



Laboratoire de Recherche en Génie Biomédical

Mémoire de Magister en Electronique Biomédical

Intitulé :

Étude et Réalisation d'un Habitat Intelligent pour la Santé (HIS)

Présenté par :

Amine Aissa Mokbil ALI

Soutenu en juin 2013 devant le jury

Mr. BEREKSI REGUIG Fethi¹	Président	Professeur	U.A.B.Tlemcen
Mr. CHIKH Mohammed Amine²	Examineur	Professeur	U.A.B.Tlemcen
Mr. KHERBOUCHE Mouffok³	Invité	Professeur	U.A.B.Tlemcen
Mr. LOUDJEDI Salim⁴	Invité	M.C.	U.A.B.Tlemcen
Mr. BENABDALLAH Mohammed⁵	Encadreur	Professeur	U.A.B.Tlemcen

1, 2,5 : Laboratoire de Recherche en Génie Biomédical U.A.B. Tlemcen ;

3,4 : Service de chirurgie (B) C.H.U. Tlemcen ; M.C.: Maître Conférence.

Année universitaire : 2012-2013

المتقين

(من عمل صالحا من ذكر أو أنثى وهو مؤمن

فأنحيينه حياة طيبة ولنجزينهم أجرهم بأحسن

ما كانوا يعملون) (التعل ٩٧)

ما كانوا يعملون

Dédicace

Je dédie le fruit de mes études

*À l'âme de mon père, À celui qui m'a comblé par son affection et
m'appris le sens de la responsabilité et le devoir.*

*A ma mère, À celle qui a veillé sur moi et à tout souffert sans me faire
souffrir. Que dieu vous préserve bonne santé et longue vie.*

À la mémoire de mon frère Djallal

*À mes chers frères, sœurs, mon épouse et mon enfant qui m'ont
toujours souhaité le meilleur.*

À tous ceux que j'aime, à tous ceux qui m'aiment.

À tous mes amis et connaissances.

Amine Aissa Mokbil ALI

Remerciements

Ma reconnaissance et mes remerciements pour Toi seigneur, ALLAH LE TOUT PUISSANT, pour la grâce et la miséricorde que Tu m'as accordées pour finaliser ce travail.

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au laboratoire de génie biomédical (département de Génie Electrique et Electronique, faculté de Technologies, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen) dirigé par monsieur le professeur F. Bereksi Reguig à l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon Encadreur le professeur Benabdallah Mohammed pour ses conseils tout au long de ce mémoire et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail en lui exprimant tous mes respects.

Ma gratitude et mes chaleureux remerciements s'adressent également à Monsieur F. Bereksi Reguig pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.

J'adresse mes vifs et sincères remerciements à Monsieur CHikhi Mohammed Amine professeur à l'université Abou bekr Belkaid Tlemcen pour avoir accepté de juger mon travail en tant qu'examineur.

Ma reconnaissance va également aux autres membres du jury, Mr. KHERBOUCHE Mouffok Professeur à l'université Abou bekr Belkaid Tlemcen et Mr. LOUDJEDI Salim Maitre Conférence à l'université Abou bekr Belkaid Tlemcen en tant que membre invité, pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail.

Ces remerciements vont aussi au corps professoral et administratif de la Faculté de technologie pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Je remercie enfin tous les membres du laboratoire de génie biomédical ainsi que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Amine Aissa Mokbil ALI

Liste des Figures

Figure i : Première Télé-électrocardiographie réalisé par Einthoven.	3
Figure II-1 : Système d'information de la télésurveillance médicale à domicile.	23
Figure II-2 : La chambre hospitalière intelligente du CHU de Toulouse. La surface est divisée en plusieurs zones fonctionnelles à l'aide de capteurs volumétriques fixés au plafond.	29
Figure II-3 : Le projet « Center for future Health » de l'Université de Rochester-NY.	30
Figure II-4 : Le Système EVE.	33
Figure II-5 : L'« Aware Home ».	33
Figure II-6 : Concept du réseau EHC (www.bitc.gatech.edu/bitcprojects/ehc/indexEHC.html).	34
Figure II-7: The MIT-TIAX Place Lab: a living laboratory.....	35
Figure II- 8 : Plan 3D de l'appartement intelligent aménagé.	37
Figure II- 9 : Description fonctionnelle de l'HIS local.	39
Figure II-10 : Architecteur du système d'information et de communication	47
Figure III-1 : Le réseau : ensemble de ressources mises en commun.	49
Figure III-2 : La classification selon les modes de diffusion de l'information.	52
Figure III-3 : La distinction des types de réseaux selon le mode de synchronisation.	53
Figure III-4 : Les modes de liaisons élémentaires.	53
Figure III-5 : Les topologies de base.	54
Figure III-6 : De la topologie hiérarchique à la topologie maillée.	55
Figure III-7 : Le réseau maillé.	55
Figure III-8 : L'interconnexion totale.	56
Figure III-9 : Principe d'un réseau à commutation.	56
Figure III-10 : Conséquence de la commutation sur la vision du réseau.	57
Figure III-11 : principe de commutation de circuits.	58
Figure III-12 : Principe de la commutation de paquets.....	59
Figure III-13 : L'architecture garantit la transparence.	60
Figure III-14 : Le réseau logique IP et sous-réseaux physiques réels (SRx).	66
Figure III-15 : Le modèle OSI et l'architecture TCP/IP.	67
Figure III-16 : Les protocoles et les applications de TCP/IP.	68
Figure III-17 : Le réseau logique IP et les modes de mise en relation.	69
Figure III-18 : L'encapsulation des données dans TCP/IP.	70
Figure III-19 : L'identification des protocoles dans TCP/IP.	71
Figure III-20 : Principe de la segmentation sous IP.	71
Figure III-21 : Relation entre MTU et MSS (valeur implicite).....	72
Figure III-22 : En-tête IP	73
Figure III-23 : Nécessité d'une résolution d'adresses.	75
Figure III-24 : La résolution d'adresses dans les réseaux sans diffusion.	75
Figure III-25 : La résolution d'adresses dans les réseaux à diffusion.	76
Figure III-26 : L'adressage dans le réseau logique IP.	76
Figure III-27 : Les classes d'adresse IP.	77
Figure III-28 : L'adresse de boucle locale.	78
Figure III-29 : Les différentes adresses de diffusion.....	79
Figure III-30 : Le NAT est l'interface entre un réseau privé et un réseau public.	80
Figure III-31 : Notion de sous-réseaux logiques.	81
Figure III-32 : La technique du subnetting décompose l'adresse IP en trois champs.	81
Figure III-33 : Principe du masque de sous-réseau.	82
Figure III-34 : Les informations de configuration d'une machine.	82
Figure III-35 : Détermination du sous-réseau cible à l'aide du masque de sous-réseau.	83
Figure III-36 : Les masques de sous-réseaux multiples et les problèmes d'acheminement	84
Figure III-37 : L'adressage du réseau physique.	86
Figure III-38 : Exemple de configuration d'un routeur IP.	86
Figure III-39 : Le routage de la RFC 1812.	87
Figure III-40 : En-tête du protocole UDP	90
Figure III-41 : Format d'un segment	92
Figure III-42 : Format du message RSVP	96
Figure III-43 : Situation des SOCHETS dans la pile TCP/IP	99
Figure III-44 : L'architecture Winsock 2.0	101
Figure IV-1 : Schéma d'un système de transmission numérique	104
Figure IV-2 : Forme générale du modulateur	108

Figure IV-3 : Position d'un symbole dans le plan de Fresnel	109
Figure IV-4 : Définition d'une constellation numérique	109
Figure IV-5 : Densité spectrale de puissance	110
Figure IV-6 : Modulation d'amplitude par tout ou rien (OOK)	111
Figure IV-7 : Constellation de la modulation d'amplitude par tout ou rien (OOK)	112
Figure IV-8 : Constellation de la modulation d'amplitude à M états	113
Figure IV-9 : Modulation d'amplitude MDA 4 Symétrique	113
Figure IV-10 : Modulation sur une seule porteuse	114
Figure IV-11 : Démodulation cohérente sur une seule porteuse.....	114
Figure IV-12 : Probabilité d'erreur par symbole de la MDA.....	116
Figure V-1 : L'électrocardiographie et les événements (ondes) du cycle cardiaque	118
Figure V-2 : Explication des impulsions d'un ECG.	119
Figure V-3 : Electrocardiogramme normal (dérivation II)	119
Figure V-4 : Le positionnement des électrodes selon le triangle d'Einthoven	121
Figure V-5 : La boucle décrite par le vecteur cardiaque dans l'espace	122
Figure V-6 : La projection de la boucle décrite par le vecteur dans les différents plans de l'espace	122
Figure V-7 : Le positionnement des électrodes et la convention d'électrodes positives et négatives	122
Figure V-8 : Le signal ECG observe selon les différents axes du triangle d'EINTHOVEN	122
Figure V-9 : Schéma bloc de chaine d'émission et de réception de signal ECG	123
Figure V-10 : Circuit de mise en forme de signal ECG	125
Figure V-11 : Circuit de filtre TWIN "T" et son gabarit	131
Figure V-12 : Circuit numérisation et émission du signal ECG	132
Figure V-13 : Organigramme du programme implante dans le microcontrôleur (PIC16F876A) de Microchip.....	135
Figure V-14 : Image de l'émetteur (TX) et le récepteur (RX) du module hybride	136
Figure V-15 : Circuit de modulation et émission HF	138
Figure V-16 : Circuit de récepteur de signal ECG	139
Figure V-17 Organigramme de programme d'acquisition et d'affiche de signal sur PC	142
Figure V-18 : Interface d'affichage sur pc local	143
Figure V-19 : Circuit routage de mise en forme ECG	143
Figure V-20 : Circuit routage de numérisation et d'émission HF	144
Figure V-21 : Circuit routage de réception HF.....	144
Figure VI-1 : Le réseau et les différents flux d'information	146
Figure VI-2 : Le signal analogique.	147
Figure VI-3 : Implémentation de HIS dans le réseau global	149
Figure VI-4 : Implémentation de HIS dans le reseau local	149
Figure VI-5 : Représentation de vidéoconférence.....	150
Figure VI-6 : L'interface principal cote patient	151
Figure VI-7 : L'interface principale cote médecin	152
Figure VI-8 : Organigramme de l'établissement une connexion par Winsock entre le serveur et le client	155
Figure VI-9 : Fenêtre de transfert textuel	156
Figure VI-10 :L'organigramme d'envoyer des images vidéo (cote serveur)	164
Figure VI-11 :L'organigramme de réception des images vidéo (cote client)	165
Figure VI-12 : Temps de transfert d'un paquet.....	166
Figure VI-13 :L'organigramme de communication sonore (cote serveur et cote client)	170
Figure VI-14 :L'organigramme de transfert de fichier (cote serveur)	171
Figure VI-15 : L'organigramme de réception de fichier (cote client)	172

Liste des Tableaux

Tableau II-1 : Fréquence d'échantillonnage en fonction du type de capteur.	44
Tableau II-2 : Classification des capteurs suivant le type d'informations collectées.....	44
Tableau III-1 classification des réseaux.....	51
Tableau III.2 : les couches du modèle OSI.....	61
Tableau III-3 : Les couches du modèle DoD.....	63
Tableau III-4 :Comparaisons des modèles OSI et DoD.....	64
Tableau III.5 : Les adresses privées (RFC 1918).....	79
Tableau III-6 : L'allocation géographique des adresses de classe C.....	84
Tableau VI-1 : Types de données et contraintes de transmission.....	148

Abréviations

AFSSAPS: l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé.
AHRI: Aware Home Research Initiative.
AMT: L'Auto Mesure Tensionnelle au domicile.
ANTADIR: Association Nationale de Traitement à Domicile des Insuffisants Respiratoires.
AOPs : les Amplificateurs Opérationnels.
APA : l'Allocation Personnalisée d'Autonomie.
AP-HP: Assistance Publique - Hôpitaux de Paris
API: Application Programming Interface.
ARES: Advanced Routing and Editing Software.
ARP: Adress Resolution Protocol
ASH: Adaptable Smart Home.
ASK: Amplitude Shift Keying.
ATM: Asynchronous Transfer Mode.
BITC: Biomedical Interactive Technology Center.
CESU: Chèque Emploi Service Universel.
CFLHTA: Le Comité Français de Lutte contre l'Hypertension Artérielle.
CHS: The Citizen Health System.
CIDR: Classless Inter Domain Routing.
CLNP/CLNS: Connectionless Network Protocol/ Connectionless Network Services.
CODEC: codeur/ décodeur.
CR: filtre passe haut.
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access, Collision Detection)
DARPA (Defense Advanced Research Projets Agency – États-Unis
DF: Don't Fragment.
DLL: Direct Link Library, bibliothèque de liaison dynamique
DNS: Domain Name System.
DoD : Department of Defense .
DPSK: Differential Phase Shift Keying.
DSA: Distributed System Architecture.
DSP: la Densité Spectrale de Puissance.
ECG: Electrocardiographie.
EEG: Electroencéphalographie.
EHC: Electronic House Call.
EHPAD: les Établissements d'Hébergement de Personnes Âgées et Dépendantes.
EIB: Européen Installation Bus, aujourd'hui Konnex.
EMR : electronic medical record
FDDI: Fiber Data Distributed Interface.
FO₂: Fraction d'Oxygène.
FSK: Frequency Shift Keying.
FTP: File Transfer Protocol.
GPS: Global Positioning System
HAD: L'Hospitalisation A Domicile.
HEGP: L'Hôpital Européen Georges-Pompidou
HIS: Habitat Intelligent pour la Santé.
HIS²: Health Integrated Smart Home Information System.
HPST: Loi Hôpital, Patients, Santé et Territoires.
HTTP: Hyper Text Transport Protocol.
IANA: Internet Assigned Number Authority
IBM MVS: les systèmes d'exploitation des mainframes.
ICMP: Internet Control and error Message Protocol.
ICMP: Internet Control Message Protocol.
IGMP: Internet Group Management Protocol.
IHL: Internet Header Length.
IP: Internet Protocole.
ISO: International Standards Organisation.
LAN: Local Area Network.
LON: Réseau Opérationnel Local
LS: Liaison Spécialisée.
MAC: Medium Access Control, adresse de l'interface dans les réseaux locaux.
MAD: le Maintien A Domicile.
MAN: Metropolitan Area Network.
MAQ: Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature.
MARC: Le Centre de Recherche en Automatique Médicale.
MCG: Medical College of Georgia.
MDA: Modulation par Déplacement d'Amplitude.

MDF: Modulation par Déplacement de Fréquence.
MDP: Modulation par Déplacement de Phase.
MDPD: Modulation par Déplacement de Phase Différentiel.
MF: More Fragments.
MIDAS: Le Système d'Alerte Miniature et Intelligent à domicile – Midas.
MIP: Medical Informatics Programme.
MIT: Massachusetts Institute of Technology.
MSS: Maximum Segment Size.
MTU: Maximum Transfer Unit.
NAT: Network Address Translator.
NBMA: Non Broadcast Multiple Access.
NCP: Network Control Program.
NFS: Network File System.
NTIC: L'émergence des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.
OMS: Organisation Mondiale de la Santé.
ONU: Optical Network Unit
OPHDIAT: Réseau de télémédecine pour le dépistage de la rétinopathie diabétique
OSI: Open System Interconnection.
OSPF: Open Shortest Path First.
PDA: Personal Digital Assistant.
PDU: Protocol Data Unit.
PPP: Point to Point Protocol.
PSK: Phase Shift Keying.
PSTN: Public Switched Telephone Network.
QAM: Quadrature Amplitude modulation.
RARP: Reverse Address Resolution Protocol.
RARP: Reverse Address Resolution Protocol.
RARP: Reverse Address Resolution Protocol.
RC: filtre passe bas.
RCA: Rythmes Circadiens d'Activités
RFC: Request For Comments
RIP: Routing Information Protocol.
RPC: Remote Procedure Calls.
RTC: Réseau Téléphonique .
RTCP: Real Time Control Protocol.
RTP: Real Time Protocol.
SAP: Service Access Point.
SEQ: Sequence number.
SID: Système d'Information Domotique-Santé Intégré à Domicile.
SLIP: Serial Line Interface Protocol.
SMTP: Simple Mail Transfer Protocol.
SMTP: Simple Mail Transfer Protocol.
SNA: System Network Architecture.
SNMP: Simple Network Management Protocol.
SPRU: université de Sussex – <http://www.sussex.ac.uk/SPRU>.
TCP/IP: Transport Control Protocol/Internet Protocol
TCP: Transmission Control Protocol.
TELNET: TELetypewriter NETwork protocol (ARPA) ou TERminal NETwork protocol.
TELNET: Terminal Emulation.
TFTP: Trivial FTP.
TIC: Technologies de l'Information et de la Communication.
TLI: Transport Layer Interface.
TMBS: Telemedicine Base Station.
ToIP: Telephony over TCP/IP.
TOS: Type Of Service.
TRMC: le taux de réjection du mode commun.
TTL: Time To Live.
UDP: User Datagram Protocol.
UIT: Union Internationale des Télécommunications
USART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter.
VAD: le Vivre A Domicile.
VB: Visual Basic.
WAN: Wide Area Network.
WHO: World Health Organization.
Winsock: Windows Sockets.
WOSA: Windows Open System Architecture.
WSA: Windows Sockets API.

<u>Dédicace</u>	i
<u>Remerciements</u>	ii
<u>Liste des Figures</u>	iii
<u>Liste des Tableaux</u>	iv
<u>Abréviation</u>	v
<u>Sommaire</u>	vi

INTRODUCTION GENERALE

I La Télémédecine	1
I-1 Définition globale de la Télémédecine	1
I-2 Définitions officielles	1
I-3 Histoire et évolution de la télémédecine.....	2
I-4 Les apports et enjeux de la télémédecine.....	4
I-5 Etat de l'art de la télémédecine.....	5
I-5-1 Contextes d'utilisation de la télémédecine préenregistrée.....	5
I-5-2 Contextes d'utilisation de la télémédecine en temps réel.....	6
II Objectifs des travaux dans le cadre de cette thèse	8
<u>Chapitre I : Aspects Médicaux de l'HIS</u>	9
I-1 Introduction	9
I-2 Aspects médicaux de l'HIS : Les enjeux de la télésurveillance à domicile des patients atteints de maladies chroniques	10
I-2-1 Introduction.....	10
I-2-2 les applications de la télésurveillance.....	11
I-2-2-1 La télésurveillance de l'hypertension artérielle.....	11
I-2-2-2 La télésurveillance des grossesses à risques.....	13
I-2-2-3 La télésurveillance de l'insuffisance rénale	14
I-2-2-4 La télésurveillance des maladies cardiaques.....	15
I-2-2-5 La télésurveillance des maladies respiratoires.....	16
I-2-2-6 La télésurveillance du diabète.....	17
I-2-2-7 La télésurveillance des patients atteints de la maladie d'Alzheimer	18
I-2-2-8 La télésurveillance des traitements des maladie schroniques.....	18
I-2-2-9 La télésurveillance trait d'union à la téléassistance des patients à domicile.....	19
I-2-3 L'hospitalisation à domicile	20
I-2-4 L'Habitat intelligent pour la santé (HIS).....	20

Chapitre II : Aspects Techniques de l'HIS

II-1 Introduction	22
II-2 Aspects techniques de l'HIS.....	22
II-2-1 Objectifs des HIS	22
II-2-2 Principe	23
II-2-3 Enjeux	24
II-2-4 Enjeux scientifiques, économiques, socio-éthiques et perspectives de mise en œuvre	25
II-2-5 Etat de l'Art.....	27
II-2-5-1 Le système d'acquisition automatique de données physiologiques (Tokyo Medical and Dental University, Japon).....	27
II-2-5-2 Le Centre de Recherche en Automatique Médicale - MARC (Université de Virginie, Charlottesville, USA).....	28
II-2-5-3 Le projet « CarerNet » (UK).....	28
II-2-5-4 Le Système d'Alerte Miniature et Intelligent à domicile - Midas (UK).....	29
II-2-5-5 La Chambre Hospitalière (laboratoire LAASS, Toulouse, France).....	29
II-2-5-6 Le projet « Center for Future Health » (université de Rochester, NewYork, USA).....	30
II-2-5-7 Le Système Télégériatrique d'Enregistrement Médical Electronique Intégré (Université nationale de Singapour, Singapour).....	31
II-2-5-8 Le projet pilote australien (Biomedical Systems Laboratory, Université de N.S.W, Sydney, Australie).....	31
II-2-5-9 Le système d'urgence E-Vanguard (Taïwan).....	32
II-2-5-10 L'« Aware Home » - Georgia Institute of Technology.....	33
II-2-5-11 Le système EHC (Electronic HouseCall) - Georgia Institute of Technology et la Faculté de Médecine de Georgie (USA).....	34
II-2-5-12 L'« Assisted cognition» – Université de Washington.....	35
II-2-5-13 House_n: the Home of the Future – MIT (Massachusetts Institute of Technology, USA).....	35
II-2-5-14 Le système d'Habitat Intelligent pour la Santé (laboratoire TIMC, France)	36
II-2-5-15 Et le reste du monde.....	39
II-3 Équipements et Architecture générale des systèmes de l'habitat intelligent pour la santé (HIS).....	41
II-3-1 Équipements domotiques.....	41
II-3-1-1 Capteurs.....	41
II-3-1-2 Classification des capteurs.....	43
II-3-1-3 Actionneur	45

II-3-1-4	Agents intelligents	45
II-3-2	Système d'information et de communication	46
II-3-3	Interfaces homme-machine	47
II-3-4	Efforts de standardisation	48
II-3-5	Facteurs humains et éthique	48

Chapitre III : Réseaux et Protocole de Communication

III-1	Introduction	49
III-2	Contexte des Réseaux.....	49
III-2-1	Définitions	49
III-2-2	La classification des réseaux	50
III-2-3	La topologie physique des réseaux.....	53
III-2-4	Les réseaux à commutation.....	55
III-2-4-1	Introduction à la commutation	55
III-2-4-2	Commutation de circuit ou commutation de paquet.....	57
III-3	Les protocoles.....	60
III-3-1	Introduction.....	60
III-3-2	Définition de protocole.....	61
III-3-3	Le modèle OSI (modèle de référence)	61
III-3-4	Le modèle DoD	62
III-3-5	Comparaison des modèles OSI et DoD.....	64
III-4	Le protocole TCP/IP	65
III-4-1	Introduction.....	65
III-4-2	Origine	65
III-4-3	Principe architectural.....	66
III-4-4	La description générale de la pile et les applications TCP/IP	67
III-4-5	Les mécanismes de base de TCP/IP	69
III-4-6	L'adressage dans le réseau logique.....	72
III-4-6-1	Le protocole IP	72
III-4-6-2	Format de l'en-tête IP	73
III-4-6-3	Principe de l'adressage IP	75
III-4-6-4	Les techniques d'adressage dans un réseau IP	76
III-4-7	Le routage dans le réseau IP.....	85
III-4-7-1	L'adressage d'interface.....	85
III-4-7-2	Le concept d'interface non numérotée.....	86
III-4-8	Les protocoles de résolution des adresses : ARP, RARP.....	87
III-4-9	ICMP : messages de contrôle et d'erreur.....	88
III-4-10	IGMP : adressage multipoint.....	89
III-4-11	UDP : service de transport non fiable	89
III-4-12	TCP : service de transport fiable	90
III-4-13	RSVP (Reservation Protocol)	94

III-4-14	RTP (Real Time Protocol)	97
III-4-15	Sécurité de TCP/IP	97
III-4-16	Implémentation de TCP/IP et système d'exploitation.....	98
III-5	Les sockets.....	99
III-5-1	L'interface de programmation sockets TCP/IP	100
III-5-2	Etude des sockets sous windows : Winsock	100
III-5-2-1	Introduction.....	100
III-5-2-2	Introduction de Winsock.....	100
III-5-2-3	L'histoire	101
III-5-2-4	l'architecture	101
III-5-2-5	Le mode non connecté	102
III-5-2-6	Le mode connecté	102
III-6	Conclusion.....	103
<u>Chapitre IV : La Modulation et La Démodulation Numérique (MDA-M air)</u>		
IV-1	Introduction	104
IV-2	Les modulations numériques.....	105
IV-3	Définitions et appellations	106
IV-4	Principes de modulations numériques	107
IV-5	Modulation par déplacement d'amplitude (MDA)	111
IV-5-1	Modulation par tout ou rien.....	111
IV-5-2	Modulation à "M ETATS"	112
IV-5-2-1	Les constellations "MDA M Symétrique"	112
IV-5-2-2	Le spectre de la "MDA M Symétrique"	114
IV-5-3	Modulation et démodulation.....	114
IV-5-4	Les performances des "MDA M"	115
IV-6	Conclusion sur la MDA.....	117
<u>Chapitre V : Etude et Réalisation d'un Point de Réseau HIS Electro cardiographique</u>		
V-1	Introduction	118
V-2	Description des ondes observees sur un ecg	119
V-3	L'ECG et le triangle d'EINTHOVEN.....	121
V-4	Description de l'Electrocardiographe réalisée	123
V-5-1	Coté emetteur.....	124
V-4-1-1	Les électrodes.....	124
V-4-1-2	Circuit de mise en forme du signal ECG.....	124
V-4-1-3	Fonctionnement du montage de mise en forme.....	125
V-4-1-4	Numérisation	132
V-4-1-5	Modulation et émission	136

V-5-2- Coté récepteur.....	139
V-4-2-1 Etage de Réception et Démodulation.....	139
V-4-2-2 Etage de Conversion de niveau (MAX232).....	140
V-5 Implementation de l'interface graphique de l'application.....	141
V-5-1 Organigramme du programme d'acquisition et d'affiche du signal sur poste local.....	142
V-6 Les circuits routage.....	143
V-7 Conclusion.....	145
<u>Chapitre VI : Implémentation Software de l'Application HIS</u>	
VI-1 Les flux d'information	146
VI-1-1 Les différents types d'information.....	146
VI-1-2 Les données et les contraintes de transmission	147
VI-1-3 Notion de débit binaire	148
VI-2 representation general de l'habitat intelligent pour la sante (his).....	149
VI-3 presentation rapide du systeme videoconference	150
VI-4 l'interface logicielle de communication	151
VI-4-1 Représentation de l'interface de communication entre le patient et le médecin.....	151
VI-4-2 Procédure et organigramme de l'établissement de la connexion internet entre le serveur et le client (patient/médecin).....	152
VI-4-3 Procédure d'envoi des textes.....	156
VI-4-4 Procédure et organigramme de visioconférence.....	156
VI-4-4-1 organigramme et procédure pour l'envoyer des images vidéo.....	156
VI-4-4-2 organigramme et procédure pour le signal vocal.....	165
VI-4-5 Organigramme et procédure du transfert de fichier	170
<u>Conclusion Général.....</u>	173
<u>Bibliographie.....</u>	vii
<u>Annexes.....</u>	viii

Introduction Générale

I La Télémédecine

Grâce à la volonté d'offrir des soins de qualité accessibles au plus grand nombre de patients, les professionnels de la santé en collaboration avec les ingénieurs et les scientifiques ont réussi à combiner les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) avec la pratique médicale. De cette combinaison est né le concept de télémédecine qui engage un partenariat efficient entre l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'UIT [9].

I-1 Définition globale de la Télémédecine

Le mot télémédecine est composé de deux termes : Le terme 'télé' est un mot d'origine grec signifiant à distance et le terme 'médecine' désignant la science qui a pour objet le traitement des malades. La combinaison de ces deux termes a donné naissance au terme télémédecine qui signifie : « Médecine dispensée (délivrée) à distance. » [8][9][10] et qui sous entend le partage de renseignements à caractère médical concernant des patients, dans le but d'améliorer la qualité des soins et de prodiguer une meilleure prise en charge des personnes isolés ou évoluant dans des endroits éloignés des grands centres de santé. Cette vaste définition englobe un éventail de méthodes telles que les services de triage à distance, les sites Internet d'information sur la santé, les évaluations par télé-visioconférence etc.... [7].

I-2 Définitions officielles

La télémédecine est définie selon la loi HPST (Loi Hôpital, Patients, Santé et Territoires) du 21 juillet 2009 comme étant une « une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport, entre eux ou avec un patient, un ou plusieurs professionnels de santé, parmi lesquels figure nécessairement un professionnel médical et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient. Elle permet d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients. » [13].

La télémédecine fait partie d'un ensemble plus large appelé la télématique de santé qui recouvre selon l'OMS « les activités, services et systèmes liés à la santé, pratiqués à distance au moyen de technologies d'information et des communication pour les besoins planétaires de promotion de la santé, des soins et du contrôle des épidémies, de la gestion et de la recherche appliquées à la santé ».

L'OMS distingue la « télémédecine » de la « télésanté » [13].

- La « télésanté » est définie comme « le management et le support à la santé au niveau national et international, par des communications interactives sonores, visuelles et de données. Ceci inclut les prestations de soins de santé de base, les consultations, l'accès aux centres et aux dépôts des connaissances, la gestion des établissements de santé, la formation de base, la formation continue, la recherche, la surveillance des maladies et la gestion des urgences. » (OMS, 1996)¹.
- La télémédecine est une composante de la médecine : « elle désigne, en général, la fourniture de services de soins de santé, lorsque l'éloignement est un facteur déterminant, par des professionnels des soins de santé faisant appel aux technologies de l'information et de la communications, d'une part, pour assurer l'échange d'informations valides à des fins de diagnostic, de traitement et de prévention des maladies et des blessures et, d'autre part, pour les besoins tant des activités de la formation permanente des prestataires de soins de santé que des travaux de recherche et d'évaluation, toujours dans l'optique de l'amélioration de la santé des individus et des communautés dont ils font partie»{WHO (World Health Organization) 1998 762}.

Ainsi, selon l'OMS, la télésanté est vue comme la compréhension d'un moyen d'intégration des systèmes de télécommunication pour protéger et faire avancer la santé, alors que la télémédecine est l'incorporation de ces systèmes à l'intérieur d'une médecine curative (OMS, 1997)²

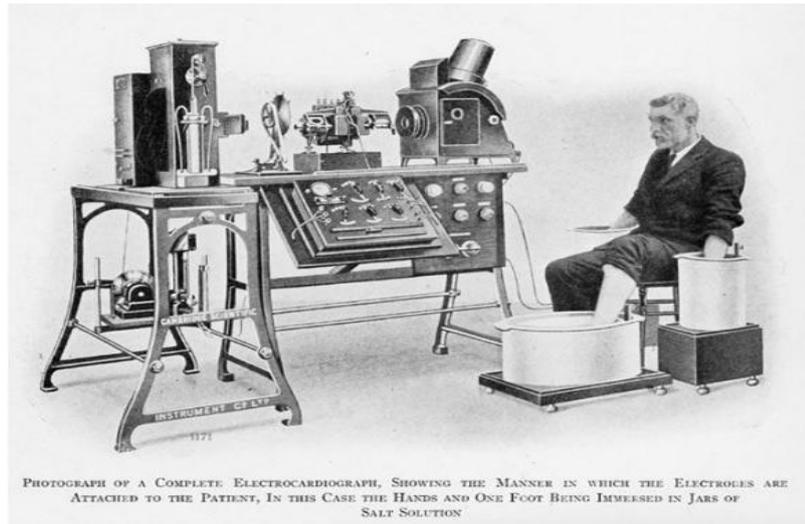
I-3 Histoire et évolution de la télémédecine

Un échange épistolaire daté de 1726 décrivant un traitement pour un patient éloigné représente probablement le premier document de télémédecine de l'époque pré électronique [20]. En 1906 Einthoven publie ses travaux sur le Télé électrocardiogramme: premiers électrocardiogrammes envoyés par téléphone à 1,5 km [12][15][21] (Figure i).

^{1,2} Définitions de l'OMS : <http://www.who.int>



Willem Einthoven



PHOTOGRAPH OF A COMPLETE ELECTROCARDIOGRAPH, SHOWING THE MANNER IN WHICH THE ELECTRODES ARE ATTACHED TO THE PATIENT, IN THIS CASE THE HANDS AND ONE FOOT BEING IMMERSED IN JARS OF SALT SOLUTION

Figure i : Première Télé-électrocardiographie réalisé par Einthoven

Une cinquantaine d'années sera nécessaire pour associer le son et l'image: conçue vers 1928, la télévision ne prendra son essor aux Etats-Unis que dans les années 50, et la première utilisation médicale de la télévision interactive aura lieu en 1959. Il s'agissait d'une consultation de «télé-psychiatrie» qui a eu lieu entre Omaha dans le Nebraska et l'Hôpital psychiatrique de l'état du Nebraska distant de 112 miles [4].

L'intérêt des psychiatres pour ce tout nouveau type de médecine provenait de l'utilisation thérapeutique de l'éloignement entre le patient et le thérapeute. La même année a lieu au Canada la première expérience de télé radiologie avec des images d'examen fluoroscopiques [22]. Entre 1970 et 1980 se déroulent quelques projets de télémédecine qui cesseront en fin de financement, et à l'exception d'un programme au St John's Memorial de l'Université de Terre-Neuve, aucun des programmes de télémédecine créés avant 1986 n'a survécu [23]. Grâce à la création d'un centre de télémédecine autofinancé, l'Université de Terre-Neuve poursuit ses activités et est impliqué à ce jour dans plus de 30 programmes [24]. Ce succès est basé sur trois principes:

- 1- analyse précise des besoins,
- 2 - utilisation de la technologie la plus simple et la moins chère possible,
- 3 - enseignements et assistance compétente pour les utilisateurs.

Dès les années 1990, plusieurs programmes de télémédecine ont été développés dans de nombreuses régions rurales des Etats-Unis, pays où la couverture sociale est faible, dans le but de faciliter les soins et de diminuer les coûts de la médecine générale [25][26].

I-4 Les apports et enjeux de la télémédecine

La télémédecine s'avère être une réalité médicale : elle s'impose déjà à travers l'usage d'outils comme le téléphone et la télécopie par exemple. Les progrès actuels de L'émergence des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) appliquées au domaine médical (imagerie médicale, débits de transmission, convivialité des systèmes, etc.), la miniaturisation des dispositifs, ouvrent des perspectives pour le développement de la télémédecine en termes d'accroissement de l'efficacité et de la qualité des soins, de partage des connaissances, ou encore de réduction des coûts de santé publique. Pour chaque acteur de la télémédecine, les avantages de ce type d'organisation sont nombreux [27][31].

Pour les praticiens, il s'agit de développer une plus grande coopération entre les différents réseaux du milieu médical : ville-hôpital, généraliste-spécialiste, public-privé. L'idée est de créer des passerelles de communication, d'information et de transmission du savoir. Un des enjeux du développement de la télémédecine concerne ainsi les aspects de partage de données et de connaissances : nécessité de l'interopérabilité des systèmes, définition de protocoles de communication, d'ontologies, création d'un dossier médical électronique partagé, etc.

Pour les patients, la télémédecine permet d'améliorer la qualité des soins grâce à l'expertise possible à distance et, par conséquent, à la réduction des délais de prise en charge diagnostique et thérapeutique. Elle permet également de répondre au problème d'isolement géographique en assurant l'égalité d'accès aux soins. Les petits centres hospitaliers souffrent en effet du manque d'équipements et d'une pénurie de médecins. Si on considère le cas particulier de la surveillance à distance, la télémédecine répond au besoin d'autonomie, de sécurité et d'intégration sociale de patients souhaitant rester à leur domicile, et s'inscrit alors dans la dynamique des alternatives à l'hospitalisation [1].

I-5 Etat de l'art de la télémédecine

Une revue publiée en 1995 montre des applications de télémédecine dans 28 spécialités médicales différentes y compris la médecine vétérinaire [23]. Depuis septembre 1996, la télémédecine est aussi utilisée par satellite entre l'Italie et la Bosnie. NTIC, ainsi que les progrès scientifiques au cours de ces dernières décennies, ont alors rapidement favorisé son évolution [2].

La télémédecine a aujourd'hui trouvé de nombreux champs d'applications, et se décline en différents termes dont il est difficile de déterminer une typologie unanime [27][28].

De nos jours, plusieurs possibilités de pratique aux services de la santé sont offertes par deux aspects techniques plus récents [29] qui ont déclenché une véritable renaissance de la télémédecine clinique.

- Ce sont d'une part, « *la télémédecine en temps réel* » qui est le transfert des données et la communication en temps réel »
- et d'autre part, « *la télémédecine préenregistrée* » qui est le transfert des données qui sont enregistrées avant ou après leur transmission.

Ces deux aspects de la télémédecine sont utilisés dans des contextes différents [9].

I-5-1 Contextes d'utilisation de la télémédecine préenregistrée

Par définition, la télémédecine préenregistrée ne nécessite pas une réponse immédiate suite au transfert des données médicales. Ainsi, celui-ci ne peut pas être appliqué en cas d'urgence. Le transfert de toutes les informations demandées s'effectuent d'une façon satisfaisante sans aucune intervention de la part du destinataire.

Pour ce faire, il y a deux méthodes :

1) Toutes les informations sont acquises puis transmises. Ceci correspond particulièrement aux procédures médicales pour lesquelles un enregistrement complet de tous les événements de la pratique normale est demandé. Un des problèmes principaux pour cette méthode est l'énorme quantité des données obtenues, dont parfois l'enregistrement et le transfert sont impossibles.

2) Toutes les informations sont acquises, mais l'expéditeur choisit les informations considérées importantes ou indispensables pour les enregistrer puis les envoyer. Avec cette méthode, l'enregistrement des données occupe moins d'espace dans la mémoire du serveur et le transfert se fait plus rapidement.

Les données peuvent être transmises par un réseau téléphonique lié à un serveur, un fax, une communication par Internet, ou par un téléphone portable. Les applications de cet aspect de la télémédecine sont : le télé-ECG, le télé-EEG, la télé neuropsychologie, la télé-ophtalmologie, la télé-obstétrique et les communications patient-médecin par internet. La télé-radiologie (transfert des images) est l'une des applications les plus utilisées et les plus importantes de cet aspect de la télémédecine.

I-5-2 Contextes d'utilisation de la télémédecine en temps réel

Il est évident que l'application de la télémédecine préenregistrée est plus facile que celle de la télémédecine en temps réel du point de vue économique ainsi que technique. En revanche, les consultations en temps réel permettent d'obtenir un résultat immédiat. De plus, ces consultations donnent l'occasion aux participants de demander plus d'informations, de poser leurs questions et d'obtenir des réponses instantanées. Cela présente un élément important pour la formation médicale continue. Un privilège de cet aspect de la télémédecine et son utilité en cas de demande d'une consultation en urgence pour une situation critique où une réponse immédiate est indispensable pour sauver la personne concernée.

Les domaines d'applications de la télémédecine se réfèrent aux actes médicaux réalisés à distance au moyen d'un dispositif utilisant les technologies de l'information et de la communication définis dans le décret Télémédecine du 19 octobre 2010 pris en application de la loi HPST. Ainsi, les actes de téléconsultation, de télé expertise, de télésurveillance médicale et de téléassistance médicale, tout comme la réponse médicale apportée dans le cadre de la régulation médicale, constituent des actes médicaux réalisés à distance au moyen d'un dispositif utilisant les TIC qui relèvent de la télémédecine [13].

On présente finalement cinq catégories d'applications en télémédecine [1] :

- **Télésurveillance** – Enregistrement télémétrique, généralement au domicile, de paramètres physiologiques ou ciblant l'environnement ou le comportement d'un patient, transmis ensuite aux praticiens concernés.
- **Téléconsultation** – Examen d'un patient ou analyse des données le concernant sans interaction physique directe. On distingue deux types de téléconsultations :

(1) soit le patient consulte de sa propre initiative un médecin par un réseau de communication interposé ;

(2) soit le médecin consulté sollicite un avis diagnostic (télédiagnostic) ou thérapeutique (télé-expertise) auprès d'un confrère situé à distance. On peut également citer dans ce cadre l'envoi et la consultation d'images médicales à distance (télé-imagerie, télé-radiologie).

- **Téléassistance** – Aide thérapeutique directe apportée à distance au patient, conséquence possible de la téléconsultation.
- **Télé-chirurgie** – Manipulation de matériel médical (instruments chirurgicaux) contrôlée à distance par le praticien sur le patient (appelée aussi télémanipulation).
- **Téléformation** – Utilisation de l'outil informatique en particulier pour l'aide à la formation continue des médecins : contacts professionnels via le réseau, consultation des informations médicales (banque de données, imagerie, suivi d'études épidémiologiques et d'essais cliniques), consultation de cours de formation et visioconférences dans les universités (téléenseignement) et réunions.

En particulier, l'application dénommée couramment télésurveillance médicale à domicile est fondamentale pour l'amélioration de la qualité de soins et de vie des personnes nécessitant des soins ou une attention particulière. Elle vise à mettre en place dans l'habitat d'une personne un dispositif qui permet de capter des informations sur son état de santé, afin de rendre possible pour le praticien un diagnostic, voire une aide au patient à distance. Par rapport aux catégories précédentes, cet outil de médiation entre un médecin et son patient doit alors prendre en compte plusieurs éléments:

- *Télésurveillance*, pour l'enregistrement d'un ensemble de paramètres liés au patient;
- *Téléconsultation*, à l'initiative soit du patient, soit du personnel médical pour l'analyse des données télé surveillées ;
- *Téléassistance*, pour fournir quand c'est possible à distance une aide directe au patient.

En plus de la souscription à certaines règles techniques, cliniques, juridiques, économiques ou éthiques liées à la télémédecine en général [30], la considération conjointe de ces trois éléments dans le contexte de la télésurveillance médicale à domicile impose en particulier de définir un compromis entre la nécessité de minimiser les contraintes de la télésurveillance pour le patient (capteurs peu

nombreux, dispositifs non invasifs) et de maximiser l'information disponible pour le praticien dans sa démarche de diagnostic et d'assistance [1].

II Objectifs des travaux dans le cadre de ce mémoire

Le but de ce travail est l'étude et la réalisation d'un habitat intelligent pour la santé (HIS) :

Le coté Etude comportera:

- 1 – L'architecture de l'habitat intelligent pour la santé (HIS) en décrivant son contexte, son principe, son but, ce qu'il comporte, comment il fonctionne et sa mise en réseau avec un centre de contrôle au niveau de l'hôpital.
- 2 - La description des protocoles de communications adaptés pour la réalisation des dispositifs répondant aux normes HIS.
- 3 - La mise en œuvre d'un réseau sans fil, soutenu par une modulation numérique à haute efficacité spectrale reliant le patient à domicile à un poste de réception local qui sera un point de connexion par rapport au serveur du réseau global dédié à l'HIS

Le coté Réalisation comportera:

- 1) Réalisation un capteur non invasif et non intrusif dédié a la télésurveillance d'un signal physiologique vital en l'occurrence l'électrocardiogramme et implémentation d'un réseau selon le modèle HIS (Capteur – Microcontrôleur – Modulateur numérique ASK M aire – Démodulateur – Liaison RS232 - Poste local de connexion).
- 2) Réalisation une interface software, sous environnement Visual Basic au moyen du composant Winsock compatible avec le système d'exploitation Windows et l'architecture client-serveur, de communication et d'information pour l'enregistrement et le transfert des flux textuels, vocaux, vidéo et signaux physiologiques prélevés en temps réel ainsi que l'envoi de fichiers quelque soit l'extension de celui-ci.
- 3) Mise en œuvre d'une application de vision conférence entre les différents acteurs de l'HIS.

Chapitre I :

Aspects Médicaux de l'HIS

I-1 Introduction

Deux formes de Télémedecine peuvent être distinguées [2] : une Télémedecine active et une Télémedecine passive :

- La **Télémedecine active** requiert une action volontaire et obligatoire de la part du patient, ceci peut poser problème dans certains cas comme un coma ou une inconscience causée après un accident. C'est le cas par exemple de la téléalarme qui présente deux inconvénients : Premièrement, son fonctionnement est subjectif, car il est basé sur l'interprétation de la voix ou de la non réponse de l'abonné, et deuxièmement le pendentif (ou sonnette d'alarme) qui permet de déclencher l'alarme n'est pas régulièrement porté, seulement dans un tiers des cas, soit parce que c'est gênant, soit par oubli, soit par souci de dignité. Le fait que l'utilisateur ait à intervenir dans le processus de déclenchement de l'alerte, limite donc l'utilisation de ces systèmes. De plus, ces systèmes conventionnels, peu autonomes, ont été créés en tenant compte des besoins et du niveau de vie, et sont souvent utilisés suivant la dépendance du patient. L'expérience montre par ailleurs que des abus (fausses alertes) sont provoqués fréquemment par les personnes âgées par besoin de contact humain.

- La **Télémedecine passive** s'effectue sans le concours du patient et est tout le temps fonctionnelle. C'est le cas de l'Habitat Intelligent pour la Santé (HIS) qui résout les deux inconvénients de la téléalarme : son fonctionnement est basé sur des **mesures objectives** de capteurs, et sur la présence d'**exo capteurs** (capteurs non portés par le patient) qui permettent de pallier l'oubli du port du pendentif. De plus, l'HIS est multi capteurs, et permet de réaliser une fusion de données multi-agents, apportant une information plus riche pour l'aide à la prise de décision. Notons que cette surveillance passive n'a pas vocation à supprimer les déplacements du personnel soignant mais à les optimiser, car le contact humain, facteur important de la guérison, doit être conservé.

I-2 Les enjeux de la télésurveillance à domicile des patients atteints de maladies chroniques [10].

I-2-1 Introduction

Les domaines de la santé où la télésurveillance d'indicateurs pertinents chez des patients sont de plus en plus nombreux. Cela s'explique par la progression constante du nombre de patients âgés, atteints de maladies chroniques, et par une valeur ajoutée au maintien à domicile de ceux atteints d'handicaps liés au vieillissement. L'allongement de l'espérance de vie en France par exemple et dans la plupart des pays industrialisés explique cette progression de la prévalence des maladies chroniques. Dans de nombreux pays, la courbe de progression des dépenses de santé est devenue supérieure à celle du PIB¹.

Les dépenses d'assurance maladie ne peuvent que progresser dans les prochaines années avec l'accroissement de la demande de soins². La recherche de solutions nouvelles et efficaces pour faire face aux besoins est un souci partagé au niveau de la Commission Européenne par la plupart des membres de l'Union Européenne [95].

Au Canada, sur les 31 millions d'habitants, 16 sont atteints d'au moins une maladie chronique. Après 80 ans, les patients cumulent en moyenne 8 maladies chroniques. Soixante pour cent des hospitalisations sont la conséquence des maladies chroniques. Deux tiers des admissions aux urgences des hôpitaux sont des exacerbations de maladies chroniques. Quatre vingt pour cent des visites chez le médecin généraliste sont en rapport avec une maladie chronique. Soixante à 80% des coûts totaux des dépenses de santé sont la conséquence des maladies chroniques [96].

Ces quelques chiffres qui sont probablement proches de ce qui existe en France et en Europe, témoignent du problème de santé publique que représente le développement des maladies chroniques dans nos sociétés vieillissantes. La télémédecine peut contribuer à optimiser la prise en charge des patients atteints de maladies chroniques, en évitant notamment des déplacements ou des hospitalisations abusives et coûteuses. Les industriels intéressés par la santé perçoivent l'important marché qui se profile

¹ C'est le cas de la France où les dépenses d'Assurance maladie progressent plus vite que le PIB. Sur les 3 dernières années, les dépenses en volume dans le champ de l'ONDAM ont progressé beaucoup plus rapidement (+ 8,2%) que le PIB en volume (+ 6,7%) (Données du rapport de juin 2008 du Haut Conseil pour l'Avenir de l'Assurance Maladie).

² On estime aujourd'hui à 15 millions le nombre de patients atteints de maladies chroniques en France. Ce chiffre atteindra 20 millions dans 10 ans. En 2050, 50% de la population française aura plus de 50 ans [10].

pour le maintien à domicile. Cependant, il ne faut pas confondre les indicateurs médicalisés pour la télésurveillance d'une maladie avec d'autres indicateurs de domotique relevant davantage de la téléalarme en cas d'évènements liés au handicap (chute, jeune, oubli de médicaments, etc...) que de la télésurveillance médicale proprement dite d'une maladie chronique [98].

Nous n'aborderons ici que les domaines où les applications médicales de la télésurveillance démontrent une faisabilité pérenne et un intérêt réel pour le patient.

I-2-2 les applications de la télésurveillance

I-2-2-1 La télésurveillance de l'hypertension artérielle

L'hypertension artérielle est une maladie chronique qui touche un grand nombre de personnes dans la population générale. Une enquête publiée en France en 2005³ révèle que 14,5 millions de personnes sont hypertendus et que seulement 47% sont traitées. Parmi celles-ci, 2/3 n'atteignent pas les valeurs cibles recommandées par l'OMS et les sociétés savantes pour être protégés d'un accident cardio-vasculaire dans les dix ans. Les personnes âgées sont les plus concernées. Avec le vieillissement de la population entre autres, le nombre de patients hypertendus augmente de 3,5% par an. Le Comité Français de Lutte contre l'Hypertension Artérielle (CFLHTA) déploie depuis 20 ans des efforts importants auprès des patients et des médecins traitants pour améliorer la prise en charge de cette maladie chronique, principale responsable de la mortalité cardio-vasculaire.⁴ Comme dans la plupart des pays industrialisés, seulement 1/3 des patients hypertendus atteignent les cibles recommandés par l'OMS et les Sociétés savantes. L'Auto Mesure Tensionnelle au domicile (AMT)⁵ est une méthode plus fiable que la mesure au cabinet du médecin. Les appareils d'AMT se trouvent dans le commerce ou en pharmacie. Ils doivent être homologués par l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afssaps). Un enquête réalisée par le CFLHTA en 2004 révèle que seulement 1/4 des hypertendus traités disposent d'un appareil d'AMT et que seulement 1 hypertendu sur 10 s'est vu inciter par son médecin traitant à réaliser une AMT [97].

³ Enquête FLASH-Sofres réalisée à la demande du Comité Français de Lutte contre l'Hypertension Artérielle (CFLHTA).

⁴ Une méta analyse de 61 études prospectives regroupant 1 million d'hypertendus, précise que pour chaque augmentation de la Pression systolique de 10mmHg et de la pression diastolique de 5mmHg la mortalité par accident cérébro-vasculaire augmentait de 40% et celle par cardiopathie ischémique de 30% (*Lewington S et coll, Lancet 2002, 360 ; 1903-13*).

⁵ 3 mesures consécutives le matin et le soir en position assise pendant 3 jours. La moyenne doit être < 135/85 mm Hg.

Le CFLHTA, suite à une autre enquête révélant qu'1/3 des hypertendus avaient un accès à Internet, a obtenu 65% de réponses favorables à la proposition d'une information sur l'hypertension et à une assistance pour l'AMT⁶ par internet. Le CFLHTA a développé de plus un site⁷ qui permet aux hypertendus internautes d'accéder à un programme d'éducation thérapeutique. Le développement de l'AMT à domicile, assisté d'avis médicaux ou paramédicaux en temps réel, semble plus efficace pour atteindre la cible du contrôle de la tension artérielle que le mode actuel de prise en charge.⁸

L'expérience la plus ancienne de télésurveillance au domicile de la tension artérielle est à mettre au crédit du service d'hypertension artérielle de l'hôpital Broussais, puis celui de l'HEGP⁹, de l'AP-HP. Ce service a été le promoteur de l'AMT à domicile dès 1990. La transmission par modem par les patients des mesures d'AMT est devenue possible en 1998.¹⁰ L'équipement inclut un modem, le tout étant relié à une prise téléphonique classique. Le patient effectue quotidiennement deux séries de trois mesures, matin et soir. L'appareil se connecte automatiquement au serveur de l'hôpital durant ces opérations et transmet les données, sans que le patient ait quoi que ce soit à faire. Du côté de l'hôpital, le serveur communique les mesures à un ordinateur, qui se charge de les présenter lisiblement grâce à un logiciel dédié. Chaque boîtier est doté d'un numéro de série permettant d'identifier le patient auquel il a été confié. Une infirmière surveille l'arrivée des données et rappelle la patiente au moindre problème technique. A charge également pour elle de prévenir le médecin traitant si besoin est. L'ajustement du traitement se fait à la consultation suivante. Depuis 1990, 2500 à 3000 patients hypertendus ont bénéficié de ce mode de surveillance de la tension artérielle à domicile.¹¹ La possibilité nouvelle de transmettre

⁶ La question posée aux 471 hypertendus internautes (sur 1538 enquêtés) était la suivante : « seriez vous intéressé à mesurer vous-même votre tension et à en communiquer par messagerie électronique les résultats de vos mesures à votre médecin ou à une équipe médicale ». 65% des réponses étaient positives.

⁷ automesure.com

⁸ Une étude récente prospective et randomisée montre que l'introduction d'une télé assistance paramédicale auprès d'hypertendus surveillant eux-mêmes à domicile leur tension artérielle par AMT et transférant par voie numérique en temps réel les résultats des mesures au pharmacien permettait de passer de 31% de patients contrôlés par l'AMT seule à 56% lorsque l'AMT est associée à un système de télésurveillance en « temps réel » (BB Green et coll, JAMA,2008)

⁹ Pr Joël Ménard, Dr Guillaume Bobrie, HEGP

¹⁰ Des industriels ont été contactés afin de mettre au point un appareil d'auto mesure tensionnelle avec télétransmission afin de réduire le manque d'assiduité des patients. Le produit utilisé a été conçu par la société Tam-télé santé, d'Aix en Provence. Le système mis en place au début des années 90 est utilisé couramment depuis 1998.

¹¹ Suite à certaines améliorations techniques (carte électronique insérée dans l'appareil d'AMT) l'AMT télétransmise s'est développée. Néanmoins le coût de l'appareil est passé en 2001 de 70 à 310 euros. Afin qu'il n'y ait pas de surcoût pour le patient une quarantaine de boîtiers ont été mis en circulation, l'appareil étant prêté, le numéro appelé gratuit. L'hôpital prend à sa charge l'ensemble des frais engagés par ce programme (achat des boîtiers, formation du personnel, ordinateurs, communication, etc.). Le budget global est difficilement chiffrable.

désormais les résultats par Internet haut débit (ADSL) à l'équipe médicale, notamment une infirmière déléguée dans cette fonction, devrait permettre d'accompagner « en temps réel » le patient hypertendu si nécessaire, cette réactivité immédiate devant des valeurs anormales étant associée à un net progrès dans le taux de patients atteignant les valeurs cibles recommandées. La messagerie sécurisée a été obligatoire à compter du 15 mai 2010 [99].

I-2-2-2 La télésurveillance des grossesses à risques

Les mêmes appareils d'AMT sont également utilisés par le service d'HAD de l'AP-HP, dans le suivi de femmes enceintes à risque d'hypertension artérielle. La surveillance des femmes enceintes menacées par une hypertension gravidique pourrait concerner 100 000 femmes par an en France. L'étude EVALINK-grossesses a montré les avantages de la télésurveillance de tension artérielle par AMT au domicile des femmes enceintes.¹²

L'HAD de l'AP-HP a recours à l'auto surveillance avec télétransmission pour la **télé monitoring foetal**, pour les femmes enceintes souffrant de diabète ou d'insuffisance rénale. Le forfait journalier de la télésurveillance (*télé monitoring*) est similaire à celui d'une journée classique d'HAD, soit 97 euros/jour. Sages-femmes, infirmières, kinésithérapeutes, assistantes sociales, diététiciennes et psychologues se déplacent au domicile des parturientes sans entraîner de coût supplémentaire. Par comparaison, une journée d'hospitalisation en obstétrique revient à environ 732 euros/jour dans un hôpital de l'AP-HP. En 2002, le programme de télé monitoring foetal de l'AP-HP a recueilli 3356 enregistrements par télétransmission, pour 140 patientes. L'appareillage est sensiblement le même pour les divers programmes Le coût d'une valise est évalué entre 6100 et 9150 euros selon les modèles, celui d'un moniteur pour la réception des rythmes cardiaques fœtaux aux alentours de 9150 euros. La valise est branchée à une prise téléphonique. Le modem interne assure la numérotation et la transmission des données vers le serveur central de la maternité ou de l'HAD. Sur place, les sages-femmes recueillent les informations, confirment la réception aux parturientes et leur indiquent la marche à suivre en cas de problèmes. Les mesures durent environ une

¹² Le protocole Evalink montre une diminution du nombre des consultations dans la branche télésurveillance (1,7 par patiente). Cette diminution induit : une fatigue moindre pour la patiente (le temps de transport et d'attente est en moyenne de 50 minutes par consultation) une diminution du coût de « consultation » : 115 à 230 euros pour une surveillance classique, 92 euros pour une télésurveillance, une **aide à la décision diagnostique** ainsi qu'une sécurisation de la prise en charge (73% des femmes identifiées hypertendues en consultation ne l'étaient pas au cours de la télésurveillance (effet blouse-blanche), une excellente adhésion côté patientes (65% de très satisfaites et 35% d'assez satisfaites).

demi-heure, à effectuer au moins une fois par jour. Le programme de télé monitoring fœtal débute généralement au 7^{ème} mois pendant 3 à 4 semaines en moyenne. La télé monitoring peut se poursuivre jusqu'à l'accouchement si nécessaire.

La télésurveillance au domicile des grossesses à risques et celle de l'hypertension artérielle sont aujourd'hui les applications les plus anciennes et les plus opérationnelles. Les technologies utilisées évolueront, notamment grâce au haut débit de l'Internet et à la messagerie sécurisée. Ces pratiques pourraient aujourd'hui s'étendre à l'ensemble du territoire. Cependant, si la surveillance des grossesses à risque par télé monitoring fœtal est jugée satisfaisante, elle ne fait pas l'unanimité après plus de dix ans d'utilisation. Totalemment à la charge de l'hôpital, elle ne constitue pas un élément significatif de réduction des coûts. Le confort psychologique des patientes n'est pas toujours assuré. Etre chez soi ne suffit pas et le contact avec le soignant est réclamé par les plus inquiètes. Le système ne s'est pas montré suffisamment concluant pour améliorer significativement la qualité de la prise en charge des mères. La maintenance du matériel est aussi élevée que le prix d'achat. Aussi, l'**HAD** et les surveillances par les sages-femmes de PMI prennent le pas sur le télé monitoring. D'autres solutions technologiques pourraient être étudiées pour répondre à ces critiques, comme la **télé-échographie** [10].

I-2-2-3 La télésurveillance de l'insuffisance rénale

La télésurveillance en néphrologie concerne les patients traités par dialyse et ceux suivis au décours d'une transplantation rénale. Le coût de la dialyse en France représente 2% de l'ensemble des dépenses du régime général pour seulement 30 000 patients.¹³

La télé dialyse se développe aujourd'hui en hémodialyse et en dialyse péritonéale. La télésurveillance des patients en dialyse péritonéale à domicile est expérimentée par plusieurs équipes depuis quelques années.¹⁴

¹³ 1,7 milliards d'euros sont dépensés chaque année pour 30 000 patients. La filière de soins comprend la dialyse en centre (81449 euros/an/pt), l'UDM (62 280 euros), l'auto dialyse (59 470 euros) et la dialyse à domicile, dont la dialyse péritonéale (49 911 euros). A la dépense des séances s'ajoute 26% de dépenses de soins de ville (345 millions), dont 175 millions de transports. Le coût d'un malade greffé est de 53 350 euros la première année et de 7630 euros les années suivantes. Il ya 2500 patients traités par dialyse péritonéale en France.

¹⁴ CHU de Nancy et Altir (Drs Chanliau et Durand), CHU de Strasbourg (Pr Cinqualbre), CH de Colmar (DR B.Faller), Caly dial Lyon (Dr A.Caillette-Beaudoin).

I-2-2-4 La télésurveillance des maladies cardiaques

La télésurveillance des maladies cardiaques est un sujet en plein développement en France. Elle touche la surveillance clinique à domicile des patients atteints d'insuffisance cardiaque [100] et la télé cardiologie définie comme « une collecte quotidienne de données à partir des dispositifs implantables afin de reconnaître des évènements techniques ou cliniques détectés par la prothèse » [101]. Le recours à l'hospitalisation des patients atteints d'insuffisance cardiaque chronique est de plus en plus fréquent.¹⁵ La surveillance d'indicateurs cliniques simples, tels que le poids, la tension artérielle, l'état respiratoire, l'électrocardiogramme,¹⁶ etc..., transmis régulièrement à un centre de premier recours¹⁷ permettrait de prévoir la survenue de complications aiguës et de prévenir ainsi les hospitalisations non programmées.¹⁸

La mise en place d'une prothèse cardiaque électronique (stimulateur ou défibrillateur automatique implantable) nécessite une surveillance régulière. Les études réalisées aux Etats-Unis ont montré que 69% des décès survenant après la mise en place d'un défibrillateur automatique étaient dus à un défaut de l'appareil ou des sondes ou des deux à la fois [102]. La prothèse est dotée d'une antenne qui communique à un boîtier installé au domicile du patient, qui transmet, via le réseau de télécommunications, à la fois des données du rythme cardiaque et celles de l'état de l'appareil à une plate-forme technique. Après traitement par le centre de premiers recours, les données sont communiquées au centre de cardiologie du patient via internet, les anomalies étant signalées par le biais de messages électroniques ou par

¹⁵ Le taux d'hospitalisation pour insuffisance cardiaque progresse de 1,5%/an depuis 1998 et plus 170 000 patients ont été hospitalisés en 2004 (données de la DREES). Il y aurait en France plus de 500 000 patients en insuffisance cardiaque et 70% seraient secondaires à une cardiopathie ischémique. Cette cause ne représentait que 22% en 1950.

¹⁶ Les dispositifs de télétransmission d'un électrocardiogramme se sont multipliés au cours des dernières années (cardiobeeper, cardiopocket, heart 1100, heart 400 etc...). Ces dispositifs sont reliés à un centre de surveillance, le plus souvent hospitalier. Le patient place le dispositif sur son thorax et lance l'enregistrement de l'ECG en appuyant sur le bouton de l'appareil. La transmission de l'enregistrement se fait en 16 secondes d'un au bureau d'un médecin, d'un hôpital ou d'un centre de surveillance à partir d'une ligne téléphonique, afin d'établir un diagnostic à distance (détection des arythmies, d'une ischémie ou d'un infarctus).

¹⁷ Médecin traitant, centres de santé, centres de cardiologie

¹⁸ Au Québec, la mise en place d'une telle surveillance au domicile a permis de réduire de 70% le taux d'hospitalisations.

SMS. La première expérience française de télé cardiologie a été réalisée par l'équipe cardiologique du CHU de Bordeaux.¹⁹

I-2-2-5 La télésurveillance des maladies respiratoires

Apparu au cours des années 70, le suivi à domicile des patients atteints d'insuffisance respiratoire chronique s'est considérablement développé au cours des vingt dernières années. Une association nationale fédère la trentaine d'associations régionales.²⁰ Ces associations sont les promoteurs possibles d'une évolution vers de nouvelles organisations de télé surveillance, notamment dans les régions où l'isolement des patients le justifierait. Des traitements adaptés à chacune des maladies respiratoires²¹ sont aujourd'hui proposés pour maintenir ces patients au domicile.

Quelques études de télésurveillance à domicile de patients en insuffisance respiratoire grave ont été réalisées²². Le système comprend un capteur d'observance situé sur les branches de lunettes d'oxygène. Le boîtier de télésurveillance est branché sur toute source d'oxygène.²³ Il permet une transmission quotidienne des paramètres mesurés : observance, débit d'oxygène, fraction d'oxygène(FO2). Un logiciel facile à utiliser permet une réception au centre serveur, un stockage et une gestion aisés des courbes quotidiennes ou mensuelles.

¹⁹ Pr Clémenty et coll ; Etude « Home Monitoring chez 10 patients suivis pendant 78 jours ». 720 messages ont été transmis et analysés. Chez 5 patients, un évènement justifiant une intervention médicale a été dépistée par la télésurveillance.

²⁰ ANTADIR (Association Nationale de Traitement à Domicile des Insuffisants Respiratoires). Les associations régionales sont les prestataires médico-techniques (maintenance du matériel d'assistance respiratoire, fournitures du petit consommables, éducation du patient, matériovigilance) et la surveillance de l'application du traitement.

²¹ L'insuffisance respiratoire chronique touche 120 000 personnes en France, l'apnée du sommeil, 400 000 personnes, l'asthme 4 millions, la mucoviscidose 6000 ^[10].

²² **Le Projet Téléport Paris Ile de France** Le dispositif MEDILINE DOM'O2 a permis la télésurveillance d'oxygénothérapie à domicile de 9 patients, âgés de 68 ans sous oxygénothérapie par concentrateur avec un débit de 1.5 l/min. Sur 1436 jours de = télésurveillance théorique, 1218 ont été enregistrés (84.8%). Les jours non enregistrés sont liés à une hospitalisation (7.8%), un déplacement (39.7%), une panne du serveur (39.3%) ou à une panne de boîtier d'acquisition (13.2%). Le système comprend un capteur d'observance situé sur les branches de lunettes d'oxygène et le boîtier de télésurveillance est branché sur une source d'oxygène. La télésurveillance par le système DOM O2 révèle de nombreuses anomalies, dont la fréquence diminue avec le temps et l'éducation du patient.

Le projet "I-NET" a étudié la surveillance à distance des patients Insuffisants Respiratoires Chroniques Graves, appareillés à domicile (concentrateurs d'oxygène, respirateurs...). Au domicile du patient, un certain nombre de données ont été recueillies sur le malade (telle que la saturation artérielle en oxygène) et sur l'appareillage par des capteurs reliés à une unité locale de surveillance qui filtre et assure un pré-traitement de ces données. Les informations de suivi et d'alarme ont été ensuite transmises vers le centre de suivi où un système d'aide à la décision permet de traiter ces informations de façon adaptée et personnalisée.

²³ De nombreux dispositifs sont proposés (PFM 100, Spirodota, Telebreather, Telepulse Oxymeter, etc...)

I-2-2-6 La télésurveillance du diabète

La télé surveillance de la rétine chez les patients diabétiques peut améliorer la qualité de prise en charge d'une maladie dont la prévalence progresse avec l'allongement de l'espérance de vie. Ces patients doivent bénéficier entre autres d'un examen régulier de la rétine afin de dépister précocement la complication rétinienne du diabète qui touche environ 25 à 30% des patients et qui évolue irrémédiablement vers la cécité en l'absence de traitement. Le dépistage annuel de la rétinopathie diabétique, recommandé par les Sociétés Savantes et les recommandations de l'ANAES, est insuffisamment pratiqué en France.²⁴ Les raisons en sont multiples ; une sensibilisation insuffisante des médecins traitants, l'inconvénient de la mydriase qui dissuade le patient de revenir se faire réexaminer, la simple négligence des personnes à risque, ou encore la précarité. C'est pourquoi, une diversification des modalités de dépistage paraît indispensable pour combattre les différents obstacles au dépistage annuel. Le réseau OPHDIAT en Ile de France a démontré la faisabilité et l'efficacité d'un tel mode de surveillance.²⁵ Ce réseau est constitué de sites de dépistage, d'un serveur et de stations de lecture. Les dossiers sont transmis par le réseau Internet. Au niveau des sites de dépistage, le personnel paramédical (orthoptiste, infirmier) constitue les dossiers médicaux et les transmet vers le serveur. Dans les trois jours qui suivent, un compte rendu signé est disponible sur le serveur. Au niveau des stations de lecture, les ophtalmologistes vont à distance se connecter au serveur et importer des dossiers. Les médecins font leur diagnostic, un compte rendu est ensuite mis à disposition des centres de dépistage concernés sur le serveur. Sur le serveur, les dossiers et les comptes-rendus y sont accessibles durant 5 ans pour les personnes autorisées. Passés 5 ans, les dossiers seront archivés et accessibles en s'adressant au responsable du réseau.²⁶ Parmi les applications de la télésurveillance chez les

²⁴ Moins de 50% des diabétiques bénéficieraient de cette surveillance en France [10].

