerBase No. 11 . Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.

204. Omuro A, DeAngelis LM (2013) Glioblastoma and other malignant gliomas, a clinical review, JAMA, 310:1842-1850 Ferlay J, Soerjomataram I, Ervik M, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, Parkin DM, Forman D, Bray, F.GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC CancerBase No. 11 . Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
205. Osepchuk, J. M. (1983). Biological effects of electromagnetic radiation. JOHN WILEY & SONS, INC., 605 THIRD AVE., NEW YORK, NY 10158, USA. 1983.
206. Osepchuk, J. M. (1983). Biological effects of electromagnetic radiation. JOHN WILEY & SONS, INC., 605 THIRD AVE., NEW YORK, NY 10158, USA. 1983.
207. P. BOSCOLO et coll. Effects of electromagnetic fields produced by radio television broadcasting stations on the immune system of women. The Science of the Total Environment. 2001. 273: 1-10.
208. P. BOSCOLO et coll. Effects of electromagnetic fields produced by radio television broadcasting stations on the immune system of women. The Science of the Total Environment. 2001. 273: 1-10.
209. P. MICHELOZZI et coll. Adult and childhood leukemia near a high power radio station in Rome, Italy. Am. J. Epidemiol. 2002.
210. Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. Oncol. Res. 2002;13(1):19-24

211. Panagopoulos D, Karabarbounis A, Margaritis L. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2002 Oct 18;298(1):95
212. Pasche B, Erman M, Hayduk R, Mitler MM, Reite M, Higgs L, Kuster N, Rossel C, Dafni U, Amato D, Barbault A, Lebet JP. Effects of low energy emission therapy in chronic psychophysiological insomnia.
213. Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. (2012) Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study, *Lancet*, 380:499-505
214. Persson B., Brun A., Salford L.G. Histopathological effects of short and long term microwave exposure on the rat brain. *BEMS* (2001) St. Paul MN
215. Picard D. Comparaison de l'exposition de la tête de l'utilisateur d'un téléphone mobile avec et sans kit mains libres filaires ou oreillette Bluetooth. Deuxièmes rencontres scientifiques. Fondation Santé Radiofréquences. Paris : Télécom Paris Tech, octobre 2009.
216. R. GAUTIER, P. LE RUZ, D. OBERHAUSEN, R. SANTINI. Votre GSM votre santé on vous ment ! Livre Blanc des incidences du téléphone mobile et des antennes relais sur la santé. Editions Marco Pietteur. 2003. 141 pages.
217. R. SANTINI et coll. Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine.* 2003. 22: 41-49.
218. R. SANTINI et coll. Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine.* 2003. 22: 41-49.
219. R. SANTINI et coll. Symptômes exprimés par des riverains d'antennes relais de téléphonie mobile. *La Presse Médicale.* 2001. 30 :
220. R. SANTINI et coll. Symptômes exprimés par des riverains d'antennes relais de téléphonie mobile. *La Presse Médicale.* 2001.

221. R. SANTINI & coll. Symptoms experienced by users of digital cellular phones: A study of a French engineering school. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2002..
222. R. SANTINI et coll. Symptoms experienced by users of digital cellular phones: A study of a French engineering school. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2002.
223. R. SANTINI. Notre santé face aux champs électriques et magnétiques. Des faits scientifiques aux conseils pratiques. Editions Sully. 1995. 156 pages.
224. R. SANTINI. Notre santé face aux champs électriques et magnétiques. Des faits scientifiques aux conseils pratiques. Editions Sully. 1995. 156 pages.
225. R. SANTINI. Téléphones cellulaires Danger ? Editions Marco Pietteur. 1998. 208 pages. (Ouvrage référencé au Parlement européen de Bruxelles : Rapport de 1999 du Député G.Tamino). Livre mis à jour et réédité en 2002.
226. R. SANTINI. Téléphones cellulaires Danger ? Editions Marco Pietteur. 1998. 208 pages. (Ouvrage référencé au Parlement européen de Bruxelles : Rapport de 1999 du Député G. Tamino). Livre mis à jour et réédité en 2002.
227. Rajamanickam Baskar, Kuo Ann Lee, Richard Yeo, Kheng-Wei Yeoh (2012) Cancer and Radiation Therapy: Current Advances and Future Directions *Int J MedSci*.
228. Reite M, Higgs L, Lebet JP, Barbault A, Rossel C, Kuster N, Dafni U, Amato D, Pasche B
229. Résolution de Catania Appel de nombreux scientifiques à la reconnaissance par l'OMS, des effets non-thermiques et leurs dangers ;
230. Robert Baan , Yann Grosse , Béatrice Lauby-Secretan et al (2011) Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields ,*The Lancet Oncology*, 12(7) : 624 – 626

