

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



THESE

Présentée

A L'UNIVERSITE DE TLEMCEM
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT

Spécialité : " Systèmes et Réseaux de Télécommunications "

Par

BOUROUIS Abderrahim

INTELLIGENT MOBILE HEALTH MONITORING SYSTEMS

Soutenue en Décembre 2013 devant le Jury:

BEREKSI REGUIG Fethi	Pr, Université de Tlemcen	Président
BOUKELIF Aoued	Pr, Université Sidi Bel Abbas	Examineur
CHIKH Mohamed Amine	Pr, Université de Tlemcen	Examineur
TALEB Nasreddine	Pr, Université de Sidi Bel Abbas	Examineur
FEHAM Mohammed	Pr, Université de Tlemcen	Directeur de Thèse
BOUCHECHIA Abdelhamid	Pr, Université de Bournemouth, UK	Co-directeur de Thèse

INTELLIGENT MOBILE HEALTH MONITORING SYSTEMS

Auteur : BOUROUIS Abderrahim
Prof. Responsable : FEHAM Mohammed
Co-directeur de Thèse : BOUCHACHIA Abdelhamid
Sujet proposé au sein du labo *STIC*

« Parfois vous commettez des erreurs lorsque vous innovez. Autant les admettre très rapidement et continuez à améliorer vos autres innovations »
Steve Jobs 1955-2011, Apple.

À la mémoire de ma grand-mère

À mes parents,

Ma future femme

Mes frères, mes sœurs

Et tous mes amis

Remerciement

Louange à notre ALLAH qui nous a dotés de la merveilleuse faculté de raisonnement. Louange à notre Créateur qui nous a incités à acquérir le savoir.

Au terme de ce travail, je profite de cette occasion pour adresser mes vifs remerciements à tous mes enseignants de l'universitaire ABOUBEKR BELKAID Tlemcen qui ont contribué à notre formation LMD.

*J'exprime ma profonde gratitude à mon Directeur de thèse le professeur **Mr FEHAM, Mohammed** Directeur du Laboratoire STIC, je le remercie pour son aide et ces précieux conseils qui m'ont été d'un grand apport. De même je tiens à remercier vivement mon Co-encadreur **Mr BOUCHACHIA Abdelhamid**, Professeur à l'université de Bournemouth UK pour les conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il m'a apportées durant mon projet de recherche et la réalisation de ce travail.*

Mes remerciements s'adressent aux membres de jury pour l'honneur qu'ils me font d'assister à ma soutenance et de corriger et évaluer mon travail.

*Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Mr **BEREKSI REGUIG Fethi**, Professeur à l'université de Tlemcen qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.*

*Je remercie sincèrement **Mr CHIKH Mohamed Amine**, Professeur à l'Université de Tlemcen, **Mr BOUKELIF Aoued**, Professeur à l'université Sidi Bel Abbes et **Mr TALEB Nasreddine**, Professeur à l'université Sidi Bel Abbes, d'avoir accepté de juger les travaux de cette Thèse.*

Un grand merci à mes parents et mes sœurs qui m'ont toujours encouragé à poursuivre mes études et à aboutir à ce but.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

تطبيقات الصحة المتنقلة (**Mobile Health**)، الأنظمة الجسمية و المنسوجات الذكية تعتبر كحلول مستقبلية، مرتبطة باستعمال الهواتف الذكية في الخدمات المتنقلة والاتصالات اللاسلكية في الشبكية الجسمية. هذه الحلول تعرف مجموعة متنوعة من التحديات، بما في ذلك انتشار الأمراض المرتبطة بنمط الحياة، والحاجة إلى تزويد المرضى بخدمات وأدوات الرعاية الذاتية وخاصة إدارة القرار في حالة تدهور الأوضاع الصحية وهذا من خلال الأجهزة النقالة.

أطروحة الدكتوراه التي بين أيديكم، تعالج تصميم وتطوير خدمات الصحة المتنقلة في الظروف المحدودة. نستعمل فيها الهواتف الذكية والشبكات الجسمية من أجل الخدمات المتنقلة الخاصة بالطب. من أجل هذا، نحن نقترح على مستوى مخبر البحث نظم وتكنولوجيات المعلومات والاتصال (**STIC**) مجموعة من المساهمات والتطويرات الخاصة بخدمات الصحة المتنقلة. مجموعة من محاور البحث تنتمي إلى هذا المجال نذكر على سبيل المثال هندسة الاتصال بين جميع ممثلي الشبكة، المراقبة عن بعد، تحديد المواقع وتطوير مستوى العيش.

هذه الأعمال تندرج في نشاطات مجموعة البحث الخاصة بالنظم الذكية والبيئية في مخبر نظم وتكنولوجيات المعلومات والاتصال (**STIC**) التابع لجامعة أبو بكر بلقايد بتلمسان.

كلمات دلالية- الصحة المتنقلة، خدمات الصحة عن بعد، خدمات تحديد المواقع، الهواتف الذكية، الشبكات الملبوسة، الأنظمة الذكية، الظروف المحدودة.

Résumé

Les applications m-health (Mobile Health), systèmes corporels et textile intelligent sont des solutions d'avenir, liées à l'usage du smartphone en mobilité, ou à la communication sans fils dans les réseaux corporels. Ces solutions connaissent une variété de défis, y compris la prévalence des maladies liées au style de vie, la nécessité de donner aux patients des informations pour une meilleure prise de décision, les demandes de meilleurs outils pour auto-prise en charge et la gestion de détérioration des conditions sanitaires, ainsi que la nécessité d'un accès continu aux services de soins via les appareils mobiles.

Cette Thèse de doctorat traite la conception, le développement et l'implémentation de services m-health adaptés aux conditions limitées. Nous utilisons les Smartphones et les réseaux corporels BAN-BSN pour des services mobiles dédiés à la médecine. Pour cela, nous proposons au sein du laboratoire de recherche des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) plusieurs contributions de développement de services mobiles innovants m-health. De nombreux axes de recherche sont impliqués dans ce domaine. Ils concernent notamment la conception d'architectures de communication entre les acteurs de ces systèmes, la télésurveillance et la localisation adaptée au contexte, l'amélioration de la qualité de vie des personnes et de traitement de données. Il s'agit alors de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques d'une personne à distance, impliquant la transmission de messages et d'alarmes aux acteurs concernés prêts à intervenir en cas de nécessité.

Ces travaux de recherche s'inscrivent également dans les activités de l'équipe de recherche SID (Systèmes Intelligents et Domotique) du laboratoire de recherche des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) de l'Université de Tlemcen.

Mot-clé—m-health, Services de Télémédecine, LBS, Smartphone, BSN, Les systèmes intelligents, Les conditions limitées.

Abstract

The m-health (Mobile Health) applications, body systems and intelligent textiles are the future solutions related to the use of smartphone mobility, or wireless communication in body area networks. These solutions are experiencing a variety of challenges, including the prevalence of lifestyle-related diseases, the need to provide patients with information for better decision making and management of deteriorating health conditions, as well as the need continued access to health care services through mobile devices.

This PhD thesis processes the design, development and implementation of m -health services adapted to limited conditions. We use smartphones and BAN- BSN body area networks for mobile services dedicated to medicine. For this, we propose in the research laboratory of Systems and Technologies of Information and Communication (STIC) more contributions and innovative mobile services in m-health field. Many areas of research are involved in this field. They concern the communication architecture design between actors of these systems, remote monitoring, location appropriate to the context, improving the quality of life of people and data processing. Then it is to detect and prevent the occurrence of critical situations remotely.

These research works contribute also in the activities of ISH (Intelligent Systems and House automation) research team in the laboratory of Systems and Technologies of Information and Communication (STIC) at Tlemcen University.

Keywords— m-health, telemedicine services, LBS, Smartphone, BSN, Intelligent systems, the limited conditions.

Table des matières

Remerciement.....	V
Résumé en arabe.....	VII
Résumé	VIII
Abstract	IX
Table des matières	XI
Liste des figures	XVII
Liste des tableaux.....	XIX
Glossaire.....	XX
Introduction générale.....	XXIV
Chapitre I	1
I.1- Contexte.....	2
I.1.1-M-health.....	2
I.1.2-Télémédecine.....	2
I.1.2.1-Télémédecine mobile	3
- La télémédecine personnelle.....	3
- La Télé-expertise par mobile.....	4
- Téléformation par mobile	4
- La téléassistance mobile	4
- Télé alarme mobile	4
- Télé alarme mobile spécial Alzheimer	5
I.1.3-Les conditions limitées dans les pays pauvres et émergents.....	5
I.2 - Quelques définitions	6
I.2.1 - Service.....	6
I.2.2 - Terminaux mobiles	6
I.2.3 - Smartphone	7
I.2.4 - Les réseaux sans fils.....	7
I.2.4.1 - Wifi (IEEE 802.11)	7

I.2.4.2 - Bluetooth (IEEE 802.15.1).....	8
I.2.4.3 - ZigBee (IEEE 802.15.4).....	8
I.2.4.4 - UWB (IEEE 802.15.3)	8
I.2.5 - Réseaux d'accès radio mobiles	8
I.2.5.1 - GSM (2G).....	8
I.2.5.2 - GPRS (2.5G)	9
I.2.5.3 - HSCSD ou EDGE	9
I.2.5.4 - L'UMTS (3G)	10
I.2.5.5 - Technologie HSDPA (3.5G)	10
I.2.5.6 - Technologie HSUPA (3.75G)	10
I.2.5.7 - Technologie 4G (LTE, WIMAX).....	10
I.2.5.8 - Technologie de nouvelle génération NGN	10
I.2.6 - Les protocoles de communication dans les réseaux de données.....	11
I.2.6.1 - Présentation des technologies et des principaux protocoles utilisés	11
I.2.6.2 - Modèle TCP/IP	11
- Protocole IP	12
- Protocole UDP	12
- Protocole TCP.....	12
- Protocole HTTP	13
I.2.7 - Systèmes intelligents (IS)	13
I.2.8 - Réseaux de capteurs corporels (BAN).....	13
I.2.8.1 - Définition	13
I.2.8.2 - Architecture	14
I.2.8.3 - Capteurs et actionneurs	15
I.2.8.4 - Les domaines des réseaux BAN.....	17
- Domaine médical	17
- Domaine des services d'urgence	19
I.2.8.5 - Problèmes liés aux réseaux BAN	19
I.3 - Objectifs du travail	20
I.4 - Contributions et Conclusion	20
Chapitre II	24
II.1 - Description de l'application m-health	25

II.2 - Exigences de l'application m-health	25
II.3- Architecture proposée.....	26
II.3.1 - Les cas des architectures possibles	26
II.3.2- Architecture proposée.....	27
II.3.3- Topologie choisie	27
II.3.4- Etat de l'art sur les architectures utilisées.....	28
II.3.5-Proposition de notre modèle m-health.....	32
II.4 - Intégration du smartphone dans le m-health	34
II.4.1- Caractéristique	35
II.4.2- Système d'exploitation	35
II.4.2.1- Symbian OS :	36
- Versions	38
- Les interfaces utilisateur	39
II.4.2.2- Windows Mobile.....	40
II.4.2.3- iOS ou iPhone OS	41
II.4.2.4- Android	42
- Caractéristiques	43
- Version.....	43
- Les capteurs sous Android.....	44
II.4.2.5- Maemo	44
II.4.2.6- BlackBerry OS	45
II.4.2.7- Autres systèmes d'exploitation	45
II.5-Validation du choix: smartphone, architecture et topologie.....	46
II.5.1- Conception de la plateforme d'évaluation basée sur le modèle m-health	46
II.5.2- L'implémentation de la plate-forme m-health.....	47
II.6 - Conclusion.....	51
Chapitre III.....	54
III.1-Introduction au service de localisation médicale	55
III.2- Les méthodes de localisation	55
III.2.1-Les Techniques géométriques d'estimation de position	56
III.2.2-Le Timing.....	57
III.2.3-La Direction - Angle d'Arrivée (AoA)	57

III.2.4-La Puissance du signal	57
III.3-Les moyens de localisation utilisés dans les services mobiles.....	58
III.3.1-Les Systèmes de localisation par satellites.....	58
III.3.1.1- Modes de localisation	58
III.3.1.2- la localisation à partir de plusieurs satellites	58
III.3.2- Proposition d'un algorithme pour la conservation d'énergie dans la localisation GPS	60
III.3.2.1- L'application d'évaluation.....	60
III.3.2.2- Evaluation de la consommation d'énergie du GPS par notre application m-health.....	61
III.3.2.3- Description de l'algorithme ETC.....	62
III.3.2.4- Validation de l'algorithme ETC	63
III.3.3-Les systèmes de localisation par réseaux terrestres.....	66
III.3.3.1- Les cas de localisation utilisés par une application m-health via le réseau cellulaire GSM	67
-La localisation à base du réseau (Network-based):	67
-La localisation à base du mobile (handset-based)	67
-La localisation Hybride.....	67
-La localisation à la cellule près ou "Cell ID"	68
-La localisation par temps d'arrivée TOA	69
-La technique Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)	69
-La localisation par direction d'arrivée AOA	70
III.4-Proposition d'une solution de localisation pour un système m-health	71
III.4.1- Le Cell ID et les données de localisation	72
III.4.2- le concept cellulaire.....	72
III.4.2.1-La Cellule.....	72
III.4.2.2-Découpage cellulaire	74
III.4.2.3-La zone de localisation (LA)	75
III.4.2.4-La zone de service MSC/VLR.....	75
III.4.2.5- La zone de service PLMN	75
III.4.3-Les adresses et les identificateurs liées à la localisation dans une application m-health	76
III.4.3.1-Identité internationale de l'abonné mobile (IMSI).....	76
III.4.3.2-Identité temporaire de l'abonné mobile (TMSI)	77

III.4.3.3- Numéro ISDN de l'abonné mobile (MSISDN)	77
III.4.3.4-Numéro du Roaming de la station mobile (MSRN)	78
III.4.3.5-Identité international de l'équipement mobile (IMEI)	78
III.4.3.6-Identité de la zone de localisation (LAI)	79
III.4.3.7-L'identificateur de cellule CI (Cell-ID).....	80
III.5-Conception et implémentation d'un algorithme de localisation Cell-ID pour une application m-health.....	81
III.5.1- Présentation du prototype d'évaluation.....	81
III.5.2- Evaluation de la méthode de localisation	83
III.5.3-Description et validation de l'algorithme.....	85
III.5.3.1- Le profil d'utilisateur	87
III.6-Conclusion	88
Chapitre IV	90
IV.1-L'application iTEST	91
IV.1.1- Introduction	91
IV.1.2- Motivation.....	91
IV.1.3- Description de l'application iTEST	92
IV.1.4- Discussion détaillée sur les travaux connexes & différenciation.....	92
IV.1.5- Architecture du système et méthodologie	94
IV.1.5.1-Méthodologie.....	95
IV.1.5.2- Description de l'algorithme de classification des images rétinienne.....	96
IV.1.6- L'algorithme ETC2 dans l'application iTEST	100
IV.1.7-Expériences et résultats	102
IV.1.8-Evaluation de la consommation d'énergie de l'application iTEST	107
IV.2-Application m-health pour la détection de chute chez les personnes âgées	107
IV.2.1-Motivations et travaux connexes.....	108
IV.2.2-Principe et méthodologie.....	109
IV.2.3-Expériences et résultats	113
IV.3-Conclusion	117
Conclusion Générale	122
Bibliographie.....	124
Annexe 1	131

Annexe 2	144
Travaux associés à cette thèse	172

Liste des Figures:

Figure 1.1 : Le Vitaphone	3
Figure 1.2: Mini téléphone mobile pour la téléassistance.....	4
Figure 1.3: Couverture GSM en Algérie.....	6
Figure 1.4: Les services dans les Smartphones.....	7
Figure 1.5: Systèmes en couches	12
Figure 1.6: Architecture du capteur	15
Figure 2.1: Topologie étoilée et topologie maillée.....	28
Figure 2.2: Architecture fonctionnelle du modèle proposé d'un système m-health.....	33
Figure 2.3: Smartphones avec une capacité sans fil et une puissance de calcul	35
Figure 2.4: Résultat des statistiques sur la vente mondiale de smartphones au premier trimestre 2011 selon le système d'exploitation [70]	36
Figure 2.5: Les différents fabricants de téléphones portables avec Symbian OS	37
Figure 2.6: Capture d'écran d'un Nokia 5800 sous Symbian 9.4.....	39
Figure 2.7: Logo de Windows Mobile OS	40
Figure 2.8: Capture d'écran de Windows mobile.....	41
Figure 2.9: Capture d'écran d'un iphone avec un thème winterboard	42
Figure 2.10: Logo de l'Android OS	42
Figure 2.11: Capture de l'écran d'accueil du système Android	43
Figure 2.12: Capture d'écran de Maemo5	45
Figure 2.13: Logo du BlackBerry OS	45
Figure 2.14: Architecture du système m-health	46
Figure 2.15: Temps d'exécution sur Nokia 700 sous Symbian S60	49
Figure 2.16: Temps d'exécution sur Galaxy S sous Android	49
Figure 2.17: Temps d'exécution sur Iphone 4 sous IOS	50
Figure 3.1: Position en fonction du nombre et du type de nœuds de référence.....	56
Figure 3.2: Estimation de position par trilatération	56
Figure 3.3: Estimation de position par triangulation.....	57
Figure 3.4 : Localisation par satellites.....	59
Figure 3.5: Capture d'écran de l'application m-health avec la fonction GPS intégrée...	60
Figure 3.6 : Coût d'énergie de la méthode GPS dans une application m-health.....	61
Figure 3.7: La moyenne de la durée d'une batterie d'un smartphone (m-health).....	62
Figure 3.8 : Positionnement de notre algorithme dans un smartphone (m-health)	63
Figure 3.9 : La lecture de l'accélération à partir du smartphone.....	64
Figure 3.10 : La moyenne de la durée d'une batterie d'un smartphone (m-health) après l'implémentation de l'algorithme ETC	65
Figure 3.11 : Localisation par Cell ID	69
Figure 3.12 : La technique E-OTD	70
Figure 3.13 : La technique AOA	71

Figure 3.14: La forme cellulaire d'une zone géographique.....	72
Figure 3.15 : Structure d'une cellule	73
Figure 3.16 : Structure réelle des cellules dans le réseau GSM	73
Figure 3.17 : Approche hexagonale de la cellule	74
Figure 3.18 : Découpage cellulaire.....	74
Figure 3.19 : Zone de service MSC/VLR	75
Figure 3.20 : Composition de l'IMSI	76
Figure 3.21 : Composition de MSIDN	78
Figure 3.22 : Composition du MSRN	78
Figure 3.23 : Composition de l'IMEI.....	79
Figure 3.24 : Composition de LAI	80
Figure 3.25 : Cell-ID (N°06 KARA SLIMANE El Kiffane)	80
Figure 3.26: Capture d'écran de l'application m-health avec la fonction Cell-ID.....	81
Figure 3.27 : La surveillance d'une personne malade par la technique Cell-ID.....	82
Figure 3.28 : Schéma descriptif de système d'évaluation	83
Figure 3.29 : Coût d'énergie de la méthode GPS dans une application m-health.....	84
Figure 3.30 : Insertion des données dans la base de données de référence.....	84
Figure 3.31 : Aperçu de la page résultat de localisation par le serveur de surveillance..	85
Figure 3.32 : Exemple de l'utilisation de l'algorithme CIPA pour définir la localisation selon le profile	86
Figure 3.33 : L'algorithme CIPA.....	87
Figure 3.34 : L'évaluation de l'algorithme CIPA avec l'application m-healt	88
Figure 4.1 : Images rétinienne saines et infectées causant la cécité	92
Figure 4.2: Architecture du système iTEST	95
Figure 4.3 : Image rétinienne capturée par notre lentille microscopique.....	96
Figure 4.4 : Topologie des réseaux de neurones perpétrons multicouches	97
Figure 4.5 : La chaîne de traitement d'une image rétinienne	98
Figure 4.6 : Le principe de l'apprentissage du réseau de neurones	99
Figure 4.7 : La topologie du réseau de neurones dans notre application iTEST	99
Figure 4.8 : Fonctionnement de l'application iTEST.....	100
Figure 4.9 : Algorithme de gestion des ressources ETC2	101
Figure 4.10 : Rapport entre la consommation d'énergie et le nombre de test avec la durée de batterie (Heurs) dans le cas rooté (ETC2 appliqué) et non rooté.	105
Figure 4.11 : Validation de l'algorithme ETC	107
Figure 4.12 : Architecture du système de détection de chute chez les personnes âgées.	110
Figure 4.13 : Capture d'écran de l'accélération dans le détecteur de chute sur smartphone (ordonnée: Accélération, abscisse: Temps (ms))	111
Figure 4.14 : Fonctionnement de l'application	112
Figure 4.15 : Architecture du système de la troisième méthode	113
Figure 4.16 : Affichage basé sur le Web de l'accélération et de la localisation d'une personne âgée en utilisant Google Chart (pas de chute).....	114
Figure 4.17 : Capture d'écran WEKA sous Android (naïve bayésienne).....	116

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Les différents capteurs couramment utilisés dans les BAN	17
Tableau 1.2: Les applications du BAN dans le domaine médical	19
Tableau 2.1: Ventes mondiales de smartphones aux deuxièmes trimestres 2009 et 2010 et au premier trimestre 2011 selon le système d'exploitation.....	36
Tableau 2.2: Le rapport entre la consommation d'énergie et la plateforme utilisée dans une application m-health	51
Tableau 3.1 : les codes MNC en Algérie.....	77
Tableau 4.1 : Exemples de test utilisés par notre application (BD. DIARETDB0).....	103
Tableau 4.2 : Taux de précision de détection pour les 60 images de test	104
Tableau 4.3 : Influence de l'algorithme ETC2 avec et sans root sur notre application iTEST.....	104
Tableau 4.4 : Exemple d'images test de la deuxième expérience.....	106
Tableau 4.5 : Résultats de test pour la deuxième expérience avec 200 images rétiniennes.....	106
Tableau 4.6 : Comparaison des résultats d'expériences	115
Tableau 4.7 : Durée de vie de la batterie pour la deuxième et la troisième méthode.....	116

Glossaire

A

AFS: Andrew File System.

AID HOUSE: Assisted Interactive Dwelling House.

API: Application Programming Interface.

ARM: Advanced RISC Machines.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

ASP: Application Service Provider.

B

BAN: Body Area Network.

BDS: BREW Distribution System.

BNEP: Bluetooth Network Encapsulation Protocol.

BREW: Binary Runtime Environment for Wireless.

C

CDMA: Code Division Multiple Access.

CDC/CLDC: Connected Device Configuration/Connected Limited Device Configuration.

CNPSR: Centre National de Prévention et de Sécurité Routière.

CPU: Central Processing Unit.

D

DHCPv6: Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6.

E

ECG: ElectroCardioGramme.

EDGE: Enhanced Data for GSM Evolution.

EPIC: European Prototype for Integrated Care.

ESA/ESJ/ESV: ExtraSystoles Auriculaires/ExtraSystoles Nodales ou Jonctionnelles/ExtraSystole Ventriculaire.

F

FTP: File Transfer Protocol.

G

3GPP: 3rd Generation Partnership Project.

GPS: Global Positioning System.

GPRS/GSM: General Packet Radio Service/Global System for Mobile communication.

H

HAT: Home Asthma Telemonitoring.

HCI: Host Controller Interface.

HIS: Habitat Intelligent pour la Santé.

HSCSD: High-Speed Circuit-Switched Data.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.

HTML: HyperText Markup Language.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol.

HTTPS: Hypertext Transfer Protocol Secure.

I

IC: Integrated Circuit.

ICMP: Internet Control Message Protocol.

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

IGP: Interior Gateway Protocol.

IMInet: Intelligent Medical Information Network.

IP: Internet Protocol.

IT: Intervalles de Temps.

IUG: Interface Utilisateur Graphique

J

JAD/JAR: Java Application Descriptor/Java Archive.

JDBC: Java DataBase Connectivity.

J2ME: Java 2 platform Micro Edition.

JPEG: Joint Photographic Expert Group.

J2SE: Java 2 platform Standard Edition.

JSR: Java Specification Request.

JTWI: Java Technology for the Wireless Industry.

JVM: Java Virtual Machine.

K

KVM: KiloByte Virtual Machine.

L

LAC: Location Area Code.

LAN: Local Area Network.

L2CAP: Logical Link Control & Adaptation Protocol.

LLC: Logical Link Control.

LZ: A. Lempel-J. Ziv.

N

NFS: Network File System.

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

NTP: Network Time Protocol.

M

MAC: Media access control.

MCU: Multipoint Control Unit.

MFS: Mobile File System.

MIDAS: Miniature Intelligent Domiciliary Alarm System.

MIDP: Mobile Information Device Profile.

MIME: Multipurpose Internet Mail Extensions.

MIT-BIH: Massachusetts Institute of Technology-B. I. Hospital.

MMS: Multimedia Messaging System.

MMSC: Multimédia Message Service Center.

MUSA: Multi User interface Single Application model.

O

OBEX: Object Exchange.

OLPv2: Ostmark Link Protocol version 2.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

OPERA: Open PLC European Research Alliance.

OPL: Optimization Programming Language.

OS: Operating System.

OSI: Open Systems Interconnection.

P

PAN: Personnel Area Network.

PBP: Personal Basis Profile.

PC: Personnel Computer.

PCS: Personal Communication System.

PDA: Personnel Data Assistant.

PDAP: Portable Data Acquisition Package.

PDC: Personal Digital Cellular.

PHP: Hypertext Preprocessor.

PLMN: Public Land Mobile Network.

POP: Post Office Protocol.

PPP: Point to Point Protocol.

PROSAFE: Product Safety Enforcement Forum of Europe.

PSK: Phase Shift Keying.

R

RAM: Random Acces Memory.

RFC: Request For Comments.

RMS: Record Management System.

RTC: Réseau Téléphonique Commuté.

S

SAMU: Service d'Aide Médicale Urgente.

SDK: Software Development Kit.

SDP: Service Discovery Protocol.

SGBD: Système de Gestion de Base de Donnée.

SGML: Standard Generalized Markup Language.

SIP: Session Initiation Protocol.

SMS: Short Message Service.

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol.

SOAP: Simple Object Access Protocol.

Soluphone: Solution Phone.

SPI: Serial Peripheral Interface.

SSL: Secure Sockets Layer.

STETAU: Système et Technologies d'Enregistrement et de Traitement des Sons Auscultatoire.

STIC: Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication.

SVG: Scalable Vector Graphics.

T

TCP: Transport Control Protocol.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TISSAD: Technologies de l'Information Intégrées aux Services des Soins À Domicile.

U

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter. T

UDHL: User Data Header Longer Length.

UDP: User Datagram Protocol.

UML: Unified Modeling Language.

UMTS: Universal Mobile Telecom System.

URL: Uniform Resource Locator.

USB: Universal Serial Bus.

UWB: Ultra WideBand.

W

WAP: Wireless Application Protocol.

WAN: Wide Area Network.

WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance.

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

Windows CE: Windows Embedded Compact.

WMA: Wireless Messaging APIs.

WSP: Wireless Session Protocol.

WTCP: Wireless Transmission Control Protocol.

X

XHTML: eXtensible HyperText Markup Language.

XML: eXtensible Markup Language.

Introduction générale

Au cours des dernières années, l'usage croissant des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le champ de la médecine et de la santé fut accompagné par une éclosion de concepts. Au début des années 1990, la télémédecine a utilisé les TIC pour soigner les patients des régions éloignées. Avec l'apparition du concept du m-health (mobile health), la télémédecine devient un outil de communication et de diagnostic pour aider les médecins dans leur travail de soin et les patients dans leur environnement mobile.

L'intégration de la technologie mobile et omniprésente (pervasive-ubiquitous) a réformé la qualité de vie des individus et des organisations dans le secteur de la santé en définissant la voie à une discipline de recherche émergente et innovante. Les systèmes m-health connaissent une variété de défis, y compris la prévalence des maladies liées au style de vie, la nécessité de donner aux patients des informations pour une meilleure prise de décision, les demandes de meilleurs outils pour auto-prise en charge et la gestion de détérioration des conditions sanitaires, ainsi que la nécessité d'un accès continu aux services de soins via les appareils mobiles.

Dans cette thèse, nous exploitons les smartphones et les réseaux corporels WBAN pour des services mobiles dédiés à la médecine. Pour cela, nous proposons au sein du laboratoire de recherche des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) plusieurs contributions de développement de services mobiles innovants m-health.

Dans le cadre de ces travaux de thèse, nous nous intéressons à la conception d'un nouveau modèle pour les applications et les services m-health dans un environnement à conditions limitées. Notre axe de recherche s'articule autour de la conception et du développement de services m-health dans un environnement mobile et à conditions limitées. De nombreux axes de recherche sont impliqués dans ce domaine. Ils concernent notamment la conception d'architectures de communication entre les acteurs de ces systèmes, la télésurveillance et la localisation adaptée au contexte, l'amélioration de la qualité de vie des personnes et de traitement de données. Il s'agit alors de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques d'une personne à distance, impliquant la transmission de messages et d'alarmes aux acteurs concernés prêts à intervenir en cas de nécessité.

La plupart des travaux entrepris dans ce domaine effectuent leurs analyses dans les serveurs et le Cloud Computing. Nous proposons dans le cadre de notre thèse un modèle flexible pour la détection des situations critiques et des pathologies sous forme d'un traitement local sur les smartphones ou distant sur les serveurs. Les informations extraites relatives à une situation donnée doivent être pertinentes pour l'aide au diagnostic et à la décision des praticiens submergés par la masse de données disponibles. Cette importante démarche réside plus particulièrement dans la diversité des données, ainsi que dans la nécessité d'un

traitement personnalisé pour chaque patient. Ce qui exige la nécessité d'une approche centrée sur la classification et la détermination des paramètres des signaux biologiques spécifiques de chaque personne.

Le problème aussi, se pose au niveau de l'implémentation des algorithmes et des méthodes efficaces destinés à résoudre toutes les contraintes imposées par les smartphones pour s'exécuter correctement.

Nos travaux de recherche ont permis d'élaborer les contributions suivantes:

Nous avons analysé les travaux connexes, où nous avons étudié un ensemble de projets et de travaux de recherche dans le domaine du m-health. Nous avons présenté les avantages et les inconvénients ainsi que les limites de ces travaux.

Nous avons proposé un nouveau modèle m-health, adéquat à une infrastructure réseau avec des conditions limitées. Après, nous avons intégré les smartphones dans une architecture m-health basée sur notre modèle proposé, en testant les différents systèmes d'exploitation mobiles et la manière de programmer notre application m-health. Nous avons ensuite développé des algorithmes afin de faire une comparaison de performance selon les besoins.

Dans une autre contribution, nous avons introduit et développé la partie localisation dans le système m-health par une proposition de deux algorithmes dédiés aux réseaux satellite et mobiles, permanent et économe en énergie. Nous avons optimisé notre solution pour être adaptée aux personnes âgées et aux patients dans des conditions limitées. Nous avons pensé implémenter l'idée de localisation par redondance hybride afin de faire le suivi en temps continu tout en gardant la précision et la fiabilité.

La troisième contribution consiste à ajouter des algorithmes de décision et de classification pour être implémentée sur le smartphone en exploitant ses capacités de traitement.

Dans la quatrième contribution, nous sommes passés à la phase d'introduction de la notion du m-sensing avec le m-health par l'utilisation au maximum des capteurs intégrés dans les smartphones pour augmenter la qualité de service ainsi que le confort de l'utilisateur. Nous avons choisi deux exemples de services à développer dans cette partie: la détection de chute libre et des mouvements du patient et l'analyse de la rétine par un smartphone. Dans ces deux derniers exemples, nous avons proposé plusieurs contributions.

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse et les résultats obtenus sont regroupés dans un mémoire de thèse organisé en quatre chapitres. Ils concernent successivement (I) Contexte de recherche, motivation et contributions, (II) Intégration du smartphone et optimisation de l'architecture basée sur le m-health, (III) Choix des méthodes de localisation pour une application m-health avec des conditions limitées, (IV) Nouvelles fonctions innovantes dans les applications m-health.

La première partie de ce document, a pour but de situer le contexte de cette thèse et ses enjeux. Elle met en évidence la diversité des concepts généraux, les technologies existantes et les objectifs concernés par les différents projets sur la base d'exemples de travaux de recherche engagés.

La deuxième partie présente la proposition et l'exigence de l'application, ainsi que la description du modèle et de l'architecture basée sur l'intégration du smartphone.

Dans la troisième partie de cette thèse, nous dressons les différentes méthodes et technologies de localisation et leurs principes de fonctionnement. Dans ce cadre, nous présentons les différentes contributions qui se résument dans la proposition d'algorithmes d'optimisation et d'adaptation d'un service de localisation dans un contexte médical m-health.

La quatrième partie concerne les deux exemples d'applications m-health: iTEST et la détection de chute, qui traduisent plusieurs contributions sur les techniques de traitement et de programmation dans un environnement mobile limité en se basant sur les modèles mentionnés dans les chapitres précédents.

Enfin, la conclusion générale et les perspectives de ce travail sont présentées, en résumant les principales contributions et en présentant nos futurs travaux de recherche. Un ensemble d'annexes liées aux différentes parties du document est également proposé.

Chapitre I

Contexte de recherche, motivation et contributions

Sommaire

- I.1 - Contexte
 - I.2 - Quelques définitions
 - I.3 - Objectifs du travail
 - I.4 - contributions et Conclusion
-

Ce chapitre a pour but la présentation du contexte et ses enjeux, en mettant en évidence la diversité des concepts généraux, les technologies étudiées, les objectifs et les contributions

I.1- Contexte

La dernière décennie a été marquée par le développement spectaculaire des applications variées des technologies de l'information et des communications. En effet, le grand succès commercial des Smartphones, a motivé le développement industriel ainsi que la mise sur le marché de nombreuses solutions technologiques visant à offrir plus de services avec un maximum de confort à l'homme du 21^{ème} siècle. Après le m-learning et le m-banking, la technologie m-health se prête à son tour à être un nouveau service d'exploration qui connaît de proche en proche un essor notable tant sur le plan technologique que sur le plan économique.

Les travaux effectués au cours de cette thèse de doctorat constituent une contribution à la conception et l'optimisation des services m-health et l'intelligence mobile dans des conditions de communications limitées, telles que dans les pays émergents.

I.1.1-M-health

Le terme m-health (mobile health) est utilisé pour la pratique de la médecine et de la santé publique par des dispositifs mobiles. Le terme est souvent utilisé en référence à l'utilisation des appareils de communication mobiles, comme les téléphones mobiles, les Smartphones, les tablettes et les PDA dans les services de santé [1]. Le domaine m-health intègre une partie de la télémédecine et des technologies de l'information et de la communication (TIC). Les applications m-health comprennent l'utilisation d'appareils mobiles dans la collecte des données médicales, la prestation des soins de santé et le suivi en temps réel des signes vitaux des patients.

On trouve trois grands types d'applications m-health:

- Les applications destinées à rendre le malade autonome en lui permettant de contrôler par lui-même et à domicile son état de santé (balance communicante, application mobile permettant de mesurer la glycémie, ...);
- Les applications destinées aux professionnels de santé (applications permettant de consulter des radiographies de patients ou des reconstitutions d'images 3D d'organes depuis sa tablette tactile, ...);
- Les applications dédiées au grand public (application mobile prodiguant des conseils de bien-être, hotline santé, ...) [4].

I-1.2-Télémédecine

La télémédecine représente l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans le secteur médical [5]. Elle médiatise l'acte médical en interposant un outil de communication entre les médecins ou entre un médecin et son patient. La télémédecine ne remplacera jamais le contact immédiat médecin-malade mais vient s'ajouter aux outils du médecin au service du patient [6].

En général, la télémédecine a pour rôle l'accès aux soins à distance et l'échange de l'information médicale afin d'évaluer l'état du patient. Elle représente un enjeu considérable pour l'amélioration des conditions de soin et de vie de beaucoup de personnes [7], [8].

I.1.2.1-Télémédecine mobile

La télémédecine mobile se résume dans les deux acteurs suivants:

- Des capteurs sans fil corporels de différents types (physiologie, environnement, activité, signal ECG...) portés par la personne, reliés entre eux pour former un réseau de capteurs sans fil capable de collecter des données en temps réel et de les transmettre périodiquement à une station.
- Des services importants développés sur les terminaux mobiles caractérisent un système déployé pour les utilisateurs selon le type d'application et le domaine d'utilisation. Ils implémentent un traitement spécifique, au niveau de chaque entité définie, responsable de l'acquisition, du stockage, de la transmission et du traitement des signaux reçus des capteurs. Ces services permettent aussi la gestion d'une base de données relative aux patients, le transfert immédiat des données et la mise en œuvre des systèmes intelligents pour la détection de pathologies.

La télémédecine mobile a engendré plusieurs types d'applications, on présente dans ce qui suit quelques catégories:

- La télémédecine personnelle

Elle permet le suivi médical des patients à domicile, ou en déplacement, à l'aide de téléphones portables et d'appareils médicaux communicants. La télémédecine personnelle présente des solutions permettant de suivre à distance des patients à risque tels que des personnes asthmatiques, diabétiques, atteintes de troubles cardiaques ou encore des personnes âgées.

Le matériel nécessaire pour la télémédecine personnelle inclut des capteurs (pression sanguine, température, rythme cardiaque, rythme respiratoire, taux de glycémie, etc.), l'électronique de traitement et une passerelle vers les réseaux de téléphonie mobile.

Le premier système de la télémédecine personnelle appelé Vitaphone est montré dans la (fig. 1.1).



Figure 1.1 : Le Vitaphone

Des capteurs de paramètres biologiques peuvent être intégrés à un téléphone mobile, comme le Vitaphone, ou communiquer avec le téléphone par l'intermédiaire d'un boîtier Bluetooth, comme dans le cas du projet MobiHealth [9].

- La Télé-expertise par mobile

Le médecin consulté sollicite un avis diagnostic ou thérapeutique auprès d'un confrère à distance par le biais d'un téléphone portable. Le deuxième médecin peut accéder à toutes les informations concernant le malade, y compris les images à travers le réseau mobile.

- Téléformation par mobile

Utilisation du mobile et 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 et réunions [9].

- La téléassistance mobile

Elle est aussi connue comme télévigilance. C'est un service à distance qui relie une personne par le biais d'un réseau téléphonique mobile à une personne désignée, ou à un centre de secours. La téléassistance mobile fonctionne grâce à un mini téléphone mobile localisable (fig. 1.2), ergonomique et facile d'utilisation.



Figure 1.2: Mini téléphone mobile pour la téléassistance

Ce système est conçu pour ne jamais perdre contact avec les personnes fragiles, âgées ou isolées (travailleurs isolés en particulier la nuit). Il peut servir aussi pour les personnes souffrant d'un handicap ou d'une maladie chronique. La téléassistance mobile s'adresse à des personnes mobiles que le système sécurise à domicile mais aussi en dehors du domicile. L'abonné est relié à un centre d'appels 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Celui-ci, par un simple bouton, peut alerter le centre d'écoute et peut être ainsi localisé.

La téléassistance mobile permet une aide immédiate aussi bien physique (se relever après une chute, un malaise...), que morale (calmer une angoisse).

On trouve aussi des dérivées pour la Téléassistance mobile, nous citons en particulier:

- Télé alarme mobile

De nos jours les seniors sont de plus en plus mobiles et actifs (sport, clubs, chasse, randonnée, vélo, pêche,...) autant de situations pendant lesquelles il peut arriver un accident ou un malaise, ou perte de verticalité (chute).

Pour sécuriser les activités dans les déplacements, on trouve la télé alarme mobile. Celle-ci gère l'alerte via le réseau GSM afin de communiquer le message d'alerte, mais aussi de rentrer en communication audio avec l'opérateur qui peut localiser l'abonné et au cas d'urgence apporter les gestes de premier secours avant l'intervention des agents de secours (SAMU/POMPIERS).

- **Télé alarme mobile spécial Alzheimer**

Pour des personnes très désorientées qui ne sont plus en capacité d'alerter par elle-même, par exemple les malades d'Alzheimer, une zone de mobilité peut-être définie au-delà de laquelle le centre d'appel sera automatiquement alerté et alertera la personne pour lui dire de rentrer chez elle et contactera les intervenants prédéfinis (famille, voisins...)[10, 11].

I.1.3-Les conditions limitées dans les pays pauvres et émergents

Les dernières statistiques de l'Union internationale des télécommunications (UIT) [12] indiquent qu'en 2011 le nombre d'utilisateurs d'Internet était plus de 2 milliards, et le nombre d'utilisateurs dans les pays pauvres était d'environ 1,2 milliards [13]. A cause de la faiblesse de l'infrastructure technologique et les moyens financiers, la pénétration du haut débit dans les pays pauvres était en 2011 seulement 4,4 abonnements pour 100 habitants, contre 26,6 dans les pays riches.

L'Afrique, en particulier, avaient des taux de pénétration du haut débit de moins de 1% [13]. En outre, l'internet est inutilisable pour une grande variété de raisons infrastructurelles qui aboutissent à une faible connectivité.

Contrairement à l'internet par connexion filaire, les appareils mobiles sont relativement omniprésents. Le taux de pénétration estimé était de 68% dans les pays pauvres en 2011, et un taux de souscription dans le monde entier était de 73% [12]. La forte pénétration des appareils mobiles dans les régions émergentes et pauvres à travers le monde a alimenté une vague de développement centrée sur les applications mobiles et les services dans le cadre des soins de santé, l'éducation, la finance et la e-gouvernance. OpenXcode [16], OpenROSA [15], ODK [19], FrontlineSMS [20], RapidSMS [17], OpenMRS [14], et Voxiva [18] constituent quelques exemples de projets utilisant des appareils mobiles pour le m-health. Malheureusement, les actions de l'Internet mobile souffrent de beaucoup de contraintes similaires à celles de l'Internet par connexion filaire. En effet les stations de base de téléphonie cellulaire (GSM, GPRS) sont rarement construites dans des zones à faible densité de population et une connectivité plus rapide (3G) est généralement disponible uniquement dans les zones urbaines.

La fig. 1.3 illustre la couverture GSM en Algérie (voir annexe 1).