²⁵ Le réseau de télé-médecine baptisé OPHDIAT est mis en place par l'AP-HP. Utilisant les nouvelles technologies, son objectif est d'améliorer le dépistage de la rétinopathie diabétique. Les membres du réseau sont les hôpitaux de l'AP-HP, les établissements non AP-HP, les centres de santé et les réseaux de santé de ville

²⁶ Les réseaux de ville-hôpital, les hôpitaux et les centres de santé comme chaque partenaire adhérent au réseau, financent l'ensemble du matériel de dépistage (un rétinographe vaut environ 25 000 €), les frais d'assurance, de fonctionnement, d'entretien et de maintenance correspondant à ces matériels et équipements, la connexion au réseau de télécommunication. Les réseaux de ville-hôpital, les hôpitaux et les centres de santé facturent à leurs patients l'acte de dépistage. L'AP-HP facturera aux réseaux de ville-hôpital, hôpitaux et aux centres de santé : un abonnement annuel et une prestation par patient dépisté. En 2008, l'association pouvait se prévaloir de plus de 10 000 dépistages, dont 80% réalisés dans les hôpitaux de l'AP-HP. Cette organisation a permis de dégager du temps médecin pour la prise en charge des pathologies ophtalmologiques [10].

diabétiques, la télésurveillance de la glycémie à domicile permet d'ajuster en temps réel le traitement [103].

I-2-2-7 La télésurveillance des patients atteints de la maladie d'Alzheimer

La maladie d'Alzheimer touche en France 860 000 personnes en 2007 en incluant les syndromes apparentés [104]. C'est la principale cause de dépendance des personnes âgées. Elle représente un enjeu important de santé publique avec 225 000 nouveaux cas enregistrés chaque année. Plus de 60% des personnes souffrent de désorientation et de pertes de repères, avec un risque de complications graves si elles ne sont pas retrouvées rapidement. La nécessité de sécuriser le malade et ses proches afin d'éviter l'enfermement (facteur aggravant de la progression de la maladie) est à l'origine d'une recherche technologique pour optimiser la surveillance au domicile ou sur le lieu de vie. Portée comme une montre, le bracelet Columba²⁷ est une technologie de géo localisation utilisant le réseau GPS et le réseau mobile. Il permet de déclencher automatiquement une alerte de sortie de zone dès que le malade franchit le périmètre délimité. Disponible 7 jours sur 7, 24h/24, la centrale d'assistance médicalisée peut visualiser l'espace dans lequel se trouve le malade, prévenir l'établissement ou le domicile et entrer en contact avec le malade pour le rassurer. Le bracelet permet ainsi de réduire les risques d'accidents. Il répond à un besoin évident de la part de la famille des malades et des soignants travaillant dans les établissements d'hébergement de personnes âgées et dépendantes (EHPAD).

I-2-2-8 La télésurveillance des traitements des maladies chroniques

Le traitement anticoagulant au long cours dans les maladies chroniques, notamment cardio-vasculaires, est à l'origine de nombreux accidents iatrogènes, parfois mortels. On estime [10] la prévalence des hémorragies mortelles chez les patients traités par anti vitamines K entre 0,5 et 0,8% et la fréquence d'hémorragies graves non mortelles à 4-5%. D'où l'idée intéressante de créer une clinique d'anti coagulation qui surveille les indicateurs biologiques d'efficacité et qui adapte la posologie, les résultats étant transmis en temps réel au patient et à son médecin traitant.

D'autres traitements peuvent faire l'objet d'une télé surveillance sur le modèle du traitement anticoagulant : la surveillance des traitements anti-rejets chez les patients

²⁷ Développé par Orange et commercialisé depuis novembre 2007

ayant reçu un greffon, de l'efficacité de l'insuline chez les diabétiques, des médicaments antihypertenseurs chez les patients atteints d'hypertension artérielle, des médicaments de la maladie de Parkinson.²⁸

Le contrôle précis des posologies de médicaments et l'adhésion des patients à ces traitements au long cours sont des enjeux majeurs de la télé surveillance des maladies chroniques.

I-2-2-9 La télésurveillance trait d'union à la téléassistance des patients à domicile.

Il y a des situations où la télé assistance au patient en perte d'autonomie et maintenu au domicile par des technologies caractérisant la « domotique »^[106] peut rejoindre la télésurveillance d'une maladie chronique, laquelle peut être à l'origine du handicap responsable de la perte d'autonomie.

Les « vêtements intelligents »²⁹ peuvent inclure des capteurs de télésurveillance de maladies chroniques, telles que le diabète, l'hypertension artérielle, l'insuffisance cardiaque. L'espérance de vie qui s'allonge et le vieillissement qui cumule les handicaps et les maladies chroniques rendent pertinents des projets comme celui présenté en 2007 au Ministère délégué à la Sécurité Sociale, aux Personnes âgées, aux personnes handicapées et à la Famille, projet associant le Vivre à Domicile (VAD), le Maintien à Domicile (MAD) et l'Hospitalisation à Domicile (HAD).³⁰

Les auteurs rappellent que les origines du projet : la canicule de 2003 responsable de 15 000 décès dans la population isolée et très âgée, la lettre de mission du Secrétaire d'Etat aux Personnes âgées au Pr Albert Claude Benhamou sur la « gérontologie numérique ». L'auteur souligne dans son rapport les circonstances favorables à la mise en place d'une télé assistance gérontologique : la généralisation de l'ADSL, l'internet accompagné, le Chèque Emploi Service Universel (CESU) et toutes les enseignes des services à la personne. Ce projet expérimental, qui s'apparente à un

²⁸ Cette télésurveillance n'est pas encore testée en France. Une récente publication italienne montre qu'elle est possible **[105]**.

²⁹ Vêtements dotés de divers capteurs pour le téléalarme, mais pouvant également être dotés de capteurs pour la surveillance de la glycémie, de la tension artérielle, du rythme cardiaque, etc...

³⁰ Pr Marcel SPECTOR et PR Albert Claude BENHAMOU.

projet de recherche clinique, devrait débuter prochainement avec l'aide de plusieurs partenaires³¹.

I-2-3 L'hospitalisation à domicile [2]

L'hospitalisation **A Domicile** (HAD) est aussi une formule alternative à l'hospitalisation, mais elle se caractérise par la capacité de prodiguer, à domicile est 24h/24, des soins médicaux ou paramédicaux de durée limitée et de même qualité par rapport à une hospitalisation conventionnelle. Ces soins, destinés aussi bien à l'enfant qu'à la personne âgée, sont de qualité identique à ceux reçus à l'hôpital, mais révisables en fonction de l'évolution de l'état de santé.

Ceci permet d'éviter ou de limiter la durée de l'hospitalisation ou de la ré-hospitalisation et d'accompagner le patient et son entourage dans la maladie, ou lorsque la présence à la maison est souhaitable (grossesses à haut risque, jeunes parturientes, nouveaux nés, malades, etc.). Le coût est nul pour le malade (l'organisme se fait rembourser par la sécurité sociale). Ce coût est de 90€ par jour au lieu de 274€ dans un service de médecine à l'hôpital. Au niveau de l'organisation, une équipe pluridisciplinaire (soignante, sociale et administrative) est au service du patient et coordonne l'ensemble des intervenants (médecin traitant, médecin hospitalier, infirmières libérales, kinésithérapeutes, orthophonistes, etc.) ainsi que la logistique matérielle nécessaire à la continuité des soins [16]. Excepté les interventions nécessitant d'importants équipements et matériels lourds (appareils d'imagerie ou de spectrométrie, tomographes, etc.), les traitements réalisables à domicile sont nombreux : l'analgésie, l'antibiothérapie, la chimiothérapie, l'immunothérapie, pour ne citer que celles-ci. Malgré certaines difficultés résiduelles (manque de personnels soignants qualifiés, conditions de travail difficiles, autonomie, salaires peu attractifs), les avantages de l'HAD sont aujourd'hui reconnus par les patients eux-mêmes. Les raisons principales sont le service rendu quasi-identique à celui de l'hôpital, le gain financier et de temps, avec le soutien psychologique de l'entourage en plus [2].

I-2-4 Habitat intelligent pour la santé (HIS)

L'**Habitat Intelligent pour la Santé** (HIS), est une spécialisation de la notion d'habitat intelligent (Smart Homes), qui intègre des capteurs et des actionneurs pour assurer un suivi médical à distance des occupants et les seconder dans l'accomplissement des tâches journalières [17, 18]. Son concept vise, notamment, à redonner une vie autonome, dans leur domicile, à des personnes âgées dépendantes ou des personnes

³¹ Université Paris V et Paris VI, opérateurs de services à la personne, Intel santé.

souffrant de divers pathologies et handicaps qui devraient normalement les contraindre à une hospitalisation [3].

I-3 Conclusion

Ce chapitre a permis de faire un aperçu général sur l'application de la télé-surveillance médicale des malades à domicile ainsi que l'intérêt économique, temporelle et social.

Ce chapitre offre aussi l'efficacité médicale des technologies de télé-surveillance médicale à domicile comparable à celles dont aurait bénéficié la personne dans des institutions de santé (service hospitalier, clinique, maison de retraite médicalisée, etc.), quel sera le degré d'acceptation, voire d'adaptation, de la personne à son équipement et à sa télésurveillance médicale.

Chapitre II :

Aspects Techniques de l'HIS

II-1 Introduction

Les Habitats Intelligents pour la Santé sont des Systèmes Domotiques Santé, s'appuyant sur les NTIC⁴³ pour assurer un suivi médical à distance. Ils bénéficient d'une télésurveillance médicale et d'une nouvelle structuration de l'assistance, inspirée de la gamme de services existants (téléalarme, soins à domicile, HAD, EHPAD⁴⁴, hospitalisation en soins de suite, etc.). Cette structure alternative, automatisée et la moins coûteuse possible, devrait permettre de répondre de manière plus adaptée à la vie privée de l'individu et l'aider à vivre malgré ses maladies et/ou handicaps à son domicile. Les priorités sont d'une part, de redonner aux personnes dépendantes, et désireuses de rester à leur domicile, la possibilité d'accomplir les gestes et tâches de leur vie quotidienne (se lever, se déplacer, faire sa toilette, cuisiner, etc.), et d'autre part, de favoriser le maintien ou le retour à domicile des personnes dépendantes présentant des risques de pathologie motrice (personnes âgées, handicapées) ou cognitive. Ceci peut s'appliquer aussi à toute personne souffrant de problèmes de santé chroniques, cardiaques, neurologiques, respiratoires ou endocriniens (asthmatique, diabétique, etc.). Cette structure, moderne et respectueuse de la personne, fonctionne de façon passive, i.e. sans avoir besoin du concours du patient [2].

II-2 Aspects techniques de l'HIS

II-2-1 Objectifs des HIS

L'objectif de tels systèmes est de permettre aux personnes de vivre chez elles le plus longtemps et le plus indépendamment possible, dans un environnement de confort et de sécurité. Il s'agit de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques à domicile ou une dégradation de l'état de santé d'une personne. Ces systèmes représentent ainsi une alternative momentanée ou durable à l'hospitalisation ou au recours aux établissements d'hébergement de longue durée – maisons de retraite ou centres spécialisés. Le patient n'est alors plus contraint de renoncer à son domicile et à la vie en société. Il conserve une large autonomie dans son environnement social et privé, tout en bénéficiant de services préventifs de santé. Ces systèmes concernent

⁴³ NTIC: Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

⁴⁴ EHPAD : Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes (un équivalent à l'HAD mais en établissements spécialisés).

particulièrement les personnes âgées, mais plus généralement les personnes présentant des risques d’affection motrice (chute par exemple) ou cognitive (dépression, démence sénile, etc.), ou nécessitant des soins ou une attention particulière (diabétiques, asthmatiques, etc.)[1].

Alors Les objectifs des HIS sont nombreux [2] :

- prévenir, ou redonner une autonomie de fonctionnement aux personnes dépendantes ;
- extraire une information « intelligente » aidant à la prise de décision ;
- assurer un niveau de soin équivalent pour des pathologies « compatibles » ;
- sécuriser la personne (détection de chutes, de malaises, d’errance, de pathologies chroniques, d’appels de détresse, etc.) ;
- assurer un confort et la sérénité ;
- alléger les frais de santé et alléger les tâches à la charge du corps médical ;
- vérifier au gré du patient les prises de ses médicaments, voire de réviser les protocoles thérapeutiques ;
- répondre au souhait de rester chez soi (préservation de la dignité en permettant aux personnes le désirant (la majorité des cas) de finir leurs jours dans leur lieu de vie affectif.

II-2-2 Principe

L’habitat intelligent pour la santé (HIS) s’appuie sur un système d’information global comprenant les éléments suivants (voir Figure II.1):

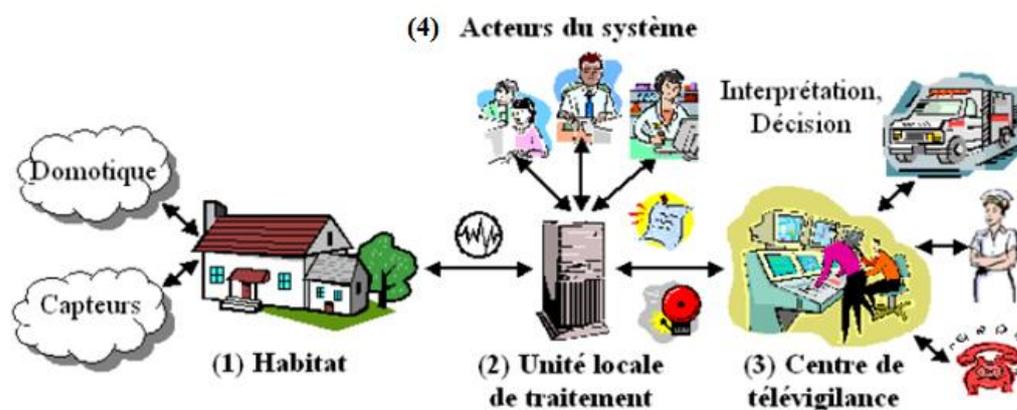


Figure II.1 Système d’information de la télésurveillance médicale à domicile.

1. Un ensemble de capteurs de différents types (physiologie, environnement, activité) installés dans l’habitat ou portés par la personne, reliés en réseaux pour la collecte en temps réel des données, et d’appareillages

automatiques (domotique) pour adapter l'environnement de vie de la personne à ses capacités personnelles, motrices et cognitives;

2. Une unité locale de traitement, au niveau de chaque habitat, responsable du stockage et du traitement des signaux reçus des capteurs, de la gestion d'une base de connaissances relative à la personne télé surveillée, et de l'émission de messages et d'alarmes;
3. Un centre de télé vigilance pour le traitement des messages et alarmes reçus des habitats.
4. Un ensemble d'acteurs (personnel médical, personne télé surveillée et membres de sa famille) peuvent accéder à tout moment, après authentification et selon leurs privilèges, aux données du système, au niveau de l'unité locale de traitement.

II-2-3 Enjeux

Les principales fonctionnalités nécessaires à la mise en place de systèmes de télésurveillance médicale à domicile sont la perception, l'analyse, le stockage et la transmission de données et d'informations relatives à la personne télé surveillée.

On a identifié alors d'après [19] cinq sous-systèmes clés du développement des systèmes d'information pour les services de soin à domicile:

1. Système de surveillance local– Il s'agit d'un réseau local au domicile pour l'enregistrement télémétrique de données relatives à une personne par l'intermédiaire de capteurs physiologiques, d'environnement et d'activité.
2. Système d'analyse de données– La grande quantité de données collectées nécessite la conception d'assistants intelligents pour l'extraction d'informations pertinentes permettant la génération de messages et d'alarmes, l'aide au diagnostic et à la décision.
3. Système de base de données– Les données collectées ou les informations extraites doivent être stockées et accessibles pour leur consultation ou leur mise à jour.
4. Système d'interfaces– Les données et informations issues de la télésurveillance et de l'analyse des données collectées doivent être facilement accessibles aux différents acteurs du système.
5. Système de communication– Il s'agit de permettre l'interopérabilité des quatre sous systèmes précédents à travers un réseau médical qui relie les

habitats de patients, les centres hospitaliers, les centres de télé vigilance et plus généralement les délégués acteurs du système.

La complexité de ces systèmes réside dans le nombre d'acteurs impliqués, la diversité des techniques informatiques utilisées aux différents niveaux d'enregistrement, de stockage, d'analyse et de transmission des données, la quantité croissante des données collectées, la nécessaire personnalisation de leur traitement dans le contexte de chaque patient, la difficulté de modélisation de l'état de santé d'une personne. Une des spécificités de la télésurveillance médicale est la contrainte de traitement rapide de large ensemble de données évoluant au cours du temps, afin de répondre à l'objectif de détection " au plus vite " des situations inquiétantes à domicile. Les difficultés de ces analyses sont en particulier liées à l'hétérogénéité des données collectées, aux facteurs d'influence agissant par fois fortement sur les paramètres observés, ainsi qu'aux dépendances mutuelles de ces paramètres [1].

II-2-4 Enjeux scientifiques, économiques, socio-éthiques et perspectives de mise en œuvre [2]

Compte-tenu des avancées radicales dans le domaine des technologies (NTIC) et des avancées en matière de capteurs, biocapteurs et robotique, les Habitats Intelligents pour la Santé sont en train de passer du concept à la réalisation expérimentale et à la pratique sur le terrain. Il s'agit de l'intégration de ces nouveaux moyens technologiques au sein de l'habitat du particulier afin d'y assurer le suivi physiologique, comportemental et d'activité des personnes dépendantes de façon transparente et automatique, tout en respectant l'intégrité de la vie privée. Les choix technologiques en compétition pour la mise au point des HIS (projets à forte consonance « ingénierie »), doivent être débattus avec attention, ce qui n'est pas toujours le cas au niveau des solutions retenues jusqu'ici, qui devront à l'avenir être les plus pragmatiques. Ces appartements ou maisons, dits « intelligents », devraient inclure au domicile une infrastructure issue de la haute technologie, capable d'extraire une information « intelligente » aidant à la prise de décision. Autrement dit, ces développements devront être réalisés de façon à rendre l'information plus accessible, perceptible et pertinente. Ces systèmes d'aide à la décision seront constitués d'un ensemble de capteurs diversifiés tels que des capteurs de présence issus du domaine de la surveillance domotique, des micro-capteurs biologiques ou encore des robots (nous parlerons alors plus globalement « omniprésent sensation en

Anglais ubiquitous sensing ») gérés par une informatique sophistiquée destinée au traitement de l'information (prise de décision automatique) et à la transmission vers des centres socio-médicaux d'expertise.

L'élaboration de ces HIS fait appel à des spécialistes et à des chercheurs de domaines pluridisciplinaires (physiciens, électroniciens, informaticiens, médecins, thérapeutes, ergonomes, sociologues, etc.) mais aussi à tous les intervenants et professionnels de la santé (e-médecins, infirmières, intervenants d'urgence, etc.). Vu l'étendue des possibilités offertes par ces nouvelles technologies, la communication entre ces acteurs devra être organisée et hiérarchisée. Le mode d'extraction de la connaissance devra faire l'objet d'une attention particulière, afin de pouvoir être évalué par des spécialistes issus de domaines différents. Les études employées seront issues des techniques statistiques de classification (analyse en composantes principales, analyse en composantes multiples, analyse discriminante, etc.), de fusion de données, de la théorie de l'information et du signal, des réseaux de neurones. Les domaines de recherche mis en cause s'étendent du capteur intelligent à l'information, puis de l'information à l'expertise et à l'acte médical (diagnostic, urgence, etc.), dont seul le corps médical détiendra la responsabilité.

Nous l'avons compris, les objectifs de ces systèmes d'avant-garde indispensables sont multiples et offrent d'ores et déjà de nouvelles perspectives en matière de recherches scientifiques : accès à des courbes de tendance de certains paramètres biomédicaux par le monitoring continu, études épidémiologiques, processus décisionnels automatiques sur les situations à risque, etc.

Le brassage des acteurs entrant en jeu dans le domaine de cette télésurveillance médicale particulière, et que l'on doit réunir, est si diversifié, qu'il est nécessaire de mener ces travaux de façon univoque, afin qu'ils puissent être utilisés de façon claire, nette et précise par tous les utilisateurs. Chaque niveau de modélisation, conception, prototypage ou encore d'expérimentation fera donc l'objet d'études en partenariat avec des spécialistes pointus. Par exemple, la pluridisciplinarité de ces recherches prospectives impliquera aussi le concours des spécialistes de la cognition et de l'ergonomie, pour que chaque utilisateur puisse intervenir aisément en fonction de son domaine de compétence. Au niveau du secret médical, des spécialistes de la cryptologie devront aussi intervenir afin de protéger les informations médicales qui doivent rester confidentielles, et qui seront en transit sur les différents réseaux (LAN, Internet, propriétaires, etc.). Elles seront acheminées non plus à l'hôpital, mais

jusqu'aux centres de télé vigilance qui auront en charge la gestion des alertes et les droits d'accès au dossier médical. Au niveau du droit à l'intimité et de l'éthique, l'usage des images (et non des informations qu'elles véhiculent) délivrées par des caméras vidéo ou des web caméra indiscretes se veut actuellement délibérément interdit, afin de préserver le respect de la vie privée et éviter des surveillances de type « Big Brother », ce qui est d'ores et déjà le cas du SID⁴⁵ de Grenoble. Il sera tout aussi impératif d'exercer un suivi de l'utilisation de ces technologies au niveau social (prise en charge par la sécurité sociale ou des assureurs privés) et administratif afin de mesurer son impact aussi bien en milieu expérimental que concret si l'on veut, à terme, pérenniser ces habitats médicalisés de demain.

II-2-5 Etat de l'Art [2][5]

Des projets de recherche matures ou en cours de développement dans le domaine de la télésurveillance médicale sont implantés dans le monde entier. Ils sont variés dans les concepts et les objectifs, mais sont tous architecturés autour d'un système générique de télésurveillance. Nous proposons ici un aperçu des principales activités mondiales, suivi d'une étude comparative dédiée à leur spécificité et à leur impact réciproque.

II-2-5-1 Le système d'acquisition automatique de données physiologiques (Tokyo Medical and Dental University, Japon)

Togawa, Ogawa et al. [32][33][34] furent parmi les premiers à instaurer un système de télésurveillance. Ce système, installé à Tokyo, déploie des appareils domotiques automatisés pour surveiller à long terme l'état de santé du patient au travers de ses routines journalières (temps d'utilisation des différents appareils électroménagers, nombre d'ouvertures des portes, etc.). Des signes vitaux sont relevés : le monitoring de l'ECG s'effectue dans le bain avec des capteurs implémentés dans la baignoire, la température corporelle avec des capteurs installés dans le lit et le poids est mesuré aux toilettes (quand la personne est assise sur le siège des WC). Ces mesures sont non invasives. Le système a d'abord été testé en 1998 pendant une semaine en laboratoire, puis expérimenté en conditions réelles dans des maisons de type classique en 2000 avec trois sujets pendant un mois chacun. Ceci a permis de prouver la capacité et

⁴⁵ SID : Système d'Information Domotique-Santé Intégré à Domicile.

l'efficacité du système, et de mesurer les signes vitaux de façon simultanée et automatique.

II-2-5-2 Le Centre de Recherche en Automatique Médicale - MARC (Université de Virginie, Charlottesville, USA)

Le Centre de Recherche en Automatique Médicale (MARC) de l'Université de Virginie développe depuis quelques années des technologies et différentes méthodes pour établir, à distance et automatiquement, le degré d'autonomie des personnes âgées vivant à leur domicile [35]. Ces technologies et méthodes sont fondées sur les échelles d'activité de la vie quotidienne non instrumentales (ADL) et instrumentales (IADL). Le MARC équipe actuellement une maison sur le site de l'université de Virginie afin d'étudier à distance ces méthodes ADL et IADL, testées sur un sujet vivant en permanence dans cet habitat. Ces méthodes intègrent une analyse logique des questions soulevées par les ADL et IADL, en rapport avec les différents capteurs installés dans l'habitat. Bien que le système soit en cours de validation, le MARC envisage par la suite d'installer plusieurs sites pilotes, afin de procéder à des validations plus approfondies.

II-2-5-3 Le projet « CarerNet » (UK)

Le projet CarerNet est une architecture générique de systèmes d'information intelligents et intégrés de télé soins en interaction avec les besoins de santé du patient, fondée par Williams et Doughty [36]. Ce modèle est basé sur la distribution de l'intelligence, dans le but de contrôler les flux de données personnelles émanant du patient ou plutôt du système. En établissant différentes zones d'information à travers des couches hiérarchisées basées sur des nœuds (connexions) intelligents au sein du domicile et en associant selon le patient un jeu de circonstances qui justifie une intervention externe, le flux d'information sensible est alors filtré entre les zones. Ceci permet de limiter les ingérences en minimisant la quantité de données et d'erreurs transmises sur le système. Au niveau technologique, les principaux éléments (en gestation) sont : le système de monitoring personnel, les capteurs de comportement (style de vie) et d'environnement, les systèmes d'alertes avancés, le réseau local et, enfin, un système externe qui communique avec des services d'urgence et des fournisseurs de soins (hôpitaux, pharmacies, services sociaux, etc.) [37].

II-2-5-4 Le Système d'Alerte Miniature et Intelligent à domicile - Midas (UK)

Le système MIDAS est un système prototype de seconde génération basé sur le projet CarerNet. Ce système incorpore une intelligence distribuée redondante, dans le sens où elle est capable de s'auto-examiner, afin de contrôler les situations potentiellement dangereuses (prévention, réduction des pannes de l'installation, etc.). Ce système met surtout l'accent sur les conditions de sécurité de l'infrastructure. Les risques et dangers ont été recensés, puis analysés. Par exemple, un capteur positionné dans un four à micro-ondes permet de couper l'alimentation en cas de détection d'objets métalliques ou, encore, un capteur de niveau d'eau permet de générer une alerte si le niveau est trop haut ou trop bas dans un bain. Les traitements au niveau de l'intelligence distribuée ont été implémentés dans des appareils intelligents et testés expérimentalement dans un appartement pilote lors d'un premier essai [38]. Un logiciel a également été développé pour analyser les différents types de « style de vie », ceci afin de prévenir des chutes, des pathologies, etc. [39].

II-2-5-5 La Chambre Hospitalière (laboratoire LAAS5, Toulouse, France)

Chan, Campo et Steenkeste [40] collectent en continu, en chambre hospitalière au CHU de Toulouse, les données de la personne âgée en interaction dans son environnement physique afin d'estimer leurs activités quotidiennes, leur capacité à se déplacer, etc. Ce système utilise des capteurs volumétriques divisant l'espace de la chambre hospitalière en plusieurs zones d'observation (Figure II.2).

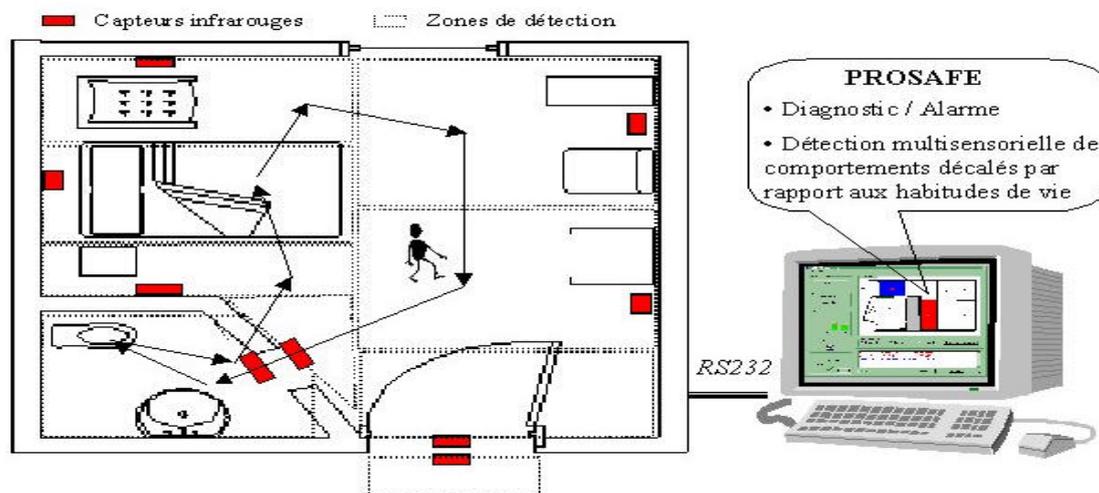


Figure II.2 : La chambre hospitalière intelligente du CHU de Toulouse. La surface est divisée en plusieurs zones fonctionnelles à l'aide de capteurs volumétriques fixés au plafond.

Le projet global comporte quatre étapes. Les deux premières consistent en une étude de faisabilité, d'évaluation et de validation du système, avec une analyse d'algorithmes d'interprétation de données en laboratoire, puis en situations réelles au sein d'hospices ou d'unités de soins. En troisième et quatrième étape, il est prévu de s'intéresser à l'acceptation de ce système dans le cadre du domicile privé et à son impact psychosociologique, non seulement au niveau des personnes dépendantes suivies par ce système, mais aussi à celui de l'ensemble des professionnels et de la famille impliqués dans ce contexte.

L'architecture de la plateforme technologique se compose d'un système multi capteurs, d'un réseau de communication et de logiciels de monitoring. Le système est capable notamment de mesurer de nombreux paramètres tels que le nombre d'heures passées au lit, dans le fauteuil ou la salle de bain, les fugues du patient ou encore de comptabiliser le nombre de visites de l'infirmière.

II-2-5-6 Le projet « Center for Future Health » (université de Rochester, New York, USA)

L'université de Rochester-NY, au sein du projet « Center for future Health » met en réseau des caméras vidéo et des PDA (Personal Digital Assistant) dans toutes les pièces du logement, pour interagir de manière ubiquitaire avec les occupants (Figure II.3) [41].

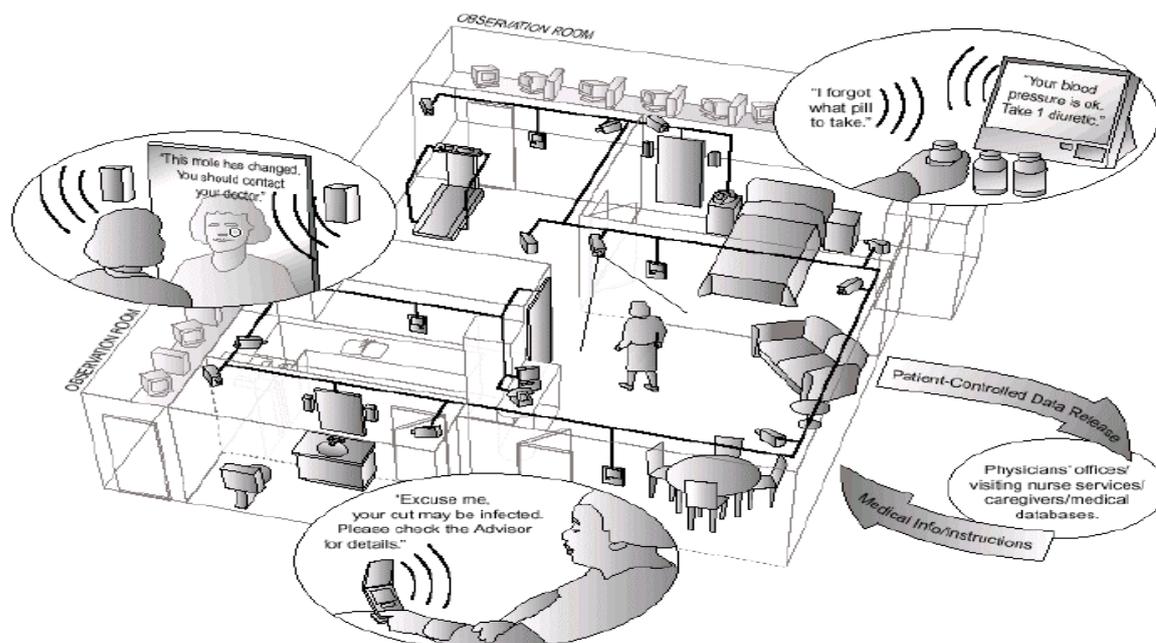


Figure II.3 : Le projet « Center for future Health » de l'Université de Rochester-NY.

II-2-5-7 Le Système Télégériatrique d'Enregistrement Médical Electronique Intégré (Université nationale de Singapour, Singapour)

Le « **Medical Informatics Programme** » (MIP) de l'Université de Singapour, l'A&E et les départements gériatriques de l'hôpital Alexandra de Singapour se sont associés afin de concevoir le service médical télé gériatrique : l'« **EMR-based TeleGeriatric System** » [42]. L'idée fut de mettre en liaison l'hôpital «gouvernemental » gériatrique avec deux maisons de retraite situées en banlieue de Singapour au moyen de l'ADSL, afin de pouvoir rendre des services médicaux efficaces à des sites distants et reculés. Le processus est le suivant : chaque fois qu'un patient, vivant dans le centre éloigné de l'hôpital, a besoin d'une téléconsultation, d'une infirmière ou d'un docteur, le serveur télé gériatrique se charge de la requête et la transmet à l'hôpital qui entreprend les consultations suivant les demandes. Ces services peuvent être des lieux de décisions instantanées suivant les situations d'urgence. Au niveau des choix technologiques, l'effort a porté sur des solutions à moindres coûts. Par exemple, seulement deux PC, deux modems, deux Webcams et une simple liaison ADSL à 512kbps suffisent à établir une conversation en direct entre un patient et un médecin. Au niveau du serveur télé gériatrique de base de données et du serveur d'applications, les développements ont été effectués respectivement avec « **Microsoft SQL server** » et **Java Web Technology**.

II-2-5-8 Le projet pilote australien (Biomedical Systems Laboratory, Université de N.S.W, Sydney, Australie)

Ce projet, mené par B. Celler et al, consiste en la création d'un système de monitoring à distance en télémédecine, pour estimer l'état de santé de patients à domicile au travers de « **paramètres clefs** » de la vie quotidienne. Lancée en 1993, l'étude a débuté par la définition des besoins types du projet. Ils se résument à :

- un ordinateur portable hébergeant un programme proposant un questionnaire générique utilisé pour des interviews par la communauté médicale ;
- un système d'instrumentation domotique pour mesurer les paramètres environnementaux et l'activité ;

- un réseau de communication pour relier les habitats à un centre de surveillance ;
- un centre de surveillance composé d'une installation de communication, d'une visualisation et d'un archivage des données, ainsi que des outils d'analyse. Chaque point fit l'objet d'études et de tests approfondis suivant des procédures de contrôle spécialisées en chaque domaine (« Functional Health Assessment Instruments », « COOP/WONCA Functional Assessment Charts », « Duke 17 Item Health Profile », « Assessment Of Service Use », « Self-Reporting Daily Diary », « Remote Monitoring », etc.). Les études ont d'abord montré que la technologie «Echelon LONWORKS » était la meilleure candidate pour l'implémentation de la plateforme. Cette technologie intègre tout le matériel et logiciel nécessaires à l'implémentation d'un Réseau Opérationnel Local (LON). Le protocole utilisé est le LONTALK qui exploite les sept couches ISO (International Standards Organisation) du modèle OSI (Open Systems Interconnection). Au niveau du domicile, un PC bon marché lie les capteurs d'instrumentation sur un réseau en étoile, par liaison série. Les données médicales sont alors transmises via un modem et une connexion PSTN⁴⁶ à 2400Baud à l'ordinateur central situé au Laboratoire des Systèmes Biomédicaux (Université de N.S.W). La « Telemedicine Base Station » (TMBS) est un PC avec un processeur de type Pentium qui recueille alors ces données pour les archiver et les analyser. Une première expérience a été menée avec des patients dont on a équipé l'habitation et demandé de vivre leur vie quotidienne habituelle. Ils ont été interviewés chaque semaine suivant les procédures citées plus haut (« COOP/WONCA Functional Assessment Charts », « Duke 17 Item Health Profile ») et selon un questionnaire, pour estimer le niveau et la nature de l'utilisation des services médicaux rendus pendant la semaine. Les informations obtenues ont été envoyées sur le TMBS et analysées avec des programmes spéciaux, afin de définir les règles de base pour développer une base de données issue d'expertises de gériatres médicaux. Une expérience plus poussée est prévue avec l'implémentation d'une centaine d'habitats, pour aboutir au développement d'une « maison intelligente » intitulée « Health Aware »[43][44][45].

II-2-5-9 Le système d'urgence E-Vanguard (Taïwan)

Ce système se destine à apporter une aide de premier secours dans des situations d'urgence telles que les opérations de sauvetage. Bien que ce système se démarque

⁴⁶ PSTN : Public Switched Telephone Network (Réseau Téléphonique Commuté).

des autres par son usage, c’est un système d’information télé médical intégral. Ce système de soins et d’urgence repose sur une équipe de sauveteurs munis chacun d’un Assistant Digital Personnel Portable (PDA), des médecins équipés de portables avec un GPS, un centre de commande de sauvetage et sur un sous-système de surveillance embarqué sur les blessés. Chaque partie peut communiquer avec une autre en utilisant le réseau Bluetooth sans fil, qui est en liaison avec l’hôpital. Par exemple, les sauveteurs peuvent recevoir des messages en temps-réel provenant des capteurs embarqués sur le ou les blessés (cf. Figure I.4) [46].

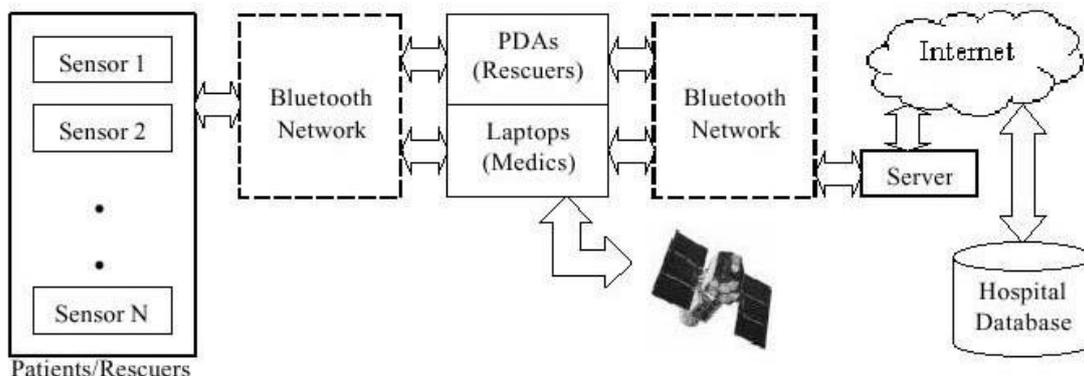


Figure II.4 : Le Système EVE.

II-2-5-10 L'« Aware Home » - Georgia Institute of Technology

L'« Aware Home Research Initiative » (AHRI) est un projet de recherche au Georgia Tech. Qui consiste à explorer quels types de services pourraient être utilisés au sein d'un environnement qui est conscient de l'activité de ses occupants [47]. Des technologies et des applications sont développées dans un environnement domotique, l'« Aware Home » (Figure II-5) percevant et assistant son occupant. Par exemple, des méthodes de reconnaissance de l'activité sont développées afin de savoir si la personne est en train de lire le journal, regarder la télévision ou préparer un repas.



Figure II-5 : L'« Aware Home ».

II-2-5-11 Le système EHC (Electronic HouseCall) - Georgia Institute of Technology et la Faculté de Médecine de Georgie (USA)

Le système EHC est le fruit d'une collaboration entre le Centre de Technologie Interactive Biomédicale (**B**iomédical **I**nteractive **T**echnology **C**enter – BITC en anglais) du Georgia Tech. Et le Centre de Télémédecine de la Faculté de Médecine de Georgie (**M**edical **C**ollege of **G**eorgia – MCG en anglais) [48]. Ce système de télésanté permet aux résidents de rester plus longtemps à leur domicile ou d'y revenir plus tôt après l'hospitalisation, grâce à des visites en utilisant la vidéoconférence, et à des mesures de signes vitaux à distance. Ce système focalise sur le fait que le patient doit s'engager dans l'administration de ses propres soins. Ce système est construit de telle façon que les patients doivent le contrôler par eux-mêmes. Des ressources pédagogiques sont fournies par le système pour instruire et guider le patient. Le système EHC est construit sur la base d'un PC multimédia standard fonctionnant avec le système d'exploitation Windows de Microsoft. Le logiciel développé fournit de nombreuses capacités et présente une interface graphique simple que le patient peut contrôler à travers un moniteur tactile. Les capacités du système intègre une vidéoconférence interactive, des appareils médicaux et des ressources pédagogiques pour le patient. Une base de données centrale fournit un accès aux données pour le patient et pour les fournisseurs à travers des communications réseaux sécurisées. La Figure II-6 illustre le concept du réseau EHC.

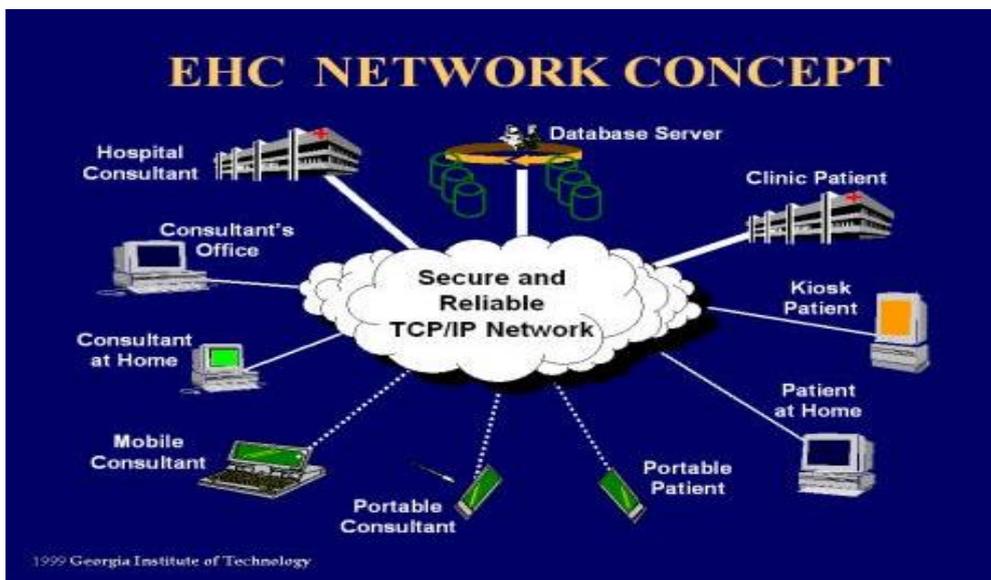


Figure II-6 : Concept du réseau EHC (www.bitc.gatech.edu/bitcprojects/ehc/indexEHC.html).

Les résidents ont la possibilité d'utiliser des systèmes informatiques basés à leur domicile pour communiquer avec le centre de télévigilance et recevoir des « surveillances » adaptées à leurs conditions de vie. Le système est actuellement entrain d'être commercialisé par une compagnie appelée CyberCare Inc.

II-2-5-12 L'« Assisted cognition» – Université de Washington

Le but de ce projet d'« Assisted Cognition » est de créer un système informatique original permettant d'améliorer la qualité de vie pour des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou de troubles cognitifs équivalents. Ce projet interdisciplinaire combine une recherche informatique en intelligence artificielle et en « ubiquitous computing » avec des recherches cliniques centrées sur la santé du patient [49].

II-2-5-13 House_n: the Home of the Future – MIT

(Massachusetts Institute of Technology, USA)

Le MIT est en train de construire le « MIT-TIAX PlaceLab », un laboratoire intégré dans des condominiums résidentiels [50]. L'objectif de ce projet est de mener des recherches directement au sein de vrais environnements « vivants », utilisés pour étudier des technologies et des stratégies de construction centrées sur les futurs besoins de la personne vivant à son domicile. Les habitations seront occupées par des volontaires pendant des périodes variant d'une semaine jusqu'à quatre mois. Les locataires n'auront aucun contact avec les chercheurs qui analyseront la multitude de données en dehors du site. Les mesures effectuées permettront de déterminer les activités des locataires ainsi que les conditions expérimentales.



Figure II-7 : The MIT-TIAX PlaceLab: a living laboratory.

II-2-5-14 Le système d'Habitat Intelligent pour la Santé (laboratoire TIMC, France)

Sous l'initiative de J. Demongeot, un appartement pilote dit « Habitat Intelligent pour la Santé »(HIS) a été mis au point au sein de la Faculté de Médecine de Grenoble. Les travaux ont continué au sein de l'équipe AFIRM créée fin 2001 par N. Noury et V. Rialle. Le nom technique se désigne par SID² « Système d'Information Domotique-Santé Intégré à Domicile » ou HIS² en anglais (Health Integrated Smart Home Information System) [51][52][53][54][55][56][57][58].

L'infrastructure de cet habitat consiste en une plateforme technologique expérimentale destinée au développement de technologies et à l'évaluation clinique à distance, en vue d'assurer la sécurité, la sérénité et la qualité de vie de personnes nécessitant une surveillance à domicile (personnes âgées dans un premier temps, etc.). L'objectif n'est pas de concevoir un outil ultrasophistiqué mais plutôt de se doter d'une base de recherche fiable pour pouvoir reconsidérer d'une manière différente les applications de la télémédecine (télésurveillance médicale en priorité, téléconsultation, etc.). L'appartement est de type F1, d'une surface de 50 mètres carrés environ et comprend les zones d'habitat classiques que sont la chambre, le salon, la cuisine, le hall d'entrée et le cabinet divisé en deux parties, une pour la douche et une pour les WC. Une zone technique reçoit tout le câblage de l'appartement et contient tout le matériel informatique d'expérimentation (cf. Figure II-8).

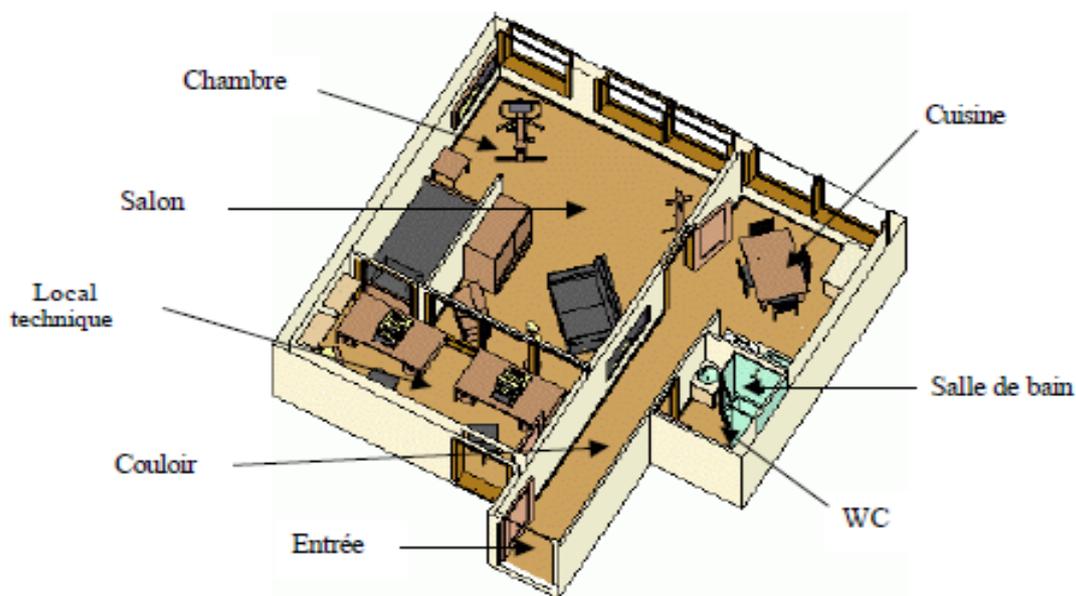


Figure II- 8 : Plan 3D de l'appartement intelligent aménagé.

Deux pôles de recherche constituent le cœur de l'activité de l'équipe AFIRM et orientent conjointement l'HIS dans deux directions parallèles, ce sont :

- un système local centré sur le domicile du patient désigné par HIS local (l'objet de cette mémoire) ;
- un Système d'Information et de Communication (SIC) fondé sur les technologies Internet désigné par HIS externe.

Nous pouvons résumer l'HIS de Grenoble par :

$$\text{SID}^2 = \text{HIS local} + \text{HIS externe}$$

L'esprit du système local se fonde sur une démarche « au plus près du patient ». Ses objectifs sont d'équiper le domicile en matière de capteurs intelligents et de réseaux locaux afin de constituer la première couche dite « bas niveau » du système, et d'utiliser cette instrumentation afin d'effectuer une recherche à la fois expérimentale, fondamentale et appliquée. Actuellement, elle est centrée sur le suivi du patient à domicile en matière d'activité et d'actimétrie. Le système SIC (HIS externe) pourra récupérer les données du système HIS local (rythme circadien d'activité, règles de détection, etc.) pour les traiter et les partager entre les acteurs. A terme, les algorithmes développés dans l'HIS local pourront être exportés vers le système SIC (HIS externe). Les outils principaux de développement employés (Labview™ et LabCVI™ de National Instrument) sont des outils spécialisés efficaces dans le développement, la maintenance et le déploiement d'applications (temps d'exécution des applications optimisées (langage C, etc.). De plus, l'environnement de développement intégré (mathématique, traitement du signal, traitement des données, etc.) est très riche et déjà adapté au dispositif matériel, ce qui permet un gain de temps considérable.

La Figure 9 décrit les fonctionnalités de l'HIS local. Il est composé d'une partie instrumentation MathHIS et d'une partie logicielle formée par LogHIS, BdHIS et SimuHIS. Le système LogHIS est lui-même constitué de deux modules SuivHIS et SAMCAD. SuivHIS récupère les informations provenant de MathHIS, les traite, les affiche, puis les enregistre dans une base de données au format XML BdHIS. Un module sémantique incorporant des agents intelligents dans *SuivHIS* peut identifier des pathologies et afficher les alertes correspondantes s'il en détecte. SAMCAD calcule les RCA, les affiche, et déclenche des alertes en cas de variations anormales de ces RCA, reflétant un possible trouble du comportement. Un 3ème module

logiciel, SimuHIS, simule la production de données de BdHIS faite par MatHIS+traitements de SuivHIS. HIS local effectue la surveillance et auto-apprend les habitudes de vie d'un patient à domicile à travers le calcul des RCA, de façon à détecter une évolution anormale de son comportement sur le long terme.

Le SIC (HIS externe) est un système externe, basé sur des aspects temps réel, et s'apparente plus à un produit commercialisable tel qu'une société d'ingénierie informatique pourrait l'implémenter. Il est basé sur une étude prospective sur les besoins, les acteurs médicaux et sociaux concernés par le maintien à domicile, et sur les communications telles que nous les décrivons dans la section (II-2-5). Le logiciel expérimental dénommé « SIC-HIS » s'articule autour d'une architecture de type « 1-1-n » mettant en relation un centre de télésurveillance, un habitat et les intervenants. Il intègre la gestion des utilisateurs, la gestion du dossier médical et son accès protégé, la rédaction d'ordonnances, etc. Les technologies principales employées sont : WEB, UML et JAVA™ (RMI, Java Web Start).

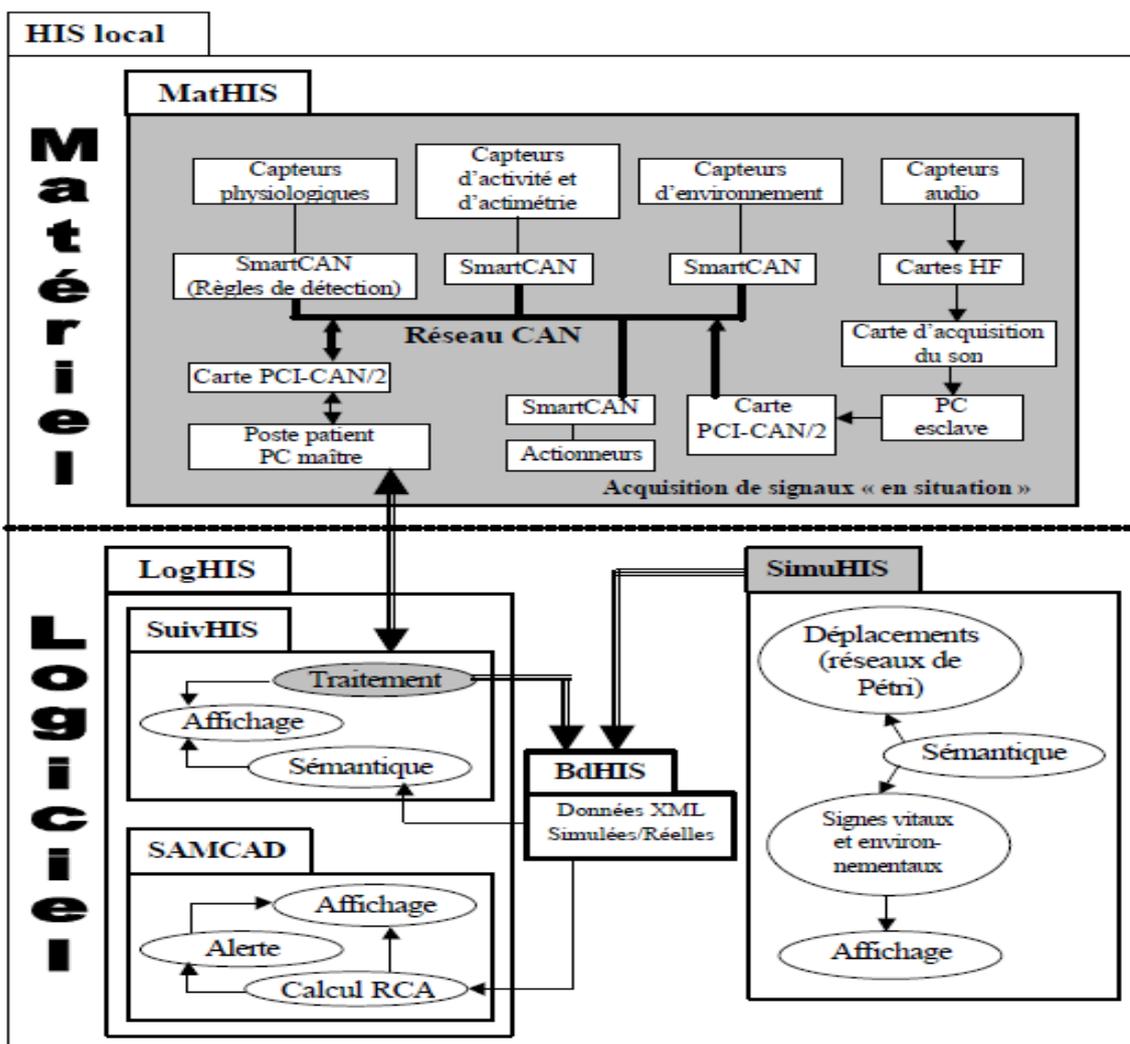


Figure II- 9 : Description fonctionnelle de l'HIS local.

II-2-5-15 Et le reste du monde...

- D. Gann, J. Barlow et T. Venables (SPRU : université de Sussex – <http://www.sussex.ac.uk/SPRU>) ont travaillé avec J. Rountree pour déterminer l'utilisation d'une maison intelligente pour les personnes âgées. Deux maisons ont été développées, l'une à York, l'autre à Edinburgh (Edinvar's AID house) pour tester la technologie et déterminer la plus efficace. La maison à York a été implémentée en utilisant un système de protocole LonWorks et celle à Edinburgh avec EIB (European Installation Bus, aujourd'hui Konnex). Les buts de ce projet de « AID house » ont été triple. Tout d'abord pour déterminer un modèle « utilisateur » et les spécifications en vue de développer et d'utiliser des maisons intelligentes dans des logements socialement abordables. Deuxièmement, pour évaluer le marché potentiel des maisons intelligentes et troisièmement pour évaluer les problèmes économiques de l'offre, et aussi l'intégration et l'installation dans ces deux sites de démonstration. Les résultats de ces investigations ont été publiés en [59] [60] et [61];
- R. Orpwood (Bath Institute of Medical Engineering Bath University). La maison intelligente de Gloucester a été implémentée pour montrer l'étendue des technologies existantes qui pouvaient assister les personnes à vivre indépendamment [62] et [63]. Le focus s'est porté sur des personnes atteintes de démences ou de troubles cognitifs en tentant d'assurer une surveillance discrète. Les impératifs fixés ont été que la technologie devait rester discrète et qu'elle ne devait pas prendre le control de l'environnement totalement à l'insu du patient ;
- M. Ormerod et P. Thomas (Salford University Department of Architecture) sont aussi impliqués dans la technologie de la maison intelligente et des personnes atteintes de troubles. L'équipe cherche à déterminer où la technologie pourrait être utilisée pour assister la personne avec un maximum d'efficacité ;
- Roth et al. [64] met en place à domicile, un enregistreur d'ECG à douze dérivations, en vue d'une analyse en temps-réel et à distance. Ce système concerne la télésurveillance de malades cardiaques à domicile ;

- Mozer [65] utilise des réseaux de neurones dans la «Neural Network House » pour apprendre les réglages environnementaux préférés des occupants et s'en sert pour optimiser le système de gestion d'énergie, tout en satisfaisant les exigences de l'utilisateur ;
- Elger [66] met l'accent sur l'assistance technique aux personnes à mobilité réduite, ou ayant des déficiences visuelles, auditives ou cognitives. Le démonstrateur « SmartBo » a été installé dans un appartement ordinaire, pour en démontrer la simplicité ;
- Van Berlo [67] prend en compte les 71 recommandations du label « Dutch Senior Citizen Label » pour concevoir la « Smart Model House for Senior Citizen » en insistant sur la sécurité d'une part et sur le confort et les économies d'énergie d'autre part ;
- Sixsmith [68] a développé un système de surveillance d'habitats intelligents basé sur l'emploi de capteurs pour identifier des situations d'urgence. Ce système détecte des déviations par rapport à des modèles d'activité normaux. Des messages d'alerte ou de fausses alertes peuvent être ainsi déclenchées. Ce système a été évalué pendant trois mois sur 22 personnes âgées, et fut bien accepté par les personnes âgées comme par les aidants ;
- Glascock et Kutzik [69] détectent automatiquement les ADL, sans déclenchement d'alerte ; les données sont traitées en différé. Leur brevet couvre aussi la possibilité de générer un signal de contrôle à partir de l'observation des signaux. ;
- Maglaveras et al. [70] a développé, dans le cadre du projet européen intitulé « Distance Information Technologies for Home care », le Système Santé Citoyen (The Citizen Health System (CHS) en anglais). Ce système vise à corréliser les besoins en soins de santé de patients à domicile avec diverses pathologies chroniques telles que le diabète. Ce système repose sur un centre clinique relié à une unité de soins déployée au domicile du patient. Les technologies employées sont le WAP, le WMLScript, les réseaux locaux sans fil, et les standards d'échanges de dossiers électroniques médicaux (DICOM, SCP-ECG) ;
- Leikas et al. décrit un système pour le monitoring des personnes démentes à domicile en utilisant de simples contacts de portes [71] ;

- Richardson crée, dans l'« Adaptable Smart Home (ASH) », un réseau commun, pour contrôler et surveiller des dispositifs à l'intérieur du logement, comme depuis l'extérieur. Il rend ainsi les dispositifs plus faciles à utiliser et plus aidants [72][73].

II-3 Équipements et Architecture générale des systèmes de l'habitat intelligent pour la santé (HIS)

II-3-1 Équipements domotiques

II-3-1-1 Capteurs

Les données permettant d'évaluer l'état de santé de la personne sont évidemment ses données physiologiques, mais elles sont utilement complétées par la détection de ses activités et postures, en même temps que le monitoring de son environnement.

- **Capteurs des données physiologiques**

Les signes vitaux essentiels sont bien identifiés depuis longtemps par les médecins et la liste des signaux accessibles depuis le domicile n'est pas limitée [68] [74].

La masse corporelle est la variable qui se prête le plus aisément à une « auto mesure » ; les pèse-personnes du commerce sont d'une utilisation bien connue. Si le patient souffre de certaines formes d'handicap mental ou physique, on peut envisager

L'automatisation de la prise de cette information, par exemple en pesant la personne dans son lit [75] ou sur les toilettes [76].

La température centrale s'acquiert avec un simple thermomètre. Les dispositifs au mercure, lents, renferment une substance toxique et sont maintenant interdits et remplacés par leurs homologues électroniques qui mesurent le rayonnement infrarouge de la surface du tympan (thermomètres tympaniques) ou du fond de la bouche.

Les valeurs extrêmes de la tension artérielle (pressions systolique et diastolique) sont accessibles avec des dispositifs à brassard (sphygmomanomètres) qui se gonflent automatiquement. Ils nécessitent de respecter certaines conditions lors de la mesure (position de repos, compensation de la différence de hauteur entre le cœur et le site de mesure).

La **saturation en oxygène du sang** (oxymétrie) permet d'évaluer la qualité de la ventilation de manière non invasive. Le procédé optique de la mesure évalue l'opacité du sang aux extrémités des doigts, des orteils ou du lobe de l'oreille. Si cette valeur en instantané ne présente pas réellement de sens médical, son monitoring en continu, en

particulier pendant le sommeil, peut permettre de détecter et de quantifier des anomalies telles que les variations excessives de fréquence cardiaque ou les apnées obstructives du sommeil qui engendrent une fatigue de l'appareil respiratoire et cardiaque [5].

Le **pouls**, ou fréquence cardiaque, s'obtient de plusieurs manières. À partir du signal électrique cardiaque (ECG) prélevé depuis 3 à 12 électrodes posées sur la peau, en des sites précis, on peut déterminer l'intervalle de temps séparant deux signaux typiques (complexes QRS). La période entre deux battements cardiaques est plus simplement mesurable sur le signal acoustique amplifié par un stéthoscope. Enfin, comme la fonction du cœur est de pousser périodiquement le sang chargé d'oxygène dans le système vasculaire périphérique, on peut remonter à la fréquence cardiaque soit en évaluant la distance entre les instants successifs des pressions artérielles systoliques et diastoliques (tensiomètre), soit entre les extremums du taux d'oxygénation du sang (oxymètre). Toutefois, le pouls instantané est rarement intéressant, sauf s'il dépasse ses limites inférieures (quelques battements par minute) ou supérieures (quelques battements par seconde). En revanche, son enregistrement en continu permet d'observer les fluctuations.

Bien d'autres capteurs, également disponibles dans le commerce, permettent d'accéder à d'autres paramètres plus spécifiques de certaines pathologies : glycémie chez les diabétiques (glucomètre), capacité respiratoire chez les asthmatiques (peakflow meter), etc.

- **Capteurs d'activité [5]**

Il s'agit soit de détecter les stationnements et les déplacements du sujet dans son environnement (référentiel externe), soit de détecter ses postures (référentiel interne) et des événements tels que la chute.

Le sujet peut être repéré par des détecteurs volumétriques qui mesurent le rayonnement infrarouge émis par la surface du corps ou bien qui détectent les ondes ultrasonores réfléchies. Dans le premier cas, seules des variations sont perçues donc un sujet immobilisé n'est plus détecté, ce qui n'est pas le cas des ondes ultrasonores. Il est à noter que la présence dans un endroit doit être confirmée par l'absence dans les autres volumes. Enfin, de simples détecteurs de passage aux portes (contacts) permettent aussi de localiser le sujet. L'installation de capteurs au sol permet de situer le sujet avec plus de précision (sols actimétriques) et de distinguer la présence d'un animal de compagnie.

Les postures corporelles (debout, penché ou allongé) peuvent être déterminées simplement avec un inclinomètre à bille (l'usage du mercure est maintenant prohibé), mais l'information délivrée par un accéléromètre à un ou plusieurs axes permet une plus grande précision sur l'inclinaison du corps, sa vitesse et son accélération [77] et permet même de détecter la chute du porteur [53]. Les sols actimétriques sont également très prometteurs en ce sens puisqu'ils permettraient de distinguer une personne debout ou allongée par une simple différence de surface occupée au sol.

- **Les capteurs d'environnement [5]**

Il est enfin nécessaire de monitorer les grandeurs environnementales du domicile car ce sont les grandeurs d'influence sur les autres mesures, mais également parce qu'elles nous renseignent sur le mode de vie du sujet. la température dans les pièces (thermomètre), la pression atmosphérique (baromètre), l'humidité relative (hygromètre), la luminosité (luxmètre), le niveau de bruit (sonomètre).ou d'éventuelles anomalies (variations brusques de température).

Certains paramètres d'environnement concernent également la sécurité du sujet : concentration en CO₂ ou en d'autres gaz (détecteurs de gaz), feu (détecteur d'incendie).

II-3-1-2 Classification des capteurs

On peut opérer une classification des capteurs, comme précédemment au travers du type de données manipulées, ou bien encore selon le critère de mobilité qui sous-tend le choix du moyen de communication avec le capteur et la disponibilité du capteur, donc de sa fréquence d'échantillonnage. Nous pouvons encore classer les capteurs en terme de participation active ou passive du sujet, ce qui est une indication objective de l'intrusivité de la technologie [5].

La localisation du capteur dans l'environnement dépend du type de capteur et implique aussi des modalités et des fréquences d'échantillonnage différentes.

Nous pouvons [2] encore catégoriser trois types de capteurs selon leur agencement dans l'habitat :

- Capteurs dits « **fixes** » : lorsque les capteurs sont placés dans un endroit fixe du logement, la personne doit normalement se rapprocher du capteur pour déclencher la mesure. Exemple : le pèse-personne.
- Capteurs dits « **nomades** » : ils sont déplaçables en plusieurs emplacements du domicile. La personne peut se saisir du capteur et s'installer dans l'un des

endroits prévus à cet effet pour y effectuer sa mesure. Exemple : le tensiomètre.

- Capteurs dits « **ambulatoires** » : ils sont portés en permanence par le patient. La mesure peut donc intervenir en tout point du logement, l'acquisition est ambulatoire.

Exemple : l'actimètre, qui est un capteur à base d'accéléromètres détectant les postures, les mouvements, les chutes. Le Tableau II-1 montre la fréquence d'échantillonnage en fonction du type spatial de capteur. et Le Tableau II-2 montre la classification des capteurs suivant le type d'informations collectées [14].

<i>Type de capteur</i>	<i>Fréquence d'échantillonnage</i>
Fixes	Faible
Nomades	Faible à moyenne
Ambulatoires	Importante (voire continue)

Tableau II-1 : Fréquence d'échantillonnage en fonction du type de capteur.