231. Rubin GJ, Das Munshi J et Wessely S. A systematic review of treatments for electromagnetic hypersensitivity. *Psychother Psychosom*, 2006; 75: 12-8.
232. Rüdiger H.W., Ivancsists S., Diem E., Pilger A., Bersani F., Jahn O. . Genotoxic effects of extremely low frequency electromagnetic fields on human cells in vitro. BEMS 2002, Québec, Canada
233. Salford LG, Brun A, Stureson K, Eberhardt JL, Persson BR. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz.
234. Sandstrom M, Wilen J, Oftedal G, Hansson-Mild K, Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med (Lond)* 51(1):25-35, 2001.
235. Sandyk R. Treatment with weak electromagnetic fields restores dream recall in a parkinsonian patient. *Int. J. Neurosci.* 1997 Jun;90(1-2)
236. Santini R. et al. Danger des téléphones cellulaires et de leurs antennes relais. *Pathol. Biol.* 2000
237. Santini R. et al. Survey study of people living in vicinity of cellular phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2002.
238. Santini R. et al. montrent que certaines maladies augmentent avec la proximité d'une antenne relais
239. Santini R., et al enquête qui montre que des symptômes sont fonction de la distance à l'antenne et de l'emplacement des riverains par rapport à celle-ci.
240. Santini R., P.Santini, J.M. Danze, P.Le Ruz, M. Seigne Enquête sur la santé des riverains d'antennes relais de téléphonie mobile : I/Incidences de la distance et du sexe *Pathol Biol* 2002,

241. Santini R. Il faut appliquer le principe de précaution vis-à-vis des antennes relais de téléphonie mobile
242. SCENIHR. Health effects of exposure to EMF. 2009. 83 p.
243. SCENIHR. Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health 2007. 64 p.
244. Schlatterer K., Tauber R., Fitzner R. Radio Frequency-Electromagnetic Fields genotoxic effects. BEMS 2002 , Québec, Canada
245. SCHÜZ J., GRIGAT J.P., BRINKMANN K., MICHAELIS J., 2001. «Childhood acute leukaemia and residential 16.7 Hz magnetic fields in Germany». Br J Cancer, 84(5):697–699.
246. Shallom J.M., Di Carlo A.L., Ko D., Penafiel L.M., Nakai A., Litovitz T.A. Microwave exposure induces Hsp70 and confers protection against hypoxia in chick embryos J Cell Biochem 2002;86(3):490-6
247. Shallom J.M., et al. 2002, Mécanisme d'action cellulaire en lien avec la protéine de stress
248. Shcheglov V.S. et al. 2002 actions sur la communication intercellulaire d'E. coli
249. Shcheglov V.S., Alipov E.D., Belyaev I.Y. Cell-to-cell communication in response of E. coli cells at different phases of growth to low-intensity microwaves.
250. SHEPPARD A.R., SWICORD M.L., BALZANO Q., 2008. «Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes». Health Phys,
251. Shete S, Hosking FJ, Robertson LB et al. (2009) Genome-wide association study identifies five susceptibility loci for glima, Nat Genet, 1:899-904

252. Sidorenko A.V., Tsariuk V.V. The effect of microwaves on the bioelectric brain activity. *Radiat. Biol Radioecol* 2002 Sep-Oct;
253. Sleep inducing effect of low energy emission therapy. *Bioelectromagnetics*,
254. Sontag W. Extremely Low Frequency Magnetic Fields induce Heat Shock Proteins in HL-60 cells. *BEMS 2002, Québec*
255. STAM R., 2010. «Electromagnetic fields and the blood-brain barrier». *Brain Res Rev* 65(1):80-97.
256. T. B. Carlos Konlack et Roger Tchjuidjan (2011) Analyse de l'impact des ondes électromagnétiques sur l'homme, *Afrique SCIENCE* 07(3),
257. T. LINDE et coll. Measurement of low frequency magnetic fields from digital cellular telephones. *Bioelectromagnetics*. 1997. 18: 184-186.
258. The INTERPHONE Study Group (2010) Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international casecontrol study *Int J Epidemiol.* , 39:675-694
259. Tice et al. 2002, montrent l'action des radiofréquences en termes de dommages aux chromosomes (ADN) des cellules humaines.
260. Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 2002 Feb;23(2):113-26
261. Treiner J. Que faire de la peur? *Le Quotidien du Médecin*, 2009 ; n°8609 : 12.
262. TRIGANO A., BLANDEAU O., SOUQUES M., MAGNE I., 2005. « Clinical study of interference with cardiac pacemakers by a magnetic field at power line frequencies». *J Am Coll Cardiol*, 45(6):896-900.