Figure 1.3: Couverture GSM en Algérie

Ces données sont considérées comme des motivations dans notre projet de recherche afin de concevoir et optimiser des services de télémédecine mobile (m-health) pour notre pays et d'autres pays émergents.

I.2 - Quelques définitions

Cette section définit le vocabulaire que nous utiliserons dans la suite de notre étude.

I.2.1 - Service

Un service est un ensemble de fonctions ou méthodes (liées aux applications, fonction de télécommunications, contenus, produits, etc.) offertes aux utilisateurs par des fournisseurs ou développeurs selon un accord de service implicite ou explicite [21].

Dans le cadre de cette thèse, les services sont offerts au public (patients, personnes âgées, ...) en exploitant le support réseau. Ils sont développés explicitement, c'est à dire sous formes d'applications externes au *PLMN* (opérateur réseau).

I.2.2 - Terminaux mobiles

Nous désignons par terminaux mobiles ou nomades tout environnement faisant référence à la mobilité de l'utilisateur et/ou la mobilité du terminal. Dans ce cas, les utilisateurs peuvent accéder et utiliser l'information indépendamment de leurs positions physiques.

Donc, nous pouvons dire qu'un terminal mobile peut être vu comme une intégration des appareils portables et d'un réseau sans fil, ou d'une combinaison des appareils portables et d'un réseau fixe. Dans les deux cas, la connexion est temporaire avec possibilité de déconnexion [22].

I.2.3 - Smartphone

Le terme «smartphone» ou «téléphone intelligent» (*Fig. 1.4*) [24] se réfère à une classe de nouveaux téléphones cellulaires facilitant l'accès aux données et le traitement avec une puissance de calcul importante. En plus des communications vocales classiques et de la fonctionnalité de messagerie, un smartphone fournit habituellement des applications de gestion des informations personnelles (PIM: personal information management) et une certaine capacité de communication sans fil.

Dans notre projet de recherche nous intégrons des smartphones dans l'architecture m-health.



Figure 1.4: Les services dans les Smartphones

I.2.4 - Les réseaux sans fils

Les réseaux locaux sans fil connaissent actuellement un succès très important et leur nombre croît très rapidement au sein des entreprises et du grand public. Ils offrent en effet une flexibilité largement supérieure aux réseaux filaires.

Il existe plusieurs familles de réseaux locaux sans fil, chacune étant développée par des organismes différents. Nous citons en particulier le **Wifi (IEEE 802.11)**, le **Bluetooth (IEEE 802.15.1)**, le **Zeegbee (IEEE 802.15.4)**.

I.2.4.1 - Wifi (IEEE 802.11)

Le Wifi (Wireless Fidelity) est une solution pouvant être utilisée dans les systèmes de signalisation. La technologie Wifi offre la possibilité de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit pour peu que la station à connecter ne soit pas trop distante par rapport au point d'accès.

Cette norme IEEE 802.11 offre des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g) et d'assurer la sécurité, la qualité de service ou la mobilité [24].

Dans la pratique, le Wifi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ou même des périphériques avec une liaison haut débit (11 Mbps) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur. Dans un environnement ouvert la portée peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Cette bande passante offerte est partagée entre les différents abonnés se trouvant dans la cellule servie par le point d'accès Wifi [25].

I.2.4.2 - Bluetooth (IEEE 802.15.1)

La technologie Bluetooth a été implémentée à l'origine par Ericsson. Elle permet des communications par onde radio à courte distance (10m) entre plusieurs appareils (imprimantes, téléphone portable, PDA, clavier...) avec une faible consommation d'énergie.

Les applications de cette norme vont du marché de la téléphonie mobile en passant par les équipements informatiques. Elle est bien adaptée aux communications en temps réel.

Cette technologie, normalisée par l'IEEE sous la référence IEEE 802.15.1, exploite la bande de fréquence 2,45 GHz avec un débit de 1Mbps [24].

I.2.4.3 - ZigBee (IEEE 802.15.4)

L'objectif de cette technologie est d'élaborer une solution simple de communication sans fil, pouvant être utilisée dans les systèmes de signalisation. C'est une technologie à faible débit procurant une autonomie d'énergie de plusieurs mois, voir plusieurs années. Elle est basée sur le standard IEEE 802.15.4 (au niveau des couches physique et MAC) pour les réseaux à dimension personnelle. La spécification initiale de ZigBee propose un protocole lent dont le rayon d'action est relativement faible, mais nécessitant nettement moins de ressource que le Wifi ou le Bluetooth et dont la fiabilité est assez élevée. Les débits autorisés sont relativement faibles, entre 20 et 250 kbps [24].

I.2.4.4 - UWB (IEEE 802.15.3)

La technologie UWB connaît actuellement un essor spectaculaire. Elle est destinée à la transmission de données à très haut débit. Le fonctionnement de cette technologie est fondé sur une technique de modulation radio qui consiste à envoyer des impulsions de très courte durée (souvent inférieures à la nanoseconde) sur une très large bande de fréquences, offrant ainsi un débit de 480 Mbps sur de très courte distance (1 à 10m) [18]. Elle est envisagée pour la liaison entre un PC et ses périphériques (de type lien vidéo ou USB sans fil) nécessitant un très haut débit et une faible portée.

Cette technologie ouvre la voie à de nombreux travaux dans le domaine médical, tels que la conception des réseaux de capteurs intelligents, la surveillance médicale, la médecine préventive, le monitoring du cœur, la sécurité personnel, la localisation des patients, etc.

I.2.5 - Réseaux d'accès radio mobiles

Les progrès technologiques dans le domaine des réseaux de télécommunications mobiles, ont vu l'apparition des technologies numériques au début des années 1990, en Europe (GSM), au Japon (PDC) et aux Etats Unis (PCS) [14]. L'évolution du réseau radio mobile GSM (2G) vers l'UMTS (3G), ensuite vers la 4ème génération (4G) et les réseaux de futurs générations, passe par des générations intermédiaires comme le GPRS(2.5G), HSCSD ou EDGE (2.75G), HSDPA (3.5G) et HSUPA (3.75G) qui seront présentés dans les paragraphes suivants.

I.2.5.1 - GSM (2G)

Le service le plus important dans les réseaux cellulaires GSM est le service de la voix. Cette technologie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau fixe RTC (Réseau Téléphonique Commuté). Le réseau GSM s'interface

avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Il se distingue par un accès spécifique traduisant la liaison radio.

La satisfaction de l'utilisateur final se traduit par trois contraintes de fonctionnement:

- L'abonné doit pouvoir joindre n'importe qui, n'importe quand et n'importe où;
- Après établissement de la communication, la conversation est audible, compréhensible par les deux interlocuteurs et sans interruption;
- Pour l'opérateur, ceci se traduit par trois contraintes techniques:
 - Une couverture nationale ;
 - Un dimensionnement correct des liens radio et réseau (pour la disponibilité des ressources) ;
 - La mise en place de mécanismes efficaces de gestion du lien radio (pour la minimisation du taux de coupure) [14].

I.2.5.2 - GPRS (2.5G)

Le standard *GPRS* représente une évolution majeure de la norme *GSM* et une transition vers la troisième génération, on parle généralement de la génération 2.5 pour classer ce standard. L'exploitation du mode de transfert des données par paquets et l'augmentation des débits ouvrent la porte aux communications mobiles multimédia. Ce standard peut être considéré comme un réseau de données à part entière (commutation de paquet) qui dispose d'un accès radio réutilisant une partie du réseau *GSM* [19]. Le réseau *GPRS* est relié à différents réseaux de données par l'intermédiaire de l'*Internet (Protocole IP)*. Pour cela, il est indispensable qu'un terminal *GPRS* dispose d'une adresse *IP* dont le champ réseau est spécifique à ce type de support.

Les débits théoriques autorisés par cette génération (9.6 Kbps à 171.2 Kbps) permettent d'envisager de nombreuses applications tels que la consultation du Web, le transfert de fichiers, la transmission de vidéo compressée, etc. La facturation en *GPRS* se fait selon le volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût.

I.2.5.3 - HSCSD ou EDGE

EDGE représente une seconde forme d'évolution des systèmes 2G. Il s'agit d'une simple évolution de la technologie GSM/GPRS et du système TDMA permettant d'obtenir un débit pouvant atteindre 384 Kbps. Mais c'est beaucoup moins performant que la 3G et son rendement optimal est obtenu lorsqu'il est combiné avec un réseau de commutation par paquet (GPRS).

Ce standard utilise une nouvelle modulation du signal (*8PSK*) qui permet d'améliorer l'efficacité spectrale et la capacité du réseau. Un terminal mobile dans un réseau *EDGE* est capable de transmettre et de recevoir sur plusieurs intervalles de temps (IT) [14]. Cette technique permet de définir des circuits allant jusqu'à 6 IT alloués aux mobiles par trame TDMA; ce qui permet d'envisager des débits de l'ordre 19.2 Kbps, 28.8 Kbps, 38.4 Kbps, 48 Kbps, 56 Kbps ou 64 Kbps suivant le nombre des canaux alloués.

I.2.5.4 - L'UMTS (3G)

Cette norme UMTS est une évolution de la deuxième génération à la troisième génération (3G). Elle constitue une voie royale pour le développement de produits et de services multimédias. Les technologies développées autour de cette norme conduisent à une amélioration significative des services et des vitesses de transfert avec des débits supérieurs à 144 Kbps et pouvant aller jusqu'à 2 Mbps. Cette amélioration des débits est rendue possible grâce à l'évolution des technologies radio qui autorisent une meilleure efficacité spectrale et l'exploitation de bandes de fréquences supérieures à celles utilisées par la technologie GSM [24].

I.2.5.5 - Technologie HSDPA (3.5G)

La troisième génération (UMTS) impose des investissements énormes pour des débits qui ne sont pas éloignés de ceux du GPRS et se voit rapidement remplacée par la nouvelle génération 3,5G, appelée HSDPA. Cette nouvelle technologie offre des débits pouvant aller au delà de 10 Mbps sur le lien descendant [21]. Le HSDPA peut être installé et déployé sans changer radicalement l'architecture de l'UMTS. Il permet du coup aux opérateurs de réaliser cette évolution à moindre coût.

I.2.5.6 - Technologie HSUPA (3.75G)

La 3.75G est une variante de HSDPA sur la voie montante. HSUPA peut être considérée comme le successeur de HSDPA, elle porte un débit montant (Uplink) à 5,8 Mbps théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 14 Mbps comme en HSDPA [22]. L'intérêt de cette technologie est d'offrir la possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes des documents électroniques (images, vidéos...) favorisant ainsi le développement de l'Internet haut débit mobile.

I.2.5.7 - Technologie 4G (LTE, WIMAX)

La 4G est la 4e génération des standards pour la téléphonie mobile. Elle est le successeur de la 2G et de la 3G. Elle permet le « très haut débit mobile », c'est-à-dire des transmissions de données à des débits supérieurs à 100 Mb/s, voire supérieurs à 1 Gb/s (débit minimum défini par l'UIT pour les spécifications IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced)). Une des particularités de la 4G est d'avoir un « cœur de réseau » basé sur IP et de ne plus offrir de mode commuté (établissement d'un circuit pour transmettre un appel "voix"), ce qui signifie que les communications téléphoniques utiliseront la voix sur IP.

Les réseaux mobiles WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) et LTE (Long Term Evolution) lancés partout dans le monde sont commercialisés sous l'appellation «4G».

I.2.5.8 - Technologie de nouvelle génération NGN

Les futures générations de réseaux reposent sur l'intégration de plusieurs systèmes et technologies d'accès sans fil. Ce système de télécommunication représente la convergence entre les 3^{ème} et 4^{ème} générations et les diverses technologies radio complémentaires. Cela permet de réduire les coûts de déploiement et d'augmenter la couverture à moindre frais [23]. Les terminaux de cette technologie sont capables de sélectionner à chaque instant la meilleure solution pour accéder à un réseau donné. L'objectif ici, est de fournir aux utilisateurs mobiles

des services rapides et sans interruption dans un environnement hybride. Cette génération offre des taux de données supérieurs à 100 Mbps.

I.2.6 - Les protocoles de communication dans les réseaux de données

I.2.6.1 - Présentation des technologies et des principaux protocoles utilisés

La plupart des systèmes mobiles gèrent un certain nombre de type de communications différentes. Que ce soit pour la gestion de la téléphonie et des données (GSM, GPRS), de la synchronisation (Infrarouge, Bluetooth), des réseaux et de l'internet (TCP/IP, WAP) ou de la messagerie (e-mail, SMS, MMS), toutes ces technologies nécessitent une prise en compte d'un certain nombre de ressources au sein même du système d'exploitation. Dans la partie soft plusieurs API (Application Programming Interface) permettent la gestion de ces communications [27].

I.2.6.2 - Modèle TCP/IP

Le TCP/IP peut fonctionner sur une grande variété de technologies, utilisant une unité de transmission nommée datagramme, spécifiant la façon de transmettre les informations sur un type de réseau donné.

Aujourd'hui, TCP/IP intègre beaucoup d'autres protocoles (ICMP, IGP, FTP, SMTP, HTTP, etc). Il est très répandu, car sa robustesse a été prouvée (quelques millions de machines interconnectées dans le monde).

Toutes les applications réseaux doivent pouvoir communiquer entre elles, quelque soit l'architecture ou la plate-forme utilisée. Pour cela, les opérations sur les réseaux ont été divisées en plusieurs phases de base, de manière à simplifier la portabilité des applications sur toutes les plates-formes. C'est ce qu'on appelle une organisation en couche. Un standard a alors été créé, normalisé par l'Open System Interconnexion Référence Model (modèle de référence d'interconnexion des systèmes ouverts) sous la référence OSI-RM, utilisant 7 couches distinctes.

L'architecture TCP/IP (*fig. 1.5*) est similaire à ce modèle en couche, mais ne dispose que de 4 couches dans la plupart des cas.

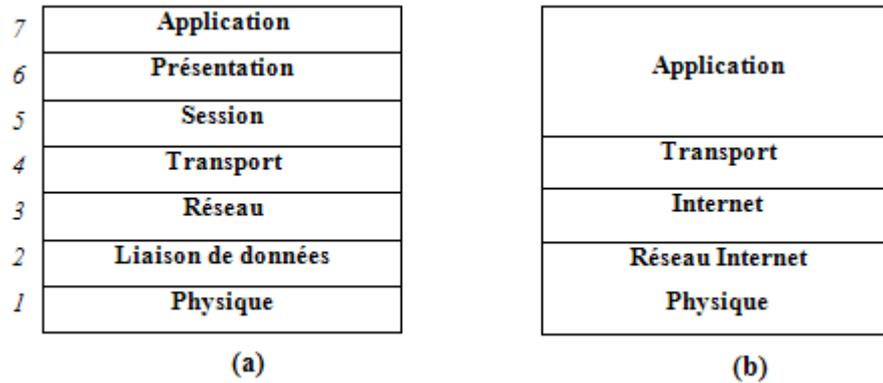


Figure 1.5: Systèmes en couches

(a) : *Modèle de référence OSI*, (b) : *Modèle TCP/IP (Internet)*.

Les couches 5 à 7 du modèle OSI sont des couches dites d'application. Elles sont orientées application et fournissent une interface entre une application et le réseau. Les couches 1 à 4 sont des couches dites de liaison. Ce sont elles qui se chargeront du routage, afin d'acheminer correctement les paquets d'un point à un autre.

Outre les protocoles de transport, TCP/IP inclut différents protocoles d'application, par exemple, pour la messagerie électronique, le transfert de fichiers et la connexion à distance.

Dans le modèle TCP/IP, la couche de transport utilise soit TCP, soit UDP (User Datagram Protocol). Par contre il n'existe qu'un seul protocole de niveau Réseau: IP.

- Protocole IP

Le protocole IP (Internet Protocol) est au cœur du fonctionnement d'internet. Il assure sans connexion un service non fiable de délivrance de datagrammes IP. Le service est non fiable car il n'existe aucune garantie pour que les datagrammes IP arrivent à destination. Certains peuvent être perdus, dupliqués, retardés, altérés ou remis dans le désordre. Le mode de transmission est non connecté car IP traite chaque datagramme indépendamment de ceux qui le précèdent et du suivant.

- Protocole UDP

Le protocole UDP utilise IP pour acheminer, d'un ordinateur à un autre, en mode non fiable des datagrammes qui lui sont transmis par une application. UDP n'utilise pas d'accusé de réception et ne peut pas donc garantir que les données ont bien été reçues. Il ne réordonne pas les messages si ceux-ci n'arrivent pas dans l'ordre dans lequel ils ont été émis et il n'assure pas non plus de contrôle de flux.

Cependant, UDP fournit un service supplémentaire par rapport à IP, il permet de distinguer plusieurs applications destinataires sur la même machine par l'intermédiaire des ports. Un port est une destination abstraite sur une machine identifié par un numéro qui sert d'interface à l'application pour recevoir et émettre des données.

- Protocole TCP

Contrairement à UDP, TCP est un protocole qui procure un service de flux d'octets orienté connexion fiable.

Le terme orienté connexion signifie que les applications dialoguant à travers TCP sont considérées l'une comme un serveur, l'autre comme un client, et qu'elles doivent établir une connexion avant de pouvoir dialoguer. Il y a donc exactement deux extrémités communiquant l'une avec l'autre sur une connexion TCP. Cette connexion est bidirectionnelle simultanée (full duplex). La fiabilité fournie par TCP consiste à remettre des datagrammes, sans perte, ni duplication [28].

- Protocole HTTP

(HyperText Transfert Protocol: protocole de transfert de document hypertexte) est un protocole de niveau application suffisamment léger et rapide pour une communication *Client-serveur*. Il peut fonctionner sur n'importe quelle connexion fiable.

Le but de ce protocole est de permettre un transfert de fichiers (essentiellement au format HTML) localisés grâce à une chaîne de caractères appelée URL entre un navigateur (le client) et un serveur Web. Les Clients *http* les plus connus sont les navigateurs Web permettant à l'utilisateur final d'accéder à un serveur de données.

La large acceptation de ce protocole, sa simplicité de mise en œuvre, la configuration des firewalls et des routeurs dans les entreprises ont ensuite permis le développement de ce protocole dans de nombreuses autres applications [26, 29].

Dans l'une de nos applications que nous présenterons en chapitre IV, nous utilisons le protocole de transfert HTTP basé sur le TCP/IP combiné avec un autre protocole JSON permettant d'échanger tous les types de données et de représenter l'information structurée. Tous ces protocoles utilisent le réseau GPRS.

I.2.7 - Systèmes intelligents (IS)

Les systèmes intelligents (IS: Intelligent Systems) désignent les applications des nouvelles technologies basées sur des algorithmes ou des modèles intelligents et parfois utilisent l'intelligence artificielle. Ils sont appliqués aux réseaux pour en améliorer la gestion et l'exploitation, ainsi que les services dédiés aux utilisateurs.

La gamme des technologies considérées comprend toutes les applications de la télématique, utilisant notamment l'électronique embarquée ou fixe (exp: capteurs, moyens de calcul), les télécommunications, les bases de données et d'information, les systèmes de régulation, etc.

L'objectif de l'intelligence ambiante est de créer un espace quotidien intelligent, d'utilisation immédiate, intégré dans les murs de nos maisons, dans nos bureaux, dans nos routes, dans nos voitures..., en somme partout. Ce nouveau concept doit être invisible, il doit en effet se fondre dans notre environnement quotidien et doit être présent au moment où nous en avons besoin.

I.2.8 - Réseaux de capteurs corporels (BAN)

I.2.8.1 - Définition

Le Body Area Network (BAN) ou Body Sensors Network (BSN) est une technologie de réseau sans fil basée sur les radiofréquences, consistant à interconnecter sur, autour ou dans le corps humain de minuscules dispositifs pouvant effectuer des mesures (capteurs) ou agir de façon actif (actionneurs). Ces capteurs très miniaturisés, disposant d'une grande autonomie et utilisant des courants de très faible puissance, peuvent être capables de dialoguer avec un centre de service distant, pour alerter par exemple un service d'urgence hospitalière. Les principales applications se trouvent dans les domaines de la santé, des premiers secours, du militaire, du divertissement, du sport, de l'intelligence ambiante ou des interactions homme-machine [31] [30].

Le BAN est défini par IEEE 802.15.6 comme «une norme de communication optimisée pour les appareils à basse consommation et qui fonctionnent sur, dans ou autour du corps humain (mais non limitée aux humains) pour servir une diversité d'applications (y compris médicales), l'électronique grand public, le divertissement et autre». Le groupe de travail standard IEEE 802.15.6 est chargé d'élaborer des dispositifs économes en énergie et de développer des applications pour le BAN. En 1996, les laboratoires de recherche d'IBM ont développé une nouvelle technologie de type PAN (le terme BAN n'est pas encore employé) utilisant la conductivité du corps humain pour transmettre des données. Cette technologie qui utilise les propriétés conductrices du corps humain s'appuie sur des intensités très faibles, de l'ordre du Nanoampère. Les applications envisagées sont:

- L'échange de données entre appareils portatifs en utilisant le corps des utilisateurs comme moyen de transmission;
- L'identification automatique de la personne (remplacement de la carte de paiement, reconnaissance de la personne à des fins médicales) [31].

En 2007, l'IEEE crée le «Task Group 6» au sein du groupe de travail IEEE 802.15 avec pour mission de se concentrer sur des technologies sans fil pouvant opérer à proximité ou au sein du corps humain. Aujourd'hui, la miniaturisation toujours plus poussée des composants, les progrès dans les technologies sans fil et leur essor renforcent le développement des réseaux BAN.

Ce dernier est constitué d'un ensemble de capteurs mobiles et compacts qui surveillent les paramètres vitaux du corps. Ces dispositifs portables, communiquent par technologie sans fil les données collectées à une station de base, et peuvent être alors réexpédiées en temps réel vers un hôpital, une clinique ou ailleurs. Ce type de réseau trouve des applications dans le domaine de la santé mais aussi du sport, de la défense et des loisirs. La demande croissante de capteurs pour l'électronique grand public, en particulier dans le domaine médical et du jeu permet de réduire le coût des éléments constitutifs du BAN.

I.2.8.2 - Architecture

Il existe plusieurs types d'architectures dans les réseaux BAN. Dans les travaux de cette Thèse, nous nous basons sur l'architecture à 1 ou 3 niveaux en vue d'intégrer le m-health dans ce réseau:

-Le premier niveau représente les communications Intra-BAN. Les communications Intra-BAN font référence aux échanges radio qui ont lieu à proximité immédiate du corps humain. On distingue les communications entre les capteurs et les communications des capteurs vers un nœud central (Sink).

-Le deuxième niveau représente les communications Inter-BAN. Un réseau BAN fonctionne rarement de manière autonome. L'inter-BAN recouvre les communications entre le nœud central et un point d'accès ou une passerelle (smartphone ou PDA) .

-Le troisième niveau représente les communications hors BAN. C'est à ce niveau que le service est fourni. Dans le domaine de la santé, ce niveau représentera le service de télémédecine.

I.2.8.3 - Capteurs et actionneurs

Les capteurs (et actionneurs) sont au cœur du premier niveau fonctionnel qui correspond à la communication intra-BAN. La famille de normes IEEE 1451 a pour but de permettre l'accès aux données à travers un ensemble commun d'interfaces si les capteurs sont reliés à des systèmes ou des réseaux via des moyens filaires ou sans fil. Le rôle des capteurs corporels consiste à recueillir des signaux analogiques qui correspondent à des activités physiologiques de l'homme ou à des actions du corps. Ce signal analogique est numérisé et ensuite transmis par un émetteur-récepteur radio. Les capteurs sont des composants de plusieurs éléments (*Fig. 1.6*): la partie capteur proprement dite, un convertisseur Analogique-Numérique, une unité d'alimentation, un processeur, une mémoire et un émetteur (ou émetteur-récepteur). L'actionneur a quant à lui un rôle actif vis à vis de son porteur, il peut par exemple délivrer sur commande une substance médicamenteuse. Cette action peut avoir lieu à un moment prédéterminé, ou sous l'influence d'une source externe (par exemple un médecin qui analyse les données). Elle peut être même réalisée en temps réel si le capteur détecte un problème. Un actionneur est constitué d'un récepteur (ou émetteur-récepteur), d'une unité d'alimentation, de mémoire mais le composant principal en est le matériel de commande (un réservoir destiné à contenir le médicament et le matériel pour gérer le médicament).

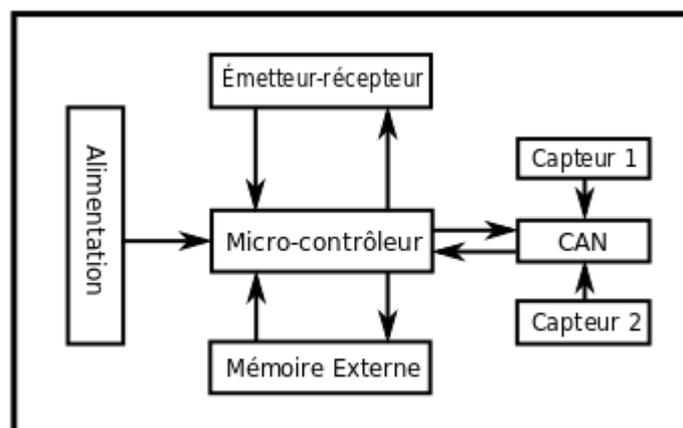


Figure 1.6: Architecture du capteur

Le tableau 1.1 recense les capteurs couramment utilisés dans les BAN.

Capteur	Usage
Accéléromètre	Ce dispositif est utilisé pour reconnaître et surveiller la posture du corps (debout, assis, à genoux, marche, course...). Cette information est essentielle pour de nombreuses applications touchant à la réalité virtuelle, la santé, les sports et les jeux électroniques. Son utilisation peut être couplée avec celle d'un gyroscope.
Glycémie	Traditionnellement, les mesures de glycémie sont effectuées en piquant un doigt pour extraire une goutte de sang à appliquer sur une bande de test composée de substances sensibles au glucose. Un glucomètre est ensuite utilisé pour analyser l'échantillon de sang. Dans le cadre du BAN, on utilise un système de surveillance de la glycémie non invasif grâce à la technologie infrarouge et la détection optique.
Pression artérielle	Le capteur de pression sanguine est un capteur non invasif conçu pour mesurer la pression diastolique et systolique en utilisant la technique oscillométrique ou par la mesure du temps de passage des impulsions.
Détection de CO2	Mesure les niveaux de dioxyde de carbone gazeux pour surveiller les variations de niveau de CO2 mais aussi contrôler la concentration en oxygène durant la respiration humaine.
Électrocardiogramme	L'Électrocardiogramme (ECG) est un enregistrement de l'activité électrique du cœur. Des électrodes sont fixées sur la peau à des endroits spécifiques (bras et poitrine en particulier), et les différences de potentiel entre ces électrodes sont mesurées. Il est utilisé pour diagnostiquer une maladie cardiaque où l'influence d'un médicament sur l'activité du cœur.
Électroencéphalogramme	L'Électroencéphalogramme (EEG) mesure l'activité électrique dans le cerveau par la fixation de petites électrodes à divers emplacement du cuir chevelu. Les informations recueillies par les électrodes sont transmises à un amplificateur afin d'obtenir un tracé.

Électromyogramme	L'Électromyogramme (EMG) mesure les signaux électriques produits par les muscles pendant les contractions et au repos. Des études de conduction nerveuse sont souvent faites conjointement dans la mesure où les nerfs contrôlent les muscles par des impulsions électriques. Des troubles musculaires et nerveux peuvent entraîner les muscles à réagir de façon anormale. L'EMG permet de diagnostiquer des anomalies du Contrôle Postural (PCS).
Oxymètre	Mesure la saturation en oxygène à l'aide d'une sonde non invasive. Un petit clip avec un capteur est fixé au doigt de la personne, au lobe de l'oreille, ou à l'orteil. Le capteur émet un signal lumineux qui passe à travers la peau et mesure la lumière absorbée par l'hémoglobine oxygénée (oxyhémoglobine).
Capteurs d'humidité et de température	Utilisés pour mesurer la température du corps humain et / ou l'humidité de l'environnement immédiat d'une personne. Un signal d'alarme peut être émis si un certain nombre de variations sont mesurées.

Tableau 1.1 : Les différents capteurs couramment utilisés dans les BAN

La nature et le nombre de capteurs dépendent de l'usage attendu. Les capteurs d'un réseau corporel sont des composants extrêmement compacts et complexes. Leur discrétion doit permettre à l'utilisateur d'oublier leur présence.

I.2.8.4 - Les domaines des réseaux BAN

Les réseaux BAN peuvent être utilisés dans plusieurs domaines d'application. Dans notre recherche, nous nous intéressons à deux domaines:

- Domaine médical

Les réseaux de type BAN trouvent des applications dans divers domaines tels que le sport ou le jeu, mais leur utilisation dans le domaine médical est majeure, à tel point que certains auteurs présentent ce type de réseau comme étant dédiés à la santé. En effet, l'augmentation des coûts de santé et l'augmentation de l'espérance de vie dans les pays développés conduit à innover dans le domaine de la santé, et une de ces innovations consiste à surveiller en temps réel les patients au moyen de capteurs connectés en WBAN (Wireless BAN). On peut ainsi surveiller les paramètres vitaux d'une personne et alerter le cas échéant les services d'urgence. Il est même possible d'injecter un médicament au moyen d'un actionneur disposé près du corps. Le *Tableau 1.2* dresse un récapitulatif des usages du BAN dans le domaine médical.

Champ d'application	Type de capteur/actionneur	Rôle, apports du WBAN
Maladies cardio-vasculaires	Oxymètre, mesure du rythme cardiaque, électrocardiogramme	Surveillance de l'état de santé, anticipation dans la préparation des traitements
Paraplégie	Accéléromètre, gyroscope, senseurs pour la position des jambes, senseurs couplés aux nerfs, actionneurs capable de stimuler les muscles	Restaurer la mobilité
Cancer	Capteur sensible à l'acide Nitrique	Le capteur peut être placé sur les zones suspectes, le médecin peut initier un traitement dès qu'une cellule suspecte est détectée
Alzheimer, dépression, hypertension		Alerter en cas de détection d'une situation anormale touchant une personne isolé, âgée, déprimée
Diabète	Biocapteur, gyroscope, pompe à insuline	Sur détection d'une chute de glucose, un signal peut être envoyé pour injecter de l'insuline. Les nuisances engendrées par la maladie sont ainsi réduites.
Asthme	Capteur d'allergènes	Alerter le médecin ou le patient sur la détection d'un allergène
Epilepsie	« Mobi »	L'unité portable « Mobi » est conçue pour détecter les signes précurseurs d'une crise (une activité cérébrale anormale)
Traitement de la douleur	Stimulateur	L'actionneur est un stimulateur agissant sur la moelle épinière et permettant de réduire les douleurs chroniques
Déficiences	Rétine artificielle (matrice de	Une rétine artificielle, constituée d'une matrice de micro-capteurs, peut être

visuelle	micro-capteurs), caméra externe	implantée dans l'œil sous la surface de la rétine. La rétine artificielle traduit les impulsions électriques en signaux nerveux. L'entrée peut aussi être obtenue à partir d'une caméra montée sur une paire de lunettes.
Hypertension	Capteur de pression artérielle, pompe à médicament	Un médicament peut être injecté par une pompe en cas de dépassement d'une valeur de seuil
Maladie de Parkinson	Détecteurs de mouvements, accéléromètres	Estimer la gravité des tremblements, la bradykinésie et la dyskinésie grâce aux données de l'accéléromètre et effectuer une évaluation approfondie de la maladie
Surveillance post-opératoire	Capteur de température, capteur de pression sanguine, capteur de fréquence cardiaque, ECG	Évite d'immobiliser le patient au lit

Tableau 1.2: Les applications du BAN dans le domaine médical

L'utilisation du WBAN dans le domaine médical permet d'envisager le concept de «Médecin Virtuel». Un serveur, que nous désignerons sous l'acronyme de VDS (Virtual Doctor Server) intègre un ensemble d'applications permettant de fournir des services de santé et de premiers secours. Un VDS pourrait avoir les usages suivants:

- ➔ Conserver l'historique du patient;
- ➔ Conseiller le patient ou le personnel de santé sur la base des signes vitaux recueillis par les capteurs;
- ➔ Appeler les urgences si nécessaire, le patient pouvant être conseillé pour pratiquer lui-même les premiers gestes;
- ➔ Guider un secouriste, en cas de perte de connaissance, dans l'administration des premiers secours.

- **Domaine des services d'urgence**

L'utilisation de réseaux de type BAN dans le domaine des services d'urgence permet de préserver la vie des intervenants. Pour les pompiers, les capteurs collectent et transmettent des informations sur l'environnement (le méthane, l'oxygène, le monoxyde de carbone, la température de l'air et l'humidité), sur l'état du porteur (la température du corps, la fréquence cardiaque, la saturation en oxygène du sang) ou sur l'état de ses équipements (le niveau d'air dans les bouteilles). Les pompiers en difficulté ou en danger peuvent être secourus grâce aux systèmes de localisation via GPS.

I.2.8.5 - Problèmes liés aux réseaux BAN

Les principaux problèmes de conception du système basé sur le réseau BAN sont :

- L'alimentation des capteurs ;
- La taille et le poids des capteurs ;
- La plage de communication sans fil et caractéristiques de transmission des capteurs ;
- L'emplacement du capteur et son montage ;
- La configuration système homogène ;
- Le transfert automatique des données ;
- L'interface utilisateur (simple et intuitive) ;
- L'émission en continue, notamment pour les capteurs accéléromètres ou gyroscopes.

Dans les prochains chapitres nous allons démontrer l'influence du mHealth pour éliminer quelques problèmes du réseau BAN.

I.3 - Objectifs du travail

Notre axe de recherche s'articule autour de la conception et l'optimisation de services de M-Health sur des systèmes de communication sans fil.

De nombreux axes de recherche sont impliqués dans ce domaine. Ils concernent notamment les services de localisation LBS, la conception d'architectures de communication entre les différents tiers, la surveillance et l'amélioration de la qualité de vie des personnes, des bases de stockage de données collectées à distance, les outils d'analyse, l'autonomie, l'économie en énergie, le temps de réponse et de traitement des données dans un milieu caractérisé par des conditions minimales.

Il s'agit alors de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques d'une personne à distance, impliquant la transmission de messages et d'alarmes aux acteurs concernés prêts à intervenir en cas de nécessité.

La plupart des travaux entrepris dans ce domaine effectuent leurs analyses et leurs feedbacks d'une manière compliquée et lourde. Nous proposons dans nos travaux d'utiliser les Smartphones combinés avec d'autres technologies pour la détection des situations critiques, la surveillance de l'état des personnes à risque ainsi que leur localisation de manière précise, intelligente, fiable et moins onéreuse.

Les informations extraites relatives à une situation donnée doivent être pertinentes pour l'aide au diagnostic et à la décision des praticiens submergés par la masse de données disponibles.

Cette démarche réside plus particulièrement dans la diversité des données, ce qui exige la nécessité d'une approche basée sur des algorithmes de décision ou de classification pour déterminer l'état du patient selon les paramètres des signaux biologiques spécifiques de chaque personne. Le problème se pose aussi au niveau de l'implémentation des algorithmes et des méthodes efficaces destinés à résoudre toutes les contraintes imposées par les Smartphones pour s'exécuter correctement.

I.4 - Contributions et Conclusion

Les contributions de notre thèse sont les suivantes :

Nous avons commencé par l'analyse de l'existant, où nous avons étudié un ensemble des projets et des travaux de recherche dans le domaine du m-health et la télémédecine mobile. Nous discutons des avantages et des inconvénients et des limites de ces travaux et nous montrons en quoi ces solutions répondent ou non aux besoins que nous soulevons dans cette thèse.

Nous avons proposé une nouvelle architecture d'un réseau BAN comme contribution, basée sur une topologie en étoile centralisée vers un smartphone, adéquate à une infrastructure réseau avec des conditions limitées. Nous avons comparé cette dernière avec d'autres topologies du point de vue temps de réponse, consommation d'énergie et fiabilité.

Après, nous avons ajouté des modifications sur l'architecture proposée en testant les différents systèmes d'exploitation mobiles et la manière de programmer notre application de m-health et développé nos algorithmes afin de faire une comparaison de performance selon nos besoins.

Dans la deuxième contribution, nous avons introduit et développé la partie localisation dans le système m-health par une proposition de deux algorithmes dédiés aux réseaux mobiles, permanent et économe en énergie. Nous avons optimisé notre solution pour être adaptée aux personnes âgées et aux patients dans des conditions limitées. Nous avons pensé implémenter l'idée de localisation par redondance hybride afin de faire le suivi en temps continu tout en gardant la précision et la fiabilité.

La troisième contribution consiste à ajouter des algorithmes de décision et de classification pour être implémentée sur le smartphone en exploitant ses capacités de traitement et de stockage. Dans le premier cas nous avons considéré le smartphone comme unité de traitement finale et le dans le deuxième cas comme intermédiaire entre le réseau WBAN et le Cloud Computing.

Dans la quatrième contribution, nous sommes passés à la phase d'introduction de la notion du m-sensing avec le m-health par l'utilisation au maximum des capteurs intégrés dans les Smartphones pour augmenter la qualité de service ainsi que le confort de l'utilisateur. Nous avons choisi deux exemples de services à développer dans cette partie: la détection de chute libre et des mouvements du patient et l'analyse de la rétine par un smartphone. Dans ces deux derniers exemples, nous avons proposé plusieurs contributions.

Référence:

- [1] http://www.minkowska.com/article.php3?id_article=145.
- [2] I. Robert, L. Swamy, “M-Health: Emerging Mobile Health Systems”, Springer, ISBN 978-0-387-26558-2, 2005
- [3] <http://www.caroltorgan.com/mhealth-summit/>
- [4] <http://telecom.sia-partners.com/20111116/le-congres-de-la-sante-mobile/>
- [5] M. CAUVILLE, “Diagnostic, soins et prévention par la télémédecine”, Sciences et Technologies, Vol. 2, pp. 32–34, 1999.
- [6] A. FRANCO, “La télémédecine au service de l’autonomie”, La revue de médecine interne, vol. 24(s.4), pp. 390– 393, ISBN : S0248-8663(03)80347-8, 2003.
- [7] P. STAB, “Téléconsultation en psychiatrie: évaluation d’une expérience originale dans le hautpays niçois”, Thèse de doctorat en Médecine de l’Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2001.
- [8] <http://www.ifremmont.com/ifrelab/index.php?2006/01/3-tmt>.
- [9] Florence DUCHENE, “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, octobre 2004.
- [10] <http://www.acti-rotec.com/>
- [11] <http://www.admr56.com/teleassistance-mobile-2-42.r.fr.htm>
- [12] <http://www.itu.int/>.
- [13] <http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2011.pdf>.
- [14] <http://openmrs.org/wiki/OpenMRS>.
- [15] Openrosa. <http://www.openrosa.org/>.
- [16] openxcode. <http://www.openxdata.org/Main/WebHome>.
- [17] Rapidsms. <http://www.rapidsms.org/>.
- [18] Voxiva. <http://www.voxiva.com/platform.php>.
- [19] A. Yaw, H. Carl, B. Waylon, L. Adam, T. Clint, B. Gaetano , “Open data kit: Building Information services for developing regions”, IEEE/ACM Conference on Information and Communication Technologies and Development, 2010.
- [20] Frontlinesms. <http://www.frontlinesms.com/>.
- [21] http://homepages.ed.ac.uk/jkstew/work/FLOWS_D6.pdf
- [22] J. STEWART, L. PITT, M. WINSKEL, R. WILLIAMS, I. GRAHAM, J. AGUIAR, “Flows scenarios and definition of services” , IST FLOWS Project Deliverable D1, European Commission IST (Information Society Technologies) office, Brussels, Belgium, 2002.
- [23] O. FOUIAL, “Découverte et fourniture de services adaptatifs dans les environnements mobiles” , Thèse de doctorat en Informatique et Réseaux de l’Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications ENST, Paris, France, 2004.
- [24] <http://www.capitolemobil.com/marketing-mobile/>
- [25] http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/49/97/97/PDF/These_Fouial_2004.pdf
- [26] <http://www.commentcamarche.net/> (Français)
- [27] Jurgen Scheible, Ville Tuulos, “Rapid Prototyping of Applications on the Mobile Platform”, ISBN: 978-0-470-51505-1, Wiley ,2007.
- [28] Merzougui Rachid, “Télésurveillance à travers les réseaux IP et Mobiles”, rapport de mémoire pour l’obtention du diplôme du magister, Université de Tlemcen, Algérie ,2006.
- [29] Nicolas JEAN, “Comprendre et programmer le protocole http”.

[30] D. M Barakah, “A Survey of Challenges and Applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and Role of a Virtual Doctor Server in Existing Architecture”, *Third International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, p. 214-219, 2012.

[31] R. Baskaran, “An Overview of Applications, Standards and Challenges in Futuristic Wireless Body Area Networks”, *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, n° 2, 2012.

Chapitre II

Intégration du smartphone et optimisation de l'architecture basée sur le m-health

Sommaire

- II.1 - Description de l'application m-health
 - II.2 - Exigences de l'application
 - II.3- L'architecture proposée
 - II.4 - Intégration du smartphone dans le m-health
 - II.5- Validation du choix: smartphone, architecture et topologie
-

Dans ce chapitre nous allons décrire la proposition et l'exigence de l'application, ensuite nous détaillerons le modèle et l'architecture basée sur l'intégration du smartphone.

II.1 - Description de l'application m-health

Plusieurs applications bénéficient des avantages inhérents à l'utilisation du m-health. On peut citer à titre d'exemple: la télésurveillance et la récupération continue de données physiologiques, la localisation de patients, le rappel et la gestion des médicaments, la détection des mouvements et des chocs (chute d'une personne), le diagnostic et l'intervention précoce pour divers types de maladies, la compréhension et l'observation de l'environnement de vie des personnes (enregistrement des activités des personnes: heures de lever, de coucher, des repas, de prise des médicaments...), le suivi de l'état de santé pendant une activité sportive, lors des entraînements, etc.

Plusieurs applications citées seront expliquées dans la suite de cette thèse.