Type d'information	Information	Capteurs
Physiologique	Rythme cardiaque	Electrodes posées sur la peau, tensiomètre
	Tension artérielle	Dispositifs à brassards (sphygmomanomètres)
	Poids	Pèse-personne du commerce, outil pesant la personne dans son lit ou dans les toilettes
	Température	Thermomètres électroniques qui mesurent le rayonnement infrarouge de la surface du tympan (thermomètres tympaniques) ou du fond de la bouche
	Ventilation	Capteur optique qui évalue l'opacité du sang aux extrémités des doigts, des orteils ou du lobe de l'oreille
Comportemental	Présence	Capteur infrarouge passif
	Déplacement	Capteur ultrason, capteur de pression placé sous le tapis, GPS
	Utilisation d'objet	Contact magnétique, capteur de pression (placé sous le matelas, la chaise...), RFID
	Geste	Caméra
	Posture	Accéléromètre, Caméra
	Chute	Accéléromètre
Environnemental	Température ambiante	Thermomètre
	Pression atmosphérique	Baromètre
	Humidité relative	Hygromètre
	Luminosité	Luxmètre
	Sons	Sonomètre, microphone
	Gaz	Détecteurs de gaz

Tableau II-2 : Classification des capteurs suivant le type d'informations collectées

Nous pouvons distinguer enfin les capteurs dits « **actifs** », qui délivrent une information événementielle ou spontanée, et les capteurs dits « **passifs** », qui délivrent une information à la demande. Lorsque par exemple, la personne monte sur le pèse-personne, la mesure peut être stockée provisoirement, jusqu'à ce qu'elle soit demandée (architecture « client-serveur »), ou bien être envoyée immédiatement (architecture de type « producteur-consommateur ») [2].

II-3-1-3 Actionneur

Dans la littérature, on constate que les actionneurs installés dans l'HIS peuvent comporter :

- des technologies existantes dans le domaine domotique pour faciliter l'accomplissement de certaines tâches par l'occupant. Par exemple, nous pouvons citer le déverrouillage d'une porte en cas d'urgence, l'allumage ou l'extinction des lumières, le réglage du niveau de chauffage...
- des robots d'assistance peuvent venir en aide à l'occupant pour effectuer certaines tâches journalières. Par exemple, nous pouvons trouver des robots déambulateurs qui permettent de sécuriser les déplacements de la personne ou de lui faciliter ses transferts « assis-debout », un bras manipulateur monté soit sur la chaise roulante, soit sur un robot mobile, pour appuyer sur un bouton de commande, manipuler un levier de porte ou bien attraper un objet...
- des outils d'assistance comme le téléphone aide-mémoire, destiné aux personnes souffrant d'Alzheimer, qui affiche automatiquement la photo de l'appelant et rappelle à la personne âgée l'historique de ses communications, ou comme la boîte à pharmacie qui vérifie la prise de médicaments et si le patient se trompe de médicaments, une sonnerie l'avertit de son erreur...
- des robots aidants qui peuvent aider l'occupant à accomplir des tâches plus élaborées comme : préparer un repas ou faire le ménage, faire sa toilette... Ces robots peuvent être téléguidés ou bien pilotés par la voix ou le geste.
- en fonction des pathologies, l'HIS peut être amené à être équipé de « machines thérapeutiques » : pousse seringue, perfusion, machine de dialyse, piluliers...

II-3-1-4 Agents intelligents

Les agents (artificiels) intelligents sont des entités actives qui possèdent des facultés de perception, de raisonnement et d'action sur leur environnement.

Dans le cas présent, ces agents sont chargés du monitoring et de l'assistance à distance de la personne.

Ils remplissent des rôles à divers niveaux du système : contrôle de la cohérence des informations, détection des modifications de l'état de santé de la personne, détection d'événements anormaux contextuels (alarmes), aide au diagnostic, aide à la prise en charge, aide à la planification thérapeutique. Ils sont également chargés des autotests du dispositif (built in tests).

II-3-2 Système d'information et de communication [14]

Le système d'information et de communication de l'HIS permet la mise en réseau de différents HIS avec le service de soins, le personnel soignant et les proches. Son architecture globale (développée à partir de l'architecture présentée par Duchêne [Duchêne, 2004]) est présentée sur la Figure II-20.

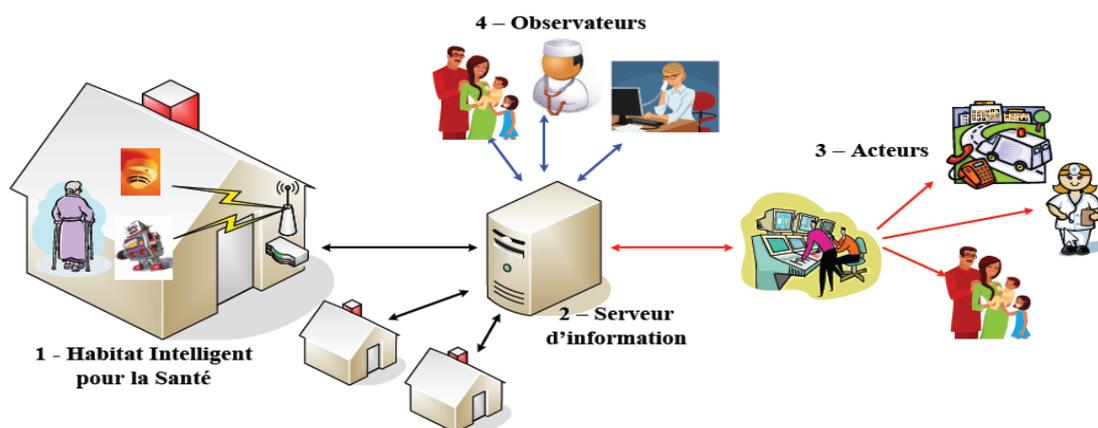


Figure II-10 : Architecture du système d'information et de communication

Ce système est composé principalement :

- 1. d'Habitats Intelligents pour la Santé et le réseau local** : chaque habitat comporte un ensemble de capteurs pour assurer une télésurveillance en temps réel de l'occupant, des actionneurs pour l'assister dans la vie quotidienne, et une base locale de traitement. La base locale de traitement s'occupe de deux tâches :
 - stocker les données des capteurs, les prétraiter et les transférer au serveur.
 - commander les actionneurs suivant des instructions du serveur pour adapter l'environnement à l'état de l'occupant ou assister l'occupant dans l'accomplissement des tâches journalières.

2. **d'un serveur d'information**, constitué d'un serveur de communication sur Internet, d'une base de données et d'un module de décision. Le module de décision s'occupe des tâches :
 - de détection, en temps réel, de toutes les situations critiques de l'occupant pour émettre des messages et alarmes au centre de télé vigilance, et de commande des actionneurs pour répondre aux besoins de l'occupant.
 - d'analyse, sur le long terme, des données des capteurs et d'affichage des résultats de l'évolution de l'état de santé, du niveau de dépendance... de l'occupant destinés aux observateurs du système.
3. **des acteurs du système** : le premier maillon est un centre de télé vigilance dont le rôle est de trier les messages et les alarmes reçus du serveur d'information et de les transférer aux autres acteurs du système (service d'urgence, aide-soignant, proches de l'occupant) afin d'avoir des interventions à temps. La précision et la fiabilité du module de décision du serveur d'information pourraient permettre de supprimer le centre de télé vigilance de l'ensemble des acteurs.
4. **des observateurs du système** (proches de l'occupant, médecin traitant, référent APA) qui peuvent accéder à tout moment au serveur de communication pour consulter l'évolution de l'état de l'occupant et prendre des décisions convenables.

II-3-3 Interfaces homme-machine

Il faut s'efforcer de fournir des interfaces adaptées à des utilisateurs inexpérimentés : sans être technophobes, les personnes âgées notamment ont plus de difficulté à appréhender les aides techniques, et les interfaces mal pensées sont rapidement abandonnées. Il faut évidemment adresser en tout premier lieu les problèmes liés aux diverses déficiences physiques : vision [79], ouïe, difficultés de communication langagière [80].

Les interfaces multimodales sont évidemment les mieux adaptées [81].

On peut recourir à tous les types d'interfaces (ordinateur individuel, assistant numérique personnel, téléphone cellulaire) mais les plus acceptables sont les plus habituels (téléviseur et télécommande).

II-3-4 Efforts de standardisation [5]

Comme nous l'avons dit précédemment (II-2-4), il existe de nombreux projets de R&D mais peu d'entre eux ont atteint le stade industriel et ont été commercialisés.

Une direction importante concerne la normalisation et la standardisation des solutions technologiques et organisationnelles avec pour objectif de réduire la complexité de la mise en œuvre et les coûts des équipements et de leur fonctionnement. Ce manque constitue évidemment un frein à la dissémination des solutions (problèmes d'interopérabilité).

Toutefois, des efforts ont été réalisés dans les domaines de la domotique et des systèmes d'information, en particulier depuis 1999 avec la création de plusieurs consortiums menés par certains grands industriels.

II-3-5 Facteurs humains et éthique [5]

Télésurveiller en réseau une personne, même pour des raisons médicales, n'est pas anodin [58]. Un certain nombre de questions sont soulevées par l'observation de la personne à travers « l'œil » des capteurs, la transmission des données d'observation à l'extérieur du domicile privé et l'utilisation de ces données par des tiers. De même faut-il veiller à maintenir l'équilibre entre les aspects aidants et des aspects contraignants et éviter les dérives potentielles auxquelles un appareillage de type « écoute » risque de conduire. Ces questions doivent être abordées au cours de débats entre les divers intervenants (médecins, malades, associations de malades, aides sociaux, corps infirmier, sociétés de service technique, etc.) dans le cadre déjà actif de l'éthique médicale [78].

II-4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré essentiellement pour faire une description générale de l'architecture technique de l'Habitat Intelligent pour la Santé à partir des objectifs visé par cet Habitat, en passant par le principe basé sur ce dernier, les enjeux scientifique, économique et socio-éthique ainsi que les perspectives pour la mise en œuvre .

Ce chapitre a aussi introduit un aperçu général sur les principales activités mondiales dans le domaine de la télésurveillance médicale à domicile.

Et pour mieux estimer les systèmes des Habitats intelligents pour la santé on a donné une description détaillée sur ses équipements domotiques.

Chapitre III :

Réseaux et Protocoles de Communication

III-1 Introduction

Le domaine des Télécommunications et des Réseaux est en pleine effervescence, chaque semaine qui s'écoule apporte sa moisson de nouvelles offres, d'annonces et de propositions de norme. Confronté à ce flux incessant de nouveautés, le praticien doit faire des choix qui s'avéreront stratégiques pour l'entreprise et structurants pour l'avenir de son système d'information. C'est dire l'importance de disposer de bases solides, seules aptes à évaluer sainement la pertinence des solutions proposées par les constructeurs de matériels et les éditeurs de logiciels. Encore faut-il s'entendre sur la constitution de cette base : il ne s'agit pas d'amasser des connaissances plus ou moins vagues ou plus ou moins utiles, mais de construire un socle sur lequel pourra s'appuyer une réflexion personnelle.

III-2 Contexte des Réseaux

III-2-1 Définitions [83]

Un réseau peut être défini comme étant un ensemble de moyens matériels et logiciels géographiquement dispersés destinés à offrir un service, comme le réseau téléphonique, ou à assurer le transport de données. Les techniques à mettre en œuvre diffèrent en fonction des finalités du réseau et de la qualité de service désirée.

Le réseau illustré par la figure III-1 est composé de nœuds. Les nœuds d'accès, situés à la périphérie du réseau, permettent le raccordement des usagers par une liaison dénommée **liaison d'abonné**.

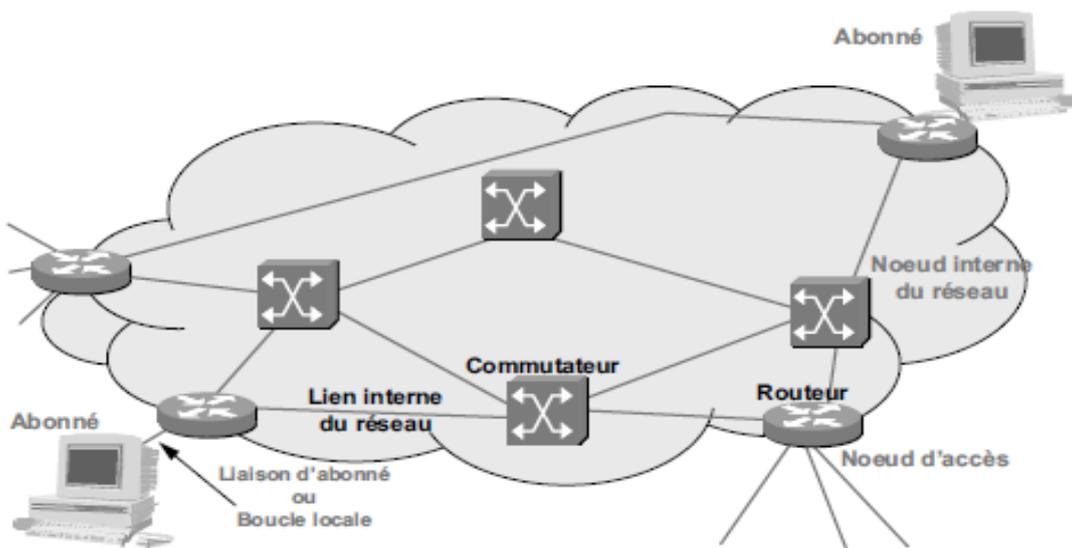


Figure III-1 Le réseau : ensemble de ressources mises en commun.

L'ensemble des moyens mis en œuvre pour raccorder un usager est souvent désigné par le terme de **boucle locale**. Les nœuds sont généralement des routeurs au point d'accès et des commutateurs au cœur du réseau.

III-2-2 La classification des réseaux [82][83][84]

Le langage courant distingue les réseaux selon différents critères. La classification traditionnelle, fondée sur la notion d'étendue géographique, correspond à un ensemble de contraintes que le concepteur devra prendre en compte lors de la réalisation de son réseau. Comme dans les transports, une classification des réseaux peut se faire en fonction de la distance couverte, c'est-à-dire, de leur étendue. Bien entendu, comme toute classification, des exceptions peuvent apparaître.

Généralement, on adopte la terminologie suivante :

- **LAN les réseaux locaux** (en anglais **LAN** : Local Area Network)

Sont les réseaux de plus faible étendue, allant de quelques mètres à quelques kilomètres. En général, ils interconnectent les équipements d'une même entreprise, laboratoire, d'un même étage d'un bâtiment, ou voire simplement les équipements se trouvant dans un bureau. Au début, leur raison d'être était le partage de ressources à l'époque chères (disques, moyens d'impression). Aujourd'hui, les réseaux locaux constituent l'épine dorsale de l'activité informatique et du système d'information de l'entreprise, du laboratoire, de l'atelier de production. On peut considérer que ce sont les mêmes équipes qui gèrent les réseaux locaux et les ordinateurs (changement d'un disque dur défectueux, ajout de mémoire, ...). Le transfert d'informations sur un réseau local est gratuit (une fois retirés les coûts liés aux équipements et au câblage). Un réseau local est défini par la méthode utilisée pour accéder au support physique et par la nature et la structure de ce support physique (**câblage RJ45 ou Wi-Fi**).

Exemple : Ethernet ou l'anneau à jeton sont deux technologies de réseau local [84].

Ces réseaux destinés au partage local de ressources informatiques (matérielles ou logicielles) offrent des débits élevés de 10 Mbit/s à 10 Gbit/s[82].

- **MAN les réseaux métropolitains** (en anglais **MAN** : Metropolitan Area Network)

Couvrent une superficie plus importante limitée généralement à environ 200 km. Ils peuvent, par exemple, servir pour relier les différents hôpitaux, universités, entreprises ou technopoles. L'administration de ces réseaux est généralement confiée à une équipe spécialisée qui dépend de l'entreprise ou financée par les différentes entreprises

interconnectées. Si la portée est plus réduite que pour les réseaux publiques (Internet), les débits doivent être, en revanche, plus importants. Ces réseaux doivent aussi être tolérants aux pannes car, vu les étendues couvertes, la coupure d'un câble ne doit pas paralyser les entreprises

La facturation liée à l'utilisation du réseau est forfaitaire et par conséquent indépendante des volumes de données transférées.

Exemple : FDDI (Fiber Data Distributed Interface), avec un débit de 100Mbit/s et une portée de 200 km, est un réseau métropolitain [84].

- WAN les **réseaux publics** (en anglais WAN : Wide Area Network)

Un réseau couvrant un pays ou un continent, voire toute la planète. Les opérateurs qui gèrent ces réseaux ne produisent pas les flots de données qu'ils véhiculent. La facturation peut être forfaitaire, mais est le plus souvent fonction de la distance, de la durée, du volume de données échangé ou d'un mélange de ces trois paramètres.

Exemple : le réseau téléphonique ou le réseau X.25 Transpac peuvent être classés parmi les réseaux publics. [84].

Ces réseaux assurent généralement le transport d'information sur de grandes distances. Lorsque ces réseaux appartiennent à des opérateurs, les services sont offerts à des abonnés contre une redevance. Les débits offerts sont très variables, de quelques kbit/s à quelques Mbit/s [83].

D'après Philippe Latu [86] les réseaux ont été classés comme indiqué le tableau III.1 suivant :

Distance	Acronyme	Type de réseau
jusqu'à 25 mètres	PAN	Réseau local «domestique» : <i>Personal Area Network</i>
jusqu'à 10 Km	LAN	Réseau local : <i>Local Area Network</i>
jusqu'à 50 Km	MAN	Réseau métropolitain : <i>Metropolitan Area Network</i>
jusqu'à 1000 Km	WAN	Réseau longue distance : <i>Wide Area Network</i>
jusqu'à 40000 Km	Internet	Réseau mondial

Tableau III-1 : classification des réseaux

Les réseaux se différencient, aussi, selon les **modes de diffusion** de l'information (figure III.2) [83] :

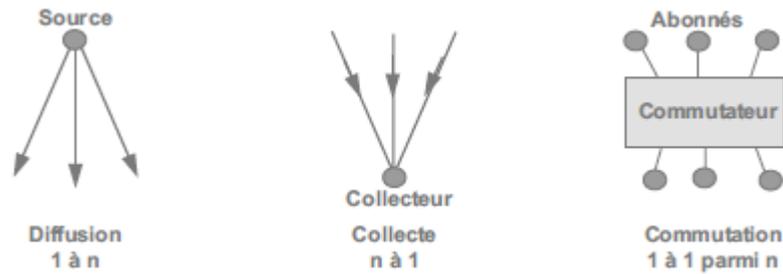


Figure III-2 La classification selon les modes de diffusion de l'information.

On distingue trois modes :

- La source diffuse ses informations vers des stations réceptrices. La relation est unidirectionnelle de 1 à N (réseau de diffusion). Les réseaux de radiodiffusion constituent un exemple de ce type de réseau. Les réseaux locaux sont aussi assimilés à cette catégorie.
- À l'inverse, un ensemble de stations peut envoyer les informations à un seul destinataire. La relation est aussi unidirectionnelle, mais de N à 1 (réseaux de collecte). Les réseaux de télémessure constituent un exemple de ce mode de fonctionnement.
- D'une manière plus générale, un abonné d'un réseau désire pouvoir atteindre tous les autres abonnés ou une partie de ceux-ci. Le réseau doit établir une relation de 1 à 1 parmi N . Ces réseaux de mise en relation sont dits **réseaux de commutation**, le réseau téléphonique (RTC) en est un exemple.

Enfin, une autre distinction (approche temporelle) applicable à tous les réseaux décrit comment les différents nœuds (éléments actifs) d'un réseau sont synchronisés entre eux (figure III-3) :

- Si chaque nœud a une horloge indépendante, le réseau est dit **plésiochrone**. Les horloges réception et émission sont différentes mais proches (plésio).
- Si les horloges des différents nœuds sont toutes asservies à une même horloge, le réseau est dit **synchrone**. L'horloge principale peut être une horloge atomique ou une horloge pilotée par les tops horaires d'un GPS.

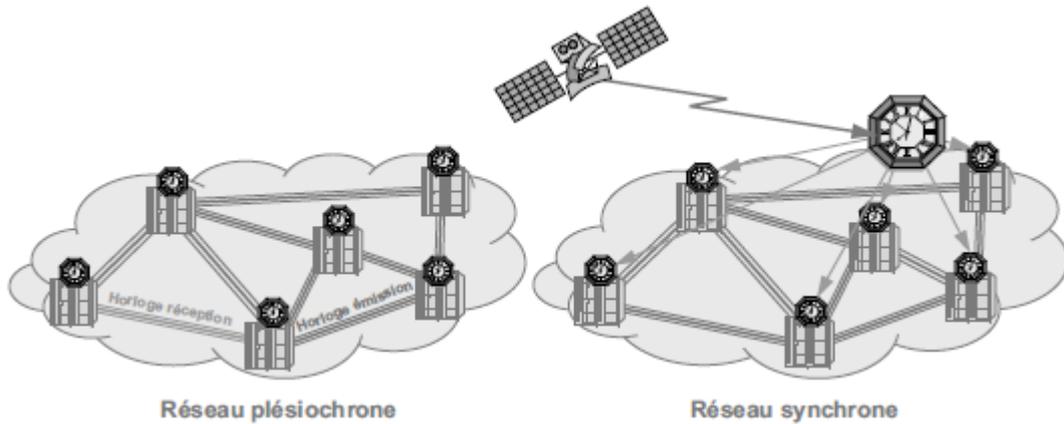


Figure III-3 La distinction des types de réseaux selon le mode de synchronisation.

La synchronisation des réseaux et les problèmes en relation avec la distribution des horloges constituent un problème majeur de conception d'un réseau.

III-2-3 La topologie physique des réseaux

La topologie d'un réseau décrit la manière dont les nœuds sont connectés. Cependant, on distingue la **topologie physique**, qui décrit comment les machines sont raccordées au réseau, de la **topologie logique** qui renseigne sur le mode d'échange des messages dans le réseau (**topologie d'échange**) [82,83].

Les topologies de base

Les topologies de base sont toutes des variantes d'une liaison point à point ou multipoint (figure III.4).



Figure III-4 les modes de liaisons élémentaires.

La plus simple des topologies de base, le **bus**, est une variante de la liaison multipoint. Dans ce mode de liaison, l'information émise par une station est diffusée sur tout le réseau. Le réseau en bus est aussi dit **réseau à diffusion** (figure III-5). Dans ce type de topologie, chaque station accède directement au réseau, d'où des problèmes de conflit d'accès (contentions ou collisions) qui nécessitent de définir une politique d'accès. Celle-ci peut être centralisée ou distribuée comme dans les réseaux locaux. Les réseaux en bus sont d'un bon rapport performance/prix. Ils autorisent des débits importants (>100 Mbit/s sur 100 m). Il est possible d'y insérer une nouvelle station sans perturber les communications en cours.

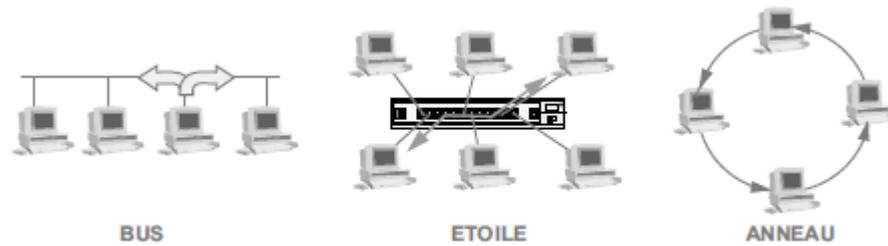


Figure III-5 Les topologies de base.

La topologie étoile est une variante de la topologie en point à point. Un nœud central émule n liaisons point à point (figure III-5). Tous les nœuds du réseau sont reliés à un nœud central commun : le concentrateur. Tous les messages transitent par ce point central. Le concentrateur est actif, il examine chaque message reçu et ne le retransmet qu'à son destinataire. Cette topologie correspond, par exemple, au réseau téléphonique privé d'une entreprise où le commutateur téléphonique met en relation les différents postes téléphoniques de l'installation. La topologie étoile autorise des dialogues inter-nœuds très performants. La défaillance d'un poste n'entraîne pas celle du réseau, cependant le réseau est très vulnérable à celle du nœud central.

Dans la topologie en anneau, chaque poste est connecté au suivant en point à point (figure III-5). L'information circule dans un seul sens, chaque station reçoit le message et le régénère. Si le message lui est destiné, la station le recopie au passage (au vol). Ce type de connexion autorise des débits élevés et convient aux grandes distances (régénération du signal par chaque station). L'anneau est sensible à la rupture de la boucle. On peut remédier aux conséquences d'une rupture de l'anneau en réalisant un double anneau.

Les topologies construites [83]

Dérivés des réseaux en étoile, les réseaux arborescents (figure III.6 gauche) sont constitués d'un ensemble de réseaux étoiles reliés entre eux par des concentrateurs jusqu'à un nœud unique (nœud de tête). Cette topologie est essentiellement mise en œuvre dans les réseaux locaux (Starlan, 10 base T...). Ces réseaux, en raison de la concentration réalisée à chaque nœud, sont très vulnérables à la défaillance d'un lieu ou d'un nœud (figure III-6 centre).

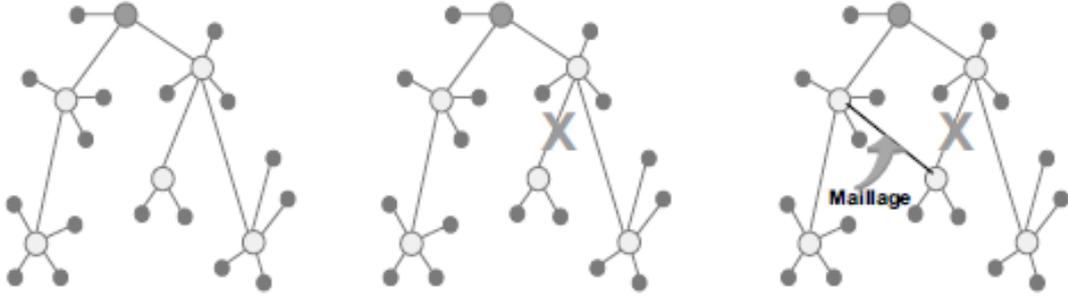


Figure III-6 : De la topologie hiérarchique à la topologie maillée.

Pour palier cet inconvénient on peut imaginer créer des chemins de secours qui peuvent être temporaires ou permanents. Le réseau est alors dit **maillé** (figure III.6 droite). Un réseau maillé est un réseau dans lequel deux stations, clientes du réseau, peuvent être mises en relation par différents chemins (figure III-7). Ce type de réseau, permettant de multiples choix de chemins vers une même destination, est très résistant à la défaillance d'un nœud et autorise une optimisation de l'emploi des ressources en répartissant la charge entre les différents nœuds (voies). Chaque nœud est caractérisé par sa **connectivité**, c'est-à-dire par le nombre de liens qui le réunit aux autres nœuds du réseau.

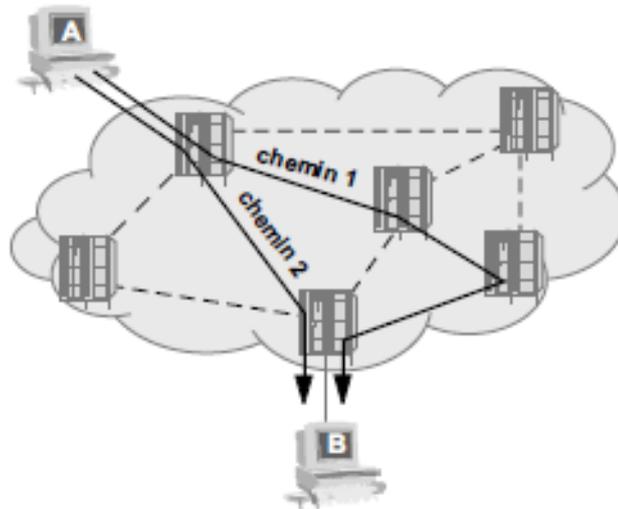


Figure III-7 : Le réseau maillé.

III-2-4 Les réseaux à commutation

III-2-4-1 Introduction à la commutation [83][86]

Le concept de réseau à commutation est né de la nécessité de mettre en relation un utilisateur avec n'importe quel autre utilisateur (relation de 1 à 1 parmi n ou interconnexion totale) et de l'impossibilité de créer autant de liaisons point à point qu'il y a de paires potentielles de communicants.

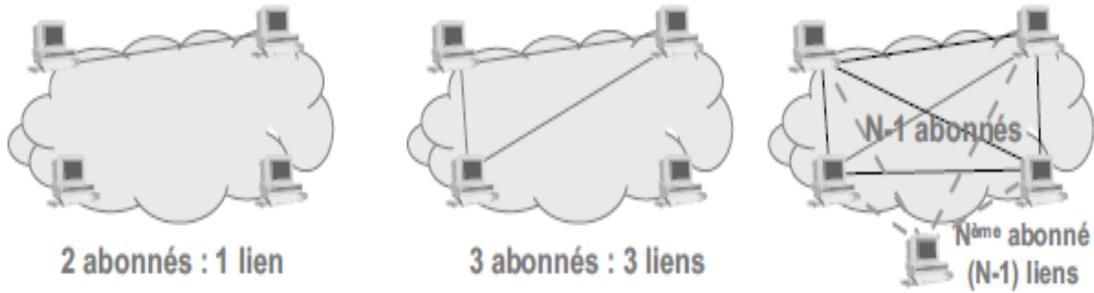


Figure III-8 : L'interconnexion totale.

Ainsi, pour réaliser l'interconnexion totale de deux stations (figure III-8), il suffit d'une liaison, pour trois stations trois liens... D'une manière générale, dans un réseau de N stations, pour relier la station N aux $N - 1$ stations déjà connectées il faut $(N - 1)$ liens. Soit, pour les N stations, $N*(N - 1)$ liens. En comptant de cette manière, on commet l'erreur de compter deux fois chaque lien (le lien de A vers B est le même que le lien de B vers A). Le nombre total de liens nécessaires dans un système de N nœuds est donc de :

$$\text{Nombre de liens} = \frac{N(N-1)}{2}$$

Si on applique cette formule au réseau téléphonique, compte tenu qu'il existe environ $300 \cdot 10^6$ abonnés dans le monde et que chaque abonné peut être mis en relation avec n'importe quel autre abonné, la terminaison de réseau chez chaque abonné devrait comporter $45 \cdot 10^{15}$ lignes !

Ce chiffre montre, s'il en était besoin, la nécessité de trouver un système qui permette, à partir d'une simple ligne de raccordement (liaison d'abonné), d'atteindre simplement tout autre abonné du réseau par simple commutation d'un circuit vers cet abonné. Ce système porte le nom de réseau à commutation, dans le réseau illustré par la figure III-9, le commutateur met en relation les utilisateurs A et B.

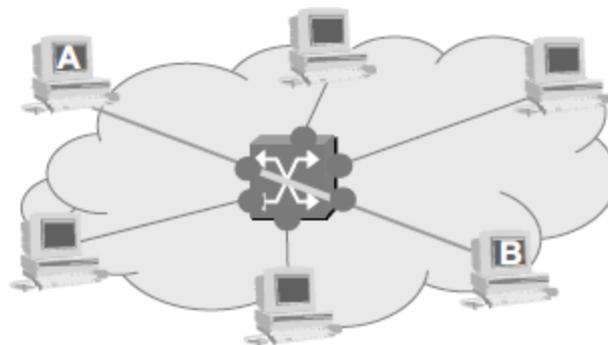


Figure III-9 : Principe d'un réseau à commutation.

Dans ce contexte où la ressource est rare vis-à-vis de la demande potentielle (si simultanément tous les abonnés du réseau désiraient joindre un autre abonné...), il est

indispensable de rechercher des techniques particulières pour optimiser le partage des ressources, c'est l'objectif des techniques de commutation. Selon la technique employée pour « relier » deux utilisateurs, on distingue la commutation de circuits, de messages ou de paquets.

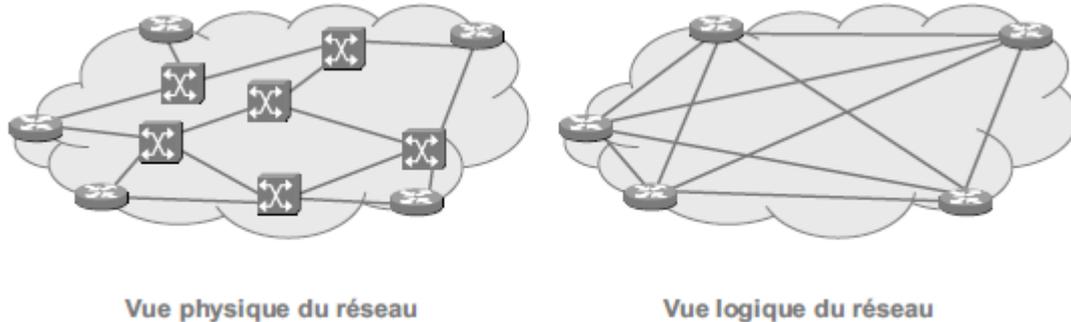


Figure III-10 : Conséquence de la commutation sur la vision du réseau.

Un réseau à commutation assure une connectivité totale. Dans ses conditions, la topologie logique ou interconnexion totale, vue du côté des utilisateurs, est différente de la topologie physique réelle (figure III-10).

III-2-4-2 Commutation de circuit ou commutation de paquet [86]

Dans les réseaux de télécommunications contemporains on retrouve deux techniques de commutation distinctes. Ces techniques peuvent se croiser dans la description des couches des modélisations et dans les technologies d'implémentation des protocoles. Ainsi, dans un réseau local, on peut très bien utiliser une commutation de circuit avec la technologie Ethernet au niveau liaison et utiliser un réseau à commutation de paquets avec le protocole IP.

Commutation de circuit

Cette technique consiste à commuter des circuits physiques ou virtuels pour que deux hôtes du réseau puissent communiquer comme s'ils étaient connecté directement l'un à l'autre. Voici deux exemples classiques de ce type de commutation.

- Sur un réseau téléphonique filaire lors de l'émission d'un nouvel appel en composant un numéro d'abonné, les commutateurs téléphoniques établissent un circuit unique entre les deux combinés. Une fois la communication établie, les échantillons de voix transitent séquentiellement sur ce circuit.
- Sur un réseau local utilisant des commutateurs Ethernet, une fois les tables de correspondance entre les adresses physiques des hôtes constituées, les hôtes

peuvent communiquer entre eux via un circuit unique établi par l'électronique des commutateurs.

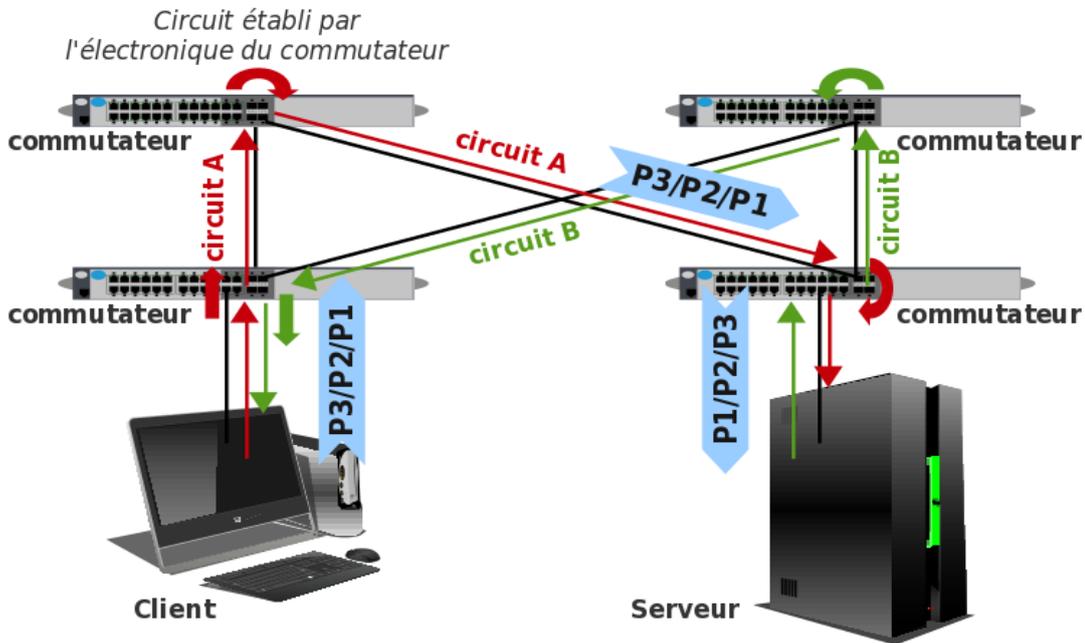


Figure III-11 principe de commutation de circuits.

Dans la figure ci-dessus, les paquets P1, P2 et P3 sont nécessairement reçus dans l'ordre dans lequel ils ont été émis.

Si un circuit de communication est rompu, toutes les données présentes sur ce circuit sont perdues et toute communication est impossible tant qu'un nouveau circuit n'a pas été établi.

Commutation de paquet

Avec cette technique, les informations découpées en paquets de taille limitée peuvent emprunter des itinéraires différents en fonction de l'état de l'interconnexion réseau entre deux points.

Le protocole IP, utilisé au niveau réseau de la modélisation Internet, est l'exemple le plus connu d'exploitation de la commutation de paquets.

En découpant le message en fragments (paquets), la commutation de paquets permet l'entrelacement des unités de données (figure III-12) offrant ainsi, à chaque source, l'impression de disposer en permanence de la voie de communication (multiplexage).

Afin d'optimiser au maximum l'utilisation des liens, chaque paquet est acheminé dans le réseau indépendamment du précédent. Pour reconstituer le message initial, le destinataire devra, éventuellement, réordonner les différents paquets avant d'effectuer le réassemblage [83] (figure III-12).

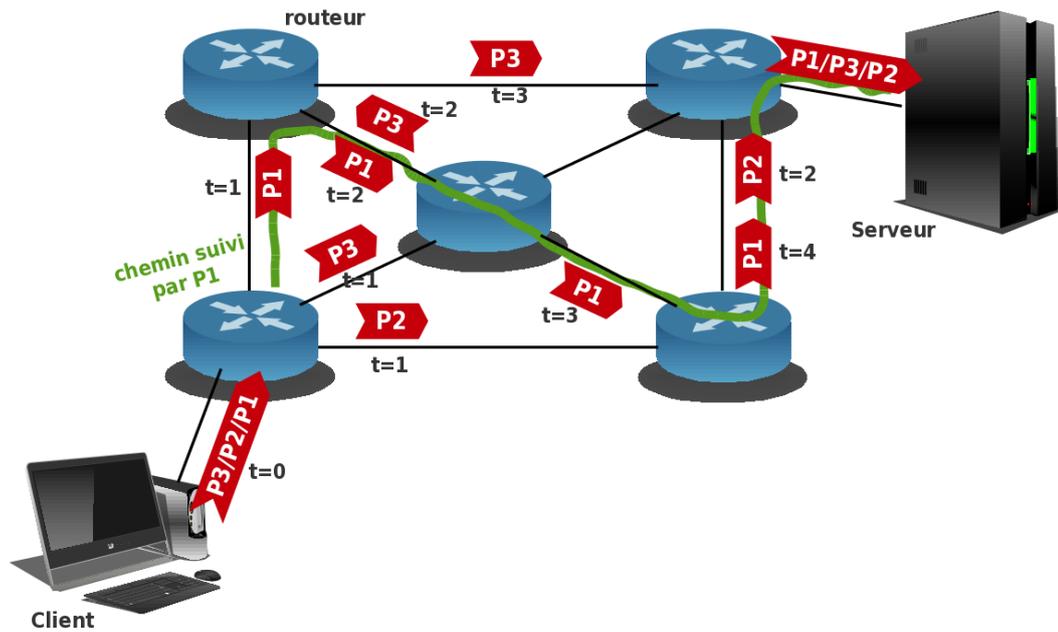


Figure III-12 : Principe de la commutation de paquets [5].

Les caractéristiques de ces deux types de commutation sont adaptées à différents besoins. Avec la commutation de circuit, la constitution d'un circuit unique de bout en bout permet de conserver la séquence des informations émises et la réservation de bande passante évite la congestion. Avec la commutation de paquets, la tolérance aux pannes et l'optimisation de l'utilisation des canaux de communication sont bien meilleures. Cependant, l'absence de réservation de bande passante peut entraîner des problèmes de congestion.

On peut aussi prendre le temps de transmission comme point de comparaison. Sur un réseau à commutation de circuits, le temps de transit de l'information est connu. Il dépend uniquement des caractéristiques du circuit. Sur un réseau à commutation de paquets, chaque paquet peut emprunter un itinéraire propre et tous ces itinéraires ne possèdent pas les mêmes caractéristiques. De plus, chaque élément d'interconnexion doit stocker les paquets avant de prendre une décision d'acheminement ; ce qui introduit un temps de latence supplémentaire.

Les débits réseau et la capacité de traitement des équipements d'interconnexion se sont considérablement développés durant les dernières années. De ce fait, les temps de transmission de l'information deviennent négligeables devant d'autres paramètres comme le temps d'accès aux médias de stockage. C'est un des facteurs qui facilite le déploiement de presque tous les nouveaux services sur Internet [86].

III-3 Les protocoles

III-3-1 Introduction [83]

Le développement rapide des moyens de calcul et l'importance croissante des systèmes d'information ont engendré la multiplicité des techniques réseaux. La complexité croissante des besoins de communication et la diversité des solutions adoptées ont très vite fait apparaître la nécessité de définir un modèle complet de communication ou **architecture protocolaire réseau**.

Historiquement, chaque grand constructeur avait défini la sienne : SNA (*System Network Architecture*) pour IBM, DSA (*Distributed System Architecture*) pour BULL... Ces architectures propriétaires incompatibles entre elles ne permettent pas l'interopérabilité des systèmes. Aussi, convenait-il de définir des techniques de mises en relation en spécifiant une architecture normalisée. C'est ce qu'entreprit l'ISO (*International Standardization Organization*) en définissant une architecture de communication normalisée, couramment appelée modèle de référence ou modèle **OSI** (*Open System Interconnection*).

L'architecture réseau assure à l'utilisateur l'accès aux ressources informatiques et lui procure un service identique que les ressources soient locales ou distantes, et cela de manière transparente pour l'utilisateur (figure III-13).

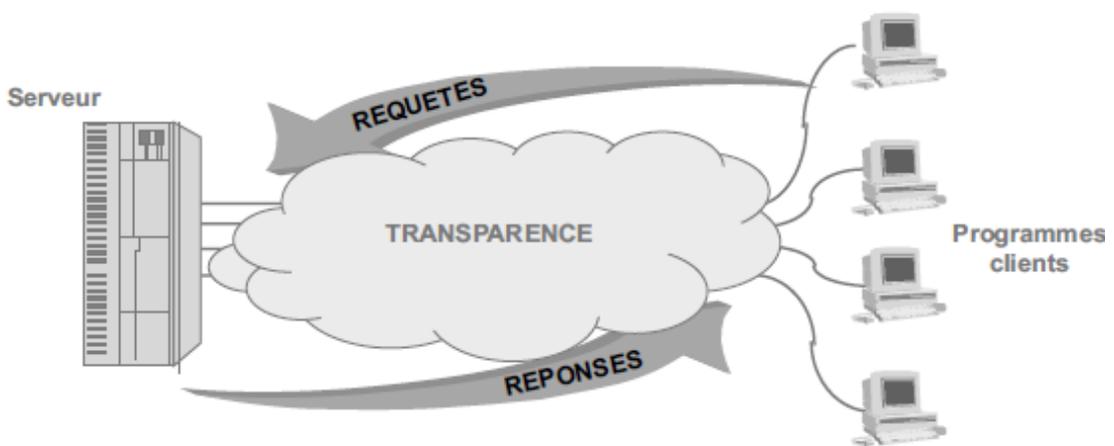


Figure III-13 L'architecture garantit la transparence.

Connecter en transparence des équipements provenant de constructeurs différents pour qu'ils s'échangent des informations nécessite que ceux-ci utilisent non seulement des techniques de connexion compatibles (raccordement, niveau électrique...), mais aussi des protocoles d'échange identiques et une sémantique de l'information compréhensible par les partenaires de la communication.

Ces problèmes, de nature différente, peuvent être résolus chacun par une solution spécifique. Aussi, pour éviter une description trop complexe, le système a été découpé en

entités fonctionnelles appelées couches. Une **couche** est donc un ensemble homogène destiné à accomplir une tâche ou à rendre un service.

III-3-2 Définition de protocole

Un protocole de communication est un ensemble de règle permettant à plusieurs ordinateurs de dialoguer entre eux. Les peuples ont besoin d'un langage pour se comprendre, il en est de même pour les ordinateurs. A l'ONU, les diplomates des différentes nations se comprennent grâce aux interprètes qui traduisent sur le champ les discours des uns et des autres. Les ordinateurs ne font que copier les méthodes de communication des humains [83].

Le terme couche de protocole suggère qu'il y a interaction entre les différents protocoles. Chaque couche de protocoles interagit avec la couche suivant grâce à une interface spécifique. Il y a deux modèle décrivant les couches de protocole sont les modèles DoD et OSI. Le modèle DoD a été spécialement développé pour TCP/IP, tandis que le modèle OSI été développé plus tard et prend en compte d'autre protocole [85].

III-3-3 Le modèle OSI (modèle de référence) [83][84][85][86]

Les réseaux informatiques fondent leur conception sur le modèle de référence à 7 couches OSI (Open System Interconnection) (Tableau III.2) défini par l'ISO (International Standard Organization). Dans ce modèle, chaque couche a une fonction particulière et se base sur les services de la couche immédiatement inférieure. Rappelons succinctement les fonctionnalités de ces différentes couches :

7	Couche application
6	Couche présentation
5	Couche session
4	Couche transport
3	Couche réseau
2	Couche liaison
1	Couche physique

Tableau III.2 : les couches du modèle OSI

- la couche 1 ou **couche physique** permet d'adapter les données binaires informatiques au support physique de transmission ;
- la couche 2 ou **couche liaison** assure une transmission fiable de l'information. Les données sont regroupées dans des **trames**. La portée d'une trame est celle du support physique qui la véhicule ;

- la couche 3 ou **couche réseau** permet l'accès à n'importe quel équipement sur le réseau. Ce niveau permet de s'affranchir de la limitation de portée des trames. Cette couche introduit la notion d'adresse, nécessaire pour localiser les équipements, et la notion de routage. Les informations véhiculées à ce niveau sont des **paquets** ;
- la couche 4 ou **couche transport** gère la communication de bout en bout entre les deux équipements communicants. Elle assure entre autres le reséquencement des données si les paquets n'arrivent pas dans le bon ordre et la détection des pertes si certains paquets n'arrivent pas à destination ;
- la couche 5 ou **couche session** garantit par exemple qu'en cas de coupure du réseau, les transferts d'information reprendront à des points de synchronisation que cette couche établit avec son entité homologue ;
- la couche 6 ou **couche présentation** permet de s'affranchir des représentations locales des données. Par exemple, il ne sert à rien qu'un réseau transmette sans erreur des nombres entiers, si les ordinateurs émetteur et récepteur n'en ont pas la même représentation, comme c'est le cas entre les ordinateurs Macintosh et PC ;
- la couche 7 ou **couche application** contient les applications qui utilisent le réseau. Ces applications peuvent être lancées par un utilisateur ou par le système d'exploitation de la machine.

Il n'y a pas de difficulté pour appliquer les couches hautes de ce modèle de référence aux réseaux locaux. Par contre, les couches basses posent des problèmes. En effet le modèle de l'ISO a été conçu en ayant comme référence des réseaux publics maillés, c'est-à-dire, des réseaux construits sur des liaisons point à point, conduisant à des topologies (les graphes des connexions) irrégulières.

III-3-4 Le modèle DoD [85]

Le modèle OSI a été créé en 1979, bien que le concept de couche existât bien avant d'être normalisé par l'ISO. Avec les protocoles TCP/IP, vous avez un exemple de protocoles utilisés bien avant le modèle OSI. Comme ces protocoles ont été historiquement créés à la demande du ministère de la Défense des Etats-Unis, les couches TCP/IP portent le nom de modèle DoD.

Le Tableau III.3 décrit le modèle DoD, formé de quatre couches

4	Couche application
3	Couche hôte à hôte (Service Provider Layer)
2	Couche Internet
1	Couche accès réseau

Tableau III-3 Les couches du modèle DoD

- **La couche accès réseau** la couche la plus basse représente la connexion physique avec les câbles, les circuits d'interface électrique (transceivers), les cartes réseau, les protocoles d'accès au réseau (CSMA/CD pour les réseaux Ethernet et le jeton pour les réseaux Token Ring). La couche accès réseau est utilisée par la couche Internet.
- **La couche Internet** La couche internet doit fournir une adresse logique pour l'interface physique. L'implémentation du modèle DoD de la couche Internet est IP (Internet Protocole). Cette couche fournit un mappage entre l'adresse logique et l'adresse physique fournie par la couche accès réseau grâce aux protocoles ARP (Address Resolution Protocol) et RARP (Reverse Address Resolution Protocol). Les incidents, les diagnostics et les conditions particulières associées au protocole IP relèvent du protocole ICMP (Internet Control Message Protocol), qui opère aussi au niveau de la couche internet. La couche Internet est aussi responsable du routage des paquets entre les hôtes. Cette couche est utilisée par les couches plus haut du modèle DoD.
- **La couche transport hôte à hôte :** La couche hôte à hôte définit les connexions entre deux hôtes sur le réseau. Le modèle DoD comprend deux protocoles hôte à hôte : TCP (Transmission control Protocol) et UDP (User Datagram Protocol). Le protocole TCP est responsable du service de transmission fiable de données avec détection et correction d'erreurs. TCP permet aussi les connexions simultanées. Plusieurs connexions TCP peuvent être établies sur un hôte et les données sont envoyées simultanément. TCP permet des connexions full duplex, ce qui signifie

que les données peuvent être envoyées et reçues sur une seule connexion. Le protocole UDP est un protocole peu fiable et peut être utilisé par des applications qui n'exigent pas la fiabilité de TCP.

- **La couche application** : La couche application permet aux applications d'utiliser les protocoles de la couche hôte à hôte (TCP et UDP). Parmi ces application, on trouve : FTP (File Transfer Protocol), TELNET (Terminal Emulation) ,SMTP(Simple Mail Transfer Protocol) et SNMP(Simple Network Management Protocol). La couche application assure l'interface des applications utilisatrices avec la pile de protocoles TCP/IP.

III-3-5 Comparaison des modèles OSI et DoD

Le Tableau III.4 établit un parallèle entre les modèles OSI et DoD

Modèle OSI.		Modèle DoD.		
7	Couche application		Couche application	
6	Couche présentation			4
5	Couche session			
4	Couche transport		Couche hôte à hôte (Service Provider Layer)	
3	Couche réseau		Couche internet	
2	Couche liaison		Couche accès réseau	
1	Couche physique			1

Tableau III-4 Comparaisons des modèles OSI et DoD.

Aux deux couches physiques et liaison de données du modèle OSI correspond la couche accès réseau du modèle DoD.

La couche réseau du modèle OSI correspond à la couche Internet du modèle DoD.

La couche transport du modèle OSI correspond à la couche hôte à hôte du modèle DoD.

Les trois couches les plus hautes du modèle OSI (session, présentation et application) correspondent à la seule couche application du modèle DoD. La terminologie utilisée pour décrire les données au niveau de chaque couche diffère dans les deux modèles. Dans le modèle OSI, l'expression PDU (Protocol Data Unit) est employée pour décrire les données

d'une couche. Dans le modèle DoD, le terme message est utilisé au niveau de la couche application ; le terme segment, au niveau de la couche hôte à hôte ; le terme datagramme, au niveau de la couche Internet ; et le terme trame, au niveau de la couche accès réseau [85].

III-4 Le protocole TCP/IP

III-4-1 Introduction

Quand on parle de TCP/IP, on se réfère à différents concepts. En première analyse, le terme TCP/IP peut signifier protocole de communication pour la transmission des données. TCP signifie Transmission Control Protocol ; et IP Internet Protocol. Le terme TCP/IP n'est pas limité à l'expression Transmission Control Protocol/Internet Protocol. TCP/IP recouvre, en fait, toute une famille de protocoles comme UDP (User Datagram Protocol), FTP (File Transfer Protocol), Telnet (Terminal Emulation Protocol), HTTP (Hyper Text Transfer Protocol), etc [85].

Les réseaux utilisant TCP/IP sont souvent appelés des réseaux internet TCP/IP. Ne confondons pas un internet TCP/IP et l'Internet. Un internet TCP/IP est un réseau utilisant les protocoles TCP/IP, qu'il soit ou non relié à d'autres réseaux, tandis que l'Internet (avec I majuscule) représente le plus grand réseau mondial reliant des milliers d'ordinateurs entre eux sur tous les continents. Il est basé sur TCP/IP.

Quand les entreprises utilisent les services de l'Internet (en particulier le World Wide Web) basé sur le protocole HTTP) sur leur propre réseau privé, on dit que leur réseau forme un intranet.

Les technologies TCP/IP décrites dans ce mémoire couvrent aussi bien les réseaux internet, intranets ou l'Internet.

III-4-2 Origine [84][84][86]

L'architecture TCP/IP a été développée, dans le milieu des années 70, par la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – États-Unis) pour les besoins de communication et d'interfonctionnement des applications entre les systèmes informatiques de l'armée (DoD « Department of Defense »). Pour cela, il fallait définir un format d'échange des données commun à tous les systèmes tout en préservant l'existant, c'est-à-dire sans modifier les réseaux réels. L'architecture à définir devant garantir une grande résistance à la défaillance de n'importe quel nœud du réseau, le mode datagramme

s'imposait pour la couche réseau. Pour conclure, TCP/IP, du nom de ses deux protocoles principaux (TCP, Transmission Control Protocol et IP, Internet Protocol), est un ensemble de protocoles permettant de résoudre les problèmes d'interconnexion en milieu hétérogène. À cet effet, TCP/IP décrit un réseau logique (réseau IP) au-dessus du ou des réseaux physiques réels, auxquels sont effectivement connectés les ordinateurs (figure III-14).

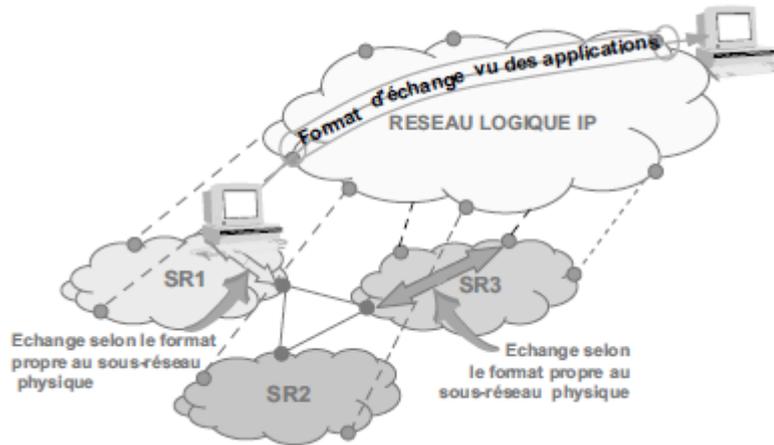


Figure III-14 Le réseau logique IP et sous-réseaux physiques réels (SRx).

Dans cette approche, les échanges entre applications sont réalisés selon le format défini par TCP/IP, alors que l'échange des données dans les sous-réseaux physiques réels se réalise selon le format propre à chaque sous-réseau. L'intégration de TCP/IP à UNIX BSD 4, par l'université de Berkeley, en fit le standard de la communauté UNIX (1980). En 1983, TCP/IP a remplacé le protocole NCP (Network Control Program) dans ARPANET, ancêtre de l'Internet. Aujourd'hui, TCP/IP est le protocole standard de tous les réseaux, du LAN au WAN. De récentes adaptations autorisent les flux multimédias et, en particulier, les services voix sur IP (VoIP, Telephony over TCP/IP).

III-4-3 Principe architectural

Précédant le modèle OSI, TCP en diffère fortement, non seulement par le nombre de couches, mais aussi par l'approche. Le modèle OSI spécifie des services (approche formaliste), TCP/IP des protocoles (approche pragmatique). Développé au-dessus d'un environnement existant, TCP/IP ne décrit, à l'origine, ni de couche physique ni de couche liaison de données. Les applications s'appuient directement sur le service de transport. Aussi l'architecture TCP/IP ne comprend que deux couches : la couche transport (TCP) et la couche inter-réseau (IP). La figure III-15 compare les deux architectures.

Il n'y a pas de couche application au sens OSI du terme, c'est-à-dire de couche présentant des « API » (Application Programming Interface) aux applications qui rendent transparents à ces dernières le ou les sous-réseaux réels de transport utilisés. Cependant, un mécanisme

particulier, les sockets, assure une communication d'application à application en masquant les éléments réseaux.

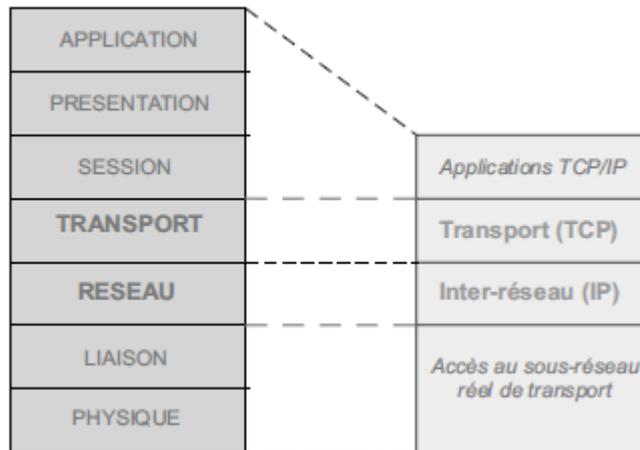


Figure III-15 Le modèle OSI et l'architecture TCP/IP.

La couche transport fournit deux types de service : un service en mode connecté (TCP) comparable, en ce qui concerne les services rendus, à TP4 d'ISO et un service de transport allégé UDP (User Datagram Protocol) qui n'offre qu'un service de type best effort (datagramme).

La couche réseau (Internet Protocol, IP) présente les mêmes fonctionnalités que la couche réseau d'ISO en mode non connecté (mode datagramme), et les services rendus sont comparables à ceux de la norme ISO 8473 (couramment appelé CLNP/CLNS, Connectionless Network Protocol/ Connectionless Network Services).

III-4-4 La description générale de la pile et les applications TCP/IP

L'architecture TCP/IP comprend de nombreux programmes applicatifs, utilitaires et protocoles complémentaires (figure III-16). À l'origine TCP/IP ne spécifiait aucun protocole de ligne, il s'appuyait sur les réseaux existants. L'utilisation massive de TCP/IP a fait apparaître le besoin de liaisons tout IP et donc la nécessité de disposer de protocoles de liaison spécifiques (SLIP, PPP). De même, TCP/IP a été adapté aux protocoles dits « haut débit » comme le Frame Relay et l'ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) qui constituent aujourd'hui le cœur de la plupart des réseaux privés et d'opérateurs.

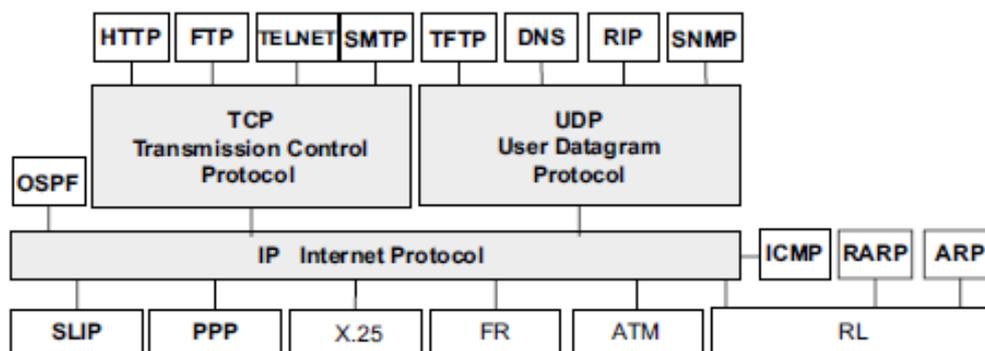


Figure III-16 Les protocoles et les applications de TCP/IP.

Les principaux protocoles et applications de l'environnement TCP/IP sont les suivants:

- **ARP**, *Address Resolution Protocol*, met en correspondance une adresse logique IP avec une adresse physique **MAC** (*Medium Access Control*, adresse de l'interface dans les réseaux locaux) ;
- **DNS**, *Domain Name System*, est un système de bases de données réparties assurant la correspondance d'un nom symbolique et d'une adresse internet (adresse IP) ;
- **FTP**, *File Transfer Protocol*, est un système de manipulation de fichiers à distance (transfert, suppression, création...) ;
- **HTTP**, *HyperText Transport Protocol*, assure le transfert de fichiers hypertextes entre un serveur Web et un client Web ;
- **ICMP**, *Internet Control and error Message Protocol*, assure un dialogue IP/IP et permet notamment : la signalisation de la congestion, la synchronisation des horloges et l'estimation des temps de transit... Il est utilisé par l'utilitaire **Ping** qui permet de tester la présence d'une station sur le réseau.
- **OSPF**, *Open Shortest Path First*, est un protocole de routage du type état des liens, il a succédé, dans le réseau Internet, au protocole RIP ;
- **PPP**, *Point to Point Protocol*, protocole d'encapsulation des datagrammes IP, il assure la délimitation des trames, identifie le protocole transporté et la détection d'erreurs.
- **RARP**, *Reverse Address Resolution Protocol*, permet l'attribution d'une adresse IP à une station ;
- **RIP**, *Routing Information Protocol*, est le premier protocole de routage (vecteur distance) utilisé dans Internet ;
- **SLIP**, *Serial Line Interface Protocol*, protocole d'encapsulation des paquets IP, ce protocole n'assure que la délimitation des trames ;
- **SMTP**, *Simple Mail Transfer Protocol*, offre un service de courrier électronique ;

- **SNMP**, *Simple Network Management Protocol*, est devenu le standard des protocoles d'administration de réseau ;
- **TELNET**, *TELEtypewriter NETwork protocol* (ARPA) ou *TERminal NETwork protocol*, système de terminal virtuel, permet l'ouverture de sessions avec des applications distantes ;
- **TFTP**, *Trivial FTP*, est une version allégée du protocole FTP.

III-4-5 Les mécanismes de base de TCP/IP [83]

Le mode de mise en relation

Désirant alléger au maximum la couche inter-réseau, les concepteurs de TCP/IP n'ont spécifié qu'une couche réseau en mode non connecté (mode datagramme). Ce mode de mise en relation optimise l'utilisation des ressources réseaux mais ne permet pas d'assurer ni un contrôle d'erreur, ni un contrôle de flux. Au niveau du réseau, ces tâches peuvent être assurées par le ou les sous-réseaux réels de transport. Cependant, compte tenu qu'IP ignore la qualité de service offerte par ces sous-réseaux, la couche TCP pallie les insuffisances de la couche inter-réseau (*Internet Protocol*) en assurant le contrôle d'erreur, le contrôle de flux et de congestion. Cette approche, illustrée par la figure III-17, reporte sur les systèmes d'extrémité les tâches normalement dévolues à la couche réseau et en particulier le contrôle de congestion.

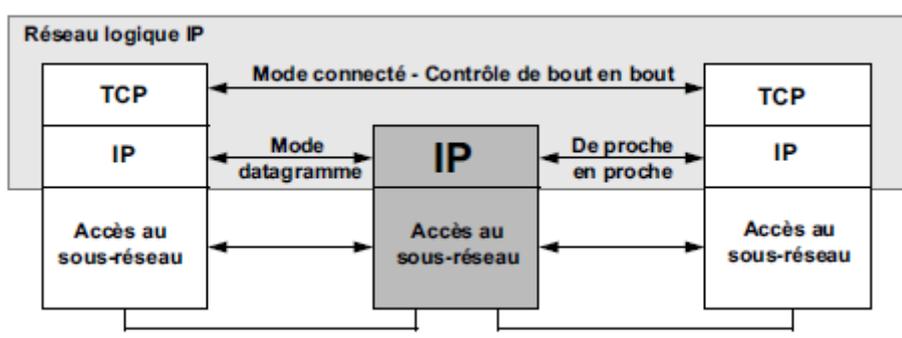


Figure III-17 : Le réseau logique IP et les modes de mise en relation.

L'encapsulation des données

L'encapsulation consiste à transporter les données d'une couche dans une unité de données de la couche inférieure. Un en-tête contient les informations nécessaires à l'entité homologue distante pour extraire et traiter les données. Dans le modèle TCP/IP, les

données de l'application constituent des messages, ceux-ci sont transportés dans des segments TCP qui seront émis sur le réseau sous forme de datagrammes IP. L'unité de transport élémentaire est la trame qui constitue au niveau physique un train de bits (figure III.18).

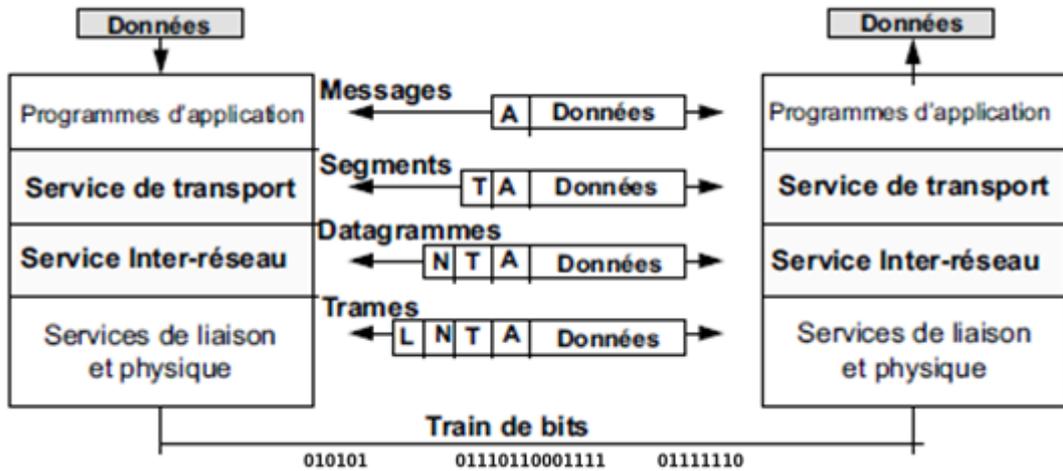


Figure III-18 : L'encapsulation des données dans TCP/IP.

Contrairement au modèle OSI, TCP/IP utilise un format unique d'en-tête de taille fixe. Cette approche, en nécessitant des en-têtes relativement importants, pénalise le débit (*overhead* protocolaire), mais optimise le traitement des blocs de données dans les systèmes intermédiaires. La terminologie utilisée pour désigner les différents blocs de données diffère quelque peu de celle du modèle de référence de l'ISO.

L'identification des protocoles

À l'instar du modèle OSI avec la notion de **SAP** (*Service Access Point*), un adressage de couche organise le dialogue vertical. Chaque unité protocolaire de TCP/IP identifie le protocole ou l'application supérieure. L'**EtherType** des trames « Ethernet » identifie le protocole du niveau réseau.

L'identifiant de **Protocol** dans le datagramme IP désigne le protocole de transport utilisé et la notion de **Port** dans le segment TCP détermine l'instance locale de l'application. La figure III-19 illustre ce principe et donne quelques exemples d'identifiants normalisés.