263. VAN OYEN H., HAELTERMAN M., TAFFOREAU J., 1994. «Secular trends in childhood leukaemia in Belgium», 1984-1990. *Arch Public Health*, 52:499-510.
264. VANDERSTRAETEN J., VERSCHAEVE L., 2008. «Gene and protein expression following exposure to radiofrequency fields from mobile phones». *Environ Health Perspect*, 116(9):1131-1135.
265. VERSCHAEVE L, JUUTILAINEN J, LAGROYE I, MIYAKOSHI J, SAUNDERS R., DE SEZE R., TENFORDE T., VAN RONGEN E., VEYRET B., XU Z., 2010. «In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields». *Mut Res*, 705(3):252-68.
266. Viel J, Cardis E, Moissonnier M, de SR et Hours M. Radiofrequency exposure in the French general population: band, time, location and activity variability. *Environ Int*, 2009; 35: 1150-4.
267. Viel J, Clerc S, Barrera C, Rymzhanova R, Moissonnier M, Hours Met Cardis E. Residential exposure to radiofrequency fields from mobilephone base stations, and broadcast transmitters: a population based survey with personal meter. *Occup Environ Med*, 2009 ;
268. VIELLARD C., ROMANN A., LOTT U., KUSTER N., 2007. «B-field exposure from induction cooking appliance». Foundation for Research on Information Technologies. Zurich.
269. VOLKOW N.D., TOMASI D., WANG G.J , VASKA P., FOWLER J.S., TELANG F., ALEXOFF D., LOGAN J., WONG C., 2011. «Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism». *JAMA*, 305(8):808-13.
270. Von Klitzing, L. Low-Frequency Pulsed Electromagnetic Fields Influence EEG Of Man. *Phys Med* (1995) April/June:77-80

271. Wagner P, Roschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Grozinger M. Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities.
272. Wakeford R. (2009) Radiation in the workplace-a review of studies of the risks of occupational exposure to ionising radiation. *J Radiol Prot.*
273. Wakeford R. (2009) Radiation in the workplace-a review of studies of the risks of occupational exposure to ionising radiation. *J Radiol Prot.*
274. Wayne D. New hauser, Marco Durante (2011) Assessing the risk of second malignancies after modern radiotherapy: *Nat Rev Cancer.*
275. Weinberger Z. 2002, montre que la tête humaine se comporte comme un récepteur d'onde
276. WIART J., DALE C., BOSISIO A.V., LE CORNEC A., 2000. «Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones». *IEEE Trans Electromagn Compat*, 42(4):376-84.
277. Wrensch M, Jenkins RB, Chang JS *et al.* (2009) Variants in the CDKN2B and RTEL1 regions are associated with high-grade glioma susceptibility » *Nat Genet.* 41:905-908
278. Wrensch M, Jenkins RB, Chang JS *et al.* (2009) Variants in the CDKN2B and RTEL1 regions are associated with high-grade glioma susceptibility » *Nat Genet.* 41:905-908
279. Zmirou D, Aubineau P, Bardou A, Goldberg M, de Sèze R, Veyret B et Dixsaut G. Les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé. Etat des connaissances et recommandations. 2001. 270 p.
280. Zmirou-Navier D. "Pourquoi j'ai démissionné de l'AFSSSSE", *Le Monde*, 9.06.2005