II.2 - Exigences de l'application m-health

Plusieurs conditions doivent être remplies afin de surveiller le comportement de l'individu et de contrôler ses paramètres physiologiques. Ces exigences sont les suivantes:

- **Prise en compte des caractéristiques de l'environnement:** parmi les caractéristiques de l'utilisateur que le réseau BAN doit prendre en compte, on trouve: son architecture, ses dimensions, les obstacles, le nombre de personnes à surveiller, etc.
- **Gestion de la mobilité:** le réseau BAN doit fournir un certain niveau de mobilité adapté aux besoins des patients. Cet aspect concerne en particulier la mobilité des capteurs embarqués sur le corps de la personne, dont il faut maintenir la connectivité et la couverture du réseau quand la personne se déplace dans son habitation [32, 33].
- **Respect de la vie privé:** les données médicales des personnes surveillées doivent être protégées et sécurisées. Selon une étude réalisée dans [34], un grand pourcentage de personnes accepte de communiquer à distance leurs données médicales, par contre, très peu d'entre elles acceptent d'être surveillées à l'aide de caméras de façon permanente. La personne ou une personne habilitée doit avoir la possibilité de contrôler et de paramétrer les données qui doivent être transmises vers l'extérieur de l'habitation [35].
- **Sécurisation des données:** comme dans de nombreux types de réseaux sans fil, la sécurité des données est un aspect très important. Sauver la vie des personnes implique de prendre conscience de l'importance et de la fiabilité des données médicales transmises. Actuellement, il existe de nombreux algorithmes et techniques de cryptages efficaces qui sécurisent les échanges entre les nœuds capteurs (distribution aléatoire des clés, protocole de routage sécurisé, etc.) [36, 37, 38].
- **Faible coût de déploiement:** le coût de mise en place d'un réseau de capteurs

doit être maîtrisé. Ce coût inclut celui des capteurs médicaux, des capteurs environnementaux, ainsi que le coût d'installation et de maintenance du réseau [39] auxquels vient s'ajouter le coût lié au service.

Il existe d'autres exigences de l'application comme la facilité d'installation, la flexibilité et la robustesse du réseau, la convivialité et l'ergonomie (facilité d'utilisation, interface graphique adaptée à la personne), l'efficacité et l'interopérabilité [40,39].

II.3- Architecture proposée

II.3.1 - Les cas des architectures possibles

Notre application m-health sera optimisée et adaptée dans un réseau BAN qui comporte plusieurs capteurs. La diversité des applications des réseaux des capteurs et les réseaux corporels BAN ont entraîné l'apparition de nouvelles architectures de réseaux. *Akyildiz et al.* présentent dans [41] trois types d'architectures: l'architecture avec un seul niveau de captage «*Single-tier flat*», l'architecture avec un seul niveau de captage en cluster «*Single-tier clustered*» et l'architecture avec plusieurs niveaux de captage «*multi-tier flat*». Chacune de ces architectures possède des propriétés particulières. En outre, leur déploiement est fonction des exigences de l'application considérée.

L'architecture avec un *seul niveau de captage* est constituée de capteurs homogènes avec un traitement distribué des tâches et un stockage centralisé. Chaque nœud du réseau exécute toutes les tâches exigées par l'application (exemple: capturer la température, l'accélération, les mouvements, etc.).

Dans l'architecture avec un seul niveau de captage en cluster, on trouve des capteurs hétérogènes avec le traitement et le stockage centralisés au niveau d'un nœud central dédié.

L'architecture avec plusieurs niveaux de captage est constituée par des nœuds hétérogènes avec le traitement et le stockage des données distribués à chaque niveau. Dans cette architecture, les tâches sont distribuées entre les différents nœuds participants. Il n'est donc pas utile qu'un nœud embarque tous les types de capteurs (les nœuds sont classés selon leurs capacités: traitement, captage, stockage, nœuds contraints et moins contraints en énergie, etc.). Les nœuds ayant des ressources limitées en terme d'énergie exécutent des tâches simples comme capturer la température, détecter les mouvements, capturer une image à faible résolution, etc. Par ailleurs, les capteurs ayant des ressources importantes en énergie et en calcul prennent en charge le traitement des tâches plus complexes, comme les caméras à haute résolution qui peuvent être réveillées à la demande du superviseur pour la reconnaissance et la localisation. Pour atteindre l'objectif commun de surveillance, les nœuds de chaque niveau se mettent en interaction (selon un protocole de communication adéquat) pour atteindre le superviseur distant.

II.3.2- Architecture proposée

Pour notre application, le choix s'est porté sur l'architecture avec plusieurs niveaux de captage afin d'exploiter au mieux les différentes modalités de captage dans les différents niveaux dont la partie m-health intégrera l'un des niveaux intermédiaires. En effet, elle offre plusieurs avantages par rapport aux architectures avec un seul niveau de captage: évolutivité, faible coût, meilleure couverture, fonctionnalités supplémentaires et fiabilité améliorée, comme il a été montré dans les expérimentations de *Kulkarni et al.* [42, 43] (Réseau *SensEye*), ainsi que dans les travaux de *Lopes et al.* [44]. Les auteurs exploitent les avantages de cette architecture pour la surveillance d'un environnement typique *outdoor* «*environmental monitoring*». Dans notre travail, la démarche employée est de proposer une solution adéquate à l'application de surveillance des personnes pouvant être mobiles, en prenant en compte la conservation de l'énergie des capteurs critiques et le déclenchement des alarmes. Un autre aspect important dans notre étude est de déterminer et d'évaluer les paramètres importants ayant un impact sur les performances du réseau.

II.3.3- Topologie choisie

A la base, l'architecture multi-niveaux est formée de sous réseaux interconnectés (mixés) qui reposent sur les topologies génériques classiques: étoile, maillée, hybride et hiérarchique.

La topologie en étoile, est caractérisée par des nœuds qui communiquent leurs données directement à un nœud central. Son avantage est qu'elle est très économe en énergie et qu'elle est utilisée dans des réseaux de petite taille [45]. Son inconvénient majeur est lié à la fiabilité du nœud central; si celui-ci tombe en panne tout le réseau s'arrête de fonctionner. Un autre inconvénient est lié à l'évolutivité: l'augmentation du nombre de capteurs peut surcharger le nœud central. Pour des raisons essentiellement énergétiques, nous envisageons d'adapter cette topologie à notre application seulement pour les communications intra-WBAN. La contrainte liée à l'évolutivité est limitée car le nombre de capteurs embarqués sur la personne n'est pas élevé (de 1 à 5 capteurs au maximum).

Par rapport à la topologie étoilée, la topologie maillée «*mesh*» fait transiter l'information suivant divers chemins à travers plusieurs sauts, ce qui offre plus de fiabilité, d'évolutivité et un partage de la charge du trafic entre les différents nœuds du réseau. Ce type de topologie nécessite un protocole de routage efficace. En outre, elle est gourmande en énergie par rapport à la topologie étoilée (due aux algorithmes de routage). La (*fig.2.1*) illustre des deux topologies existantes.

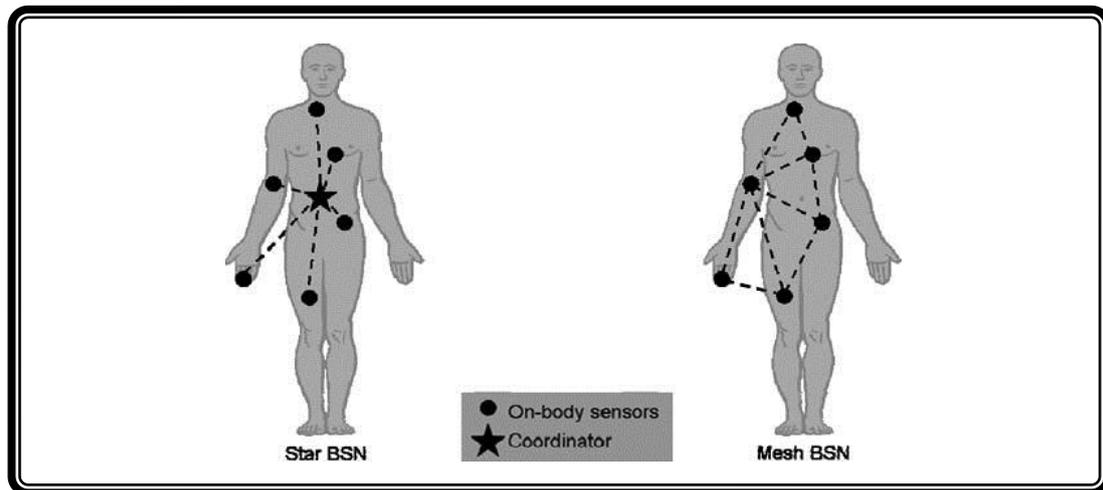


Figure 2.1: Topologie étoilée et topologie maillée

Enfin, la topologie hybride combine les avantages des topologies étoilée et maillée pour offrir plus de fiabilité et moins de consommation d'énergie. Généralement, des nœuds routeurs ou passerelles connectés dans la maille restent réveillés d'une manière permanente pour renvoyer les données vers les nœuds d'extrémités. Ce type de topologie est présenté dans [45]. Comme la topologie maillée, elle nécessite un protocole de routage efficace.

Dans notre application, nous avons choisi de simplifier et de former un réseau hiérarchique. En effet, cette architecture est composée de deux sous-réseaux ayant une topologie en étoile, ces deux derniers sont centralisés vers un smartphone que nous considérons comme un ensemble de capteurs (**mSensing**) et un nœud central.

II.3.4- Etat de l'art sur les architectures utilisées

Nous présentons ci-après une synthèse de projets et de travaux de recherche les plus illustratifs dans le domaine.

- **Projet RESIDE-HIS** : l'un des projets français d'habitat intelligent pour la santé. Il s'agit d'une collaboration entre les laboratoires TIMC et CLIPS à Grenoble (par deux équipes AFIRM et GEOD [46]). Un gilet de téléassistance nomade appelé «VTAMN» est développé. Il embarque différents types de capteurs avec différents types de données recueillies: le poids, la fréquence cardiaque et respiratoire, le taux d'oxygène dans le sang et la glycémie. Les données sont envoyées vers un centre de surveillance distant. Des algorithmes de traitement du signal sonore pour la détection et la classification des bruits ont été développés.
- **Projet CodeBlue**: les chercheurs de l'Université de Harvard ont conçu différents types de capteurs médicaux. Les nœuds capteurs de types ECG, de mouvement et de saturation d'oxygène O₂ sont développés (sur la base des plates-formes *Crossbow*). Les plates-formes à faible consommation: *Mica2*,

MicaZ et *Telos* sont utilisées [47]. Ces capteurs sont caractérisés par une mémoire de 4-10 Kb, une batterie AA et un système d'exploitation embarqué TinyOS [48]. La portée de communication est de 100m et le débit est d'environ 80 kbps. Les communications se basent sur le standard IEEE 802.15.4 sous une bande de fréquences radio de 2,4 GHz. Les protocoles de routage ad hoc «AODV: *Ad hoc On Demand Distance Vector*» et «DSDV : *Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector* » sont utilisés. Un système de localisation appelé «MoteTrack» est aussi développé pour calculer la position en 3D.

- **Projet Mobilhealth:** c'est l'un des premiers projets européen sur le développement d'un réseau sans fil pour la santé, basé sur les technologies de téléphonie mobile GPRS et UMTS [49]. Le réseau WBAN est constitué de capteurs et actionneurs, et une unité de base mobile MBU «Mobile Base Unit» jouant le rôle d'un hub (topologie en étoile). La communication GPRS est utilisée pour la communication entre le WBAN et le téléphone/PDA. Ensuite, les données collectées par ce dernier sont transmises via UMTS vers le centre de surveillance.

Aujourd'hui, de nombreux systèmes de surveillance des personnes sont proposés. Nous présentons dans la suite les systèmes rencontrés dans la littérature avec des exemples de capteurs corporels:

- **Yuce et al. :** présente un système de surveillance de personnes mobiles [50] qui bénéficie des avantages de la technologie MICS (Mobile Information and Communication Services)[51]: une faible puissance, une immunité aux interférences et un transfert de données rapide. Cette technologie est utilisée entre les capteurs médicaux du réseau WBAN. L'usage des technologies sans fil Bluetooth et GSM est proposé pour les communications extra-BAN entre le CCU (Central Control Unit) et un PDA. Les auteurs ont développé les capteurs du WBAN et les logiciels «*firmwares*» nécessaires. L'accès au médium est garanti via la méthode d'accès CSMA/CA et avec l'envoi de messages RTS/CTS.
- **Demirbas et al. :** présente une architecture de réseau de surveillance de personnes accessible via Internet appelé INSIGHT [52]. L'accès aux données collectées peut être local ou distant. Les paramètres à surveiller peuvent être reconfigurés à distance. Les auteurs justifient l'usage d'une architecture à un saut pour réduire la consommation d'énergie. Le réseau déployé est basé sur la couche physique IEEE 802.15.4. Le débit est de 250 kbps et la portée radio est de 100m. Les plates-formes *TmoteSky* sont utilisés dans les expérimentations. La couche B-MAC (MAC Berkeley) [53] est utilisée pour gérer l'accès au médium. Pour conserver l'énergie, les nœuds envoient les données à la station de base et passent le reste du temps en mode sommeil. Pour cela, une technique de «*data reporting*» est utilisée pour définir les intervalles de

diffusions. Par ailleurs, le module de gestion de puissance HPL (*Hardware Presentation Layer*) et les minuteurs «*watchdog timer*» sont utilisés.

- **Mainwaring et al.:** présente dans [54] l'un des premiers déploiements expérimentaux des WSNs pour la télésurveillance sur *Great Duck Island*. Les chercheurs du « Laboratoire de l'Université de Californie » à *Berkeley* ont conçu les capteurs constituant le réseau. Les nœuds sont équipés d'un module de filtrage, d'un module de compression de données et de panneaux solaires. Les auteurs proposent une architecture à plusieurs niveaux. Chaque niveau fournit un service de gestion des données. Deux types de topologies sont utilisés: multi-sauts (maillée) et un saut. Dans l'architecture à un saut, un nœud appelé *Sensor patch* est utilisé pour envoyer les données vers un PDA. Ce dernier relaye les données pour atteindre la station de base. Cette station permet une mise à disposition des données sur le Web. Les communications sont bidirectionnelles entre les nœuds. Pour réduire la consommation d'énergie, les capteurs sont mis en mode sommeil (extinction de la radio et du processeur (MCU)). Un protocole MAC à faible consommation «*MAC Low power*» est développé, et des protocoles de routage hiérarchiques sont utilisés.
- **Jovanov et al. :** à l'Université de Huntsville [55] un système de surveillance nommé WHMS est développé. Les communications intra-WBAN sont basées sur le standard IEEE 802.15.4. Les auteurs ont développé plusieurs types de nœuds capteurs médicaux: accéléromètres, ECG, Oxymétrie de pouls et capteur de respiration reconfigurable. Un PDA équipé d'un émetteur-récepteur *LINX* est utilisé pour relayer les données vers le superviseur.
- **Milenkovic et al. :** présentent dans [56] un protocole de communication efficace en énergie pour le WBAN. Les communications sont basées sur le standard IEEE 802.15.4. Les plates-formes utilisées sont de type *Telos*. Les auteurs proposent un protocole fondé sur un réveil cyclique des nœuds «*duty cycle*». Le protocole s'appuie sur un cycle de réveil appelé SFC «*Super Frame Cycle*». Dans leurs expérimentations, la période de SFC est fixée à 1 seconde. L'évaluation de l'énergie consommée par les modes écoute, transmission et sommeil est réalisé. Les différentes consommations mesurées sont: 1,53 mA en mode sommeil, 17,4mA en mode transmission et 19,7mA en mode écoute.
- **Tian He et al. :** propose un réseau de capteurs, efficace en énergie, appliqué dans le contexte militaire [57]. Le système de surveillance se base sur la coopération inter-capteurs et l'organisation des tâches dans le réseau pour détecter et tracer les positions et les mouvements des personnes et des véhicules. Les plates-formes utilisées sont de type *Mica2*. Des caméras de surveillance contrôlées à distance par un ordinateur portable sont aussi utilisées. Les auteurs proposent une solution qui permet de réduire le délai et d'améliorer la fiabilité des données

(minimisation du nombre d'alarmes erronées dues aux fausses lectures). Un module de synchronisation qui permet de synchroniser l'horloge des nœuds avec la station de base est aussi implémenté. Les auteurs ont développé un mécanisme qui sélectionne les nœuds qui gèrent le trafic dans le réseau. Ces nœuds sont appelés *soldats* «*sentries*».

La sélection de ces nœuds est effectuée selon la quantité de leurs réserves en énergie. Les nœuds ayant une grande réserve ont une grande probabilité d'être sélectionné comme *soldat*. Les auteurs proposent alors deux modèles pour contrôler les cycles de sommeil et de réveil des nœuds:

- Le premier est basé sur une approche proactive: les nœuds reçoivent périodiquement le même message *beacon* pour les mettre en mode sommeil. Après l'expiration de cette temporisation, les nœuds se réveillent tous en même temps (ce qui offre une efficacité de surveillance de la cible).
 - Le deuxième est basé sur une approche réactive (la plus efficace): les nœuds capteurs sont organisés dans des groupes représentés par des élus (détectant le même événement) qui reportent les informations à la station de base. Cette deuxième approche minimise le temps de réveil pour les nœuds non élus ce qui permet de minimiser les collisions et offre une consommation d'énergie réduite. Les retransmissions des messages sont aussi minimisées par le biais d'un mécanisme de sélection des grandeurs à retransmettre (ex: température).
- *Cerpa et al.* : présentent dans [58] les démarches nécessaires à la construction d'un système de surveillance dans l'habitat. Ils proposent un modèle appelé «*Frisbee*». Initialement, les nœuds capteurs ont le choix d'entrer ou pas dans ce modèle. Ce modèle est basé sur la création de régions constituées de capteurs hétérogènes qui suivent une cible donnée. Pour économiser leur énergie, les nœuds qui sont loin de la cible se mettent en mode sommeil. Quand un événement est détecté, des nœuds *soldats* prennent en charge la mission de réveiller les autres nœuds endormis.
- Il n'y a que la zone du réseau proche de l'événement qui est à l'état actif. À chaque fois que la cible se déplace, les nœuds *soldats* envoient des signaux de réveils aux autres (qui doivent être dans l'état d'écoute). Pour récupérer l'énergie solaire, les nœuds sont équipés de panneaux photovoltaïques. Ils traitent et agrègent les données localement. Ils peuvent être éteints à distance via un logiciel de contrôle développé. Des algorithmes de localisation et de synchronisation, ainsi qu'un mécanisme permettant la suppression des notifications dupliquées sont aussi proposés.
- *Poon et al.* : présente dans [59] une nouvelle approche pour sécuriser les

échanges entre les nœuds capteurs d'un WBAN. Le problème traité est lié à la confidentialité et à l'intégrité des données. La question posée est: *comment les nœuds d'un WBAN savent qu'ils appartiennent au même individu?* Pour répondre à cette question, les auteurs ont proposé une solution fondée sur une approche de «*biométrie*». C'est une technique d'identification basée sur les caractéristiques physiologiques ou comportementales de l'individu. Cette approche permet d'identifier les nœuds capteurs et de sécuriser la distribution de la clé chiffrée. Elle est basée sur la cryptographie symétrique. Le choix de cette biométrie s'appuie sur des informations du battement du cœur appelées «*interpulse interval (IPI)*». Cette solution permet d'atteindre un haut niveau de sécurité avec moins de calcul et de mémoire.

- *Gyselinckx et al.* : dans [56], les auteurs ont conçu différents types de nœuds capteurs pour le WBAN (ECG, EEG, pouls, glucose, etc.). Les moyens de récupération d'énergie mécaniques et thermiques sont utilisés comme compléments à l'énergie solaire (générateurs piézoélectrique et générateurs thermiques). Les nœuds du WBAN sont mis dans des emplacements spécifiques du corps pour mieux récupérer l'énergie (à partir de la température du corps). Selon leurs expérimentations, une énergie de 100 μ W peut être récupérée par les batteries.

Finalement, cet état de l'art révèle la diversité des solutions, des approches et des systèmes de surveillance proposés. En revanche, nous avons remarqué que l'économie d'énergie est un facteur clé qui apparaît souvent dans ces travaux. Dans la section suivante, nous résumons les techniques de base de conservation et de récupération d'énergie.

II.3.5-Proposition de notre modèle m-health

Afin de valider notre choix de topologie et d'architecture (II.3.2, II.3.3), nous avons conçu un modèle complet pour nos systèmes et applications m-health. Ce modèle sera notre référence de tous les tests et les expériences dans cette thèse. La (fig.2.2) montre l'architecture fonctionnelle de notre modèle proposé d'un système m-health basé sur l'architecture à multi-niveaux et sur une topologie étoile en redondance, centralisée vers un smartphone. Les dessins carrés pointillés indiquent l'emplacement physique où les composants de la plate-forme de service s'exécutent. Les dessins arrondis représentent les couches fonctionnelles de l'architecture. Nous avons proposé ce modèle m-health qui se compose de capteurs et d'actionneurs, des fournisseurs de services de communication intra et extra-BAN et une couche de service m-health.

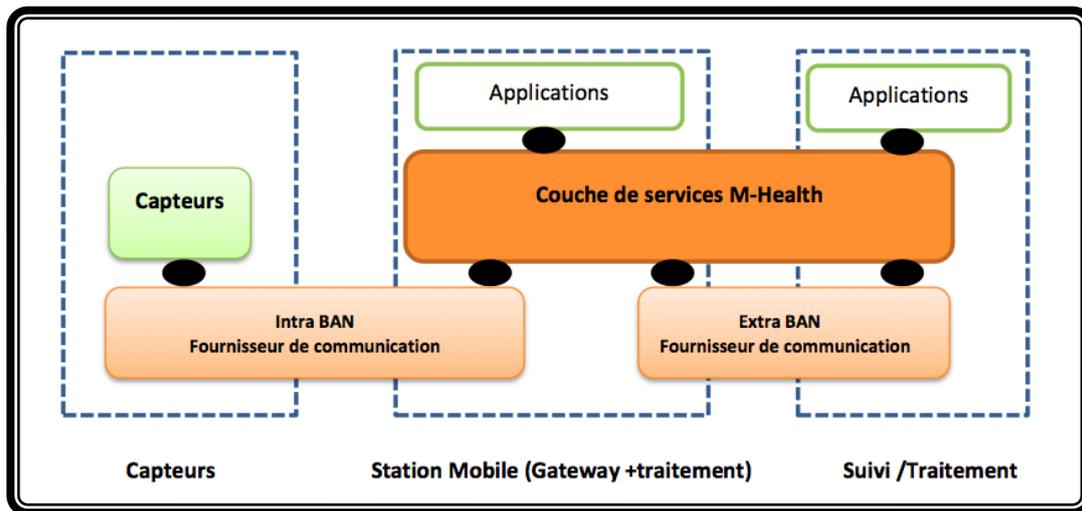


Figure 2.2: Architecture fonctionnelle du modèle proposé d'un système m-health

Dans notre modèle, les applications qui s'exécutent au dessus de la couche de services peuvent soit s'exécuter sur la l'unité mobile (pour une utilisation locale comme le traitement sur smartphone) ou sur les serveurs de santé à distance, par exemple dans un centre de télésurveillance ou à l'hôpital.

Les services offerts par notre modèle m-health sont les suivants:

Enregistrement de capteurs BAN: Le modèle proposé maintient une liste de BANs actifs et permet aux applications de récupérer la configuration spécifique.

Découverte du BAN: les applications peuvent s'intégrer à la plate-forme afin de recevoir une notification quand un capteur devient actif.

Autorisation du BAN et d'authentification: Le modèle authentifie les capteurs BANs et il les autorise à transférer des données.

Chiffrement des données BAN: Le modèle chiffre les données de la plate-forme m-health pour les rendre plus fiable.

Configuration des capteurs: Le modèle proposé permet la configuration et la gestion des capteurs, tels que l'activation et la désactivation des capteurs spécifiques, ou la modification de la fréquence d'échantillonnage du capteur. Cette fonction est valable pour les capteurs BAN ou les capteurs intégrés dans le smartphone.

Contrôle d'acquisition de données: Le modèle permet aux applications de démarrer, d'arrêter ou de suspendre temporairement le processus d'acquisition de données par les capteurs.

Stockage de données: Le modèle propose également des services de stockage intermédiaire pour les applications m-health. L'application peut spécifier la durée minimale requise pour stocker les données.

Surveillance des données: Le modèle peut appliquer des algorithmes de filtrage de données dans la partie Intra ou Extra BAN pour déterminer si un événement important a eu lieu (par exemple, un patient a chuté).

II.4 - Intégration du smartphone dans le m-health

Notre but, dans cette partie, consiste à choisir et à intégrer les Smartphones dans notre architecture m-health. Afin de faire un choix adéquat, en restant sur l'exigence de notre application m-health et en respectant la condition d'adaptation avec les conditions limitées, nous allons comparer et valider les différents modèles des smartphone qui existent sur le marché actuel.

La particularité d'un smartphone par rapport à un téléphone portable ordinaire est son fonctionnement par applications. Il existe des applications classiques qui sont nécessaires au bon fonctionnement du smartphone tel que l'application téléphone ou contacts (enregistrement des informations sur une personne) et qui ne sont pas effaçables. En outre, les Smartphones peuvent être utilisés comme un terminal mobile pour le e-commerce, les applications d'entreprise, les services de géo-localisations, l'Internet sans fil...

Il permet aussi l'installation d'applications additionnelles sur l'appareil. Ces applications peuvent être développées par le fabricant, par l'opérateur ou par n'importe quel autre éditeur de logiciel. [60]

En 2012, la plupart des tendances et des développements que nous avons vus ne feront que s'accélérer (*fig.2.3*). L'utilisation croissante des Smartphones ne sera maintenue que si les consommateurs voient les applications mobiles comme la clé pouvant aider davantage les ordinateurs de poche dans la vie quotidienne. La généralisation de l'usage du smartphone, lié au développement de plates-formes d'applications, permettent le développement du marché du m-health, d'autant qu'il existe une réelle appétence pour l'utilisation de ces applications dans le domaine de la santé. D'après les statistiques, 44 % des utilisateurs de Smartphones émettent le souhait d'utiliser davantage d'applications santé à l'avenir [61].

Des statistiques ont été faites en 2011, le rapport montre que plus de la moitié des propriétaires de Smartphones (317 étudiants interrogés) préfèrent réserver l'usage des services m-health pour leurs membres de famille qui souffrent de maladies chroniques¹.

¹ Université de Tlemcen , l'école préparatoire Science et Technologie



Figure 2.3: Smartphones avec une capacité sans fil et une puissance de calcul

II.4.1- Caractéristique

- Téléphone GSM /UMTS/CDMA/LTE: Comme tout téléphone, un smartphone possède la fonction principale de téléphoner. Pour pouvoir passer un appel, un téléphone portable en Algérie ainsi qu'un smartphone utilise GSM (Global System for Mobile communication) qui est un système dédié à la transmission de la voix.
- Appareil photo/vidéo: C'est une des fonctionnalités classiques des Smartphones. Elle est importante car elle est exploitée par de nombreuses applications.
- Capteurs et GPS intégrés: Il existe à l'intérieur d'un smartphone plusieurs capteurs, comme l'accéléromètre et une puce GPS (Global Positioning System) permettant de détecter la position du téléphone par satellite. Cette détection de la position est appelée géo-localisation.
- La capacité de stockage et de traitement.

II.4.2- Système d'exploitation

Ce qui est intéressant à analyser pour notre étude, c'est le système d'exploitation car le but final est le développement et l'exploitation d'une application m-health adapté aux conditions limitées.

Un système d'exploitation (OS) est un super logiciel permettant de gérer toutes les autres applications (mise en marche, arrêt, allocation des ressources mémoires) et la communication avec le support physique (action lors de l'appui sur une touche, affichage à l'écran, ...).

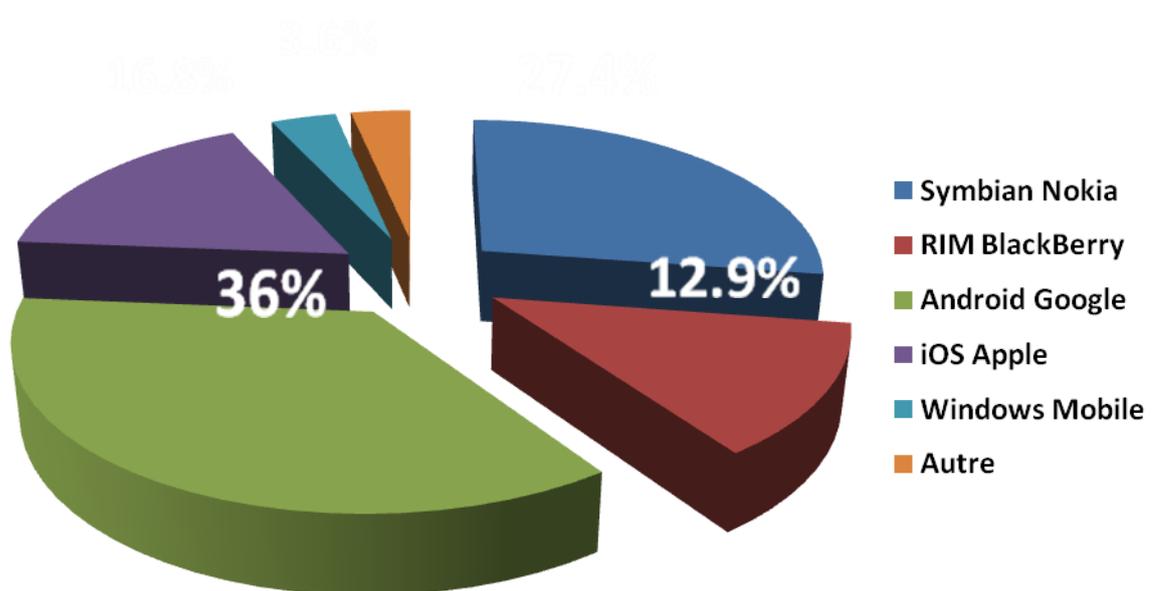
Une application est spécifique à un OS. Il n'existe pas de norme qui permet de créer une application fonctionnant sur tous les OS pour le moment. Donc, pour être présent sur le marché entier, il faut créer une application par OS.

Il existe un grand nombre d'OS pour les smartphones sur le marché mondial. On va présenter uniquement ceux qui sont les plus vendus (*Tableau 2.1*).

Système d'exploitation	2011		2010		2009	
	Unités	Part de marché	Unités	Part de marché	Unités	Part de marché
Symbian Nokia	27 598 500	27,4 %	25 386 800	41,2 %	20 880 800	51 %

RIM BlackBerry	13 004 000	12,9 %	11 228 500	18,2 %	7 782 200	19 %
Android Google	36 267 800	36 %	10 606 100	17,2 %	755 900	1,8 %
iOS Apple	16 883 200	16,8 %	8 743 000	14,2 %	5 325 000	13 %
Windows Mobile	3 658 700	3,6 %	3 096 400	5 %	3 829 700	9,4 %
Linux	N/A	N/A	1 503 100	2,4 %	1 901 100	4,6 %
Autres	3 357 200	3,3 %	1 804 800	1,8 %	497 100	1,2 %
Total	100 769 300	100 %	61 649 100	100 %	40 971 800	100 %

Tableau 2.1: Ventes mondiales de smartphones aux deuxièmes trimestres 2009 et 2010 et au premier trimestre 2011 selon le système d'exploitation²



Le diagramme de la figure 2.4 présente les statistiques sur la vente mondiale de smartphones au premier trimestre 2011 selon le système d'exploitation:

² Étude Gartner d'août 2010, Android, le troisième OS mobile le plus populaire au monde, *sur* www.silicon.fr

II.4.2.1- Symbian OS :

Symbian OS était le système le plus répandu des systèmes d'exploitation pour téléphones portables de type "smartphone" et PDA, conçu par Symbian Ltd. Il est l'héritier du système d'exploitation EPOC32 qui équipait les Psion, et est né d'un consortium entre différents constructeurs (initialement Psion, Nokia, Motorola, Ericsson et Matsushita/Panasonic). Il dispose de nombreuses API spécifiques pour la communication mobile voix et données, et utilise des protocoles standards de communication réseaux: IPv4/IPv6, WAP, MMS, Bluetooth, GPRS/UMTS, Java, SyncML...etc.

Il a été adopté par différents fabricants de téléphones portables de deuxième génération (GSM et GPRS) et de troisième génération (UMTS) [62] (fig. 2.5).

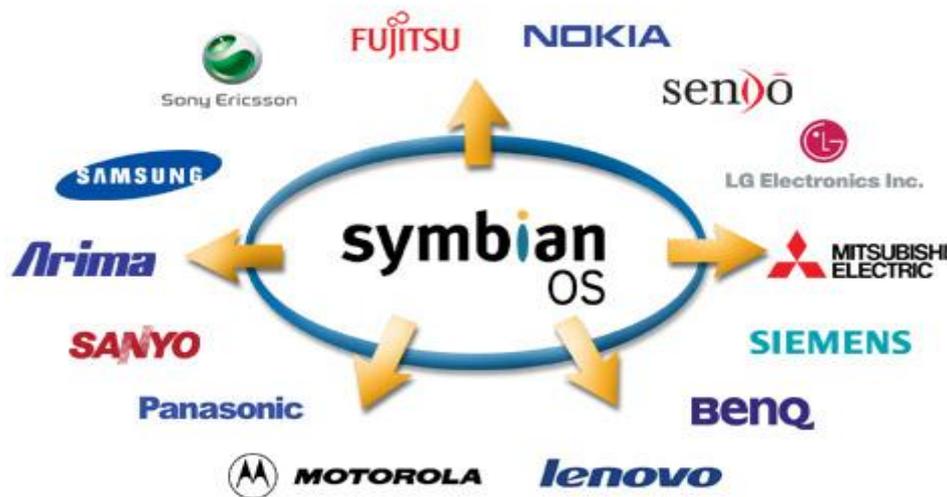


Figure 2.5: Les différents fabricants de téléphones portables avec Symbian OS

Son avantage majeur est qu'il a été conçu dès le départ pour les appareils mobiles avec des ressources restreintes. Sa philosophie est de conserver la mémoire et d'éviter les bogues liés à la gestion de la mémoire. De plus, sa programmation est basée sur une technique «événements», qui laisse le processeur éteint lorsqu'il ne traite pas directement des données. Il en découle une plus petite consommation d'énergie, donc une meilleure autonomie. De nos jours, la mémoire a baissé de prix et de taille, donc ce facteur est moins primordial. Plusieurs interfaces utilisateurs basées sur Symbian équipent les smartphones. La plus courante est la S60 de Nokia [63].

Les environnements du développement utilisés par le Symbian OS sont:

- Java 2 Micro Edition (J2ME) : Pour des raisons tenant à l'évolution rapide de la technologie, il est toujours préférable d'éviter de réaliser des applications spécifiques à un type d'équipement mobile propriétaire [60]. Le J2ME le permet. Cette technologie est une évolution de la plateforme Java destinée à la micro informatique embarquée. Elle s'adresse aux terminaux de consommation courante et aux appareils

de taille réduite. Elle inclut des outils pouvant s'exécuter sur tous les mobiles compatibles et gérer divers profiles et sessions.

-Symbian C++: À la différence de Java qui est une sorte d'environnement d'exécution pour les programmes, Symbian est un système d'exploitation. Apparu en premier sur des organiseurs de poche tels que, par exemple, les Psions, il a su s'imposer comme le système d'exploitation le plus utilisé actuellement dans les nouveaux Smartphones 2005-2010.

Il existe d'ailleurs plusieurs compilateurs pour Symbian, ce qui permet de coder en Java, C++, Visual Basic ...

- C++: Symbian a été écrit en C++. Ce dernier est donc le langage natif de Symbian. Une application C++ sera plus rapide qu'une application équivalente dans un autre langage. Le code natif requiert aussi moins d'espace [64]. Ce qui permet de dire qu'il n'y a pas vraiment de raison technique de vouloir utiliser un autre langage pour développer un logiciel sur la plateforme Symbian.

- Python pour S60: Python est un langage objet interprété de haut niveau, modulaire et à syntaxe positionnelle. Il est créé au début des années quatre-vingt-dix. Python est distribué sous forme de logiciel ouvert et libre, qui ne dépend d'aucune entreprise particulière. Il est couvert par sa propre licence [62].

- Versions

- **Symbian OS v5** ou **EPOC Release 5**: Dernière version de l'OS qui est utilisée pour des PDA comme le **Psion Series 5** ou le **Psion Revo**.
- **Symbian OS v5.1** ou **ER5u**: Support de l'unicode. Cette version est utilisée dans l'Ericsson R380.
- **Symbian OS v6.0** : Premier téléphone 'ouvert', le Nokia 9210 sort avec la version 6.0.
- **Symbian OS v6.1**. C'est la première version de Symbian OS, utilisée comme base aux téléphones Series 60.
- **Symbian OS v7.0** et **v7.0s** (2003). C'est la version majeure sur laquelle beaucoup d'interfaces utilisateurs ont été développées: UIQ, Series 80, Series 90.
- **Symbian OS v8.0**. (2004). Cette version introduit un nouveau cœur (EKA2) radicalement différent dans son fonctionnement.
- **Symbian OS v8.1**. Amélioration de la version 8.0, disponible en 8.1a, qui continue de supporter EKA1 et 8.1b qui supporte EKA2.

- **Symbian OS v9.1** (2005). Cette version met l'accent sur la sécurité. Seules les applications signées peuvent accéder aux fonctionnalités critiques du téléphone.
- **Symbian OS v9.2** (2006). Les téléphones qui l'utilisent sont Nokia E90-Nokia N95-Nokia N82 et Nokia 5700.
- **Symbian OS v9.3** (2007). Cette version supporte maintenant le Wifi et le HSDPA. Les téléphones qui l'utilisent sont Nokia E72, Nokia 5730 XpressMusic, Nokia N79, Nokia N96, Nokia E52, Nokia E75 [62].
- **Symbian OS v9.4 (fig. 2.6) -Symbian^1-^1.5** (2008-2009). Cette version a été annoncée en mars 2007. Première version de Symbian OS utilisée comme base aux téléphones tactiles Nokia 5800 XpressMusic-Nokia N97-Nokia X6-Samsung i8910-Omnia HD-Sony Ericsson Satio.
- **Symbian^2(2009-2010)**. Version corrigée de symbian^1 par la Symbian Foundation et adoptée par les marques: Fujitsu et Sharp.
- **Symbian^3 (2010)**. Le Nokia N8 est le premier téléphone à utiliser cet OS depuis la fin octobre 2010. Des outils de développement pour Symbian^3 ont été mis à disposition et promettent de rendre la création d'applications «aussi facile que de créer une page Web». Symbian^3 est la dernière version majeure du système. Nokia ayant annoncé qu'il développerait uniquement des mises à jour du système, il n'y aura donc plus de version majeure et donc pas de Symbian^4 [62].

Symbian^3 Anna et Belle sont des mises à jour majeures du système Symbian^3 seulement.



Figure 2.6: Capture d'écran d'un Nokia 5800 sous Symbian 9.4

- Les interfaces utilisateur

Symbian OS fournit les fonctionnalités essentielles du système d'exploitation, notamment le cœur (nommé EKA2 dans la dernière version), ainsi que les API communes et une interface utilisateur de référence. Chaque constructeur développe sa propre interface utilisateur, et ajoute ou enlève des fonctionnalités. Ainsi, Série 60 et UIQ sont deux branches différentes de Symbian OS. Chaque version de ces branches se base sur une version déterminée de Symbian OS.

Les principales interfaces utilisateurs sont:

Series 60 ou **S60**. Cette interface utilisateur est la plus répandue sur les téléphones basés sur Symbian OS. Créée par Nokia, elle se caractérise jusqu'à la version 3 par un écran non tactile. À partir de la version 3 principalement, l'interface se fait plus dynamique et l'écran peut avoir plusieurs tailles et formes. La Serie 60 est l'interface utilisateur phare de Nokia et a été licenciée à d'autres constructeurs comme Lenovo, LG, Panasonic, Samsung, Sendo, Siemens. Dans ce chapitre nous allons valider l'utilisation de cette interface dans un système m-health, les autres interfaces sont limitées en matière de ressources et de compatibilité, et c'est la raison pour la quelle nous avons évité d'intégrer les autres dans nos applications [65].

Series 80. Créée par Nokia, cette interface utilisateur est destinée à la famille des "Communicator" ancienne génération (antérieurs à l'E90) et se caractérise par un clavier alphanumérique, 4 touches applicatives sur le côté droit et un écran large non tactile.

Series 90. Créée par Nokia et n'est maintenant plus en développement. Cette interface utilisateur a été destinée aux matériels style PDA, avec support de l'écran tactile, pas de clavier. Ses concepts ont été réutilisés comme base à l'interface utilisateur Maemo de Nokia qui tourne sur une base Linux.

UIQ. Développée par UIQ Technology, aujourd'hui appartenant à Sony Ericsson et à Motorola. Cette plate-forme s'est distinguée par son interface utilisateur de type PDA avec écran tactile (UIQ2). Elle supporte maintenant (UIQ3) également une interface classique sans écran tactile. UIQ est la deuxième interface utilisateur la plus répandue sur les téléphones Symbian OS.

MOAP(S). Disponible uniquement au Japon, cette plate-forme a la particularité d'être fermée; il est en effet impossible d'installer des applications tierces.

II.4.2.2- Windows Mobile

C'est le système d'exploitation conçu par Microsoft (*fig. 2.7*). Il est présent sur les téléphones Windows (*fig. 2.8*). Microsoft a récemment signé un accord en 2011 avec Nokia pour l'intégration du système d'exploitation Windows sur les nouveaux téléphones Nokia.



Figure 2.7: Logo de Windows Mobile OS

Pour développer des applications sur cet OS, il faut acheter le Visual Studio qui est une plate-forme (logiciel) de développement créée par Microsoft ou utiliser une version simplifiée de Visual Studio.