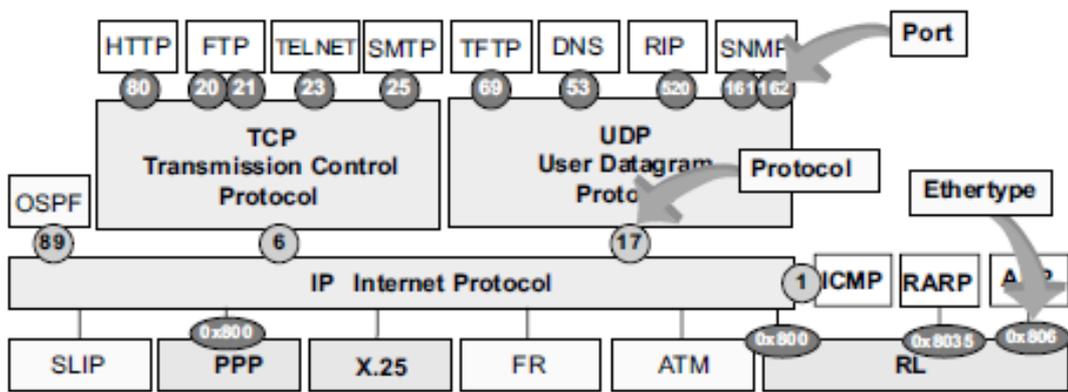


Figure III-19 : L'identification des protocoles dans TCP/IP.

La taille du segment de données échangé

Chaque réseau, en fonction de ses caractéristiques spécifiques, admet des unités de données de taille plus ou moins grande (MTU, *Maximum Transfer Unit*). Pour certains réseaux, cette taille est normalisée. C'est le cas, par exemple, pour les réseaux de type Ethernet où la MTU est fixée à 1 500 octets. Dans les réseaux étendus (WAN), la taille est déterminée par l'opérateur en fonction des caractéristiques de ses éléments actifs (*buffers...*). Un datagramme peut, pour atteindre sa destination, traverser plusieurs réseaux dont les MTU diffèrent.

Si le datagramme à transférer a une taille supérieure à la MTU du réseau, le routeur d'accès devra le rejeter ou le fractionner (segmenter) pour le rendre compatible avec les capacités de transport du réseau (figure III-20).

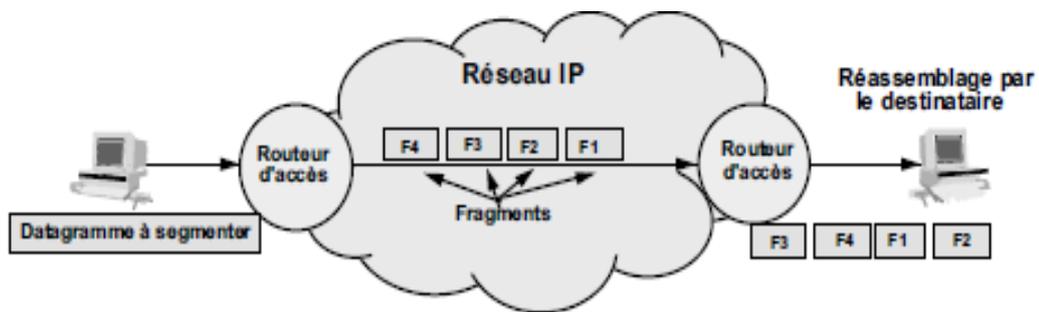


Figure III-20 : Principe de la segmentation sous IP.

Le routage de chaque fragment étant indépendant du précédent et du suivant, aucun nœud n'a la certitude de recevoir tous les fragments ; dans ces conditions, seul le destinataire a la capacité de réassembler les différents fragments.

Ainsi, en mode datagramme la perte d'un seul fragment implique une retransmission complète du segment TCP d'origine. Afin d'éviter la reprise d'un segment complet, on

cherche à définir une taille de segment correspondant à la taille maximale que peut supporter le réseau. En principe, tous les réseaux IP doivent assurer une MTU minimale de 576 octets. En conséquence, les passerelles inter-réseaux doivent être capables de traiter des segments de 576 octets sans avoir à les fragmenter. Néanmoins, cette taille n'est pas nécessairement compatible avec celle admissible par tous les sous-réseaux physiques traversés. Dans ces conditions, la couche IP fragmentera le bloc de données (datagramme IP), chaque fragment constituant un nouveau datagramme IP acheminé indépendamment des autres.

Lors de l'établissement de la connexion de transport, une option de TCP permet l'annonce, et non la négociation, de la taille maximale de segment que le système d'extrémité peut admettre (**MSS**, *Maximum Segment Size*). La figure III.21 illustre la relation entre MSS et MTU pour une valeur de MTU par défaut de 576 octets. Cette MTU garantit une charge utile minimale de 512 octets aux données de l'application.

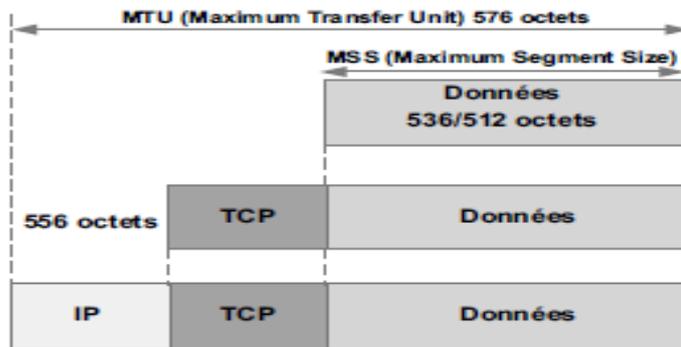


Figure III-21 : Relation entre MTU et MSS (valeur implicite).

III-4-6 L'adressage dans le réseau logique

III-4-6-1 Le protocole IP [85]

Pour répondre aux objectifs énoncés ci-dessus, le principe d'un réseau à commutation de paquets en mode non connecté a été retenu. Ce type de réseau correspond à un mode particulier d'utilisation de la couche réseau (3) du modèle OSI.

Dans cette organisation, le rôle de la couche Internet est de transmettre des paquets sur n'importe quel type de liaison indépendamment les uns des autres. Les paquets émis dans un certain ordre peuvent ainsi être reçus dans un autre ordre en différents fragments.

Le fonctionnement de la couche réseau du modèle TCP/IP est décrit dans le document standard RFC791 *Internet Protocol*. L'absence totale de mécanisme de contrôle et de correction d'erreur est une caractéristique importante qui découle des mêmes principes. La fiabilisation des communications ne se joue pas au niveau réseau mais au niveau transport.

III-4-6-2 Format de l'en-tête IP

L'en-tête IP a une longueur minimale de 20 octets. Si des options IP sont spécifiées dans le datagramme, cette longueur peut être plus grande. La figure III.22 montre les champs et la structure générale de l'en-tête IP [86].

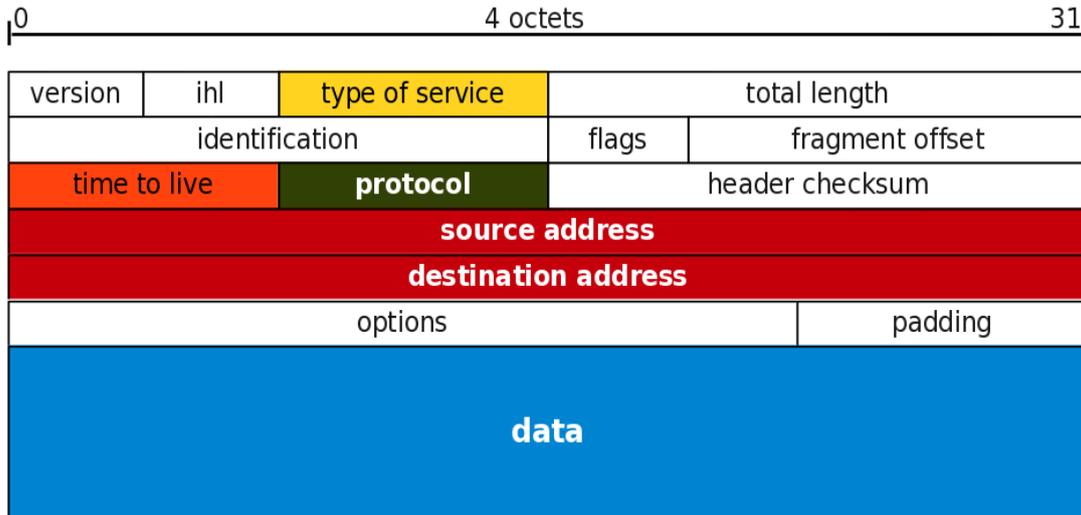


Figure III-22 En-tête IP

Version : 4 bits

Version du protocole IP codée sur 4 bits : 0100 pour IPv4 et 0110 pour IPv6.

Internet Header Length : 4 bits, IHL Longueur de l'en-tête en mots de 32 bits. Cette valeur est utilisée pour distinguer la partie en-tête de la partie données du paquet. La représentation usuelle de l'en-tête se fait sur 32 bits de largeur. Comme les champs Options et Padding ne sont pas obligatoires, la valeur minimum du champ IHL est 5 (0101).

Type Of Service : 8 bits, TOS Champ découpé en 2 parties. Les 3 premiers bits sont appelés *precedence* et les 5 derniers représentent le type de service. La définition d'origine prévoyait 3 choix : *low-delay*, *high-reliability* et *high-throughput*. Ce «marquage» des paquets est utilisable pour définir des flux prioritaires sur une interconnexion réseau «sous contrôle». Sur l'Internet, les opérateurs définissent leurs propres priorités ; donc leurs propres valeurs pour ce champ.

Total Length : 16 bits Longueur du datagramme : en-tête & données. La taille minimum est de 21 octets (en-tête + 1 octet de donnée). Comme se champ est représenté sur 16 bits, la taille maximum est de $2^{16} - 1$, soit 64 Ko.

Identification : 16 bits Chaque paquet IP reçoit un numéro d'identification à sa création. Il est possible qu'un paquet soit découpé en *fragments* avant d'atteindre sa destination finale. Chaque fragment appartient au même paquet IP. Chaque fragment possède le même numéro d'identification.

Flags : 3 bits

Ce champ contient 3 indicateurs d'état :

- *Reserved flag* : doit toujours être à 0.
- *Don't Fragment* (DF) : à 0 si le paquet peut être fragmenté ; à 1 s'il ne doit pas être fragmenté.
- *More Fragments* (MF) : à 1 si d'autres fragments sont attendus ; à 0 s'il n'y a pas/plus de fragments.

Fragment Offset : 13 bits

Position du fragment dans le datagramme courant. Cette position est comptée en octets.

Time To Live : 8 bits, TTL

Ce compteur est décrémenté à chaque traversée de routeur. Si la valeur 0 est atteinte, le paquet est jeté. Cela signifie qu'il ne peut être délivré à sa destination finale. La valeur initiale du champ TTL dépend du système d'exploitation utilisé.

Protocol : 8 bits

Ce champ spécifie le protocole utilisé dans les données du paquet IP. Par exemple, la valeur 1 indique que le protocole utilisé est ICMP. On sait ainsi que ce paquet n'est pas destiné à une application. Les différentes valeurs de ce champs sont listées dans le fichier `/etc/protocols` sur les systèmes GNU/Linux ou *BSD.

Header Checksum : 16 bits

A chaque création ou modification d'un paquet, une somme de contrôle (*cyclic redundancy check*) est calculée sur son en-tête. Lorsque le paquet arrive à destination, cette somme est recalculée. Si le résultat diffère, c'est que le paquet a été endommagé lors de son trajet.

Source Address : 32 bits

Adresse IP de l'hôte qui a émis le paquet.

Destination Address : 32 bits

Adresse IP de l'hôte qui doit recevoir le paquet.

Options and Padding : Cette partie de l'en-tête est optionnelle. Ce champ est utilisé pour fournir des instructions spécifiques de distribution du paquet qui ne sont pas couvertes par les autres champs de l'en-tête. La taille maximum de ces instructions est limitée à 40 octets regroupés en double-mots de 32 bits. Les bits de *padding* servent à compléter le dernier double-mot de 32 bits.

Data : C'est le dernier champ du paquet IP. Il contient les «données» du paquet. Celles ci peuvent débiter par un en-tête de couche transport (4) qui donnera d'autres instructions à l'application qui recevra les données.

Le champ *Data* peut aussi contenir un message ICMP qui ne contient aucune donnée utilisateur.

III-4-6-3 Principe de l'adressage IP [83]

Chaque machine (Host), raccordée au réseau logique IP, est, indépendamment de l'adressage physique utilisé dans le sous-réseau réel (figure III-23), identifiée par un identifiant logique ou une adresse IP. Le réseau logique IP masque le réseau physique. Pour assurer l'acheminement des données dans le réseau physique, il est nécessaire de définir des mécanismes de mise en relation de l'adresse logique, seule connue des applications, avec l'adresse physique correspondante (résolution d'adresses).

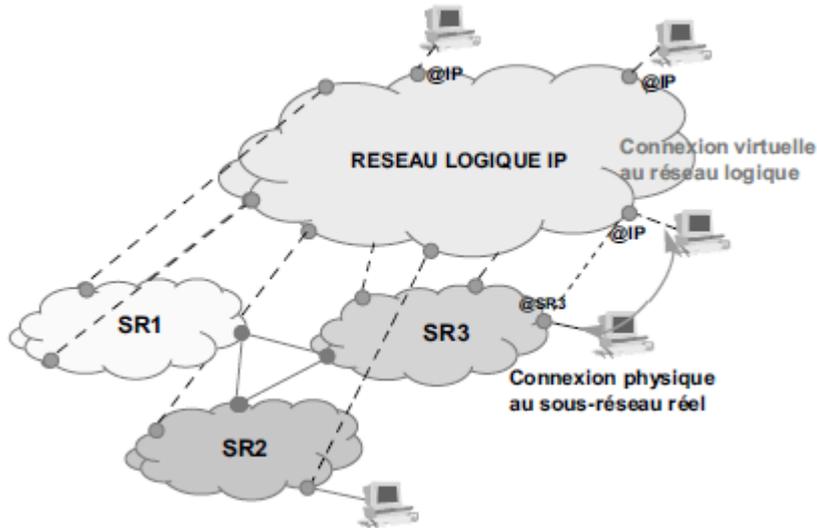


Figure III-23 : Nécessité d'une résolution d'adresses.

Les techniques utilisées pour réaliser la mise en correspondance des adresses diffèrent selon que le réseau supporte ou non la diffusion (réseaux NBMA, Non Broadcast Multiple Access). Notamment dans les réseaux en mode connecté, l'administrateur réseau peut être conduit à renseigner manuellement les passerelles inter-réseaux (table statique, figure III-24).

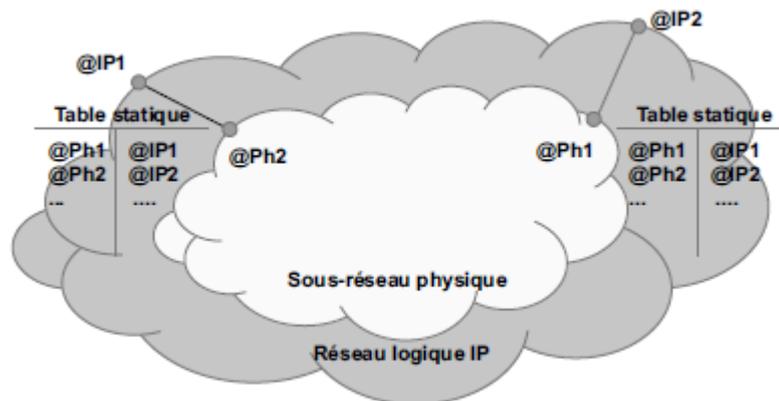


Figure III-24 : La résolution d'adresses dans les réseaux sans diffusion.

Dans les réseaux où la diffusion est réalisable, la machine source diffuse un message du type *broadcast* (diffusion à tous) pour s'enquérir de l'adresse physique du destinataire. Seul, le destinataire qui reconnaît son adresse IP répond en indiquant quelle est son adresse

physique. L'émetteur mémorise cette correspondance pour une utilisation ultérieure (cache ARP, *Address Resolution Protocol*). Ce mécanisme est illustré figure III-25. Certains protocoles en mode connecté mettent en œuvre des mécanismes de résolution d'adresses en émulant sur un réseau en mode connecté un réseau de diffusion ou en utilisant un serveur d'adresses. Enfin, le protocole IP doit assurer le routage dans le réseau logique IP. À cet effet, il doit pouvoir identifier le réseau logique IP (**Net_ID**) et, dans ce réseau, la machine cible (**Host_ID**). L'adressage logique IP ne comporte que ces deux informations (figure III-26).

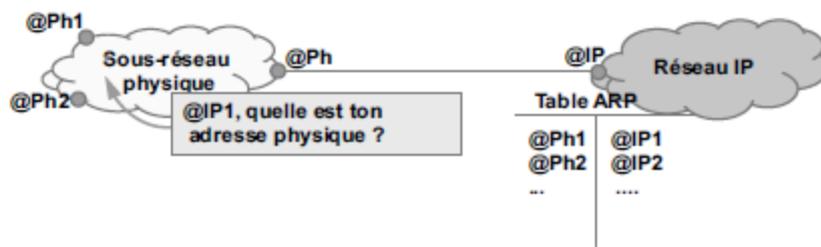


Figure III-25 : La résolution d'adresses dans les réseaux à diffusion.

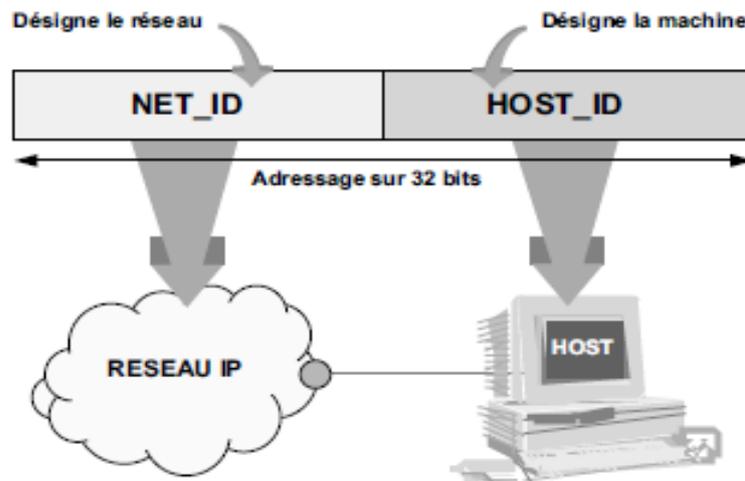


Figure III-26 : L'adressage dans le réseau logique IP.

III-4-6-4 Les techniques d'adressage dans un réseau IP [83]

Les classes d'adressage

À chaque interface d'un système, connecté à un réseau IP, est assignée une adresse IP ou numéro IP. Cependant, l'adressage IP est un adressage à plat, il n'est pas possible, à partir de l'adresse IP, de déterminer la localisation géographique du réseau logique IP.

Limitée à 4 octets (32 bits), on représente l'adresse IPv4 par quatre valeurs décimales séparées par un point, la notation est dite décimale pointée (*Dotted-decimal notation*). Afin

d'assurer une meilleure utilisation de l'espace d'adressage et d'adapter celui-ci à la taille et au besoin de chaque organisation, il a été introduit une modularité dans la répartition des octets entre l'identifiant réseau (Net_ID) et l'identifiant machine (Host_ID). Ainsi, cinq classes d'adresse (figure III.27) ont été définies. Les premiers bits du champ adresse réseau (ID réseau ou Net_ID) permettent de distinguer la classe d'adressage. Les adresses de classe A s'étendent de 1.0.0.1 à 126.255.255.254. Elles permettent d'adresser 126 réseaux (Les valeurs 0 et 127 sont réservées) (2^7-2) et plus de 16 millions de machines (Les valeurs du champ Host_ID 0 et 255 ont une signification spécifique) ($2^{24} - 2$, soit 16777214).

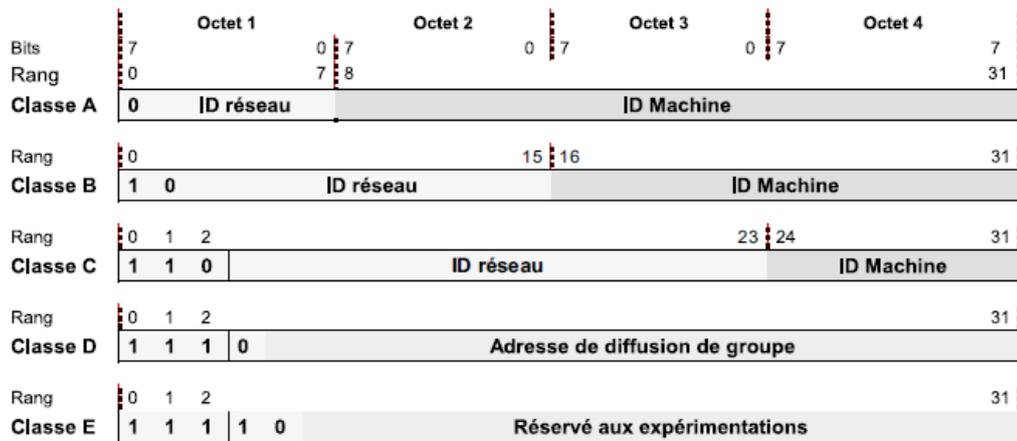


Figure III-27 Les classes d'adresse IP.

Les adresses de classe B vont de 128.0.0.1 à 191.255.255.254, ce qui correspond à plus de 16 384 réseaux de 65 533 machines. Cette classe est la plus utilisée et les adresses sont aujourd'hui pratiquement épuisées.

La classe C couvre les adresses 192.0.0.1 à 223.255.255.254, elle adresse plus de deux millions de réseaux (2 097 152) de 254 machines.

Les adresses de la classe D sont utilisées pour la diffusion (*Multicast*) vers les machines d'un même groupe. Elles vont de 224.0.0.0 à 239.255.255.255. Ce groupe peut être un ensemble de machines, mais aussi un ensemble de routeurs (diffusion des tables de routage). Tous les systèmes ne supportent pas les adresses de *multicast*. Enfin, les adresses de la classe E sont réservées aux expérimentations.

Les adresses spéciales

Toutes machines d'un réseau IP est identifié par le couple <Net_ID><Host_ID>. Certaines valeurs de ces champs ont une signification particulière. C'est ainsi que l'adresse <Net_ID> <0>, où tous les bits du champ Host_ID sont à zéro, désigne le réseau lui-même. Certaines machines n'ont pas la possibilité de mémoriser une adresse IP. Lors du

lancement de cette machine, le système émet une requête pour se voir attribuer une adresse IP (Protocole **RARP**, *Reverse Address Resolution Protocol*). Durant cette phase d'initialisation, la machine utilise l'adresse 0.0.0.0. Cette adresse ne peut donc pas être affectée à une machine particulière. Dans les routeurs, l'adresse 0.0.0.0 désigne la route par défaut (route à prendre si aucune autre route ne correspond à l'adresse destination).

La machine elle-même ou machine locale peut être auto-adressée avec une adresse de la forme 127. x. x. x ; cette adresse dite de boucle locale (*loopback* ou encore *localhost*) est utilisée lors de tests de la machine ou de programmes applicatifs. Tout datagramme émis à destination d'une adresse 127. x. x .x est directement recopié du tampon d'émission vers le tampon de réception, il n'est jamais émis sur le réseau, ce qui protège ce dernier d'éventuels dysfonctionnements du nouvel applicatif en développement ou en test (figure III-28).



Figure III-28 : L'adresse de boucle locale.

Lorsqu'une machine veut diffuser un message, elle peut, si le message ne s'adresse qu'à un ensemble de machines particulières, utiliser une adresse de *multicast* dite aussi de diffusion restreinte ou réduite. Si le message doit être adressé à toutes les machines, elle utilisera alors une adresse dite de diffusion générale. On distingue deux types d'adresses de diffusion générale :

- L'adresse 255.255.255.255 utilisée pour envoyer un message à toutes les machines du même segment de réseau. La diffusion est limitée aux seules machines de ce segment, le datagramme n'est pas relayé sur d'autres réseaux. L'adresse 255.255.255.255 est dite adresse de **diffusion générale** ou **limitée**.
- Si une machine veut s'adresser à toutes les machines d'un autre réseau, elle utilisera une adresse du type <Net_ID><1>, tous les bits à 1 du champ Host_ID identifient toutes les machines du réseau <Net_ID><0>. Ce message de diffusion est relayé de réseau en réseau pour atteindre le réseau destinataire. L'adresse est dite de **diffusion dirigée**. Ce principe est illustré figure III-29.

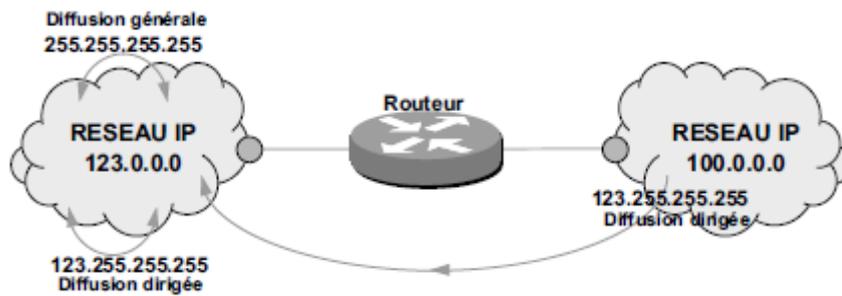


Figure III-29 : Les différentes adresses de diffusion.

Ainsi :

- l'adresse 123.0.0.0 désigne le réseau d'identifiant 123 ;
- l'adresse 123.0.0.18 désigne la machine 18 du réseau 123
- l'adresse 123.255.255.255 est l'adresse de diffusion dirigée à utiliser pour envoyer un message à toutes les machines du réseau 123 ;
- l'adresse 255.255.255.255 est l'adresse de diffusion limitée aux seules machines du même segment de réseau que la machine source.

Les adresses publiques et les adresses privées

Pour permettre l'interconnexion des réseaux, il faut garantir l'unicité des adresses. C'est l'une des attributions de l'IANA (Internet Assigned Number Authority) qui attribue à chaque réseau un identifiant unique. Cependant, tous les réseaux n'ont pas nécessairement un besoin d'interconnexion *via* un réseau public, dans ce cas le respect de l'unicité d'adresse au plan mondial n'est pas nécessaire. Certaines entreprises (organisations) disposent de leur propre réseau (réseau privé) et n'ont aucun besoin d'interconnexion vers l'extérieur, il est alors possible d'utiliser n'importe quelle adresse IP. Les adresses utilisées dans ce cas sont dites illégales. Par opposition, une adresse attribuée par l'IANA est dite publique ou légale.

Afin de prévenir, dans les réseaux privés, une éventuelle utilisation anarchique des adresses, il a été envisagé de réserver des plages d'adresses à ces réseaux. Ces adresses ne sont pas routables sur le réseau Internet. Elles sont réservées à un usage privé (RFC 1918). De ce fait, elles sont dites adresses privées alors que par opposition les autres sont dites publiques. La Tableau III- 4 fournit la liste de ces adresses.

Classe	Début de la plage	Fin de la plage	Nombre de réseaux
A	10.0.0.0		1
B	172.16.0.0	172.31.0.0	16
C	192.168.0.0	192.168.255.0	256

Tableau III.5 : Les adresses privées (RFC 1918).

Que faire si un réseau utilisant des adresses de type privé a soudainement des besoins d'accès à un réseau public ? Deux solutions sont envisageables :

- renuméroter toutes les stations avec des adresses publiques, non envisageable dans un grand réseau ;
- réaliser une conversion d'adresses (**NAT**, *Network Address Translator*), c'est-à-dire mettre en œuvre un mécanisme qui établit une correspondance entre une adresse privée et une adresse publique.

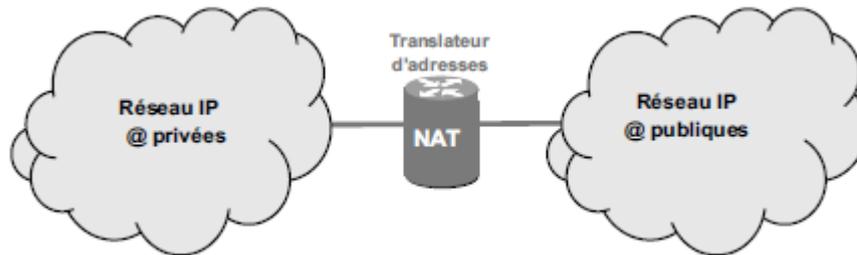


Figure III-30 : Le NAT est l'interface entre un réseau privé et un réseau public.

Pour des raisons évidentes de commodité, seule la seconde solution est généralement adoptée. La passerelle d'accès au réseau public réalisera la translation d'adresses (figure III- 30). La traduction peut être statique, dans ce cas la table de correspondance est renseignée par l'administrateur du réseau, à une adresse privée on fait correspondre une adresse publique. Cette approche limite les possibilités de connexion vers l'extérieur. La traduction peut aussi être dynamique, la mise en correspondance adresse privée/adresse publique est établie au moment du besoin d'interconnexion de la machine du réseau privé. Les adresses publiques peuvent alors être partagées par l'ensemble des machines du réseau privé. La traduction dynamique permet de n'utiliser qu'un nombre restreint d'adresses publiques voire une seule pour N machines.

Notion de sous-réseau : le subnetting

➤ *Nécessité de définir des sous-réseaux*

Supposons une organisation dont les moyens informatiques sont répartis sur deux sites, A et B (figure III.31). Les tables de résolution d'adresses des passerelles d'accès au réseau physique doivent contenir une entrée pour chaque machine du site distant, alors que le point d'accès au sous-réseau physique réel est le même et que, par conséquent, l'adresse physique est identique (figure III.31, site A). Pour alléger cette table et faciliter le routage, on pourrait imaginer doter chaque réseau de site (sous-réseau) d'un identifiant réseau <Net_ID>. Cette approche, non seulement n'est pas rigoureusement conforme à l'approche IP qui consiste à ne créer qu'un seul réseau logique IP par organisation, mais de plus elle est consommatrice d'adresses. Il est préférable de n'attribuer qu'un seul identifiant de

réseau (un seul réseau logique IP par organisation) et de remplacer l'énumération d'adresses IP par un identifiant de site (figure III.30, site B), il n'aura plus alors qu'une seule entrée pour toutes les machines attachées à un même réseau physique A.

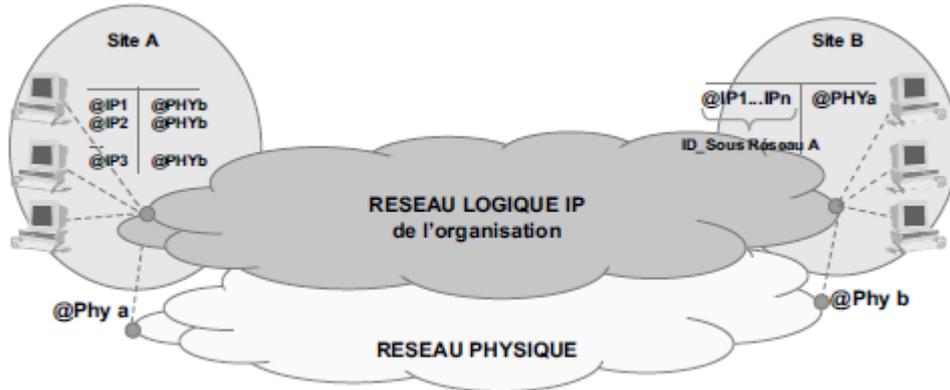


Figure III-31 : Notion de sous-réseaux logiques.

En pratiquant ainsi, tout nœud du réseau logique est parfaitement différencié et localisé par un unique identifiant du réseau logique <Net_ID>, un identifiant du site local ou de sous-réseau appelé <SubNet_ID> et enfin un numéro du nœud ou *host* (figure III.32). La structure originelle de l'adressage IP ne prend pas en compte cette structure d'adresse. Aussi, compte tenu que généralement tous les bits du champ <Host_ID> ne sont pas utilisés pour numérotter les machines, il suffit donc d'en prélever quelques-uns pour identifier le sous-réseau. La taille du champ <SubNet_ID> sera déterminée en fonction du nombre de sous-réseaux à distinguer.

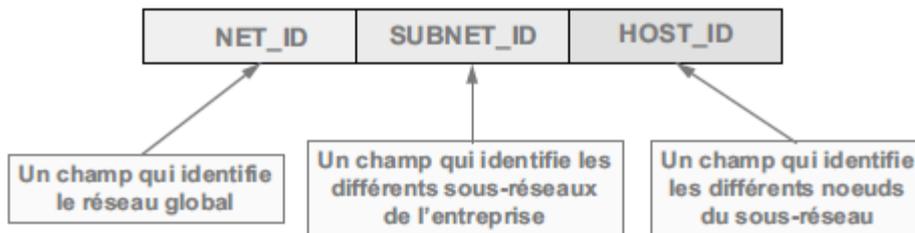


Figure III-32 : La technique du subnetting décompose l'adresse IP en trois champs.

En principe, l'acheminement est réalisé à partir du champ <Net_ID> dont la taille, dépendant de la classe d'adressage, est connue de chaque routeur. L'utilisation d'un identifiant supplémentaire de longueur variable nécessite d'indiquer à chaque nœud du réseau les bits de l'adresse IP à prendre en compte pour définir l'acheminement dans le réseau. Cette information est fournie, à chaque nœud adressé, sous forme d'un champ de bits à 1 appelé **masque de sous-réseau** (figure III-33).

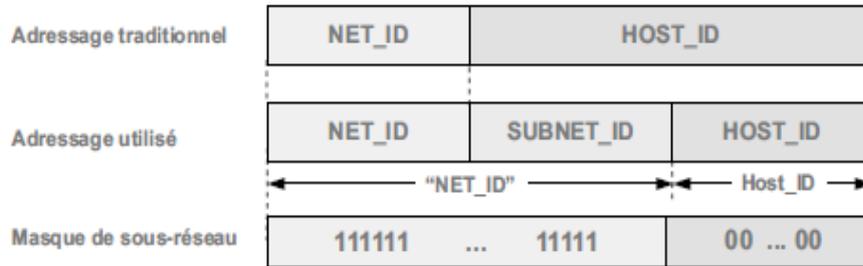


Figure III-33 : Principe du masque de sous-réseau.

Il existe deux méthodes d'écriture des masques de sous-réseaux, qui sont équivalentes :

- réseau : 10.0.0.0, masque de sous-réseau 255.255.240.0 ;
- ou plus simplement 10.0.0.0/20, le préfixe 20 indique la longueur en bits du masque de sous-réseau (longueur du préfixe réseau ou simplement préfixe).

➤ *Utilisation du masque de sous-réseau*

Lorsqu'une station émet un datagramme à destination d'une autre station, la couche IP locale vérifie, à l'aide du masque de sous-réseau, si le datagramme appartient au même sous-réseau que celui de l'émetteur. Si le datagramme est destiné à une station située sur un sous-réseau distant, le datagramme est envoyé à la passerelle par défaut, à charge pour celle-ci d'adresser le datagramme vers le bon sous-réseau. Ainsi, une station d'un réseau logique IP doit connaître (figure III-34) :

- son adresse IP ;
- le masque de sous-réseau ;
- l'adresse de la passerelle locale (routeur).

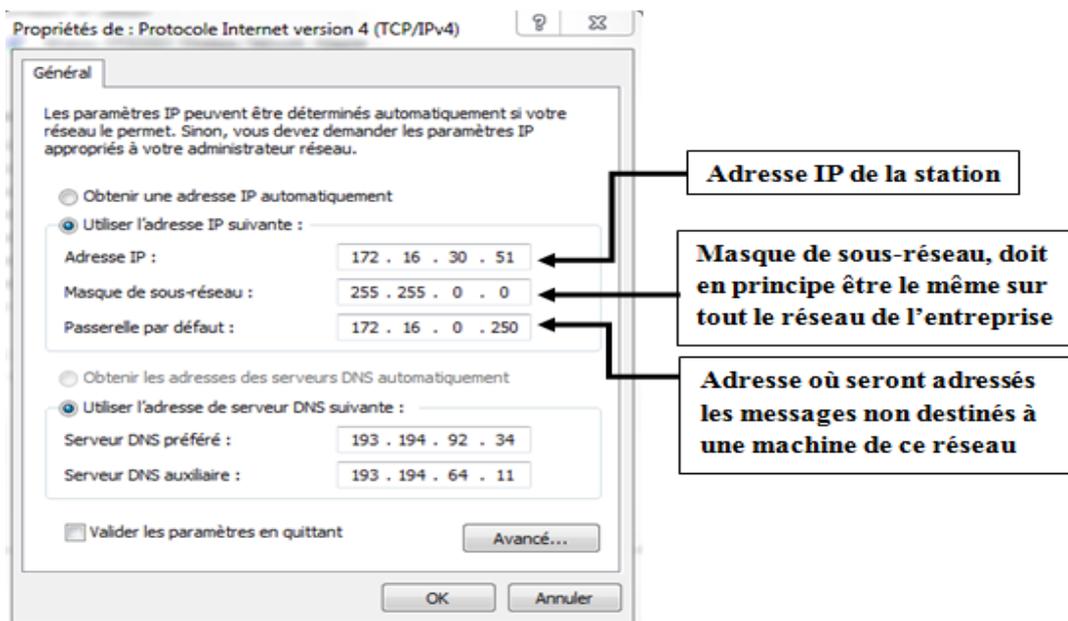


Figure III-34 : Les informations de configuration d'une machine.

Pour déterminer si la machine cible est localisée sur le même sous-réseau, la machine source réalise un « ET » logique entre les bits de l'adresse source et ceux du masque de sous-réseau, elle procède de même avec l'adresse destination. Si le résultat donne une valeur identique, les deux machines sont sur le même sous-réseau, sinon le datagramme est adressé à la passerelle par défaut (figure III.35), charge à elle de trouver le sous-réseau destinataire

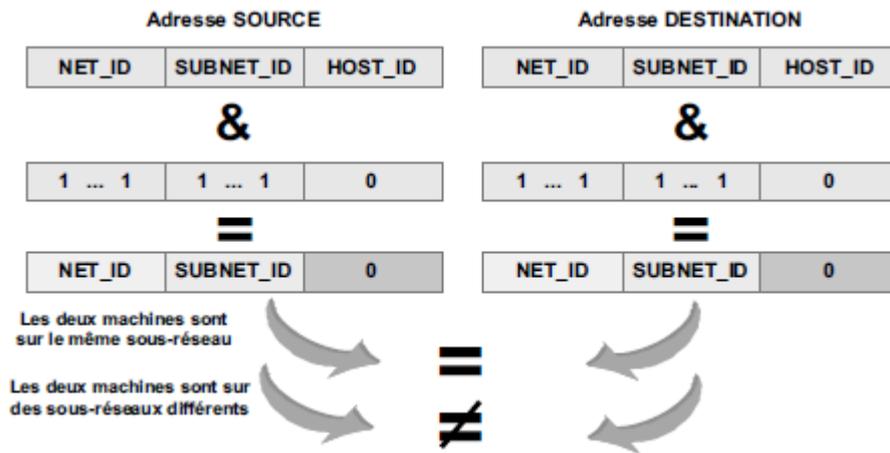


Figure III-35 : Détermination du sous-réseau cible à l'aide du masque de sous-réseau.

➤ *Détermination du masque de sous-réseau*

Broadcast de sous-réseau

Deux types de *broadcast* ont déjà été définis :

- 255.255.255.255 adresse toutes les machines du réseau sur lequel il a été émis. Ce *broadcast* ne franchit pas les passerelles (diffusion limitée).
- <Net_ID>.<1>, tous les bits du champ <Host_ID> à 1, désigne toutes les machines du réseau <Net_ID>. Ce *broadcast*, dit *broadcast* dirigé, est acheminé par les passerelles, sauf configuration spécifique de celles-ci.

Pour prendre en compte les sous-réseaux, il convient d'en ajouter un troisième :

- <Net_ID>.<SubNet_ID>.<1>, tous les bits du champ <Host_ID> à 1, adresse toutes les machines du sous-réseau <SubNet_ID>.

L'unicité du masque sur un même réseau

Même si la RFC 1009 autorise, pour un même réseau, l'utilisation de masques de sous-réseaux multiples, cette pratique est à déconseiller. En effet, elle peut introduire des confusions dans l'interprétation des adresses et par conséquent dans l'acheminement. Soit, par exemple, le réseau 10.0.0.0 et le numéro IP 10.1.1.255 :

- si le masque de sous-réseau est 255.255.0.0, cette adresse représente la machine <1.255> du sous-réseau 1.
- mais si le masque de sous-réseau est 255.255.255.0, il s’agit alors de l’adresse de *broadcast* dirigé du sous-réseau 10.1.1.0.

De même, supposons le réseau de figure III.36, lorsque l’*host* <1.8> du sous-réseau 10.1.0.0/16 veut adresser l’*host* <5> du sous-réseau 10.1.1.0/24, la machine <1.8> considère que son correspondant est situé sur le même sous-réseau qu’elle. Ceci est aussi vrai dans l’autre sens.

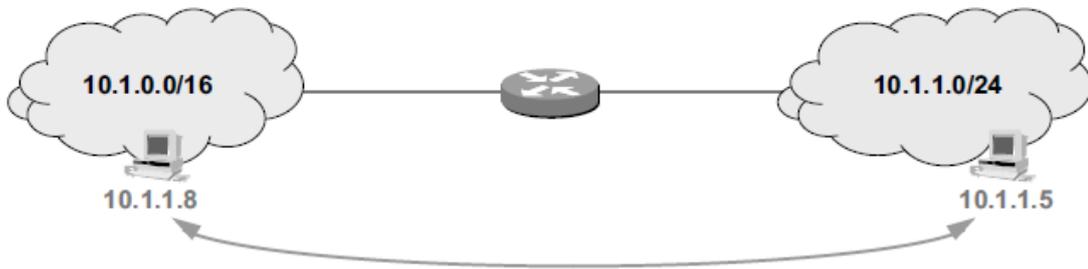


Figure III-36 : Les masques de sous-réseaux multiples et les problèmes d’acheminement

L’adressage géographique ou CIDR

Une adresse IP désigne une organisation, elle ne permet pas d’en déterminer la localisation, c’est un adressage à plat. Dans ces conditions, chaque routeur du réseau Internet doit tenir à jour la liste de toutes les adresses attribuées (Net_ID) et la route à suivre. Cet encombrement des tables de routage pénalise les performances ; il a conduit, lors de la recherche de solutions pour pallier la prévisible pénurie d’adresses, à mettre en œuvre un mécanisme d’affectation géographique des adresses de classe C non attribuées. D’autre part, il a été décidé de n’attribuer qu’exceptionnellement les adresses de classes B restantes et d’attribuer en lieu et place des adresses contiguës de classe C en leur faisant correspondre une seule entrée dans les tables de routage. Le tableau III-6 indique les plages d’adresses géographiques (RFC 2050).

Plage d’adresses	Zone d’affectation
192-193	Divers (adresses déjà attribuées)
194-195	Europe (65 536 réseaux)
196-197	Divers
198-199	Amérique du Nord
200-201	Amérique centrale et du Sud
202-203	Pacifique
204-205	Divers
206-207	Divers

Tableau III-6 : L’allocation géographique des adresses de classe C.

Ainsi, pour l'Europe, les adresses 194 et 195 ont les sept premiers bits identiques. Il suffit donc d'indiquer aux routeurs que le champ <Net_ID> à prendre en compte est de 7 bits et non de considérer ces adresses comme des adresses de classes C. Une seule entrée suffit alors dans la table de routage. Le nombre de bits servant à coder la partie commune, ou préfixe d'adresse, est représenté à la fin de l'écriture de l'adresse comme suit : 194.0.0.0/7, ainsi cette adresse indique tous les sous-réseaux européens. Cette technique, issue de celle du masque de sous-réseau, porte le nom de *supernetting* ou routage interdomaine sans tenir compte de la classe d'adressage (**CIDR**, *Classless InterDomain Routing*).

Le CIDR améliore l'allocation des adresses et supprime l'usage des classes A, B et C en généralisant l'utilisant du préfixe (*classless*). L'utilisation du CIDR implique l'utilisation d'un protocole de routage transportant les préfixes étendus ; la mise en œuvre d'un algorithme de correspondance la plus longue et la distribution des adresses doit avoir une signification topologique. Dans ces conditions, le CIDR s'apparente au VLSM, cependant, l'un s'applique au domaine public, l'autre au domaine privé.

III-4-7 Le routage dans le réseau IP [83]

III-4-7-1 L'adressage d'interface

Supposons le réseau simplifié de la figure III-37, peu importe le protocole mis en œuvre sur le lien reliant les passerelles d'accès (routeurs IP). Comment la couche IP peut-elle déterminer l'interface de sortie par rapport à une adresse IP destination alors que la couche IP ignore la technologie sous-jacente ?

En application du principe d'indépendance des couches, le point d'accès au réseau physique ne peut être connu de la couche IP que par une adresse IP. Les liaisons entre les différentes passerelles sont considérées, vu d'IP, comme constituant un réseau ; de ce fait chaque extrémité d'une liaison possède une adresse IP. Dans ces conditions, l'algorithme d'acheminement recherche sur quel réseau (de liaisons) est situé le saut suivant (*Next hop*). Cette technique d'identification de l'interface d'accès au réseau physique est dite adressage d'interface ou **adressage de LS** (Liaison spécialisée). Cette méthode garantit l'indépendance des couches. En effet, le routage se réalise d'adresse IP destination à adresse IP d'interface.

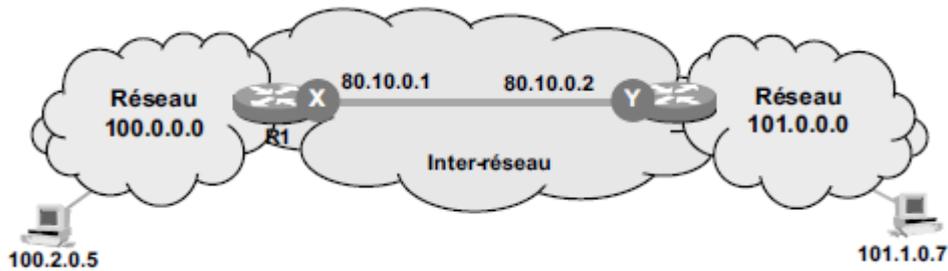


Figure III-37 : L'adressage du réseau physique.

Les liens inter-routeurs forment ainsi le réseau logique IP. Une adresse IP est attribuée à chaque extrémité. Pour comprendre le mécanisme de routage, la figure III-38 fournit un exemple de configuration d'un routeur. Notons que la route à prendre est désignée par l'adresse distante du lien (*Next hop*), ce qui correspond à l'adresse du point à atteindre sur le réseau de liens.

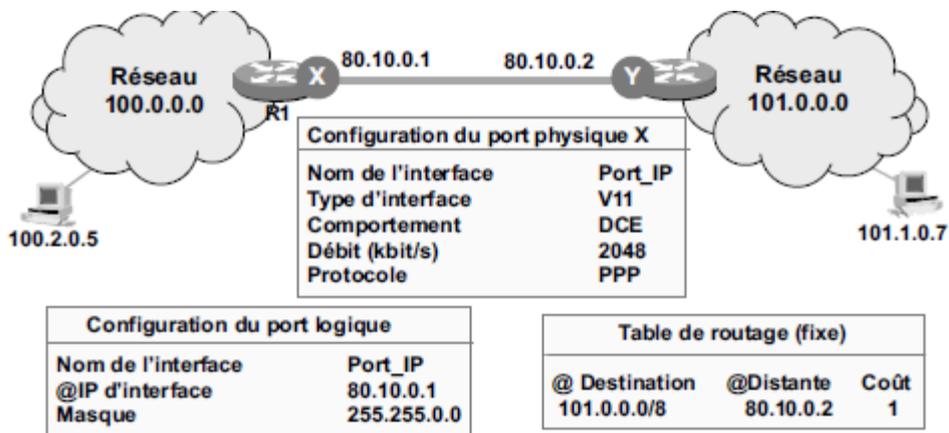


Figure III-38 : Exemple de configuration d'un routeur IP.

III-4-7-2 Le concept d'interface non numérotée

L'attribution d'adresses d'interface est consommatrice d'adresses, aussi la RFC 1812 a-t-elle autorisé le routage sur interface dite non numérotée (*Unnumbered IP*). Un exemple de configuration simplifiée est donné par la figure III.38. Cette approche viole la règle d'indépendance des couches. Aussi, la RFC 1812 précise que les deux passerelles connectées par une ligne point à point non numérotée ne sont pas à considérer comme deux routeurs mais comme deux demi-routeurs constituant un seul routeur virtuel (figure III.39).

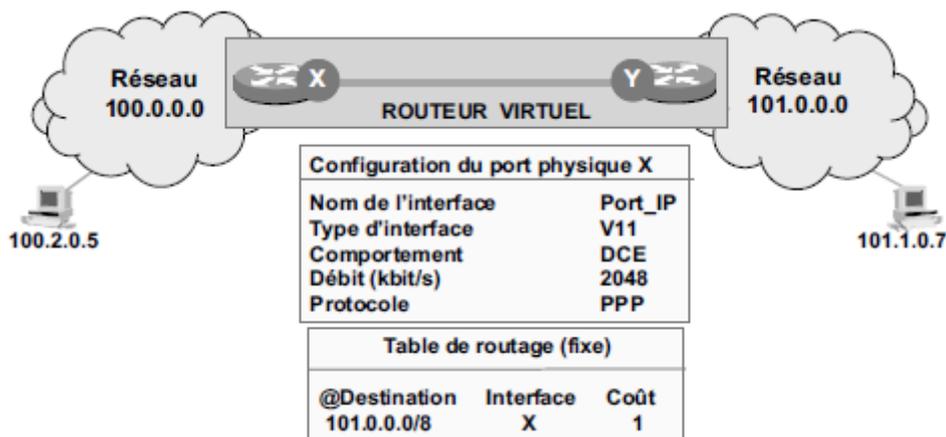


Figure III-39 : Le routage de la RFC 1812.

III-4-8 Les protocoles de résolution des adresses : ARP, RARP [84]

Les adresses IP sont attribuées indépendamment des adresses matérielles des machines. Pour envoyer un datagramme dans l'Internet, le logiciel réseau doit convertir l'adresse IP en une adresse physique qui est utilisée pour transmettre la trame. Si l'adresse physique est un entier court, elle peut être facilement modifiée pour lui faire correspondre l'adresse machine IP. Sinon, la traduction doit être effectuée dynamiquement.

Le protocole ARP (*Address Resolution Protocol*) effectue cette traduction en s'appuyant sur le réseau physique. Le protocole ARP permet aux machines de résoudre les adresses sans utiliser de table statique. Une machine utilise ARP pour déterminer l'adresse physique destinataire en diffusant, sur le sous-réseau, une requête ARP qui contient l'adresse IP à traduire. La machine possédant l'adresse IP concernée répond en renvoyant son adresse physique. Pour rendre ARP plus performant, chaque machine tient à jour, en mémoire, une table des adresses résolues et réduit ainsi le nombre d'émissions en mode diffusion.

Au moment de son initialisation (*bootstrap*), une machine sans mémoire de masse (*diskless*) doit contacter son serveur pour déterminer son adresse IP, afin de pouvoir utiliser les services TCP/IP. Le protocole RARP (*Reverse ARP*) permet à une machine d'utiliser son adresse physique pour déterminer son adresse logique dans l'Internet. Le mécanisme RARP permet à un ordinateur de se faire identifier comme cible en diffusant sur le réseau une requête RARP. Les serveurs recevant le message examinent leur table et répondent au client. Une fois l'adresse IP obtenue, la machine la stocke en mémoire vive et n'utilise plus RARP jusqu'à ce qu'elle soit réinitialisée.

III-4-9 ICMP : messages de contrôle et d'erreur [84][85]

Dans le système en mode non connecté d'Internet, chaque passerelle et chaque machine fonctionnent de façon autonome. Le routage et l'envoi des datagrammes se font sans coordination avec l'émetteur. Ce système fonctionne bien, tant que toutes les machines n'ont pas de problème et que le routage est correct, mais cela n'est pas toujours le cas.

En dehors des pannes du réseau et des équipements terminaux, les problèmes arrivent lorsqu'une machine est temporairement, ou de façon permanente déconnectée du réseau, ou lorsque la durée de vie du datagramme expire, ou enfin, lorsque la congestion d'une passerelle est trop importante.

Pour permettre aux machines de rendre compte de ces anomalies de fonctionnement, on a ajouté à Internet un protocole d'envoi de messages de contrôle appelé ICMP (Internet Control Message Protocol).

Le destinataire d'un message ICMP n'est pas un processus application, mais le logiciel Internet de la machine concernée. Quand un message est reçu, IP traite le problème.

Les messages ICMP ne sont pas uniquement transmis à partir des passerelles. En effet, n'importe quelle machine du réseau peut envoyer des messages à n'importe quelle autre. Cela permet d'avoir un protocole unique pour tous les messages de contrôle et d'information.

Chaque message a son propre format et permet de rendre compte de l'erreur jusqu'à l'émetteur du message. Les messages ICMP sont transportés dans la partie donnée des datagrammes IP. Comme n'importe quel autre datagramme, ils peuvent être perdus. En cas d'erreur d'un datagramme contenant un message de contrôle, aucun message de rapport de l'erreur ne sera transmis, et cela, pour éviter les avalanches.

Les **principales informations de contrôle** qui peuvent être acheminées par ICMP sont les suivantes :

Code message	Type de message ICMP ;
0	Echo reply;
3	Destination Unreachable;
4	Source Quench;
5	Redirect (change a route);
8	Echo Request;
11	Time Exceeded for a datagram;
12	Parameter Problem on a datagram;

13	Timestamp Request;
14	Timestamp reply;
17	Address Mask Reply;
18	Address Mask Reply.

III-4-10 IGMP : adressage multipoint [83][84][85][86][87][88]

Le multipoint ou multicasting IP permet l'envoi de datagrammes vers plusieurs destinations de façon performante. Le protocole IP utilise les adresses de classe D pour indiquer qu'il s'agit d'un envoi multipoint et s'appuie sur le service réseau s'il existe.

Les groupes de diffusion sont dynamiques : une machine peut se rattacher ou quitter un groupe à tout moment, l'hôte devant seulement être capable d'émettre et de recevoir des datagrammes en multicast. Cette fonction IP n'est pas limitée au seul sous-réseau physique, mais les passerelles propagent aussi les informations d'appartenance à un groupe et gèrent le routage de façon à ce que chaque machine reçoive une copie de chaque datagramme envoyé au groupe.

Les machines communiquent aux passerelles leur appartenance à un groupe, en utilisant le protocole IGMP (*Internet Group Management Protocol*). Le protocole a été conçu pour être efficace et optimiser l'utilisation des ressources du réseau. Dans la plupart des cas, le trafic IGMP introduit est un message périodique envoyé par la passerelle gérant le multipoint, et une seule réponse pour chaque groupe de machines d'un sous-réseau.

IGMP a été développé pour le multicast avec le protocole IPv4.

Pour le protocole IPv6, la gestion du multicast sera effectuée par le protocole ICMP que nous avons décrit sommairement dans le paragraphe précédent.

III-4-11 UDP : service de transport non fiable [84][86]

Le protocole UDP (User Datagram Protocol) permet aux applications d'échanger des datagrammes. Ce protocole UDP utilise la notion de « port » qui permet de distinguer les différentes applications qui s'exécutent sur une machine. En plus du datagramme et de ses données, un message UDP contient, à la fois, un numéro de port source et un numéro de port destination.

UDP s'appuie sur les services du protocole Internet et fournit un service en mode non connecté, sans reprise sur erreur. Il n'utilise aucun acquittement, ne reséquence pas les messages et ne met en place aucun contrôle de flux. Les messages UDP peuvent être perdus, dupliqués, remis hors séquence ou arriver trop tard pour être traités en réception.

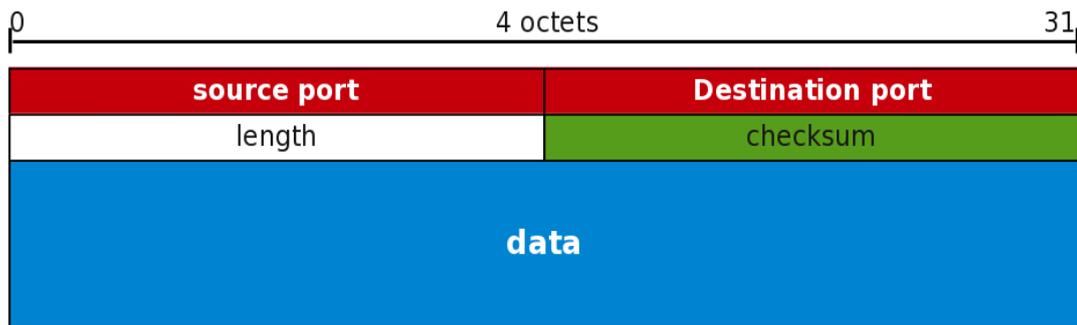


Figure III-40 : En-tête du protocole UDP

Les numéros de ports constituent le mécanisme d'adressage pour les communications de bout en bout comme dans le cas du protocole TCP.

En conclusion, UDP fournit un service de transport le plus simple possible pour les applications. En l'absence de garantie, les applications ne perdent qu'un temps minimal aux traitements liés à l'interface avec la couche transport. Les applications qui ont besoin d'accéder rapidement à des données distantes pour lesquelles la garantie de transport peut être faible, trouveront dans UDP le protocole adéquat.

III-4-12 TCP : service de transport fiable [84]

TCP (*Transport Control Protocol*) est un service de transport fiable ; pour arriver à cette fonctionnalité, TCP définit un certain nombre de caractéristiques :

- **flot d'octets** : les données échangées sont vues comme un flot de bits, divisé en octets et les octets sont reçus dans l'ordre où ils ont été envoyés ;
- **circuit virtuel en mode connecté** : le transfert des données ne peut commencer qu'après l'établissement d'une connexion entre les deux machines. Durant le transfert, les deux machines continuent à vérifier que les données sont transmises correctement.

Le terme de circuit virtuel est employé, car les deux programmes d'application voient la connexion comme un circuit physique, la fiabilité de la transmission étant une illusion créée par le service de transport ;

- **transfert par paquet** : les programmes d'application envoient leurs données sur le circuit virtuel en les passant régulièrement au système d'exploitation de la machine. Chaque application choisit la taille de données qui lui convient, exprimée en nombre d'octets. Le protocole TCP est libre de découper les données en paquets de tailles différentes de ce qu'il a reçu de l'application. Pour rendre le transfert plus performant, le protocole TCP attend d'avoir suffisamment de données pour remplir un datagramme avant de l'envoyer sur le sous-réseau ;

— **flot de données non structurées** : le service de transport ne prend pas en compte les données structurées (cela est du ressort de l'application) ;

— **connexion duplex** : la connexion permet un transfert de données bidirectionnel. Ce sont deux flots de données inverses, sans interaction apparente. Il est possible de déterminer l'envoi dans un sens, sans arrêter l'autre sens. Ce principe permet de renvoyer des acquittements d'un sens de transmission, en même temps que les données de l'autre sens.

Le protocole TCP définit la structure des données et des acquittements échangés, et les mécanismes permettant de rendre le transport fiable. Il spécifie comment distinguer plusieurs connexions sur une même machine, et comment faire la détection et la correction, lors de la perte ou duplication de paquets. Il définit comment établir une connexion et comment la terminer.

Le protocole TCP permet à plusieurs programmes d'établir une connexion en même temps et démultiplexe les données reçues, provenant d'applications différentes. TCP utilise la notion abstraite de port qui identifie la destination ultime dans la machine. TCP est donc un protocole en mode connecté qui n'a de sens qu'entre deux points d'extrémité de connexion. Pour cela, le programme d'une extrémité effectue une ouverture de connexion « passive » qui permet d'accepter une connexion entrante en lui affectant un numéro de port. L'autre programme d'application exécute une ouverture de connexion « active ». Une fois la connexion établie, le transfert de données peut commencer.

Le protocole TCP voit un flot de données comme une suite d'octets qu'il divise en segments. Généralement, chaque segment est transmis dans un seul datagramme IP.

TCP utilise un mécanisme de fenêtre pour réaliser une transmission performante par un contrôle de flux adapté aux caractéristiques de l'application et du réseau. Le mécanisme de fenêtre permet l'anticipation, c'est-à-dire l'envoi de plusieurs messages sans attendre d'acquiescement. Cela permet d'éviter les congestions, si les fenêtres sont bien adaptées. La fenêtre permet également de réaliser un contrôle au niveau de la machine terminale, en autorisant le récepteur à limiter l'envoi des données s'il n'a pas la place nécessaire pour les recevoir dans ses mémoires.

Le mécanisme de fenêtre opère au niveau de l'octet et non pas du message. Les octets à transmettre sont numérotés séquentiellement, et l'émetteur gère trois pointeurs pour chaque fenêtre. De la même façon, le récepteur doit tenir à jour une fenêtre en réception.

Pour une connexion, il est possible d'échanger des données indépendamment dans chaque sens, et chaque extrémité de connexion doit ainsi maintenir deux fenêtres, l'une en émission et l'autre en réception. Une différence importante entre un mécanisme de fenêtre

classique et celui employé par TCP provient de la taille de la fenêtre qui peut varier dans le temps. Chaque acquittement, spécifiant combien d’octets ont été reçus, contient une information de taille de fenêtre qui indique combien d’octets supplémentaires le récepteur est en mesure d’accepter. La taille de fenêtre peut être vue comme la taille libre des mémoires. Le récepteur ne peut réduire la fenêtre en deçà d’une valeur qu’il a déjà acceptée précédemment. En revanche, une taille de fenêtre plus petite peut accompagner un acquittement, de façon à ce qu’elle diminue en même temps qu’elle se déplace.

L’unité de protocole de TCP est appelée un **segment**. Ces segments sont échangés pour établir la connexion, pour transférer des données, pour les acquittements, pour modifier la taille de la fenêtre et enfin pour fermer une connexion. Les informations de contrôle de flux peuvent être transportées dans le flot de données inverses.

Chaque segment est composé de deux parties : l’en-tête suivi des données. Nous avons représenté dans la figure III.41 le format d’un segment.

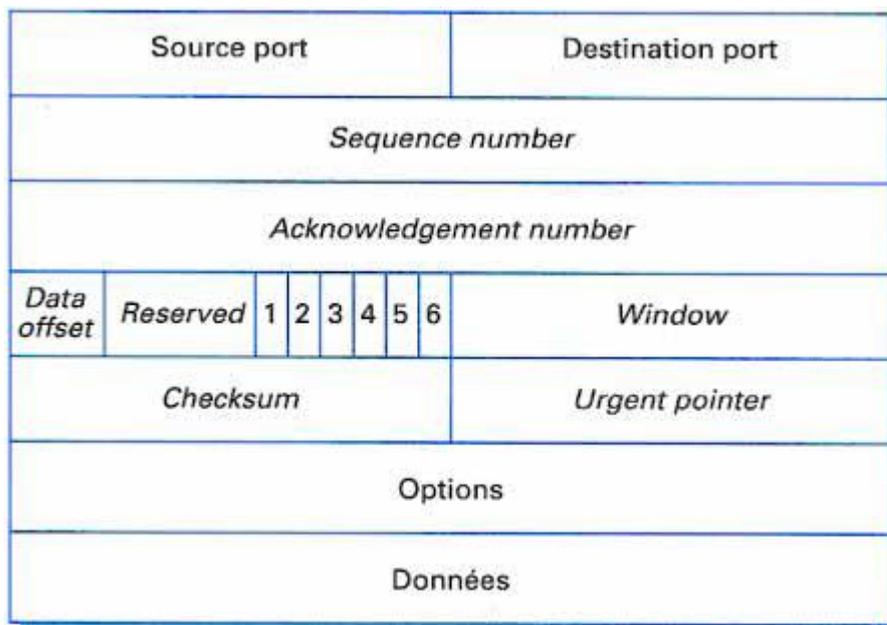


Figure III-41 : Format d’un segment

Dans le segment, on trouve les zones suivantes :

- 1 – **Source port** sur 16 bits. Ce champ contient l’adresse du port d’entrée. Associée avec l’adresse IP, cette valeur donne un identificateur unique appelé *socket* ;
- 2 – **Destination port** sur 16 bits. Même chose que le précédent mais pour l’adresse destination ;
- 3 – **Sequence number (SEQ)** sur 32 bits. Ce champ indique le numéro du premier octet porté par le segment ;

4 – **Acknowledgement number (ACK)** sur 32 bits. Cette valeur indique le numéro « sequence number » du prochain segment attendu. En d'autres termes, c'est un acquittement de tous les octets qui ont été reçus auparavant;

5 – **Data offset** sur 4 bits. Cette valeur indique la longueur de l'en-tête par un multiple de 32 bits. Si la valeur 8 se trouve dans ce champ, la longueur totale de l'en-tête est de 8

6 – La **zone suivante** est réservée pour une utilisation ultérieure. Ce champ doit être rempli de 0 ;

7 – **Champ numéroté 1** sur la figure, Urgent Pointer (URG) sur 1 bit. Si ce bit est positionné à 1, cela indique que le champ Urgent Pointer dans la suite est utilisé ;

8 – **Champ numéroté 2** sur la figure, Synchronisation (SYN) sur 1 bit. Si SYN=1, cela indique une demande d'ouverture de connexion ;

9 – **Champ numéroté 3** sur la figure, Acknowledgement (ACK) sur 1 bit. Si ACK = 1, cela indique que le champ Acknowledgement number est utilisé ;

10 – **Champ numéroté 4** sur la figure, Reset (RST) sur 1 bit. Si RST = 1, cela signifie que l'émetteur demande que la connexion TCP soit redémarrée ;

11 – **Champ numéroté 5** sur la figure, Push function (PSH) sur 1 bit. Si PSH = 1, cela indique que l'émetteur souhaite que les données de ce segment soient délivrées le plus tôt possible au destinataire ;

12 – **Champ numéroté 6** sur la figure, Terminale (FIN) sur 1 bit. Si FIN = 1, cela signifie que l'émetteur souhaite fermer la connexion ;

13 – **Window (WNDW)** sur 16 bits. La valeur indiquée dans ce champ donne le nombre d'octets que le récepteur accepte de recevoir.

Plus exactement, la valeur de WNDW contient le numéro du dernier octet que l'émetteur du segment peut prendre en compte.

En retranchant le numéro indiqué dans Acknowledgement number, on obtient le nombre d'octets que le récepteur accepte de recevoir ;

14 – **Checksum** sur 16 bits. Les deux octets permettent de détecter les erreurs dans l'en-tête et le corps du segment ;

15 – **Urgent Pointer (URGPTR)** sur 16 bits. Ce champ spécifie le dernier octet d'un message urgent ;

16 – **Options (OPT)**. Cette zone contient les différentes options du protocole TCP. On y trouve principalement des options de routage. Le segment se termine par les données

transportées. Donnons quelques précisions sur les mécanismes que nous avons introduits en décrivant le format du segment.

III-4-13 RSVP (Reservation Protocol) [84]

La communauté Internet souhaite faire évoluer le réseau vers les applications multimédias. Dans ce cas, le réseau Internet devra faire transiter des applications isochrones ou au moins des applications avec une qualité de service déterminée. La synchronisation nécessaire ou la qualité de service ne pourra être obtenue que par l'adjonction de nouveaux protocoles qui permettront la réservation de ressources.

Plusieurs solutions se sont fait jour, et deux écoles principales semblent s'affronter sur l'utilisation des nouveaux mécanismes développés par l'IETF.

La première vision, qui regroupe la communauté classique de l'Internet, reste sur la position que seul le **service « best effort »** est intéressant et que les sources et les routeurs doivent s'adapter pour essayer d'écouler un maximum de trafic. L'optique est toujours un réseau de réseaux et il est demandé à chaque réseau d'essayer de faire au mieux. La qualité de service de bout en bout sera réalisée en optimisant les qualités de service des sous-réseaux. L'arrivée d'un protocole avec réservation permet de définir des fonctions supplémentaires ; ce protocole doit indiquer aux routeurs situés entre les sous-réseaux le type de trafic qui va passer et prie ces routeurs d'en tenir compte de la façon la plus efficace possible.