WEBOGRAPHIE

1. AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010. «Devices that may interfere with www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Arrhythmia/PreventionTreatmentofArrhythmia/Devicesthat-may-Inte_UCM_302013_Article.jsp
2. BELGIAN BIOELECTROMAGNETIC GROUP, «Valeur du champ électrique (V/m) et de l'induction magnétique (μT) générés par les appareils électrodomestiques à fréquence industrielle (50 Hz)». www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmmaison.html
3. Bruxelles Environnement - IBGE: informations sur les antennes existantes et évaluation de l'exposition aux champs EM émis par celles-ci. www.bruxellesenvironnement.be
4. CIRC (2011) Le CIRC classe les champs électromagnétiques de radiofréquences comme « Peut-être cancérogène pour l'Homme » communiqué de presse 208 du 31 Mai 2011 http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_F.pdf
5. CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE, «Recommandation du 12 mars 2004 concernant l'usage de téléphone mobile (GSM) par la population générale», https://portal.health.fgov.be/pls/portal/docs/1_DOCS/66055%20GSM%20ET%20POPUL%20G%C3%89N%C3%89R_FR2004.PDF
6. CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA SANTÉ, 2008. «Recommandations concernant l'exposition de la population aux champs magnétiques émanant des installations électriques». Publication n° 8081. http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@shc/documents/ie2divers/15954532_fr.pdf
7. EUROPEAN COUNCIL, «Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic http://ec.europa.eu/enterprises/electrical/files/lv/rec519_en.pdf

8. Frequently asked questions Service public (gratuit) : Bruxelles Environnement – IBGE., www.bruxellesenvironnement.be
9. GD-EMF-Consulting, Tel: 011/27 27, www.gd-emf-consulting.be IBBT– WiCa. www.wica.intec.ugent.be
10. Health Organization (2007) Extremely Low Frequency Fields Environmental Health Criteria Monograph No.238 http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en
11. IARC (2002) Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low- Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields 429 pages, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/index.php>
12. INDEPENDENT ADVISORY GROUP ON NON-IONISING RADIATION, 2006. «Power Frequency Electromagnetic Fields, Melatonin and the Risk of Breast Cancer». Documents of the Health Protection Agency. Series B: Radiation, Chemical and Environmental Hazards. http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/120428618024
13. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2002. Nonionizing radiation, part1: «static and extremely low-frequency (ELF) ele. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/mono80.pdf>
14. MINISTÈRE DE LA RÉGION DE BRUXELLES CAPITAL, 2007. «Ordonnance relative à la protection de l’environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les radiations non ionisantes». <http://reflex.raadvstconsetat.be/reflex/pdf/Mbbs/2007/03/14/103579.pdf>
15. monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/volume80.pdf Publication de l’étude Interphone sur l’utilisation des téléphones portables et le risque de cancer du cerveau (2010). www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2010/pdfs/pr200_F.pdf
16. Office fédéral de la santé publique, Confédération Suisse : Fiche d’inf). www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/index.htm?g=fr

17. OFFICE FÉDÉRAL DE LA SANTÉ PUBLIQUE, CONFÉDÉRATION SUISSE, «Fiche d'information CEM». www.bag.admin.ch/index.html?
18. Recommandations concernant l'exposition de la population aux champs magnétiques émanant des installations électriques.
www.health.belgium.be/eportal/Aboutus/relatediil/?fodnlang=fr
19. SALINAS E., 2003. «Field mitigation from secondary substations». In: Round table on magneti field mitigation techniques.
www.cired.be/CIRED03/data/session2_beta/RT2-A.doc
20. SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS, 2009. «Health Effects of Exposure to EMF». European Commission. Health & Consumer Protection. Directorate general.
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
21. SERVICE PUBLIC FEDERAL SANTE PUBLIQUE, SECURITE DE LA CHAINE ALIMENTAIRE ET ENVIRONNEMENT, 2005.
<http://www.milieugezondheid.be/dossiers/gsm/KBGS>
22. Valeur du champ électrique (V/m) et de l'induction magnétique (μT) générés par les appareils électrodomestiques à fréquence industrielle (50 Hz).
www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmmaison.html
23. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006. «Static fields». Environmental Health Criteria
http://www.who.int/pehemf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf
24. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007. «Extremely low frequency fields». Environmental Health Criteria 238. http://www.who.int/pehemf/publications/Compleet_DEC_2007.pdf
25. www.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
26. www.health.belgium.be/eportal/Environment/Electromagneticfields/index.htm?fodnlang=fr
27. www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Arrhythmia/PreventionTreatmentofArrhythmia/Devicesthat-may-Interfere-with-Pacema_Article.jsp