Figure 2.8: Capture d'écran de Windows mobile

Windows Mobile est la partie utilisateur de Microsoft Windows CE (Compact Edition) pour appareils mobiles (aussi bien ordinateurs de poche que smartphones et PDA-phones). Il a été conçu pour avoir un aspect visuel et ergonomique le plus proche possible des ordinateurs de bureau, afin de ne pas désorienter les utilisateurs. Microsoft a changé son système de numérotation avec la version 5. La version actuelle est le Windows Phone 7 et plus (Commercialement Windows Mobile s'appelle maintenant Windows Phone) [63]. Côté points faibles: il est très gourmand en mémoire RAM et en puissance de calcul, d'où des blocages occasionnels dans le cas d'une machine sous-dimensionnée en mémoire vive (RAM) [62, 63]. Nous allons confirmer ces données dans la partie évaluation dans ce chapitre.

II.4.2.3- iOS ou iPhone OS

iPhone OS (*fig. 2.9*) est le système d'exploitation développé par Apple pour ses téléphones (iPhone tout type).



Figure 2.9: Capture d'écran d'un iPhone avec un thème winterboard

Ce système présente plusieurs forces et faiblesses. Contrairement à Limo et Android, ce système est fermé. On ne peut pas le modifier (certains aimeraient le modifier pour le rendre multitâche) et pour les développeurs de l'iPhone, Apple fournit un kit de développement SDK pour environ 100\$. On ne peut pas voir le fonctionnement interne d'une classe ou d'une fonction puisque les sources ne sont pas disponibles. Ce système, équipant les iPod touch et les iPhones, est complètement tactile [66]. Objective-C est le langage dédié principalement à la programmation des périphériques portables d'Apple.

II.4.2.4- Android



Figure 2.10: Logo de l'Android OS

Android (*fig. 2.10*) est le système d'exploitation développé par Google et distribué gratuitement aux constructeurs de smartphones. Il est présent sur plusieurs marques de smartphones (*fig. 2.11*) tels que Sony Ericsson, HTC, LG, Samsung et autres. Google propose pour développer des applications sous Android, un SDK gratuit et téléchargeable sur le site de Google³. Les langages utilisés sont plusieurs et variés mais le langage natif c'est le Java pour Android.

³ <http://developer.android.com/index.html>



Figure 2.11: Capture de l'écran d'accueil du système Android

- Caractéristiques

Android est fondé sur un noyau Linux, les programmes sont exécutés via un interpréteur JIT. Toutefois, il est possible de passer outre cette interface, en programmant ses applications en C, mais le travail de portabilité sera plus important. Si la majorité des périphériques Android sont basées sur l'architecture ARM, l'hétérogénéité des versions et des coprocesseurs peut varier grandement d'un constructeur à l'autre.

Disponible via une licence Apache version 2, ce système d'exploitation inclut tous les utilitaires requis par un constructeur ou par un opérateur pour mettre en œuvre un téléphone portable.

Android a été conçu pour intégrer au mieux des applications existantes de Google comme le service de courrier Gmail, celui de cartographie Google Maps, ou encore Google Agenda, Google Talk, YouTube. Un accent particulier est mis sur la géolocalisation avec Google Latitude et la météo correspondant à la ville la plus proche disponible sur le menu principal.

- Version

Les différentes versions d'Android ont toutes des noms de desserts (en anglais) depuis la sortie de la version 1.5 et suivent une logique alphabétique (de A vers Z):

1.0: Apple Pie (Tarte aux pommes) 9 ou Alpha, Version connue uniquement ou presque des développeurs car c'est la version du Sdk distribué avant la sortie du premier téléphone Android, SDK distribué fin 2007;

1.1: Banana Bread (Cake à la banane) 9 ou Beta, Version incluse dans le premier téléphone, le HTC G1/Dream;

1.5: Cupcake (Petit Gâteau), sortie en avril 2009, dernière révision officielle en mai 2010;

1.6: Donut (Beignet), sortie en septembre 2009, dernière révision officielle en mai 2010;

2.0 (2.0.1): Version appelée Éclair au départ mais, à cause de nombreux bugs, vite remplacée par la 2.0.1 puis par la 2.1, cette version 2.0 est très peu connue;

- 2.1:** Éclair, sortie en janvier 2010, dernière révision officielle en mai 2010;
- 2.2 (2.2.3):** FroYo (Frozen Yogourt: Yaourt glacé), sortie en mai 2010, dernière révision officielle en 2011;
- 2.3 (2.3.7):** Gingerbread10 (Pain d'épice), sortie le 6 décembre 2010, version actuelle pour smartphones et petites tablettes;
- 3.0 (3.2):** Honeycomb11 (Rayon de miel), sortie le 26 janvier 2011, version actuelle pour grandes tablettes et télévisions connectées;
- 4.0 (4.0.4):** Ice Cream Sandwich13 (Sandwich à la crème glacée), version unifiée pour smartphone, tablette et Google TV14, fortement inspiré d'Honeycomb, sortie le 19 octobre 2011;
- 5.0:** Jelly Bean 15 (Jelly Bean, dragibus), version conçu pour être installée sur notebook ;
- 6.0 :** Key Lime Pie16, nom supposé pour la version suivant Jelly Bean.

- **Les capteurs sous Android**

Android prend en charge des capteurs de type gyroscope, gravité, accélération linéaire ou encore baromètre et autres.

Ces capteurs peuvent ouvrir une autre dimension au système Android, pouvant le spécialiser dans des domaines de recherche, ou de sport.

Cette dernière version prend aussi en charge le système NFC (Near Field Communication), qui ressemble au RFID, pour tout ce qui peut être paiement, ticket de métro, et autres applications commerciales [67].

II.4.2.5- Maemo

Maemo est une plate-forme logicielle développée par Nokia pour smartphones et tablettes Internet. Elle est basée sur la Debian distribution Linux.

La plate-forme comprend le système d'exploitation Maemo et la Maemo SDK. Maemo est principalement basée sur un code open source, et a été développée par *Maemo Devices* et Nokia en collaboration avec de nombreux projets open source tels que Linux kernel, Debian et GNOME. Maemo est basée sur Debian GNU/Linux et attire beaucoup par son interface graphique, et les bibliothèques du GNOME project. Il existe plusieurs versions de Maemo mais la dernière version Maemo5 est la plus populaire (*fig. 2.12*). En Février 2010, il a été annoncé que le projet Maemo va être fusionné avec Moblin pour créer un nouveau système d'exploitation pour netbooks et smartphones. La nouvelle distribution Linux s'appellera MeeGo [62, 68].



Figure 2.12: Capture d'écran de Maemo5

II.4.2.6- BlackBerry OS

BlackBerry est une marque (fig. 2.13) développée par l'entreprise RIM (Research In Motion). Les téléphones possèdent comme système d'exploitation BlackBerry OS. Cet OS se trouve donc uniquement sur les téléphones BlackBerry.



Figure 2.13: Logo du BlackBerry OS

Les applications BlackBerry sont développées en Java grâce à une bibliothèque Java et à l'environnement de développement gratuit Eclipse. Malheureusement, BlackBerry ne fournit pas un environnement de développement personnel.

II.4.2.7- Autres systèmes d'exploitation

- **Bada OS** est un système d'exploitation pour smartphone haut de gamme de Samsung, basé sur un noyau Linux. Ce système d'exploitation a été lancé le 8 décembre 2009 à Londres.
- **Ophone ou Open Mobile System** est un système d'exploitation pour téléphone mobile, basé sur Linux, utilisé sur la plate-forme de téléphonie mobile chinoise. Certaines technologies dérivées d'Android de Google sont également utilisées sur cette plate-forme.
- **Openmoko** est une plate-forme libre de smartphone créée par la société taïwanaise Openmoko qui est à l'origine de la plate-forme libre et de plusieurs appareils mobiles électroniques l'utilisant.

II.5-Validation du choix: smartphone, architecture et topologie

II.5.1- Conception de la plateforme d'évaluation basée sur le modèle m-health

Suite à notre modèle proposé et afin de le valider, nous allons réaliser un cas d'utilisateur réel suivi d'un ensemble de tests et d'évaluations. Pour le faire, nous avons conçu un système m-health qui contient trois composants (Niveaux 1, 2 & 3):

Typiquement, le réseau WBAN formera le plus bas niveau (Niveau 1) d'un système m-health, dans quelques cas ce niveau se trouve à l'intérieur du niveau 2. La (fig. 2. 14) illustre l'architecture générale d'un système complet m-health et de suivi médical. Il comprend un serveur personnel (smartphone) au niveau 2 et une série de serveurs médicaux dans le niveau 3.

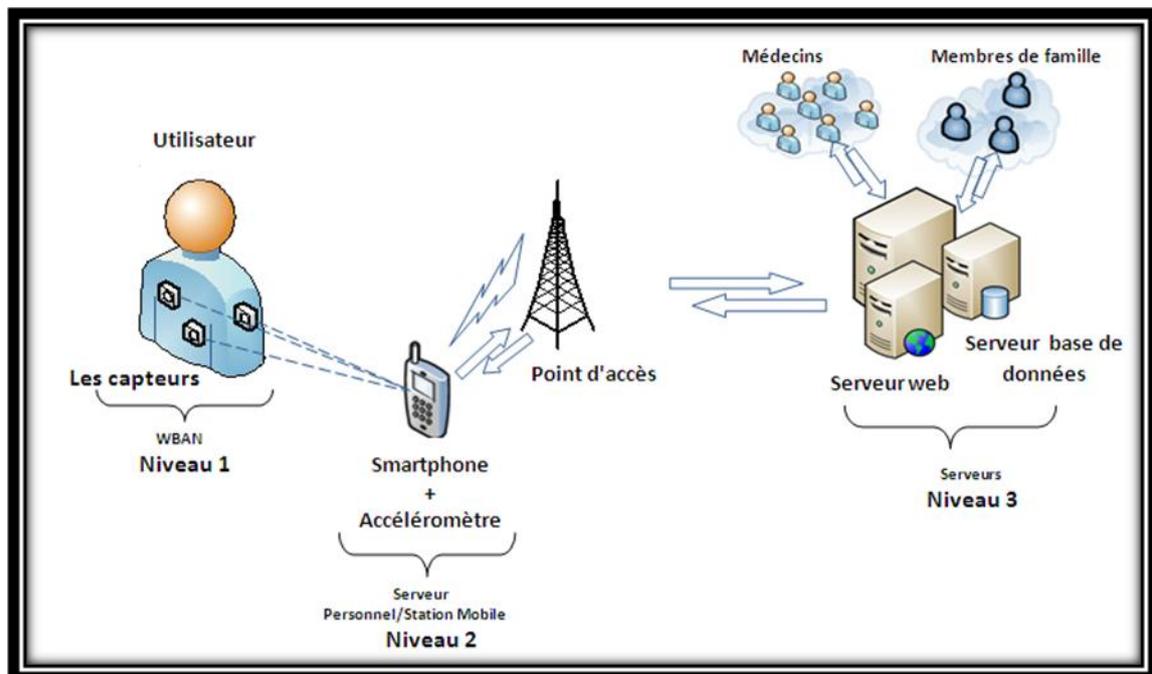


Figure 2.14: Architecture du système m-health

L'architecture du système exacte et le nombre de niveaux du système dépendent principalement des applications, des infrastructures disponibles et du type et du nombre d'utilisateurs. Le WBAN peut inclure un capteur cardiaque, des détecteurs de mouvement ... Par exemple un système similaire peut être utilisé pour la surveillance des patients cardiaques au cours d'une période de réadaptation à la maison.

Le capteur cardiaque peut fonctionner dans plusieurs modes, soit un signal brut ECG (à partir de un ou plusieurs canaux) et soit les battements cardiaques horodatés, ou la fréquence cardiaque moyenne sur une certaine période de temps. Les détecteurs de mouvement, chacun équipé d'un accéléromètre 3D, peuvent également fonctionner

dans plusieurs modes: l'accélération sur x, y et z, détection de mouvement et d'activité ...

Les nœuds ou les capteurs WBAN sont attachés à un serveur personnel ou un coordinateur qui présente le rôle d'une station mobile dans notre modèle. Il est considéré comme un smartphone dans le cas réel. Après la configuration, le WBAN effectue continuellement de la détection, de l'échantillonnage et du traitement du signal. Les capteurs attendent des messages de commande et de contrôle du coordonnateur (smartphone) et signalent les lectures du capteur continues ou des événements d'intérêt.

Le niveau 2 englobe le serveur personnel ou la station mobile, qui est responsable d'un certain nombre de tâches; fournissant une interface transparente pour les nœuds de capteurs sans fil, une interface pour l'utilisateur et une interface au serveur médicale (niveau 3). L'interface côté WBAN comprend la configuration et la gestion du réseau. La configuration du réseau englobe les tâches suivantes: enregistrement de noeuds (type et nombre de capteurs), l'initialisation (par exemple, en spécifiant la fréquence d'échantillonnage et le mode de fonctionnement), personnalisation (par exemple, la procédure de traitement de signal spécifique) et l'installation d'un échange d'une clé de sécurité d'une communication sécurisé.

Une fois le réseau WBAN est configuré, le serveur personnel, ou le smartphone dans notre cas, gère le réseau et prend en charge le partage de canaux, le temps, la synchronisation, la récupération, le traitement et la fusion des données. Le serveur personnel peut contenir des capteurs, tels que l'accéléromètre pour déterminer la mobilité, le système de positionnement global (GPS) pour la localisation et d'autres types de capteurs.

Le niveau 3 comprend des serveurs médicaux accessibles via l'Internet ou Intranet. En plus du serveur médical, ce niveau peut englober d'autres serveurs, tels que les serveurs de localisation, les prestataires de santé, et même des services d'urgence. Le serveur médical conserve des dossiers médicaux électroniques des utilisateurs inscrits et offre divers services aux usagers. Comme fonction, il analyse les modèles de données et il peut reconnaître les anomalies graves par des algorithmes intelligents afin de communiquer avec les soignants en cas d'urgence.

II.5.2- L'implémentation de la plate-forme m-health

La sélection d'une plate-forme de développement logiciel appropriée est sans doute le facteur le plus important dans tout système. Le choix de la plate-forme de programmation peut déterminer le coût de développement en termes d'heures-personnes ainsi que les performances du système. Par conséquent, dans cette section, nous évaluons d'abord les choix disponibles pour le développement des systèmes m-health sur un smartphone en fonction de l'efficacité énergétique et le temps de réponse. Nous avons implémenté un système complet du m-health basé sur l'architecture décrite précédemment. Le capteur utilisé dans le niveau 1 est le capteur

commercial Nonin 4100 Bluetooth pulse oximeter. Il mesure le niveau de saturation du sang en oxygène (SpO₂) ainsi que la fréquence cardiaque (HR) [69].

Dans le niveau 2 et qui est le plus important, pour valider le choix du smartphone, il est nécessaire de tester notre application m-health sur plusieurs plates-formes et systèmes d'exploitation et avec plusieurs langages de développement. Nous avons choisi trois meilleurs téléphones de trois meilleurs systèmes d'exploitation avec des ressources mémoire et processeur presque identique: le Nokia 700 de Symbian S60, le Galaxy S d'Android OS et l'iPhone 4 d'IOS.

Les langages les plus utilisés pour la programmation sur Symbian sont: Symbian C++, Java 2 Micro Edition (J2ME), et Python (PyS60). Pour Android nous avons utilisé le Java et le python (SL4A) et pour l'IOS nous avons travaillé avec le C-Objective.

Pour montrer l'efficacité énergétique et tester le temps de réponse de chaque smartphone et avec chaque langage, nous avons choisi trois fonctions qui ont un intérêt particulier pour un système ou une application m-health. La première fonction c'est l'envoi de SPO₂ et HR de WBAN (Nonin 4100) par HTTP POST vers un serveur distant, les deuxième et troisième fonctions sont respectivement l'Advanced Encryption Standard (AES) de cryptage et le GNU zip (Gzip) pour la compression des données.

Le chiffrement AES est couramment utilisé pour transmettre les données à partir du smartphone au serveur pour la protection des données. Gzip est également une autre fonction couramment utilisée pour compresser les données avant de les transmettre au serveur afin de réduire le coût de transmission. Toutes les fonctions sont utilisées dans des conditions limitées: une connexion GPRS de 55 Kbps.

Les (fig. 2.15), (fig.2.16), et (fig.2.17) montre la moyenne du temps d'exécution des trois fonctions HTTP, AES et Gzip, en utilisant les trois plates-formes avec plusieurs langages de programmation. A cet effet, nous avons développé un utilitaire qui calcule le temps de réponse et nous avons répété l'opération 30 fois.

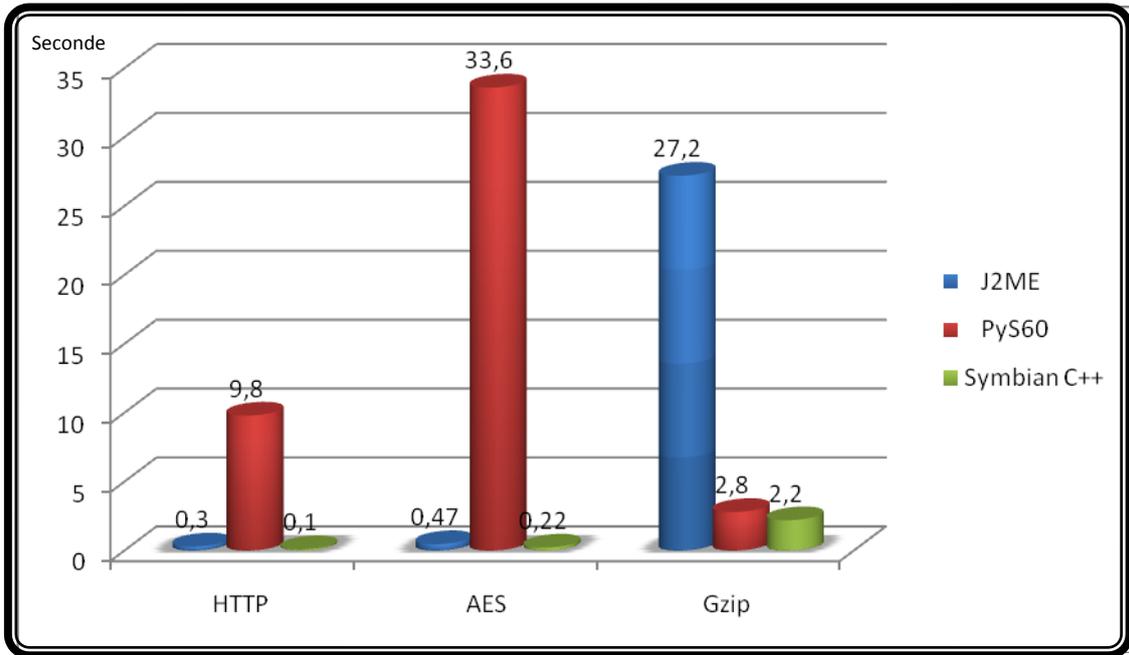


Figure 2.15: Temps d'exécution sur Nokia 700 sous Symbian S60

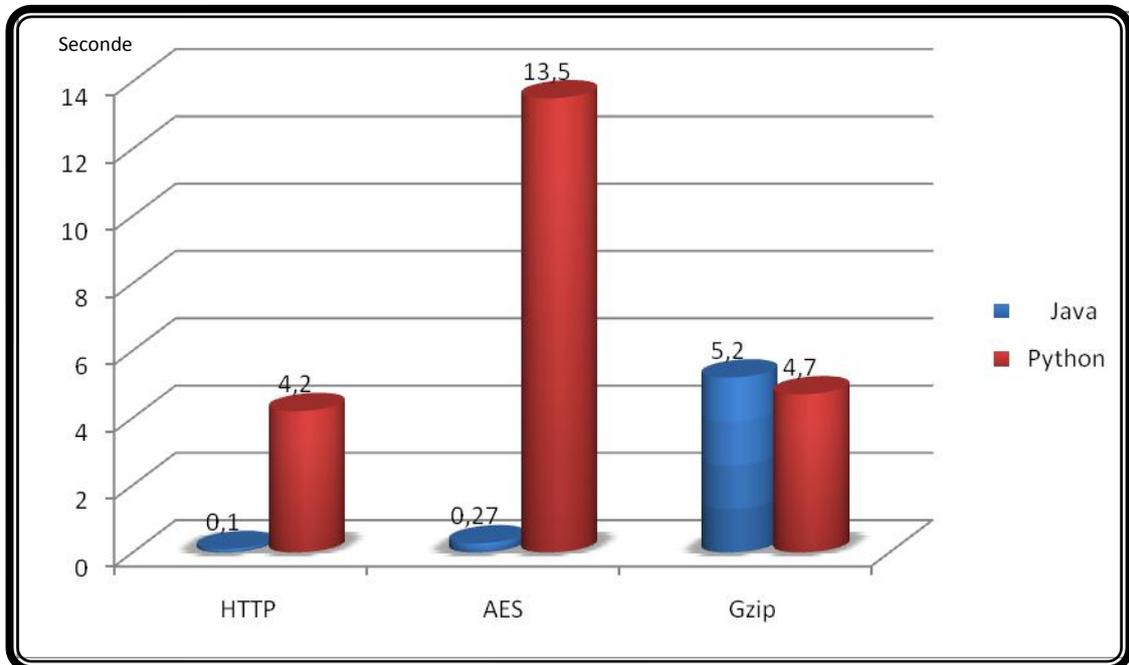


Figure 2.16: Temps d'exécution sur Galaxy S sous Android

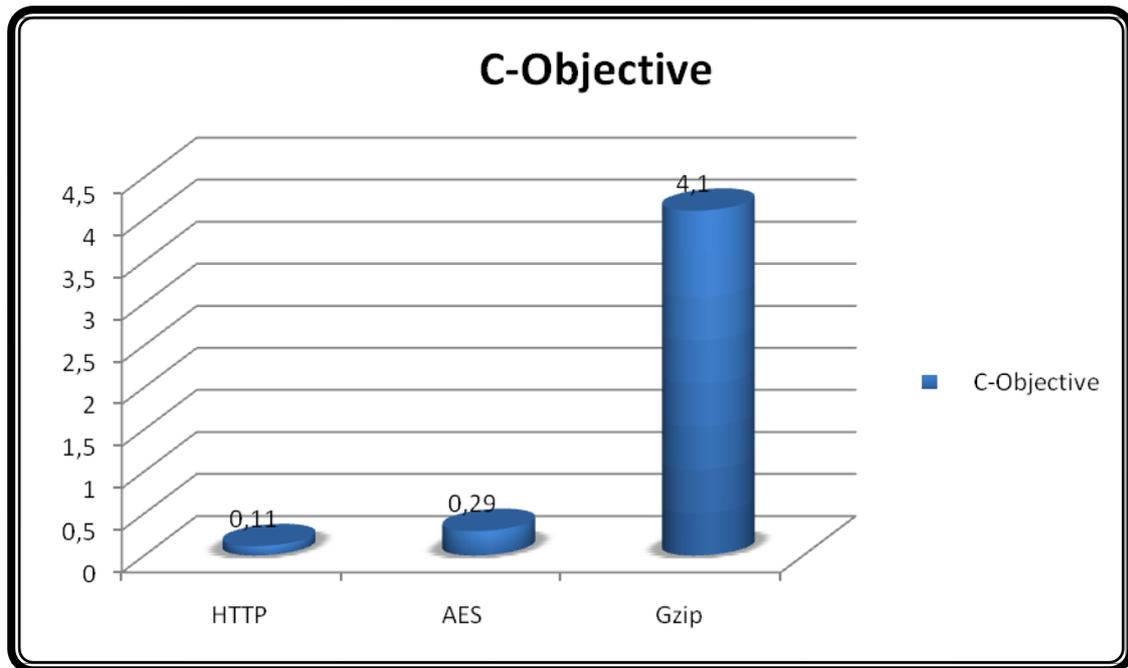


Figure 2.17: Temps d'exécution sur Iphone 4 sous IOS

Les trois dernières figures montrent que le Nokia 700 exécute les trois fonctions de notre application m-health plus rapidement que le Galaxy S et le Iphone 4 dans le cas d'utilisation de Symbian C++ comme un langage de programmation. Le Symbian C++ possède un inconvénient sur le volume du code source et présente également la difficulté de le personnaliser. Malgré le temps de réponse important du PyS60 et le Python pour Android, il a un grand avantage sur l'utilisation des bibliothèques programmées en langage natif (le cas de Gzip).

Avec L'iphone 4, nous avons eu de bons résultats comparables à ceux de l'Android, mais ça reste un système cher et fermé par des API payantes.

Le *tableau 2.2* montre la consommation d'énergie en joule. Dans cette expérience nous avons utilisé l'outil Nokia Energy Profiler pour Symbian et le Battery Monitor pour Android et IOS, afin d'évaluer la consommation d'énergie. Nous avons testé notre application m-health pour chacune des trois fonctions HTTP, AES et Gzip.

Model/plate-forme	HTTP			AES			Gzip		
	C++	Java	Python	C++	Java	Python	C++	Java	Python
Nokia 700	0,09	0,25	65	0,1	0,31	80,53	0,30	15,4	1,1
Galaxy S	ND	0,12	61,17	ND	0,26	75,34	ND	13,2	14,5
Iphone 4S	0,04	ND	ND	0,22	ND	ND	0,33	ND	ND

Tableau 2.2: Le rapport entre la consommation d'énergie et la plateforme utilisée dans une application m-health

Les résultats indiquent que le Nokia 700 et le Iphone 4S ont moins de consommation d'énergie que le Galaxy S, cela est sans doute dû aux méthodes et les langages de programmation utilisés. C'est pour cette raison que nous avons effectué la même expérience en utilisant Java et Python. Dans le premier cas, les résultats ont été meilleurs avec le Galaxy S basé sur Android. Pour le Python, son point fort se situe au niveau des modules qui sont programmés dans le langage natif, dans ce cas, les résultats sont comparables à ceux des autres langages.

II.6 - Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté un model m-health basé sur une architecture multi-niveaux et une topologie en étoile redondée. Nous avons proposé l'intégration du smartphone comme un nœud central au niveau 2 dans notre model, pour collecter, traiter et transmettre les données vers le niveau 3. Afin de valider notre architecture et notre choix, nous avons implémenté un prototype m-health. Nous avons montré par la suite que le Symbian OS et l'Andoid OS sont les meilleures plates-formes de développement des applications m-health dans des conditions limitées.

Référence:

- [32] Z. Tang and W. Dargie. "A Mobility-Aware Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks", the fifth IEEE international workshop on Heterogeneous, Multi-Hop, Wireless and Mobile Networks, Miami, Florida, 6 December, 2010.
- [33] Y. Zatout, R. Kacimi, J. Llibre, E. Campo, "Mobility-aware Protocol for Wireless Sensor Networks in Health-care Monitoring", Fifth International Workshop on Personalized Networks (Pernets 2011), Las Vegas, Nevada, USA, January 2011.
- [34] R. Steele, A. Lo, C. Secombe, Y.K. Wong, "Elderly persons' perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare", International Journal of Medical Informatics, 2009.
- [35] V. Ikonen, E. Kaasinen, "Ethical assessment in the design of ambient assisted living", Assisted Living Systems – Models, Architectures and Engineering Approaches, 2008.
- [36] H.S. Ng, M.L. Sim, C.M. Tan, "Security issues of wireless sensor networks in healthcare applications", BT Technology Journal, 2006.
- [37] O.G. Morchon, T. Falck, T. Heer, K. Wehrle, "Security for pervasive medical sensor networks", 6th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MobiQuitous), 2009.
- [38] S. Bao, Y. Zhang, L. Shen, "Physiological signal based entity authentication for body area sensor networks and mobile healthcare systems", 27th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2005.
- [39] D. Surie, O. Laguionie, T. Pederson, "Wireless sensor networking of everyday objects in a smart home environment", ISSNIP, Sydney, December 2008.
- [40] H. Alemdar and C. Ersoy, "Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey", Computer Networks, Volume 54, Issue 15, October 2010.
- [41] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K. Chowdhury, "A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks", Computer Networks Journal (Elsevier), March 2007.
- [42] Purushottam Kulkarni, Deepak Ganesan and Prashant Shenoy, "The case for multi-tier camera sensor networks", International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video, Stevenson, Washington, USA, 2005.
- [43] P. Kulkarni, D. Ganesan, P.J. Shenoy and Q. Lu, "A multi-tier camera sensor network", ACM Multimedia, 2005.
- [44] C. E. R. Lopes, L. B. Ruiz, M. M. Santos, and F. D. Linhares, "A multitier, multimodal wireless sensor network for environmental monitoring", 4th International Conference Ubiquitous Intelligence and Computing, Hong Kong, China, 2007.
- [45] I.F Akyildiz, T. Melodia and K.R. Chowdury, "Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds", Proceedings of the IEEE (invited paper), vol. 96, no. 10, October 2008.
- [46] "Reconnaissance de Signaux de Détresse dans l'Habitat Intelligent Santé". [Online]. Available: http://www-clips.imag.fr/geod/projets/HIS/RESIDE-HIS_7-11-02.pdf
- [47] Crossbow Technology Inc. [Online]. Available : <http://www.xbow.com>
- [48] TinyOs Operating System. [Online]. Available. <http://www.tinyos.net/>
- [49] D. Konstantas, V.Jones, R. Bults and R.Herzog, "MobiHealth: innovative 2.5 /3G mobile services and applications for healthcare" 11th IST Mobile and Wireless

Telecommunications Summit, June 2011.

[50] M-R. Yuce, P-g. Choong Ng, C-K. Lee, J-Y. Khan, and W. Liu, "A Wireless Medical Monitoring Over a Heterogeneous Sensor Network", IEEE EMBS, Lyon, France. August 23-26, 2007.

[51] FCC Rules and Regulations, "MICS Band Plan", Table of Frequency Allocations, Part 95, Jan.2003.

[52] M. Demirbas, K.Y. Chow, C.S. Wan, "INSIGHT: Internet-sensor integration for habitat monitoring", International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'06). 2006.

[53] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. "Versatile low power media access for wireless sensor networks", In Proceedings of the 2nd international conference on embedded networked Sensor Systems (SenSys'04), New York, 2004.

[54] A. Mainwaring , D. Culler , J. Polastre , R. Szewczyk , J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring", Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, Atlanta, Georgia, USA, 2002.

[55] Emil Jovanov, Aleksandar Milenkovic, Chris Otto and Piet C de Groen, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation", Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, from <http://bmc.ub.uni-potsdam.de/1743-0003-2-6/1743-0003-2-6.pdf>

[56] B. Gyselinckx, C.V. Hoof, J. Ryckaert, R.F. Yazicioglu, P. Fiorini, and V. Leonov; "Human++: autonomous wireless sensors for body area networks", Custom Integrated Circuits Conference, 2005, Proceedings of the IEEE 2005, 18-21 Sept, 2005.

[57] T. He, S. Krishnamurthy, J. Stankovic, T. Abdelzaher, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, J. Hui, and B. Krogh, "Energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks", 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys04), Boston, June 2004.

[58] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao. "Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology", In Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, April, 2001.

[59] C.C.Y. Poon, Y-T Zhang, S-D Bao, "A Novel Biometrics Method to Secure Wireless Body Area Sensor Networks for Telemedicine and M-Health", IEEE Communication Magazine, vol.44, April, 2006.

[60] Kevin VUILLARD, "Géolocalisation et Smartphones dans le domaine culturel et patrimonial", 2011.

[61] <http://www.mobilemarketer.com/cms/sectors/healthcare/8133.html>, 2011.

[62] <http://fr.wikipedia.org/> et <http://en.wikipedia.org/>.

[63] <http://www.bestofmicro.com/>.

[64] Rachid MERZOUGUI, Conception et développement d'applications et services dédiés à la santé sur des terminaux mobiles, Juillet 2011.

[65] Adrian A, I. Issott, "Common Design Patterns for Symbian OS: The Foundations of Smartphone Software", Symbian Press, 2008.

[66] <http://www.android.com>, Architecture et composants d'Android, 2012.

[67] <http://www.searchevolution.com/>.

[68] <http://meego.com/about>.

[69] Nonin Medical, <http://www.nonin.com/>, 2011.

[70] <http://www.gartner.com/>.

Chapitre III

Choix des méthodes de localisation pour une application m-health avec des conditions limitées

Sommaire

III.1 -Introduction au service de localisation médicale

III.2 -Les méthodes de localisation

III.3 –L'amélioration des moyens de localisation dans un service médicale mobile

III.4 - Proposition d'une solution de localisation pour un système m-health

III.5 - La conception et l'implémentation d'un algorithme de localisation Cell-ID pour une application m-health

III.6 -Conclusion de ce chapitre

Dans ce chapitre nous allons définir les différentes méthodes et technologies de localisation et leurs principes de fonctionnement. Nos contributions dans ce chapitre se résument dans la proposition des algorithmes d'optimisations et d'adaptation d'un service de localisation dans un contexte médical m-health.

III.1-Introduction au service de localisation médicale

De nos jours la notion de localisation médicale devient de plus en plus un sujet de recherche très actif. Les chercheurs et les développeurs cherchent à mieux l'explorer vu ses nombreux impacts sur l'amélioration de la qualité de vie des patients et des personnes âgées mobiles et à santé critique.

Les travaux de recherche concernent la conception et l'implémentation d'algorithmes efficaces pour la localisation des patients, adaptés aux applications et aux systèmes m-health.

III.2- Les méthodes de localisation

Un système de localisation doit avoir les propriétés suivantes:

- une technique d'estimation de position.
- un repère permettant d'obtenir des positions et qui les organise de façon cohérente.

Pour estimer la position d'un objet mobile, il faut des points de référence ou des ancres dont la position est connue.

Considérons un objet A qu'on veut estimer sa position. L'estimation dépendra du nombre et du type de position de points de référence qu'il pourra trouver.

Dans le premier cas de la (*fig.3.1*), un seul point de référence est disponible. A aura une position de type symbolique. La position de A est une position de proximité car seule une indication d'appartenance à une zone donnée peut être obtenue dans un tel contexte.

Si A utilise deux points de références (deuxième cas) alors son positionnement est plus précis qu'avec un seul nœud: il possède plus d'informations pour estimer sa position. Dans le cas où les nœuds de référence ont une très bonne précision de localisation, alors A est l'un des points d'intersection des deux cercles (cercle de couverture radio par exemple). Dans le cas contraire, A appartient à la zone de recouvrement des deux points de référence (zone commune aux deux points de référence).

La position de A est d'autant mieux estimée que le nombre de référence augmente. Dans le troisième cas de la (*fig.3.1*), la position de A est soit un point (point d'intersection des trois cercles), soit une aire de recouvrement limitée [71].

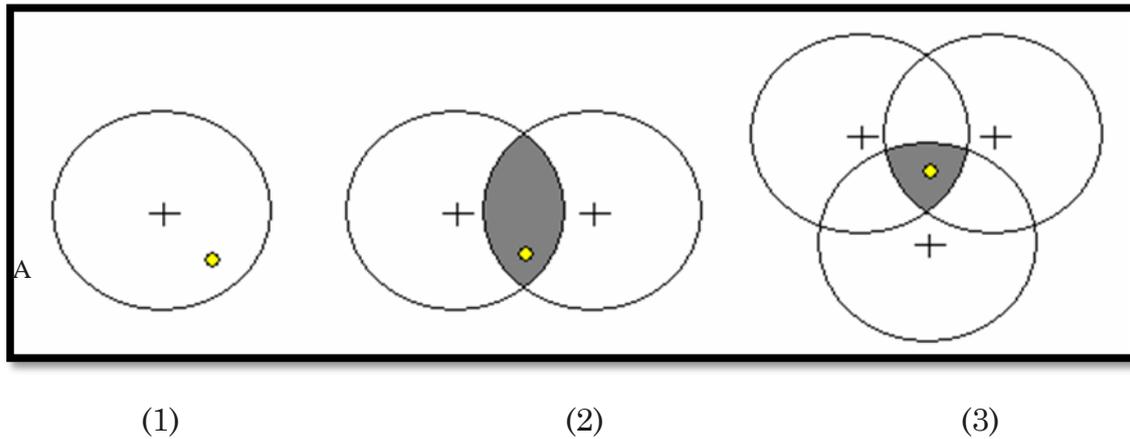


Figure 3.1: Position en fonction du nombre et du type de nœuds de référence

III.2.1-Les Techniques géométriques d'estimation de position

Considérons un objet A désirant estimer sa position et 3 points de références N1, N2 et N3 avec des positions connues.

Pour estimer la position de A il est nécessaire de connaître:

- Les points de référence (N1, N2 et N3).
- des méthodes géométriques pour extraire ces informations.

Deux grandes classes de méthodes géométriques sont disponibles:

La trilatération (latération avec trois nœuds de référence): la position estimée de A est calculée en fonction des positions des nœuds de référence et de leur distance au nœud A (*fig. 3.2*).

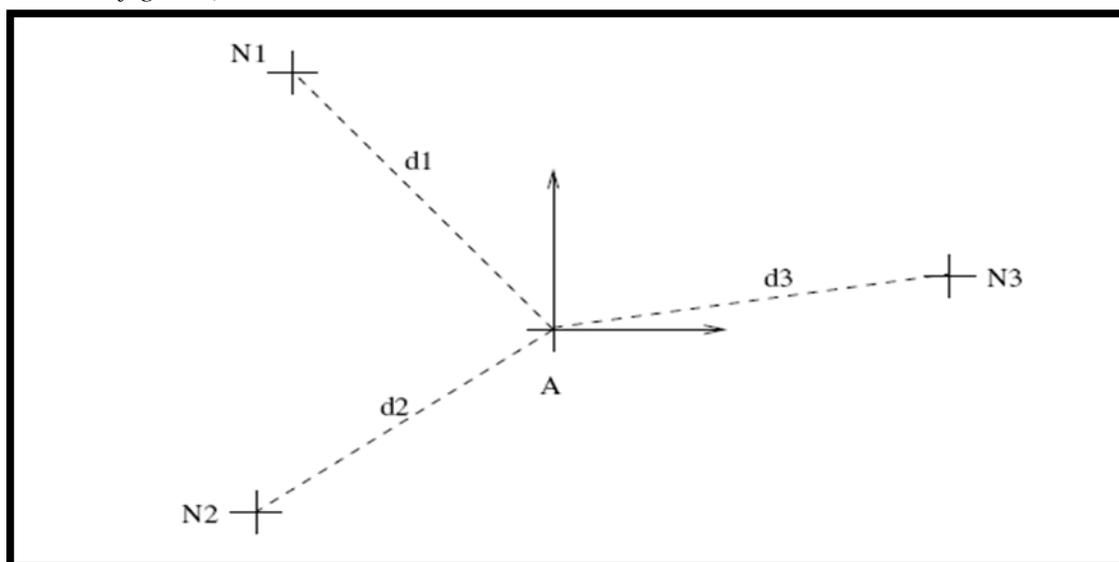


Figure 3.2: Estimation de position par trilatération

La triangulation (Angulation avec trois nœuds de référence): A estime sa position en fonction des positions des nœuds de référence et de l'angle d'arrivée du signal provenant des nœuds de référence (*fig. 3.3*).

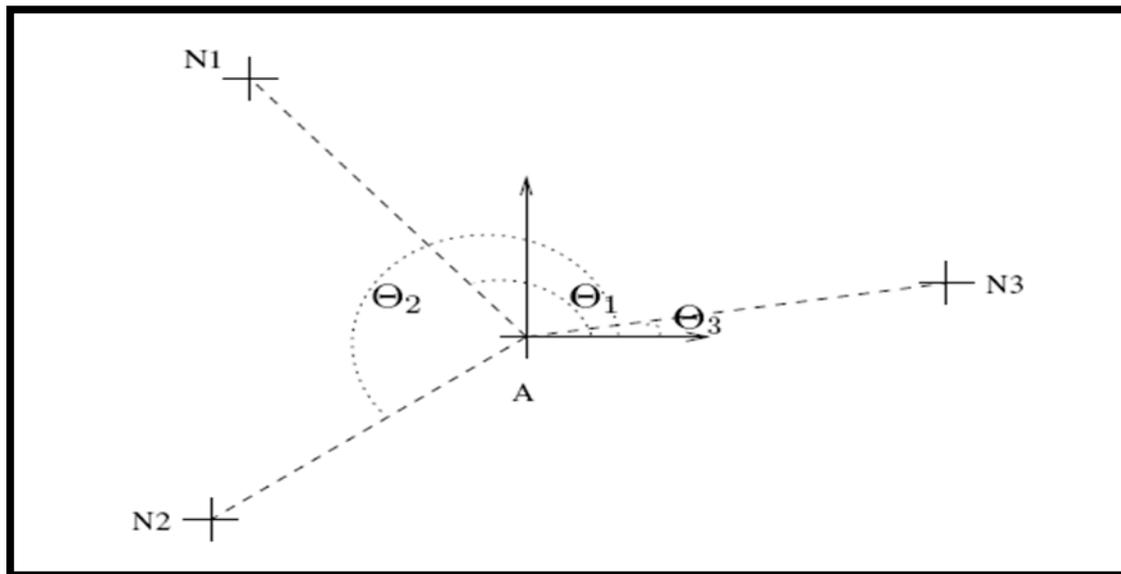


Figure 3.3: Estimation de position par triangulation

Nous présentons dans les prochains paragraphes les différentes méthodes d'estimation de la position pouvant être utilisées dans un service médicale mobile m-health par des techniques de trilatération et triangulation.

III.2.2-Le Timing

La distance entre les nœuds peut être évaluée à partir du temps de propagation d'un signal ou d'un paquet. Deux approches principales peuvent être définies pour ces méthodes: l'heure d'arrivée (TOA) et la différence de temps d'arrivée (TDOA).

-TOA: cette approche est basée sur l'estimation de la distance entre les nœuds à partir de l'heure d'arrivée d'un signal ou d'un paquet transmis.

-TDOA: elle consiste à évaluer la différence des temps d'arrivée de deux signaux différents. Ces signaux peuvent provenir de deux nœuds de référence distincts ou peuvent être de natures différentes [72].

III.2.3-La Direction - Angle d'Arrivée (AoA)

Cette méthode de localisation consiste à déterminer l'angle d'arrivée (AoA) de tous les signaux reçus de chaque nœud du voisinage. La position peut être alors estimée par triangulation.