La deuxième vision est d'utiliser ce **protocole de réservation en gardant effectivement des ressources dans les routeurs** pour assurer une qualité de service de bout en bout. Cette seconde direction est celle des opérateurs de réseaux IP au sens « télécom » du terme, l'environnement Internet ayant plutôt choisi la première solution.

Le protocole qui semble le plus intéressant dans la nouvelle génération est RSVP (*ReSerVation Protocol*). Ce protocole est un protocole de signalisation qui a pour but de signaler aux nœuds intermédiaires l'arrivée de flux correspondant à des qualités de service. Par lui-même, il ne permet pas de lancer explicitement la réservation de ressources, à la demande d'une application et de les relâcher à la fin.

Cette signalisation s'effectue sur un flot (*flow*) qui est envoyé vers un ou plusieurs récepteurs. Le flot est identifié par une adresse IP ou un port de destination ou une étiquette de flot (*flow label* dans IPv6).

Dans la vision opérateur, le protocole est lié à une réservation à effectuer dans les nœuds du réseau sur une route particulière ou sur les routes déterminées par un multipoint. Les

difficultés rencontrées pour mettre en œuvre ce mécanisme sont de deux ordres : comment déterminer la quantité de ressources à réserver à tout instant et comment réserver des ressources sur une route unique étant donné que le routage des paquets IP fait varier le chemin à suivre.

Le protocole RSVP effectue la réservation à partir du récepteur ou des récepteurs dans le cas d'un multipoint. Cela peut paraître surprenant à première vue mais, en fait, cette solution s'adapte bien à beaucoup de cas de figure, en particulier le multipoint. Lorsqu'un nouveau point s'ajoute au multipoint, celui-ci peut réaliser l'adjonction de réservation d'une façon plus simple que cela pourrait être fait par l'émetteur.

Le protocole RSVP est transporté dans les paquets IP. Plus précisément dans le champ de données du paquet IP. La valeur 46 dans l'en-tête IP indique une zone RSVP dans les données du paquet. La figure III-42 précise la forme du champ RSVP ; dans cette figure, nous avons repris l'en-tête d'IPv6. La zone RSVP commence après les adresses de la source et du destinataire.

L'en-tête même de RSVP contient huit champs plus deux champs qui sont réservés pour des utilisations ultérieures. Ces dix champs sont les suivants :

- 1 – Le premier champ contient le numéro de la version actuelle de RSVP : la valeur 2;
- 2 – Les quatre bits « flags » sont réservés pour une utilisation ultérieure ;
- 3 – Le champ « RSVP type », caractérise le message RSVP ; actuellement, deux types sont plus spécifiquement utilisés : le message de chemin et le message de réservation mais d'autres possibilités sont également définies dans la norme. Les différentes valeurs de ce champ qui ont été retenues sont les suivantes :

- 1 path message,
- 2 reservation message,
- 3 error indication in response to path message,
- 4 error indication in response to reservation message,
- 5 path teardown message,
- 6 reservation teardown message;

- 4 – Le champ checksum permet classiquement de détecter les erreurs ;

- 5 – La longueur du message indique le nombre d'octets transportés dans le datagramme ;

- 6 – Le champ suivant est réservé pour un usage ultérieur ;

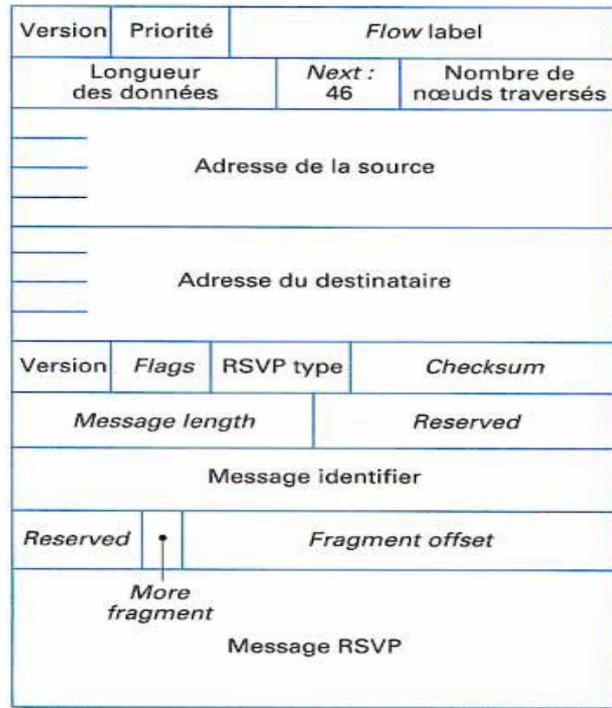


Figure III-42 : Format du message RSVP

7 – Le champ « message identifiant » est utilisé dans la fragmentation et il donne une valeur commune à l'ensemble des fragments d'un même message pour permettre au récepteur de pouvoir les reconnaître.

8 – Le champ suivant est réservé pour un usage ultérieur ;

9 – Le bit « more fragment » indique que le fragment n'est pas le dernier. Un zéro sera mis dans ce champ pour le dernier fragment ;

10 – Le champ « fragment offset » indique l'emplacement du fragment dans le message.

La dernière partie du message regroupe une série de champs optionnels que l'on nomme objet. Chaque objet se présente de la même façon avec un champ longueur de l'objet sur deux octets puis le numéro de l'objet sur un octet qui détermine l'objet puis un octet pour indiquer le type d'objet.

Ces champs optionnels sont principalement dévolus au routage et à la sécurité. Les spécifications de RSVP contiennent des descriptions précises des chemins suivis par les messages en incluant les objets nécessaires et l'ordre dans lequel ces objets vont apparaître dans le message. De même, des possibilités d'identification et de sécurité sont accessibles par l'utilisation de ces champs.

III-4-14 RTP (Real Time Protocol) [84]

Un des problèmes posés par Internet est l'existence d'applications temps réel comme la parole numérique ou la visioconférence.

Ces applications demandent des qualités de service que les protocoles classiques d'Internet ne peuvent pas offrir. C'est la raison de la naissance de RTP. De plus, RTP a été conçu directement dans un environnement multipoint. RTP aura donc à sa charge aussi bien la gestion du temps réel que l'administration de la session multipoint. Deux intermédiaires sont nécessaires : les translateurs (*translator*) et les mixeurs (*mixer*). Le translateur a pour fonction de traduire une application codée dans un certain format en un autre format mieux adapté pour le passage par un sous-réseau. Par exemple, une application de visioconférence codée en MPEG pourrait être décodée et recodée en H.261 pour réduire la quantité d'informations transmises. Le mixeur a pour but de regrouper plusieurs applications correspondant à plusieurs flots distincts en un seul flot gardant le même format. Cette approche est particulièrement intéressante pour les flux de paroles numériques. Pour réaliser le transport en temps réel, un second protocole RTCP (*Real Time Control Protocol*) a été ajouté à RTP. En effet, les paquets RTP ne transportent que les données des utilisateurs et non les informations de supervision. Pour cela, RTCP a été créé et permet cinq types de paquets :

- 200 rapport de l'émetteur ;
- 201 rapport du récepteur ;
- 202 description de la source ;
- 203 au revoir ;
- 204 application spécifique.

Ces différents paquets vont permettre de donner les instructions nécessaires dans les nœuds du réseau pour contrôler au mieux les applications temps réel.

III-4-15 Sécurité de TCP/IP [84]

TCP/IP rend possible une interopérabilité universelle. Cependant, dans plusieurs environnements, les administrateurs ont besoin de limiter cette interopérabilité pour protéger les données privées. Ces restrictions correspondent au problème général de la sécurité, mais l'Internet est plus difficile à rendre sûr qu'un simple ordinateur car il offre des services de communication bien plus puissants. Le problème est de savoir comment un

utilisateur s'appuyant sur TCP/IP peut s'assurer de la protection de ses machines et de ses données contre les accès non autorisés.

Un groupe de travail a exploré la question de sécurisation de la messagerie en expérimentant un service de messagerie privée améliorée.

L'idée est de mettre en œuvre un mécanisme qui permet à l'émetteur de crypter son message et de l'envoyer sur Internet ouvert sans permettre à quelqu'un d'autre que le destinataire de le décrypter.

Des travaux sur le filtrage des paquets dans les passerelles ont produit une variété de mécanismes qui permettent aux administrateurs de fournir des listes explicites de contrôle d'accès. Une liste d'accès spécifie un ensemble de machines et de réseaux au travers desquels la passerelle peut router les datagrammes. Si l'adresse n'est pas autorisée, le datagramme est détruit et, dans la plupart des implémentations, la passerelle enregistre la tentative de violation dans un journal. Ainsi, il est possible d'utiliser des filtres d'adresses pour surveiller les communications entre les machines. Plusieurs comités techniques continuent de travailler sur les différents aspects de la sécurité dans l'Internet.

III-4-16 Implémentation de TCP/IP et système d'exploitation [85]

Les performances de TCP/IP, sa configuration et sa facilité de maintenance dépend du système d'exploitation sur lequel il est implémenté. Afin de souligner l'interaction entre TCP/IP et les applications, les constructeurs essaient de montrer que le système d'exploitation fait partie du modèle OSI.

Malheureusement, le système d'exploitation n'en fait exactement partie, car le modèle OSI est défini pour des fonctions de communication. Le système d'exploitation possède son propre modèle en couche.

Un système d'exploitation est un programme qui gère des ressources. Un système de communication réseau est une des ressources que doit gérer le système d'exploitation.

En théorie, le système d'exploitation n'est pas nécessaire pour faire tourner TCP/IP : le protocole TCP/IP peut être implémenté en ROM. Toutefois, la plupart des implémentations commerciales de TCP/IP interagissent avec le système d'exploitation.

Ces interactions entre TCP/IP et le système d'exploitation peuvent être classées de la façon suivante :

- Comme faisant partie du noyau (kernel) du système d'exploitation ;
- Comme un pilote de périphérique ;
- Comme un processus d'application.

Dans un système d'exploitation comme Unix ou NetWare, TCP/IP est implémenté dans le kernel du système. Ce type d'implémentation TCP/IP permet d'obtenir des fonctions de communication rapide.

Les systèmes d'exploitation dont l'implémentation de TCP/IP est faite sous forme de pilote de périphérique comprennent Windows NT et Windows 95, VMS, OS/2, Windows et MS-DOS. Dans Windows, qui tourne au-dessus de MS-DOS, le pilote de périphérique VxD virtuel implémente la pile TCP/IP sous pilote 32 bits qui utilise la mémoire étendue et évite ainsi l'utilisation de la mémoire de base des processeurs Intel.

Les systèmes d'exploitation qui implémentent TCP/IP sous forme de processus comprennent les systèmes d'exploitation des mainframes IBM MVS et VM, Windows et MS-DOS. Certaines implémentations de TCP/IP dans Windows et MS-DOS utilisent un programme TSR et des bibliothèques DLL.

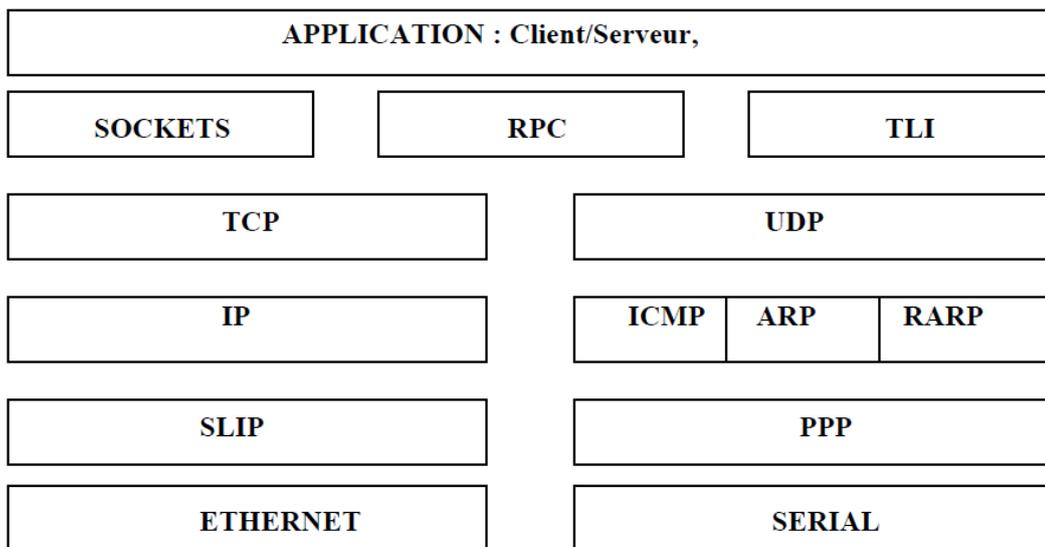
III-5 Les sockets

Après avoir étudié les protocoles TCP/IP, il reste à voir le problème de l'interface entre les programmes d'application et les logiciels de la pile TCP/IP.

Il existe différentes solutions pour résoudre ce problème :

- * **Les sockets,**
- * **TLI** (Transport Layer Interface),
- * **RPC** (Remote Procedure Calls).

Situons ceci dans la pile de protocoles **TCP/IP** :



III-5-1 L'interface de programmation sockets TCP/IP

L'API (Application Programming Interface) socket existe dans les deux principales familles de systèmes d'exploitation [87]:

- a) UNIX & Linux : Berkeley Sockets,
- b) Windows (2000, XP, Vista, Seven): Winsock.

Dans notre application on a utilisé le système d'exploitation Windows.

III-5-2 Etude des sockets sous windows : Winsock [87]

III-5-2-1 Introduction

Une application client/serveur se distingue d'un logiciel autonome par le fait qu'il met en communication au moins 2 processus. Ces 2 processus peuvent s'exécuter sur des machines différentes, ex : UNIX sur le serveur et Windows sur le client et ces 2 machines sont reliées par un réseau local utilisant les protocoles TCP/IP.

III-5-2-2 Introduction de Winsock

La spécification Winsock (*Windows Sockets*) définit une interface de programmation réseau pour Windows (**WSA-Windows Sockets API**) basée sur la notion de *socket* introduite dans la BSD par l'Université de Californie. Ces sockets sont utilisés pour la communication dans le monde Internet.

Winsock inclut aussi bien les fonctions BSD standard ainsi que des extensions spécifiques à Windows (traitement événementiel de la communication). Le multithread est mis en œuvre. Cette spécification impose en outre que toutes les fonctions de manipulation de sockets soient groupées dans une unique DLL :

WINSOCKET.DLL. Il existe plusieurs fournisseurs de bibliothèques Winsock, parmi lesquels on peut citer :

- Trumpet Winsock,
- DataSocket de National Instruments
- API Windows Microsoft cette couche réseau est d'ailleurs déjà intégrée dans Windows.

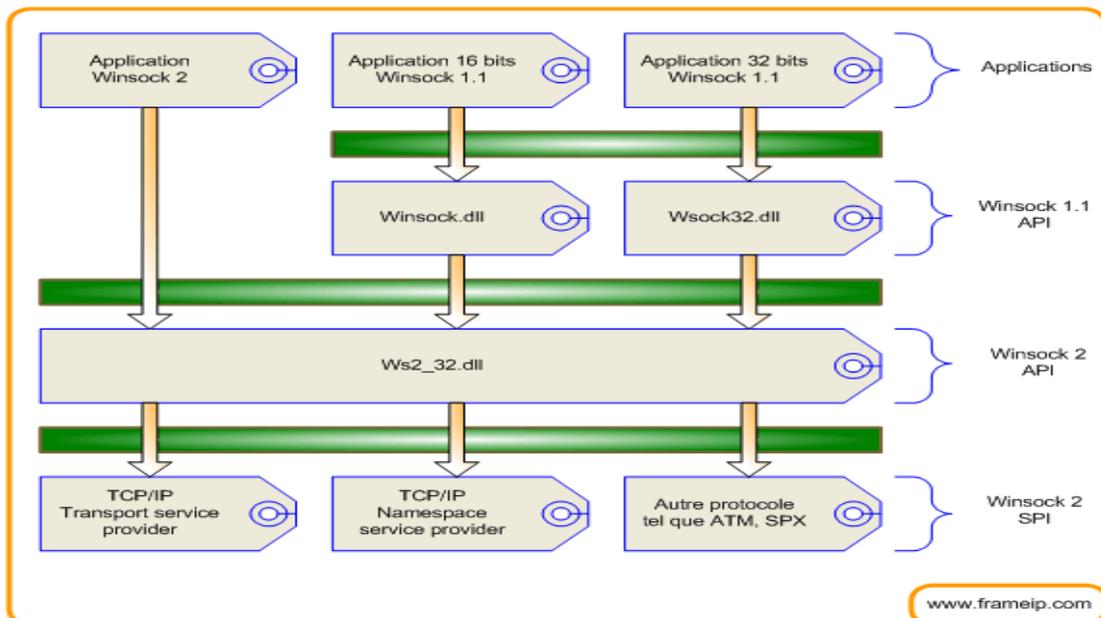
Les extensions Windows apportés aux Windows sockets ne sont pas nécessaires au bon fonctionnement des programmes à l'exception de **WSAStartup ()**, **WSACleanup ()**. Cela permet à un programmeur Berkeley Sockets de passer assez rapidement à la programmation Windows sockets.

III-5-2-3 L'histoire [88]

Depuis des années, les applications se sont tournées vers une communication réseaux afin d'interagir entre elles. La Socket Windows, ou plus couramment appelé Winsock, est une API (Application Programming Interface " voir l'index") procurant des fonctions d'accès aux protocoles réseaux. Winsock représente donc une interface API permettant l'utilisation du protocole TCP/IP sur une interface Windows. Winsock 1.1 a été publié le 20 janvier 1993 afin de créer un standard universel pour les applications TCP/IP. Les auteurs des Windows Socket 1.1 ont limité les possibilités à l'utilisation d'un seul protocole, TCP/IP, contrairement à la version 2.0 qui propose en plus, la suite des protocoles ATM, IPX/SPX, DECnet et le sans fil. Le passage à Winsock 2.0 s'est fait en gardant 100% de compatibilité permettant aux applications déjà développées de continuer à fonctionner.

III-5-2-4 l'architecture [88]

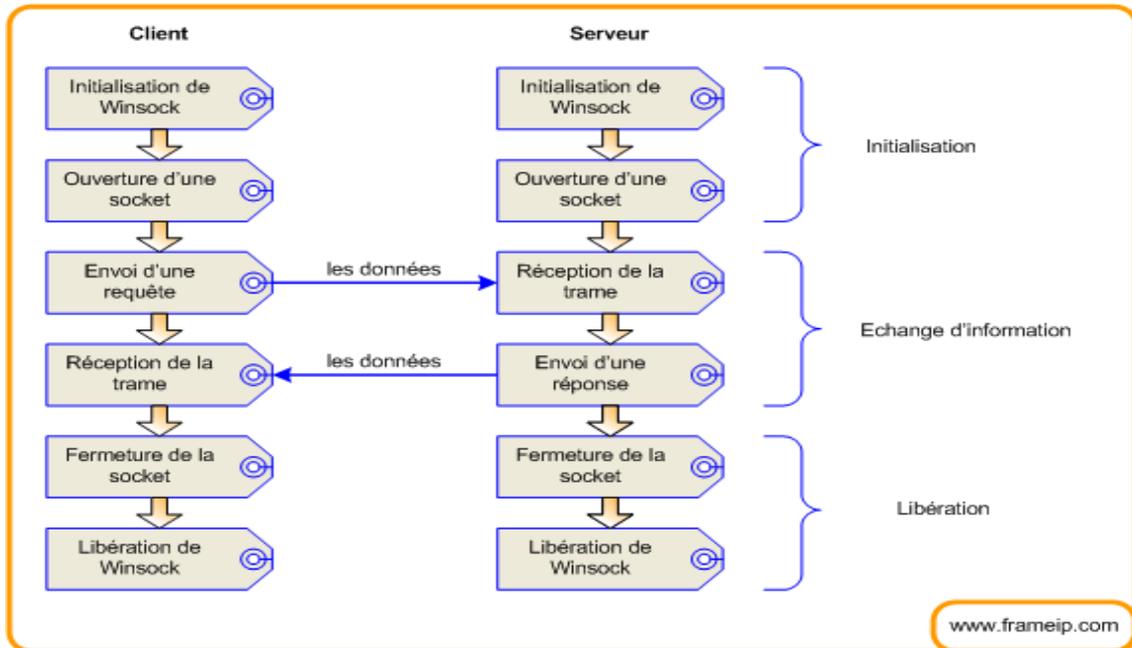
L'architecture Winsock 2.0 est conforme à WOSA (Windows Open System Architecture).



Comme vous pouvez le voir sur le schéma ci dessus, Winsock 2.0 fournit deux interfaces de programmation. La première, Application Programming Interface, est appelé API. Elle se situe en couche 5 du modèle OSI et utilise donc un protocole de couche 3 et 4 pour véhiculer ses informations à travers un réseau. La seconde interface, service provider interface, est appelé SPI. Elle se situe en couche 3 du modèle OSI et permet de personnaliser les protocoles tels que IP, IPX afin de gérer l'adressage, le transport et les options.

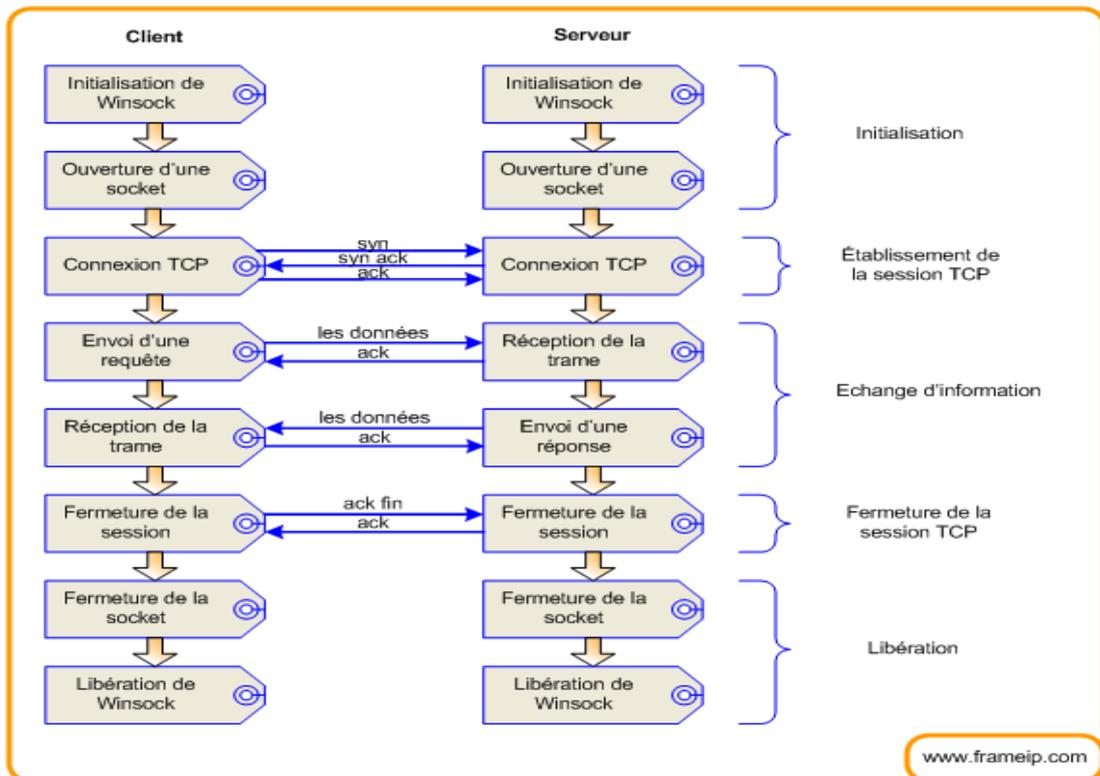
III-5-2-5 Le mode non connecté [88]

Le mode non connecté est basé sur UDP qui ne garanti pas la transmission de donnée. Voici le schéma d'une relation entre deux hosts IP en mode non connecté.



III-5-2-6 Le mode connecté [88]

Le mode connecté est basé sur l'ouverture d'une session TCP afin de garantir, au niveau 4, la transmission de donnée. Voici le schéma d'une relation entre deux hosts IP en mode connecté.



III-6 Conclusion

La transmission des données médical par réseaux Internet à n'importe quelle endroit de secteur médical et l'adaptation de ces réseaux par la programmation, pour envoyer les données, nous a conduit à une étude approfondit sur les protocoles de communication en spécification le protocole TCP/IP et les différents protocoles qu'il regroupe.

En dernière partie, on a entamé la description du composant Winsock et la technique des sockets et sa position dans le système d'exploitation.

Chapitre IV :

La Modulation et la Démodulation Numérique (MDA 'M-aire')

IV-1 Introduction

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

Le schéma synoptique d'un système de transmission numérique est donné à la figure IV-1 où l'on se limite aux fonctions de base [89]:

- La source émet un message numérique sous la forme d'une suite d'éléments binaires.
- Le codeur peut éventuellement supprimer des éléments binaires non significatifs (compression de données ou *codage de source*), ou au contraire introduire de la redondance dans l'information en vue de la protéger contre le bruit et les perturbations présentes sur le canal de transmission (*codage de canal*). Le codage de canal n'est possible que si le débit de source est inférieure à la capacité du canal de transmission (la probabilité d'erreur P_e tend dans ce cas vers 0 d'après les travaux de Hartley - Shannon).
- La modulation a pour rôle d'adapter le spectre du signal au canal (milieu physique) sur lequel il sera émis.
- Enfin, du côté récepteur, les fonctions de démodulation et de décodage sont les inverses respectifs des fonctions de modulation et de codage situées du côté émetteur.

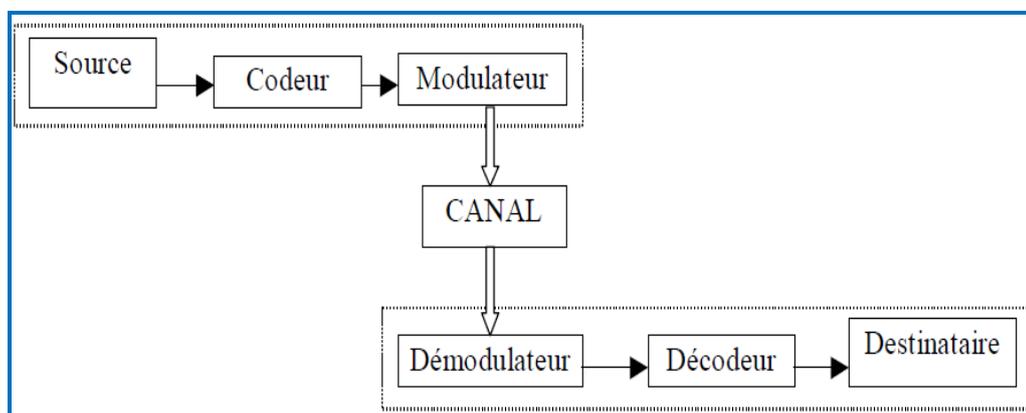


Figure IV-1 : Schéma d'un système de transmission numérique

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

- La probabilité d'erreur P_e par bit transmis permet d'évaluer la qualité d'un système de transmission. Elle est fonction de la technique de transmission utilisée, mais aussi du canal sur lequel le signal est transmis. Il est à noter que P_e est une valeur théorique dont une estimation non biaisée au sens statistique est le Taux d'Erreur par Bit TEB.
- L'occupation spectrale du signal émis doit être connue pour utiliser efficacement la bande passante du canal de transmission. On est contraint d'utiliser de plus en plus des modulations à grande efficacité spectrale.
- La complexité du récepteur dont la fonction est de restituer le signal émis est le troisième aspect important d'un système de transmission.

IV-2 Les modulations numériques

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse

$S(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ centrée sur la bande de fréquence du canal.

Les paramètres modifiables sont :

- L'amplitude : A
- La fréquence : $f_0 = \frac{\omega}{2\pi}$
- La phase: φ_0

Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui ne prend que deux valeurs possibles.

Dans les procédés de modulation M-aire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui prend M valeurs. Ceci permet d'associer à un état de modulation un mot de n digits binaires. Le nombre d'états est donc $M = 2^n$. Ces n digits proviennent du découpage en paquets de n digits du train binaire issu du codeur.

Les types de modulation les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

- Modulation par Déplacement d'Amplitude MDA (*Amplitude Shift Keying ASK*).
- Modulation par Déplacement de Phase MDP (*Phase Shift Keying PSK*).
- Modulation par Déplacement de Phase Différentiel MDPD (*Differential Phase Shift Keying DPSK*).

- Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature MAQ (*Quadrature Amplitude modulation QAM*).
- Modulation par Déplacement de Fréquence MDF (*Frequency Shift Keying FSK*).

IV-3 Définitions et appellations

- **Un symbole** est un élément d'un alphabet. Si M est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit M-aire. Lorsque $M=2$, le symbole est dit binaire. En groupant, sous forme d'un bloc, n symboles binaires indépendants, on obtient un alphabet de $M = 2^n$ symboles M-aires. Ainsi un symbole M-aire véhicule l'équivalent de $n = \log_2 M$ bits [89].
- **La rapidité de modulation R** se définit comme étant le nombre de changements d'états par seconde d'un ou de plusieurs paramètres modifiés simultanément. Un changement de phase du signal porteur, une excursion de fréquence ou une variation d'amplitude sont par définition des changements d'états.

La "rapidité de modulation" $R = \frac{1}{T}$ s'exprime en "bauds".

- **Le débit binaire D** se définit comme étant le nombre de bits transmis par seconde. Il sera égal ou supérieur à la rapidité de modulation selon qu'un changement d'état représentera un bit ou un groupement de bits [83][89].

Le "débit binaire" $D = \frac{1}{T_b}$ s'exprime en "bits par seconde".

Pour un alphabet M-aire, nous avons la relation fondamentale : $T = nT_b$ soit $D = n R$.

Il y a égalité entre débit de source et rapidité de modulation uniquement dans le cas d'une source binaire (alphabet binaire).

La qualité d'une liaison est liée au taux d'erreur par bit :

$$\text{T.E.B} = \frac{\text{nombre de bits faut}}{\text{nombre de bits transmis}}$$

On notera la différence entre P_e et TEB. Au sens statistique, on a $P_e = E(\text{TEB})$. TEB tend vers P_e si le nombre de bits transmis tend vers l'infini.

- L'efficacité spectrale d'une modulation se définit par le paramètre $\eta = \frac{D}{B}$ et s'exprime en "bit/seconde/Hz". La valeur D est le "débit binaire" et B est la largeur de la bande occupée par le signal modulé.

Pour un signal utilisant des symboles M-aires, on aura : $\eta = \frac{1}{T.B} \log_2 M$ bit/sec/Hz.

Remarquons que pour B et T donnés, l'efficacité spectrale augmente, comme on pouvait s'y attendre, avec le nombre de bit/symbole $n = \log_2 M$. C'est en effet la raison d'être de la modulation M-aire.

IV-4 Principes de modulations numériques [89]

Le message à transmettre est issu d'une source binaire.

Le signal modulant, obtenu après codage, est un signal en bande de base, éventuellement complexe, qui s'écrit sous la forme :

$$c(t) = \sum_k c_k \cdot g(t - kT) = c_k(t) = a_k(t) + j b_k(t) \quad \text{avec } c_k = a_k + j b_k .$$

La fonction $g(t)$ est une forme d'onde qui est prise en considération dans l'intervalle $[0, T[$ puisque t doit vérifier la relation : $kT \leq t < (k+1)T$.

Dans les modulations MDA, MDP et MAQ, la modulation transforme ce signal $c(t)$ en un signal modulé $m(t)$ tel que :

$$m(t) = \operatorname{Re} \left[\sum_k c_k(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} \right]$$

La fréquence $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ et la phase φ_0 caractérisent la sinusoïde porteuse utilisée pour la modulation.

Si les $c_k(t) = a_k(t) + j b_k(t)$ sont réels ($b_k(t) = 0$), la modulation est dite unidimensionnelle, et s'ils sont complexes la modulation est dite bidimensionnelle.

Le signal modulé s'écrit aussi plus simplement :

$$m(t) = \sum_k a_k(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - \sum_k b_k(t) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Ou encore :

$$m(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b(t) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

En posant :

$$a(t) = \sum_k a_k(t) \quad \text{et} \quad b(t) = \sum_k b_k(t)$$

Le signal

$$a(t) = \sum_k a_k(t)$$

module en amplitude la porteuse en phase $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ et le signal

$$b(t) = \sum_k b_k(t)$$

module en amplitude la porteuse en quadrature $\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Dans la plupart des cas les signaux élémentaires $a_k(t)$ et $b_k(t)$ sont identiques à un coefficient près et ils utilisent la même forme d'impulsion $g(t)$ appelée aussi "formant".

$$a_k(t) = a_k \cdot g(t - kT) \text{ et } b_k(t) = b_k \cdot g(t - kT)$$

Les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$ sont aussi appelés "trains modulateurs" et s'écrivent :

$$a(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \text{ et } b(t) = \sum_k b_k \cdot g(t - kT)$$

Les symboles a_k et b_k prennent respectivement leurs valeurs dans l'alphabet (A_1, A_2, \dots, A_M) et dans l'alphabet (B_1, B_2, \dots, B_M) .

Le schéma théorique du modulateur est représenté sur la figure IV- 2.

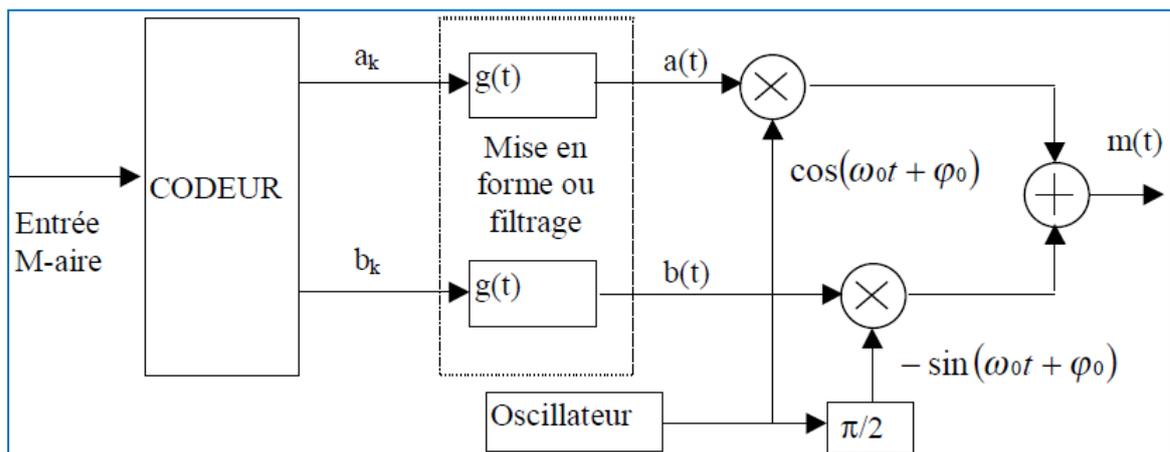


Figure IV-2 : Forme générale du modulateur

Les différents types de modulations sont définis par les alphabets décrits ici dessus et par la fonction $g(t)$. A chaque symbole émis correspond un signal élémentaire de la forme :

$$m_k(t) = a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b_k \cdot g(t - kT) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

qui peut être représentés (voir figure IV-3) dans un espace à deux dimensions dont les vecteurs de base sont:

$$g(t - kT) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ et } -g(t - kT) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ (décomposition de Fresnel).}$$

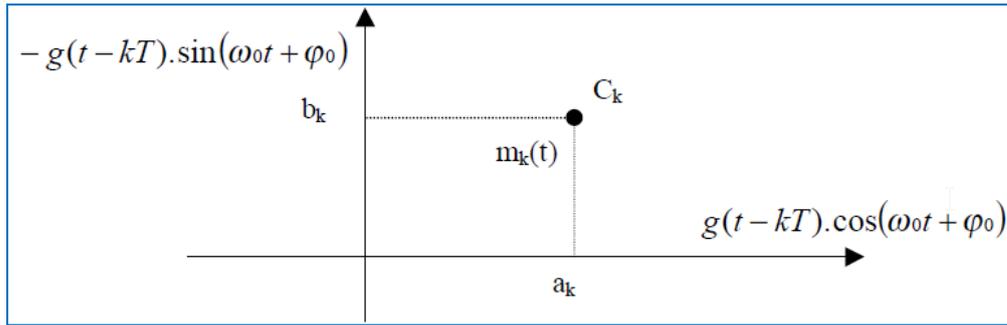


Figure IV-3 : Position d'un symbole dans le plan de Fresnel

Le signal modulé $m(t)$ véhicule des informations distinctes à travers $a_k(t)$ et $b_k(t)$ qui sont deux signaux en bande de base appelés respectivement *composante en phase* (I en anglais) et *composante en quadrature* (Q en anglais). La récupération de $a_k(t)$ et $b_k(t)$ sera possible uniquement si ces deux signaux sont de bande limitée à l'intervalle $[-B, B]$ avec $B < f_0$ (Condition de Rayghley).

Une représentation dans le plan complexe qui fait correspondre à chaque signal élémentaire un point $C_k = A_k + jB_k$ permet de différencier chaque type de modulation. L'ensemble de ces points associés aux symboles porte le nom de constellation.

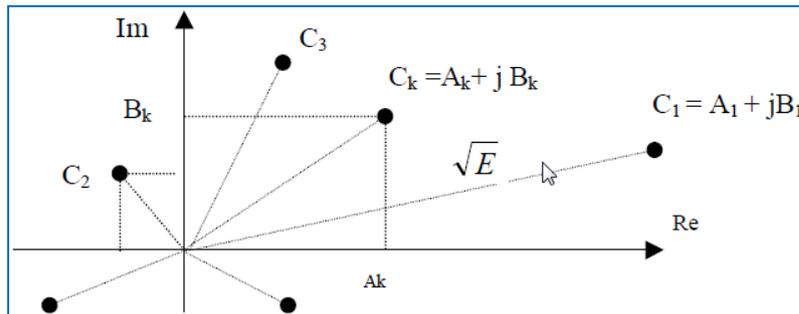


Figure IV-4 : Définition d'une constellation numérique

Le choix de la répartition des points dépend des critères suivants :

- Pour pouvoir distinguer deux symboles, il faut respecter une distance minimale d_{min} , entre les points représentatifs de ces symboles. Plus cette distance est grande et plus la probabilité d'erreur sera faible. La distance minimale entre tous les symboles est :

$$d_{\min} = \underset{i \neq j}{\text{Min}}(d_{ij}) \quad \text{avec} \quad d_{ij} = |C_i - C_j|^2$$

Ceci est à rapprocher avec la définition de la distance de Hamming.

- A chaque symbole émis correspond un signal élémentaires $m_k(t)$ et par là même une énergie nécessaire à la transmission de ce symbole. Dans la constellation, la distance entre un point et l'origine est proportionnelle à la racine carrée de l'énergie qu'il faut fournir pendant l'intervalle de temps $[kT, (k+1) T[$ pour émettre ce symbole.

La puissance moyenne d'émission des symboles est assimilable à

$$\sum_i |C_i|^2$$

et la puissance crête à

$$\text{Max}_i |C_i|^2$$

Les deux critères évoqués ci-dessus sont antagonistes puisque l'on serait tenté d'une part d'éloigner les symboles au maximum pour diminuer la probabilité d'erreur et d'autre part, de les rapprocher de l'origine pour minimiser l'énergie nécessaire à la transmission.

Les critères de choix d'une modulation sont :

- La constellation qui suivant les applications mettra en évidence une faible énergie nécessaire à la transmission des symboles ou une faible probabilité d'erreur.
- L'occupation spectrale du signal modulé.
- La simplicité de réalisation (avec éventuellement une symétrie entre les points de la constellation).

Remarque :

Concernant la Densité Spectrale de Puissance (DSP) du signal modulé $m(t)$, certaines formules du cours de Théorie du Signal [91] nous rappelle que si $\alpha_m(t) = x_c(t) + jx_s(t)$ représente le signal en bande de base de

$$m(t) = \text{Re} \left[\alpha_m(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \phi_0)} \right]$$

et si $\gamma_{\alpha_m}(f)$ est la densité spectrale de puissance de $\alpha_m(t)$ alors la DSP du signal modulé $m(t)$ sera :

$$\gamma_m(f) = \frac{1}{4} [\gamma_{\alpha_m}(f - f_0) + \gamma_{\alpha_m}(-f - f_0)]$$

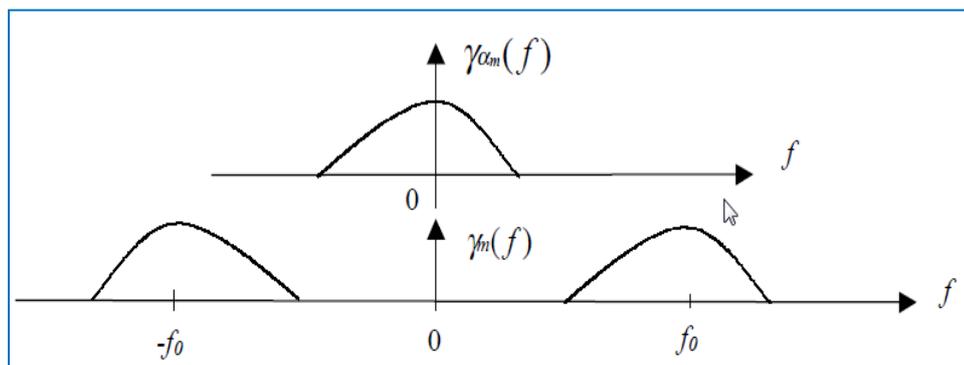


Figure IV-5 : Densité spectrale de puissance

Lorsque la modulation est linéaire, l'opération de modulation a pour effet dans la plupart des cas de translater la densité spectrale de puissance (DSP) du signal modulant.

La DSP du signal modulé $m(t)$ est aussi liée à la forme de l'onde $g(t)$, (qui sera souvent rectangulaire) par sa transformée de Fourier $G(f)$.

IV-5 Modulation par déplacement d'amplitude (MDA) [89]

Les Modulations par Déplacement d'amplitude (MDA) sont aussi souvent appelées par leur abréviation anglaise : ASK pour "Amplitude Shift Keying".

Dans ce cas, la modulation ne s'effectue que sur la porteuse en phase $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. Il n'y a pas de porteuse en quadrature. Cette modulation est parfois dite mono dimensionnelle. Le signal modulé s'écrit alors :

$$m(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

La forme de l'onde $g(t)$ est rectangulaire, de durée T et d'amplitude égale à 1 si t appartient à l'intervalle $[0, T[$ et égale à 0 ailleurs.

Rappelons que le symbole a_k prend sa valeur dans l'alphabet (A_1, A_2, \dots, A_M) . Autrement dit, cet alphabet met en évidence les $M = 2^n$ amplitudes possibles du signal, la valeur n désignant les groupements de n bits ou symboles à émettre. Les changements d'amplitude de la porteuse se produiront au rythme R de la transmission des symboles.

IV-5-1 Modulation par tout ou rien

Un exemple de modulation d'amplitude est la modulation (binaire) par tout ou rien encore appelée par son abréviation anglaise : OOK pour "On Off Keying".

Dans ce cas, un seul bit est transmis par période T , et par conséquent $n=1$ et $M=2$. Le symbole a_k prend sa valeur dans l'alphabet $(0, a_0)$. On observe donc sur un chronogramme des extinctions de porteuse quand $a_k = 0$ (figure IV-6).

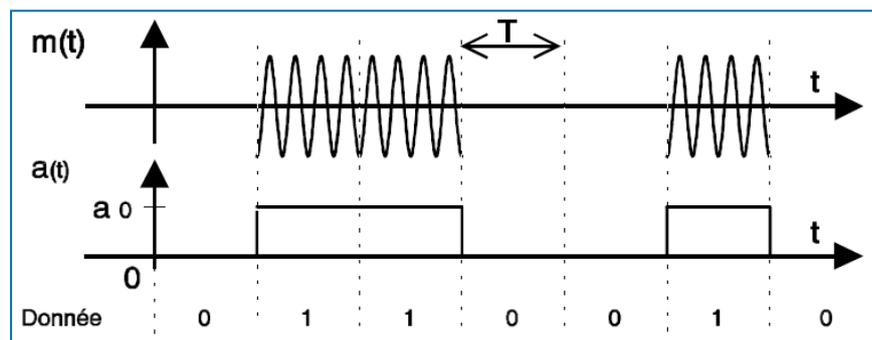


Figure IV-6 : Modulation d'amplitude par tout ou rien (OOK)

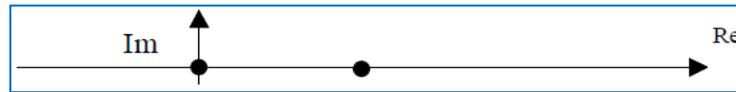


Figure IV-7 : Constellation de la modulation d'amplitude par tout ou rien (OOK)

A la réception, cette modulation d'amplitude est souvent démodulée par une détection d'enveloppe. En l'absence de bruit, l'élévation au carré du signal $m(t)$ donne un terme à la fréquence $2f_0$ qui sera éliminé par filtrage et un terme en bande de base proportionnel à

$$\sum_k a_k^2 \cdot g(t - kT)$$

qui est porteur de l'information puisqu'il contient a_k .

Le spectre du signal en bande de base est donné par BIC J.C. et al [90] :

$$\gamma_{\alpha_m}(f) = \frac{a_0^2 T}{4} \left(\frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right)^2 + \frac{a_0^2}{4} \delta(f)$$

Le spectre du signal modulé est le même décalé de $\pm f_0$ et comporte donc une raie aux fréquences $\pm f_0$.

IV-5-2 Modulation à "M ETATS"

Dans ce cas on utilise plutôt la modulation symétrique.

IV-5-2-1 Les constellations "MDA M Symétrique"

On a toujours $M = 2^n$ amplitudes possibles du signal, mais ici les valeurs de l'alphabet sont telles que : $A_i = (2i - M + 1) \cdot a_0$ avec $i = 1, 2, \dots, M$.

Suivant les valeurs de n on obtient le tableau suivant :

n	M	Valeurs de l'alphabet
1	2	$-1a_0, 1a_0$
2	4	$-3a_0, -1a_0, 1a_0, 3a_0$
3	8	$-7a_0, -5a_0, -3a_0, -1a_0, 1a_0, 3a_0, 5a_0, 7a_0$

La constellation de la modulation à M états symétriques est donnée figure IV-8 pour M prenant comme valeurs 2, 4 et 8.

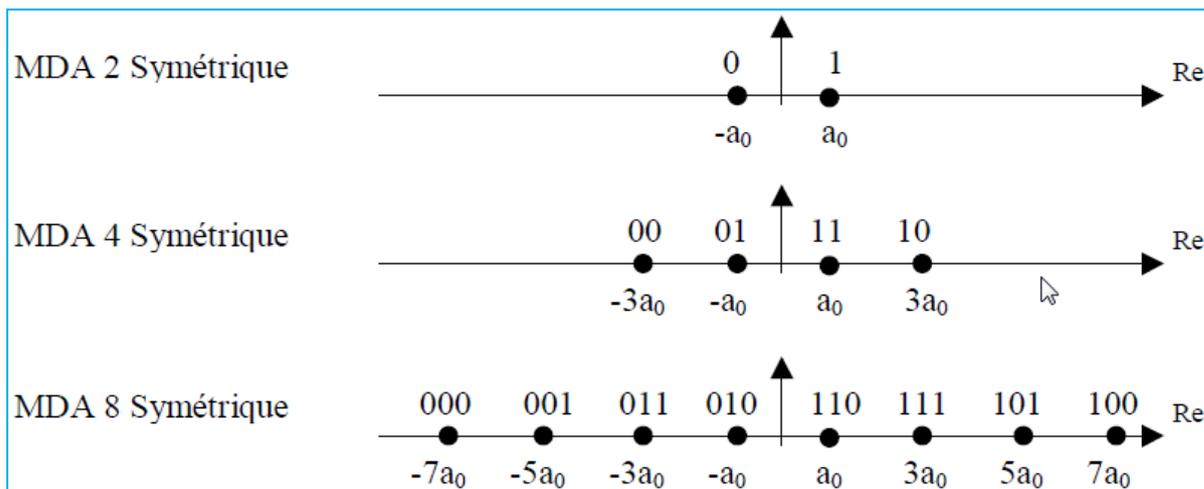


Figure IV-8 : Constellation de la modulation d'amplitude à M états

On remarquera que la disposition des symboles met en œuvre un code de Gray de telle sorte qu'un seul bit change lorsque l'on passe d'un point à un autre.

Chronogramme de "MDA 4 Symétrique"

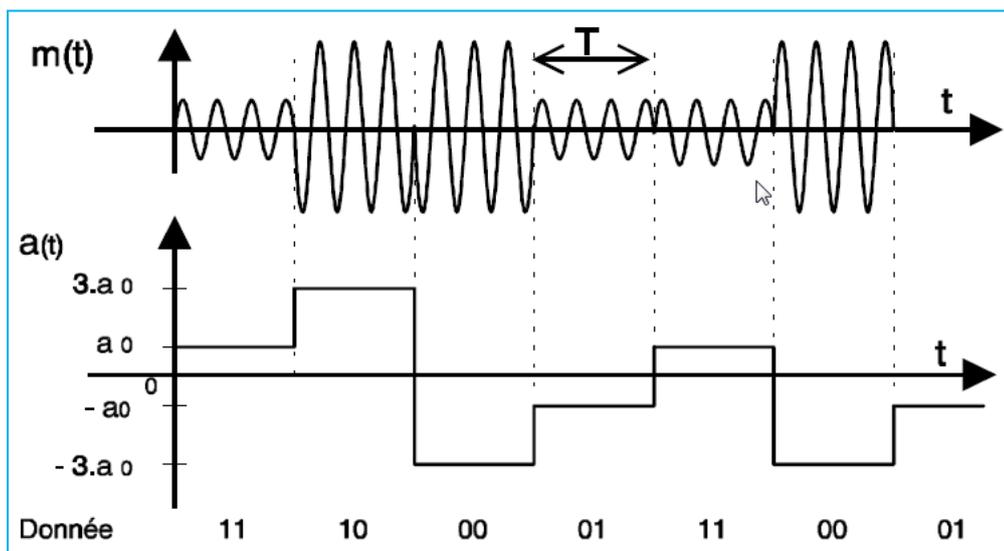


Figure IV-9 : Modulation d'amplitude MDA 4 Symétrique

La figure IV-9 met en évidence que deux bits sont transmis simultanément à chaque période T . Elle met aussi en évidence qu'il n'est pas question ici de pratiquer une détection d'enveloppe à la réception.

IV-5-2-2 Le spectre de la "MDA M Symétrique"

Le spectre du signal en bande de base ne présente pas de raie et s'écrit [90] :

$$\gamma_{cm}(f) = \frac{M^2 - 1}{3} a_0^2 T \left(\frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right)^2$$

Le spectre du signal modulé est le même décalé de $\pm f_0$

IV-5-3 Modulation et démodulation

Les figures IV-10 et IV-11 montrent respectivement un synoptique simplifié de la modulation et de la démodulation cohérente sur une seule porteuse.

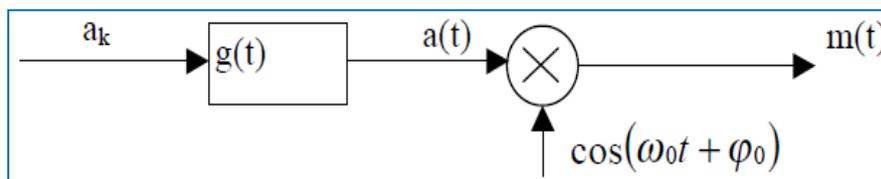


Figure IV-10 : Modulation sur une seule porteuse

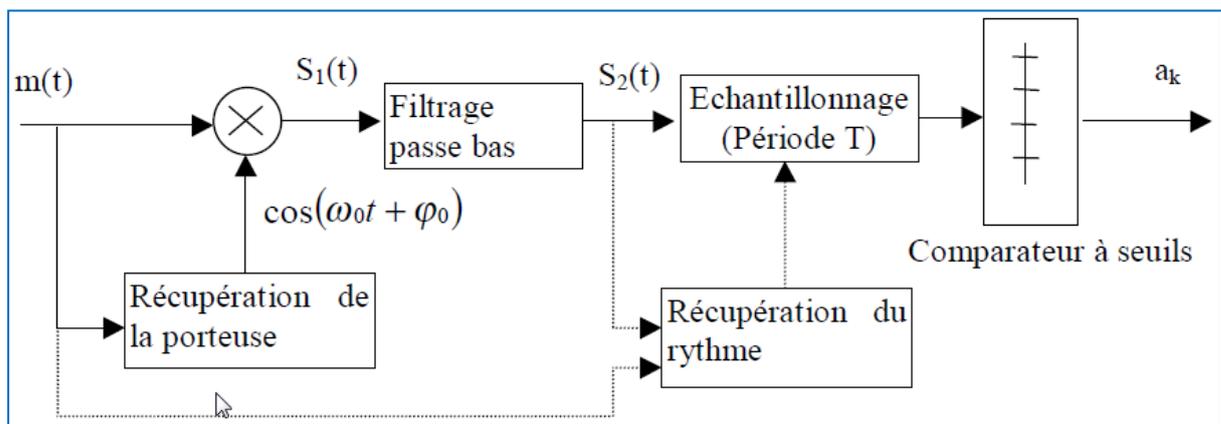


Figure IV-11 : Démodulation cohérente sur une seule porteuse

Coté récepteur, et en supposant qu'il n'y ait pas de bruit, si on multiplie le signal reçu

$$m(t) = \sum_k a_k . g(t - kT) . \cos(\omega_0 t + \phi_0)$$

par une onde sinusoïdale issue d'un oscillateur local $A_l \cos(\omega_0 t + \phi_l)$ on obtient :

$$S_1(t) = \sum_k a_k . g(t - kT) . \cos(\omega_0 t + \phi_0) . A_l \cos(\omega_0 t + \phi_l)$$

En développant cette expression et en éliminant le terme en $\cos(2\omega_0 t)$ par filtrage, on obtient :

$$S_2(t) = \frac{A_I}{2} \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi_l)$$

Donc, si le récepteur dispose d'un oscillateur local synchronisé en fréquence et en phase sur celui de l'émission, φ_0 sera proche de φ_l et, donc $\cos(\varphi_0 - \varphi_l)$ sera voisin de 1, et par conséquent

$$S_2(t) \approx \frac{A_I}{2} \sum_k a_k \cdot g(t - kT)$$

Ainsi, le signal $S_2(t)$ est à une homothétie près égale au train modulant

$$a(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT)$$

qui est lui même le signal porteur de l'information. Il reste encore au récepteur à récupérer le rythme, de période T , des symboles transmis, à échantillonner le signal $S_2(t)$ au milieu de chaque période, et à décider à l'aide d'un comparateur à $(M-1)$ seuils de la valeur a_k reçu.

IV-5-4 Les performances des "MDA M"

Pour pouvoir comparer les différentes modulations entre elles, il est d'usage d'exprimer la probabilité d'erreur en fonction du rapport $\frac{E_b}{N_0}$ dans lequel : E_b représente l'énergie émise par bit, N_0 représente la densité spectrale de puissance de bruit.

En fonction de ce rapport, on trouve en bibliographie [92] que la probabilité d'erreur par symbole est donnée par la relation :

$$P_s(e) = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{M^2 - 1} \cdot \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

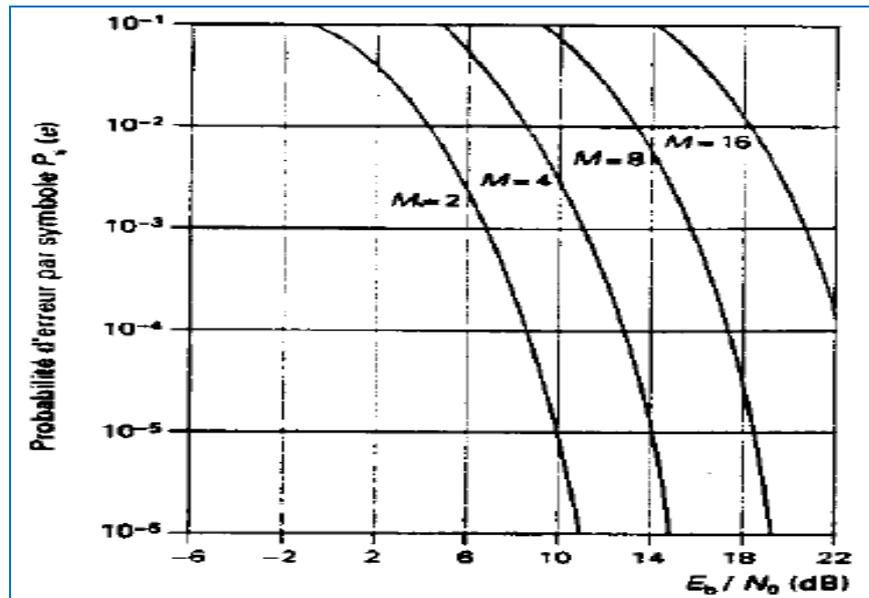


Figure IV-12 : Probabilité d'erreur par symbole de la MDA

Cette probabilité d'erreur par symbole $P_s(e)$ est tracée en fonction de $\frac{E_b}{N_0}$ et du paramètre M à la figure IV-12. On peut alors constater que pour conserver une probabilité d'erreur par symbole constante lorsque M augmente, il faut aussi augmenter le rapport $\frac{E_b}{N_0}$; Autrement dit, il faut augmenter l'énergie émise par bit E_b .

Pour $M = 4$, le rapport $\frac{E_b}{N_0}$ nécessaire à une probabilité d'erreur donnée est 4 dB plus grand que pour $M = 2$. Pour M grand, le rapport $\frac{E_b}{N_0}$ doit être augmenté de 6 dB chaque fois que l'on double M c'est-à-dire chaque fois que l'on ajoute un bit par symbole émis.

Du point de vue pratique, c'est la probabilité d'erreur par bit $P_b(e)$ qui est la plus importante à déterminer. Si on néglige la probabilité d'erreur entre symboles non voisins et si deux symboles voisins ne diffèrent que d'un bit (Code de Gray), alors la probabilité d'erreur par bit $P_b(e)$ peut s'écrire :

$$P_b(e) = \frac{P_s(e)}{\log_2 M}$$

car avec un symbole erroné, seulement un bit sur $n = \log_2 M$ est erroné.

IV-6 Conclusion sur la MDA

La tentation d'augmenter M (c'est à dire le nombre de bits transmis par symbole) est grande mais présente les avantages et les inconvénients suivants :

- *L'efficacité spectrale*

$$\eta = \frac{1}{TB} \log_2 M$$

Augmente, (pour une largeur de la bande B donnée).

- Malheureusement, la probabilité d'erreur par symbole $P_s(e)$ augmente aussi, et, pour ne pas la dégrader, il sera nécessaire d'augmenter l'énergie émise par bit E_b .

Finalement, ce type de modulation est simple à réaliser mais est assez peu employé pour $M > 2$ car ses performances sont moins bonnes que celles d'autres modulations, notamment pour sa résistance au bruit.

IV-7 Conclusion

L'extraordinaire variété des applications que nous venons d'exposer met en évidence l'importance capitale des différentes techniques de transmission numérique sur une porteuse.

Ce chapitre a été élaboré pour faire une description de la technique de la modulation numérique en spécifiant la modulation par déplacement d'amplitude (ASK).

Ce chapitre nous a permis de comprendre l'intérêt majeur des transmissions numériques qui réside dans la possibilité de leur insertion harmonieuse dans les réseaux numériques intégrés qui ne cesse de se développer de jour en jour.

Chapitre V :

Etude et Réalisation d'un Point de Réseaux HIS Électrocardiographique

V-1 Introduction

L'électrocardiographie (ECG) est une représentation graphique du signal électrique image de l'activité musculaire du cœur. Ce signal est recueilli par des électrodes au contact de la peau. L'électrocardiographe est l'appareil permettant d'enregistrer un électrocardiogramme, comme le montre la Figure V-1 [93].

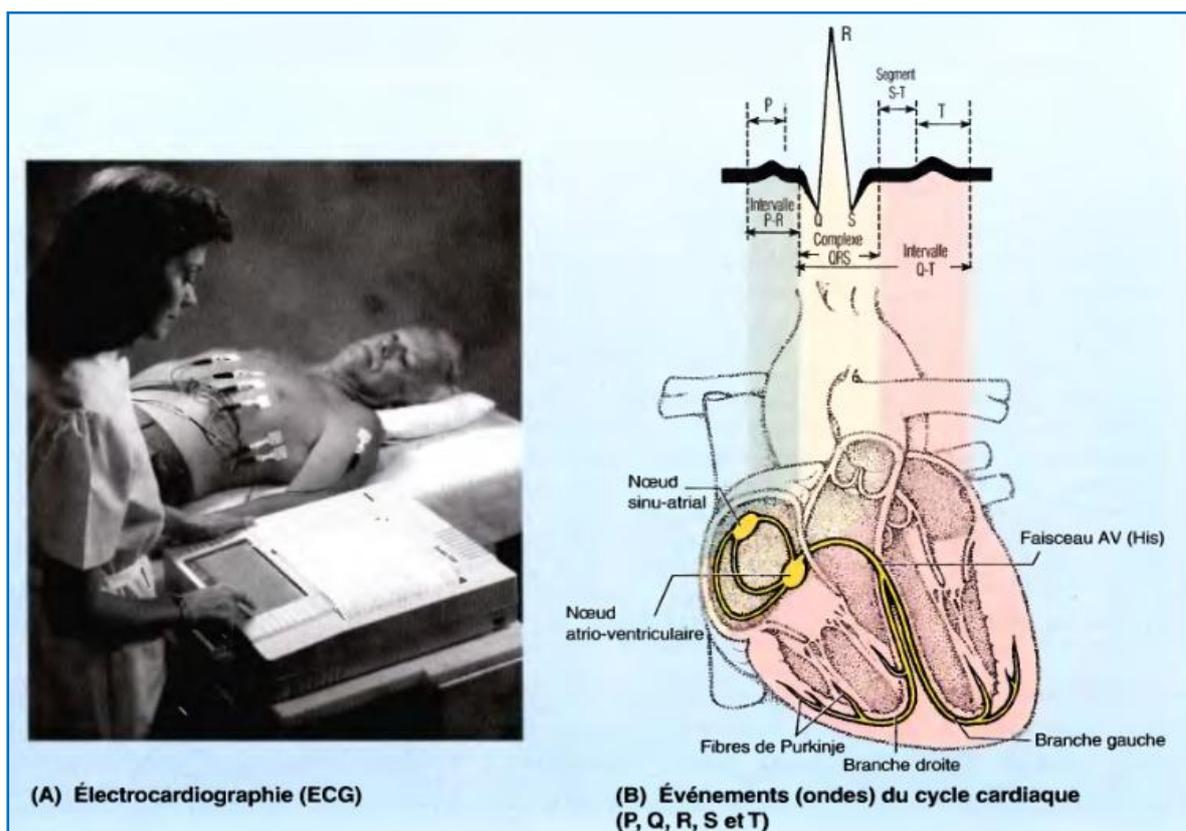


Figure V-1 l'électrocardiographie et les événements (ondes) du cycle cardiaque

L'utilisation d'un électrocardiographe est un examen rapide, indolore et non invasif, il est dénué de tout danger. Son interprétation reste cependant complexe et requiert une certaine expérience du domaine médical. Il permet de mettre en évidence diverses anomalies cardiaques et a une place importante dans les examens diagnostiques en cardiologie.

Le signal ECG est constitué d'impulsions de forme particulière, comme décrit dans la Figure V-2.

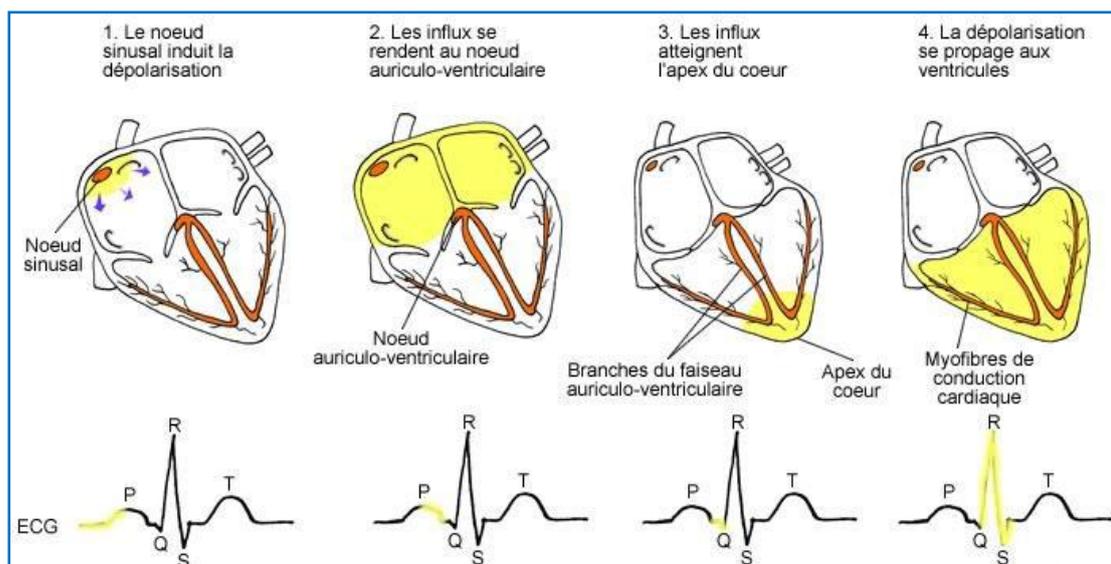


Figure V-2 : Explication des impulsions d'un ECG.

V-2 Description des ondes observées sur un ECG [94]

Comme déjà mentionné auparavant, un ECG est l'enregistrement de la partie de l'activité électrique du cœur arrivant à la surface du corps. Sur un ECG on peut observer des ondes caractéristiques présentant toutes une forme spécifique et correspondant à une activité électrique particulière (figure V-3)

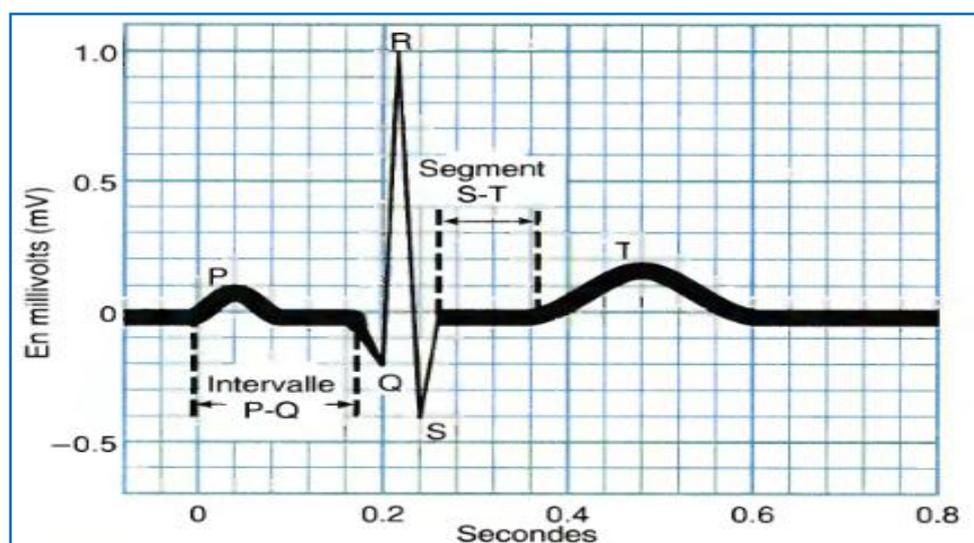


Figure V-3 Électrocardiogramme normal (dérivation II)

Dans un enregistrement typique de la dérivation II (bras droit à jambe gauche, figure V-3), trois ondes clairement reconnaissables accompagnent chacune des révolutions cardiaques.