TEXTES JURIDIQUES

1. le décret du 3 Mai 2002 repose sur les valeurs reprennent celles que l'ICNIRP (*Comité International de Protection contre les Radiations Non Ionisantes*) avait établies en ne considérant sur les effets thermiques à partir d'expérimentation animales datant des années 1980-1990 ;
2. le décret français du 8 octobre 2003, cet indice doit être inférieur à 2 W/kg (*moyenne sur 10g*), alors qu'aux États-Unis, cet indice est limité à 1,6 W/kg (*moyenne sur 1g*) ;
3. Le Décret N°041/2003 portant délimitation de la ville de Beni, donne à cette dernière la configuration géographique
4. le décret présidentiel N°041/003 du 28 Mars 2003
5. l'arrêté N°01/001/BIS/CAB/GP-NK/99 est signé et publié à Beni par Monsieur KAYISABIRA MBAKE, gouverneur de Province du Nord-Kivu
6. l'arrêté du 14 juin 1969 en France
7. l'Arrêté Royal (Aelvoet) du 29 avril 2001 fixe à 29,1 V/m soit 225 μ W/cm² (1800 MHz) et à 20,6 V/m soit 112 μ W/cm² (900 MHz)
8. l'Arrêté Royal belge du 29 Avril 2001 ainsi que l'Ordonnance suisse sur la protection contre le rayonnement non ionisant du 23 décembre 1999 (*O.R.N.I.*) ne concernent que les effets thermiques de ces champs électromagnétiques (*p.15 du rapport français et p.14, 2.2 du document 302 du BUWAL-Suisse*)
9. l'arrêté du 14 juin 1969 en France, a établi les règles et les seuils limites concernant l'acoustique des constructions neuves
10. la loi-bruit repose sur la protection des travailleurs contre le bruit : décret n°88-405 du 21 avril 1998, titre I ;
11. la loi – bruit reposant sur la Réduction du bruit des machines : décret n°92-767 du 29 juillet 1992 ;
12. la loi-bruit reposant sur l'Insonorisation des locaux de travail : décret n°88-930 du 20 septembre 1988 ;
13. décret n° 95-79 du 23 janvier 1995

ANNEXES

Annexe 1 : QUESTIONNAIRE D'ENQUETE (EN FRANCAIS)

1. Possédez-vous un téléphone portable ?
 - a. Oui
 - b. Non

2. Quelle est le label indiqué sur votre téléphone portable ?
 - a. Nokia
 - b. Samsung
 - c. ITEL
 - d. Htc
 - e. Galace SQ
 - f. Autres

3. Quel réseau local ou quelle carte SIM locale utilisez-vous ?
 - a. Airtel
 - b. Tigo
 - c. Vodacom
 - d. Orange
 - e. Africel

4. Quelle catégorie du téléphone portable utilisez-vous ?
 - a. Autres
 - b. Android
 - c. Smartphone
 - d. iPhone

5. Qu'est-ce qui vous a enthousiasmé à utiliser le téléphone portable que vous possédez ?
 - a. Sa Batterie
 - b. son design physique
 - c. ses multiples fonctionnalités

6. Pour quel genre des services utilisez-vous votre téléphone portable ?
- a. SMS
 - b. MMS
 - c. Appels
 - d. Internet
 - e. Appareil photo
 - f. FM Radio
 - g. Musique
 - h. Jeux
 - i. Vidéos
 - j. Agenda
 - k. Autres
7. Avez-vous reçu une formation particulière sur l'utilisation d'un téléphone portable ?
- a. Oui
 - b. Non
 - c. Plus ou moins
 - d. Auto-formation
8. Comment vous êtes-vous procuré votre téléphone portable ?
- a. Chez une maison de télécommunication Congolaise
 - b. Une Commande en ligne auprès des fabricants
 - c. Auprès d'un commerçant Congolais ou Etranger
 - d. Autres
9. Avez-vous une idée de comment fonctionner un téléphone portable ?
-
-
-
-

10. Avez-vous déjà entendu parler du DAS d'un téléphone portable (Débit d'Absorption Spécifique) ?

.....
.....
.....
.....

11. Comment étiez-vous arrivé à tomber amoureux de votre téléphone portable ?

.....
.....
.....
.....

12. Imaginez que le gouvernement congolais décide que tout citoyen vivant dans le territoire congolais n'aura plus désormais le droit d'avoir un téléphone portable ; comment réagirez-vous face à cela ?

.....
.....
.....
.....

13. Selon votre expérience, le téléphone portable est-il un danger pour votre environnement ?

.....
.....
.....
.....

14. Pensez-vous que la RDC a encore des efforts à fournir en matière de l'importation du téléphone portable ?

.....
.....
.....
.....

15. Avez-vous déjà entendu parler des antennes relais GSM ?

.....
.....
.....

16. Ne voyez-vous d'inconvénients qu'une antenne relais GSM soit implantée dans votre quartier à quelques mètres de votre maison ?