III.2.4-La Puissance du signal

Une autre manière d'estimer une position est de baser le calcul sur la caractéristique physique du canal radio, c'est-à-dire sur l'indicateur de puissance du signal reçu RSSI (Received Signal Strength Indication). L'atténuation du signal est d'autant plus

importante (le RSSI diminue) que la distance entre deux nœuds augmente. Ainsi en connaissant la puissance d'émission, il est possible d'estimer la distance entre deux nœuds [73].

III.3-Les moyens de localisation utilisés dans les services mobiles

Dans cette partie nous allons citer les grands systèmes de localisation afin de faire un choix optimal pour un service m-health. Cette étude n'est pas exhaustive mais a pour but de souligner les avantages et les inconvénients des systèmes les plus utilisés que nous allons décrire.

Les techniques de localisation peuvent être classées en deux grandes familles avec de nombreuses variantes ou combinaisons: systèmes de localisations satellitaires et systèmes basés sur les réseaux terrestres. [71,74]

III.3.1-Les Systèmes de localisation par satellites

III.3.1.1- Modes de localisation

Les systèmes de localisation par satellite peuvent être classés en deux groupes:

- **Soit les éléments à localiser sont équipés de systèmes passifs** (récepteur GPS par exemple) recevant des informations issues de **satellites émetteurs** et les traitants pour calculer une position.

-**Soit les éléments à localiser sont équipés d'éléments actifs** (balises ARGOS par exemple) envoyant des messages à des **satellites récepteurs** qui traitent les données reçues et transmettent les informations vers des stations au sol.

III.3.1.2- la localisation à partir de plusieurs satellites

GPS, GLONASS ou GALILEO ont le même principe de localisation. Les satellites en orbite émettent des signaux radio en direction de la Terre (*fig. 3.4*). Ces signaux sont fiables et d'une grande précision. Pour estimer la localisation médicale pour le service m-health, une personne doit posséder un équipement permettant la reconnaissance des signaux. La localisation dans ce cas est estimée par trilatération.

La méthode utilisée pour estimer la distance entre un satellite et un utilisateur est le temps d'arrivée du signal. Il faut au minimum trois satellites visibles pour qu'une position (longitude et latitude) soit déterminée et un quatrième est nécessaire pour déterminer l'altitude. La précision varie de quelques centimètres pour une utilisation militaire à quelques dizaines de mètres dans le cas d'une utilisation civile.

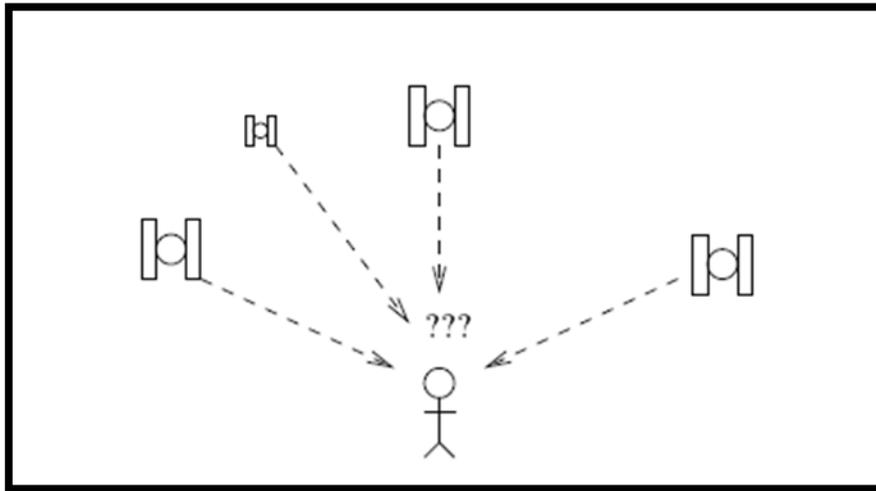


Figure 3.4 : Localisation par satellites

Une amélioration de la précision de localisation issue d'un système de navigation par satellites peut être effectuée par l'utilisation des antennes terrestres pour évaluer au mieux la distance, on appelle cette méthode différentielle GPS (DGPS).

Le principal avantage de ce type de localisation (GPS et DGPS) est la grande précision des positions obtenues. C'est le meilleur moyen de localisation médicale d'extérieur à très grande échelle disponible de nos jours dans les services de télémédecines mobiles. Toutefois, un positionnement par satellite possède quelques faiblesses et inconvénients que nous allons améliorer au maximum dans ce chapitre selon l'application m-health:

Faiblesses et inconvénients :

- La consommation d'énergie importante est considérée comme le problème majeur de cette technologie. Par conséquent, la conservation d'énergie est la contrainte la plus importante pour une application m-health dans des conditions limitées. Notre première contribution, exposée dans ce chapitre, lutte contre ce problème par une proposition d'une nouvelle conception de conservation d'énergie.
- La visibilité des satellites n'est pas toujours possible par exemple lorsque l'utilisateur est à l'intérieur des bâtiments (parkings, garages, tunnels...), voire même au pied de bâtiments élevés.
- Lorsque le système est en veille (à basse consommation), le temps de localisation médicale est assez long. Il peut atteindre de longues minutes.
- La topologie des satellites n'est pas tout le temps optimal (perte de précision de position).
- L'ionosphère et la troposphère perturbent les signaux radios.

Nous allons compenser les inconvénients des quatre derniers points par une proposition d'une technique hybride de CELL-ID améliorée (deuxième contribution dans ce chapitre).

III.3.2- Proposition d'un algorithme pour la conservation d'énergie dans la localisation GPS

III.3.2.1- L'application d'évaluation

Afin de tester notre algorithme, nous allons commencer par le développement d'une application m-health basée sur le modèle décrit dans le *chapitre 2*. Nous avons intégré la fonction GPS à la plate-forme utilisée pour le test dans le chapitre précédent, la conception est mentionnée dans [75].

Nous avons implémenté un prototype d'application m-health. Le capteur utilisé dans la partie WBAN de notre modèle est le Nonin 4100 Bluetooth. Il mesure le niveau de saturation du sang en oxygène (SpO2) ainsi que la fréquence cardiaque (HR). Nous avons considéré un smartphone Nokia N95 comme un nœud central du modèle m-health avec un système d'exploitation Symbian v 9.2 basé sur l'interface S60.

Le prototype est développé par Python qui est considéré comme est un langage de programmation de prototypage puissant, doté de structures de données de haut niveau et une approche simple mais efficace pour la programmation orientée objet. C'est un langage idéal pour les scripts et le développement rapide d'applications dans de nombreux domaines de recherche sur la plupart des plates-formes.

Afin de simuler une situation réelle d'application m-health, cette dernière développée par python regroupe les données du capteur Nonin (SpO2, HR) et des capteurs intégrés dans le smartphone tel que l'accéléromètre et le GPS. Ces données sont transmises vers un serveur de surveillance médicale en utilisant le protocole HTTP. L'application utilise les APIs système pour gérer les connexions BT (*fig.3.5*).

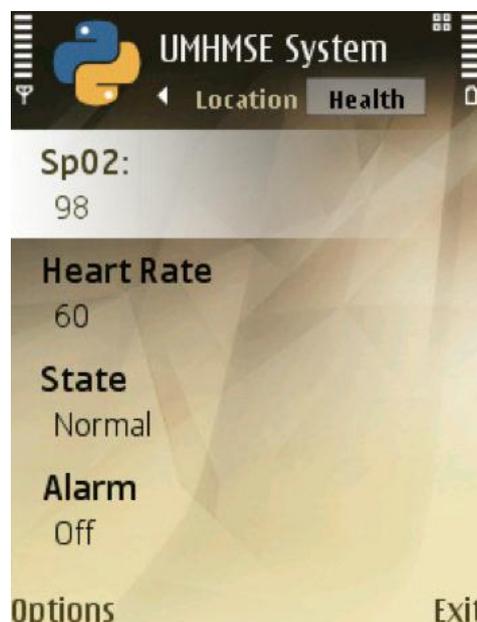


Figure 3.5: Capture d'écran de l'application m-health avec la fonction GPS intégrée

III.3.2.2- Evaluation de la consommation d'énergie du GPS par notre application m-health

Le GPS consomme une puissance plus élevée que d'autres capteurs intégrés. Pour cela, nous avons installé l'outil nommé Nokia Energy Profiler, qui est souvent utilisé par les chercheurs et les développeurs pour signaler les valeurs de consommation d'énergie. L'outil lui-même est assez léger avec une incertitude de traitement négligeable [76].

Après le lancement de notre application m-health, le GPS, les outils d'alerte et de traçages s'activent automatiquement. Nous avons enregistré la consommation d'énergie mentionnée sur la (fig. 3.6).

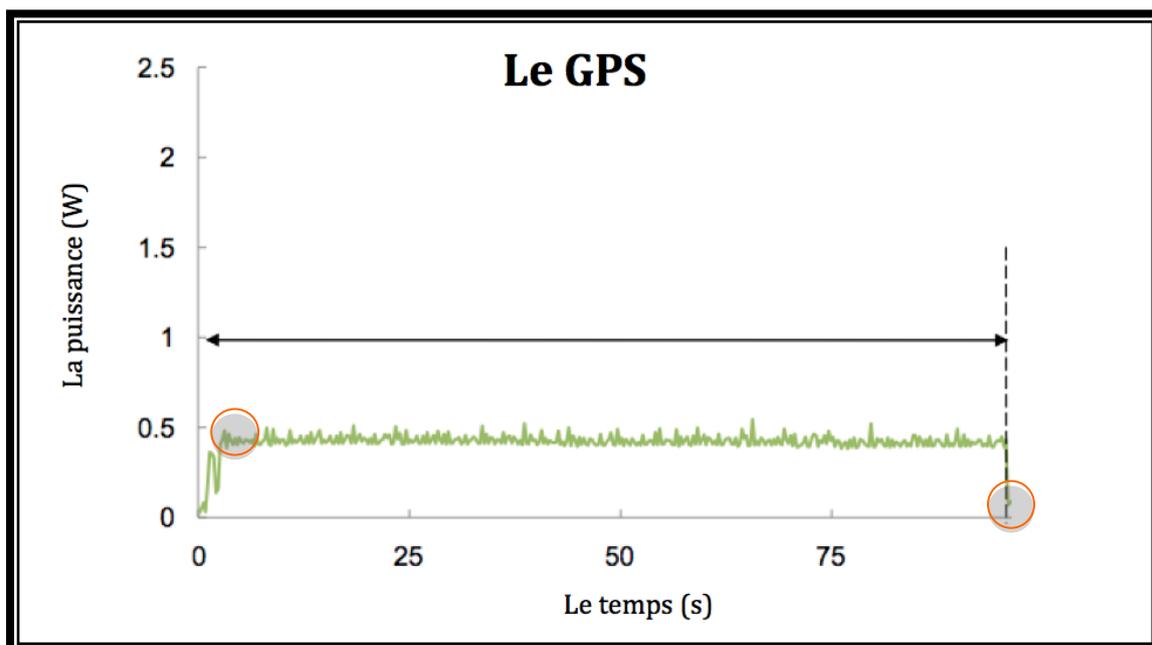


Figure3. 6 : Coût d'énergie de la méthode GPS dans une application m-health

Cette figure montre un échantillon de 100 secondes dans lesquelles le récepteur GPS analyse en permanence des informations reçues par les satellites. Cette approche consomme une énergie importante de 400 à 500 mW. Une fois synchronisée, la consommation d'énergie diminue entre 70 à 100 mW, elle est considérée toujours élevée par rapport à notre version d'application m-health sans GPS qui ne dépasse pas 28 mW. Nous avons effectué une autre expérience importante dans notre étude pour montrer la durée de vie d'une batterie d'un smartphone équipé de l'application d'évaluation m-health comprenant toutes les fonctions mentionnées dans le *paragraphe III.3.2.1* (GPS, Bluetooth, accéléromètre...). En utilisant le même outil de simulation et avec la fonction d'exportation au format CSV, nous avons eu les résultats exposés dans la (fig. 3.7).

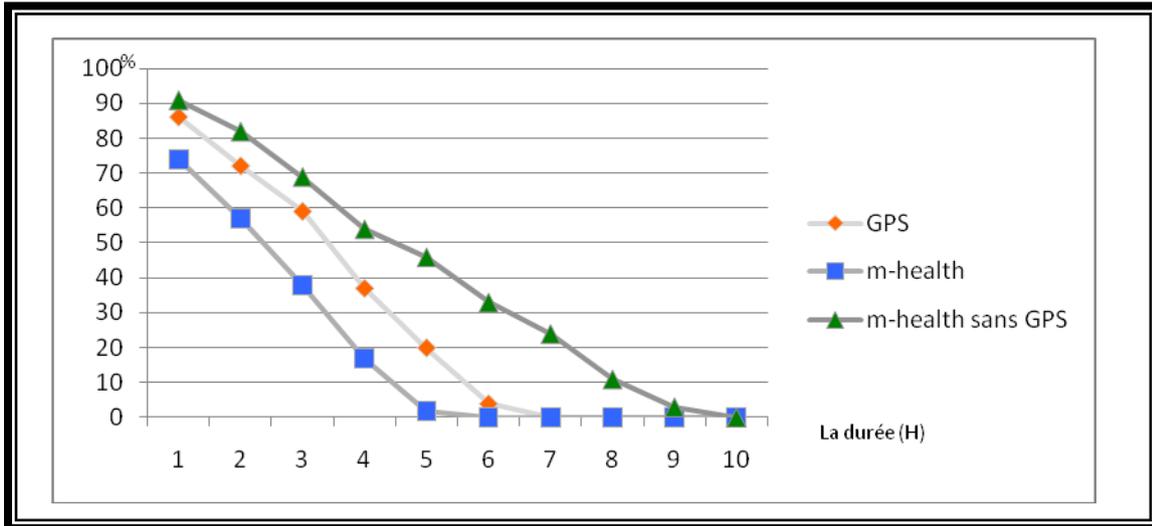


Figure 3.7: La moyenne de la durée d'une batterie d'un smartphone (m-health)

Notre but dans cette partie se résume dans la régularisation de la consommation d'énergie par le GPS dans une application ou un système m-health.

Nous constatons dans la figure précédente, que la consommation d'énergie par l'application m-health est relative à la consommation d'énergie du GPS, c'est pour cette raison que nous allons proposer un algorithme baptisé ETC (Energy Task Cycle).

III.3.2.3- Description de l'algorithme ETC

L'algorithme ETC est la technique clé pour réduire l'utilisation de la batterie par le GPS dans une application m-health en gardant la précision de localisation. La finalité de cet algorithme est de gérer toutes les entrées et sorties du smartphone, de manière à changer les états des capteurs intégrés, les réseaux sans fils, le CPU, l'affichage... et à partager les tâches entre eux.

Ce même algorithme peut servir à améliorer la performance et la consommation d'énergie d'une application m-health et c'est ce que nous allons voir dans le *chapitre 4*.

Le GPS consomme de l'énergie à cause de sa puissance de réception (synchronisation satellitaire), de son traitement local et du temps pris par cette opération sur le smartphone. Cependant, notre algorithme diminue le taux d'échantillonnage et de synchronisation afin de corriger le problème de consommation d'énergie tout en augmentant la performance du processeur et en économisant le temps de traitement.

La (*fig. 3.8*) montre le positionnement de notre algorithme dans un smartphone (m-health).

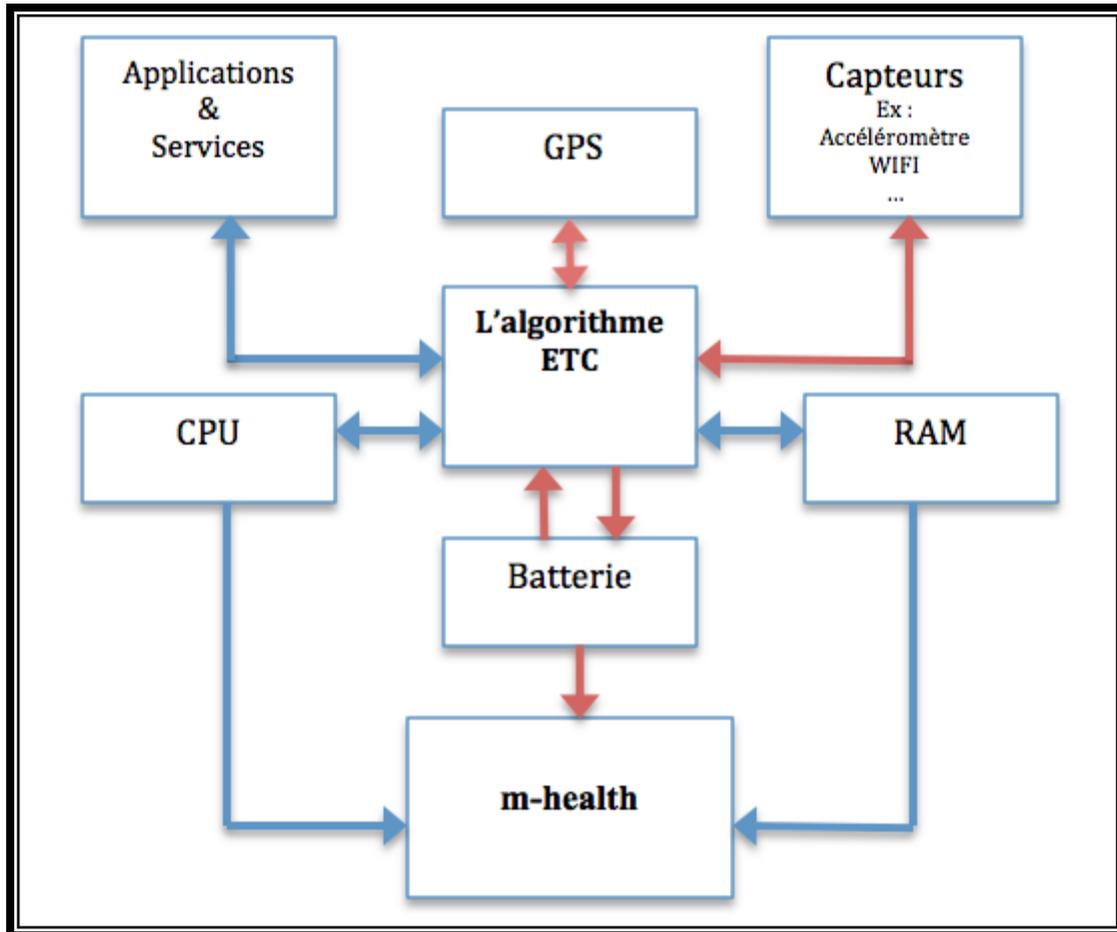


Figure 3.8 : Positionnement de notre algorithme dans un smartphone (m-health)

Ce diagramme illustre le fonctionnement de notre algorithme ETC. Les flèches en rouge montrent l'influence directe de l'algorithme sur le système tandis que celles en bleu indiquent l'influence indirecte.

Le premier rôle de l'algorithme consiste à optimiser le fonctionnement du GPS par la mise en veille dans des intervalles de temps d'une manière intelligente et selon le profil de l'utilisateur (patient ou personne âgée). Une fois l'état est en veille ou en pause, les coordonnées GPS s'enregistrent automatiquement. Le profil de l'utilisateur est défini à partir de quelques capteurs: dans notre expérience, nous avons utilisé les accélérations de l'accéléromètre intégrés et l'un des capteurs du réseau BAN pour définir le profil.

Le deuxième rôle de l'algorithme, une fois le GPS se trouve dans l'état actif, l'algorithme force les capteurs intégrés à s'éteindre et il force les processus inutilisables à libérer la mémoire selon le profil de l'utilisateur. Cette fonction permettant d'augmenter le temps de traitement local des signaux GPS, implique la conservation de l'énergie et la durée de batterie.

III.3.2.4- Validation de l'algorithme ETC

Pour valider notre algorithme, nous avons pris le cas le plus simple d'un profil d'utilisateur adapté à notre application d'évaluation m-health.

Dans ce cas, nous allons choisir un scénario simple où le profile d'utilisateur est composé de deux états; mobilité ou non mobilité (fixe). Pour le définir, nous avons utilisé le principe de l'accéléromètre qui consomme, avec un taux d'échantillonnage moyen x40, moins d'un GPS. Dans cette partie nous allons éviter d'utiliser les filtres, les calibreurs et les classificateurs intelligents qui détectent les activités d'une manière plus précise, par contre notre initiative montre la relativité entre le GPS, son fonctionnement et d'autres capteurs.

Un accéléromètre est un capteur permettant de mesurer l'accélération linéaire. On parle encore d'accéléromètre même s'il s'agit en fait de 3 accéléromètres qui calculent les 3 accélérations linéaires selon 3 axes orthogonaux x, y et z.

Dans la (fig. 3.9), nous montrerons la différence entre l'état mobile d'un smartphone et l'état fixe selon la lecture de l'accéléromètre. C'est une application que nous avons développée pour lire les données de l'accéléromètre.

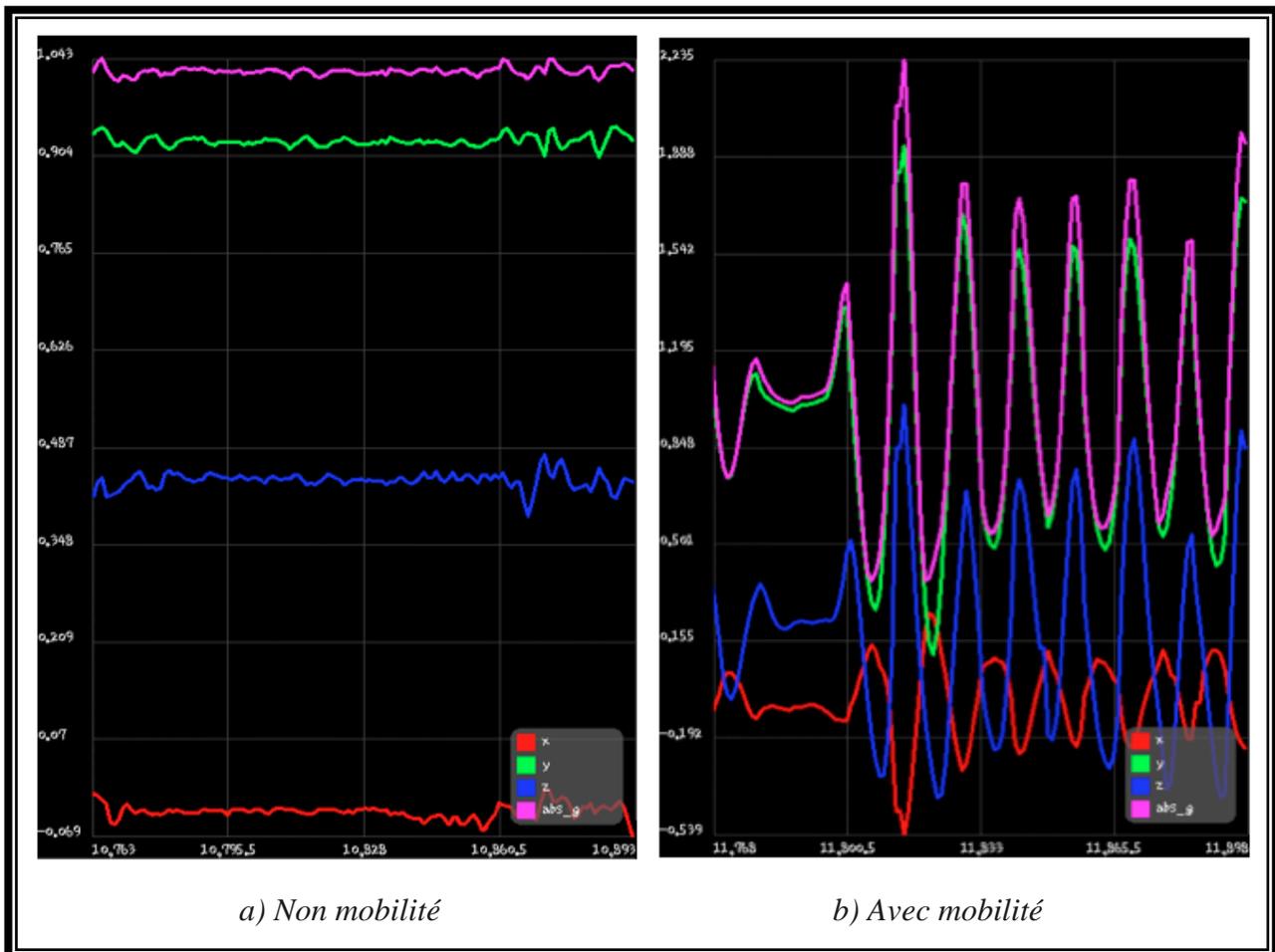


Figure 3.9 : La lecture de l'accélération à partir du smartphone

Nous constatons une différence d'amplitude bien distincte dans les deux cas. Ainsi, on peut détecter facilement l'état du profile et commander les activités du GPS en appliquant l'algorithme suivant basé sur le principe d'ETC.

```

Début
abs_g=sqrt (sqr(x)+sqr(y)+sqr(z)) ;
Si (abs_g>=2) {
    mobilité==vrai; // L'état du profile
GPS==vrai ; // Actif
Application_capteurs ==vrai ; // Gestion des applications et des capteurs
    Afficher les coordonnées ; // l'affichage ou l'envoi en cas d'urgence
    GPS_coordonnées_lecture ==vrai ;
GPS_coordonnées_enregistrement ==vrai ; // L'enregistrement des coordonnées GPS
}
Sinon
{
    Mobilité==faux; // Etat stable
    GPS==faux ; // Mode veille
    Application_capteurs ==vrai ; // gestion des applications et des capteurs .
    GPS_coordonnées_enregistrement ==faux ; // l'enregistrement des coordonnées GPS
    GPS_coordonnées_lecture ==vrai ; // Lire à partir de l'état précédente
}
Fin

```

III.3.2.4.1- Implémentation et test de l'algorithme ETC

Nous avons implémenté notre algorithme ETC par l'extension de notre application d'évaluation m-health décrite dans le *paragraphe III.3.2.1* en utilisant les API système de Symbian OS et la programmation multicouches (Symbian C++ et Python) [77]. Nous avons refait tous les tests mentionnés dans la (*fig. 3.7*), et nous avons obtenu les résultats suivants (*fig. 3.10*).

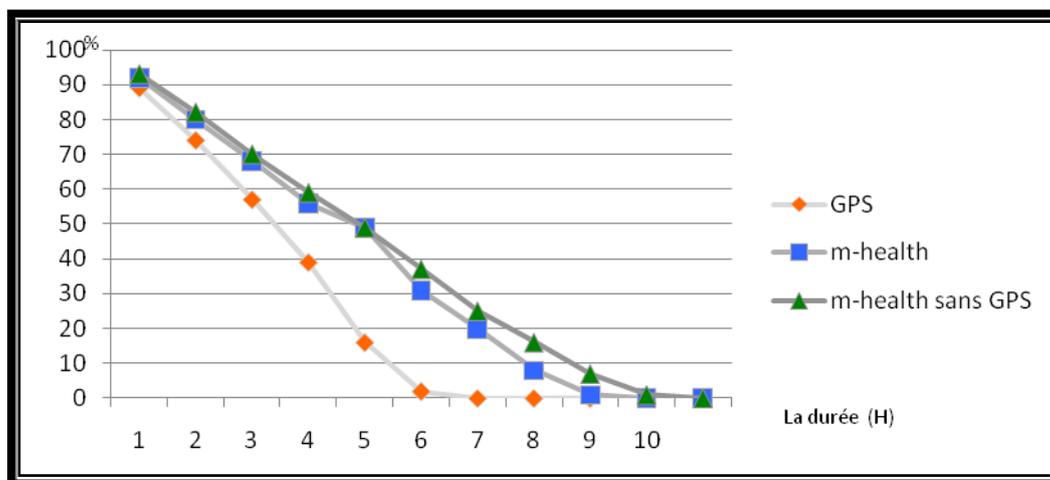


Figure 3.10 : La moyenne de la durée d'une batterie d'un smartphone (m-health) après l'implémentation de l'algorithme ETC

Notre algorithme montre une efficacité importante sur l'optimisation de la consommation d'énergie par le GPS. Une différence négligeable est observée entre le graphe GPS de la (fig. 3.10) et celui de la (fig. 3.7), parce que notre algorithme n'est implémenté que dans l'application m-health. Les meilleurs résultats sont montrés sur le graphe m-health qui confirme l'influence de notre algorithme sur la durée de batterie d'un smartphone, plus de 80% de l'utilisation de GPS a été optimisée et nous remarquons que le graphe est presque identique à celui sans GPS (avec une différence d'une heure). Dans le troisième cas où nous avons forcé la fermeture de GPS, le graphe m-health sans GPS a été un peu amélioré par rapport à celui de la (fig. 3.7), car l'algorithme a désactivé quelques fonctions et services qui travaillent en parallèle avec l'application m-health (l'influence indirecte).

Finalement, nous pouvons dire que les technologies de localisation par satellite fournissent, en général, une géolocalisation précise et fiable pour une application m-health mais elles possèdent aussi quelques inconvénients. Le plus grand inconvénient est la consommation d'énergie que nous venons de corriger par notre algorithme ETC. Nous allons voir par la suite un autre type de système de localisation utilisant les réseaux terrestres, qui peut être un complément pour le premier.

III.3.3-Les systèmes de localisation par réseaux terrestres

Cette seconde famille de système de localisation s'appuie sur les réseaux existants au sol. Elle peut compléter ou se substituer à la localisation par système satellitaire tel que le GPS lorsque cette dernière atteint ses limites.

Aujourd'hui, de nombreux réseaux cellulaires ou sans fil existent. Ces réseaux communiquent avec les équipements mobiles par radio à travers des stations de base. Un désavantage de ces systèmes est la portée limitée de chacune de ces stations terrestres. Pour les réseaux de télécommunications, le réseau est construit de manière à ce que les cellules, gérées par les stations de base, se juxtaposent les unes avec les autres en évitant autant que possible les recouvrements (optimisation des réseaux cellulaires) afin de couvrir un plus grand territoire avec le minimum de stations terrestres. Comme pour le système GPS, un certain nombre d'informations provenant de plusieurs stations terrestres est nécessaire pour assurer une bonne localisation. La portée de chacune des stations de base est limitée à une zone bien précise, plus ou moins grande suivant l'environnement, et la disponibilité de plusieurs stations de base pour une position n'est pas garantie surtout dans des situations de visibilité directe (très grand éloignement entre les stations de base). [78]

Actuellement, il y a plusieurs technologies de localisation qui utilisent les réseaux cellulaires.

Dans notre étude nous allons implémenter nos algorithmes dans le réseau GSM à cause de sa simplicité [79] et de son utilisation étendue à l'échelle mondiale. Nous allons considérer ce réseau comme un exemple d'infrastructure de localisation cellulaire utilisée dans un système m-health.

Avec les 3 opérateurs (Mobilis, Djezzy et Nedjma) en Algérie considérée comme un pays émergent caractérisé par des conditions limitées, le nombre d'abonnés des réseaux GSM avoisine les 37,5 millions de personnes; soit 97.6% de la population [80]. Le réseau GSM et ses composants de base seront exposés la partie annexe.

III.3.3.1- Les cas de localisation utilisés par une application m-health via le réseau cellulaire GSM

Les applications de localisation à l'aide du réseau GSM sont apparues au début des années 2000. C'est d'abord au Japon et aux États-Unis avec le E-911, que les besoins de localisation ont apparu [81]. Le même principe de location GSM et les algorithmes de positionnement peuvent être utilisés dans un autre réseau cellulaire comme l'UMTS (3G), la différence c'est juste dans l'implémentation et la disponibilité des API.

Dans une application m-health, on peut utiliser la localisation GSM par trois méthodes: la localisation par le réseau, par l'appareil et hybride.

-La localisation à base du réseau (Network-based):

Dans ce type de localisation l'appareil mobile est considéré passif. Le réseau fait toutes les mesures nécessaires et calcule la position de MS (station mobile). Celles-ci sont faites par le biais de la BSC (Base Station Controller), le MSC (Mobile Switching Center) ou d'un équipement comme le LMU (Location Measurement Unit), le MLC (Mobile Location Center) ou le SMLC (Serving Mobile Location Center). Les trois derniers équipements sont ajoutés au réseau pour des services de localisation. Dans un système m-health adapté aux conditions limitées, l'apport de cette solution sera négligeable parce qu'elle nécessite éventuellement des modifications coûteuses à faire par l'opérateur en ajoutant une vaste gamme de produits matériels. Plus précisément, ces modifications ou mises à jour sont à opérer au niveau de la BTS (Base Transceiver Station), de la BSC ou de la MSC [78].

-La localisation à base du mobile (handset-based)

Dans cette technique, la procédure de localisation est mise en œuvre au niveau du mobile. Elle nécessite l'installation du logiciel client sur le mobile (MS) pour déterminer sa position. Les données calculées sont alors envoyées par l'appareil à un serveur. Les logiciels qui doivent être installés dans le mobile pour faire les calculs ou extraire les informations nécessaires pour la localisation sont généralement manipulés sur des smartphones. Cette technique possède plusieurs avantages car elle est moins coûteuse et elle ne dépend pas de l'opérateur. Dans une application m-health, cette méthode sera facilement personnalisable.

-La localisation Hybride

Cette technique est utilisée pour donner une meilleure précision. Elle exploite les deux premières méthodes en même temps, mais en réalité, elle est principalement basée sur le réseau qui prend la plupart des fonctionnalités de positionnement, le mobile peut prendre des mesures de localisation primaires ou d'autres tâches pour

aider le réseau. Cette méthode a encore un grand inconvénient, car elle exige des changements à apporter au réseau et au MS.

III.3.2.4.1-Quelques techniques de localisation dans le réseau cellulaire GSM

Plusieurs techniques de localisation existent. On trouve des méthodes d'identification de la cellule dans laquelle se trouve le mobile (méthode de Cell ID: Cell Identification), puis des méthodes plus complexes basées sur des mesures temporelles¹ (estimation de la distance entre chacune des stations de base et le mobile) comme TOA (Time Of Arrival) ou TDOA (Time difference Of Arrival). Enfin, l'utilisation des directions d'arrivée avec la méthode AOA (Angle Of Arrival) conduit aussi à l'identification de la position occupée par le mobile. Chacune de ces méthodes est développée dans la suite de cette étude. Comme nous l'avons mentionné dans le précédent paragraphe, il est nécessaire d'ajouter des éléments de synchronisation dans le réseau afin d'employer certaines techniques de localisation. Dans le réseau GSM tel qu'il était prévu initialement, les stations de base ne sont pas synchronisées entre elles, or les méthodes de localisation temporelles nécessitent que les stations de base soient synchrones. Des éléments notés LMU (Location Measurement Unit) sont installés pour fournir une synchronisation entre les différentes stations de base. Dans certains environnements, par exemple rural, très peu de stations de base sont disponibles. Ceci rend très difficile une localisation très précise.

-La localisation à la cellule près ou "Cell ID"

Cette méthode dite "à la cellule près" est la plus simple et la moins onéreuse à mettre en place car elle est compatible avec tous les terminaux existants. Elle ne nécessite que l'émission d'un signal aller-retour de localisation avec l'utilisateur. Il suffit que le mobile soit en veille, et il n'est pas nécessaire qu'une conversation soit en cours. Plus la population est dense, plus les cellules du réseau GSM sont petites, donc meilleure est la précision de la localisation.

Chaque BTS a un code unique qui l'identifie la CGI (Cell Global Identifier), le téléphone mobile est localisé par l'identification de la cellule à laquelle appartient l'antenne à travers laquelle la communication est transmise (*fig.3.11*).

Le temps de calcul de la position est très court, de l'ordre de 2 à 5 secondes [82]. Il s'agit seulement du temps de recherche dans la base de données de la position à partir de l'identifiant de la cellule.

La précision varie de 150 à 300 mètres en zone urbaine où le réseau est dense contre quelques kilomètres en milieu rural [72, 82, 83], ce qui correspond à la plus grande taille de cellule. Cette information de localisation est importante pour une facturation par zone géographique, pour les urgences médicales, la sécurité, la géoinformation (information dépendant de la localisation géographiques).

¹ Les méthodes de localisation sur les mesures temporelles sont expliquées dans la partie III.2

Des raffinements sont possibles lorsque les antennes des stations de base sont sectorisées. En général, les stations de base sont constituées de plusieurs antennes dites sectorielles (secteur de 120°). Il est possible de remonter au secteur dans lequel se trouve le mobile pour réduire la zone d'incertitude. Cette méthode n'est donc pas très précise dans les zones où une simple BTS couvre un grand territoire. Dans les villes où les opérateurs ont installé plusieurs BTS pour mieux desservir les utilisateurs, les cellules couvrent une zone longue de quelques centaines de mètres, ce qui accroît la précision du système. La majorité des opérateurs l'ont toutefois choisie pour plusieurs services tels que le E-112, en raison de son faible coût de mise en place.

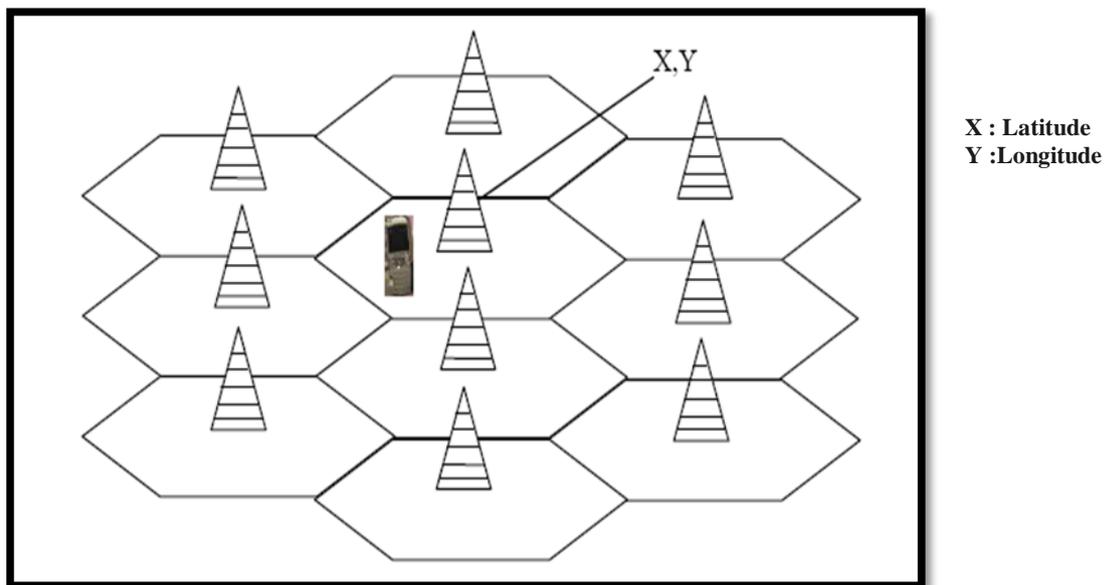


Figure 3.11 : Localisation par Cell ID

-La localisation par temps d'arrivée TOA

L'amélioration de la localisation passe par l'obtention d'informations plus précises que le secteur de la station de base à partir duquel les communications transitent. Il est nécessaire de disposer d'informations directement liées à la distance séparant l'équipement mobile de la BTS. Des informations temporelles sont utilisables, comme c'est le cas d'un système satellitaire. Ce mode de localisation par trilatération est applicable aux réseaux de types GSM et UMTS. En procédant de cette manière, le problème de synchronisation équipement mobile-BTS est résolu. Pour que la localisation soit possible, il est nécessaire de capter une BTS supplémentaire. Cette dernière sert de référence temporelle. Ces techniques de localisation par différence de temps sont nommées TDOA (Time Difference Of Arrival) et EOTD (Enhanced Observed Time Difference).

-La technique Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)

Dans la méthode U-TDOA, c'est l'équipement mobile qui émet des trames, et c'est le réseau qui effectue la différence de temps afin de déterminer la position de cet équipement. Dans le cas de E-OTD, l'équipement mobile détermine lui-même sa

position à partir des signaux reçus de différentes BTS, tout en employant des mesures de différences de temps d'arrivée (*fig.3.11*).

La méthode E-OTD nécessite une remise à niveau du réseau GSM déjà en place avec l'ajout de LMU (Location Measurements Units) pour compenser le fait que les BTS du réseau GSM ne sont pas synchronisés (*fig. 3.12*).

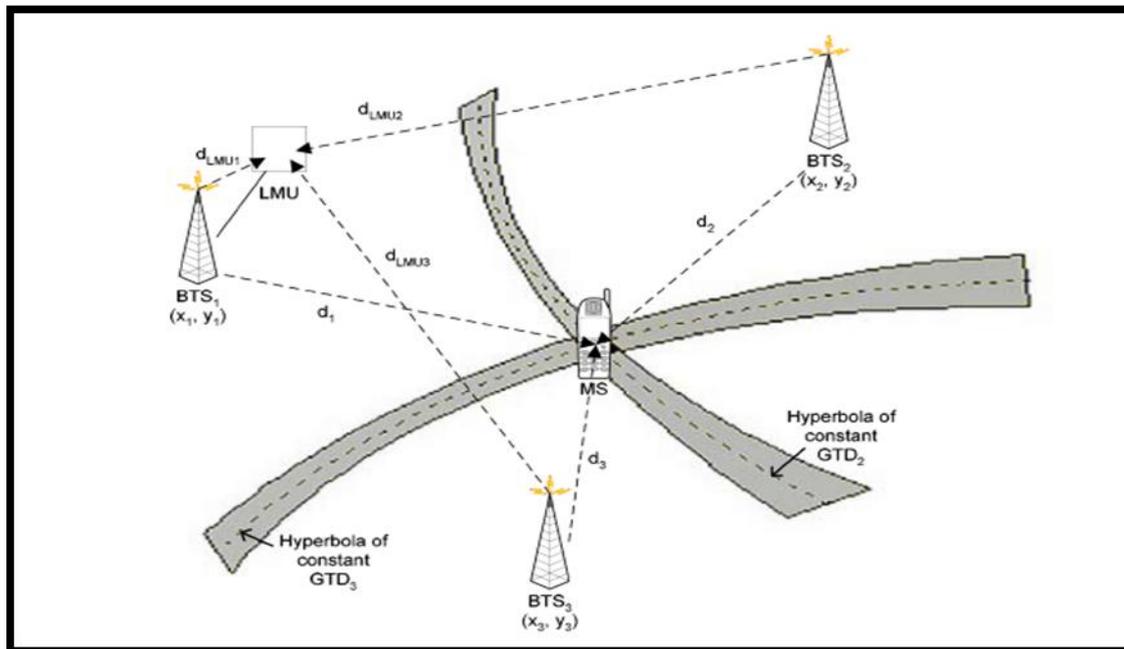


Figure 3.12 : La technique E-OTD

Ces unités de mesure représentent un coût supplémentaire pour l'opérateur lors de la mise en place du service.