La première, appelée **onde P**, est une petite onde ascendante. Elle représente la dépolarisation auriculaire, qui se propage du nœud sinusal à travers le myocarde des deux oreillettes. Une fraction de seconde (0,1 s) après le début de l'onde P, les oreillettes se contractent.

La deuxième onde, appelée **complexe QRS**, commence par une déflexion vers le bas, se poursuit sous la forme d'une grande onde triangulaire vers le haut, et se termine en une onde descendante. Ce complexe QRS représente la dépolarisation ventriculaire, c'est-à-dire la propagation de l'onde d'excitation électrique à travers les ventricules. Peu après le début du complexe QRS, les ventricules commencent à se contracter.

La troisième onde est **l'onde T**, une déflexion ascendante en forme de dôme. Elle indique la repolarisation ventriculaire et se produit juste avant le début de la décontraction des ventricules. L'onde T est plus petite et plus étendue que le complexe QRS parce que la repolarisation se fait plus lentement que la dépolarisation. D'habitude, la repolarisation auriculaire n'est pas visible dans un ECG, parce que le complexe QRS, plus grand, la masque.

En lisant l'électrocardiogramme, il est important de noter le volume des ondes et leur chronologie. Un élargissement de l'onde P, par exemple, indique une hypertrophie de l'oreillette, comme dans le cas d'une sténose mitrale. Dans ce cas, la valvule mitrale se rétrécit, le sang retourne dans l'oreillette gauche, et la paroi de l'oreillette se distend. Une onde Q élargie peut indiquer un infarctus du myocarde (crise cardiaque). Une onde R élargie indique généralement une hypertrophie ventriculaire.

L'intervalle P-Q se mesure à partir du début de l'onde P jusqu'au début du complexe QRS. Il correspond à la pause qui s'écoule entre le début de l'excitation auriculaire et le début de l'excitation ventriculaire. L'intervalle P-Q correspond au temps requis pour permettre à l'influx électrique de se propager à travers les oreillettes, le nœud auriculo-ventriculaire et le reste des fibres du système de conduction.

Dans le cas d'une cardiopathie coronarienne ou d'un rhumatisme articulaire aigu, par exemple, le tissu cardiaque est cicatrisé. Par conséquent, l'influx doit contourner le tissu cicatriciel et l'intervalle P-Q augmente.

Le segment S-T va de la fin de l'onde S au début de l'onde T. Il correspond à la période pendant laquelle les fibres ventriculaires contractiles sont entièrement dépolarisées, durant la phase de plateau de l'influx. Le segment S-T est élevé (au-dessus de la ligne de base) dans le cas d'un infarctus du myocarde aigu, et abaissé (au-dessous de la ligne de base) lorsque le muscle cardiaque ne reçoit pas suffisamment d'oxygène.

L'onde T correspond à la repolarisation ventriculaire. Cette onde est plus plate que la normale lorsque le muscle cardiaque ne reçoit pas suffisamment d'oxygène, comme dans le cas d'une maladie coronarienne. Son amplitude peut être plus grande lorsque le taux de potassium dans le sang est plus élevé. Il est parfois nécessaire d'évaluer la réaction du cœur à l'effort provoqué par l'exercice physique. On appelle ce genre de test électrocardiogramme d'effort ou épreuve d'effort. Il repose sur le principe que les artères coronaires rétrécies peuvent transporter une quantité suffisante de sang oxygéné lorsque la personne est au repos, mais qu'elles ne pourront répondre aux besoins accrus en oxygène du cœur durant un exercice, créant des modifications qui peuvent être enregistrées par un électrocardiogramme.

Alors toute anomalie (durée des différentes phases, forme des ondes, etc..) dans l'ECG donnera une indication sur une maladie cardiaque éventuelle.

V-3 L'ECG et le Triangle D'Einthoven

Notre but est l'affichage d'un signal ECG selon les trois axes du triangle d'Einthoven. Il faut donc savoir ce que c'est que le triangle d'Einthoven.

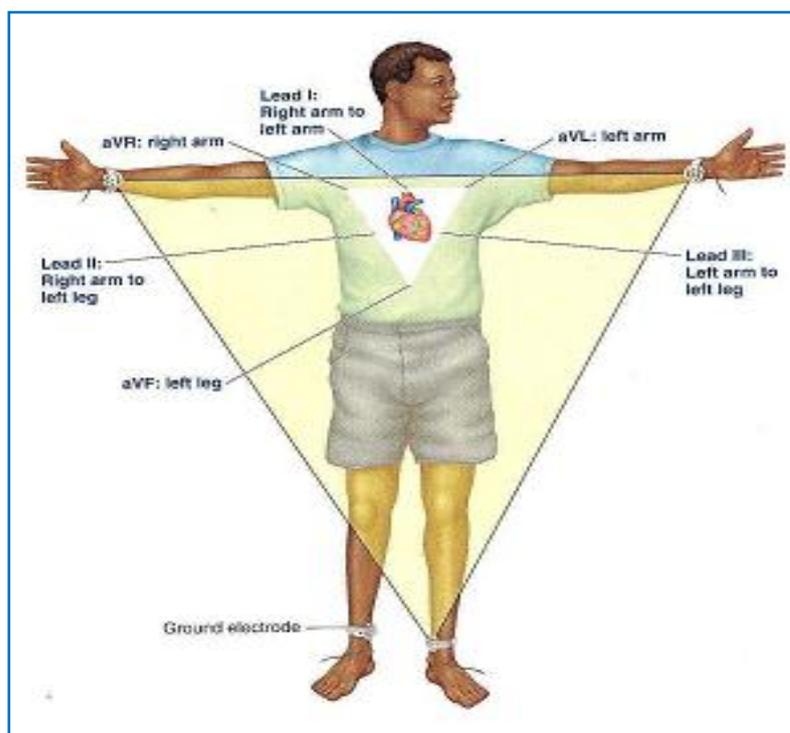


Figure V- 4 le positionnement des électrodes selon le triangle d'Einthoven

Les membres du corps peuvent être considérés comme étant des fils conducteurs linéaires. Lorsque l'on place trois électrodes aux racines de membres (bras droit, bras gauche, jambe gauche), elles peuvent être considérées comme électriquement équidistantes du cœur. Le cœur

se trouve donc d'un point de vue électrique au centre d'un triangle équilatéral dont les sommets sont les racines du bras droit, du bras gauche et de la jambe droite. Ce triangle est applé le triangle d'Einthoven.



Figure V-5 : la boucle décrite par le vecteur cardiaque dans l'espace

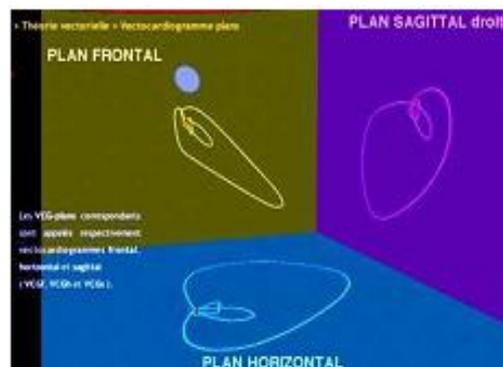


Figure :V-6 la projection de la boucle décrite par le vecteur dans les différents plans de l'espace

Le vecteur cardiaque, représentant la direction moyenne de l'onde de dépolarisation, décrit une boucle de forme complexe dans l'espace (figure V-5). Cette boucle peut être projetée dans les plans frontal, sagittal et horizontal (figure V-6).

L'enregistrement de l'ECG selon les trois axes du triangle d'Einthoven correspond à la projection dans le plan frontal et l'enregistrement selon un des axes du triangle représente la projection de courbe dans le plan frontal sur cet axe du triangle.

Lorsque le vecteur cardiaque est orienté vers l'électrode positive ceci se reflète par une déflexion positive sur l'ECG. Avec la convention du placement des électrodes positives et négatives indiquée sur la figure V-7 le signal à la même allure (onde P positive, complexe QRS, onde T positive) pour les trois axes et seulement l'amplitude change figure

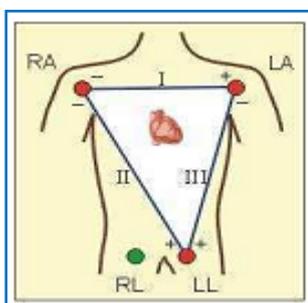


Figure V-7 : Le positionnement des électrodes et la convention d'électrodes positives et négatives



Figure V-8 : Le signal ECG observé selon les différents axes du triangle d'Einthoven

V-4 Description de l'électrocardiographie réalisée

Comme expliqué précédemment, notre but est de réaliser un capteur non invasif et non intrusif dédié à la télé surveillance de signal ECG du Patient au sein de l'HIS.

Pour cela, nous devons créer un système analogique et numérique qui nous permettra de récupérer le signal ECG, de le traiter, de le transférer vers la carte d'acquisition (numérisation), de l'émettre, de le recevoir et enfin de l'afficher dans le poste local du patient.

Le schéma bloc suivant décrit tout étage de cette chaîne

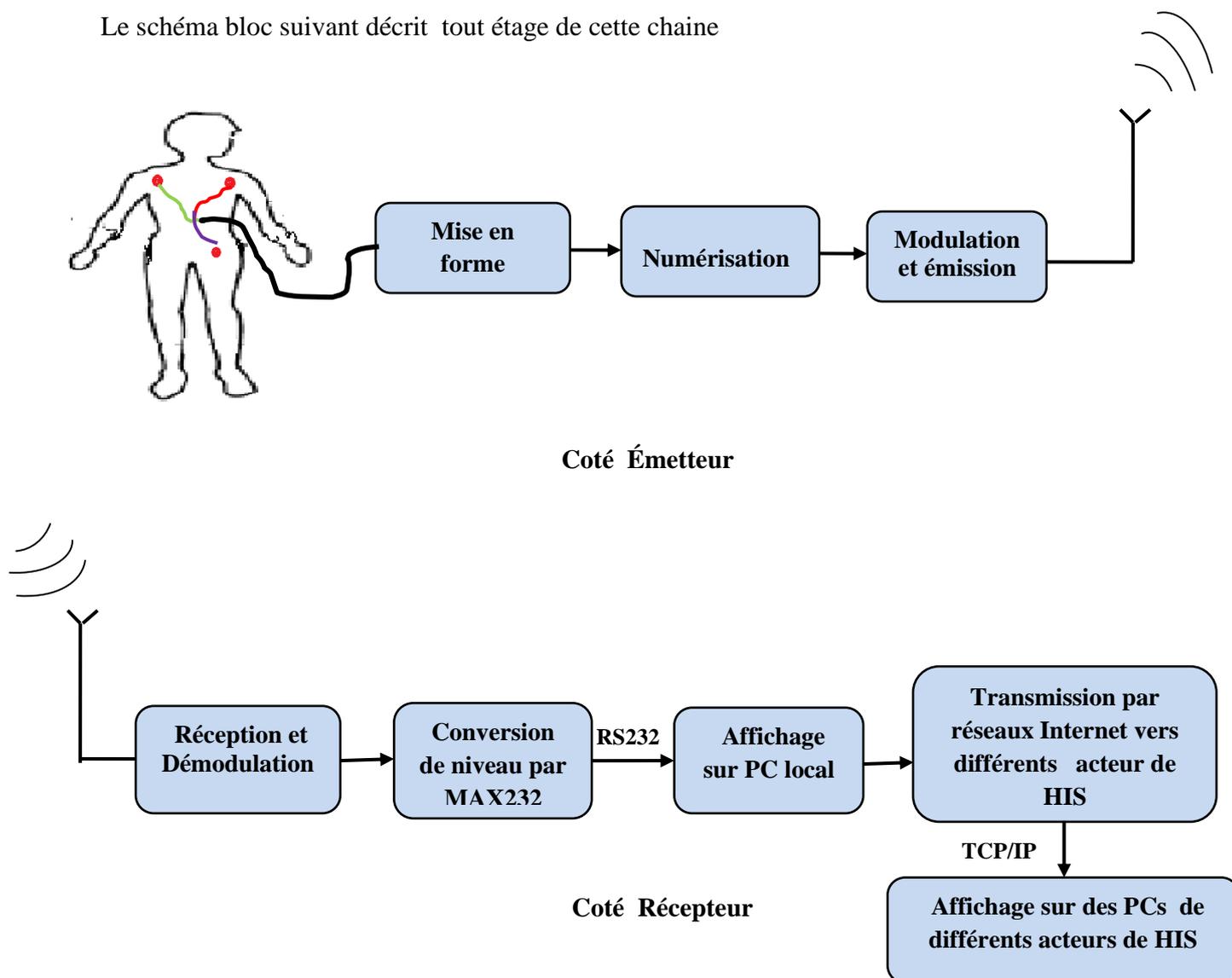


Figure V-9 : Schéma bloc de chaîne d'émission et de réception de signal ECG

Pour comprendre les deux schémas bloc (le coté émetteur et le coté récepteur) on va les analyser étage par étage.

V-5-1- Coté Emetteur

Dans cette partie nous présentons le travail que nous avons réalisé et les résultats obtenus tout en précisant les difficultés rencontrées à chaque étape et les solutions envisagées.

V-4-1-1 Les électrodes

Pour commencer, nous devons récupérer des signaux venant des électrodes placées sur le corps du patient. Ces électrodes sont positionnées suivant une méthode appelée méthode de dérivations. Pour notre cas, nous utilisons la méthode de dérivation frontale I comme décrit plus haut.

Pour le choix des électrodes voici certains de leurs critères :

- Etre suffisamment adhésive pour permettre des utilisations successives jour après jour ;
- Avoir une connectique électrode/circuit électrique qui soit fiable et compatible avec la connectique de nos circuits électrique.
- Permettre un très bon contact et rapport signal sur bruit maximal.
- Utilisation d'un gel pour l'adaptation entre les électrodes et le surface de corps.

V-4-1-2 Circuit de mise en forme du signal ECG

Nous plaçons donc nos électrodes sur le bras droit, le bras gauche et sur la jambe gauche. Les deux électrodes sur les bras nous permettent de relever le signal électrique (très faible) et celle sur la jambe, nous sert de masse virtuelle. Si nous voulons avoir l'image électrique de l'activité cardiaque, nous devons nous servir de la différence de potentiel entre les deux électrodes positionnées sur les bras.

Afin de récupérer cette différence de potentiel, nous allons nous servir d'un amplificateur d'instrumentation. Nous choisissons l'amplificateur opérationnel AD620 (voir datasheet en annexe

Le schéma V-10 représente le circuit complet de mise en forme du signal électro cardiographique.

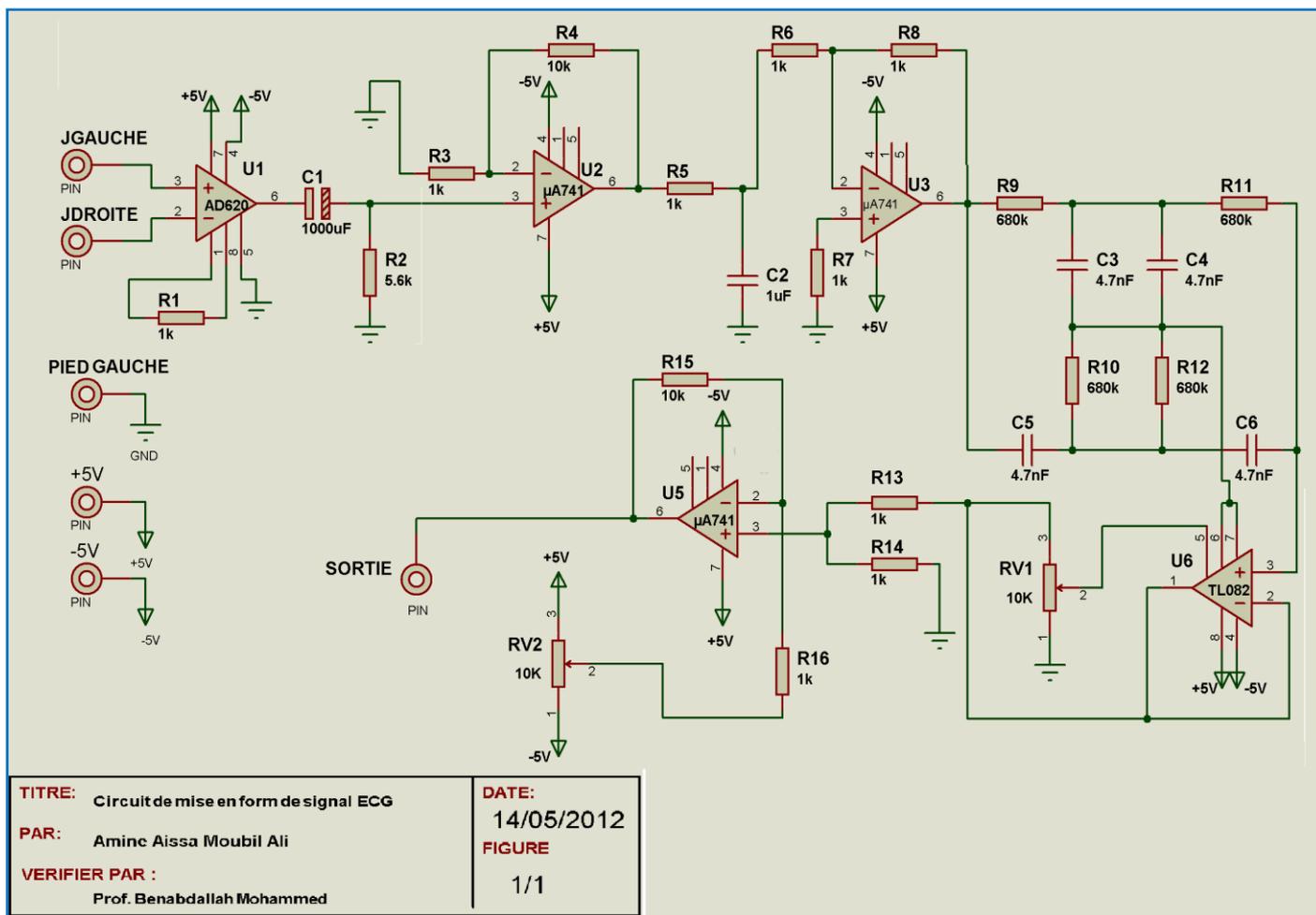


Figure V-10 : Circuit de mise en forme de signal ECG

V-4-1-3 Fonctionnement du montage de mise en forme

Nous allons détailler le fonctionnement de chaque partie du circuit que nous avons réalisé :

V-4-1-3-1 Récupération du signal

La récupération du signal se fait par le biais de trois électrodes bras droit, bars gauche, pied gauche. Cette étape reste néanmoins très simple à réaliser. Il faut cependant veiller à avoir une bonne connectivité entre les électrodes, les câbles et le montage pour limiter le bruit. L'idéal serait d'avoir des câbles blindés.

Nous pouvons voir que pour récupérer l'ECG, il nous faut étudier et réaliser deux fonctions électroniques :

- Amplification
- Filtrage

L'amplificateur d'instrumentation AD620

La différence entre les deux potentiels est faite grâce à un amplificateur d'instrumentation. Ces amplificateurs sont très utilisés car le taux de réjection du mode commun (TRMC) est très bon, ce qui permet de travailler avec des signaux de très faible amplitude et dans une large bande de fréquence.

Nous représentons ci-dessous le montage interne de l'AD620 ainsi que ses caractéristiques.

FEATURES

Easy to use

Gain set with one external resistor
(Gain range 1 to 10,000)

Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher performance than 3 op amp IA designs

Available in 8-lead DIP and SOIC packaging

Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)

50 μ V max, input offset voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift

1.0 nA max, input bias current

100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

Low noise

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise

0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

120 kHz bandwidth (G = 100)

15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

Weight scales

ECG and medical instrumentation

Transducer interface

Data acquisition systems

Industrial process controls

Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

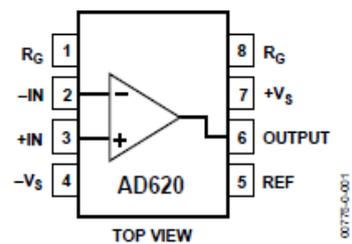
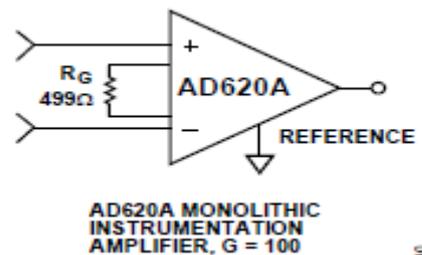
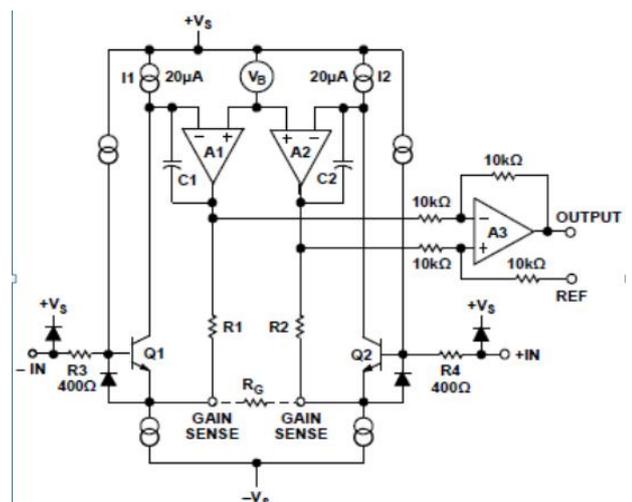


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages



AD620A MONOLITHIC INSTRUMENTATION AMPLIFIER, G = 100



On récupère en sortie de l'AD620 un signal correspondant à la différence des deux potentiels qui arrivent directement sur les électrodes.

L'amplificateur d'instrumentation est en fait composé de deux parties distinctes :

- Un étage d'entrée différentiel symétrique
- Un amplificateur de différence

Étage d'entrée différentiel symétrique

Le but de cet étage est fixer le gain des signaux d'entrée..

les Amplificateurs Opérationnels (AOPs) fonctionnent en régime linéaire (avec contre réaction) donc $V_+ = V_-$. La mise en équation est très simple, le courant circulant dans les deux résistances **R1** et **R2** sera donc le même, ce qui permet d'écrire : $G = (R1 + R2)/R_G + 1$.

R1 et **R2** ont la même valeur et sont égales à 24.7 kΩ.

i.e. Datasheet.

L'amplificateur de différence :

Cet étage est réalise la différence des deux tensions avec un gain unité car **R5** et **R6** sont égales. Ce qui donne

$$G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

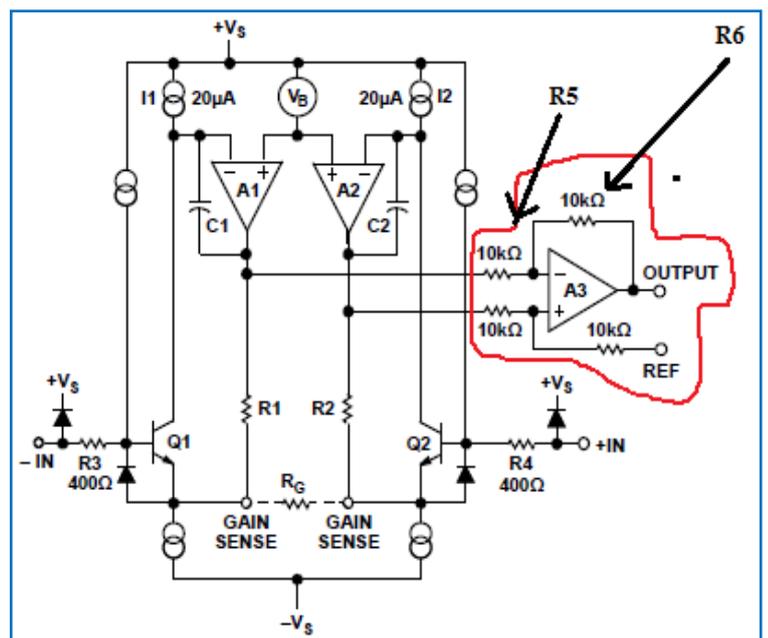
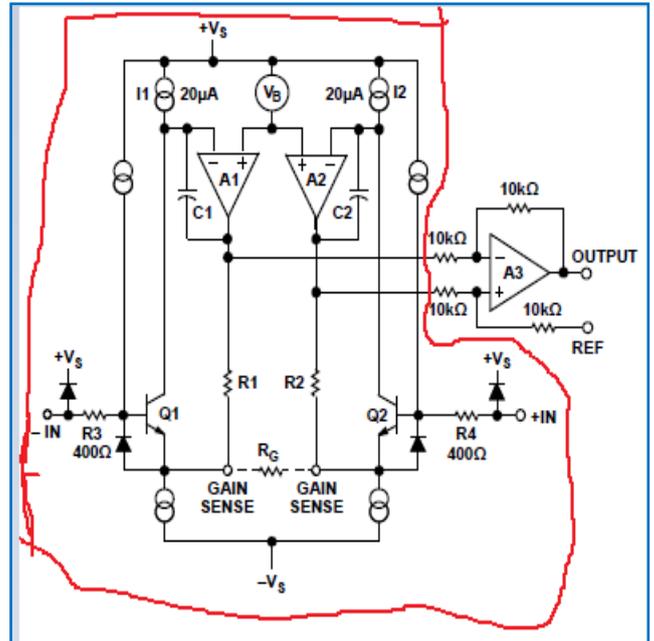
Le gain de l'amplificateur est réglable via la formule :

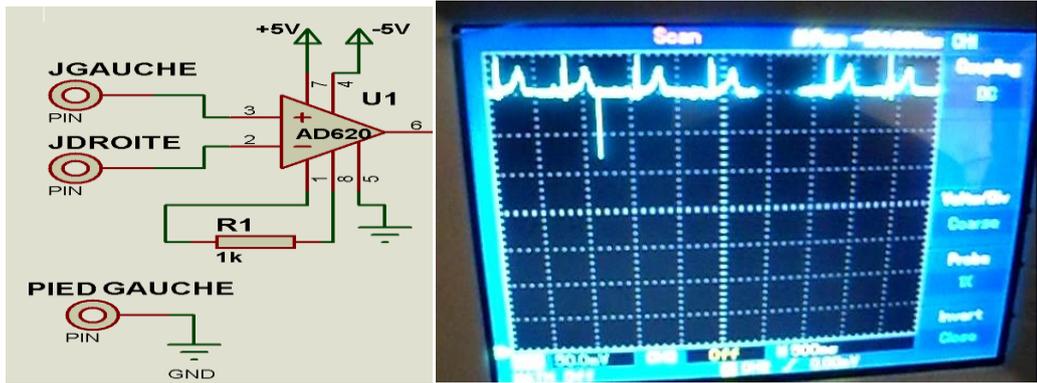
$$R_G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{G-1}$$

Dans notre cas, nous avons pris un gain

de 50, en choisissant une résistance

$R_g = 1\text{k}\Omega$





Sur cet oscilloscope, nous voyons déjà la forme du signal apparaitre mais nous remarquons qu'il est de faible amplitude, bruité et contenant une composante continue. C'est pour cela que nous devons effectuer des filtrages et une amplification afin de récupérer un signal net et compris entre 0 et +5V pour pouvoir l'envoyer sur le PIC16F876A.

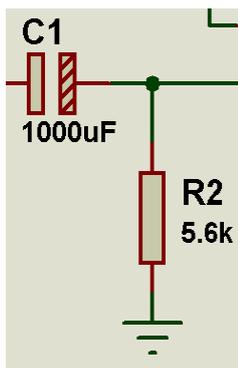
V-4-1-3-2 premier filtrage

Pour commencer, nous effectuons un 1^{er} filtrage à l'aide d'un filtre passe haut (CR) passif du premier ordre afin de supprimer la composante continue du signal. Le calcul de la fréquence de coupure du filtre est le suivant :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

On prend la valeur du condensateur $C = 1000\mu\text{F}$. Nous avons donc :

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,03 \cdot 1000 \cdot 10^{-6}} = 5.3 \text{ K}\Omega$$



Représentation de l'ECG sans composante continu.

V-4-1-3-3 Amplification

L'amplification du signal est nécessaire et obligatoire afin de pouvoir envoyer le signal sur la carte de numérisation. Comme nous pouvons le voir sur l'oscilloscope l'amplitude du signal (Vs) est environ de **500mV**. Vu que nous voulons un signal compris entre 0 et + 5V, nous devons utiliser un montage amplificateur non inverseur avec un gain d'amplification suivant :

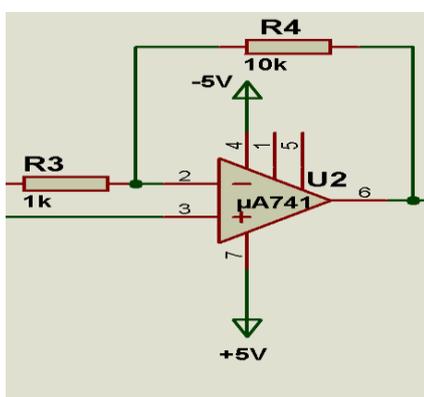
$$G2 = \frac{Vs}{Ve} = \frac{5V}{500mV} = 10$$

Connaissant l'amplification, nous pouvons en déduire les valeurs des deux résistances nécessaires à la réalisation de cette amplification grâce à la formule de l'AOP non inverseur :

$$G2 = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$$

$$\frac{R2}{R1} = 9$$

Nous prenons alors $R1=1k\Omega$ alors $R2 = 10*1k\Omega = 10k\Omega$



Sur l'oscillogramme, nous pouvons remarquer que le signal est effectivement amplifié jusqu'au niveau + 2,2V voulu mais qu'il y a toujours un bruit, due aux parasites notamment électro myographique mauvais contact des électrodes etc., c'est pour cela que nous allons maintenant effectuer un second filtrage afin de supprimer ce bruit.

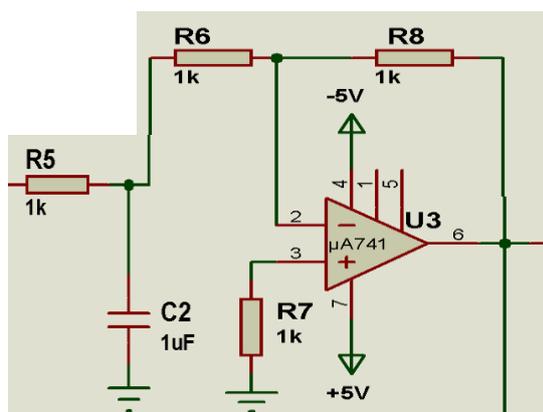
V-4-1-3-4 Deuxième filtrage

Nous implémentons un filtre passe bas (RC) afin que les fréquences gênantes précédemment citées soient fortement atténuées.

Pour cela on a utilisé un filtre passif du premier ordre de fréquence de coupure

$$f_c = 160 \text{ Hz}$$

Nous utilisons par la suite un étage adaptateur d'impédance autour d'un AOP $\mu A741$



Lors de récupération de la sortie de ce étage à l'oscilloscope nous remarquons qu'il y a toujours une raie très importante sur le 50Hz, dûe au secteur d'alimentation, c'est pour cela que nous allons maintenant effectuer un troisième filtrage afin de la supprimer.

V-4-1-3-5 Troisième filtrage

Pour réaliser ce filtre, nous allons implémenter un filtre de rejeteur du 50 Hz actif afin de pouvoir régler le gabarit suivant ce que nous souhaitons et ainsi avoir une atténuation de l'ordre de 40dB pour atténuer aux maximums l'effet de fréquence du secteur. Pour cela, nous établissons le gabarit du filtre, ci-dessous (Figure V-11), afin de mieux visualiser nos attentes.

Vu que nous avons déjà notre amplification qui est réglée, nous allons nous porter vers un filtre qui n'ajoutera pas de gain et le fait de vouloir une pente de -40dB nous dirige vers un filtre éjectif. Avec ces données, notre choix se porte sur un filtre Twin T Notch avec le TL082 ayant comme fréquence de coupure $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 680 * 10^3 * 4,7 * 10^{-9}} = 49,80 \text{ Hz}$. On utilise un potentiomètre pour ajuster la fréquence de coupure.

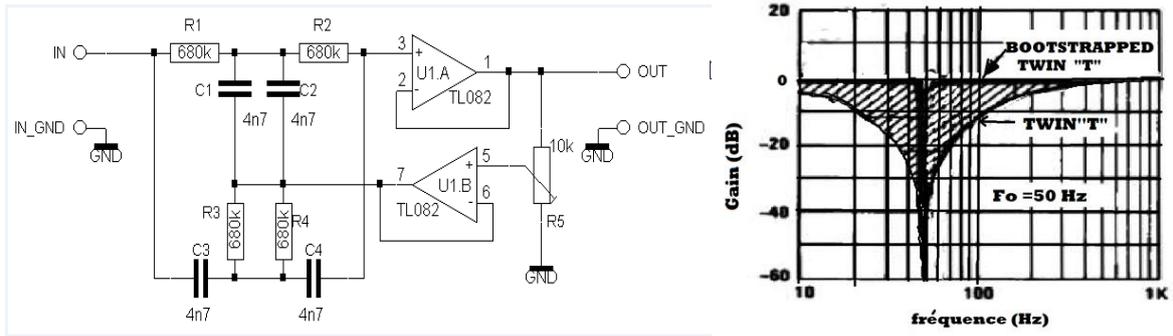
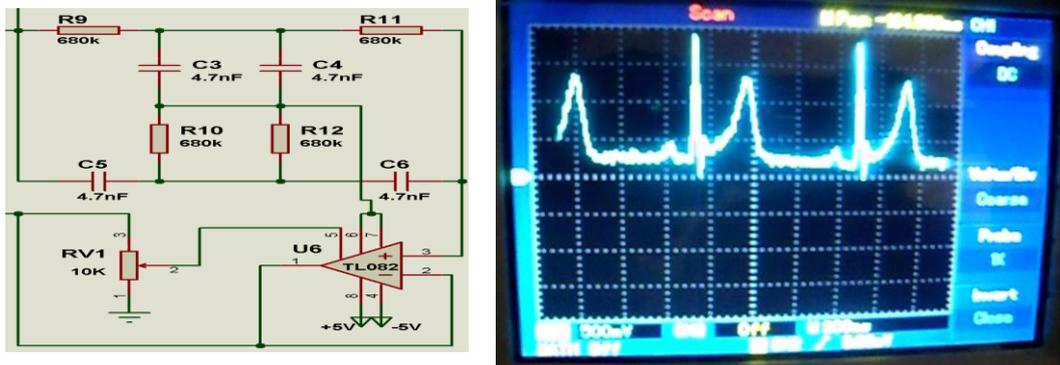


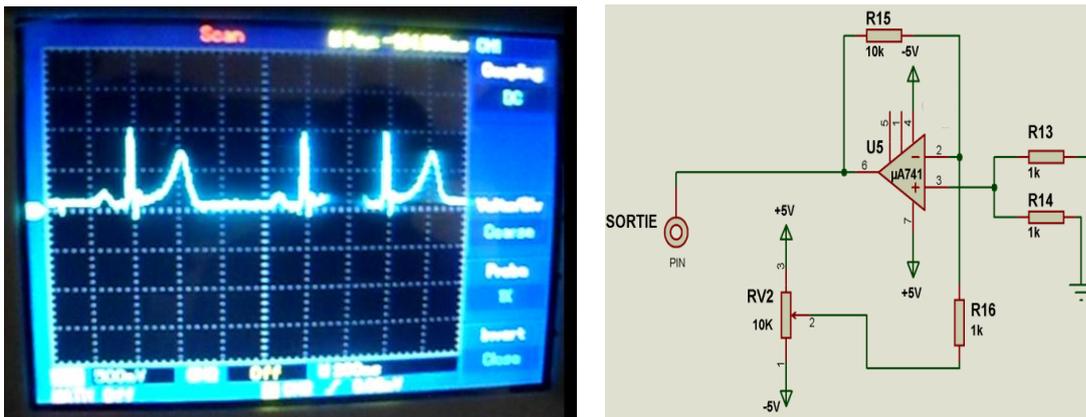
Figure V-11 : Circuit de filtre TWIN "T" et son gabarit

Nous obtenons sur l'oscilloscope un ECG débarassé du parasitage dû au 50 Hz.



V-4-1-3-6 Réglage de ligne de base

Le dernier étage est l'amplificateur U5 (de type $\mu A741$) permet de régler la ligne de base afin de la rendre compatible avec le microcontrôleur.



V-4-1-4 Numérisation

Cet étage permet le passage du mode analogique au mode numérique souvent désignée par le terme CODEC (codeur décodeur).

L'étage de numérisation est réalisé autour d'un microcontrôleur en l'occurrence le PIC16F876A. En fait ce composant est utilisé pour gérer toutes les procédures de multiplexage, d'échantillonnage, de conversion analogique digitale et de transmission des données vers l'étage de modulation et émission (module HF).

La figure V-12 montre le circuit réalisé

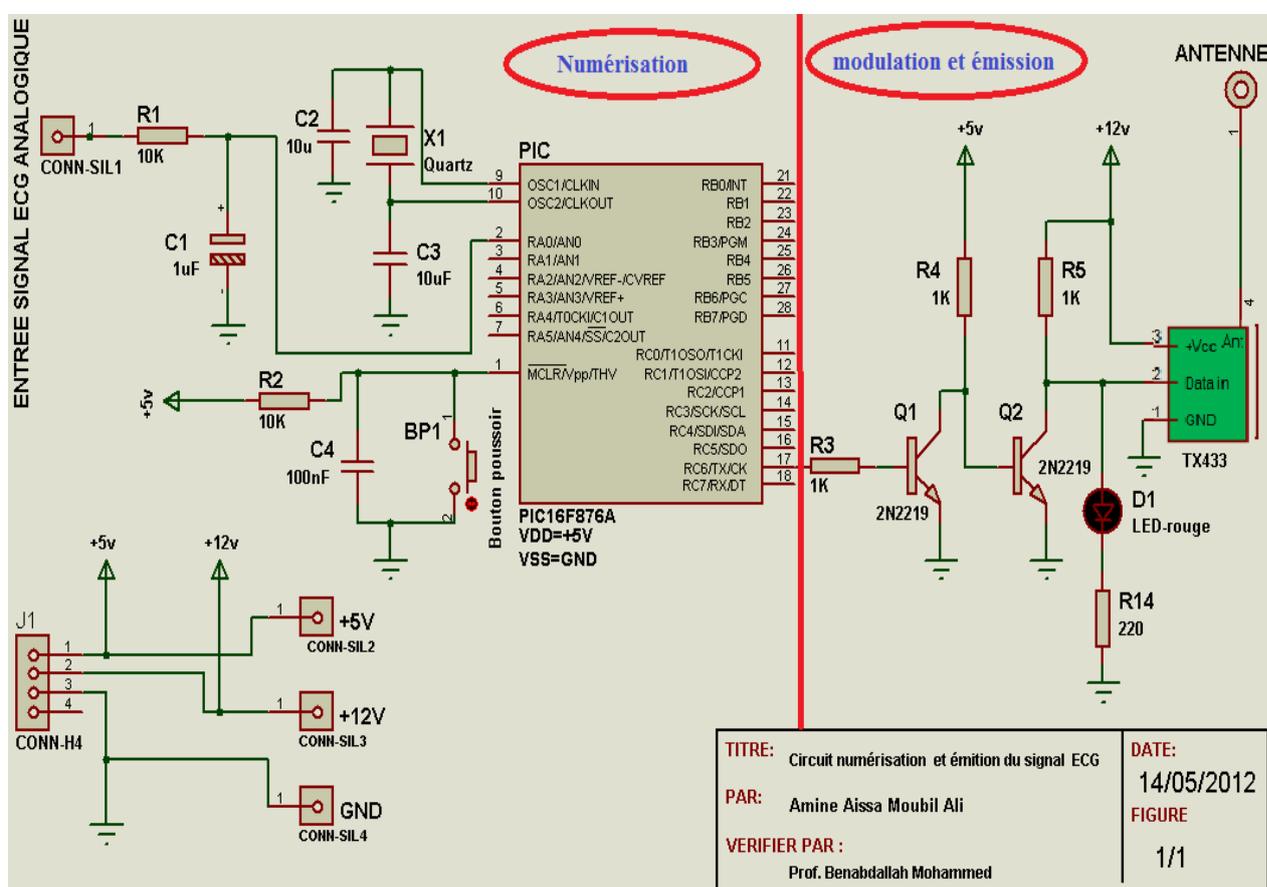


Figure V-12 : Circuit numérisation et émission du signal ECG

Evidemment, le cœur du circuit est représenté par le microcontrôleur PIC16F876A, programmé de façon à gérer, en utilisation normale, l'acquisition périodique du signal ECG provenant de la sortie de dernière étage de circuit de mise en forme U5, et numériser les données et les envoyer vers le module HF pour la transmission hertzienne point à point en temps réel moyennant une modulation numérique ASK 16 aire.

V-4-1-4-1 Le fonctionnement normal

Cela dit, poursuivons en analysant le programme du microcontrôleur qui, après avoir initialisé les ports d'E/S, il active la routine de fonctionnement normal.

A partir de l'instant où est appliquée la tension d'alimentation, le programme principal procède à l'initialisation des E/S, assignant les broches 2, 4, 5,6, et 7 du port A comme entrées analogiques et les broches 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17, comme sorties numériques.

La broche 2 (RA0) sert, quant à elle, à l'acquisition de la tension produite par le capteur du signal ECG.

Quant aux sorties, la broche17 (PC6) commande directement la base du transistor Q1, relié au transistor Q2, qui sert d'élément de commande de module d'émission HF.

La donnée est générée en continu, mais seulement en présence d'une variation de signal à l'entrée de PIC16F876A. Donc, dans des conditions normales, le microcontrôleur ne génère aucun signal et l'émetteur reste éteint.

Les valeurs de tension de l'ECG sont transformées en données digitales en utilisant le convertisseur A/D (analogique/digital) interne du PIC16F876A. Le résultat de la conversion est codé sur 10 bits.

Pour digitaliser ces valeurs analogiques du potentiel que le capteur produit en fonction de la variation du signal ECG il faut configurer le convertisseur A/D en lui donne un temps de conversion et période d'échantillonnage absolument déterminé et suffisant pour terminer correctement son rôle (c.à.d. temps d'acquisition).

Le module **Timer0 interne** du PIC16F876A (TMR0) est utilisé pour faire les durées de cadencer l'exécution cyclique des mesures de la tension produite par le capteur ECG.

Le **temps de conversion** est égal à $12 * T_{AD}$, T_{AD} est le temps de conversion d'un bit, il dépend de la fréquence du quartz et du pré diviseur (div) choisi : $T_{AD} = \text{div} \times 1/\text{fosc}$. Le choix de div doit être ajusté pour que T_{AD} soit $\geq 1,6$.

La **période d'échantillonnage** T_e doit être supérieur ou égale à $T_{\text{emin}} = T_{\text{CONV}} + 2T_{AD} + T_{\text{ACQ}}$

Avec :

$$T_{\text{CONV}} = 12 T_{AD}$$

$2T_{AD}$: le temps d'attente assigné après chaque conversion.

T_{ACQ} : Temps d'acquisition, $T_{\text{ACQ}} = T_C + CT + 2 \mu\text{s}$

Avec T_C : temps de charge du condensateur.

CT : Coefficient de température.

La fréquence d'échantillonnage max est donc

$$f_{\text{emax}} = 1/T_{\text{emin}}$$

Dans notre cas

- $T_{\text{ACQ}} = 19.7 \mu\text{s}$ caractéristique du micro contrôleur donnée par le constructeur.

- $T_{\text{CONV}} = 12 T_{\text{AD}} = 19.2 \mu\text{s}$

- $T_{\text{emin}} = 42.1 \mu\text{s}$

Si on tient compte de la règle de Shannon ($f_e > 2f_{\text{emax}}$), on constate que l'on peut échantillonner de signal dont la fréquence ne dépasse pas $1/2(f_{\text{emax}})$.

Le **Valeur numérique obtenue** : Si on note : $Q =$ pas de quantification $= (V_{\text{ref+}} - V_{\text{ref-}})/1024$

$V_a =$ tension analogique à convertir

$N =$ valeur numérique obtenue,

$$N = \text{valeur entière de } (V_a - V_{\text{ref-}}) / Q$$

Avec $V_{\text{ref-}} =$ masse, on obtient $N = \text{int}(V_a / Q)$

Exemple : $V_{\text{ref+}} = V_{\text{DD}} = 5\text{V}$, $V_{\text{ref-}} = 0$ et $V_{\text{in}} = 4\text{V}$

$$Q = 5\text{V}/1024 = 0,0048828125\text{V}$$

$$N = 4\text{V} / 0,0048828125 = 819$$

Ces données digital sont transmises à travers le broche 17 (RC6/TX) du PIC par le modules de communication **USART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) en série et en mode asynchrone à une vitesse de 1200 Baud au module HF qui se charge de les moduler et en fin les rayonner à l'air.

Nous travaillerons en asynchrone. Pour envoyer ou recevoir une donnée, tout se fait sur des registres, il suffit d'écrire ou de lire les registres.

Il y a deux registres TXSTA et RCSTA pour configurer l'USART, et un troisième SPBRG qui permet de régler la vitesse de transmission.

V-4-1-4-2 L'organigramme du programme de microcontrôleur (PIC16F876A)

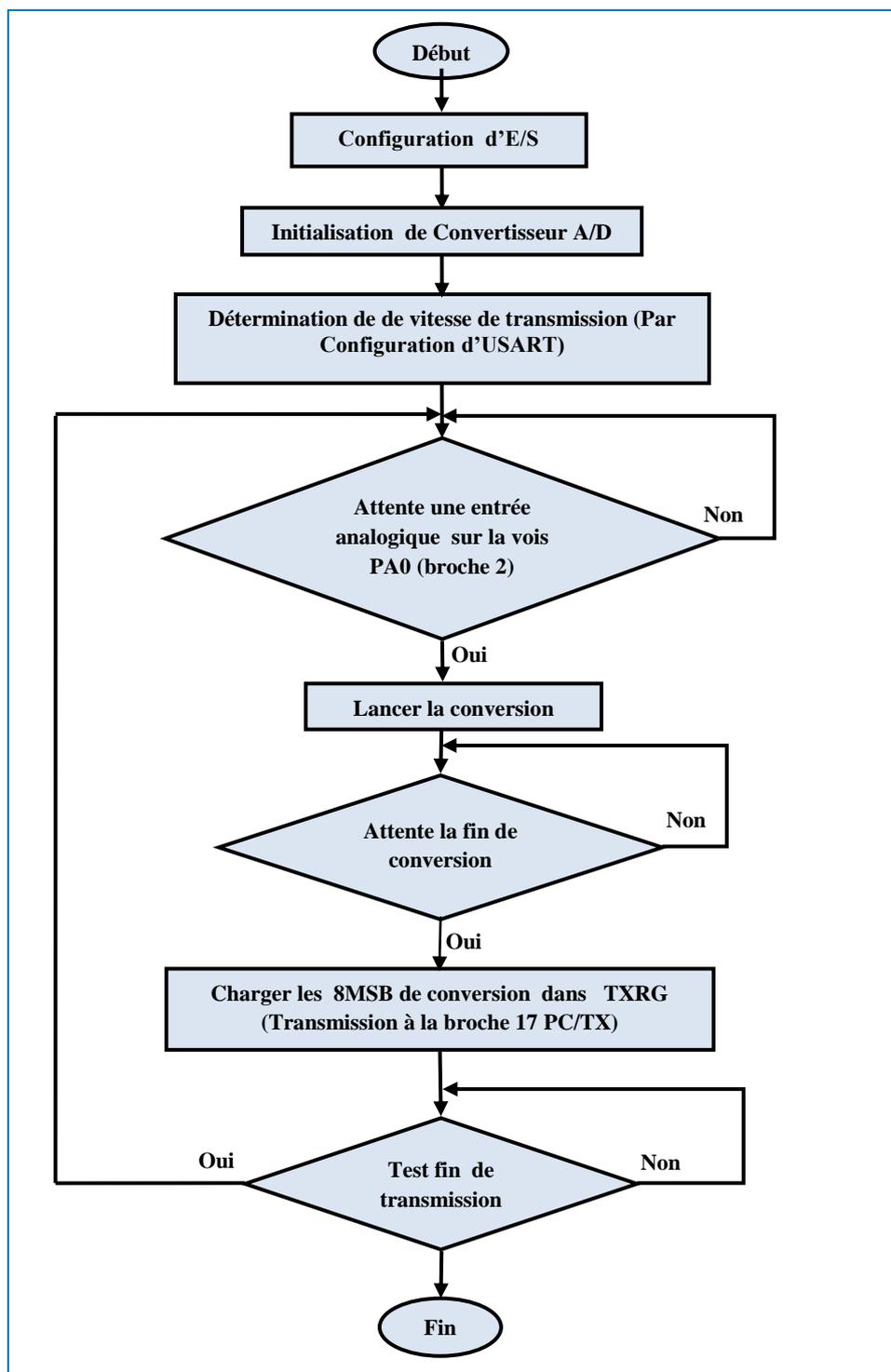


Figure V-13 Organigramme du programme implanté dans le microcontrôleur (PIC16F876A) de Microchip.

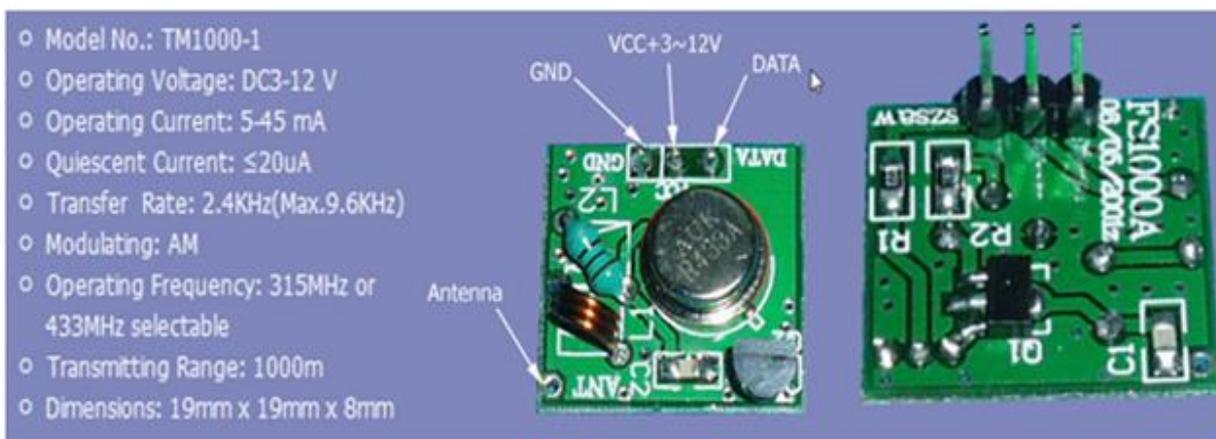
V-4-1-5 Modulation et émission

La transmission radio est un peu plus compliquée que de communication par câble, car on ne sait jamais quels sont les signaux radio présents dans l'air.

En fait, la plus grande partie de la complexité du système se trouve résolue par le module HF.

Les communications radio entre le capteur ECG et le PC peut être facile lorsque les modules hybrides sont utilisés. Les modules bon marché en radio fréquence sont : TX433 et RX433 (ou similaire) figure V-14.

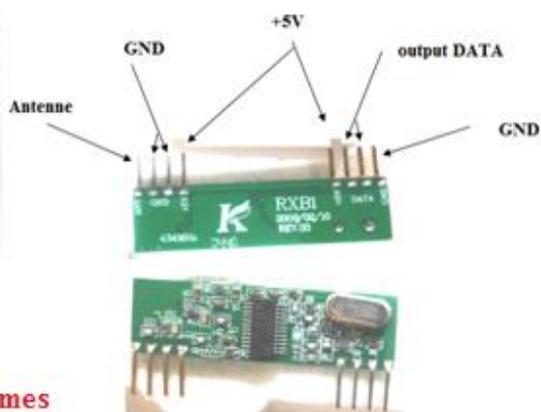
Lors de notre travail, nous nous sommes intéressés aux modulations numériques (Modulation en ASK (voir chapitre IV)).



(A) Emetteur TX

Receiver Characteristics

Parameter	Symbol	Condition	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Sensitivity	P _{rec}	V _{cc} =5.0V, T _A =27°C		-105		dBm
		BER=3/100, 2Kbps	315MHz			
			433.92MHz	-104		dBm
ASKOUT logic HIGH	V _{OH}	I _{load} = 10uA	0.7*V _{cc}			V
ASKOUT logic LOW	V _{OL}	I _{load} = 10uA		0.3*V _{cc}		V
Supply current	I _{cc}			3		mA
Supply voltage Range	V _{cc}		+4.75	+5	+5.25	V
Data Rate			300	1K	4-5K	bps



(B) Récepteur RX



(c) TX et RX comapré ses volumes avec le 20 dinare

Figure V-14 : Image de l'émetteur (TX) et le récepteur (RX) du module hybride

L'émetteur et le récepteur sont réglés pour fonctionner correctement à 433 MHz. L'émetteur peut être alimenté à partir de 3 à 12V et le récepteur accepte 5V. 5V est commun pour les microcontrôleurs PIC donc pas de problèmes d'interfaçage. Néanmoins si on veut profiter de la puissance maximale de l'émetteur il faut l'alimenter à +12V et ajouter deux antennes de longueur 30 à 35 cm ($\frac{1}{4}$ de longueur d'onde) (longueur d'onde = vitesse de lumière/fréquence). Ces Modules utilisent la modulation d'amplitude (Amplitude Shift Keying – ASK voir chapitre IV) et utilisent une bande passante de 1 MHz. le signal ECG transmis a été codé comme on a vu précédemment par le PIC 16F876A en utilisant le codage matériel USART pour former des paquets de donnée de 8 bits (dans notre cas 2 bits dispersées).

L'octet à transmettre est envoyé bit par bit (**poinds faible en premier**) par l'émetteur HF vers le récepteur qui le reconstitue.

La transmission étant du type asynchrone (pas d'horloge commune entre l'émetteur et le récepteur), des bits supplémentaires sont indispensables au fonctionnement: bit de début de mot (**start**), bit(s) de fin de mot (**stop**).

D'autre part, l'utilisation éventuelle d'un bit de **parité**, permet la détection d'erreurs dans la transmission.

En l'absence de transmission, le niveau de la liaison est 1 (niveau de repos).

Les bits sont transmis les un après les autres, en commençant par le bit de poids faible. Le premier bit est précédé d'un bit START (niveau 0). Après le dernier bit, on peut transmettre un bit de parité, puis un ou deux bits STOP (niveau 1).

La transmission des caractères ne peut fonctionner correctement qu'à condition que les différents paramètres variables de cette trame soient connus aussi bien de l'émetteur (au niveau de PIC) que du récepteur (au niveau de PC). Il est alors nécessaire d'ajuster les paramètres suivants : la vitesse de transmission, le nombre de bits du caractère à transmettre, la parité, le nombre de bits stop. Tous ces fonctionnes sont gérer par le microcontrôleur dans la coté émetteur et par la programmation Visual Basic dans l'ordinateur au coté récepteur.

Dans notre cas, on a utilisé la vitesse 1200 bauds, elle peut être augmenté ou diminué en fonction de la distance et de l'environnement. Pour des distances plus longues on baisse la vitesse de transmission car il y a plus de probabilité d'erreurs de transmission. Le débit maximum de l'émetteur est de 8kbits /s ce qui est d'environ 2400 bauds. Mais ce qui fonctionne,

en théorie, ne fonctionne pas habituellement dans la pratique. Ainsi, 1200 bauds maximum est ce que on a pu atteindre pour faire fonctionner le module correctement.

Le module HF utilisé, pour la partie émission, fonctionne à 433,92 MHz, muni d'un oscillateur SAW, qui est capable de fournir une puissance de 10 mW sous 5 volts et de 50 mW sous 12volts. Dans le cas qui nous occupe, le circuit étant alimenté par une pile de 9 volts, la puissance maximum sera d'environ 20 à 30 mW.

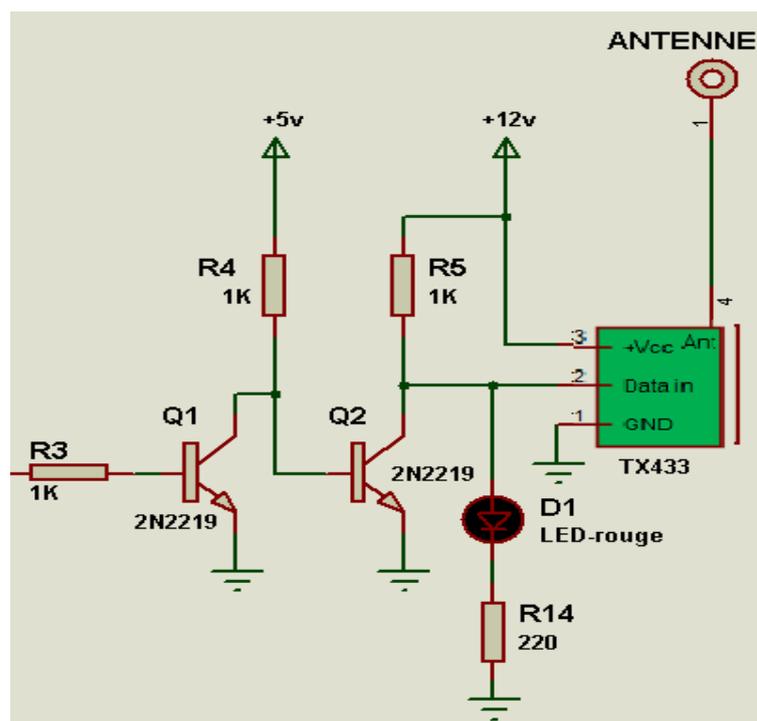


Figure V-15 : Circuit de modulation et émission HF

V-5-2- Coté récepteur

Le figure V-16 montre le circuit récepteur qui nous avons réalisé ;

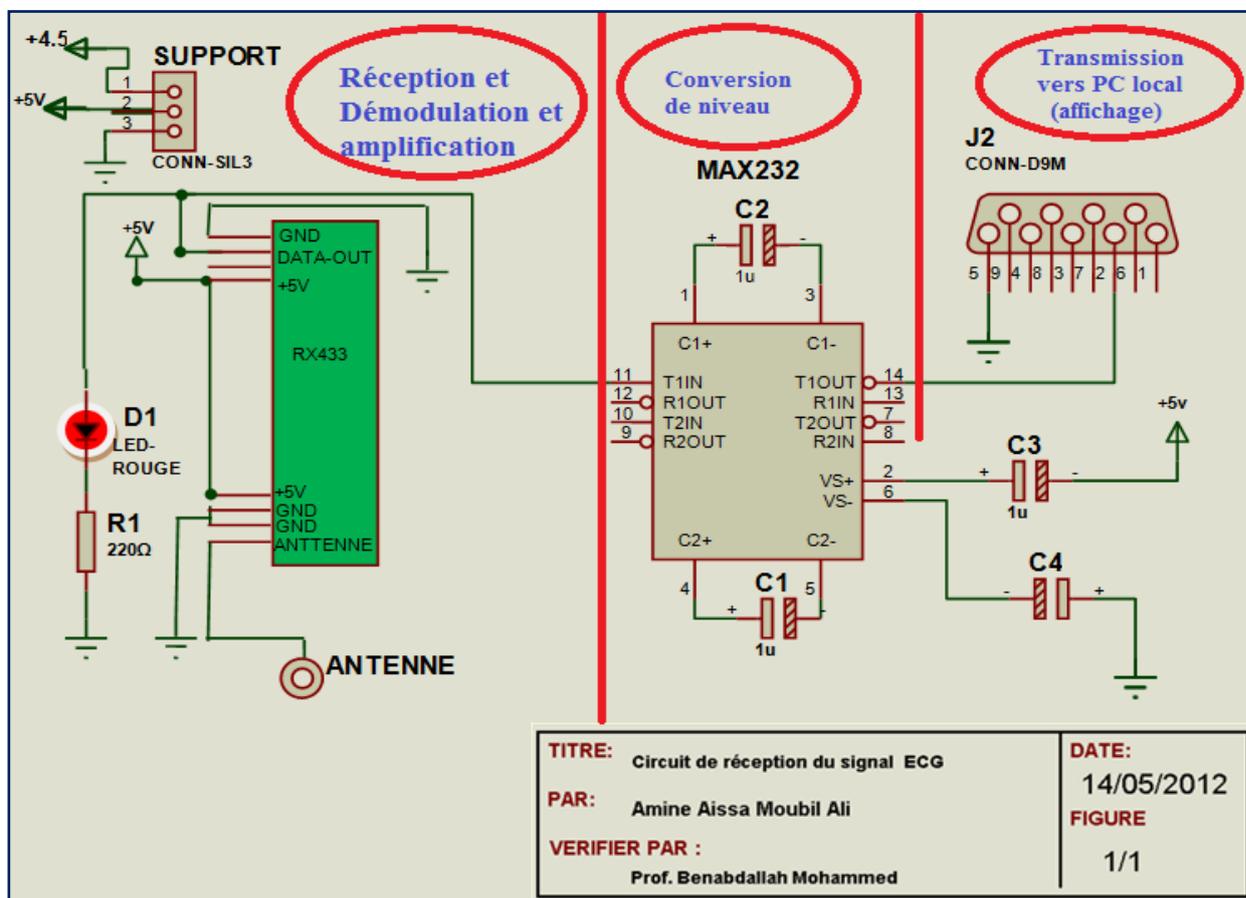


Figure V-16 : Circuit de récepteur de signal ECG

V-4-2-1 Etage de Réception et Démodulation

Tout l'étage HF est confié au module RX433, un circuit hybride Keymark (la référence complète est RXB1 315/434 MHZ Hybrid Receiver) figure V-14 (B). Ce module est habituellement utilisé dans les récepteurs pour radiocommande car, en fonctionnement normal, on obtient en sortie un signal numérique parfaitement carré.

Ce module Keymark est composé d'un amplificateur HF et d'un récepteur à superréaction qui garantit une sensibilité très importante, d'au moins -100 dBm (2,24 microvolts).

Pour pouvoir fonctionner correctement, la partie haute fréquence du module doit être alimentée avec une tension de 5 volts et la partie de conversion de niveau avec 4,5 volts.

Le mini transmetteur ainsi que le récepteur HF forment une voie de transmission monocanal.

Le signal émis par l'émetteur hybride arrive sur l'antenne (broche 1 de RXB1 voir Datasheet) du récepteur hybride RXB1 fabriqué par la société Kaymark.

Ce récepteur ASK, calé sur 433,92 MHz, va démoduler le signal pour restituer, en sortie (broche 16), le code digitalisé sous forme d'impulsions TTL (0/5 V). A la sortie du module RXB1 (broche 16), le signal parvient à l'entrée de convertisseur TTL/RS232 MAX232 au port série de l'ordinateur, éventuellement relié au connecteur SUBD9M et d'autre part le signal parvient à l'anode de diode LED pour indiquer qu'il y a réception des données envoyées par l'émetteur.

Les informations sont connectées sans aucune modification au MAX232 .

V-4-2-2 Etage de Conversion de niveau (MAX232)

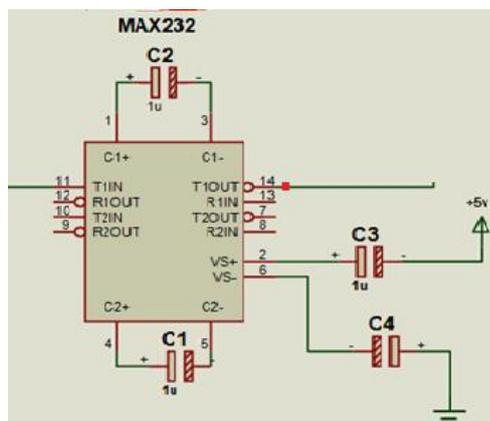
Le circuit du récepteur est complété par un étage de conversion des niveaux, utilisant un circuit intégrée MAX232.

La liaison série

on a vu déjà (coté émetteur) que la liaison série RS-232 (RS pour Recommended Standards) est un moyen de communication très répandu pour la transmission de données entre un ordinateur et un périphérique tels qu'une imprimante, un traceur ou un instrument programmable.

Le rôle du MAX 232

Etant donné que le sortie du circuit de mini récepteur génère des impulsions de niveaux TTL de type 0/5 V, le circuit intégré MAX232 procède à l'indispensable conversion: le standard EIA RS232 prévoit que le "0" logique du canal des donnée soit égal à +12V, tandis que le "1" logique soit égal à -12 V. De telles tensions sont difficiles à utiliser dans un montage électronique.



Le MAX232 transforme la tension négative appliquée sur sa broche 8 (comprise entre -8 et -15 V) en niveau logique haut ("1") TTL (+5 V) et la tension positive, toujours présente sur la broche 8 et dans la même gamme, en niveau logique bas ("0") TTL (0 V).

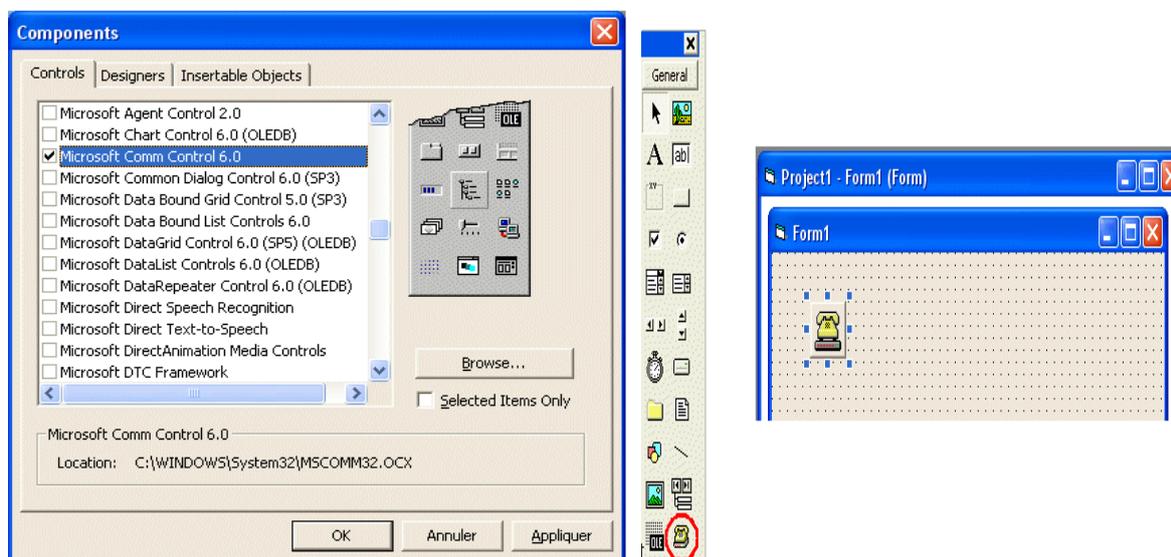
Par contre, en transmission, le MAX232 transforme l'état logique "1" TTL de la broche 11, provenant de la broche 14, en -12 V, et il convertit donc le "0" logique sur la broche 11, toujours provenant de la broche 14, en +12 V. ce qui permet à nos circuits de communiquer avec l'ordinateur.