.....
.....
.....

17. Votre téléphone portable vous a-t-il déjà causé des malaises ?

.....
.....
.....

18. Pouvez-vous nous décrire les techniques que vous utilisez lorsque vous avez une mauvaise réception en cas d'appels ?

.....
.....
.....

19. Avez-vous déjà entendu parler d'une onde électromagnétique ?

.....
.....
.....

20. Savez-vous que les ondes électromagnétiques sont nuisibles à Santé humaine ainsi qu'à l'environnement dans lequel vous vivez en permanence ?

.....
.....
.....

21. Savez-vous également que votre portable émet des ondes électromagnétiques ?

.....
.....
.....

22. Comment vous protégez-vous face aux ondes électromagnétiques émises par votre téléphone portable ?

.....
.....
.....

23. Certains chercheurs pensent que le téléphone portable devrait être interdit aux adolescents et aux femmes enceintes, comment réagissez-vous quand votre femme vous demande de lui en offrir un ?

.....
.....
.....

24. Certains chercheurs pensent vivement que le téléphone portable est nuisible et recommandent de s'en séparer définitivement, quelle est votre réaction par rapport à cela ?

.....
.....
.....

25. Comment comptez-vous protéger votre famille des ondes électromagnétiques émises par les téléphones portables ?

.....
.....
.....

26. Quelle recommandation, pourriez-vous donner au gouvernement congolais par rapport à l'avènement des téléphones portables en RDC ?

.....
.....
.....

Annexed 2: QUESTIONNAIRE OF INVESTIGATION (ENGLISH)

1. Do you possess a cell phone?
 - a. Yes
 - b. No

2. What is the brand indicated on your cell phone?
 - a. Nokia
 - b. Samsung
 - c. Itel
 - d. Htc
 - e. Galace SQ
 - f. Other

3. What local network or what card local SIM do you use?
 - a. Airtel
 - b. Tigo
 - c. Vodacom
 - d. Orange
 - e. Africel

4. What category of the cell phone do you use?
 - a. Other
 - b. Android
 - c. Smartphone
 - d. IPHones

5. What was enthusiastic you to use the cell phone that you possess?
 - a. Its Battery
 - b. Its physical design
 - c. Its multiple functionalities

6. For what kind of the services do you use your cell phone?

- a. SMS
- b. MMS
- c. Calls
- d. Internet
- e. Camera
- f. FM Radio
- g. Music
- h. Games
- i. Videos
- j. Diary
- k. Others

7. Did you receive a particular training on the use of a cell phone?

- a. Yes
- b. No
- c. Either or less
- d. Auto-Training

8. How did you obtain your cell phone?

- a. At a telecommunication Congolese house
- b. An on line Order by the manufacturers
- c. By a Congolese tradesman
- d. Other

9. Have yourselves an idea of how operate a cell phone?

.....

.....

.....

.....

10. Did you already hear speaking of the SAR of a cell phone (Specific absorption SAR)?

.....
.....
.....
.....

11. How did you have arrived to fall in love with your cell phone?

.....
.....
.....
.....

12. Imagine that the Congolese government decides that all living citizen in the Congolese territory won't have the right more henceforth to have a cell phone; how will you react facing it?

.....
.....
.....
.....

13. According to your experience, the cell phone is it a danger for your environment or not?

.....
.....
.....
.....

14. Do you think that the RDC has more efforts to provide concerning the importation of the cell phone?

.....
.....
.....
.....

15. Did you already hear speaking of the antennas GSM relay?

.....
.....
.....

16. Don't you see any inconveniences that an antenna GSM relay is implanted in your district to some meters of your house?

.....
.....
.....

17. Does your cell phone have caused of the uneasiness to you?

.....
.....
.....

18. Can you describe us the techniques that you use when you have a bad receipt in case of calls?

.....
.....
.....

19. Did you already hear speaking of an electromagnetic wave?

.....
.....
.....

20. Do you know that the electromagnetic waves are harmful to human Health as well as to the environment in which you live in permanent?

.....
.....
.....

21. Do you know also that your portable gives out electromagnetic waves?

.....
.....
.....

22. How do you protect yourselves facing the electromagnetic waves given out by your cell phone?

.....
.....
.....

23. Do some researchers think that the cell phone should be forbidden the teenagers and the pregnant women, how do you react when your pregnant wife asks you to offer her one of it?

.....
.....
.....

24. Do some researchers think briskly that the cell phone is harmful and recommend separating definitely with it, what is your reaction according to that?