Les LMU sont des éléments hardware supplémentaires rajoutés au réseau GSM pour réaliser des mesures précises de différences de temps entre les signaux provenant des différentes BTS. Le LMU mesure les différences de temps relatives entre chacune des BTS à partir des Bursts (paquets) émis périodiquement et de façon prévisible. Les données remontant des LMU sont utilisées par le système pour déterminer la position du mobile.

-La localisation par direction d'arrivée AOA

La technique de localisation par direction d'arrivée ne repose pas sur des mesures de temps d'arrivée mais sur des mesures de directions d'arrivée des ondes au niveau des BTS. Pour effectuer ces mesures, il est nécessaire de disposer de réseaux d'antennes estimant les directions d'arrivée. Le réseau d'antennes placé sur une BTS permet de déterminer une ligne de l'espace sur laquelle se trouve l'équipement mobile. Si au moins deux BTS délivrent chacune une droite dans l'espace sur laquelle se trouve le mobile, alors l'intersection de ces deux lignes est unique et correspond à la position occupée par l'équipement mobile. À cause des fortes dégradations des signaux radio, il faut exploiter les données provenant de deux BTS au moins (*fig. 3.13*).

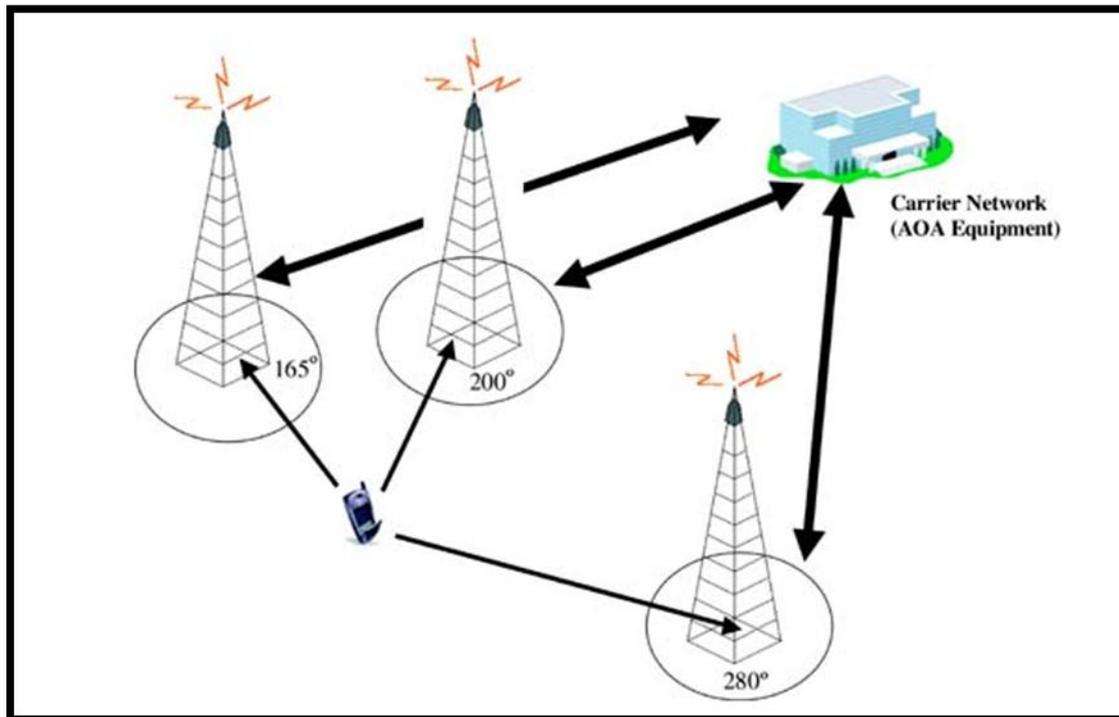


Figure 3.13 : La technique AOA

III.4-Proposition d'une solution de localisation pour un système m-health

Comme nous avons décrit dans les passages précédents, il existe plusieurs solutions, plus ou moins précises, permettant la localisation pour les différents services dans une application m-health.

Nos premières solutions utilisent le système satellitaire comme le GPS, mais il y a quelques problèmes inhérents à cette technologie. Pour compenser ces inconvénients et afin de fournir une localisation continue, nous proposons de chercher une solution dans les systèmes de localisations par réseaux terrestres. Dans ce cas le réseau cellulaire GSM sera le choix sur lequel nous allons nous baser. Il sera le système de localisation exploité dans nos travaux, vu ces nombreux avantages dans le déploiement et l'utilisation. Pour concrétiser notre objectif consistant à réaliser un système de localisation indépendant, nous avons été confrontés au choix de la technique idéale pour rendre indépendant le système d'un centre externe de traitement.

L'utilisation des méthodes de triangulation et trilatération (TDOA, U-TDOA, E-OTD, AOA) est compliquée dans un système à capacité de traitement limité car de nombreux paramètres dont de nombreuses variables, ne sont accessibles qu'au sein du réseau et non pas sur les terminaux. Nous avons pu implémenter la méthode de triangulation locale sur l'une de nos expériences².

²Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham , Smart Tee-Shirt for elderly and Alzheimerpatients,1960/DB/AD/12. INAPI. 03/09/2012 (brevet).

Nous nous sommes donc focalisés sur la technique de localisation par Cell-ID qui est la technologie la plus simple et la moins coûteuse. En effet, dans ce cas il n'y a pas de matériel spécifique à mettre en place (à l'exception d'un smartphone). Sachant que chaque cellule possède un identifiant national unique, il est donc possible d'estimer la position d'une station mobile (MS). L'utilisation de cette technique dans une application m-health n'est pas suffisante du point de vue précision et continuité, mais elle est meilleure en consommation énergétique. Finalement, nous pouvons conclure que cette technique et la technique GPS sont deux technologies complémentaires, pour cela, nous allons présenter une nouvelle approche de cette technique de localisation basée sur plusieurs idées et concepts.

Dans ce cas, nous allons étudier de plus près les données de localisation du réseau GSM et la méthode Cell ID utilisée.

III.4.1- Le Cell ID et les données de localisation

L'étude du Cell ID et les données de localisation est une étape qui vient après le choix de la méthode et la technologie utilisée dans la localisation m-health. Au niveau de cette phase, nous nous concentrons sur la partie station mobile et station de base dans l'architecture du réseau GSM.

Dans cette partie, nous proposons de décrire le concept cellulaire qui est indispensable pour les prochains chapitres de cette thèse.

III.4.2- le concept cellulaire

La structure géographique de réseau GSM est sous forme cellulaire (*fig.3.14*).

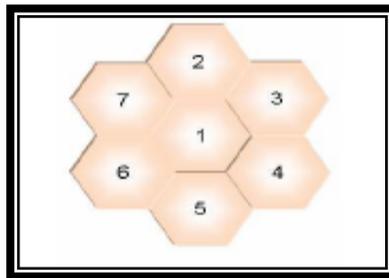


Figure 3.14: La forme cellulaire d'une zone géographique

III.4.2.1-La Cellule

La cellule est l'unité de base du système cellulaire et elle est définie par la couverture radio d'une seule antenne sous forme hexagonale. Une BTS peut couvrir plusieurs cellules si elle contient plusieurs antennes, chaque cellule étant identifiée par un numéro unique appelé CI (Cell Identification). Dans le réseau cellulaire il y a un nombre assez important de cellules (*fig.3.15*). [84, 85]

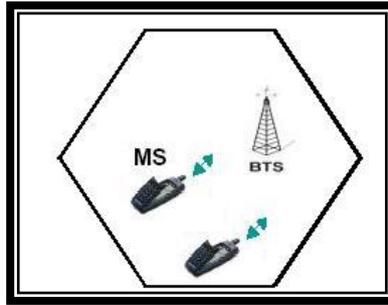


Figure 3.15 : Structure d'une cellule

La zone de couverture d'une station de base (cellule) peut être assimilée à un cercle, si on néglige les évanouissements sélectifs et l'effet de masque dont l'atténuation du signal dépend de la distance séparant l'émetteur du récepteur (*fig.1.16*). Le modèle hexagonal donne une approximation de la cellule par un hexagone qui est le polygone le plus proche du cercle qui permet de paver le plan (*fig.3.17*).

Les émetteurs sont généralement constitués de trois antennes directives couvrant chacune un angle de 120° .

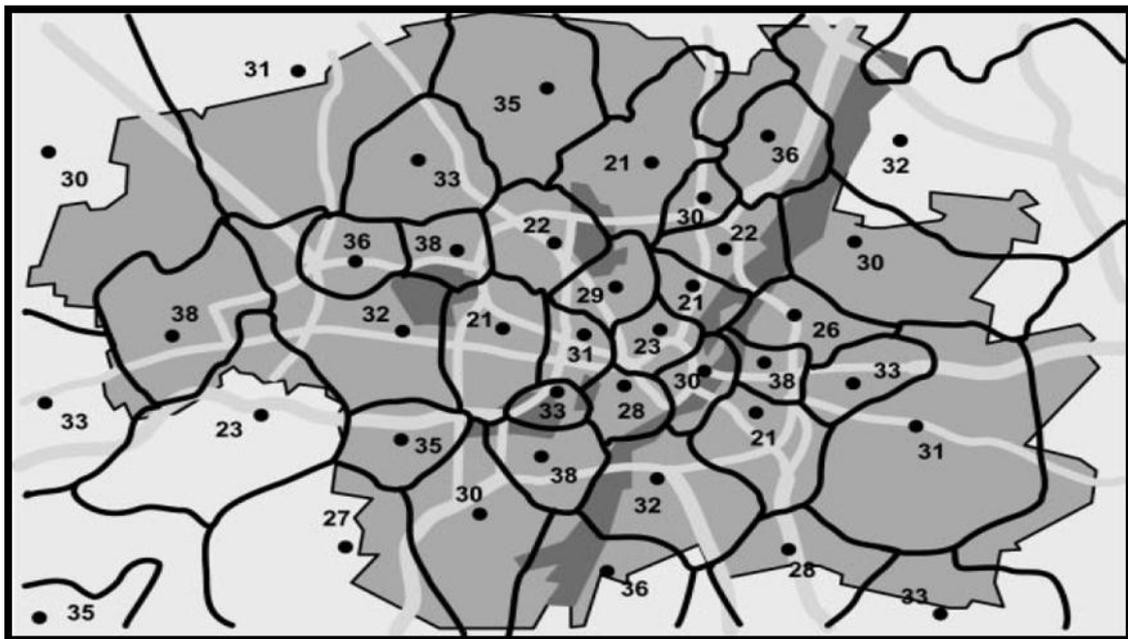


Figure 3.16 : Structure réelle des cellules dans le réseau GSM

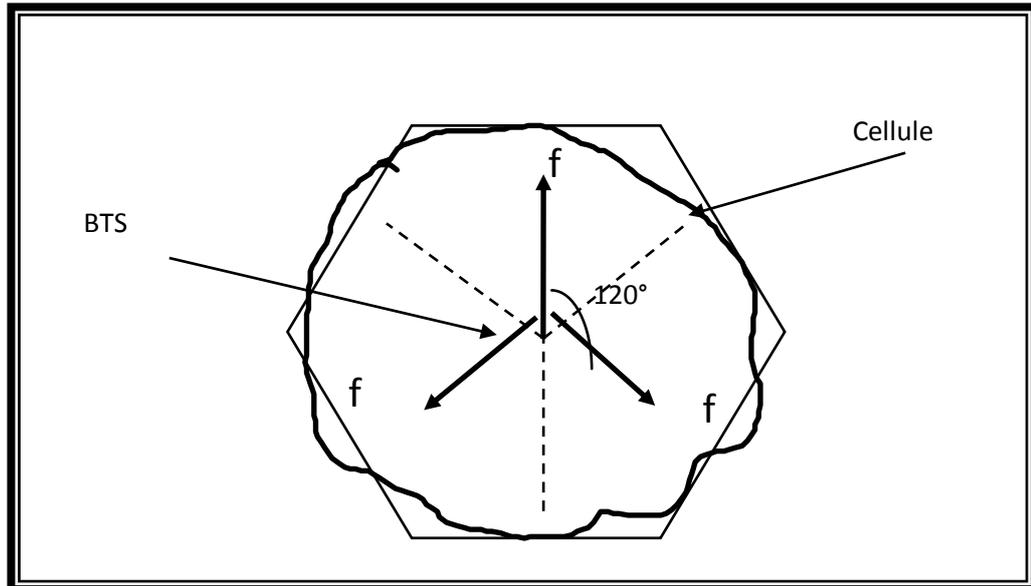


Figure 3.17 : Approche hexagonale de la cellule

III.4.2.2-Découpage cellulaire

On distingue quatre types de cellules: macro, micro, pico, umbrella cellules (fig.3.18). [84]

Macro cellule: cellule à grand couverture (1 à 35 Km) avec une antenne au dessus des obstacles, elle est utilisée souvent en zone rurale.

Micro cellule: cellule à couverture moyenne (1 à 4 Km), elle est utilisée souvent dans les zones urbaines.

Pico cellule: petite cellule de quelque dizaine de mètres (10 à 100 m), souvent en intérieur.

Cellule umbrella (parapluie): cellule destinée à couvrir des lieux masqués par des obstacles (hauts bâtiments), ou à réaliser les couvertures ente deux cellules.

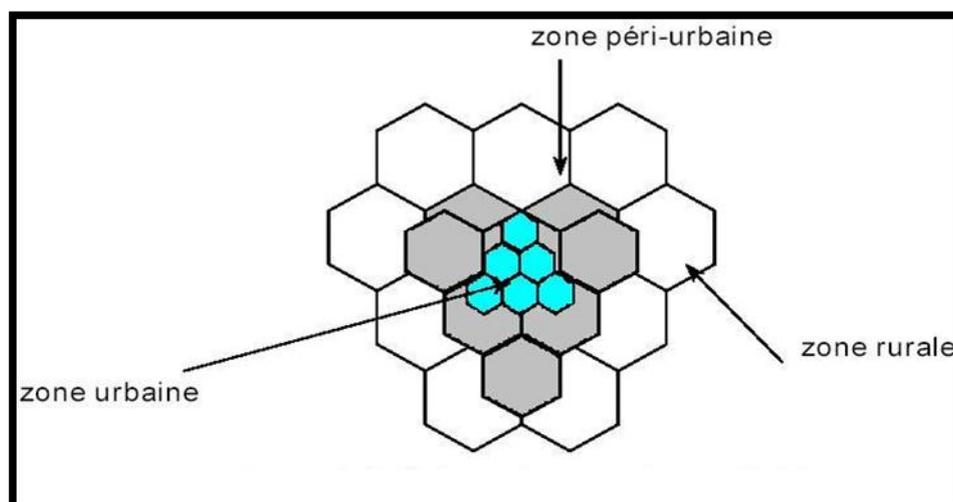


Figure 3.18 : Découpage cellulaire

III.4.2.3-La zone de localisation (LA)

La zone de localisation (LA) est définie comme un groupe de cellules à l'intérieur d'un réseau. La localisation d'un abonné est connue par la zone LA dont laquelle il se trouve. En effet, le système utilise LA pour chercher un abonné dont le terminal est actif. Quand une communication est destinée vers un terminal mobile, un message de recherche est émis dans toutes les cellules appartenant à une zone LA, qui fait partie de réseau dans lequel un terminal peut se déplacer librement sans présenter sa localisation au réseau. Différentes zones de localisation peuvent être identifiées par le système en utilisant LAI (le LAI contient le code de pays, code de réseau dans le pays, code de la zone de localisation dans le pays)³.

III.4.2.4-La zone de service MSC/VLR⁴

La zone de service MSC/VLR est constituée d'un certain nombre de LA, et représente une partie géographique du réseau contrôlé par un seul MSC (*fig.3.19*).

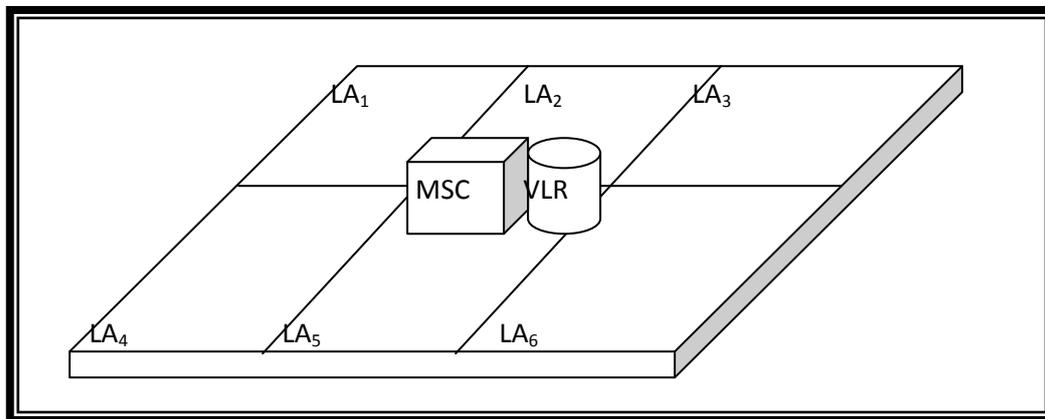


Figure 3.19 : Zone de service MSC/VLR

III.4.2.5- La zone de service PLMN

Zone de service PLMN (Public Land Mobile Network) est la zone géographique servie par un seul opérateur, elle est définie par la zone de couverture radio et la possibilité d'accéder au réseau offert par l'opérateur. Dans un pays, il doit y avoir plusieurs zones de service PLMN, chacune appartient à un réseau mobile d'un opérateur.

³ Les données de localisation seront définies dans le paragraphe III.4.3.6

⁴ Voir l'annexe sur le réseau GSM

III.4.3-Les adresses et les identificateurs liées à la localisation dans une application m-health

Il existe plusieurs données et paramètres qui permettent de définir l'identité et le positionnement exacte de l'abonné, par conséquent chaque abonné a une adresse unique (une identité).

III.4.3.1-Identité internationale de l'abonné mobile (IMSI)

Chaque abonné du réseau mobile dispose d'une identité internationale IMSI unique pour tous les réseaux GSM (différents PLMN), invariable dans le temps (sauf dans le cas de renouvellement ou de perte de la carte SIM par exemple).

IMSI est représenté sous la structure suivante: $IMSI = MCC + MNC + MSIN$

- MCC (*Mobile Country Code*): Indicatif du pays domicile de l'abonné mobile, en Algérie le code MCC est 603.
- MNC (*Mobile Network Code*): Indicatif du PLMN national de l'abonné mobile (*tableau 3.1*).
- MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*): C'est le numéro d'identification de l'abonné mobile à l'intérieur du réseau GSM.

Selon les spécifications du GSM, l'IMSI a une longueur maximale de 15 chiffres (*fig.3.20*).

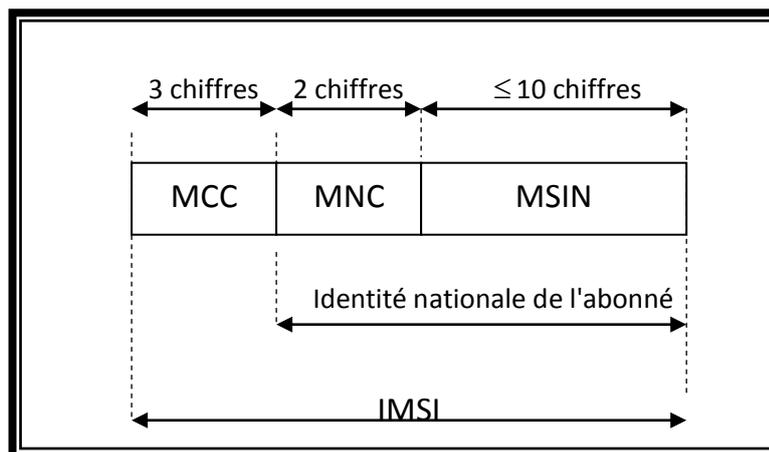


Figure 3.20 : Composition de l'IMSI

Les deux parties MCC et MNC permettent de déterminer de façon unique dans le monde, le PLMN de l'abonné (*Tableau 3.1*). Les deux premiers chiffres de la partie MSIN donnent l'indicatif du HLR de l'abonné au sein de son PLMN, les MSC/VLR sont donc capables, à partir d'un IMSI quelconque, d'adresser le HLR de l'abonné correspondant.

Opérateur	MCC	MNC
MOBILIS	603	1
DJEZZY	603	2
NEDJMA	603	3

Tableau 3.1 : Les codes MNC en Algérie

III.4.3.2-Identité temporaire de l'abonné mobile (TMSI)

Pour des raisons de sécurité (éviter qu'un intrus intercepte le IMSI et l'utilise en se faisant passer pour l'abonné réel) et de confidentialité (éviter qu'une personne à l'écoute du canal n'identifie l'abonné en communication) le IMSI est transmis aussi rarement que possible sur l'interface radio. Pour ces raisons une identité temporaire (TMSI) est attribuée à l'abonné.

Le TMSI est alloué au mobile de façon locale c'est-à-dire uniquement dans la zone gérée par le VLR concerné. Plusieurs mobiles dépendant des VLR différents peuvent avoir le même TMSI et à chaque changement de VLR un nouveau TMSI doit être attribué.

La structure du TMSI est laissée libre à l'opérateur, mais sa longueur ne doit pas dépasser huit chiffres.

III.4.3.3- Numéro ISDN de l'abonné mobile (MSISDN)

Le MSISDN est le numéro d'annuaire de l'abonné que composera une personne désirant joindre l'abonné GSM. C'est le seul identifiant de l'abonné mobile à l'extérieur du système.

Le MSISDN est confirmé au plan de numérotage téléphonique international, il peut être de longueur variable au maximum 15 chiffres et comprend les parties suivantes (fig.3.21):

$$\text{MSISDN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

- CC (*Country Code*): Indicatif du pays dont lequel l'abonné a souscrit son abonnement (213 pour l'Algérie).
- NDC (*National Destination Code*): Indicatif national de l'abonné, il signifie aussi l'indicateur du réseau utilisé.
- SN (*Subscriber Number*): Numéro de l'abonné attribué librement par l'opérateur.

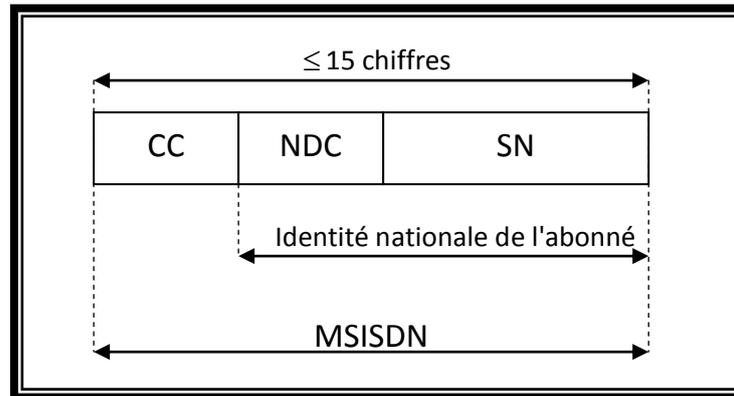


Figure 3.21 : Composition de MSISDN

Seul le HLR contient la table de correspondance entre les IMSI et les MSISDN des abonnés. Comme pour l'IMSI, le MSISDN permet à un PLMN de connaître le HLR de l'abonné à partir des premiers chiffres de la partie SN.

III.4.3.4-Numéro du Roaming de la station mobile (MSRN)

Le MSRN est le numéro qui sert à l'acheminement d'un appel entrant directement du GMSC vers le MSC où la station mobile est localisée. Il est attribué par le VLR concerné de façon temporaire et uniquement lors de l'établissement d'un appel à destination de la station mobile.

Le MSRN est représenté sous la forme suivante (*fig.3.22*):

$$\text{MSRN} = \text{CC} + \text{NDC} + \text{SN}$$

- CC: Code pays du VLR concerné.
- NDC: Code PLMN du VLR concerné.
- SN: C'est le numéro du MSC dont lequel se trouve l'abonné.

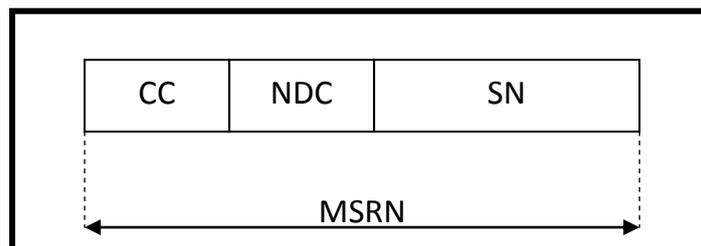


Figure 3.22 : Composition du MSRN

III.4.3.5-Identité international de l'équipement mobile (IMEI)

Tout terminal est référencé d'une manière unique par l'IMEI qui est codé sur 15 chiffres (*fig.3.23*) :

Choix des méthodes de localisation pour une application m-health avec des conditions limitées

$$\text{IMEI} = \text{TAC} + \text{FAC} + \text{SNR} + \text{SP}$$

- TAC (*Type Approval Code*): C'est un numéro fourni par la centrale du GSM au constructeur lorsque le matériel a passé l'agrément.
- FAC (*Final Assembly Code*): Numéro identifiant l'usine de fabrication (constructeur).
- SNR (*Serial Number*): Numéro de série librement attribué par le constructeur.
- SP (*Spare*): Chiffre supplémentaire de réserve.

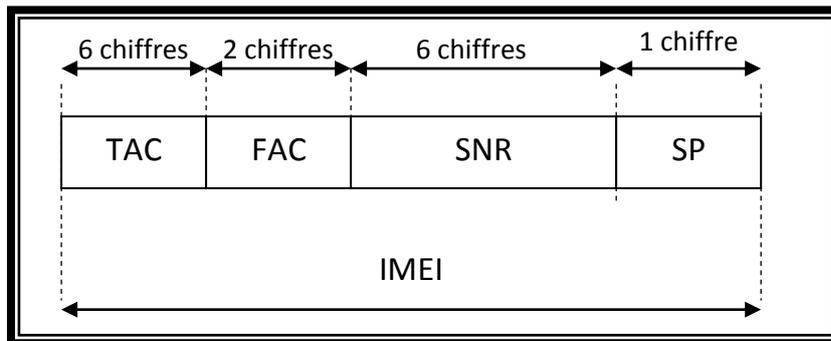


Figure 3.23 : Composition de l'IMEI

III.4.3.6-Identité de la zone de localisation (LAI)

Une zone de localisation (*paragraphe III.4.2.3*) est identifiée par l'adresse LAI qui détermine de manière unique la zone de localisation au sein de l'ensemble des PLMN du monde. Elle permet donc aux MSC de connaître la position de la MS instantanément.

Le LAI est constitué de (*fig.3.24*) :

- MCC: Indicatif du pays.
- MNC: Indicatif du PLMN.
- LAC (*Location Area Code*): Le code de la zone de localisation LAC est librement affecté par l'opérateur. Il a une longueur maximale de 2 octets (exemple: 41130). Dans la ville de Tlemcen, l'opérateur Nedjma a défini 2 adresses LAC en fonction des zones de localisation.

$$\text{LAI} = \text{MCC} + \text{MNC} + \text{LAC}$$

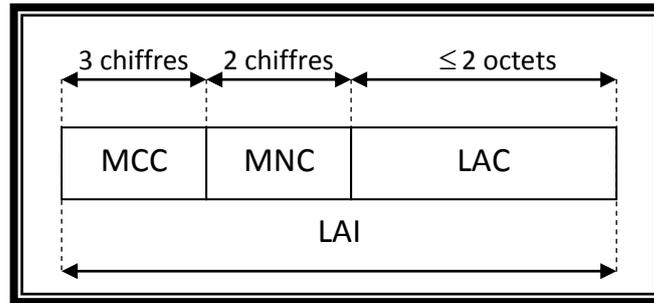


Figure 3.24 : Composition de LAI

III.4.3.7-L'identificateur de cellule CI (Cell-ID)

Chaque cellule est identifiée par un code unique qui ne dépasse pas 2 octets (2×8 bits). Le CI et le LAI ensemble forme un code international de la cellule CGI (Cell Global Identifier) qui rend la cellule unique dans le monde entier.

Exemple: Pour une BTS (Nedjma), qui couvre un site trisectoriel (avec 3 secteurs) de la région El-Kiffen de la wilaya de Tlemcen, une des cellules sera identifiée par ce code: **CI (Cell Identifier)=13951** (fig.3.25).

13: Représente le code de la wilaya (Tlemcen)

95: Représente le code de la BTS

1: Représente le code du secteur

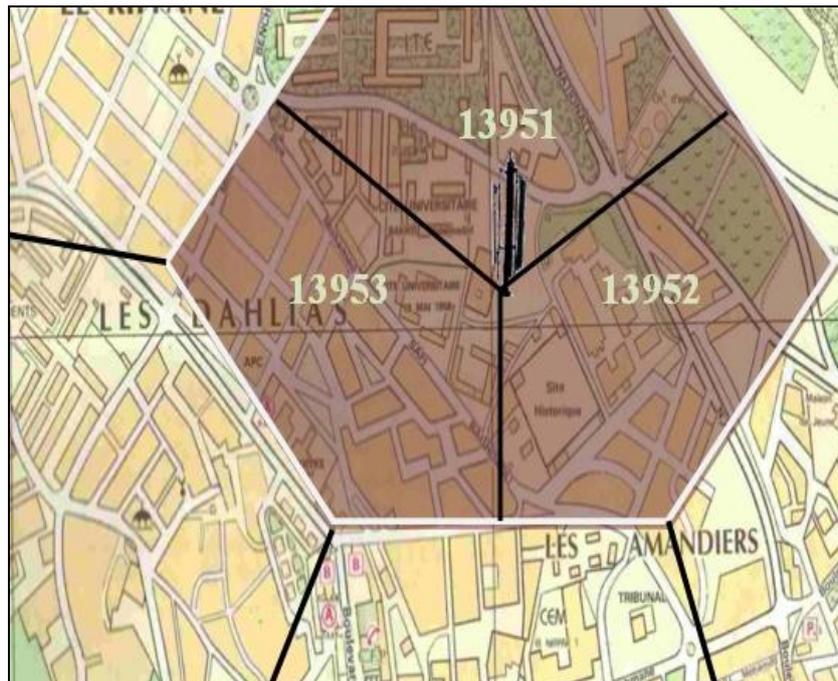


Figure 3.25 : Cell-ID (N°06 KARA SLIMANE El Kiffane)

III.5-Conception et implémentation d'un algorithme de localisation Cell-ID pour une application m-health

III.5.1- Présentation du prototype d'évaluation

Dans cette partie nous voulons améliorer notre premier prototype d'évaluation de l'application m-health (III.3.2.1) qui fonctionne dans les zones couvertes par le réseau GSM est disponible. Ce prototype permet de localiser n'importe quelle personne âgés ou patient ayant un service m-health en utilisant la technique de Cell-ID (ou CI) (fig. 3.25). Cette méthode peut être considérée comme alternative et complémentaire de la méthode GPS. Dans ce cas le service de localisation dans une application m-health permet la saisie des données de localisation du réseau GSM (LAC, Cell-ID, MNC, MCC) ainsi que d'autres informations sur le system mobile tel que le niveau du signal en dbm, le niveau de la batterie, l'IMEI Ces informations seront envoyées régulièrement et en temps réel via la connexion data GPRS (dans notre cas du GSM) vers le serveur de surveillance médicale. Dans ce dernier, nous allons implémenter notre algorithme de prédiction de localisation. La mise à jour des données de localisation sera réalisée à chaque changement de cellule automatiquement (fig.3.26).



Figure 3.26: Capture d'écran de l'application m-health avec la fonction Cell-ID

Notre prototype sera le même que celui décrit dans le passage III.3.2.1 avec quelques fonctions supplémentaires. Il sera basé sur le système Symbian avec une plate-forme S60. Le serveur de surveillance est un serveur web permettant aux docteurs de consulter l'état et les informations de localisation ainsi que les données géographiques du déplacement d'une personne malade (fig. 3.27).

En général:

Serveur de localisation médicale = serveur web+base de données

Pour développer le serveur prototype, nous utilisons l'Apache, MySQL, PHP et HTML. Les détails du développement sont présentés dans l'annexe 2.



Figure 3.27 : La surveillance d'une personne malade par la technique Cell-ID

Avant de commencer l'évaluation de l'application, nous allons présenter l'architecture de notre système de localisation médicale (*fig. 3.28*).

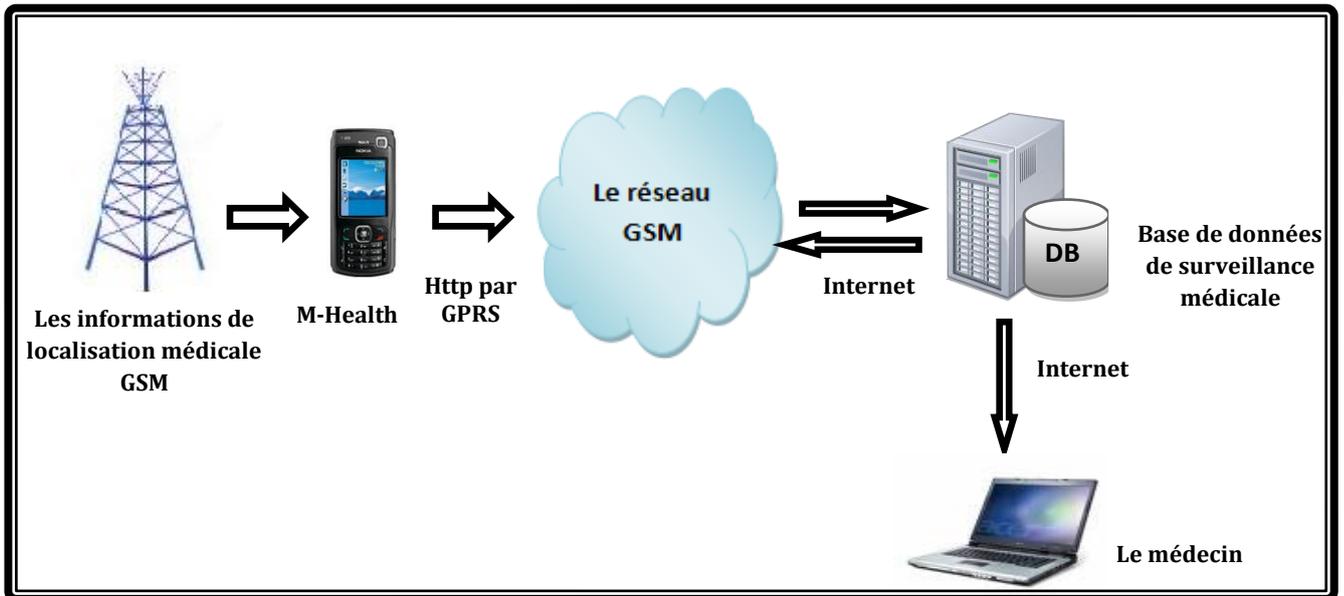


Figure 3.28 : Schéma descriptif de système d'évaluation

III.5.2- Evaluation de la méthode de localisation

a) Evaluation de la consommation d'énergie

En exploitant le même principe d'évaluation du GPS par le simulator Nokia Energy Profiler, nous avons testé la consommation de notre application m-health le moment où le service de localisation Cell-ID est activé (fig.3.29). On remarque que la consommation est basse et ne dépasse pas 13 mW. Dans les 10 premières secondes, nous avons remarqué un pic correspondant à la période de synchronisation de notre application m-health avec le serveur en utilisant le réseau GPRS. Chaque fois elle détecte un changement de cellule, elle envoie la mise à jour au serveur.

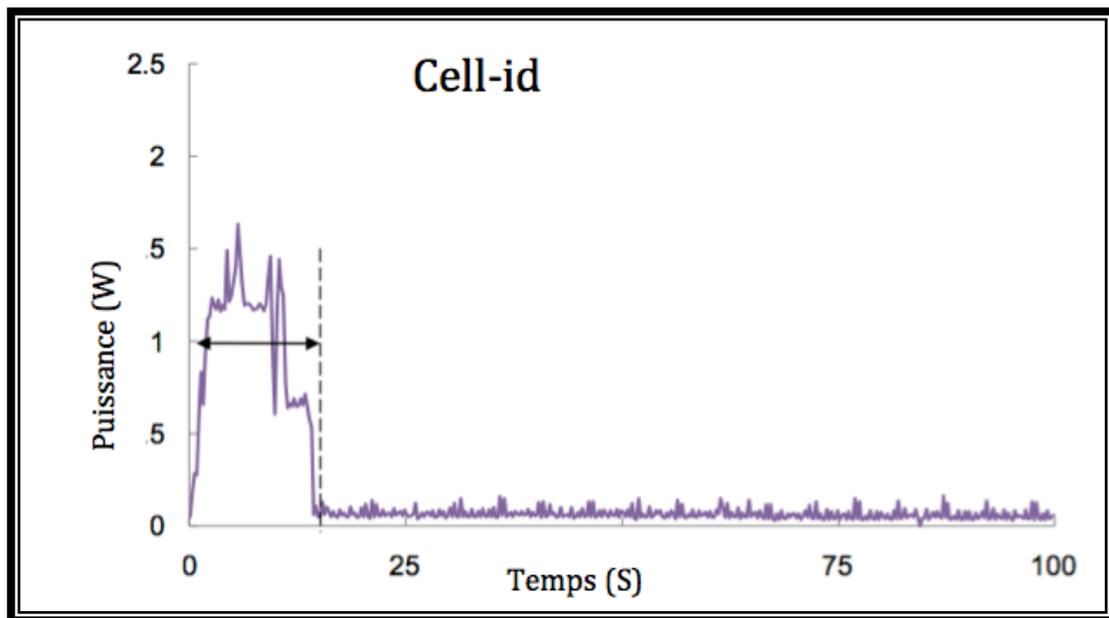


Figure 3.29 : Coût d'énergie de la méthode GPS dans une application m-health

b) Evaluation de la précision

Nous avons ensuite testé notre application pendant une semaine dans la wilaya de Tlemcen, et plus précisément dans les régions suivantes: Kiffane, Imama, Abou-Tachfine et Chetouane. Nous avons choisi le réseau de Nedjma comme un réseau de test. Il y avait 17 cellules dans les régions citées. Nous avons créé une base de données qui rassemble tous les Cell-ID envoyés par l'application via le réseau GPRS (fig. 3.30).

```

For server side help, type 'help contents'
mysql> INSERT INTO `place` (`code_cells`, `CELL_ID`, `NOM_PLACE`) VALUES
-> (001, 13081, 'les oliviers el kiffane '),
-> (002, 13082, 'les Dahlias east el Kiffane'),
-> (003, 13083, 'rue mourad benchouk el kiffane'),
-> (004, 13953, 'rue kara slimane zouad'),
-> (005, 13952, 'route national n22-station taxi'),
-> (006, 13951, 'route national carefoure les oliviers '),
-> (007, 13153, 'route national n22 zone aboutachfine '),
-> (008, 13061, 'route national n22 zone aboutachfine sud '),
-> (009, 13881, 'carefoure-trémie Koudia'),
-> (010, 13152, 'intersection Oudjlida sud '),
-> (011, 13023, 'route chatouane ouest '),
-> (012, 13943, 'Chatouane ouest region A-Université-'),
-> (013, 13941, 'Chatouane ouest region B-Université-'),
-> (014, 13942, 'Chatouane ouest région C-Université-'),
-> (015, 13022, 'Chatouane ouest région D-Université-'),
-> (016, 13023, 'Chatouane ouest zone E-université-'),
-> (017, 13011, 'Chatouane ouest zone F-université-');
Query OK, 17 rows affected (0.06 sec)
Records: 17 Duplicates: 0 Warnings: 0
mysql>

```

Figure 3.30 : Insertion des données dans la base de données de référence

Nous avons intégré le service Google Earth à notre serveur avec en utilisant les API Google Map [86] (fig. 3.31).

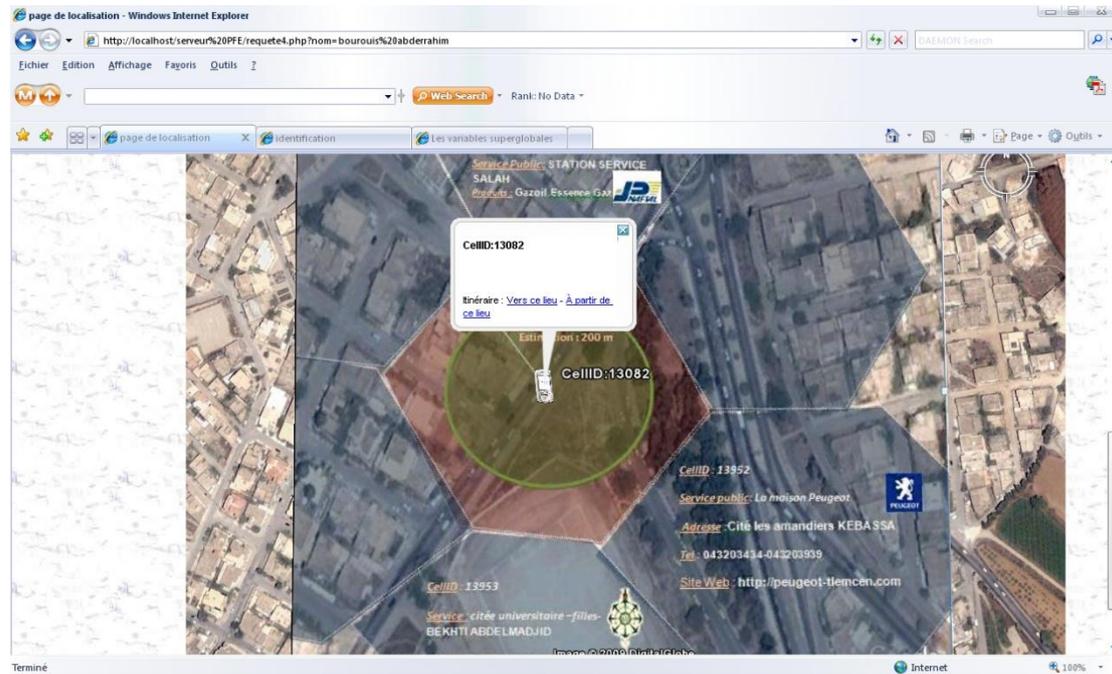


Figure 3.31 : Aperçu de la page résultat de localisation par le serveur de surveillance

La précision de cette méthode correspond à la surface de la cellule, et l'incertitude varie entre 50 m jusqu'à 20 km dans une zone rurale. Pour augmenter cette précision nous avons proposé un algorithme très efficace qui l'améliore jusqu'à 1 mètre. L'idée de ce travail originale est basée sur l'algorithme d'analyse de Cell-ID et de profile baptisé CIPA (Cell Id Profile Algorithm)⁵.