V-5 Implémentation de l'interface graphique de l'application

Après l'implémentation de la partie hardware micro contrôlée, de l'émission et de la réception nous avons procédé à l'implémentation software de l'interface dédiée à l'acquisition et à l'affichage du signal au niveau du poste local.

Cette interface a été implémentée sous environnement Visual Basic

Pour gérer le port série, la meilleure façon est d'utiliser le composant Microsoft Comm Control distribué avec n'importe quelle édition de Visual Basic.



Une fois le contrôle activé, son icône apparaît dans la barre des contrôles. Il est nécessaire de placer une instance sur l'interface graphique pour pouvoir l'utiliser. Par défaut, ce contrôle s'appellera MSComm1, et on retiendra ce nom pour la suite de l'application :

Une fois le contrôle de communication rajouté, il nous faut le paramétrer. Cela se fait avec les propriétés qui permettent la liaison entre l'environnement VB et le système d'exploitation.

V-5-1- Organigramme du programme d'acquisition et d'affiche du signal sur Poste local.

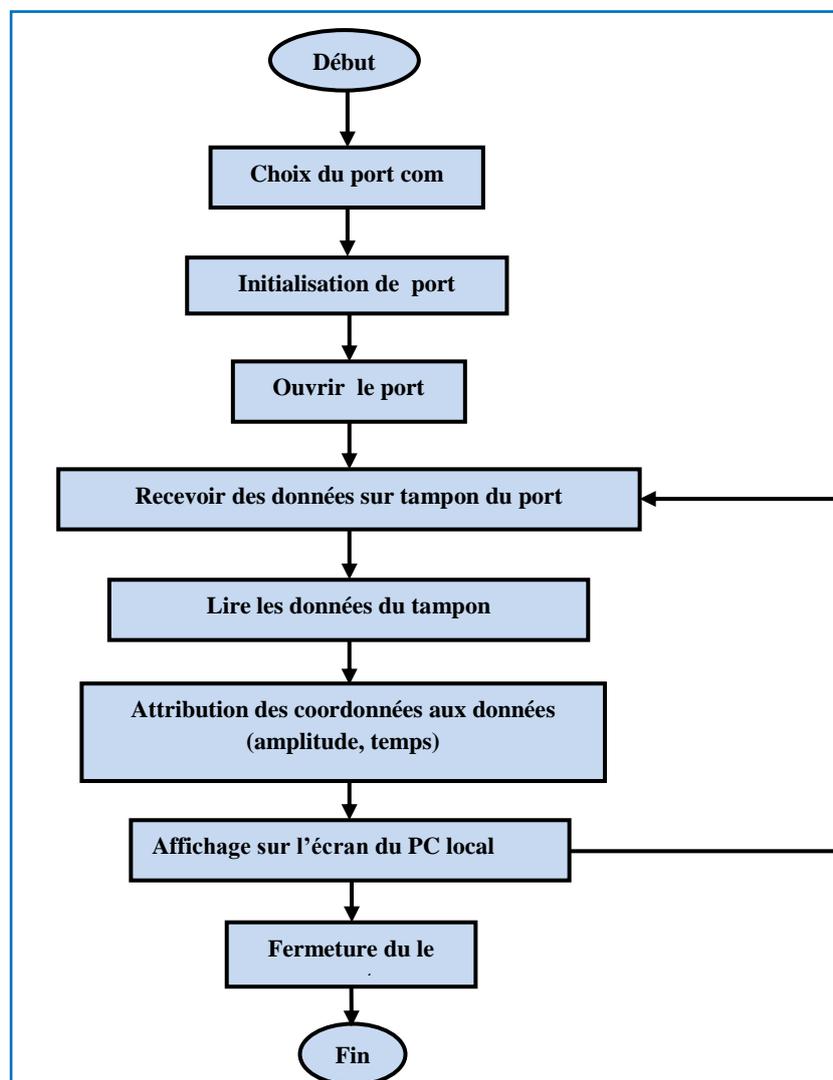


Figure V-17 Organigramme de programme d'acquisition et d'affiche de signal sur PC

Notre programme est composé de deux parties :

- Acquisition des données transmis par l'émetteur HF et captées par le récepteur HF sous protocole RS232.
- affichage de ces données sur le terminal local.

L'interface homme-machine, créée sous Visual Basic est représentée par la Figure V-17 ;

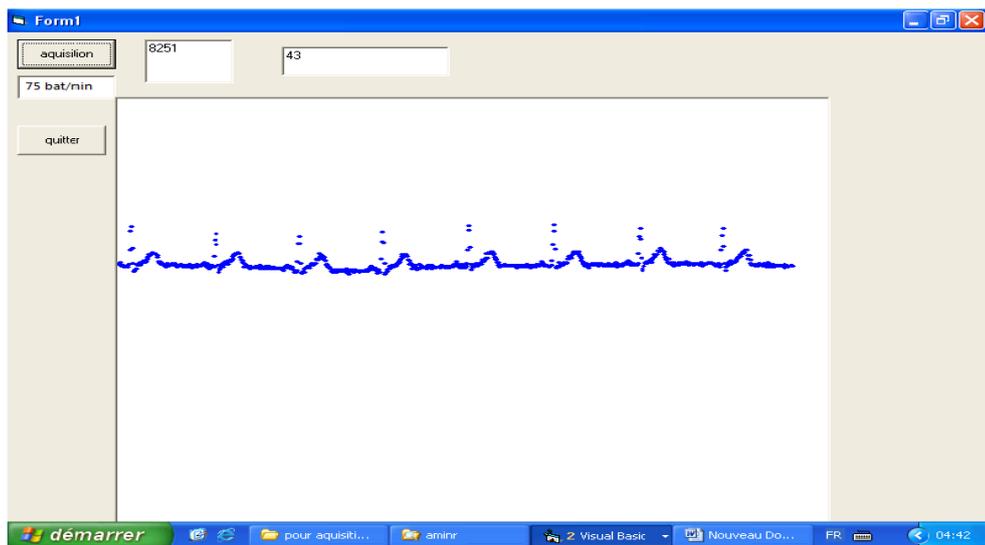


Figure V-17 : interface d'affichage sur PC local

V-6 Les circuits routage

Les figures V-18 et V.19 représentant respectivement tous les circuits imprimé et la visualisation 3D, créés avec ARES (Advanced Routing and Editing Software) du ISIS Proteus, de la réalisation pratique de mise en forme ECG, l'émetteur et le récepteur.

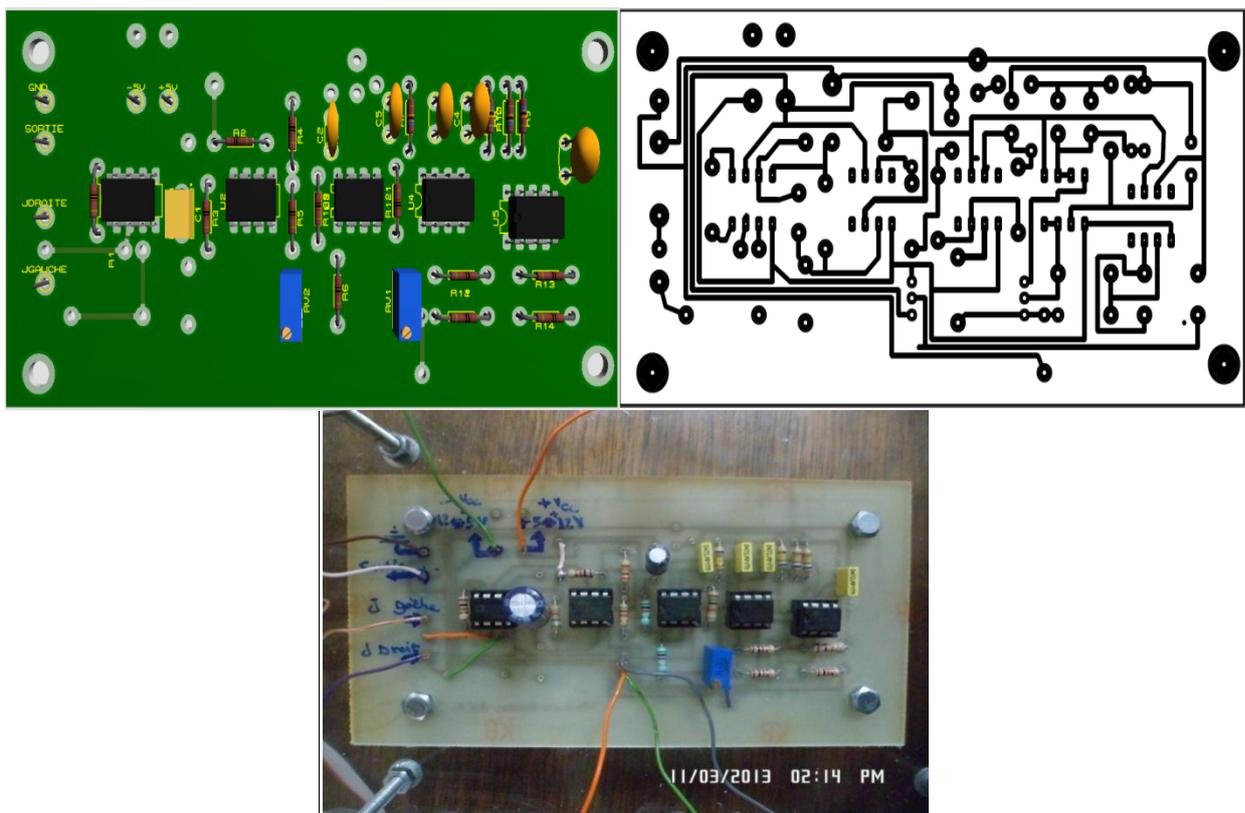


Figure V-18 : Circuit de mise en forme ECG

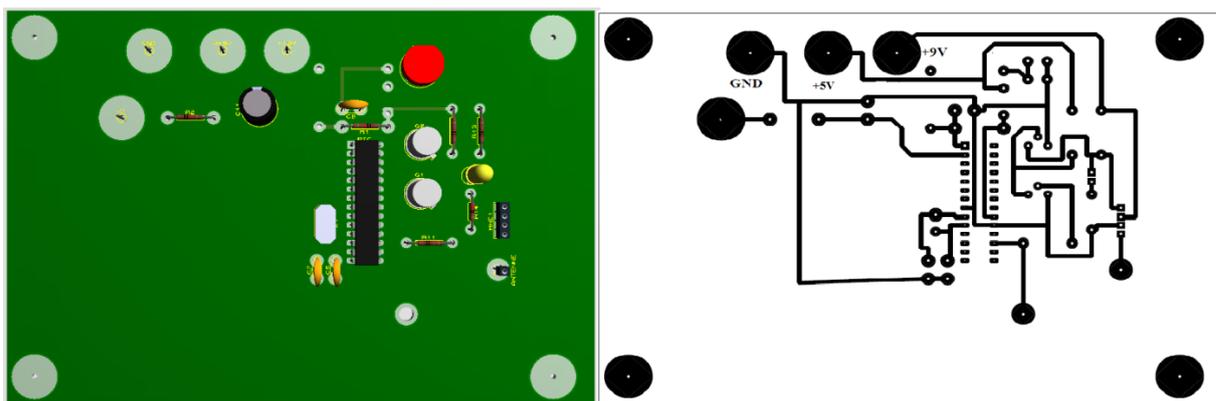


Figure V-19 : Circuit numérisation et d'émission HF

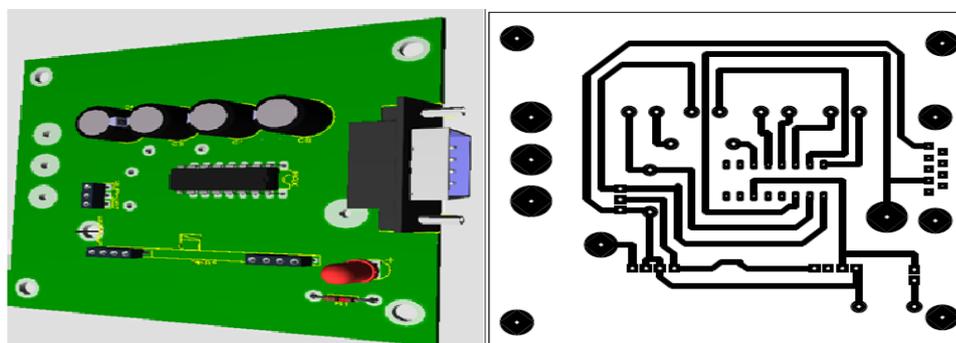


Figure V-19 : Circuit de réception HF

V-7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la réalisation pratique du système d'acquisition micro contrôlé, d'émission et de réception par un module HF (porteuse 433,92 Mhz) de n'importe quel signal physiologique vital, pour être affiché au niveau du poste local de l'HIS et transmis à un poste distant faisant partis d'un réseau télé médical et notamment les réseaux sociaux dédiés à la télésurveillance des patients atteints de maladies chroniques et maintenus à domicile. Nous avons pris le signal ECG comme prototype compte tenu de l'importance vitale de la fonction cardiaque.

Dans un premier lieu, nous avons fait une description détaillée du choix des composants rentrant dans la réalisation de système.

En second lieu, nous avons implémenté le système réalisé étage par étage en mettant en évidence la sortie de chaque étage.

Chapitre VI :

Implémentation Software de l'Application HIS

VI-1 Les flux d'information

L'évolution des besoins et des applications informatiques conduit à l'acheminement, dans un même réseau de données informatiques traditionnelles (texte), de la voix et de la vidéo. Transporter sur un même système physique des flux d'information de natures différentes nécessite que chacun d'eux ait une représentation physique identique et que le système de transmission ait la capacité de prendre en compte les contraintes spécifiques à chaque type de flux (figure VI-1) [84].

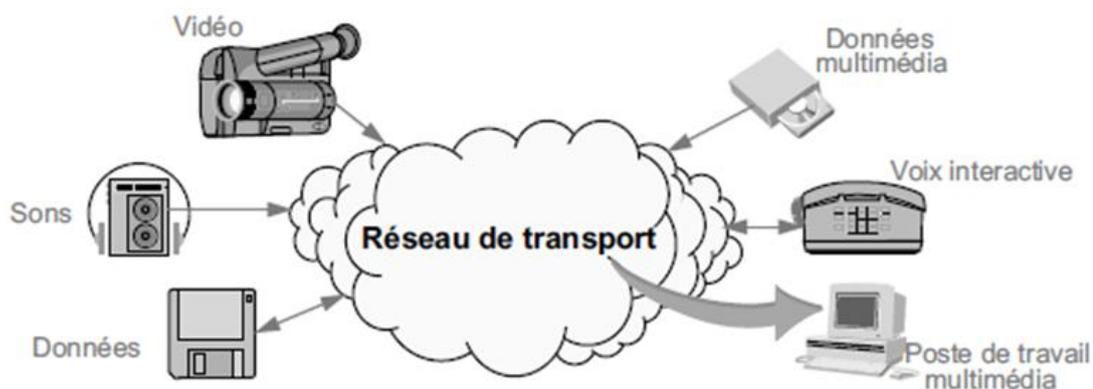


Figure VI-1 : Le réseau et les différents flux d'information

Afin de qualifier ces différents flux vis-à-vis du système de transmission, nous définirons succinctement les caractéristiques essentielles d'un réseau de transmission¹. Ensuite, nous examinerons le mode de représentation de ces informations. Enfin, nous appliquerons les résultats aux données, à la voix et à l'image pour en déduire les contraintes de transfert spécifiques à chaque type de flux.

VI-1-1 Les différents types d'information

Les informations peuvent être réparties en deux grandes catégories selon ce qu'elles représentent et les transformations qu'elles subissent pour être traitées dans les systèmes informatiques. après [84] on distingue :

- **Les données discrètes**, l'information correspond à l'assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (suite discontinue de valeurs) et dénombrables (ensemble fini).

Par exemple, un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires).

– Les **données continues ou analogiques** (figure VI-2) résultent de la variation continue d'un phénomène physique : température, voix, image... Un capteur fournit une tension électrique qui varie de manière analogue à l'amplitude du phénomène physique à analyser : signal analogique.

Dans un intervalle déterminé (bornes) aussi petit que possible, un signal analogique peut toujours prendre une infinité de valeurs. Par exemple pour passer 10° C à 11° C, la température prend, entre ces deux valeurs, une infinité de valeurs sans aucune discontinuité entre elles (fonction continue).

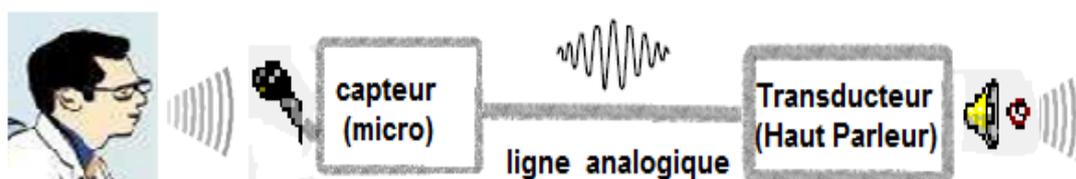


Figure VI-2 : Le signal analogique.

Pour être traitées par des équipements informatiques, les informations doivent être représentées par une valeur binaire (**codage à la source**). Le codage à la source est plus spécifiquement appelé codage de l'information pour les informations discrètes et numérisation de l'information pour les informations analogiques.

VI-1-2 Les données et les contraintes de transmission [84]

Les réseaux transportent des flux numériques informationnels. Selon le type de données, les exigences en termes de débit (volume), de temporalité (temps de transfert et variation de celui-ci) et fiabilité (taux d'erreur) diffèrent. Un système de transmission multimédia doit être capable de garantir à chaque type de flux le respect de ses contraintes spécifiques. Ainsi, un transfert de fichiers correspond à un flux binaire constant. Il requiert un débit relativement important mais est très peu sensible au temps de transmission. Plus exigeantes en termes de temps de transfert (interactivité), les applications informatiques de type conversationnel sont caractérisées par la sporadicité des flux qu'elles soumettent au système de transmission.

Moins sensibles aux erreurs, la voix et la vidéo ont des exigences strictes en matière de débit (débit minimal garanti), de temps de transfert et surtout de récurrence temporelle

(gigue), elles sont qualifiées de données isochrones¹. La compression opérée sur ces types de données engendre des flux variables. Le tableau VI-1 [84] résume ces différentes caractéristiques.

Type de transfert	Débit requis	Débit requis	Sensibilité à la variation de du temps transfert	Sensibilité
Voix	Constant	Faible	Élevée (isochrone)	Faible
Voix compressée	variable	Faible	Élevée (isochrone)	Faible
Vidéo non compressée	Constant	Élevé	Élevée (isochrone)	Faible
Vidéo compressée	variable	Élevé	Élevée (isochrone)	Faible
Transactionnel et transfert de fichiers	En rafale (bursty)	Moyen à élevé	Faible	Élevée
Interconnexion de réseaux locaux	En rafale, débit de la source élevé.	Élevé	Faible	Élevée

Tableau VI-1 : Types de données et contraintes de transmission.

VI-1-3 Notion de débit binaire

Les systèmes de traitement de l'information emploient une logique à deux états dite « binaire ». Pour y être traitée, l'information doit être traduite en symboles compréhensibles et manipulables par ces systèmes. Selon le type d'information à transformer, l'opération qui consiste à transformer les données en éléments binaires s'appelle le codage ou numérisation.

On appelle débit binaire (D) le nombre d'éléments binaires, ou nombre de bits, émis sur le support de transmission pendant une unité de temps. Le débit binaire est généralement la grandeur utilisée en premier pour qualifier un système de transmission ; il s'exprime par la relation :

$$D = \frac{V}{t}$$

Avec D : (débit) en bits² par seconde (bit/s), V : volume à transmettre exprimé en bits, t : durée de la transmission en seconde. Le débit binaire mesure le nombre d'éléments binaires transitant sur le canal de transmission pendant l'unité de temps.

¹ Isochrone : se dit des flux de données dans lesquels l'écart de temps entre deux informations successives doit être constant. Au cas où le réseau de transmission introduirait un décalage, un mécanisme spécifique doit être mis en œuvre par le récepteur.

VI-2 Représentation général de l'Habitat Intelligent pour la Santé (HIS)

La figure VI-3 donne une illustration globale de l'Habitat Intelligent pour la Santé.

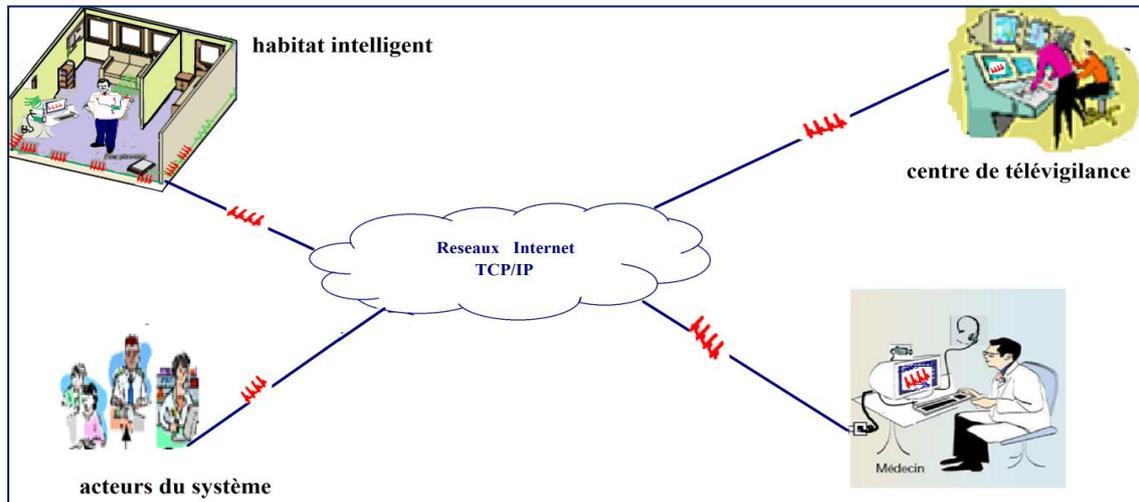


Figure VI-3 : Implémentation de HIS dans le réseau global

Dans le chapitre précédent nous avons décrit de manière détaillée l'implémentation hardware et software d'un HIS. La figure VI-4 donne un exemple de configuration d'un patient en domiciliation HIS poursuivant normalement ses activités journalières et bénéficiant d'une télé surveillance permanente des ses paramètres vitaux.

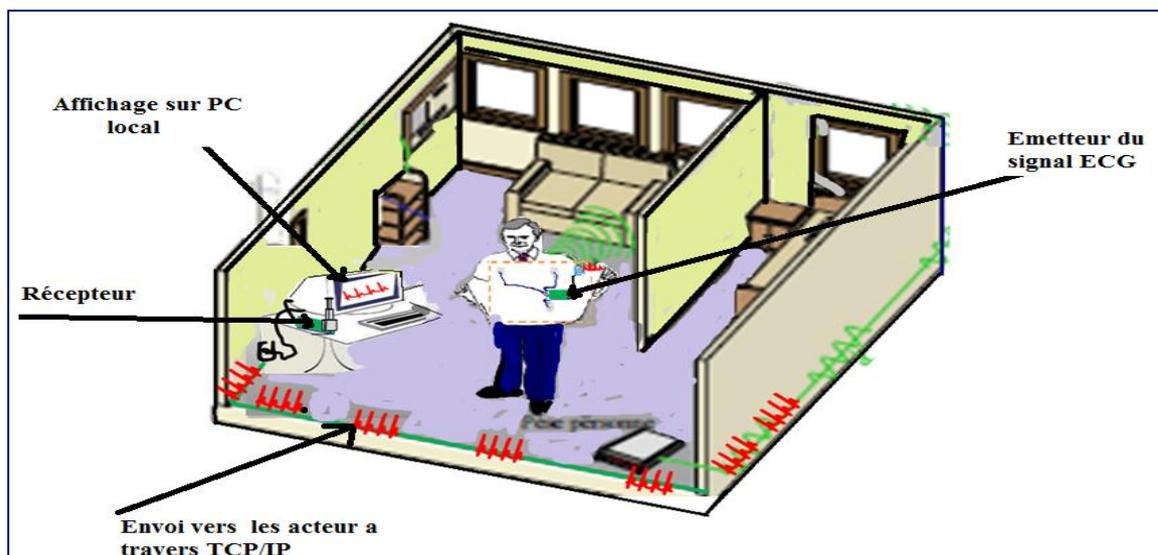


Figure VI-4 : Implémentation de HIS dans le réseau local

² L'unité officielle de débit est le bit/s (invariable). L'abréviation bps pouvant être confondue avec *byte* par seconde. Rappelons que le terme bit provient de la contraction des termes « *binary digit* ».

Après avoir réalisé la transmission sans fil des paramètres vitaux prélevés sur le patient au poste local de l'HIS nous présentons dans ce qui suit l'implémentation software de l'interface de communication multimédia sous environnement Visual Basic comprenant :

- 1 – Une liaison textuelle.
- 2 - Une liaison vocale
- 3 – Une liaison vidéo
- 4- Un transfert de fichiers multiformes.

Toutes ces liaisons sont configurées selon l'architecture Client – Serveur, mettant en œuvre la technologie des sockets.

VI-3 Présentation rapide du système vidéoconférence

D'une manière générale un système de visioconférence met en jeu une caméra, un microphone, un écouteur, la carte son ; la carte réseau, la carte graphique et le port USB de deux ou plusieurs terminaux informatiques interconnectés au moyen d'un logiciel dédié assurant la capture et le transfert des différent flux (textuel, vocal, vidéo, données), d'un système d'exploitation, (Dans notre cas Windows), de la technologie des sockets (Dans notre cas le composant Winsock de VB) et d'un protocole de communication (Dans notre cas le protocole TCP/IP).

La figure VI-5 donne une illustration de système de vidéoconférence.

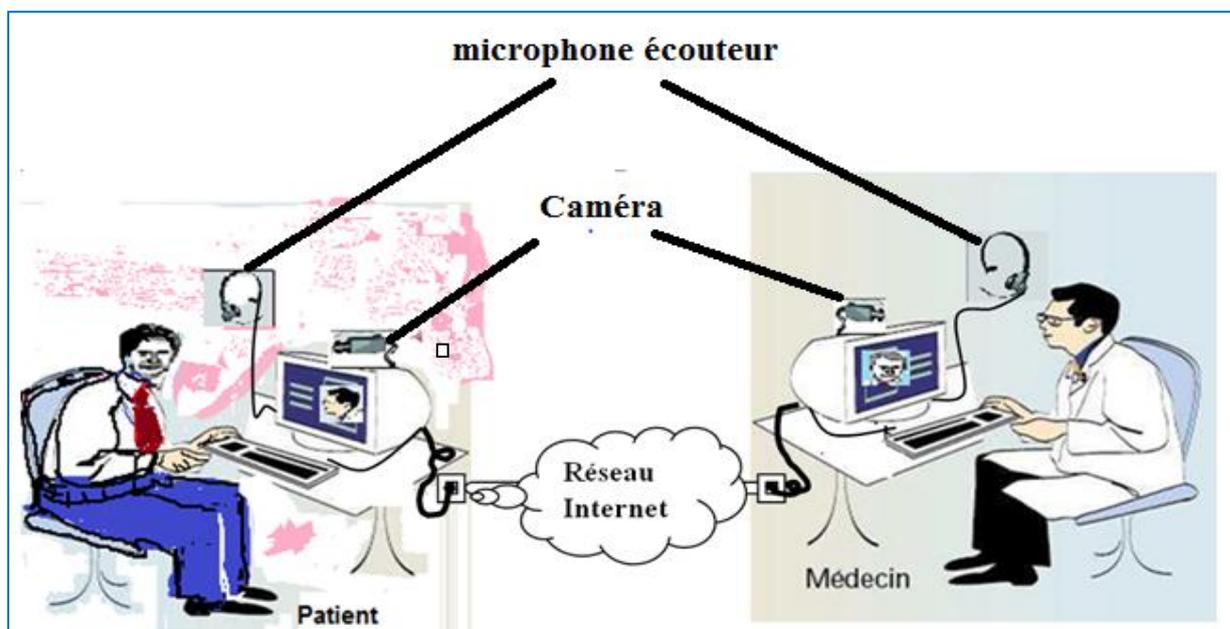


Figure VI-5 : Représentation de vidéoconférence

VI-4 L'interface logicielle de communication

Notre programme est composé de deux parties, l'émission et la réception. Il se présentée sous la forme d'un transfert en temps réel et permet donc à un utilisateur d'envoyer vers l'ordinateur récepteur les différents flux.

VI-4-1 Représentation de l'interface de communication entre le patient et le médecin

Dans cette partie nous présentons l'interface développée sous environnement VB. Les figures VI-6 et VI-7 montrent que celle-ci se compose de deux parties.

Chaque coté est constitué d'une fenêtre principale pour gérer la mise en route de la connexion ainsi que les différents types de communication. Elle comporte :

- Une fenêtre pour le transfert textuel.
- Une fenêtre pour le transfert vocal.
- Une fenêtre pour le transfert vidéo
- Une fenêtre pour le transfert de fichiers

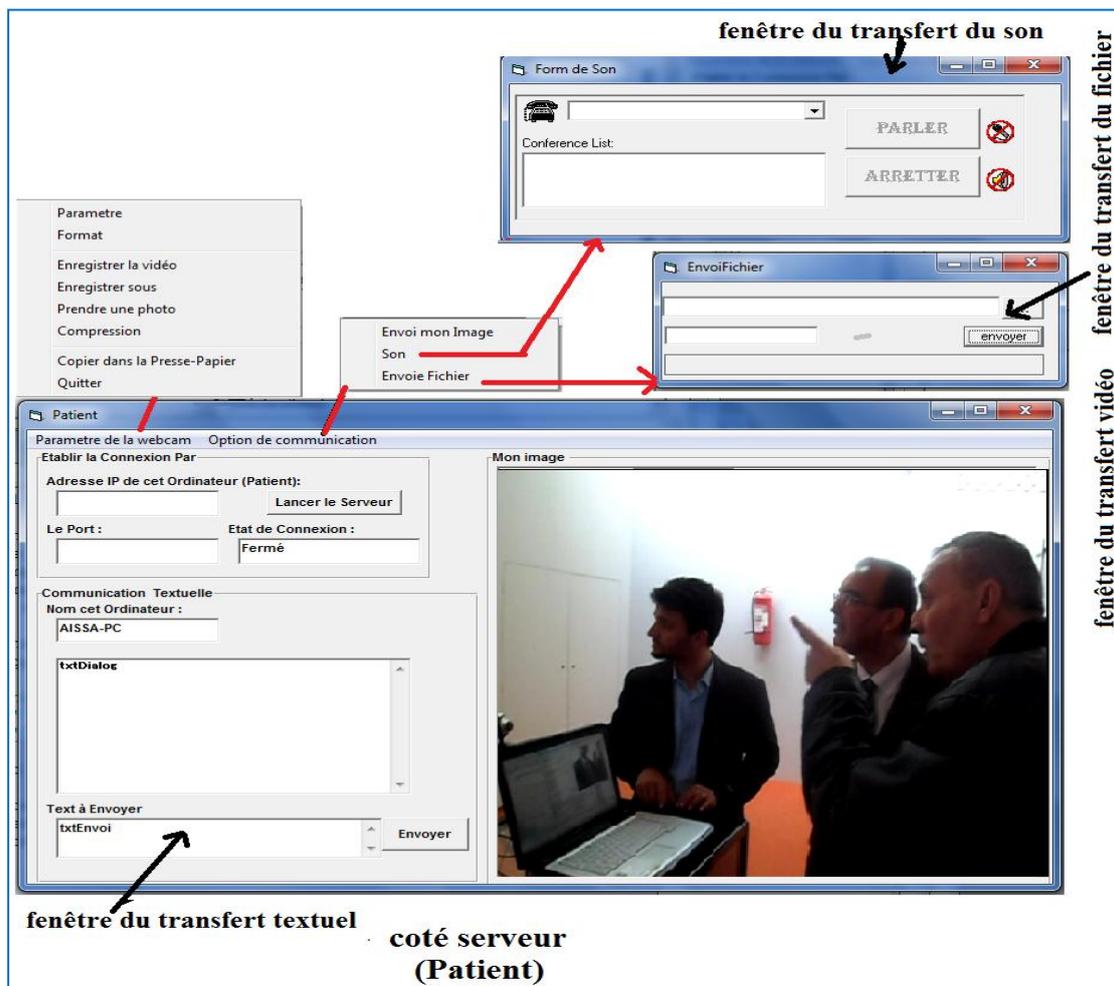


Figure VI-6 : l'interface principal coté Patient

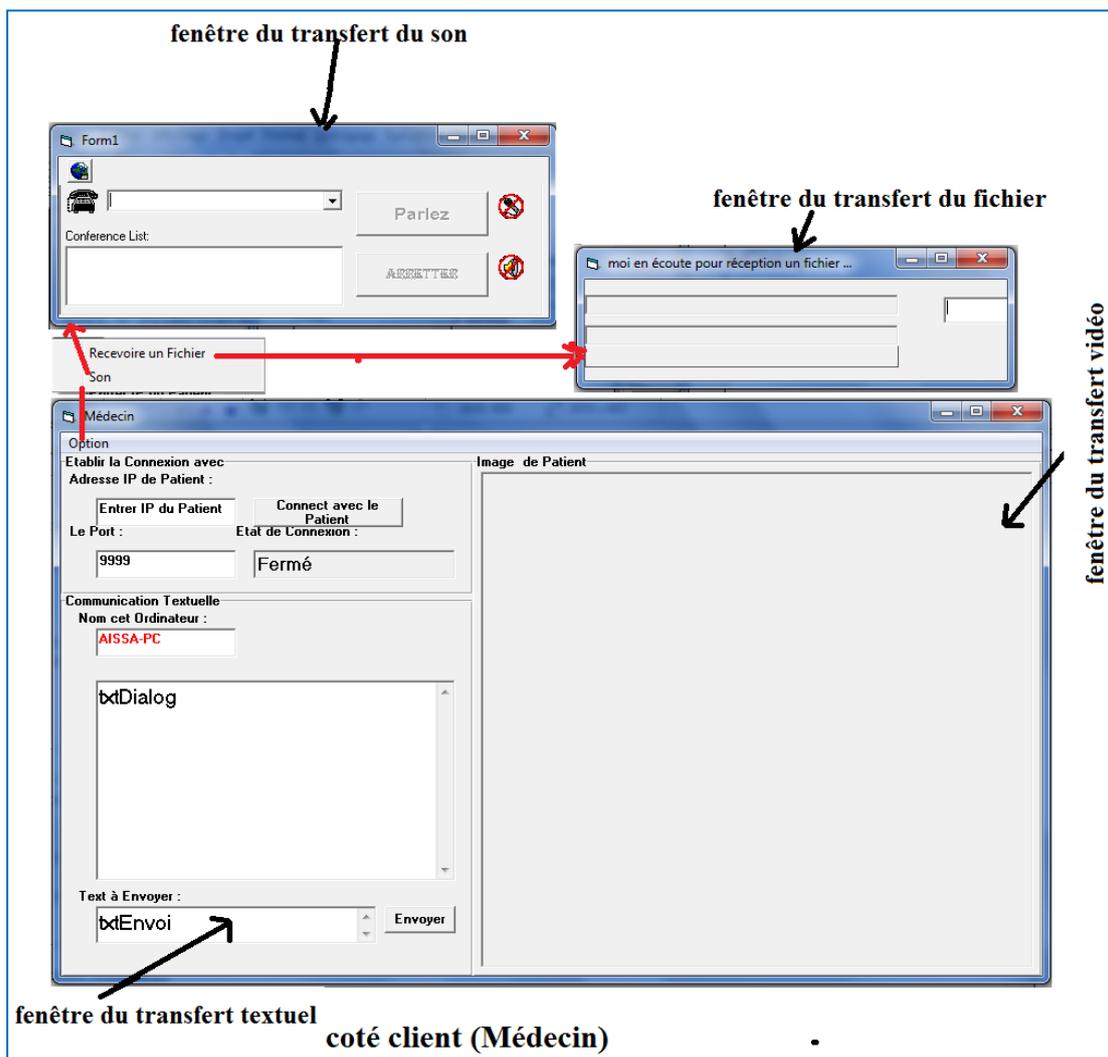


Figure VI-7 : l'interface principal coté Médecin

Toutes ces fenêtres se partagent avec des procédures et des fonctions accessibles et d'autres routines masquées.

Dans ce qui suit nous expliquons en détail chaque fenêtre de l'interface, ce qu'elle comporte comme difficultés auxquelles nous avons apportés des solutions.

VI-4-2 Procédure et Organigramme de l'établissement de la connexion Internet entre le serveur et le client (Patient/Médecin)

Avant l'échange de n'importe quelle information par internet sous protocole TCP/IP entre le patient et le médecin, il faut tout d'abord établir une connexion entre les deux correspondants.

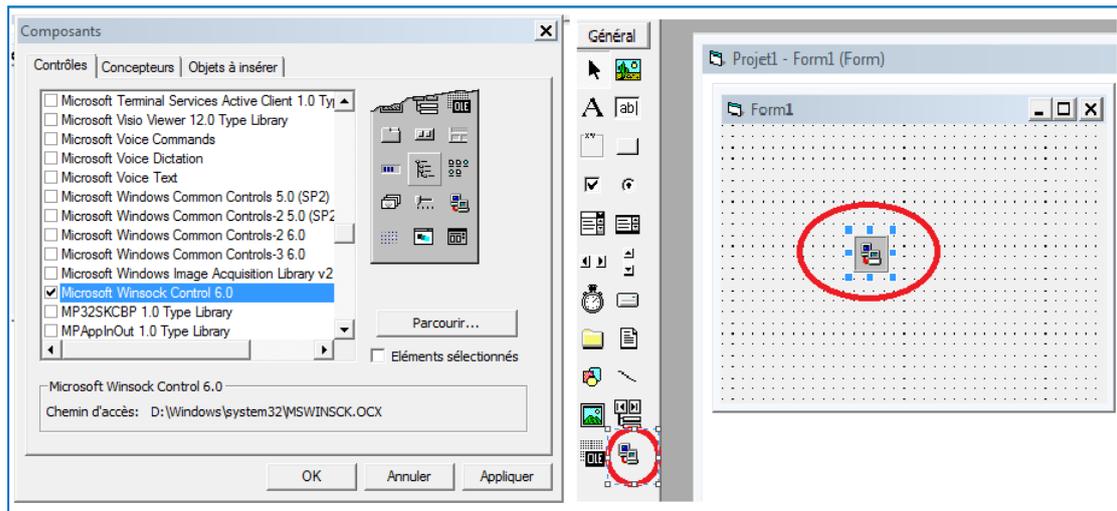
La procédure suivante décrit comment nous établissons cette connexion :

Implémentation coté patient :

Le contrôle Winsock, déjà expliqué au chapitre II, permet à des applications client-serveur (Patient/Médecin) de communiquer *via* les protocoles *TCP* ou *UDP*. Nous n'utiliserons dans notre mémoire que le protocole *TCP*.

Plusieurs étapes sont à effectuer pour construire un serveur ou un client:

- **L'étape 1** consiste à ajouter un contrôle Winsock à la feuille. Ce contrôle, non intrinsèque, est accessible à travers le composant **Microsoft Winsock Control 6.0**



- **L'étape 2** consiste à détecter et à afficher l'adresse IP du serveur (côté patient).
- **L'étape 3** consiste à spécifier le numéro de port, utilisé lors deS connexions avec des clients, à travers la propriété **Winsock1.LocalPort** du contrôle Winsock. Chaque client fera une requête au serveur via ce port.
- **L'étape 4** permet au serveur d'attendre une demande de connexion par un client à travers la propriété **Winsock1.Listen** du contrôle Winsock . Le serveur est informé d'une demande de connexion par un client à travers l'exécution de la procédure événementielle **Connection_Request** .
- **L'étape 5** consiste à accepter la connexion entrante à travers la méthode **Winsock1.Accept** du contrôle Winsock .Une fois cette méthode appelée, des données peuvent être transmises entre le serveur et le client. Avant d'accepter la connexion, IL faut toujours vérifier l'état du contrôle Winsock et s'assurer qu'il correspond à une fermeture du port de communication **Winsock1.closed** . Dans le cas contraire, il s'agit d'appeler la méthode **Close** pour fermer la précédente connexion. Si la connexion entrante est refusée, l'homologue (client) reçoit l'événement **Close**.

- **L'étape 6** est relative à la phase de communication entre le serveur et le client. La procédure événementielle `data_arrival` du contrôle Winsock est exécutée lorsque des données parviennent au serveur. L'instruction `Winsock1.GetData(Data)` place les données dans la chaîne de caractères `Data` arguments optionnels permettant de spécifier le type de données reçues et la longueur maximale autorisée des données). Afin d'envoyer des données au client, on utilise la méthode `senddata` du contrôle Winsock. Par exemple, l'instruction `Winsock1.SendData(Data)` permet de transmettre les données contenues dans `Data`.
- **L'étape 7** se produit lorsque la transmission des données est terminée. Le fait que le client ferme la connexion provoque l'exécution de la procédure événementielle `Close` du contrôle Winsock. La connexion serveur devra être fermée via l'instruction `Winsock1.Close`

Un contrôle Winsock doit être attribué à chaque connexion avec un client. Le fait de pouvoir disposer dans Visual Basic de tableau de contrôles permet la création de serveurs capables de gérer simultanément plusieurs connexions, ceci sans créer a priori un ensemble suffisant de contrôles Winsock.

Implémentation cote médecin

Plusieurs étapes sont à effectuer pour construire un client ou bien coté médecin) :-

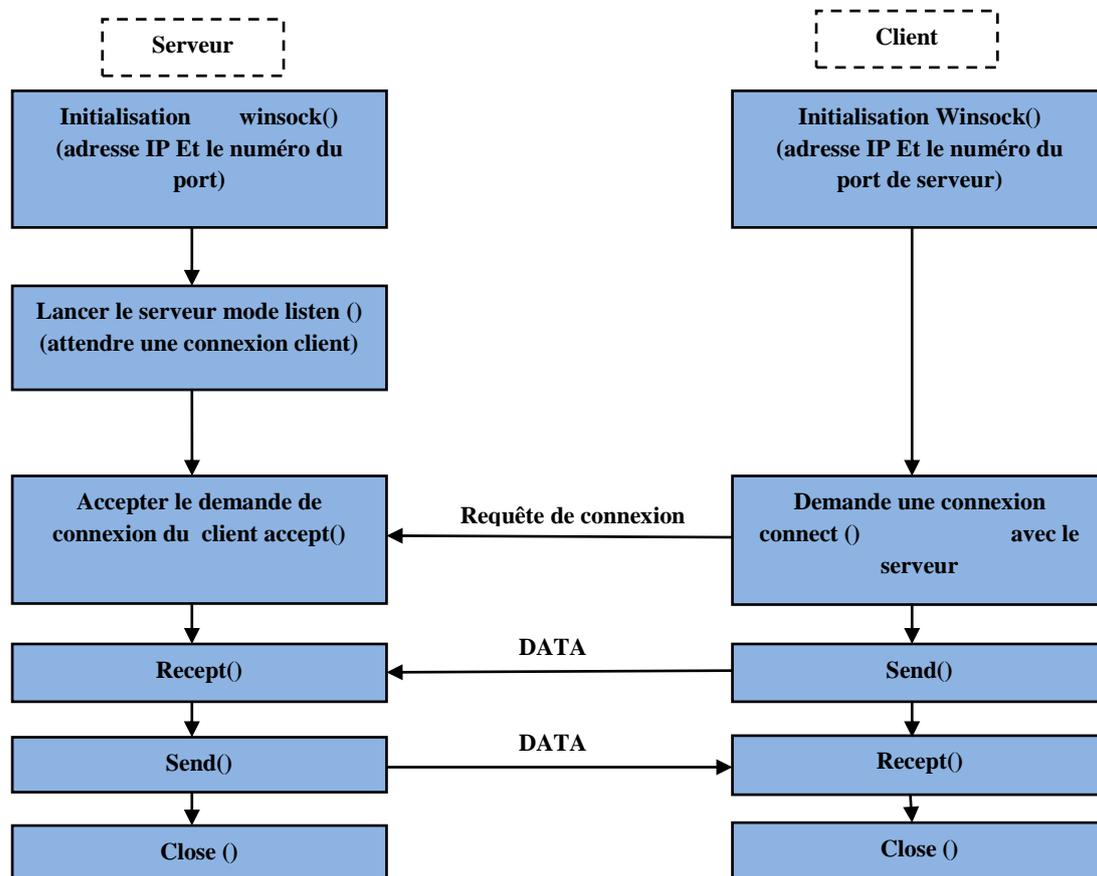
- **L'étape 1** consiste à ajouter un contrôle Winsock à la feuille (accessible à travers le composant Microsoft Winsock Control 6.0).
- **L'étape 2**, le contrôle Winsock côté client doit pouvoir localiser :
 - l'ordinateur distant sur lequel un contrôle envoie, ou reçoit des données. Nous pouvons fournir soit un nom d'hôte, par exemple "www.microsoft.com", soit une adresse IP sous forme de chaîne ponctuée, telle que "127.0.1.1". Ce nom est placé dans la propriété `RemoteHost` du contrôle Winsock ;
 - le numéro de port distant auquel la connexion doit être faite. Ce numéro est placé dans la propriété `RemotePort` du contrôle Winsock .
- **L'étape 3**, la connexion au serveur est demandée via un appel de la méthode `Connect` du contrôle Winsock. En cas de succès, la procédure événementielle `Connect` du contrôle Winsock s'exécute ; en cas d'erreur, la procédure événementielle `Error` du contrôle Winsock s'exécute.
- **L'étape 4** est relative à la phase de communication entre le serveur et le client. Comme du côté serveur, la procédure événementielle `Data_Arrival` du contrôle Winsock est exécutée lorsque des données parviennent au client. L'instruction

`Winsock1.GetData (Data)` place les données dans Data. Des données sont envoyées au serveur en utilisant la méthode `SendData` du contrôle Winsock. Par exemple, l'instruction `Winsock1.SendData (Data)` envoie au serveur des données contenues dans Data.

- **L'étape 5** se produit lorsque la transmission des données est terminée. Le fait que le serveur ferme la connexion provoque l'exécution de la procédure événementielle `Close` du contrôle Winsock. La connexion client devra être fermée via l'instruction `Winsock1.Close`.

Après réussite de la connexion (patient "connecté" et médecin "connecté") tous les deux peuvent échanger des informations en respectant les procédures et les contraintes de chaque type de donnée (Texte, image, son, fichier ou signal physiologique).

Nous représentons ci-dessous l'organigramme relatif à toutes ces étapes :



VI-4-3 Procédure d'envoi des textes

Les textes sont très simples à envoyer après l'établissement d'une connexion.

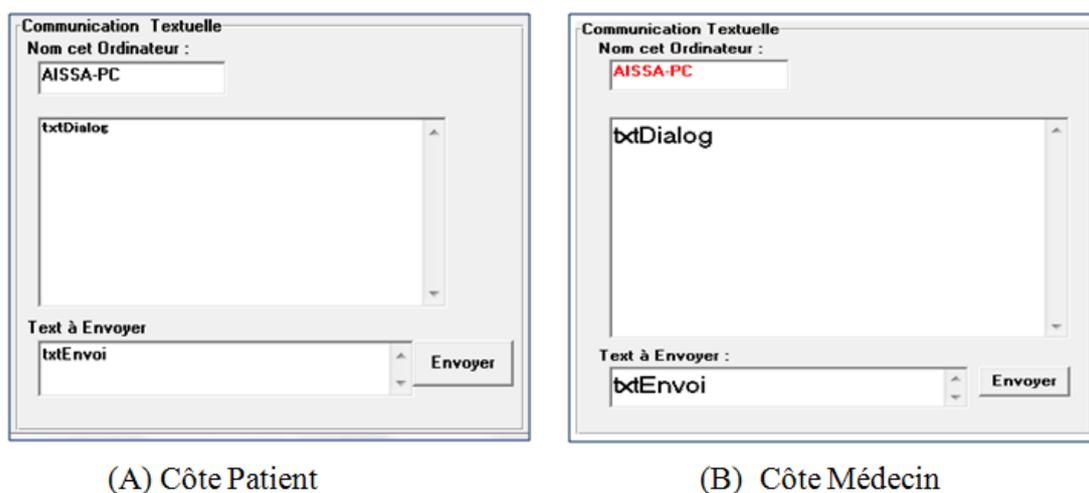
Côté Patient : Avec l'instruction `Winsock1.SendData txtPseudo & " a dit >" & " " & vbCrLf & txtEnvoi.Text`

Le patient envoie au Médecin les textes contenus dans `txtEnvoi.Text`.

Côté Médecin : la procédure événementielle `Winsock1_DataArrival` est exécutée lorsque des données parviennent du patient. L'instruction `Winsock1.GetData (Data)` place les données dans `Data` pour être affichées dans la zone textuelle de médecin par l'instruction ;

`txtDialog.Text = txtDialog.Text + Data + vbCrLf + "-----" + vbCrLf`

Les données textuelles sont envoyées au Patient en utilisant la même méthode et les mêmes instructions comme le montre la figure VI-8.



(A) Côte Patient

(B) Côte Médecin

Figure VI-8 : Fenêtre de transfert textuel

VI-4-4 Procédure et organigramme de Visioconférence

La visioconférence consiste à réaliser une conférence à distance entre le Médecin et le patient associant l'image et le son, à l'aide d'un système comportant une caméra et un microphone. Elle nécessite la mise en place d'une connexion Internet de bonne qualité pour ne pas rencontrer de problème de qualité (image ou son).

VI-4-4-1 Organigramme et procédure pour l'envoyer des images vidéo

La première partie à décrire dans cette section concerne les problèmes qui peuvent être rencontrés dans le développement d'une interface de communication vidéo.

Le premier problème à résoudre c'est la communication de l'interface avec la caméra à travers le port USB dans le système d'exploration Windows car on ne peut pas relier notre interface à la caméra directement étant donné que le système Windows interdit toutes communications ou accès au port de manière directe pour une protection générale du système.

Le deuxième problème est inhérent au fait que notre programme est composé de deux parties, l'émission et la réception. Pour cela il est nécessaire de programmer de telle sorte à donner au système la diversité, l'adaptation et la sensibilité de communication pour arriver à un système qui fonctionne en temps réel avec une marge d'erreur acceptable pour des communications de vidéoconférence.

Le troisième problème est inhérent au volume des données générées par la caméra qui sont considérables, ce qui induit des problèmes de stockage et de transport

Prenons l'exemple d'une image au standard VGA (640 × 480 en 256 couleurs). Un codage sur 8 bits (1 octet) de chaque pixel de l'image donne une gamme de 256 couleurs (ou 256 niveaux de gris dans le cas d'une image en noir et blanc). Il faudra donc :

$$640 \times 480 = 307\,200 \text{ octets}$$

1 Ko = 1 024 octets donc $307\,200/1\,024 = 300$ Ko pour stocker une telle image. Avec 25 images (soit une seconde de vidéo), nous obtenons un poids de 7,5 Mo. Nous constatons sur cet exemple qu'il est impossible de transmettre en temps réel la vidéo sans passer par une technique de compression ou d'autre technique de codage.

Pour résoudre de ces problèmes on peut citer différentes méthodes avec des systèmes de développement différents mais la solution doit avoir la simplicité et la rapidité d'utilisation.

Pour résoudre le premier problème nous faisons appel au DLL (Direct Link Library, bibliothèque de liaison dynamique) qui sont des composantes de programmation avec des architectures prêtes à être utilisées. Ces DLL sont des composantes développées par le fournisseur d'origine de notre système de développement.

Pour notre application nous avons trouvé une DLL pour la communication entre notre interface et la caméra à travers le port USB. Cette DLL est dénommée « **avicap32.dll** ».

L'autre difficulté à surmonter est celle de la synchronisation des flux vidéo transmis et reçus en temps réel

Toutes les fonctions utilisées dans cette DLL sont décrites dans ce qui suit :

- Nous déclarons les variables et la fonction de la DLL come le suit :

```
Declare Function capCreateCaptureWindow Lib "avicap32.dll" Alias
"capCreateCaptureWindowA" (ByVal lpszWindowName As String, ByVal dwStyle As
Long, ByVal X As Long, ByVal y As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As
Integer, ByVal hWndParent As Long, ByVal nID As Long) As Long
```

- On définit la variable nécessaire au bon fonctionnement de la capture vidéo. On lui donne un nom, son positionnement, sa taille...
- `mCapHwnd = capCreateCaptureWindow("Fenetre de capture", &H50000000, 85, 30, 352, 288, Me.Hwnd, 1)`
- On vérifie qu'il y a un périphérique connecté (on regarde si 'la webcam est branché et on déclenche son usage au moyen de la su routine suivante.

```
If SendMessage(mCapHwnd, WM_CAP_DRIVER_CONNECT, 0, 0) = 0 Then
    MsgBox ("La camera n'est pas connectée")
    retvale = SendMessage(mCapHwnd,
    WM_CAP_DRIVER_DISCONNECT, 0, 0)
    DestroyWindow (mCapHwnd)
End If
```

- On définit la fréquence de rafraichissement de la prévisualisation ;

```
SendMessage mCapHwnd, WM_CAP_SET_PREVIEWRATE, 50, 0
```

À ce stade nous pouvons dire que le premier problème a été résolu et on peut voir la vidéo sur la fenêtre image de notre interface (cote serveur).

Pour résoudre les deux problèmes qui restent, nous prenons en compte le fait que l'image est composé de petits points appelés pixels (en anglaise *picture element*) et que chaque pixel est défini par ses abscisses et ordonnées.

Par ailleurs La persistance rétinienne moyenne est d'environ 0,1 seconde. Dans ces conditions, si le temps entre l'illumination du premier point en haut de l'image (pixel) à gauche et celle du dernier point en bas à droite est inférieure à 0,1 seconde, l'œil verra une image et non pas un point. En conséquence, le nombre d'images doit être d'au moins 10 images/s. Cependant, l'impression de mouvement fluide n'est obtenue qu'à partir de 16

images/seconde (cinéma muet). Pour avoir une reproduction du son correcte, le cinéma sonore a nécessité d'augmenter le nombre d'images et de le porter à 24 images/seconde (longueur physique du film pour l'empreinte sonore).

Le signal vidéo lorsqu'il est analogique est converti en paquets de données numériques qui seront plus faciles à transporter sur un réseau. Un des atouts majeurs du format numérique est notamment la non-dégradation du signal.

Le principe fondamental de la compression vidéo est de réduire autant que possible les redondances d'informations dans les données, sans entraîner de défauts trop perceptibles pour l'œil humain. Toute la difficulté est là, dans le dosage entre un taux de compression qui s'améliore en même temps que la qualité d'image devient médiocre.

Une séquence d'images vidéo contient une certaine quantité de redondance spatiale.

Il est possible de représenter ou d'encoder cette information sous une forme plus compacte qui élimine cette redondance.

Une séquence vidéo en mouvement contient une redondance temporelle (les trames successives sont habituellement très semblables). Il est donc possible de compresser efficacement en n'envoyant seulement que la partie de l'image qui a varié par rapport à l'image précédemment envoyée. Généralement, le changement entre images est dû aux mouvements dans un décor qui peut être considéré comme en mouvement linéaire simple. En prédisant les mouvements de certaines régions par rapport aux images précédemment envoyées et en ne transmettant que les parties qui ont varié dans les images et non leur intégralité, la quantité d'information vidéo transmise est considérablement diminuée.

La redondance spatiale est celle dans chaque image prise indépendamment des autres. On peut diminuer cette redondance en codant chaque image séparément en JPEG.

On peut aller plus loin en constatant que deux images qui se suivent dans une séquence vidéo sont quasiment identiques : c'est la redondance temporelle. Le but est alors de stocker que ce qui est modifié lors du passage d'une image à une autre.

Les images ainsi compressées sont de deux types :

- les images I (intracodées),
- les images P (prédictives).

Les images I sont des images complètes codées en JPEG, on les appelle aussi images clés. Les images P, par contre, ne contiennent que les pixels modifiés par rapport à l'image précédente, qui peut être elle-même une image I ou une image P.

Autre méthode consiste à jouer sur la taille de l'image. Ainsi, une image de dimension 320×240 ne compte qu'un quart des pixels composant une image de dimension 640×480 . Une séquence vidéo comprenant 12 images par seconde occupera un espace moindre qu'une séquence de 25 images par seconde.

Donc après avoir cité les résolutions nous expliquons les points principaux de notre programme personnel. Toutes les fonctions et les procédures principales que nous avons utilisé, sont décrites dans ce qui suit :

- Capturer une image et coder en JPEG (Nous trouvons le JPEG plus utilisé dans les secteurs de l'informatique, de la communication, etc.) puis l'enregistrer dans un répertoire, tous cela s'effectue par les instructions suivantes :

```
SavePicture EnleverImageCam, "C:\serveur\jpg.jpeg"
Function EnleverImageCam() As Picture
On Error Resume Next
    SendMessage mCapHwnd, WM_CAP_GRAB_FRAME, 0, 0
    SendMessage mCapHwnd, WM_CAP_EDIT_COPY, 0, 0
    Set EnleverImageCam = Clipboard.GetData
End Function
Open "C:\serveur\jpg.jpeg" For Binary As #2
    Set image = LoadPicture("C:\serveur\jpg.jpeg")
Picture1.Cls

Picture1.PaintPicture image, 0, 0, Picture1.ScaleWidth, Picture1.ScaleHeight
```

Après la capture et la sauvegarde d'images nous envoyons image par image ou plus précisément paquet par paquet.

- Du côté serveur nous ouvrons l'image enregistrée dans le répertoire par l'instruction ;

```
Open "C:\serveur\jpg.jpeg" For Binary As #2
```

- Le reste de la procédure d'envoi est semblable à la procédure relatives aux textes avec certaines différent dans le nomination.

```
Sub EnvDonCam(Data As String)
If Cam.State = 7 Then Cam.SendData Data & Ettiquet
```

- Procédure d'envoi d'image paquet par paquet

```
Sub ExcEnvDon(Data As String)
Static ETAT, Photo As String
Dim L3 As String
L3 = Left(Data, 3)

If ETAT = 0 And Cam1.Enabled = False Then
```

```

SavePicture EnleverImageCam, "C:\serveur\jpg.jpeg"
Open "C:\serveur\jpg.jpeg" For Binary As #2
MonImage
ETAT = 1
EnvDonCam "NOU"
Exit Sub
ElseIf ETAT = 1 Then
Photo = String(LOF(2), " ")
ETAT = 2
Get #2, , Photo
EnvDonCam "ENC" & Photo
Exit Sub
ElseIf ETAT = 2 Then
Close #2
EnvDonCam "FIN"
ETAT = 0
Exit Sub
End If
End Sub
End Sub

```

- Attendre un événement pour exécution d'envoyer le baquet suivant

```

Private Sub Cam_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
Static temp As String
Dim VAR() As String, Data As String
Cam.GetData Data
temp = temp & Data
If Right(temp, Len(Etiquette)) <> Etiquette Then Exit Sub
VAR = Split(temp, Etiquette)
ExcEnvDon VAR(1)
temp = ""
End Sub

```

Du côté client dès que les données sont reçues les procédures suivantes s'exécutent :

- Réception de donnée :

```

Private Sub Cam_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)

```

```

Static temp As String
Dim VAR() As String, Data As String
Cam.GetData Data
temp = temp & Data
If Right(temp, Len(Etiquette)) <> Etiquette Then Exit Sub
VAR = Split(temp, Etiquette)
ExcEnvFlag VAR(0)
temp = ""
End Sub

```

- Envoie des accusées de réception de chaque paquet ;

```

Private Sub ExcEnvFlag(Data As String)
Dim F As String
F = Left(Data, 3)
If F = "NOU" Then
On Error Resume Next
Kill "C:\client\Image.jpg"

```

- Ouvrir un fichier .JPEG dans répertoire

```

Open "C:\client\Image.jpg" For Binary As #2
ElseIf F = "ENC" Then
On Error Resume Next
Data = Right(Data, Len(Data) - 3)

```

- Poser le paquet reçu dans le fichier ouvert

```

Put #2, , Data
ElseIf F = "FIN" Then
Close #2
ImageServeur
End If
If Cam.State = 7 Then
EnvDaccord "DAC"
End If
End Sub
Private Sub EnvDaccord(Data As String)
If Cam.State = 7 Then Cam.SendData Data & Etiquette
End Sub

```

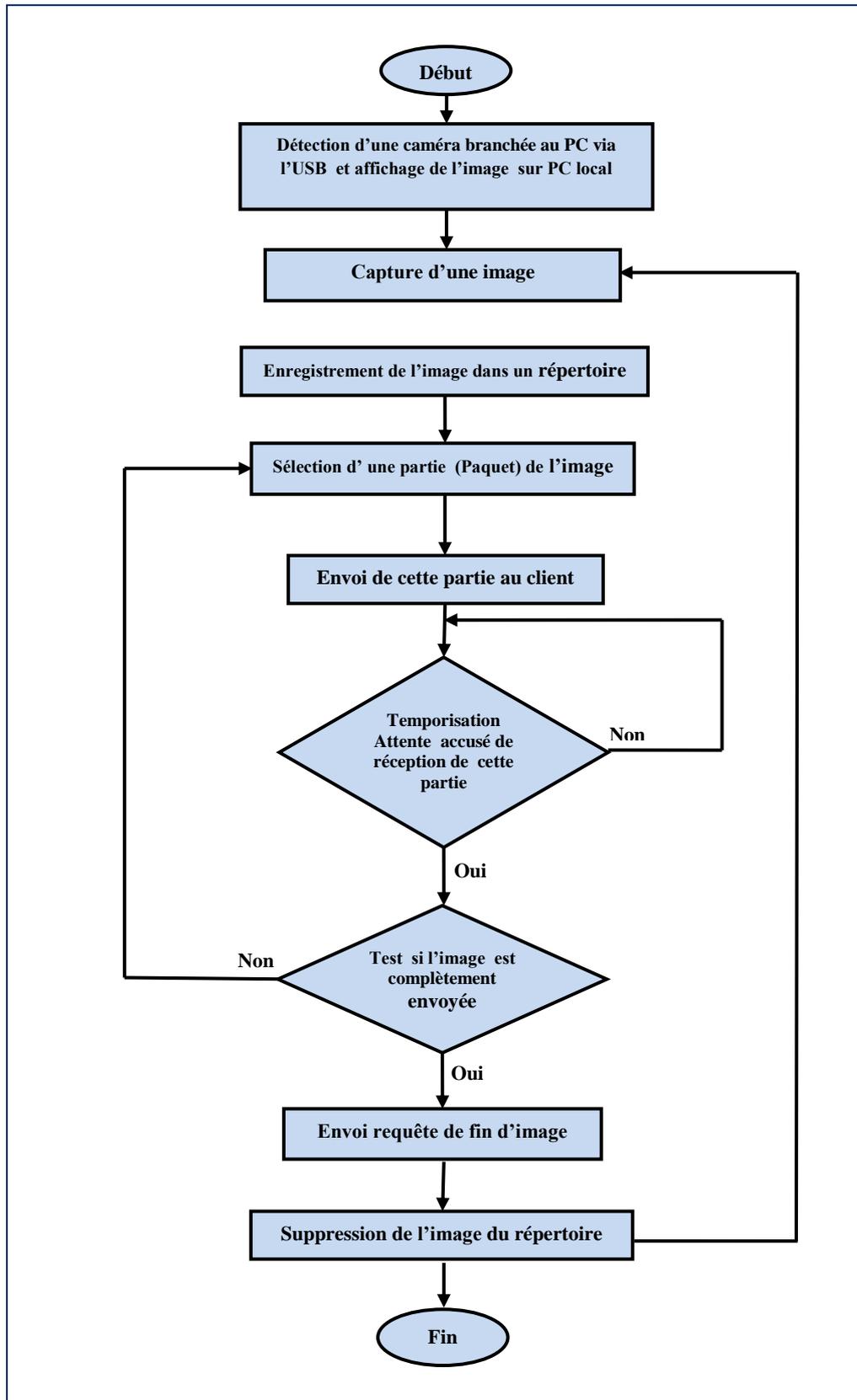
- Affichage et suppression d'image du répertoire pour remplacement par l'image suivante ;

```
Private Sub ImageServeur()  
Dim imag As Picture  
On Error Resume Next  
Set imag = LoadPicture("C:\client\Image.jpg")  
Picture1.Cls  
Picture1.PaintPicture imag, 0, 0, Picture1.ScaleWidth, Picture1.ScaleHeight  
If Photo.Enabled = True Then Exit Sub  
Photo.Enabled = True  
End Sub
```

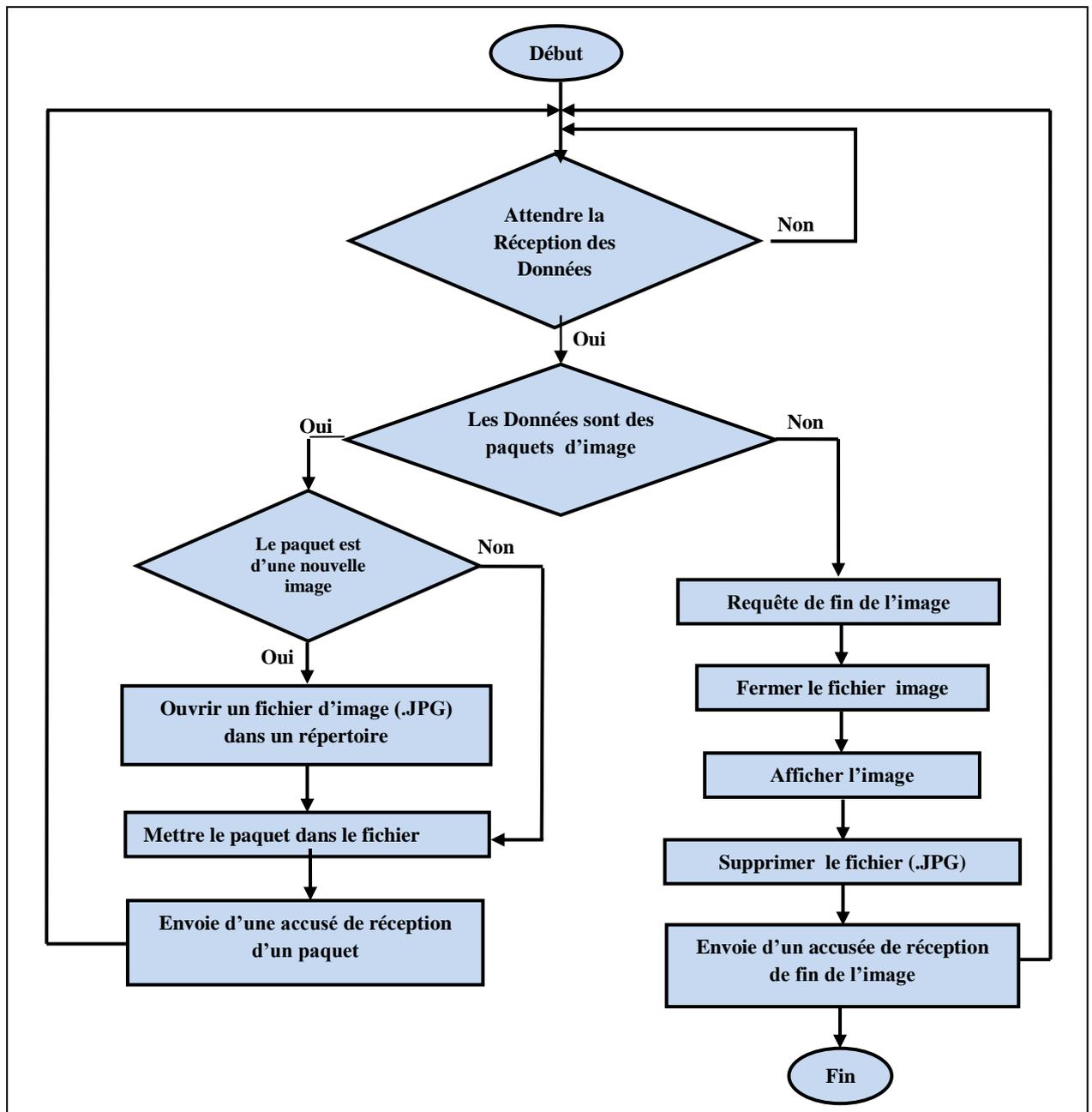
Il y a ensuite une exécution cyclique de cette procédure à de chaque côté.