.....
.....
.....

25. How do you intend to protect your family of the electromagnetic waves given out by the cell phones?

.....
.....
.....

26. What recommendation, would you be able to provide to the Congolese government comparing to the advent of the cell phones in RDC?

.....
.....
.....
.....

Annexe 3: UTAFITI DODOSO (SWAHILI)

1. Je, utumia simu ya mkononi?
 - a. ndiyo
 - b. Hapana

2. ni alama gani inayo andikwa kwenye simu yako ya mkononi?
 - a. Nokia
 - b. Samsung
 - c. Itel
 - d. htc
 - e. SQ Galace
 - f. Mengine

3. Unatumia mtandao gani inchi iyi ya Congo?
 - a. Airtel
 - b. Tigo
 - c. Vodacom
 - d. Orange
 - e. Africel

4. Unatumia aina gani ya simu?
 - a. mengine
 - b. Android
 - c. smartphone
 - d. Iphone

5. Kwa nini unatumia simu ya mukononi unayo?
 - a. betri yake
 - b. kubuni kimwili
 - c. sifa zake nyingi

6. Ni aina ya huduma gani unatumia simu yako?

- a. SMS
- b. MMS
- c. wito
- d. internet
- e. kamera
- f. FM Radio
- g. muziki
- h. Michezo
- i. video
- j. diary k. Mengine

7. Je, umepata mafunzo maalum juu ya matumizi ya simu ya mkononi?

- a. ndiyo
- b. Apana
- c. Zaidi au chini ya
- d. Self-mafunzo

8. Je, Ni Jinsi umepata kununuliwa kiini yako ya simu?

- a. Katika sekta ya mawasiliano
- b. Kuagiza online kutoka kwa wazalishaji
- c. Kutoka kwa mfanyabiashara wa Kongo au nje ya nchi
- d. Mengine

9. Je, unawazo lolote jinsi ya kuendesha simu ya mkononi?

.....

.....

.....

.....

10. Je, umewahi kusikia kuhusu DAS ya simu ya mkononi (ao Maalum Ngozi Rate)?

.....
.....
.....
.....

11. Umefiaje kuanguka katika upendo na simu ya mkononi yako?

.....
.....
.....
.....

12. Fikiria kwamba serikali ya Kongo iliamua kwamba raia yeyote wanaoishi katika wilaya Kongo watakatazwa utumizi wa simu ya mkononi; jinsi uta kuguswa kuhusu hilo?

.....
.....
.....
.....

13. Kwa uzoefu wako, ni simu ya mkononi hatari kwa mazingira yako?

.....
.....
.....
.....

14. Je, unafikiri kwamba DRC bado ina safari ya kwenda katika suala la uagizaji wa simu ya mkononi?

.....
.....
.....
.....

15. Je, umewahi kusikia kuhusu milingoti wa GSM?

.....
.....
.....
.....

16. Je, unaweza kuona hasara yoyote ambayo GSM antenna relay inasababisha mwilini katika eneo lako mita chache kutoka nyumbani kwako?

.....
.....
.....
.....

17. Je, Simu yako ya mkononi imesababisha usumbufu yeyote ile mwilini kwako?

.....
.....
.....
.....

18. Je, unaweza kuelezea mbinu kwamba matumizi wakati una mapokezimbaya kama wito?

.....
.....
.....

19. Je, umewahi kusikia kuhusu mawimbi ya umeme?

.....
.....
.....

20. Je, unajua kwamba mawimbi ya umeme ni hatari kwa afya ya binadamu na mazingira ambayo wewe kuishi na Huduma Kudumu?

.....
.....
.....
.....

21. Je, wewe pia kujua kwamba simu yako hutoa mawimbi ya umeme?

.....

22. Jinsi gani unaweza kujikinga dhidi ya mawimbi ya umeme inayozalishwa kwa simu ya mkononi yako?

.....

23. Baadhi ya watafiti wanaamini kwamba simu ya mkononi lazima marufuku kwa vijana na wanawake wajaazito, ni jinsi gani unaweza kuguswa wakati mke wako anauliza wewe kutoa yake?

.....

24. Baadhi ya watafiti wanaamini kwa dhati kwamba simu ya mkononi ni hatari na kupendekeza sehemu hatimaye, ni nini majibu yako kwa kuwa?

.....

25. Jinsi gani unaweza kulinda familia yako kutoka mawimbi ya umeme inayozalishwa kwa simu za mkononi?

.....