III.5.3-Description et validation de l'algorithme

Dans cette étude, nous avons travaillé en collaboration avec l'association de personnes âgées à Tlemcen. Nous avons commencé par des statistiques sur 34 personnes qui ont plus de 60 ans et qui souffrent au moins d'une maladie chronique. Après un questionnaire sur les habitudes quotidiennes, nous avons observé que 94% visitent les mêmes endroits chaque jour durant l'année. Cela signifie qu'avec deux ou trois informations supplémentaires, nous pouvons savoir où se trouve la personne exactement à partir du Cell ID et par élimination des endroits non visités (fig. 3.32).

⁵ Abderrahim Bourouis, Mohammed Feham: Gold Medal in the 5th International Invention Fair in The Middle East IIFME 2012 , Kuwait, Smart Tee-Shirt Invention.

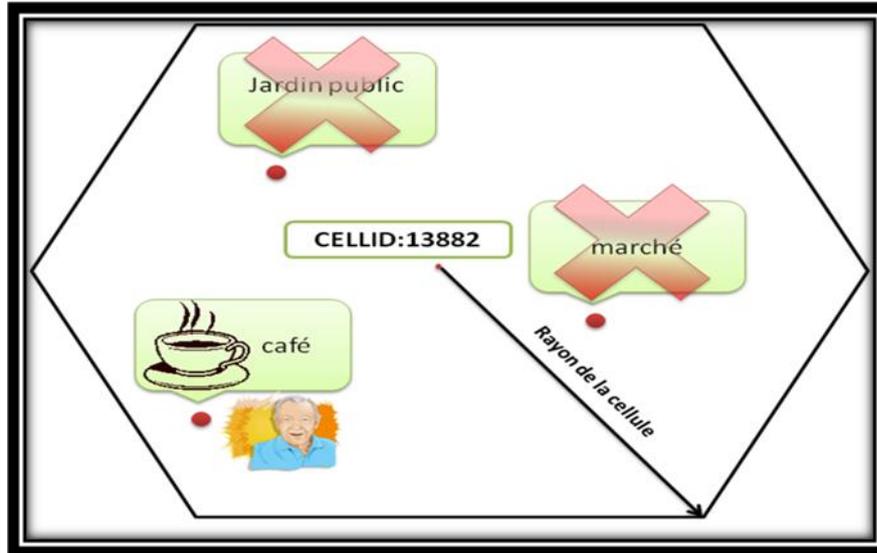


Figure 3.32 : Exemple de l'utilisation de l'algorithme CIPA pour définir la localisation selon le profile

Afin d'augmenter le temps de précision, nous avons ajouté à notre algorithme la fonction d'analyse de Cell-ID par une vérification du dernier bit qui nous donne l'information sur l'orientation par rapport à la BTS, c'est-à-dire le secteur concerné (fig. 3.33).

Par convention le 1 signifie que l'antenne est orientée vers le nord-est, le 2 vers le sud-ouest et le 3 vers l'ouest.

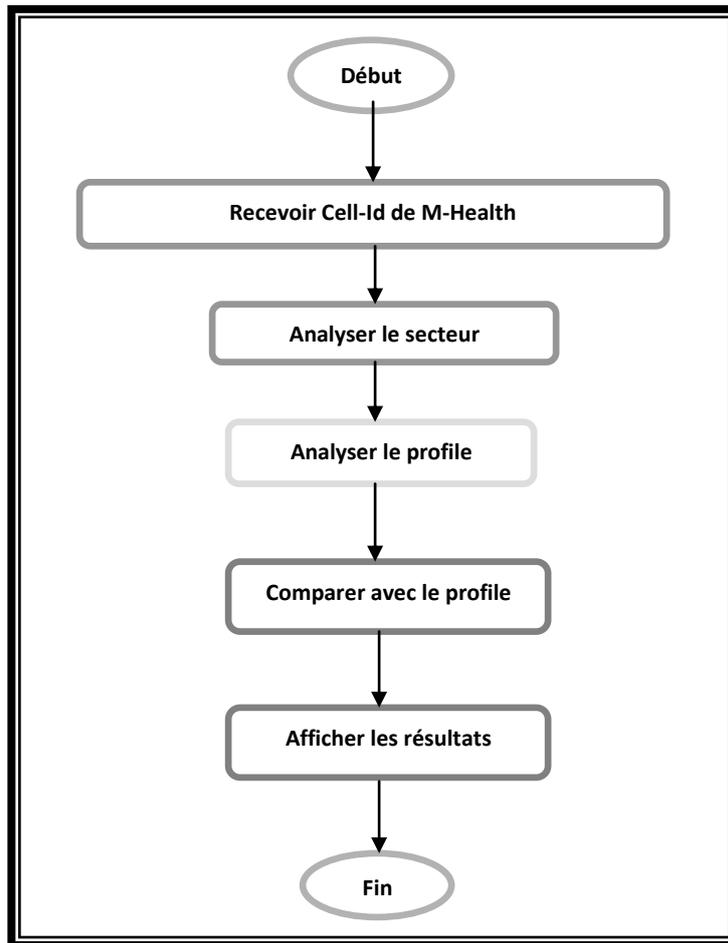


Figure 3.33 : L'algorithme CIPA

III.5.3.1- Le profil d'utilisateur

C'est un ensemble de données sur la localisation des personnes et les lieux les plus visités dans le temps et la période de visite. Pour tester notre algorithme, nous avons pris un cas réel de Ahmed, âgé de 60 ans (*fig. 3.34*). Nous avons rempli la base de données manuellement qui contient: le pourcentage de visite de chaque lieu dans chaque cellule. Chaque lieu correspond à une période de visite. Nous avons partagé le temps en quatre intervalles: {[12:00 a.m., 6:00 a.m.], [6:00 a.m., 12:00 p.m.], [12:00 p.m., 6:00 p.m.], [6:00 p.m., 12:00 a.m.]}

Nous avons implémenté notre algorithme dans le serveur en utilisant un fichier PHP pour faire l'analyse et la décision. Après l'étape d'apprentissage du profil de Ahmed et la création de la base de données, nous avons fait un test réel en lui attribuant un smartphone équipé de l'application m-health qui sert à envoyer les données de localisation vers le serveur. En générale, dans la cellule 13082 et entre 12:00 p.m et 6:00 p.m, à 80% Ahmed sera au jardin publique, 15% à la maison de son copain et

Choix des méthodes de localisation pour une application m-health avec des conditions limitées

5% à la mosquée. Le résultat de test c'était une précision de 100% vrai. Comme perspective, nous voulons intégrer les algorithmes d'apprentissage intelligent pour bien définir le profil de l'utilisateur à chaque instant t.

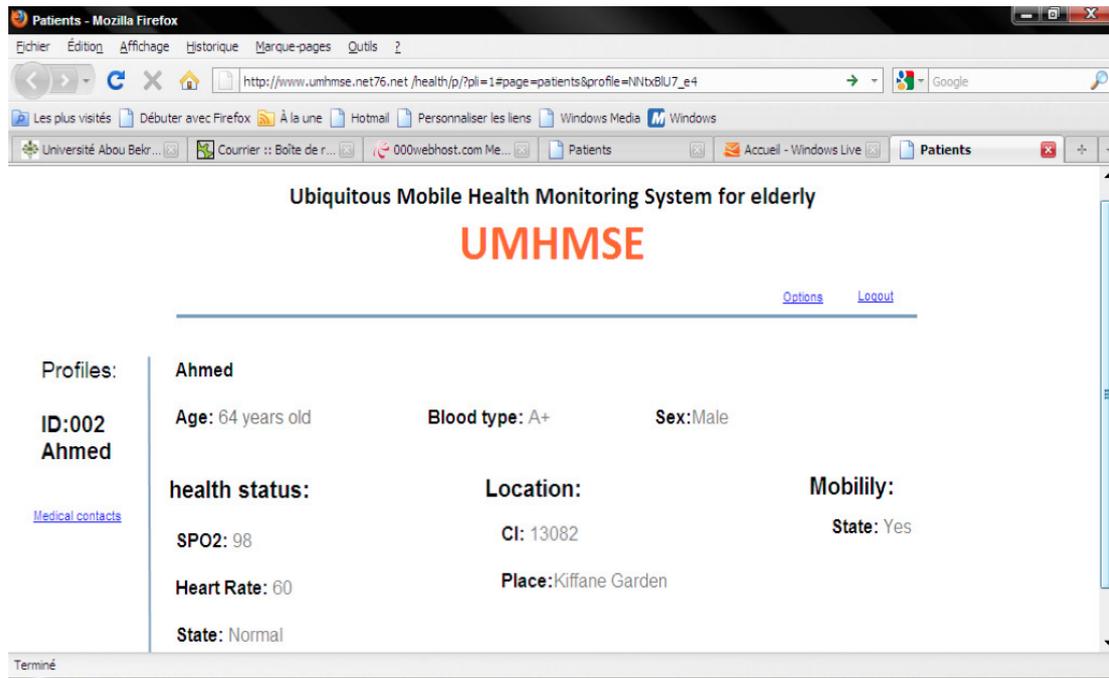


Figure 3.34 : L'évaluation de l'algorithme CIPA avec l'application m-health

III.6-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les services de localisation dans une application m-health et les différentes techniques utilisées dans ce domaine. Nous avons couronné notre étude par un choix de deux technologies que nous avons jugé appropriée à nos ambitions (localisation GPS et localisation GSM par CELL-ID).

Nous avons proposé deux contributions par la présentation de deux algorithmes: ETC et CIPA. Nous avons conçu, implémenter et évaluer nos deux algorithmes expérimentalement.

Dans le chapitre suivant, nous discutons la conception et l'implémentation d'autres applications m-health selon le modèle décrit dans le chapitre 2. Nous allons voir aussi l'exemple où la combinaison des deux méthodes de localisation Cell-ID et GPS nous donnerons une méthode hybride très efficace.

References:

- [71] Kupper, Axel, "Location-based services: fundamentals and operation", ISBN-13 978-0-470-09231-6, John Wiley & Sons, 2005.
- [72] Krzysztof W. Kolodziej, Johan Hjelm, "Local Positioning Systems LBS Applications and Services", ISBN-13: 978-0-8493-3349-1, Taylor & Francis Group, 2006.
- [73] M. Erwan ERMEL, "Localisation et Routage géographique dans les réseaux sans fil hétérogènes", Thèse de Doctorat de l'université Paris VI Pierre et Marie CURIE, 2004.
- [74] http://www.patentlens.net/patentlens/patents.html?patnums=US_8285344&returnTo=quick.html, Septembre 2013.
- [75] Abderrahim BOUROUIS, Mohammed Feham and Abdelhamid Bouchachia, "Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE)", International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol 3, No 3, June 2011.
- [76] http://developer.nokia.com/Resources/Tools_and_downloads/Other/Nokia_Energy_Profiler/Quick_start.xhtml, Juin 2012.
- [77] http://developer.nokia.com/Community/Wiki/Archived:PyS60_applications, 2013.
- [78] MM Hanaa AL BITAR, "Advanced GPS signal processing techniques for LBS services", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 06/07/2007.
- [79] Jochen Schiller and Agne`s Voisard, "Location-Based Services", ISBN: 1-55860-929-6, the Morgan Kaufmann Series Research, 2006.
- [80] <http://www.webimag.com>, 2012.
- [81] Frank Viquez, Anna Lee Dragon, and Tim Archdeacon, "Location based services, a strategic analysis of wireless technologies, markets, and trends", Technical report, Allied Business Intelligence, 2001.
- [82] Andrew Jagoe, "Mobile Location Services: The Definitive Guide", ISBN: 0-13-008456-5, Prentice Hall PTR, 2006.
- [83] DUQUENNE Françoise, BOTTON Serge, PEYRET François, BÉTAILLE David, WILLIS Pascal, "GPS : localisation et navigation par satellites", Lavoisier, 2005.
- [84] Joachim Tisal, "Le radiotéléphone cellulaire GSM", Elsevier Masson, 1995.
- [85] Documentations des équipements utilisés par Algérie Télécom, 2010.
- [86] <https://developers.google.com/maps/articles/?hl=fr>, 2012.

Chapitre IV

Nouvelles fonctions innovantes dans les applications m-health

Sommaire

IV.1 -L'application ITEST

IV.2 -La détection de chute chez les personnes âgées

IV.3 -Conclusion de ce chapitre

Dans ce chapitre, nous allons exposer deux exemples d'applications m-health, traduisant plusieurs contributions sur les techniques de traitement et de programmation dans un environnement mobile limité en se basant sur les modèles mentionnés dans les chapitres précédents.

IV.1-L'application iTEST

IV.1.1- Introduction

Le diabète et la cataracte sont les principales causes de cécité rétinienne pour des millions de personnes. Actuellement la détection du diabète et de la cataracte à partir d'images rétiniennes utilisant le rétinographe est très coûteuse et volumineuse. En outre, cette technique de détection n'est pas mobile et nécessite également des spécialistes pour effectuer l'opération. Par conséquent, notre contribution¹ présente une avancée spectaculaire qui se résume en un système m-health baptisé iTEST (intelligenT Eye Scrutiny for Treatment) peu coûteux comprenant un smartphone avec une lentille microscopique intégrée permettant aux patients dans les régions éloignées et isolées l'examen régulier de leurs rétines. Un algorithme de détection basé sur les réseaux de neurones (NN: Neural Networks) est utilisé pour analyser les images rétiniennes afin d'identifier les symptômes de la cataracte et du diabète chez les patients. Selon le modèle décrit dans le *chapitre 2*, nous avons implémenté l'algorithme sur un système d'exploitation mobile Android OS. Notre système m-health est mis en œuvre, testé et vérifié à travers une série d'expériences pour démontrer ses validations et capacités. Il offre un diagnostic rétinien automatique peu coûteux avec des taux de précision élevé (supérieur à 87%).

IV.1.2- Motivation

En comparant avec d'autres systèmes de télémédecine, il existe des développements limités sur la détection liée à la maladie de la rétine. En outre, la recherche a montré que le diabète et la cataracte sont les maladies clés qui causent la cécité rétinienne. Surtout, le nombre de patients diabétiques âgés de 64 ans et plus sera plus de 82 millions dans les pays émergents avec des conditions limitées d'ici 2022 et près de 40 millions de personnes vivant principalement dans les zones reculées dans les pays développés vont devenir aveugle à cause de la cataracte [120]. La (fig.4.1) montre également quelques exemples d'images rétiniennes saines et infectées respectivement pour le diabète et les conditions de la cataracte.

C'est particulièrement ce qui nous a motivés pour le développement d'une application m-health basée sur le diagnostic automatique pour identifier les maladies de la rétine.

¹ Abderrahim BOUROUIS, Mohammed Feham, Alamgir Hossain and Li Zhang, An Intelligent Mobile based Decision Support System for Retinal Disease Diagnosis, Decision Support System Journal - Elsevier (2013), impact factor: 1,6, accepted.

iTEST Invention, Silver Medal: The 5th International Invention Fair in The Middle East IIFME 2012 , Kuwait.

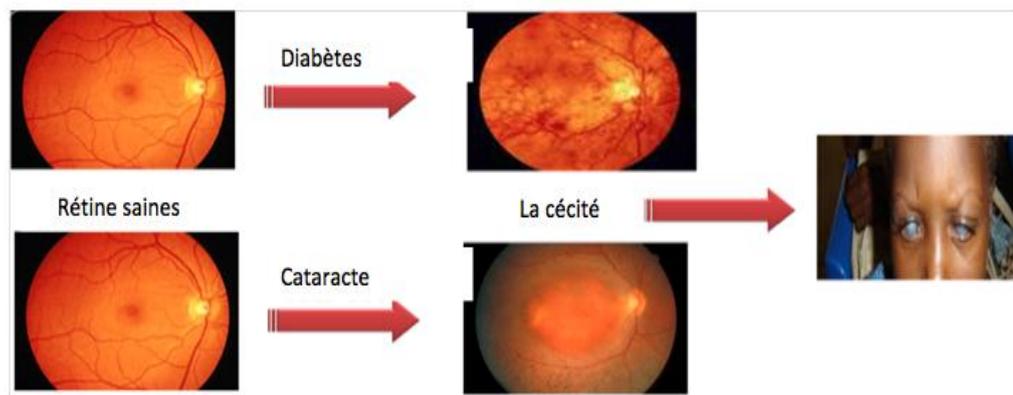


Figure 4.1 : Images rétiniennes saines et infectées causant la cécité

IV.1.3- Description de l'application iTEST

C'est une application mobile intelligente basé sur notre modèle m-health et sur une architecture de traitement local. Le but de l'application consiste à identifier les maladies rétiniennes. Elle utilise un algorithme de réseaux de neurones pour analyser des images rétiniennes de patients et effectuer le diagnostic de la maladie. Les réseaux de neurones sont d'abord entraînés avec des images rétiniennes saines et infectées sur un ordinateur, puis intégré dans une application Android selon notre choix décrit dans le *chapitre 2*. Après que les images rétiniennes sont capturées par la lentille microscopique attachée au smartphone, une série d'API de traitement d'image est également utilisée pour analyser les images réelles. La sélection d'un nombre optimal de neurones pour la mise en oeuvre de l'algorithme est également réalisée. Nous allons présenter des expériences utilisant 260 images rétiniennes extraites de deux bases de données médicales bien connues (DIARETDB0 et bases de données STARE) afin d'évaluer l'efficacité du système [113, 115,116]. La base de données des images DIARETDB0 est spécialement conçue pour être une référence de développement de méthodes de détection de la rétinopathie (diabète). Elle comprend des images rétiniennes saines et infectées avec diverses causes médicales, par exemple le diabète, la cataracte et le Drusen. Dans notre application, nous concentrons nos efforts de recherche particulièrement sur la détection des problèmes de la rétine causée uniquement par le diabète et la cataracte. L'algorithme est implémenté, testé et vérifié sur le système Andoid OS. Par la suite nous allons montrer quelques algorithmes et méthodes qui relatent bien nos contributions sur le traitement, le temps de réponse et la conservation d'énergie.

IV.1.4- Discussion détaillée sur les travaux connexes & différenciation

Dans cette partie, nous discutons quelques systèmes de décision liée aux services médicaux et de diagnostic. Nous allons présenter deux de ces systèmes: les systèmes assistés par ordinateur et les systèmes assistés par smartphones.

Plusieurs techniques de calcul ont été proposées dans la littérature pour la détection des anomalies de vue et de maladies rétinienne. Les auteurs dans [87] ont appliqué un classificateur bayésien basé sur les caractéristiques de couleur pour détecter des maladies rétinienne. Ils ont utilisé un algorithme complexe qui combine une méthode de réglage de la luminosité par des classificateurs statistiques. Leur système atteint des taux de précision raisonnables, mais il nécessite une grande capacité de traitement. Les techniques de développement et de répartition d'images en niveaux de gris ont été décrites dans [88] pour le diagnostic des anomalies oculaires. L'idée était basée sur une méthode supervisée pour la détection des vaisseaux sanguins dans les images de la rétine. Ils ont utilisé un système de réseaux de neurones pour la classification des pixels sous forme d'un vecteur à sept dimensions composé de plusieurs niveaux de gris. Par rapport aux autres solutions existantes dans la documentation, cette méthode est simple et facile à mettre en œuvre mais il faut relativement plus d'outils et de ressources. Des techniques d'exploration des données (data mining) et les systèmes d'aide à la décision sont également utilisés pour la détection d'anomalie oculaire. Par exemple, les chercheurs dans [89] ont exploité un algorithme d'aide à la décision pour le diagnostic différentiel des tumeurs intra-oculaires en utilisant des paramètres à partir d'images de l'œil. Dans [90] les auteurs ont également proposé un algorithme de contrôle du vaisseau sanguin rétinien, en mesure de fournir des informations sur l'état de la rétine et pouvant être calibré pour des diamètres de vaisseaux sanguins normaux. Ils ont utilisé cette approche afin de détecter la rétinopathie diabétique. Un autre analyseur intégré, présenté par [91], quantifie et surveille la présence de micro anévrysmes dans les angiographies rétinienne de fluorescéine. Par ailleurs, les réseaux de neurones multicouches pour la détection de lésions dans des images rétinienne à niveaux de gris ont été discutés dans [92]. Ce système n'avait pas été correctement évalué en utilisant une grande dimension de vecteurs d'entrée. Dans [93], l'auteur a également décrit l'utilisation des réseaux de neurones artificiels multicouches, capable de distinguer les maladies oculaires. L'analyse a été basée sur la sélection d'un nombre optimal de neurones cachés et il a effectué l'analyse en isolant les composantes principales pour l'optimisation du système.

Au cours des dernières années, des efforts ont également été déployés pour le développement des systèmes intelligent m-health. Dans le *chapitre 2* nous avons présenté quelques travaux, mais nous n'avons pas trouvé dans la documentation des travaux connexes sur le développement du m-health pour la détection des maladies rétinienne. Mais par contre, il y avait de nombreuses applications qui utilisent des décisions intelligentes et emploient des algorithmes de classification, soit au niveau du serveur ou sur le cloud, soit au niveau local c.à.d. sur smartphone. La majorité de ces contributions n'a pas considéré l'optimisation de l'application du côté client (par exemple, Smartphones). Par conséquent, nous nous intéressons à ce problème d'optimisation en fixant des objectifs à d'atteindre caractérisés par un taux de précision élevé et une faible complexité de traitement (par exemple: le temps d'exécution et la consommation d'énergie). En général il y a trois facteurs essentiels

qui influent sur les méthodes d'optimisation, y compris le choix de matériel, de plateformes de développement et des architectures logicielles (voir notre contribution dans le *chapitre 2*).

Par exemple, dans [107] les auteurs ont utilisé l'algorithme SVM (machine à vecteurs support) dans un système de reconnaissance des activités. L'apprentissage de cette technique a été réalisé à l'aide d'un ordinateur. Le modèle a été implémenté sur un Nokia N95. Sous le système Symbian OS, la bibliothèque de LIBSVM prédéfini a été initialement écrite en C et le système est d'une grande complexité. En outre, les exigences de calcul et la mémoire de leur classificateur SVM étaient assez élevées dans un environnement mobile. En plus, le choix du matériel et la stratégie de développement employée dans leur système ont montré les limites d'optimisation. Dans [108] les chercheurs ont combiné le modèle de mélange gaussien (MGG) et la SVM pour l'utilisation sur un Nokia N95 afin de détecter automatiquement les contextes de l'utilisateur. Leur méthode de détection et les algorithmes de classification utilisés ont consommé une quantité considérable d'énergie, car la plateforme J2ME sous Symbian contient des API limitées pour la gestion des ressources et des processus. Dans [109] l'auteur a décrit un système de réseaux de neurone sur terminal mobile pour détecter les activités de l'utilisateur. Son système utilise une architecture complexe intégrant six réseaux de neurones multicouches, une pour chaque activité. De nombreux problèmes d'optimisation liés à la consommation d'énergie et de temps de calcul du système n'ont pas été examinés.

En comparaison avec les autres travaux mentionnés précédemment, notre système vise à adapter les réseaux de neurones sur Smartphones par l'utilisation de nouvelles méthodes de programmation et d'optimisation. Nous avons développé une plateforme Java pour faire l'apprentissage sur ordinateur puis transmettre la même topologie du NN sur smartphone sous forme d'une bibliothèque Android. De cette façon, nous maintenons effectivement la fiabilité et l'efficacité de ce système m-health de diagnostic intelligent. Par la suite, nous allons détailler notre algorithme de détection et d'optimisation de ressources du smartphone.

IV.1.5- Architecture du système et méthodologie

Notre application iTEST constitue un système intelligent mobile de diagnostic pour la maladie de la rétine. Elle est traduite par un logiciel riche et entièrement fonctionnelle avec une interface utilisateur conviviale pour faciliter la tâche d'analyse des images rétinienne et effectuer un diagnostic. L'approche est basée sur les réseaux de neurones partagés entre l'ordinateur d'apprentissage et un smartphone sous Android pour la classification d'images en deux états anormale/ normale. Pour parvenir à une solution efficace, tout d'abord, l'algorithme est entraîné et testé sur un ordinateur en utilisant des bases de données rétinienne avec les états sains et infectés. Ensuite, le NN entraîné est installé dans un smartphone sous forme d'un fichier APK (application package file) capable de faire les diagnostics. Dans la phase de test, une lentille microscopique à bas coût est également utilisée et fixée sur un smartphone,

pour recueillir des images rétiniennes des usagers. Une telle lentille microscopique permet au système de capturer une image haute résolution et donc offrir de meilleures performances pour le diagnostic. Diverses techniques d'optimisation, efficaces pour effectuer un diagnostic en temps réel et offline, ont également été prises en compte dans cette étude afin de fournir une solution intelligente sur le terminal mobile. La (fig.4.2) montre l'architecture de ce système.

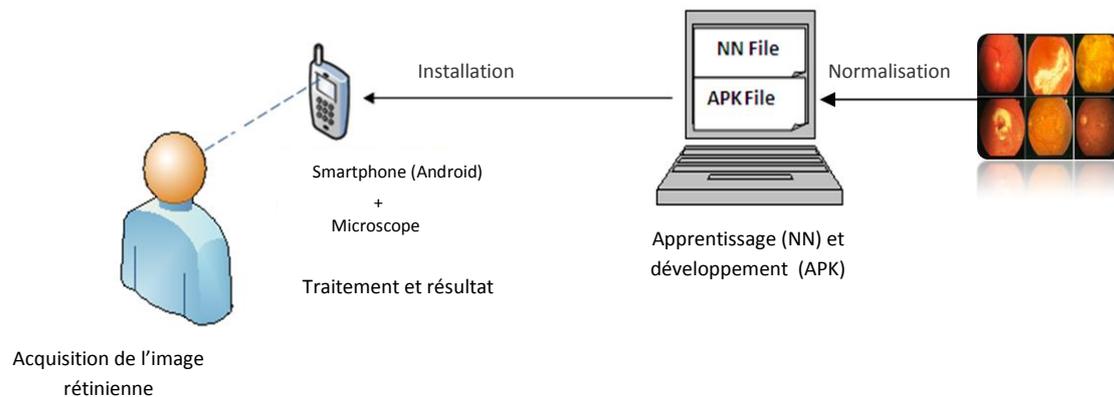


Figure 4.2: Architecture du système iTEST

Afin de rendre le système fonctionnel dans un environnement à capacité de traitement limitée, l'apprentissage intensif ne doit pas être réalisé sur le terminal mobile. Il n'est pas aussi nécessaire de le faire à chaque fois pour chaque diagnostic. Notre algorithme NN est formé et optimisé pour analyser les images de test en quelques secondes. Par conséquent, il est capable d'effectuer une évaluation rapide d'un grand nombre de tests.

En outre, Android OS de Google est choisi pour cette application suite à l'évaluation effectuée dans le *chapitre 2 (II.5)*. Comme avantage, Android est basé sur un noyau Linux facile à modifier et à adapter à notre application. Le SDK Android fournit toutes les fonctionnalités de bases telles que les pilotes de périphériques, la mémoire, la gestion des processus, les réseaux et la sécurité pour permettre le stockage et le traitement de données flexibles, fiables et portables [110]. Au cours des dernières années, les ressources dans les smartphones se sont aussi considérablement améliorées par rapport aux anciennes générations d'appareils mobiles. Avec un CPU de 1.2 GHz et une RAM de 512 Mo, ces configurations peuvent permettre d'exécuter des tâches plus complexes qu'un simple stockage et transmission de données. Par conséquent, les Smartphones Android offrent des avantages supplémentaires pour les développeurs et les utilisateurs.

IV.1.5.1-Méthodologie

Le premier smartphone utilisé dans ce travail est le Samsung Galaxy S GT-I9000, fourni avec une version non modifiée de l'OS Android 2.3.4. L'application a également été testée avec la version 2.3.4 rootée. En règle générale, un smartphone

Android rooté a un contrôle complet du logiciel et du matériel de l'appareil qui rend toutes les caractéristiques et fonctions facilement accessibles.

Dans notre système, le smartphone a été relié à un microscope commercial, avec une lentille microscopique x100 et x500 afin de capturer des images rétiniennes de haute qualité. Les API permettent également un accès facile aux fonctions de traitement d'image et de contrôle de l'appareil photo rattachée au microscopique. Par exemple, l'API android graphics fournit des classes graphiques de bas niveau (Bitmap, BitmapFactory, Appareil photo, etc.) et des outils (filtres de couleur et compresseurs d'image) [111]. Ces fonctions facilitent l'extraction d'images rétiniennes de haute qualité et offrent une approche robuste et évolutive pour le diagnostic automatique. *La (fig.4.3) montre une image rétinienne capturée par notre lentille microscopique.*

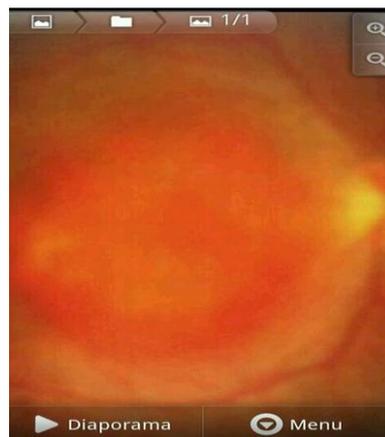


Figure 4.3 : Image rétinienne capturée par notre lentille microscopique

IV.1.5.2- Description de l'algorithme de classification des images rétiniennes

Comme mentionné avant, nous employons dans cette recherche un réseau de neurones multicouches sur le smartphone pour effectuer la classification et le diagnostic des images. Les réseaux de neurones sont généralement bien connus pour les tâches de classification et de reconnaissance des formes. La perceptron multicouche (MLP) basée sur le Back propagation est aussi l'un des algorithmes classiques des NN (voir annexe 2). C'est un classificateur linéaire en plusieurs couches au sein desquelles une information circule de la couche d'entrée vers la couche de sortie uniquement. Il s'agit donc d'un réseau de type feed forward. Chaque couche est constituée d'un nombre variable de neurones, les neurones de la couche de sortie correspondent toujours aux sorties du système (*fig.4.4*) [112]. Cette technique est choisie en raison de ses performances prometteuses et sa robustesse de modélisation selon le problème étudié.

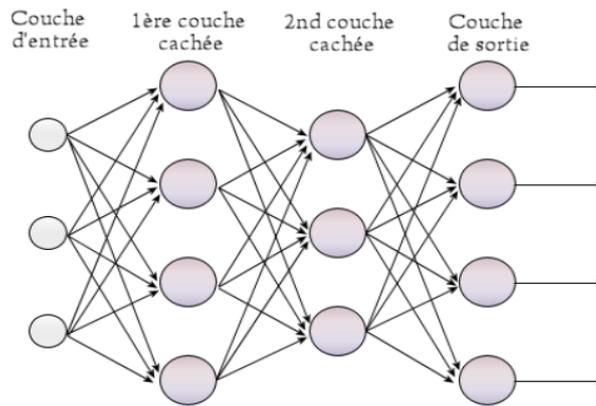


Figure 4.4 : Topologie des réseaux de neurones perpétrons multicouches

Comme indiqué précédemment, afin d'utiliser les réseaux de neurones sur un smartphone avec des conditions de traitement limitées par rapport aux autres machines, nous sommes obligés d'optimiser l'utilisation du processeur et les ressources de la batterie. Cela signifie que la complexité du système doit être réduite autant que possible. Ces contraintes nous ont incité à utiliser un réseau de neurones entraîné à l'aide d'un ordinateur, et ensuite exporté vers le smartphone. Nous avons tout d'abord développé une plate-forme Java pour effectuer l'apprentissage du NN. Nous avons utilisé 40 images de rétines saines et 20 images de rétines infectées. Ces images d'apprentissage sont référencées dans la base de données d'ophtalmologie médicale DIARETDB0. Après cette opération, les données du NN entraîné sont enregistrées dans un fichier spécifique. Nous avons développé également une bibliothèque `nncig.jar` qui sera appelée et chargée dans notre application Android. Dans l'ensemble, la plate-forme (Framework) utilisée dans la phase d'entraînement a trois fonctions: la normalisation, l'apprentissage et le stockage (*fig 4.2*). La première fonction de normalisation convertit l'image rétinienne dans la taille de 32x32 et la transforme en un vecteur unidimensionnel (RGB) pour mémoriser toutes les informations de pixels (les couleurs et les coordonnées). La deuxième fonction entraîne les réseaux de neurones en utilisant les images normalisées. La dernière fonction permet d'enregistrer les réseaux de neurones formés dans un fichier Java adapté à notre bibliothèque `nncig.jar`. Une fois que le système est formé, il a la capacité d'analyser une image test et d'effectuer un diagnostic en temps réel.

Par ailleurs, en comparaison avec le travail de Gardner et al. Mentionné dans les travaux connexes [92], les auteurs ont utilisé des images rétinienne grises pour un système de diagnostic assisté par ordinateur. Notre travail de recherche utilise des images en couleurs et assisté par un smartphone (application m-health); ce qui constitue une autre contribution de notre part. Les images en couleurs sont présentées comme des vecteurs à une dimension contenant des valeurs de pixels rouges, verts et bleus. L'entrée du réseau de neurones est donc représentée par n dimensions d'une image rétinienne colorée ($n = \text{imageHeight} * \text{ImageWidth} * 3$). Par exemple, pour une image colorée rétinienne représentée par 32x32 pixels et pour chaque pixel, l'application utilise des coordonnées rouges, verte et bleue pour

représenter la couleur de ce pixel. Par conséquent, la couche d'entrée du réseau de neurones possède 3072 ($32 * 32 * 3$) nœuds d'entrée.

En se basant sur l'état de l'art des méthodes de classification des images en utilisant des algorithmes de réseaux de neurones, présenté dans l'article [117], notre algorithme est original par son nouveau concept de segmentation et de transformation d'image, basé seulement sur un vecteur RGB d'une seule dimension contenant toutes les informations d'image. Ce vecteur est considéré comme entrée de notre système NN (Voir fig.4.5). L'avantage d'utiliser la segmentation est la compatibilité avec toutes les API et les outils de développement dans un environnement mobile.

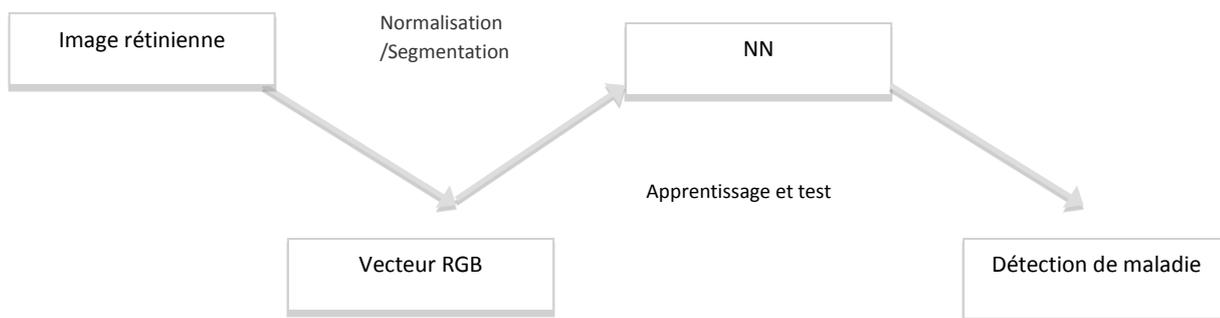


Figure 4.5 : La chaîne de traitement d'une image rétinienne

Afin de trouver la meilleure topologie du NN, nous avons également appliqué et testé les configurations de la couche cachée avec des neurones allant de 4 à 20. Il existe beaucoup de techniques pour la conception de la topologie d'apprentissage du réseau de neurones, mais la méthode d'essai et d'erreur (trial and error) est l'une des approches les plus répandues pour la construction des réseaux de neurones dans le domaine [93, 112, 114]. Dans le travail de Gardner et al. [92], après plusieurs essais et expériences d'erreur, 12 neurones dans la couche cachée sont sélectionnés pour leur topologie car elle conduit à des résultats plus optimaux comparativement avec d'autres paramètres de neurones.

Par conséquent, la topologie du réseau NN de notre application iTEST est comme suite: la couche d'entrée avec 3072 nœuds, une couche cachée de 12 neurones et la couche de sortie avec deux nœuds représentant respectivement les classes normales et anormales pour les conditions de la rétine. La fonction sigmoïde est également utilisée pour le calcul de la sortie finale du réseau de neurones. La (fig.4.6) montre la procédure d'apprentissage du réseau de neurones et la (fig.4.7) montre la topologie du réseau.

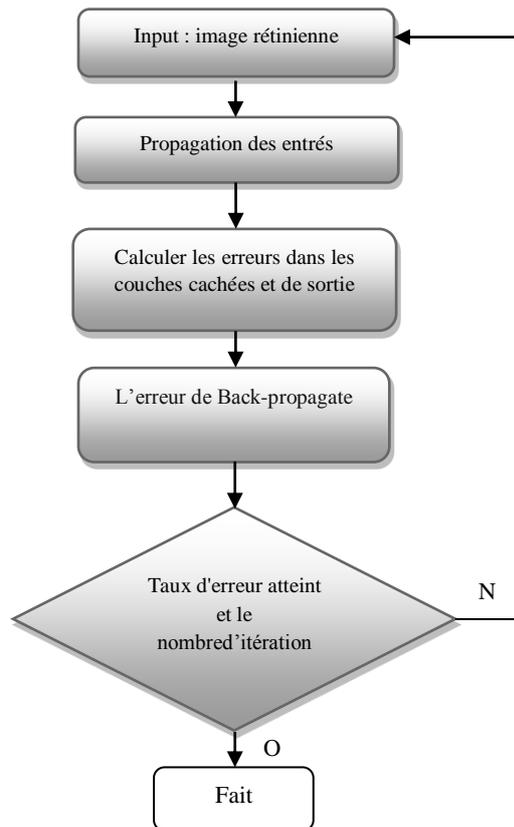


Figure 4.6 : Le principe de l'apprentissage du réseau de neurones

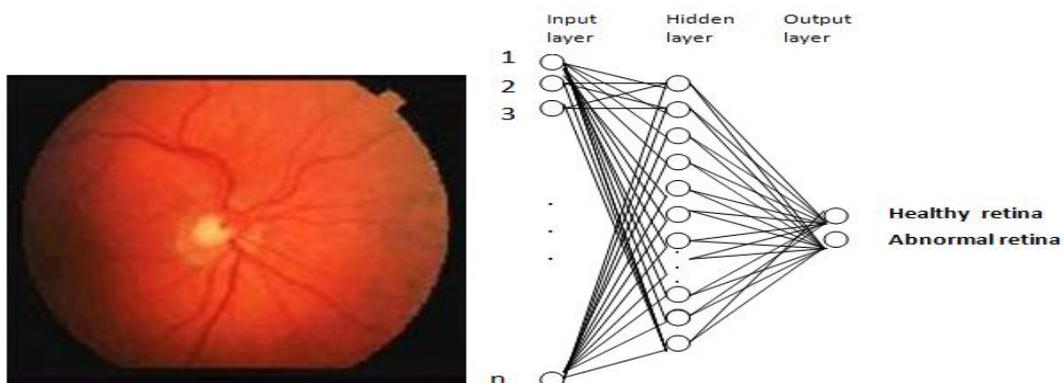


Figure 4.7 : La topologie du réseau de neurones dans notre application iTEST

Cette application iTEST est développée en utilisant le SDK d'Android et l'IDE NetBeans. Les fonctions de base de l'application sont illustrées dans la (fig.4.8).

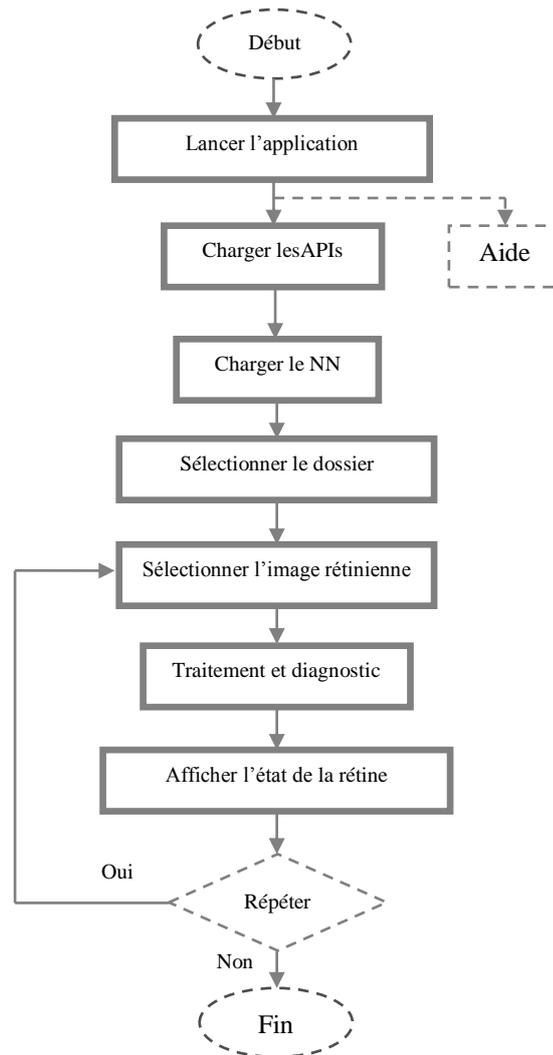


Figure 4.8 : Fonctionnement de l'application iTEST

IV.1.6- L'algorithme ETC2 dans l'application iTEST

Android fournit un ensemble complet d'API pour permettre l'accès aux composants de bas niveau du système d'exploitation du smartphone. Par exemple, nous pouvons appliquer nos algorithmes de Duty cycle mentionnés dans le *chapitre 3* afin de gérer les ressources et désactiver quelques fonctions inutiles. Nous allons utiliser par la suite la méthode Root afin d'implémenter un algorithme qui a le même principe de l'algorithme ETC afin d'augmenter la durée de la batterie et la capacité de calcul du smartphone lors de l'exécution de notre application.