L'organigramme suivant explique ce fonctionnement ;

Coté serveur (Patient)



Coté client (Médecin)



VI-4-4-2 Organigramme et procédure pour le signal vocal

La première partie à décrire dans cette section concerne les problèmes qu'ont peut retrouver dans le développement de l'interface de la transmission vocale.

Le premier problème à résoudre est celui de la communication de l'interface avec le microphone à travers la carte son, ou a travers le port USB, pour les mêmes raisons citées précédemment dans le cas du transfert vidéo.

Le deuxième problème réside dans la très forte contrainte temporelle due à l'interaction entre individus. Le temps de latence doit être inférieur à 300 ms si l'on veut garder une interaction humaine acceptable. Si l'on souhaite une bonne qualité de la conversation, la latence ne doit pas dépasser 150 ms.

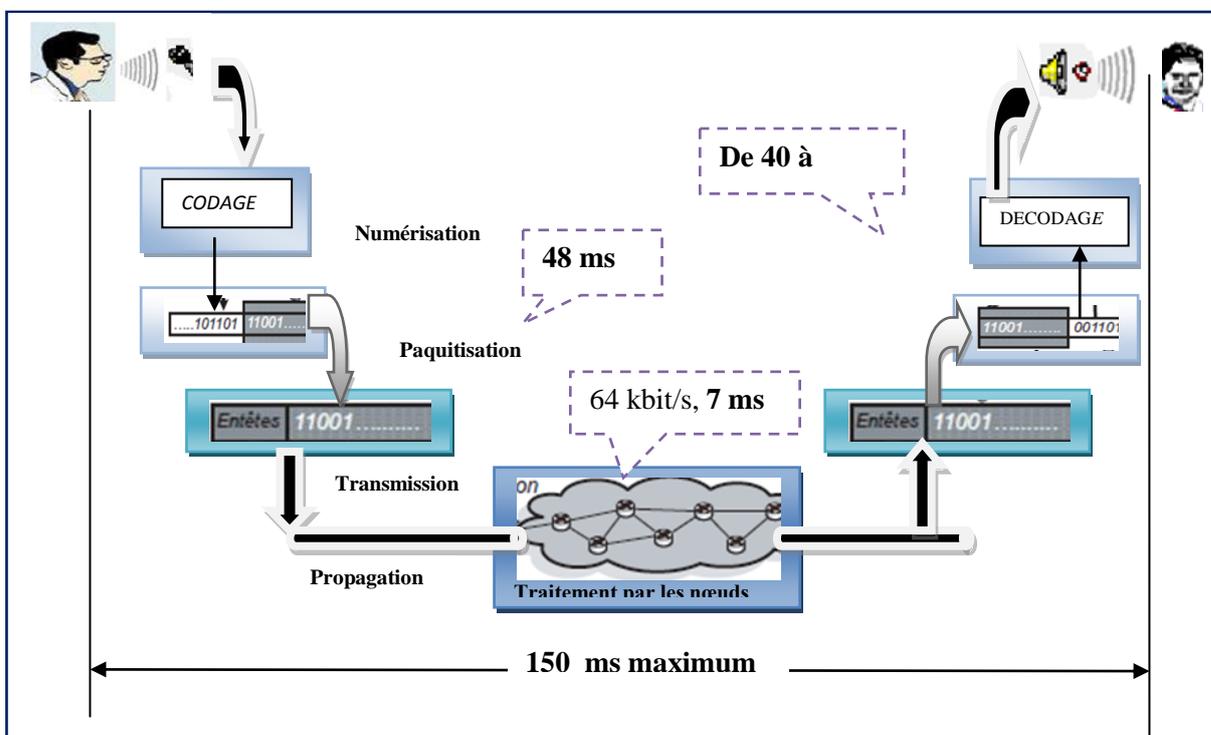


Figure VI-8 Temps de transfert d'un paquet

De la même manière que pour le transfert vidéo nous faisons appel au DLL. Pour le son nous avons mis en œuvre les des DLL intégrées dans le système d'exploitation Windows. Ces DLL sont :

winmm.dll, Kernel32.dll et user32.dll.

Nous pouvons accéder à l'API Windows (ou à d'autres DLL externes) en déclarant les procédures externes dans notre application Visual Basic. Une fois que nous avons déclaré une procédure, nous pouvons l'utiliser comme n'importe quel autre élément du langage compris dans le produit.

Les procédures externes les plus couramment utilisées sont celles que constituent Microsoft Windows lui-même. L'API Windows contient des milliers de fonctions, de procédures, de types et de constantes que nous pouvons déclarer et utiliser dans nos projets.

Le fichier Win32api.txt, qui se trouve dans le sous-dossier \Winapi du dossier principal Visual Basic, contient des déclarations pour un grand nombre des procédures de l'API Windows couramment utilisées en Visual Basic. Pour utiliser une fonction, un type, ou un autre élément à partir de ce fichier, nous copions celle-ci dans notre module Visual Basic. Nous pouvons visualiser et copier des procédures de Win32api.txt en utilisant l'application Visionneuse d'API, ou en ouvrant le fichier avec n'importe quel éditeur de texte.

Note :

L'API Windows contient une grande quantité de code. Pour trouver les informations de référence et d'autres détails sur les procédures incluses dans ce jeu d'API, nous nous reportons sur les fichiers Win32 SDK, qui se trouve sur le MSDN (Microsoft Developer Network)

Dans notre projet on utilise les fonctions API suivantes :

- Les fonctions d'utilisation des formats du son /

```
Declare Function waveInOpen Lib "winmm.dll" (lphWaveIn As Long, ByVal
uDeviceID As Long, lpFormat As WAVEFORMATEX, ByVal dwCallback As
Long, ByVal dwInstance As Long, ByVal dwFlags As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInPrepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long,
wH As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInUnprepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As
Long, wH As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInAddBuffer Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long,
wH As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInStart Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInStop Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInReset Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As
Long
```

```
Declare Function waveInClose Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As
Long
```

```
Declare Function waveOutOpen Lib "winmm.dll" (lphWaveOut As Long, ByVal
uDeviceID As Long, lpFormat As WAVEFORMATEX, ByVal dwCallback As
Long, ByVal dwInstance As Long, ByVal dwFlags As Long) As Long
```

```
Declare Function waveOutPrepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As
Long, wH As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveOutUnprepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As
Long, wH As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveOutWrite Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As Long, wH
As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveOutClose Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As Long) As
Long
```

```
Declare Function waveOutReset Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As Long) As
Long
```

```
Declare Function waveOutPause Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As Long) As
Long
```

```
Declare Function waveOutRestart Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveOut As Long) As
Long
```

- Les fonctions d'utilisation De la mémoire ;

```
Declare Function GlobalAlloc Lib "kernel32" (ByVal wFlags As Long, ByVal
dwBytes As Long) As Long
```

```
Declare Function GlobalFree Lib "kernel32" (ByVal hMem As Long) As Long
```

```
Declare Function GlobalLock Lib "kernel32" (ByVal hMem As Long) As Long
```

```
Declare Function GlobalUnlock Lib "kernel32" (ByVal hMem As Long) As Long
```

```
Declare Sub CopyPTRtoBYTES Lib "Kernel32.dll" Alias "RtlMoveMemory"
(ByRef ByteDest As Byte, ByVal PtrSrc As Long, ByVal length As Long)
```

```
Declare Sub CopyBYTESToPTR Lib "Kernel32.dll" Alias "RtlMoveMemory"
(ByVal PtrDest As Long, ByRef ByteSrc As Byte, ByVal length As Long)
```

- Les fonctions de codage ACM

```
Public Declare Function acmStreamOpen Lib "MSACM32" (hAS As Long, ByVal
hADrv As Long, wfxSrc As WAVEFORMATEX, wfxDst As WAVEFORMATEX,
```

```
ByVal wFltr As Long, ByVal dwCallback As Long, ByVal dwInstance As Long,
ByVal fdwOpen As Long) As Long
```

```
Public Declare Function acmStreamClose Lib "MSACM32" (ByVal hAS As Long,
ByVal dwClose As Long) As Long
```

```
Public Declare Function acmStreamPrepareHeader Lib "MSACM32" (ByVal hAS
As Long, hASHdr As ACMSTREAMHEADER, ByVal dwPrepare As Long) As
Long
```

```
Public Declare Function acmStreamUnprepareHeader Lib "MSACM32" (ByVal hAS
As Long, hASHdr As ACMSTREAMHEADER, ByVal dwUnPrepare As Long) As
Long
```

```
Public Declare Function acmStreamConvert Lib "MSACM32" (ByVal hAS As
Long, hASHdr As ACMSTREAMHEADER, ByVal dwConvert As Long) As Long
```

```
Public Declare Function acmStreamReset Lib "MSACM32" (ByVal hAS As Long,
ByVal dwReset As Long) As Long
```

```
Public Declare Function acmStreamSize Lib "MSACM32" (ByVal hAS As Long,
ByVal cbInput As Long, dwOutBytes As Long, ByVal dwSize As Long) As Long
```

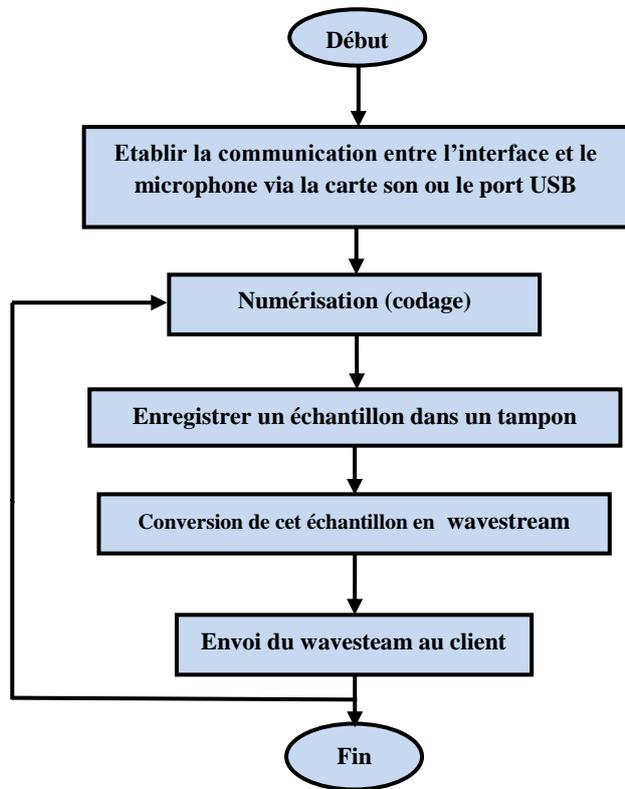
La fonction d'ouvrir des formats du son

```
Declare Function sndPlaySound Lib "winmm.dll" Alias "sndPlaySoundA" (ByVal
SoundData As Any, ByVal uFlags As Long) As Long
```

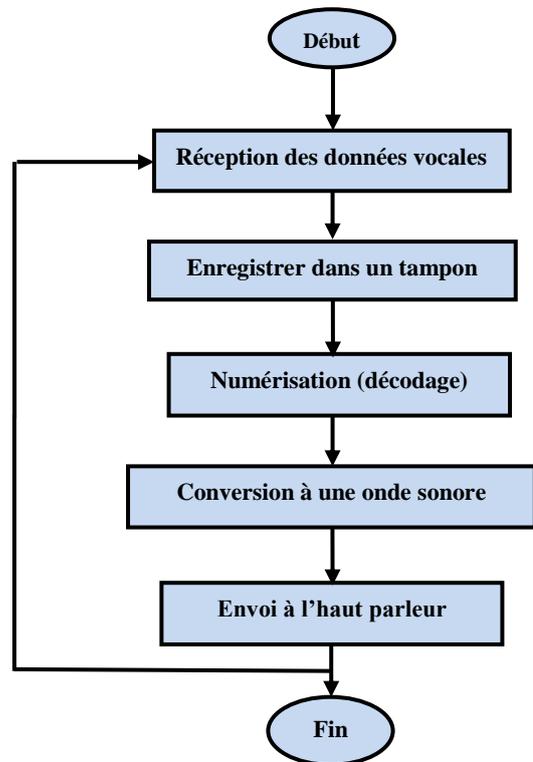
Le composant le plus important que nous avons trouvé est un module de classe dénommé wavestream.cls qui nous a facilité la procédure d'acquisition et de transmission des signaux vocaux sous forme wavestream, pour être transmis via TCP/IP (puisque TCP/IP support ce genre de données.)

L'organigramme suivant montre les étapes de transmission de son :

- Coté serveur



- Coté client



VI-4-5 Organigramme et procédure du transfert de fichier

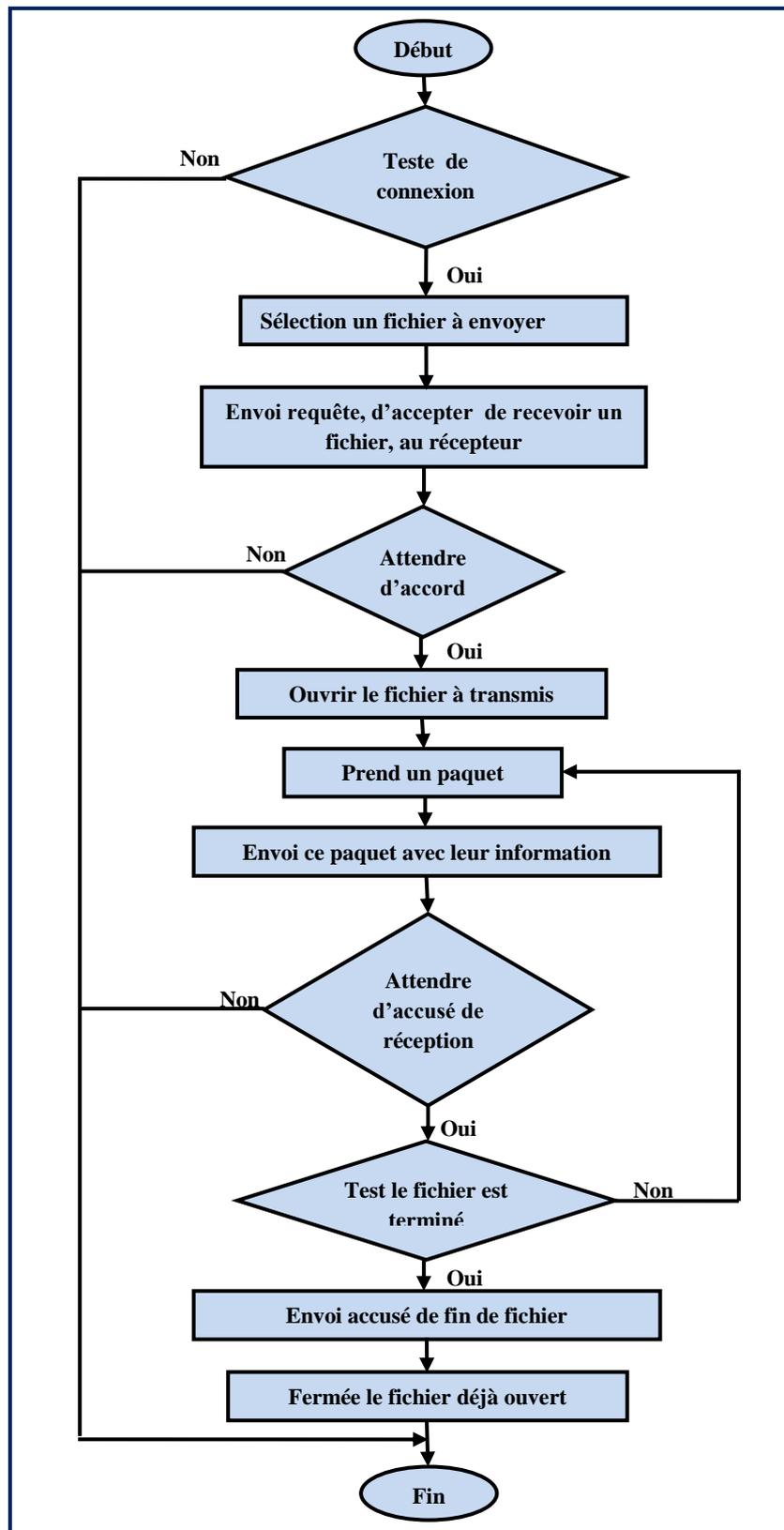
Ainsi, un transfert de fichiers correspond à un flux binaire constant. Il requiert un débit relativement important mais est très peu sensible au temps de transmission.

Pour le transfert de fichier nous avons utilisé le principe de partager ce fichier en segment de taille déterminée et puis envoyer chaque segment au récepteur tout seul, pour être regroupé coté récepteur au fichier original.

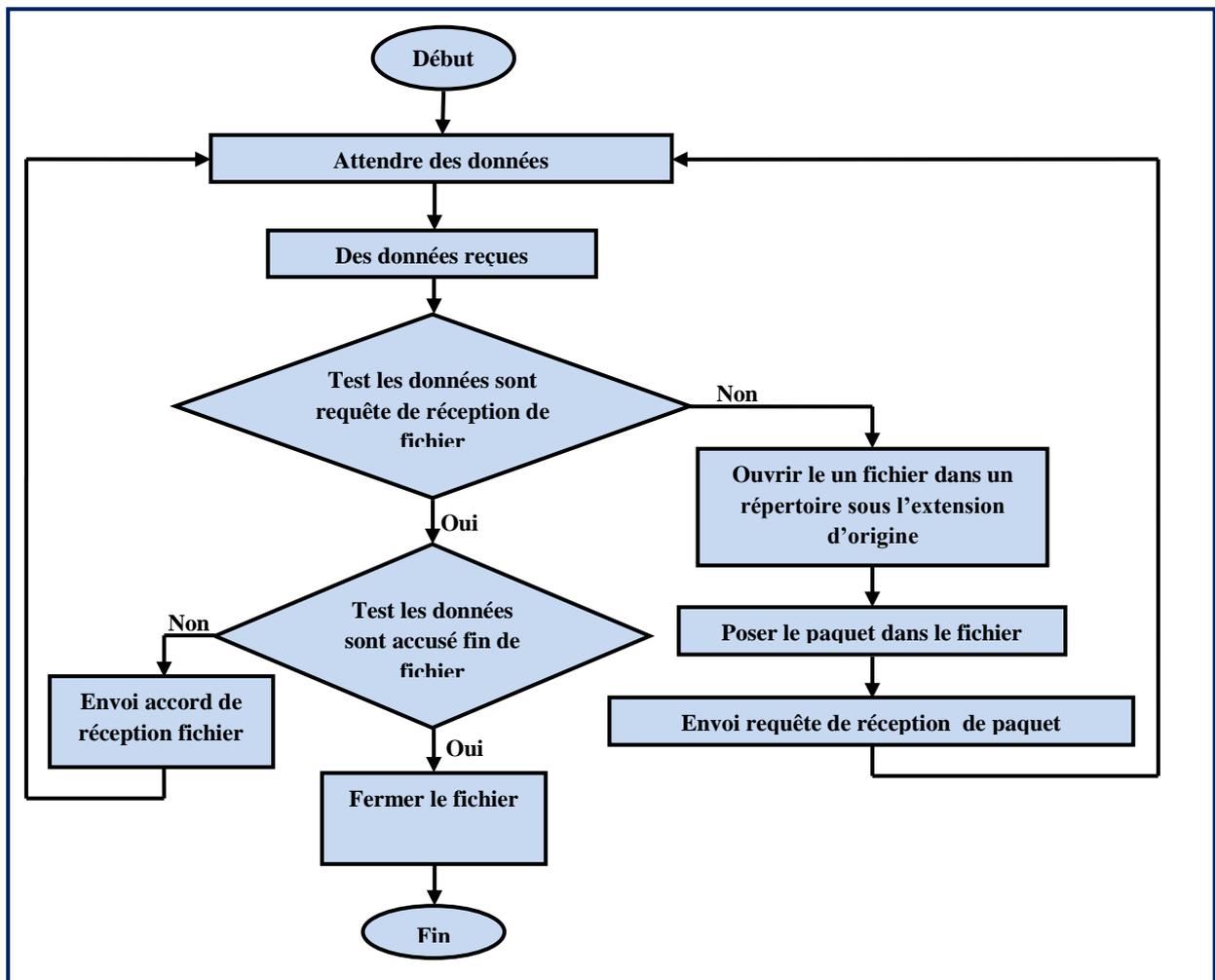
Nous n'avons utilisé aucune API dans cette partie.

Toutes les procédures d'envoi du fichier sont décrites dans l'organigramme suivant ;

Coté serveur



Coté client



VI-5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'interface de liaison entre les deux correspondants (Patient /Médecin), développée sous langage Visual Basic. cette Interface a donnée lieu a une description détaillée du programme développée est discuté dans ce chapitre. Cette description a été illustrée par la présentation de chaque organigramme du programme développée.

Conclusion Générale

Les Habitats Intelligents pour la Santé sont des Systèmes Domotiques Santé, s'appuyant sur les NTIC pour assurer un suivi médical à distance. Ils bénéficient d'une télésurveillance médicale et d'une nouvelle structuration de l'assistance, inspirée de la gamme de services existants (téléalarme, soins à domicile, HAD, EHPAD, hospitalisation en soins de suite, etc.). Cette structure alternative, automatisée et la moins coûteuse possible, devrait permettre de répondre de manière plus adaptée à la vie privée de l'individu et l'aider à vivre malgré ses maladies et/ou handicaps à son domicile. Les priorités sont d'une part, de redonner aux personnes dépendantes, et désireuses de rester à leur domicile, la possibilité d'accomplir les gestes et tâches de leur vie quotidienne (se lever, se déplacer, faire sa toilette, cuisiner, etc.), et d'autre part, de favoriser le maintien ou le retour à domicile des personnes dépendantes présentant des risques de pathologie motrice (personnes âgées, handicapées) ou cognitive. Ceci peut s'appliquer aussi à toute personne souffrant de problèmes de santé chroniques, cardiaques, neurologiques, respiratoires ou endocriniens (asthmatique, diabétique, etc.). Cette structure, moderne et respectueuse de la personne, fonctionne de façon passive, sans avoir besoin du concours du patient.

Le travail que nous avons élaboré dans le cadre de ce mémoire est un travail de développement technologique ayant pour but la mise en œuvre d'un réseau télé médical dédié à l'Habitat Intelligent pour la Santé.

Pour cela nous avons:

- 1- Pris pour signal prototype l'activité électrique du myocarde compte tenu de son importance vital.
- 2- Implémenté un recueil micro contrôlé de ce signal autour du PIC 16F876A de Microchip programmé en assembleur sous environnement MPLAB.
- 3- Réalisé une émission-réception de ce signal par modulation-démodulation numérique hertzienne 16 – Aire du patient vers le poste local configuré sous l'architecture serveur.
- 4- Implémenté une interface graphique sous environnement Visual Basic chargée de l'affichage, du traitement, de l'archivage et du transfert des données à un centre de vigilance sous protocole TCP/IP. Ces données revêtent le caractère Multimédia car il s'agit de la capture et de la transmission de flux textuels, vocaux, vidéo et de fichiers multi formats.

Ce plateau technique est opérationnel et ses perspectives d'utilisation sont liées à la décision de la mise en œuvre de la Télémédecine en général dont la problématique se pose en termes d'aménagement du territoire sanitaire.

Ce plateau technique a d'ors et déjà trouvé une application en Télé chirurgie de compagnonnage pour la transmission d'un champ chirurgical à une salle de conférence ou réciproquement pour l'assistance télé chirurgicale à partir d'une salle de conférence et est en cours d'expérimentation au service de chirurgie B du C.H.U. de Tlemcen.

Bibliographie

- [1] **Florence DUCHÊNE** « Fusion de données multi capteurs pour un système de télésurveillance médicale de personnes à domicile » Thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université Joseph Fourier le vendredi 15 octobre 2004
- [2] **Gilles VIRONE** « architecture et simulation locales du système d'information domotique-santé intégré à domicile (sid²) pour la détection de situations à risque et l'aide à la décision » thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Joseph Fourier le 26 novembre 2003.
- [3] **XUAN HOA BINH LE, MARIA DI MASCOLO, ALEXIA GOUIN, NORBERT NOURY** (Habitat Intelligent pour la Santé - Vers un outil d'aide à l'évaluation automatique de la dépendance d'une personne âgée) e-STA copyright 2007 by see Volume 4 (2007) , N 3 PP 7-12 .
- [4] **N. Demartinesa, E. Battgayb, J. Liebermann, M. Oberholzerd, Th. Ruffie, F. Hardera** « Télémédecine: perspectives et approche pluridisciplinaire » Schweiz Med Wochenschr 2000;130:314–23 Peer reviewed article.
- [5] **Norbert NOURY et Vincent RIALLE** (Habitat intelligent pour la santé : systèmes et équipements) INNOVATION Techniques de l'Ingénieur 4 - 2003
- [6] **Dr A. Chabouis** DPM/télémédecine (La télémédecine relève du champ exclusivement médical de la télésanté)
http://affairesjuridiques.aphp.fr/IMG/pdf/Point_reglementaire_sur_la_telemedecine.pdf 25-01-2012
- [7] Télémédecine Renseignements à l'intention des ergothérapeutes qui offrent des services de télémédecine Ordre des ergothérapeutes de l'Ontario
http://www.coto.org/pdf/french/Telepractice_brochure_fr.pdf 25-01-2012
- [8] <http://www.laboratoiresdelaretine.com/dmla/wp-content/uploads/AQDM-telemedecine.pdf>
- [9] **Mona LAILA** « La télémédecine et les technologies d'assistance pour la prise en charge des personnes âgées fragiles à domicile et en institution : modélisation du besoin, de la prescription et du suivi » **thèse** pour l'obtention du grade de docteur de l'université Joseph Fourier Le 21 septembre 2009
- [10] **Pierre Simon et Dominique Acker Conseillers généraux des établissements de santé** (Rapport La place de la télémédecine dans l'organisation des soins) CGES – Rapport Mission thématique n° 7/PS/DA - Novembre 2008 –
http://urpsmedpc.fr/images/publications_hors_urps/Rapport_dhos_Telemedecine_2008.pdf 25-01-2012
- [11] Les télécommunications et la santé
http://www.regency.org/t_in_act/pdf/french/health.pdf 5-2-2012
- [12] **F. Brunet** – Télémédecine 28 octobre 2010 <http://www.brnt.eu/telemedecine.pdf> 25-01-2012
http://www.canalu.tv/producteurs/universite_de_tous_les_savoirs/dossier_programmes/les_conferences_de_lannee_2004/les_nouvelles_therapies_soigner_demain/la_robotique_medicale_et_la_telemedecine
- [13] Note de cadrage « Efficience de la télémédecine : état des lieux de la littérature internationale et cadre d'évaluation » juin 2011 www.has-sante.fr
- [15] **Einthoven W.** La télé cardiogramme. Archives internationales de physiologie 1906;4:132–64.
- [16] **L'HAD de Bagatelle** <http://www.mspb.com/had01.html>.
- [17] **Noury N., Virone G., Ye J., Rialle V. et Demongeot J.**, « Nouvelles directions en habitats intelligents pour la santé », ITBM-RBM, 2003, 24, 122-135.
- [18] **Ohta S., Nakamoto H., Shinagawa Y. et Tanikawa T.**, « A health monitoring system for elderly people living alone », Journal of Telemedicine and Telecare, 2002, 8, 151-156.

- [19] **J.P. Thomesse**, “**TISSAD** : Technologies de l’Information Intégrées aux Services des Soins À Domicile,” Télémedecine et e-santé, R. Beuscart, P. Zweigenbaum, A. Venot, et P. Degoulet (eds), Springer-Verlag, collection “Informatique et Santé”, Paris, France, pp. 27–34, 2002.
- [20] MS letters of Hallet Turner to James Jurin. Wellcome Institute for the History of Medicine, London; 29 May 1726.
- [21] **Einthoven W**. Le télécardiogramme. Archives internationales de physiologie 1906.
- [22] **Jutra A**. Teleroentgen diagnosis by means of videotape recording. AJR Am J Roentgenol 1959.
- [23] **Perednia DA, Allen A**. Telemedicine technology and clinical applications. JAMA 1995.
- [24] **Elford R**. Telemedicine activities at memorial University of Newfoundland: a historical review, 1975–1997. J Telemed Telecare 1998.
- [25] **Fishman DJ**. Telemedicine – bringing the specialist to the patient. Nurs Manage 1997.
- [26] **Johnson J**. Managed care in the 1990s: providers’ new role for innovative health delivery. Hospitals 1992.
- [27] **C. Suarez**, “La télémédecine : quelle légitimité d’une innovation radicale pour les professionnels de santé ?,” Revue de l’Institut de Recherches Économiques et Sociales (IRES), vol. 39, 2002.
- [28] **L. Bajolle**, “E-médecine : Amélioration, Optimisation et Humanisation de la médecine de ville par l’usage de l’internet et des nouvelles technologies,” Thèse de doctorat en médecine de l’Université Joseph Fourier, Grenoble, janvier 2002.
- [29] **Richard Wootton, John Craig, Victor Patterson**, “Introduction to Telemedicine/ ed.. Second ed. 2006, London: The Royal Society of Medicine Press limited.
- [30] **A. Franco**, “La télémédecine au service de l’autonomie,” La revue de médecine interne, vol.24.
- [31] **A. Nemo**, “La télémédecine : Faire voyager les informations plutôt que le malade,” Journal du Téléphone, pp. 4, 1994.
- [32] **M. Ogawa, T. Tamura and T. Togawa**, “Automated acquisition system for routine, noninvasive monitoring of physiological data,” Telemedicine journal, Vol 4, No. 2, 1998.
- [33] **M. Ogawa and T. Togawa**, “Monitoring Daily Activities and Behaviors at Home by Using Brief Sensor,” 1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology, Lyon, France, October 12-14, 2000.
- [34] **M. Ogawa and T. Togawa**, “The concept of the Home Health Monitoring,” HealthCom 2003 “5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry,” Santa Monica, USA, pp. 71-73, June 2003.
- [35] **R. A. Felder, S. Kell, D. Mack, S. Wood, M. Alwan, B. Turner and A. Naidu**, “Applying Technology to Aging Populations: An Overview of Projected Needs and Emerging Solutions,” Third Annual Symposium on Aging, Keynote Address, Knoxville, TN, September 2002.
- [36] **G. Williams, K. Doughty and D.A. Bradley**, “A systems Approach to achieving CarerNet – An integrated and intelligent telecare system,” IEEE Transactions on information technology in biomedicine, vol. 2, No. 1, pp. 1- 8, March 1998.
- [37] **G. Williams, K. Doughty and D.A. Bradley**, “Distributed intelligent nodes as information filters in advanced telecare systems,” Proceedings of the First Joint BMES/EMBS Conference Serving Humanity, Advancing Technology, Atlanta, GA, USA, Oct. 13-16, 1999.
- [38] **G. Williams, K. Doughty and D.A. Bradley**, “safety and risk issues in using telecare,” Journal of Telemedicine and Telecare, vol. 6, Number 5, pp. 249-262.

- [39] **K Doughty, R. Isak, P.J. King, P. Smith and G. Williams**, “MIDAS – Miniature intelligent domiciliary alarm system – A practical application of telecare,” Proceedings of the First Joint BMES/EMBS Conference Serving Humanity, Advancing Technology, Atlanta, GA, USA, Oct. 13-16, 1999.
- [40] **M. Chan, H. Bocquet, E. Campo, T. Val and J. Pous**, “Alarm communication network to help carers of the elderly for safety purposes: a survey of a project,” International Journal of Rehabilitation Research 22. 131-136, 1999.
- [41] **Université de Rochester** - <http://www.futurehealth.rochester.edu/>
- [42] **P.M.D.S. Pallawala and K.C. Lun**, “EMR-based TeleGeriatric System,” MEDINFO V. Patel et al. (Eds) Amsterdam: IOS Press, pp. 849-853, 2001.
- [43] **B.G. Celler, E. Ilsar and W. Earshaw**, “Remote monitoring of the elderly at home: preliminary results of a pilot project at the university of N.S.W.,” Biomedical engineering – applications, basis & communications.
- [44] **B.G. Celler, T. Hesketh, W. Earnshaw and E. D. Ilsar**, “An instrumentation system for the remote monitoring of changes in functional health status of the elderly at home,” Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Baltimore, USA, Nov. 3-6, pp. 908-909, 1994.
- [45] **B.G. Celler, W. Earnshaw, E.D. Ilsar, L. Betbeder-Matibet, M. Harris, R. Clark, T. Hesketh and N.H. Lovell**, “Remote Monitoring of Health Status of the Elderly at Home. A multidisciplinary project on aging at the University of N.S.W.,” Int. Journal of Biomedical Computing 40, 147-155, 1995.
- [46] **S-C Chen, A. Lee, H-W Chen, K.H. Chao, Y.C. Huang, and Healthcare**, “E-Vanguard for Emergency – A wireless System for Rescue and Healthcare,” HealthCom 2003 “5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry,” Santa Monica, USA, pp. 29-36, June 2003.
- [47] **Georgia Institute of technology** - <http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri/>
- [48] **Georgia Institute of technology** - <http://www.bitc.gatech.edu/bitcprojects/ehc/indexEHC.html>
- [49] **Université de Washington** - <http://www.cs.washington.edu/assistcog/>
- [50] **Massachusetts Institute of Technology** - http://architecture.mit.edu/house_n/web/
- [51] **J. Demongeot, G. Virone, F. Duchene, G. Benchetrit, T. Herve, N. Noury and V. Rialle**, “Multi-sensors acquisition, data fusion, knowledge mining and triggering in health smart homes for elderly people,” C. R. Biologies 325. Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, pp. 673-682, 2002.
- [52] **N. Noury, G. Virone, J. Ye, V. Rialle et J. Demongeot**, “Nouvelles Directions en Habitats intelligents pour la santé,” revue ITBM-RBM, pp. 122-135, 2003.
- [53] **N. Noury**, « Détecteur de chute d’une personne », Brevet N°01/12046, 18 Sep 2001, Université Joseph Fourier de Grenoble, 2001.
- [54] **N. Noury, T. Hervé, V. Rialle, G. Virone and E. Mercier**, “Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors,” in Proc. IEEE-EMBS “Microtechnologies in Medicine & Biology,” Lyon, France, pp. 607-610, Oct. 2000.
- [55] **V. Rialle, N. Noury and T. Hervé**, “An experimental Health Smart Home and its distributed Internet-based Information and Communication System: first steps of a research project,” in Medinfo2001, Londres, Sep. 2001.
- [56] **Laboratoire TIMC** – <http://www-timc.imag.fr/AFIRM/SiteHIS/>
- [57] **V. Rialle**, “ Trop de technologie ne peut-il nuire à la télémédecine ? ” Le courrier de l’éthique médical 2 : 29-30.

- [58] **V. Rialle**, “ La santé par des capteurs au domicile : entre « meilleur des mondes » et opportunités de solidarités nouvelles : réflexion pour une éthique des technologies médicales au domicile du patient. Cahier du groupe Sujet, Théorie et Praxis, Maison des Sciences de l’Homme, Paris (www.lutecium.fr/stp/meilleur.html).
- [59] **D. Gann, S. Iwashita, J. Barlow and L. Mandeville**, “Housing and home automation for the elderly and disabled,” SPRU, Brighton, 1995.
- [60] **J. Barlow and D. Gann**, “Smart homes, unintelligent suppliers? Remaining barriers to home automation,” Proceedings of Intelligent Buildings: Realising the Benefits, EIBG/BRE: BRE, Garston, England, 1998.
- [61] **T. Venables, C. Taylor**, “Smart homes: A specification guide,” JRF, York Publishing, 2001.
- [62] <http://www.bath.ac.uk/bime/projects/smart/>
- [63] <http://www.gloucestersmarthouse.org.uk>
- [64] **A. Roth, Z. Carthy, and M. Benedek**, “Telemedicine in emergency home care--the 'Shahal' experience,” **J Telemed Telecare**, vol. 3, pp. 58-60, 1997.
- [65] **M.C. Mozer**, “The neural network house: an environment that adapts to its inhabitants,” in AAAI Spring symposium on intelligent Environments, pp 110-114, 1998.
- [66] **G. Elger and B. Furugren**, «SmartBo » - An ICT and computer-based demonstration home for disabled people » presented at Proc. 3rd TIDE Congress: Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen, 23–25 June, Helsinki, Finland, 1998.
- [67] **A. Van Berlo**, “A “smart” model house as research and demonstration tool for telematics development,” presented at Proc. 3rd TIDE Congress: Technology for Inclusive Design and Equality Improving the Quality of Life for the European Citizen, 23–25 June, Helsinki, Finland, 1998.
- [68] **A.J. Sixsmith**, “An evaluation of an intelligent home monitoring system,” *Journal of telemedicine and telecare*, 6: 63-72, 2000.
- [69] **A.P. Glascock and D.M. Kutzik**, “Behavioral telemedicine: a new approach to the continuous non intrusive monitoring of activities of daily living,” *Telemedicine journal*, 6 (1): 33-44, 2000.
- [70] **N. Maglaveras, V. Koutkias, S. Meletiadis, I. Chouvarda, and E. A. Balas**, “The Role of Wireless Technology in Home Care Delivery,” presented at MEDINFO 2001, London, 2001.
- [71] **J. Leikas, J. Salo and R. Poramo**, “Security alarm system support independant living of demented persons,” *proc. Gerontechnology 2nd international Conference*, pp 402-405, 1998.
- [72] **S.J. Richardson, D.F. Poulson and C. Nicolle**, “Supporting independent living through adaptable smart home (ASH) technologies”, in *Human welfare and technologies: papers from the human service information technology applications (HUSITA) conference on information technology and the quality of life and services*, pp. 87-95, 1993.
- [73] **S.J. Richardson, D.F. Poulson and C. Nicolle**, “User requirements capture for adaptable smarter home technologies,” in *rehabilitation technology: proc of the 1st TIDE congress*, pp 244-248, 1993.
- [74] **DITTMAR (A.)**. . *Les capteurs à distance et la télé- surveillance*. E-Santé : médecine de pointe, médecine de proximité, 23-24 janv. 2002, faculté de médecine de Lille, pp. 90-97 (2002).
- [75] **E. Neuman**, “Weighing device for bedridden patients,” *European patent 0 854 357 A1*, Jul. 22, 1998.
- [76] **E. De Canecaude**, “Device for weighing individuals on WC seat,” *Internat. Patent W085 04472*, Oct. 10, 1985.
- [77] **DEPEURSINGE (Y.)**. – Device for monitoring the activity of a person and/or detecting a fall... *US patent no 6 201 476 B1* (mars 2001).

- [78] **HERVÉ (C.)**. . Éthique, Politique et Société : vers une politique de santé publique. Presses Universitaires de France (2000).
- [79] **ARDITI (A.)**. . Effective color contrast : designing for people with partial sight and color deficiencies. Technical report, Lighthouse international (1999).
- [80] **MCCOY (K.F.)**. . Interface and language issues in intelligent systems for people with disabilities. Mittal et coll., pp. 1-11.
- [81] **VALLÈS (M.)**, **MANSO (F.)**, **ARREDONDO (M.T.)** et **DEL POZZO (F.)**. . Multimodal environmental control system for elderly and disabled people. Proc. IEEE-EMBS, 516-517 (1996).
- [82] **Rm di Scala** ,l'Essentiel en Informatique & programmation, éditions Berti à Alger, Novembre 2004.
- [83] **Claude Servin** ,RÉSEAUX & TÉLÉCOMS Cours avec 129 exercices corrigés 2° édition , Dunod, Paris, 2003, 2006.
- [84] **Gerardo RUBINO et Laurent TOUTAIN**, Réseaux locaux, École Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne - Campus de Rennes, Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique.
- [85] **Karanjit S.SIYAN** ,TCP/IP, le campus, Campuse Press,2002.
- [86] **Philippe Latu** , Modélisations réseau ,2000,2012
<http://www.inetdoc.net>.
- [87] **DI GALLO Frédéric**, COURS DE Réseaux et Systèmes. CNAM BORDEAUX 1999-2000.
- [88] <http://www.framip.nCOM>.
- [89] **Patrice KADIONIK** (BASES DE TRANSMISSIONS NUMERIQUES : Les modulations numériques) ENSEIRB, Bordeaux,2000.
- [90] **BIC J.C. / DUPONTEIL D. / IMBEAUX J.C.**, Eléments de communications numériques, Transmission sur fréquence porteuses, Paris, Dunod, 1986.
- [91] **F.de COULON**, Théorie et traitement des signaux, Paris, Dunod, 1984.
- [92] **John G. PROAKIS**, Digital communications, USA, McGraw-Hill 1989.
- [93] **Antoine Dhem et Jean Milaire**, Anatomie médicale Aspects fondamentaux et applications cliniques \ 2e édition Traduction de la 5e édition américaine Ouvrage original Anatomy Clinically oriented, Fifth Edition by **Keith L. Moore and Arthur F. Dalley** Lippincott Williams et Wilkins , 2006.
- [94] **G.J. Tortora et S.R. Grabowski**, PRINCIPES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE TORTORA'GRABOWSKI DEUXIÈME ÉDITION FRANÇAISE Traduction de: Principles of Anatomy and Physiology, Seventh Edition . , by Biological Sciences Textbooks, Inc., A & P Textbooks, Inc., and **Sandra Reynolds Grabowski**, 1993.
- [95] **Conférence de Gérard Comyn au HIT**, le 28 mai 2008 à Paris
- [96] **Medicare Standard Analytic File**, 2006
- [97] **JJ Mourad et coll**, **Arch Mal Cœur**, Utilisation des appareils d'auto mesure tensionnelle en France en 2004, 2005, 98 :779-82.
- [98] **Rapport de la FIEEC** : Une stratégie industrielle pour les marchés du futur juin 2008. p.51.
- [99] **Décret de confidentialité** du 15 mai 2007.

- [100] **Prs Sack et Leclercq** , Projet Etude Home care « suivi cardiaque à domicile » (SCAD) de Basse-Normandie en cours d'évaluation depuis 2007.
- [101] **Pr Salem Kacet**, dans le livre blanc de la télé cardiologie, p.13
- [102] **Hauser RG et al**, Heart Rhythm, 2004, 4, 399-405
- [103] Expérience du CHU de Lille : Fermon C Today data management in self-monitoring of blood glucose for diabetic patients Diabetes Metab, 2003;29:531-6
- [104] Rapport de la Commission du **Pr Joël Ménard**, remise au Président de la république en avril 2008.
- [105] **Giansanti D et all**, An experience of health technology assessment in new models of care for subjects with Parkinson's disease by means of a new wearable device. Telemed J E Health, 2006;14:467-72
- [106] Site de la société Intel : http://www.intel.com/research/exploratory/digital_home.htm

Annexes

A- L'émetteur HF

1000m Transmitting Module

Model No.: TM1000-1



A. Technical Specifications:

Parameter	Remarks	Reference Value			Units
		Minimum	Standard	Maximum	
Operating Voltages	DC	3		12	V
Operating Current		5		45	mA
Quiescent Current			≤0.02		mA
Modulation Mode	AM				
Operating Frequency	More than 20 choices	260	315	440	MHz
Transmitting Distance			1000		m
Dimension(LWH)			21*22*8		mm

B. Pin Function Introduction:

Pin	Name	Function
	VDD/VCC	Power Anode
	TXD/DATA	Data Terminal
	GND/VSS	Power Cathode
	ANT	Antenna

C. Product Specifications:

1. Transmitter module uses SAW stable frequency, small temperature excursion, even no excursion with hand touching, which can still guarantee the stable performance in the environment of vibration and big temperature change.
2. The low price allows it to be the complete substitute of LC oscillating circuit.
3. Frequency error is generally within $\pm 75\text{KHz}$, not like LC oscillating circuit of which the error is around $\pm 500\text{KHz}$, so that guarantee the reliability.
4. Under the normal conditions, quiescent current is almost zero.
5. Wide operating voltage range between DC3~12V;
6. Factory setting frequency is normally 315MHz/433Mhz, the frequency can be adjusted from 260MHz to 433MHz in case of special requirement.

D. Notes:

1. Before being used, connect 50 ohm 1/4 wavelength cable antenna (wavelength = light speed/frequency), around 23cm. To have the best effects, please pull out the antenna and keep it straight.
2. Transmitting module has good demand of power, transmitting distance will be very short even the module may not transmit if the power is not sufficient.
3. In order to reach the right transmitting distance, the antenna should be pulled out completely and the antenna of the receiver module should be straight. Both of the transmitter module and receiver module should be 1.5meter above the floor. The receiver module can only drive one LED in a level, open, interference-free environment.

B- Le récepteur HF

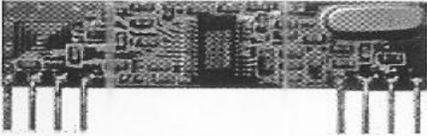


RXB1

315/434 MHz
Hybrid
Receiver

- ⊙Ideal for 315/433.92MHz Remote Keyless-Entry Receives.
- ⊙FCC approved.
- ⊙Phase-Locked loop Feature

The RXB1 is a miniature receiver module that receives On-off-keyed (OOK) modulation signal and demodulated to digital signal for the next decoder stage. Local Oscillator is made of PLL structure. The result is excellent performance in a simple-to-use, with a low external component count. The RXB1 is designed specifically for remote-control and wireless security receiver operating at 315/433.92Mhz in the USA under FCC Part 15 regulation.



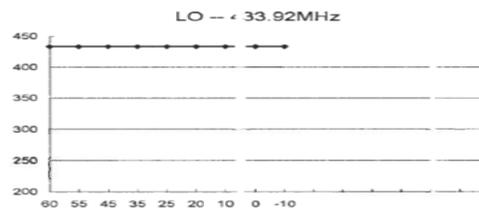
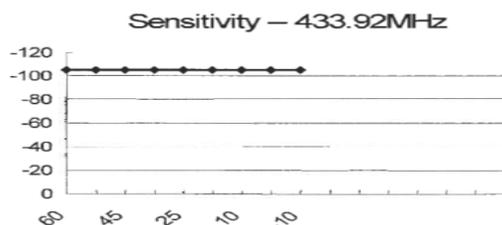
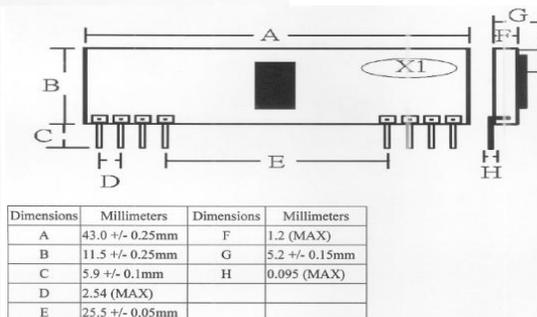
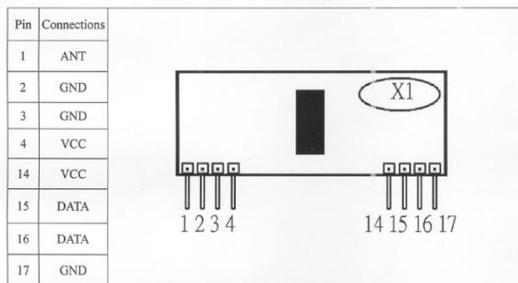
Absolute Maximum Ratings

Rating	Value	Units
Power Supply and/or Modulation Input Voltage	5	V
Operating temperature	-40 to +80	°C

Receiver Characteristics

Parameter	Symbol	Condition	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Sensitivity	Psens	Vcc=5.0V,TA=27°C, BER=3/100, 2Kbps	315MHz	-105		dBm
		433.92MHz		-104		
ASKOUT logic HIGH	VOH	Iload = 10uA	0.7*Vcc			V
ASKOUT logic LOW	VOL	Iload = 10uA			0.3*Vcc	V
Supply current	Icc			3		mA
Supply voltage Range	Vcc		+4.75	+5	+5.25	V
Data Rate			300	1K	4-5K	bps

* Data Rate can be increased to 10K by changing components
Pin assignment



C- : le microcontrôleur.

Réservés il y a encore quelques années aux seuls industriels, les microcontrôleurs sont aujourd'hui à la portée des amateurs et permettent des réalisations aux possibilités étonnantes. Leur utilisation peut se concevoir de deux façons différentes :

- On peut considérer que ce sont des circuits « comme les autres », intégrés à certaines réalisations, et tout ignorer de leur fonctionnement Interne ;
- Mais on peut aussi profiter de leurs possibilités de programmation pour concevoir ses réalisations ou bien encore pour modifier le comportement d'appareils existants.

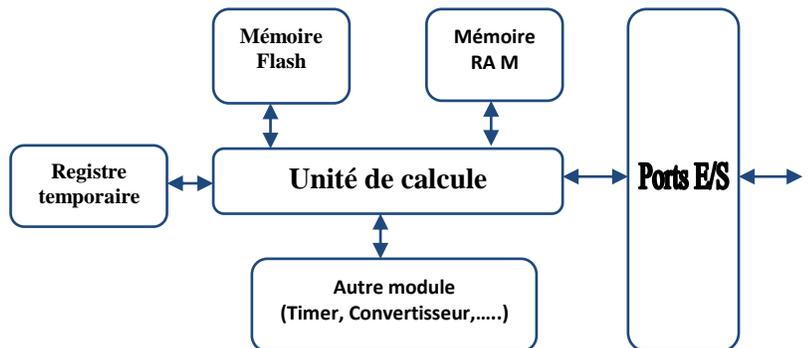
Pour ce faire, il faut évidemment savoir les programmer.

C-1 : Caractéristiques générales des microcontrôleurs PIC [1].

Un microcontrôleur est donc un circuit intégré qui contient en interne, c'est-à-dire dans un seul et même boîtier, l'équivalent de la structure complète d'un micro-ordinateur, tel que le montre la **Figure C-1**.

Figure C-1 : Architecture simplifiée d'un microcontrôleur

Les microcontrôleurs les plus utilisés actuellement sont ceux du constructeur MICROCHIP, connus sous l'appellation PIC (Programmable Integrated Circuit). Les PICs sont des composants dits RISC (Reduced Instruction Construction Set), ou encore composants à jeu d'instruction réduit, car plus on réduit le nombre d'instructions, plus facile et plus rapide en est le décodage, et plus vite le composant fonctionne.



La famille des PIC est subdivisée à l'heure actuelle en 3 grandes catégories :

- **Base-Line** : ils utilisent des mots d'instruction de 12 bits.
- **Mid-Range** : ils utilisent des mots d'instruction de 14 bits.
- **High-End** : ils utilisent des mots d'instruction de 16 bits.

Les PICs intègrent une mémoire de programme, une mémoire de données, des ports d'entrée-sortie (numériques, analogiques, MLI, UART, bus PC, etc.), et même une horloge, bien que des bases de temps externes puissent être employées. Certains modèles disposent de port et unités de traitement de l'USB.

Pour identifier un PIC, on utilise simplement son appellation du type

WW	(L)	XX	YYY	ZZ
----	-----	----	-----	----

- WW: Représente la catégorie du composant (12, 14, 16, 17, 18),
- L: Tolérance plus importante de la plage de tension.
- XX: Type de mémoire de programme:
 - C: EPROM ou EEPROM.
 - CR: PROM.
 - F: FLASH.
- YYY: Identification.
- ZZ: Vitesse maximum tolérable.

C-2 : Le microcontrôleur PIC 16F876A.

Le choix d'un PIC est lié directement à l'application envisagée, et aux différents avantages qu'il procure :

- Peu coûteux, il permet de réaliser des applications avec très peu de composants.
- Disponibilité des différents outils de développement.

Notre application utilise un **PIC 16F876A**, soit :

- 16 : Famille Mid-Range
- F : Mémoire FLASH
- Type 876A
- 20 : Quartz à 20MHz au maximum
- Un jeu d'instruction réduit à 35 instructions.
- Une mémoire vive de 368 octets.
- Une mémoire EEPROM pour sauvegarder des paramètres de 256 octets.
- Une mémoire morte de type FLASH de 8 Kmots (1mot = 14 bits), réinscriptible à volonté.
- 22 Entrées/sorties réparties sur 4 ports.
- 3 Temporisateurs : TIMER0 (8 bits avec pré diviseur), TIMER1 (16 bits avec pré diviseur avec possibilité d'utiliser une horloge externe réseau RC ou QUARTZ) et TIMER2 (8bits avec pré diviseur et post diviseur).
- Une tension d'alimentation entre 2 et 5,5 V.

Sa structure interne est donnée à la **Figure C-2**

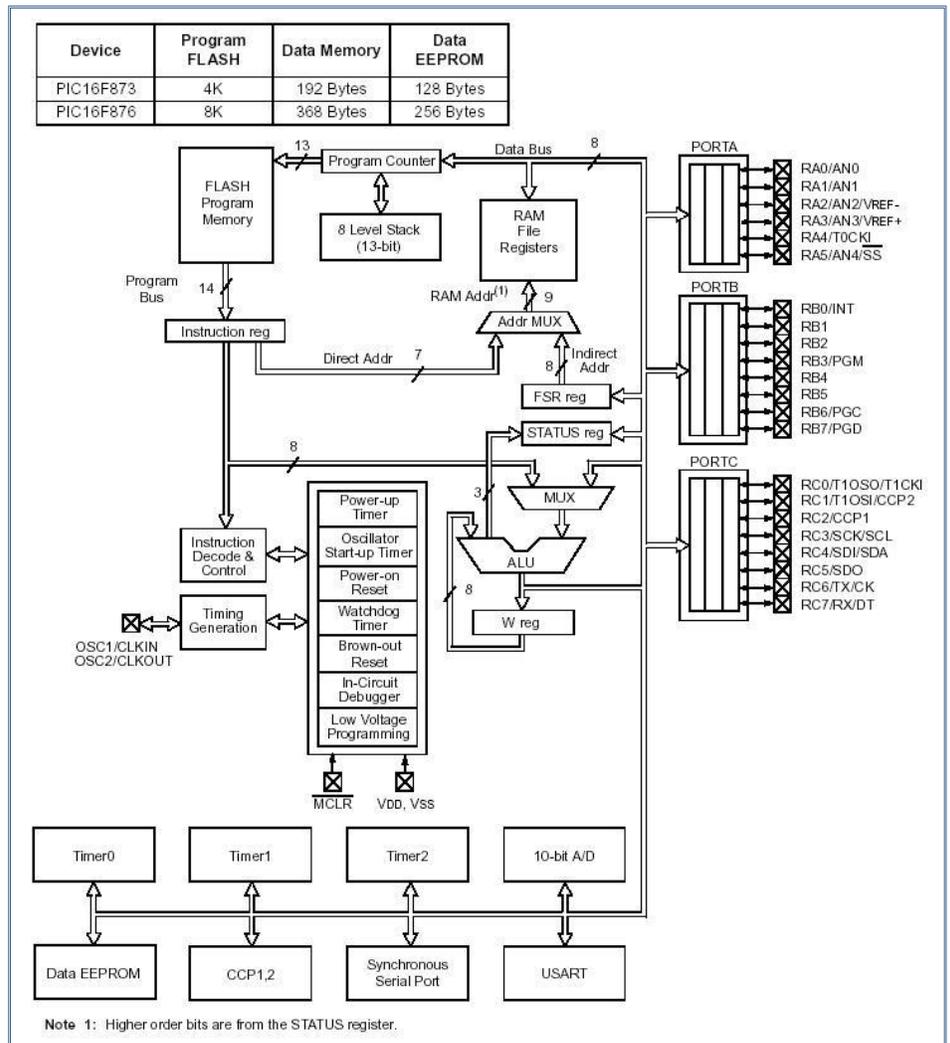


Figure C-2 : Architecture interne du PIC 16F876A

Toutes ces caractéristiques sont accessibles sur un boîtier de type DIP, organisé selon la **Figure C-3**.

- Le boîtier du PIC 16F876A décrit par la **Figure I-3** comprend donc 28 pins : 22 pins d'entrées/sorties, 1 pin pour l'alimentation, 2 pins pour l'oscillateur et une pin pour le reset (MCLR).

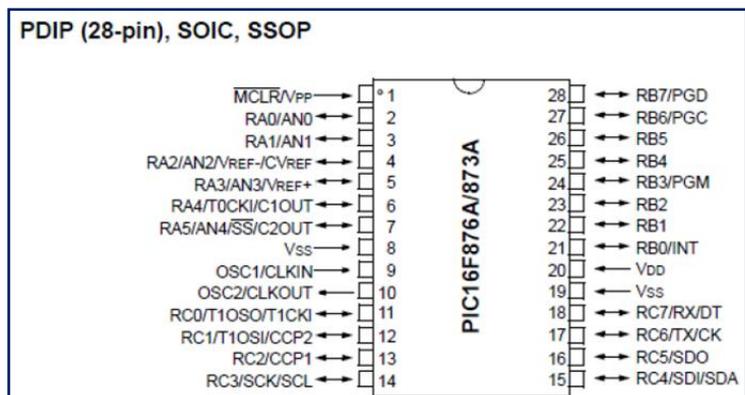
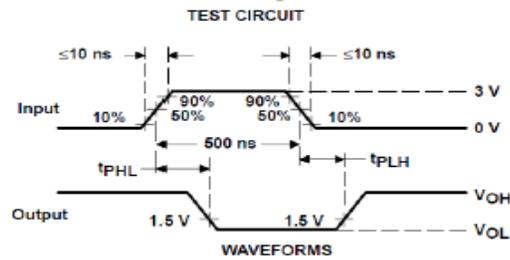
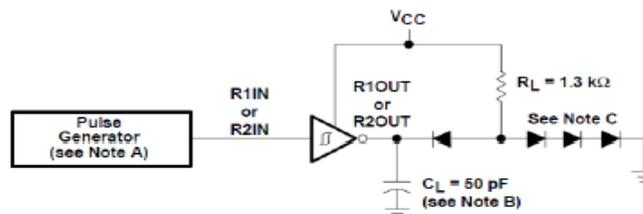
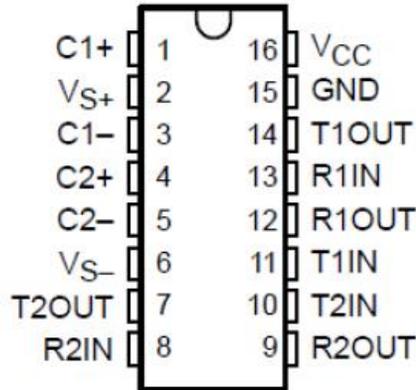


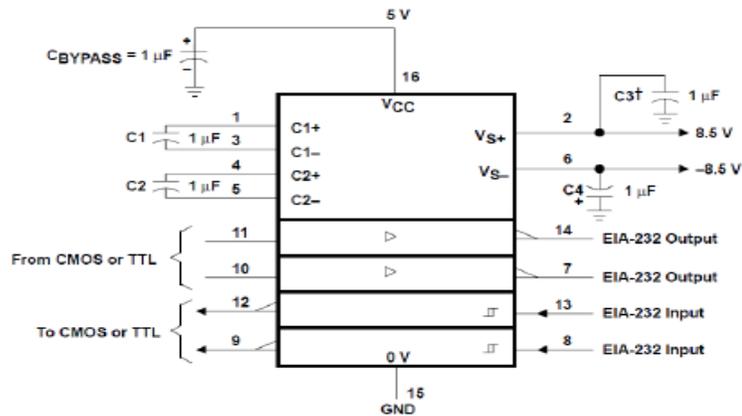
Figure C-3 : Brochage du PIC 16F876

D- Le MAX232

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
 MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
 (TOP VIEW)



APPLICATION INFORMATION



E- L'amplificateur d'instrument AD620

Low Cost Low Power
Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

Easy to use

- Gain set with one external resistor
(Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)

- 50 μ V max, input offset voltage
- 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift
- 1.0 nA max, input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio ($G = 10$)

Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth ($G = 100$)
- 15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

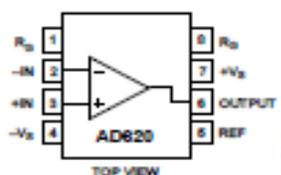


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max, and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

Rev. H

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

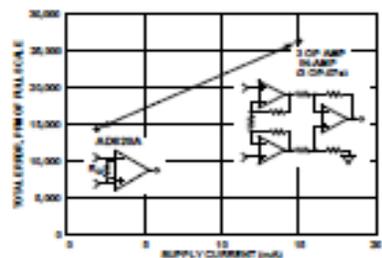


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.326.8703 © 2003–2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Résumé

Les Habitats Intelligents pour la Santé (HIS) sont des Systèmes Domotiques Santé, s'appuyant sur les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) pour assurer un suivi médical à distance. Ils bénéficient d'une télésurveillance médicale et d'une nouvelle structuration de l'assistance, inspirée de la gamme de services existants (téléalarme, soins à domicile, L'Hospitalisation A Domicile (HAD), les Etablissements d'Hébergement de Personnes Agées et Dépendantes (EHPAD), hospitalisation en soins de suite, etc.). Cette structure alternative, automatisée et la moins coûteuse possible, devrait permettre de répondre de manière plus adaptée à la vie privée de l'individu et l'aider à vivre malgré ses maladies et/ou handicaps à son domicile.

Le travail que nous avons élaboré dans le cadre de cette thèse est un travail de développement technologique ayant pour but la mise en œuvre d'un réseau télé médical dédié à l'Habitat Intelligent pour la Santé.

Pour cela nous avons:

- 1- Pris pour signal prototype l'activité électrique du myocarde compte tenu de son importance vital.
- 2- Implémenté un recueil micro contrôlé de ce signal autour du PIC 16F876A de Microchip programmé en assembleur sous environnement MPLAB.
- 3- Réalisé une émission-réception de ce signal par modulation-démodulation numérique hertzienne 16 – Aire du patient vers le poste local configuré sous l'architecture serveur.
- 4- Implémenté une interface graphique sous environnement Visual Basic chargée de l'affichage, du traitement, de l'archivage et du transfert des données à un centre de vigilance sous protocole TCP/IP. Ces données revêtent le caractère Multimédia car il s'agit de la capture et de la transmission de flux textuels, vocaux, vidéo et de fichiers multi formats.

Mots clé: Télé médecine, Télésurveillance, HIS, ECG, Visual Basic, MPLAB, Visioconférences, Protocoles de Communication, Socket.

Summary

Health Smart Homes (HSH) are systems house automations health, resting on the NTIC to ensure a remote medical monitoring. They profit from a medical remote monitoring and a new structuring of the assistance, inspired of the range of services existing (telealarm, home care, HAD, EHPAD, hospitalization in care of continuation, etc.). This alternative, automated structure and least expensive possible, should make it possible to answer in a way more adapted to the private life of the individual and help him to live in spite of his diseases and/or handicaps in his residence.

The design that we developed out within the framework of this thesis is a work of technological development in purpose the implementation of a tele medical network dedicated to the Intelligent Habitat for Health.

For that we have:

- 1- Taken for prototype signal the electric activity of the myocardium considering its vital importance.
- 2- Implemented a controlled micro collection of this signal around the PIC16F876A of Microchip programmed out of assembler language under environment MPLAB.
- 3- Carried out a send-recv of this signal by numerical modulation-demodulation hertzian 16 - Air of the patient towards the local station configured in framework server.
- 4- Achieving a graphical interface under environment Visual BASIC in charge with posting, the treatment, filing and the transfer of the data to a center of vigilance under protocol TCP/IP. These data are of the Multimedia nature because it is related to the capture and the transmission of textual, vocal, video flow and of files multi formats.

Keywords: Telemedicine, Tele surveillance, HIS, ECG, Visual Basic, RS232, MPLAB, Visio conferences, Socket, Communication Protocols.

ملخص

ان البيوت الذكية الصحية (HIS) هي عبارة عن انظمه آليه تستند على تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (NTIC) وذلك لتأمين المراقبة الطبية عن بعد للمرضي الذين يعانون من امراض مزمنة. هذه البيوت تعطي مراقبة طبية دائمة وبنية جديدة للرعاية الصحية مستوحاة من جميع الخدمات الطبية الموجودة (الانذار عن بعد , مؤسسات رعاية الأشخاص المسنين والمعاقين , التمريض المنزلي , الرعاية الصحية في المستشفيات... الخ) , هذه البنية البديله , الآلية والزهيدة الثمن يجب ان تحقق وبالطريقة الأكثر ملائمة , الحياة الطبيعية والخاصة للمريض والتي تمكنه من العيش بأمان , بالرغم من مرضه او اعاقته , في منزله الخاص . العمل الذي حققناه علي مستوي هذه الأطروحة هو عبارة عن تطوير تكنولوجي هادف الي انشاء شبكه مراقبة طبية مخصصه لهذه البيوت . من اجل ذلك عملنا الاتي:

- 1- اخذ كنموذج اشارته الكهربائية لعضلة القلب (التخطيط القلبي) , اعتبارا لأهميتها الحيوية الداله علي حاله الصحية لمرضي القلب .
- 2- ابتكار حساس لهذه الاشارة مبرمج بواسطة المتحكم المصغر PIC 16F876A بلغة الاسبور في بيئه امبيلاب (MPLAB).
- 3- ابتكار مرسل ومستقبل رقمي لهذه الاشارة وذلك لإرسالها من المريض الي الجهاز المحلي لدي المريض وعرضها علي الشاشة.
- 4- ابتكار نظام توصيل المعلومات من المريض في بيته الذكي الي الطبيب في المستشفى , مبرمج في بيئه فيجوال بيسك وذلك باستخدام الاداة وينسوك (WINSOCK) , المتوافقة مع نظام التشغيل WINDOWS , وفق البنية عميل-زبون (serveur-client) باستخدام بروتوكول الاتصال TCP/IP المستخدم في شبكه الانترنت . نظام التوصيل هذا قادر علي ارسال النصوص و الصوت و الصوره والإشارة الفيسيولوجيه للمريض مباشرة وفي الوقت الحقيقي مع امكانية ارسال أي نوع من البيانات المحفوظة لكلا الطرفين.

الكلمات المفتاحية : التطبيب عن بعد , الاشراف عن بعد , البيت الصحي الذكي , تخطيط القلب , فيجوال بيسك , بيئه امبيلاب (MPLAB) , محادثه صوت وصوره , بروتوكولات الاتصالات , السوكيت .