27. Nini mapendekezo gani unaweza kutolewa serikali ya Kongo kwa heshima na ujio wa simu za mkononi katika DRC?

.....

ANNEXE 4. LISTE DES FIGURES

Figure 1. Réseau informatique filaire et Sans fil	48
Figure 2. Connexion physique réseau filaire et Sans fil	49
Figure 3. Différentes Catégories des réseaux selon la distance et la taille	86
Figure 4. Réseau LAN	87
Figure 5. Réseau MAN	88
Figure 6. Réseau WAN	89
Figure 7. Modèle client/serveur	91
Figure 8. Classement des réseaux selon la mobilité	93
Figure 9. La topologie en bus	95
Figure 10. La topologie en étoile	96
Figure 11. La topologie en anneau	98
Figure 12. La topologie maillée	99
Figure 13. La topologie hiérarchique	100
Figure 14. Les topologies mixtes	100
Figure 15. Topologie par contention	102
Figure 16. Topologie par interrogation	103
Figure 17. Topologie du jeton passant	103
Figure 18. Tous les équipements sont reliés 2 à 2	104
Figure 19. Réseau de communication	105
Figure 20. Réseau local	106
Figure 21. Réseau à commutation	107
Figure 22. Commutation des circuits	109
Figure 23. Commutation des messages	110
Figure 24. Commutation par paquet	111
Figure 25. Constitution d'un circuit des données	115
Figure 26. Schéma d'une Bande passante	118

Figure 27. Signal bruité	118
Figure 28. Bruit impulsive	119
Figure 29. Atténuation subis pour un signal sinusoïdal dans un canal	120
Figure 30. Affaiblissement du signal	121
Figure 31. Schéma de la Paire torsadée	122
Figure 32. Schéma Câble coaxial	124
Figure 33. Schéma de la Fibre optique	125
Figure 34. Commutation des 7 Couches du modèle OSI	152
Figure 35. Figure représentant un motif élémentaire	164
Figure 36. Architecture d'un réseau GSM	168
Figure 37. Directivité Omnidirectionnelle	176
Figure 38. Directivité Directionnelle	177
Figure 39. Angle azimuth	178
Fig. 40. Antenne directionnelle avec tilt négatif	179
Figure 41. Low Noise Amplifier	181
Figure 42. Site Mono sectorisée	182
Figure 43. Site bi sectorisé	183
Figure 44. Site tri sectorisée	183
Figure 45. Schéma fonctionnel d'une BTS	185
Figure 44. Site tri sectorisée	186
Figure 47. Architecture d'un réseau GPRS	189
Figure 48. Architecture de l'UMTS	195
Figure 49. Onde électromagnétique	216
Figure 50. Grandeur d'une onde électromagnétique	217
Figure 51. Spectre radioélectrique	217
Figure 52. Structure administrative de Tigo Congo	228

ANNEXE 5. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Récapitulatif des différentes catégories de la paire torsadée	124
Tableau 2. Résumé des couches du Modèle OSI et leurs fonctions	138
Tableau 3. Comparatif des piles des protocoles en mode Windows & TCP/IP	141
Tableau 4. Comparatif des piles des protocoles en mode Netware & Apple	142
Tableau 5. Substitution des sept couches en 3 catégories des protocoles	142
Tableau 6. Comparatif des piles des protocoles TCP/IP	148
Tableau 7. Illustration des 7 couches du modèle OSI	150
Tableau 8. Illustration de la correspondance entre le modèle OSI et TCP/IP	153
Tableau 9. Tableau comparatif des deux bandes de fréquence en GSM	169
Tableau 10. Les différentes générations des téléphones portables	209
Table 11. Le découpage de 26 provinces de la RDC	250
Tableau 12. Structure de l'échantillon par tranche d'âges et sexe	352
Tableau 13. Structure de l'échantillon par niveau d'études	352
Tableau 14. Relatif à la question n°3	352
Tableau 15. La préférence de tous ces réseaux en RDC	353
Tableau 16. Récapitulatif des catégories des téléphones portables utilisés en RDC	353
Tableau 17. Comparaison du choix des téléphones portables utilisés en RDC	354
Tableau 18. Les services sollicités pour l'usage des téléphones Portables	354
Tableau 19. Formation de l'usage des téléphones portables en RDC	355
Tableau 20. Connaissance sur le danger du DAS des téléphones Portables	356
Tableau 21. Connaissance sur le danger des Antennes Relais	356