Sous Andoid, nous ne pouvons pas appliquer directement l'algorithme ETC sans passer par la méthode Root qui rend le système fonctionnel sur le mode de super-utilisateur ou administrateur au lieu d'un simple développeur ou utilisateur. Avec cette méthode, nous pouvons facilement surmonter ces limites et utiliser la puissance

du processeur pour exécuter nos applications. Afin de compenser l'utilisation excessive de la batterie par le processeur et augmenter les performances, nous avons conçu un algorithme dérivé de l'algorithme ETC et baptisé ETC2. Dans ce dernier, nous avons, entre autres, forcé certains capteurs d'être en mode veille et d'en faire l'usage de la batterie que par les capteurs actifs nécessaires.

En plus, la méthode Root peut être utilisée pour gérer les activités (applications) Android pour contrôler la mémoire de l'appareil mobile. Par exemple, s'il ya une activité nouvellement exécutée (exemple, un appel entrant) lorsque l'application de diagnostic est active (l'activité en cours d'exécution a la plus haute priorité), notre système est capable de changer l'état de l'activité et transformer notre demande en pause avec la réservation de son statut de traitement actuel.

Entre autres, la luminosité de l'écran consomme le plus d'énergie dans les smartphones sous Android. Une fois l'application lancée, notre algorithme ETC2 sera activé afin de réduire la vitesse de défilement de l'écran et diminuer la luminosité. Cet algorithme modifie la couleur de fond de l'écran de sorte qu'il consomme moins d'énergie.

Finalement, notre algorithme, basé sur le Duty Cycle, est considéré comme la technique clé pour l'optimisation de l'utilisation de la batterie ainsi que l'augmentation de la performance des ressources telles que la RAM et le CPU. Notre algorithme a trois fonctions 1) Désactivation des capteurs et des activités (applications) non utilisées 2) Activation des services à la demande, basée sur les besoins des utilisateurs. 3) l'optimisation des sources de consommation (*fig. 4.9*).

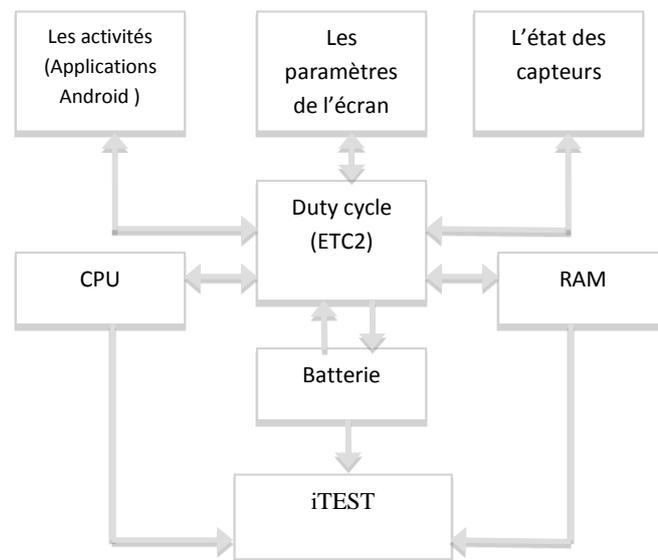
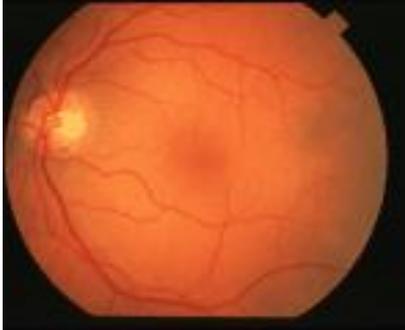


Figure 4.9 : Algorithme de gestion des ressources ETC2

IV.1.7-Expériences et résultats

Notre travail a été conçu et développé pour distinguer entre les cas anormaux et les cas normaux de la rétine. L'anomalie oculaire pourrait être causée par de nombreux facteurs, par exemple la cataracte ou le diabète. Dans notre application, nous avons considéré la détection d'anomalies de l'œil liées à la fois au cataracte et au diabète. Pour l'évaluation, nous utilisons également deux bases de données d'images médicales, DIARETDB0 et STARE, afin de tester notre système de diagnostic sur smartphone. La base de données d'image DIARETDB0 est considérée comme une référence pour soutenir le développement de méthodes de détection de la rétinopathie diabétique. La base de données STARE contient des images rétinienne saines et malades avec diverses causes médicales, par exemple le diabète, la cataracte et Drusen.

Pour l'apprentissage du réseau de neurones mentionné auparavant, nous avons utilisé 20 images rétinienne normales et 40 cas anormaux aux résolutions 32x32 extraites d'une base de données ophtalmologie, DIARETDB0. Après obtention d'un taux d'erreur réduit à 0,0099 au stade de l'apprentissage, l'application de réseau de neurones mobile stocké dans un fichier APK, a permis le classement des 60 images de rétine dont (20) normales et (40) anormales. Ces images de test sont également extraites de la même base de données ophtalmologie [113]. Quelques résultats de test sont présentés dans le *tableau 4.1*.

Les images de test	Normale/ infectée	En cas d'infection, une description de l'état (par exemple causée par le diabète ou d'autres maladies si applicable)
	Infectée	Rétinopathie diabétique
	Normale	N/D

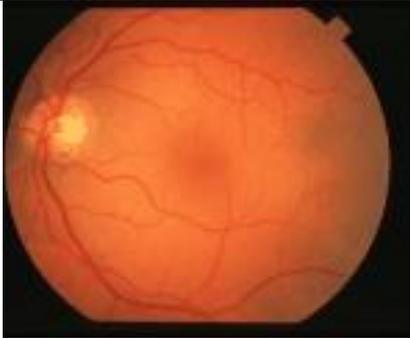
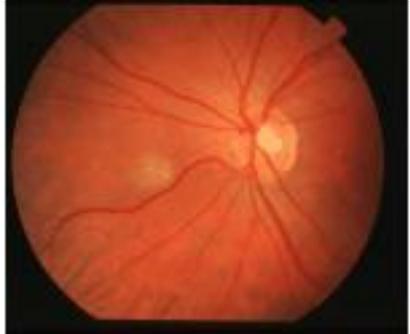
	Normale	N/D
	Normale	N/D
	Infectée	Rétinopathie diabétique

Tableau 4.1 : Exemples de test utilisés par notre application (BD. DIARETDB0)

Les résultats de l'évaluation fournis dans le tableau 4.2 indique le taux de précision de détection d'anomalies de la rétine est de 98% lorsque les images numérisées sont converties en (32x32).

L'analyse des résultats du *tableau 4.2* est présentée dans ce qui suit. Comme mentionné précédemment, notre système de diagnostic sur mobile est formé en utilisant des images avec des résolutions (32x32). Toutes les images de test capturées en utilisant la lentille microscopique attaché au smartphone, sont converties alors en (32x32). Comme le système est entraîné en utilisant des images avec cette résolution, notre système a atteint un taux de précision de 98. Dans l'ensemble, les résultats de l'évaluation de cette expérience montrent des performances accrues du système.

Resolution	Precision
32x32	98%

Tableau 4.2 : Taux de précision de détection pour les 60 images de test

En outre, la vitesse de chargement et le temps de réponse de l'application à la fois rootée et sans root sont également évalués. On observe qu'avec la méthode root et en appliquant l'algorithme ETC2, le temps d'exécution (RT) de l'application est 2,91 fois plus rapide que la méthode sans root. En revanche, pour le temps de réponse (RPT), avec la méthode root et l'algorithme ETC2, il est d'environ 3,64 fois plus rapide que sans root (tableau 4.3). Il est également à noter que, pour l'application sans root, le RPT est d'environ 13,33 fois plus rapide par rapport au RT. En revanche dans le cas de l'application rootée, le RPT est d'environ 16,67 fois plus vite que le RT.

Contexte	Sans root	Avec root	Rapport sans root/root
Temps d'exécution (RT) en sec	32	11	2.91
Temps de réponse (RPT) en sec	2.4	0.66	3.64
La vitesse relative (RT/RPT)	13.33	16.67	N/A

Tableau 4.3 : Influence de l'algorithme ETC2 avec et sans root sur notre application iTEST

De plus, lorsque nous comparons les résultats de notre système iTEST avec un autre système décrit dans [102], où nous avons utilisé les réseaux de neurones sur nuages (Cloud Computing) basés sur les protocoles de transfert HTTP, nous constatons que dans un environnement à conditions limitées, les réseaux de neurones locaux sont beaucoup plus rapides que le traitement à distance basés sur le Cloud. On remarque que le temps d'exécution de notre système est d'environ 120 fois plus rapide par rapport au réseau de neurones de type Cloud présenté dans [102]. Il est à noter que les deux tests ont été évalués dans les mêmes paramètres de configuration dans des conditions limitées: 205 Kbps (26 Ko / s) et 442 Kbps (55 Ko / s).

Nous avons testé aussi l'aspect consommation d'énergie pour l'application iTEST avec et sans root, puisqu'il s'agit d'une contrainte très importante pour les applications m-health. Comme indiqué précédemment, l'application présentée ici est optimisée par l'algorithme ETC2. La (fig.4.10) montre les différences entre la durée de vie de batterie dans le cas rooté et non rooté. L'évaluation indique que le système rooté est capable de travailler plus de 14 heures.

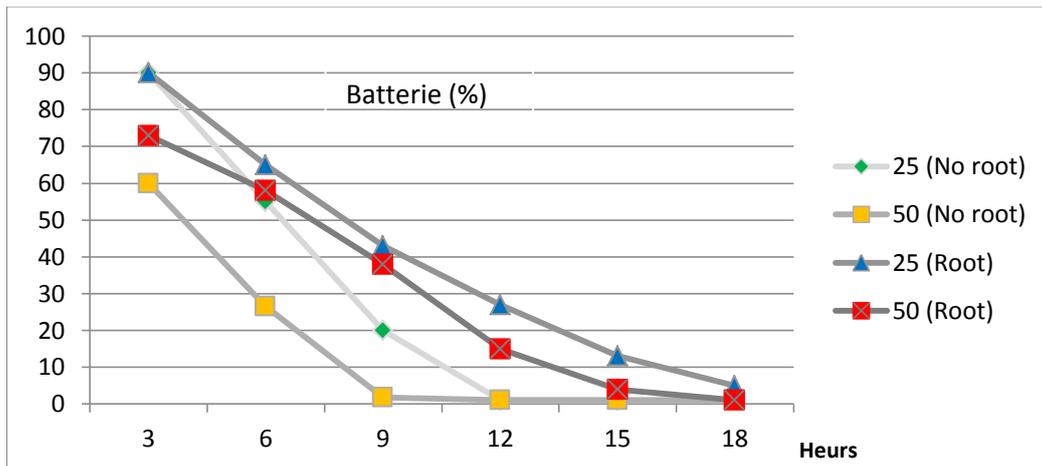
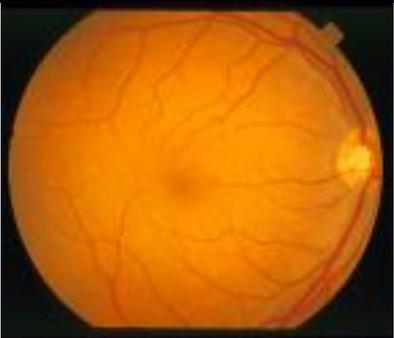


Figure 4.10 : Rapport entre la consommation d'énergie et le nombre de test avec la durée de batterie (Heurs) dans le cas rooté (ETC2 appliqué) et non rooté.

Une autre expérience a été menée avec un autre type de smartphone Galaxy SII qui possède des ressources plus importantes (1.4 GHZ dual core CPU et 1GB de RAM), avec Andriod OS v2.3.4. Les réseaux de neurones entrainés sont utilisés pour classifier 200 nouvelles images de test avec 130 exemples tirés de la base de données ophtalmologie (DIARETDB0) et 70 autres exemples d'images extraites de la base de données SATRE. Parmi les 200 images d'essai, il y a 160 images représentant des rétines infectieuses et 40 pour les cas sains. Quelques exemples d'images de test sont illustrés dans le *tableau 4.4*. Les résultats de l'évaluation de cette deuxième expérience sont présentés dans le *tableau 4.5*.

Les images de test	Normale/Infectée	En cas d'infection, une description de l'état (par exemple causée par le diabète ou d'autres maladies si applicable)
	Normale	Drusen (premier stade)

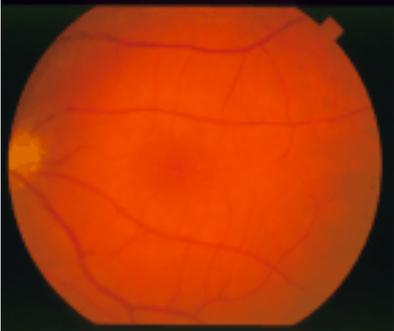
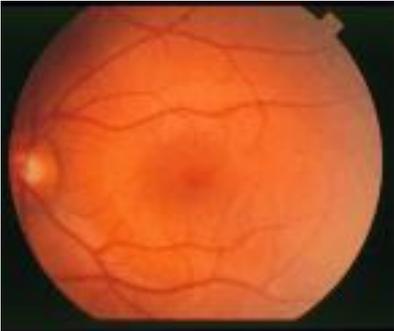
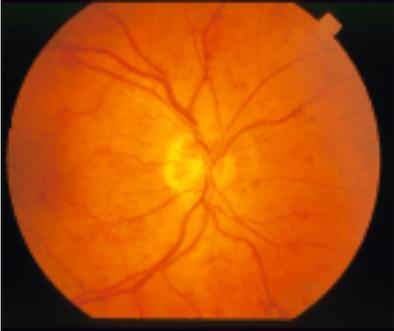
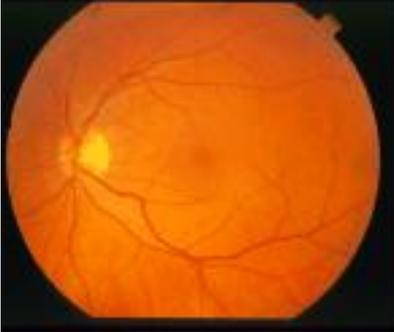
	Infectée	Cataracte(premier stade)
	Normale	N/D
	Infectée	Rétinopathie diabétique
	Normale	N/D

Tableau 4.4 : Exemple d'images test de la deuxième expérience

Images rétiniennes (32x32)	Taux de détection
Les images anormales	91.87%
Les images normales	87.5%

Tableau 4.5 : Résultats de test pour la deuxième expérience avec 200 images rétiniennes

IV.1.8-Evaluation de la consommation d'énergie de l'application iTEST

Les simulateurs les plus populaires de la consommation d'énergie sous Android OS sont PowerTutor et PowerProfile. Le premier est une application Android qui calcule la consommation d'énergie du CPU, écran, GPS, Wifi, et toutes les applications en cours d'exécution sur le système [119]. Il utilise les ressources internes Android telles que `android.content.Context`, `com.android.internal.util.XmlUtils` et `org.xmlpull.v1.XmlPullParser`.

Après l'installation de l'application PowerTutor sur Galxy S2 avec et sans root (ETC2 activé) en parallèle avec notre application iTEST, nous avons obtenu les résultats mentionnés dans la (fig.4.11). Cela nous permet de conclure que notre système mobile iTEST est considéré comme solution verte (consommation réduite d'énergie) en utilisant notre algorithme ETC2.

En effet, nous avons testé notre application iTEST en continue. En moyenne, cette application consomme environ 13mW sans root et 8mW avec root. Nous pouvons observer facilement la réduction de la consommation d'autres applications et services (tels que le processeur, l'écran et capteurs) après l'implémentation de l'algorithme ETC2.

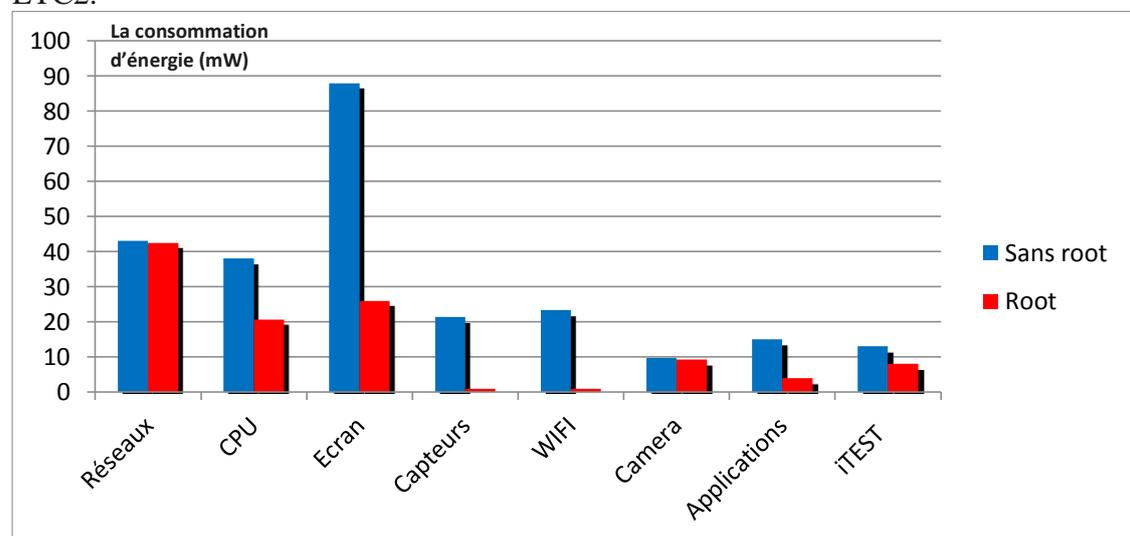


Figure 4.11 : Validation de l'algorithme ETC

IV.2-Application m-health pour la détection de chute chez les personnes âgées

Cette application m-health est basée sur une méthode intelligente de détection de chute chez les personnes âgées. Cette solution intelligente, développée pour des Smartphones sous Android, est basée sur le Web ou l'alerte online. Dans ce cadre, nous avons conçu et développé trois systèmes de détection; il s'agit notamment de : (i) Système basé sur l'accéléromètre, (ii) Accéléromètre, audio et pièce magnétique (iii)

l'algorithme de classification naïve bayésienne sous Android. Les programmes proposés sont mis en œuvre, testés et vérifiés à travers un ensemble d'expériences pour démontrer leurs mérites et leurs capacités. Ainsi, cette application m-health offre la détection de chute automatique à faible coût et avec une très grande précision. Notre application exploite l'alerte par SMS et par services Web pour la surveillance des personnes âgées.

IV.2.1-Motivations et travaux connexes

La peur de tomber et les conséquences de la chute réelle sur la santé et le bien-être des personnes âgées sont importantes. Diverses statistiques montrent que 40% à 73% des personnes de plus de 60 ans, qui sont tombés ont la peur de retomber et la moitié de ces personnes limitent leurs activités. Cette crainte peut diminuer leur qualité de vie et dégrader leur capacité à effectuer des activités quotidiennes [120].

Environ 33% des personnes âgées tombent chaque année et les conséquences de la chute sont des changements de vie [121].

Les chutes des personnes âgées représentent l'un des principaux défis de santé auxquels sont confrontés de nombreux pays à travers le monde.

Différentes technologies telles que les dispositifs et les capteurs sont utilisées. Par exemple, l'utilisation des capteurs permettraient aux médecins et membres de la famille de surveiller les personnes contre les chutes. Toutes les techniques de détection de chutes étudiées dans la documentation peuvent être divisées en trois catégories: la détection basée sur l'accéléromètre, sur le classement de mouvement et sur les méthodes visuelles.

➤ *Les méthodes basées sur l'accéléromètre*

Les accéléromètres portables sont utilisés par [122] pour déterminer et surveiller la chute libre. Dans [123] les auteurs ont placé un accéléromètre MEMS à trois axes sur les épaules. Ils ont utilisé un seuil d'accélération de pointe absolu pour détecter les chutes. Un moniteur d'activité et un détecteur de chute utilisant un smartphone est décrit dans le projet [124]. Dans [128], les auteurs ont utilisé l'accéléromètre intégré dans les smartphones pour recueillir les accélérations et mesurer le niveau de l'activité humaine. Le téléphone mobile considéré comme un pont entre les capteurs de l'accéléromètre et un serveur distant qui exécute l'algorithme de détection de chute. La précision de ce système est bonne, mais toute l'intelligence est dans le côté du serveur et il a besoin de temps pour traiter la chute. Une autre idée est proposée dans [127]. Elle consiste à utiliser un téléphone mobile pour interroger l'utilisateur sur son état de santé basé sur le signal d'accélération.

➤ *La classification basée sur le mouvement*

L'approche de classification basée sur le mouvement est présentée dans [130, 131, 132]. Elle stocke tous les comportements de l'utilisateur détectée dans une base de

données pour de nombreuses activités. Ce type de système peut être utilisé pour reconnaître les différents comportements des utilisateurs et pour détecter l'état de chute. Toutefois, la collecte des données pour chaque activité de la vie quotidienne est délicate.

➤ *Les méthodes visuelles*

La détection visuelle de chutes basée sur des techniques de traitement d'image est proposée dans [125, 126]. L'avantage de cette méthode est le taux de détection élevé. Cependant, elle nécessite une caméra avec la configuration de l'environnement. Cette méthode possède des limites de détection et d'acceptabilité. La zone de contrôle et de détection est limitée à l'environnement intérieur, aussi la confidentialité et la vie privée des personnes sont compromises.

Dans notre travail nous proposons une solution basée sur le Web pour la détection de chute en utilisant des capteurs du smartphone.

Nos contributions dans cette application sont les suivantes:

- La communication et les services de localisation sont critiques dans un système de détection de chute et sont ignorés par la plupart des chercheurs. Notre système résout ce problème en ajoutant une composante de communication et l'emplacement d'un algorithme hybride de localisation GPS / GSM précis et fiable, basé sur les résultats du *chapitre 3 (III.3.2.4.1)*.
- Nous avons conçu une solution de détection de chute à faible coût en utilisant les capteurs intégrés au smartphone.
- Nous allons décrire deux cas de détection de chute. Le premier est un procédé de détection basé sur l'accélération et le second est conçu pour utiliser deux entrées pour améliorer la précision du système. L'un est l'entrée audio utilisant un capteur sonore du smartphone et l'autre utilise une pièce magnétique portée par les personnes âgées pour être détectée par le capteur de champ magnétique du smartphone.

IV.2.2-Principe et méthodologie

Afin de détecter les chutes, nous proposons l'architecture illustrée dans la (*fig.4.12*). Grâce à une connexion TCP/IP, les données recueillies par le smartphone sont transmises à un serveur pour le stockage et le traitement. Les données collectées comprennent des informations de l'accéléromètre, des messages d'alerte et de localisation. En utilisant ces données, les utilisateurs ou les membres de la famille peuvent contrôler l'activité des personnes âgées et leurs emplacements et ils seront avertis par SMS et le service Web lorsqu'une chute est détectée. Il est à noter que seuls les utilisateurs autorisés peuvent accéder aux données par des sessions sécurisées. Le smartphone exploite le réseau 2G/3G pour transmettre des données vers un serveur en utilisant le protocole UDP basé sur le TCP/IP et adapté aux conditions limitées (*fig. 4.12*).

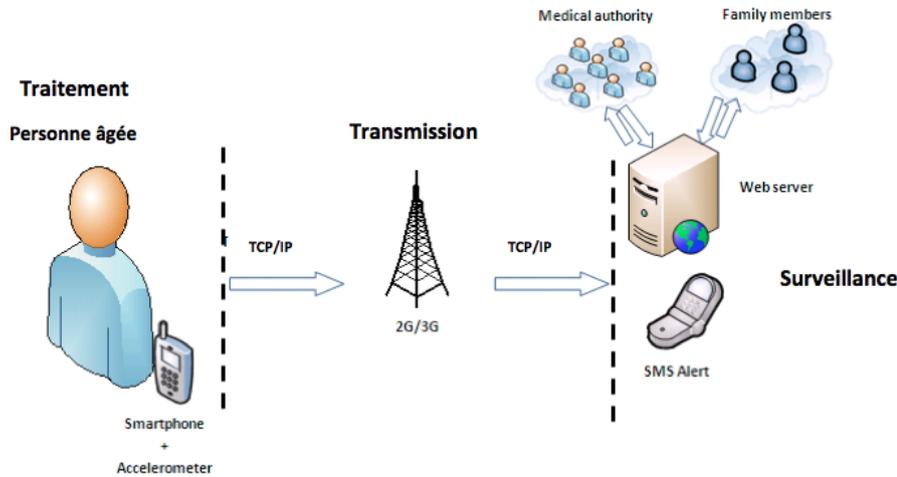


Figure 4.12 : Architecture du système de détection de chute chez les personnes âgées

Notre système fonctionne à la fois sur le serveur Web et sur Android, les interfaces de programmation (API) permettent l'accès et le contrôle des paramètres de communication, de localisation et l'accéléromètre. L'architecture du système est basée sur le modèle m-health.

Dans une première méthode, nous avons utilisé un accéléromètre pour mesurer les valeurs d'accélération dans les directions x, y et z. Par exemple, lorsque le smartphone est incliné vers la droite, la valeur de x est positive et elle est négative lorsque le dispositif est incliné vers la gauche (le côté droit est surélevé). Lorsque l'appareil est élevé, la valeur y est positive, et elle est négative lorsque sa partie supérieure est soulevée. Lorsque l'écran du smartphone est orienté vers le haut, z est positive et elle est négative quand l'écran est face vers le bas. La (fig.4.13) illustre un exemple graphique d'accélération de l'application de détection de chute mesurée par l'accéléromètre du smartphone.

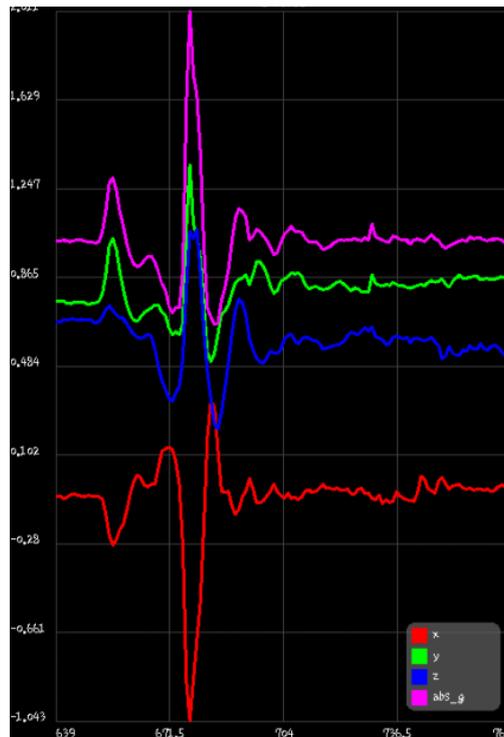


Figure 4.13 : Capture d'écran de l'accélération dans le détecteur de chute sur smartphone (ordonnée: Accélération, abscisse: Temps (ms))

Nous représentons l'accélération totale du smartphone par le vecteur A_T comme suit:
 $A_T = \sqrt{|x|^2 + |y|^2 + |z|^2}$, où x , y , z indiquent la direction du mouvement de l'appareil.

Si toutes les valeurs d'accélération sont proches de 0, le smartphone est en baisse ou il est déjà tombé au sol. Si c'est le cas, un texte message (SMS) est envoyé immédiatement au contact d'une personne désignée (l'alerte SMS utilise l'API de messagerie). Chaque fois l'accéléromètre obtient une lecture, l'application vérifie si la valeur de A_T est inférieure à 1, elle envoie les informations de l'accélération et de la localisation au serveur Web en utilisant l'API HTTP. Si les trois valeurs sont proches de 0, l'application change le statut d'état pour indiquer que la personne âgée est dans l'état de chute (*fig.4.14*). Si A_T est supérieure à 1, l'application envoie des informations de localisation et de position chaque intervalle de temps désiré par l'utilisateur.

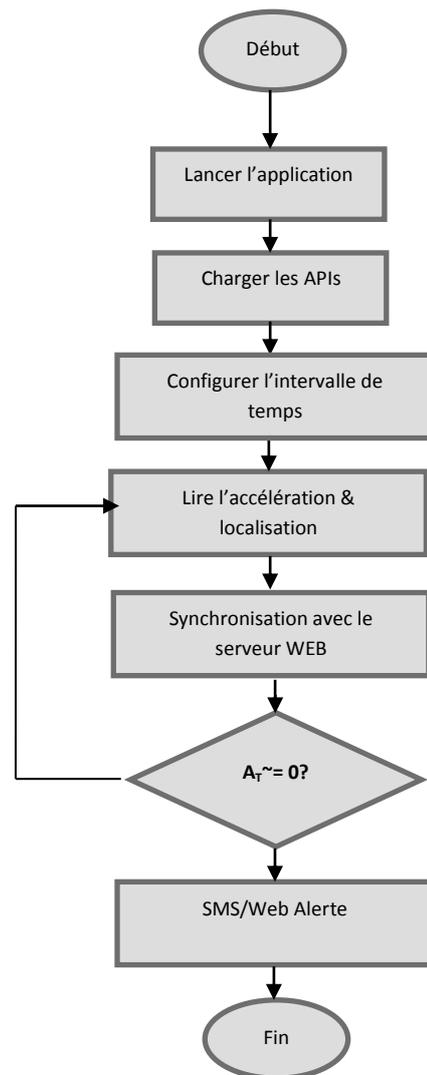


Figure 4.14 : Fonctionnement de l'application

Dans une seconde méthode, nous avons utilisé deux autres entrées pour améliorer l'exactitude de notre système de détection de chute: le premier est le son capté avec un microphone et le second est une pièce magnétique portée par les personnes âgées pour être détectée par le capteur de champ magnétique du smartphone. La lecture fournie par ce dernier représente la force du champ magnétique autour du smartphone. Elle a été fixée entre (1100 -1800) μT , intervalle indiquant que le téléphone est porté par la personne âgée.

Dans une troisième méthode, nous avons exploité un système d'aide à la décision [137] pour intégrer un algorithme d'apprentissage d'identification des chutes en utilisant les données d'accélération comme entrées. Dans notre système, déduit de cette troisième méthode, nous commençons par la vérification du champ magnétique afin d'assurer si le smartphone est bien placé. La sortie de la machine d'apprentissage

est combinée avec l'entrée audio pour valider la chute. La (fig.4.15) décrit complètement notre système développé.

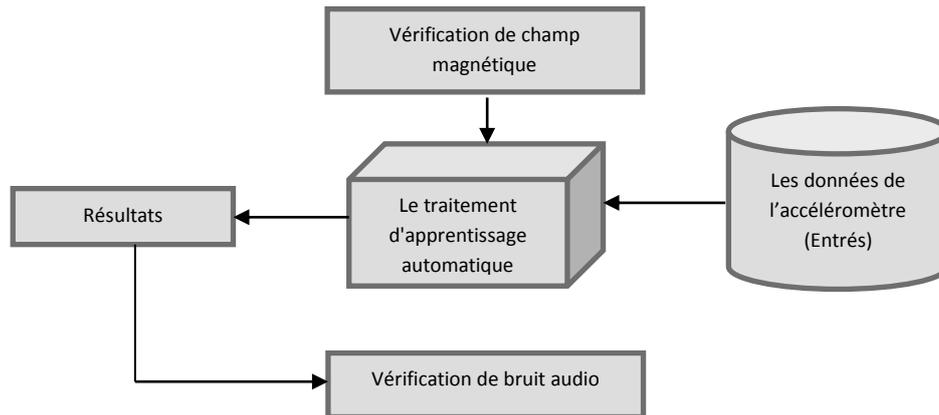


Figure 4.15 : Architecture du système de la troisième méthode

L'apprentissage automatique (Machine learning) implique le développement des algorithmes et des classificateurs qui permettraient aux ordinateurs d'apprendre les états de chute et de prendre des décisions intelligentes sur la détection. Les données d'entraînement (la base de données d'entraînement) sont collectées en faisant les activités de chute par deux volontaires pour un certain nombre de fois jusqu'à ce que nous avons obtenu suffisamment de nombre d'échantillons pour le processus d'apprentissage. Cela se compose de deux cas: pas de chute et chute. Le problème de choisir le meilleur algorithme d'apprentissage a également été abordé dans [134]. Dans cet article, cinq algorithmes de classification différents étaient comparés par rapport à leur précision de classification et le temps nécessaires à construire le modèle. Les résultats expérimentaux ont montré que le classificateur naïve bayésienne donne la meilleure performance. Dans notre étude, nous avons adapté le même algorithme pour l'environnement mobile (smartphone sous Android).

IV.2.3-Expériences et résultats

Nous avons mis en place une application m-health sous forme d'un détecteur de chute pour les personnes âgées avec un système de surveillance intégré. Le smartphone Android est équipé d'un accéléromètre (3 axes SMB380) pour extraire l'accélération. Nous avons utilisé le réseau de données 2G/3G pour faire la synchronisation avec le serveur comme indiqué dans le *chapitre 2 (II.3.5)*. Pour le transfert de données vers le serveur, nous avons utilisé le protocole HTTP et JSON dans la couche application, le protocole UDP et par fois TCP dans la couche transport.

Le smartphone utilisé dans nos premières expériences est un Galaxy S GT-I9000. Il est fourni avec une version non rooté d'OS Android 2.3.4. Nous avons testé la même application avec root afin de conserver les ressources du smartphone.

Les spécifications du smartphone utilisé sont les suivantes:

- 1 GHz Cortex-A8 CPU.
- 16GB de stockage, 512 MB RAM, 2GB ROM.
- Super AMOLED capacitive touchscreen, 16M couleurs, 480 x 800 pixels, 4.0 inches
- 3.2 MP camera
- Tri-band UMTS/HSDPA Quad-band GSM world
- phone.
- Capteurs : Accéléromètre, proximité, boussole, capteur magnétique.

L'application Android est développée en utilisant l'Android SDK et Java Netbeans IDE. Du côté serveur, les représentations graphiques sont créées en HTML5 en utilisant l'API Google Chart. L'accès est protégé par un mode d'authentification afin de garantir l'autorisation d'accès (fig. 4.16).



Figure 4.16 : Affichage basé sur le Web de l'accélération et de la localisation d'une personne âgée en utilisant Google Chart (pas de chute)

Dans notre étude, en particulier pour la première et la deuxième méthode, nous avons utilisé un mannequin équipé d'un smartphone placé dans la poche de chemise. Le mannequin subit 60 chutes dans des directions différentes avec deux cas: une entrée (accéléromètre) et trois entrées (accéléromètre, le son du bruit et le champ magnétique). Nous avons également testé 60 cas de non-chutes tels que: couchage (30 tests) et le téléphone chute libre (30 tests). Nous avons répété cette expérience 30 fois et nous avons mesuré la moyenne de la précision de détection de chute en termes de faux négatifs (FN) et de faux positifs (FP). Le faux négatif est lorsqu'une chute se

produit, mais le système ne détecte pas et le faux positif, c'est quand le smartphone détecte la chute qui en fait ne se produit pas. Il est à noter que la précision est jugée meilleure avec un faible faux négatif et positif. Dans notre premier cas, la moyenne des faux négatifs était de 10%, tandis que le faux positif était 3,33% en position allongée et 40% lorsque le smartphone est en chute libre. Dans le second cas, utilisant trois entrées, la précision est nettement améliorée, la valeur de faux négatif est de 3,33%, le faux positif est de 3,33% en position allongée et de 0% dans le cas du chute libre du téléphone. Les résultats du *tableau 4.6* indiquent qu'avec l'utilisation de bruit audio et de la pièce magnétique, notre système montre des performances accrues.

Cas /Précision	FN %	FP %	
		P/Couchée	Smartphone en chute
Le premier cas	10	3.33	40
Le deuxième cas	3.33	3.33	0

Tableau 4.6 : Comparaison des résultats d'expériences

Dans le troisième cas, nous avons utilisé l'apprentissage automatique comme outil de détection. Nous avons utilisé le smartphone Galaxy S2 porté par deux volontaires caractérisés respectivement par (67 ans et 77 kg) et (66 ans et 80 kg). Ils ont fait des chutes et des non chutes dans des directions différentes. L'application mobile traite les données d'accélération en temps réel et elle effectue la classification utilisant le naïve bayésienne. Par ailleurs, nous avons développé un algorithme d'apprentissage automatique dans le smartphone avec des ressources limitées en adaptant le Weka Framework [134] pour la plate-forme Android (*fig.4.17*). Pour les applications sur ordinateur, Weka est largement utilisé dans les recherches dans l'apprentissage automatique [135]. Dans notre cas, nous avons développé une application à l'aide d'un projet de référence open source Weka-pour-Android [136].

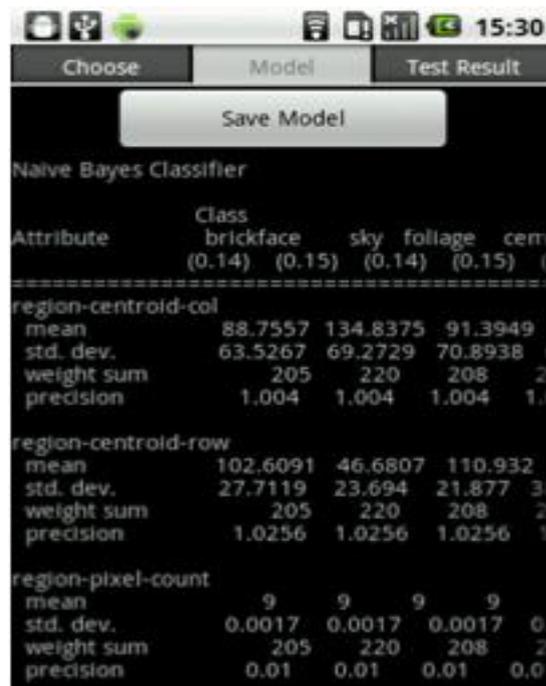


Figure 4.17 : Capture d'écran WEKA sous Android (naïve bayésienne)

Le classificateur naïve bayésienne est entraîné avec un ensemble de 125 enregistrements. Ensuite, nous avons utilisé pour le test 40 chutes et 20 non-chutes. Nous avons obtenu une précision de 96% de détection de chute.

La consommation d'énergie est un facteur très important pour cette application m-health. Nous avons optimisé le système en utilisant le même procédé de root. Contrairement aux expériences précédentes, pour activer le root dans cette expérience, nous avons utilisé le logiciel One-click -Root [132]. Le tableau 4.7 présente les résultats comparatifs sur la durée de vie de la batterie avec les méthodes correspondantes aux deuxième et troisième cas mentionnés précédemment. Nous avons obtenu l'autonomie de 9h 12mn dans le cas de Root et 7h 3 mn sans Root. Ainsi, notre algorithme ETC2 laisse durer la batterie 102 minutes supplémentaires par rapport à l'état sans root.

Context		Avec Root (R)	Sans Root (SR)	Rapport R/SR
Autonomie (2ème méthode)	(2ème)	9h+12mn	7h + 30mn	1.29
Autonomie (3ème méthode)	(3ème)	9h	7h	1.23

Tableau 4.7 : Durée de vie de la batterie pour la deuxième et la troisième méthode

IV.3-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cité deux exemples d'applications m-health: une sur le diagnostic de la rétine par un smartphone et la deuxième sur la détection de chute libre pour les personnes âgées. Les deux applications ont plusieurs nouvelles fonctions innovantes sur les techniques de traitement et de programmation. Ces techniques ont été conçues, implémentées et validées dans un environnement intelligent mobile en se basant sur les modèles mentionnés dans les chapitres précédents. Nous avons proposé un nouveau algorithme de segmentation et d'apprentissage des images rétinienne qui est basé sur les réseaux de neurones, dans le même contexte nous avons implémenté notre algorithme ETC2 basé sur la méthode root afin d'optimiser la consommation des ressources et de la batterie. Dans la deuxième contribution, nous avons conçu et développé un autre type d'application m-health pour la détection de chute chez les personnes âgées. Cette solution est développée pour des Smartphones sous Android, elle est basée sur le Web et l'alerte online. Dans ce cadre, nous avons conçu et développé trois systèmes de détection; il s'agit notamment du: (i) système basé sur l'accéléromètre, (ii) accéléromètre, audio et pièce magnétique (iii) l'algorithme de classification naïve bayésienne sous Android. Notre système proposé offre la détection de chute automatique à faible coût et avec une très grande précision.

References:

- [87] H. Wang, W. Hsu, K.G. Goh, M.L. Lee, “An effective approach to detect lesions in color retinal images”, In *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 181 – 186, vol.2, 2000.
- [88] D. Marin, A. Aquino, M.E. Gegundez-Arias, J.M. Bravo, “A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features”, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 146 - 158, Jan. 2011.
- [89] D. Jegelevicius, A. Lukosevicius, “Application of Data Mining Technique for Diagnosis of Posterior Uveal Melanoma”, *INFORMATICA*, Vol. 13, No. 4, 455–464, 2002.
- [90] S. Dua, N. Kandiraju, H.W. Thompson, “Design and implementation of a unique blood-vessel detection algorithm towards early diagnosis of diabetic retinopathy”, In *Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, 2005, 26 – 31, Vol. 1, 2005.
- [91] M.J. Cree, J.A. Olson, K.C. McHardy, J.V. Forrester, P.F. Sharp, “Automated micro aneurysm detection”, In *Proceedings of International Conference on Image Processing*, 699 – 702, Vol.3, 1996.
- [92] G.G. Gardner, D. Keating, T.H. Williamson, A.T. Elliott, “Automatic detection of diabetic retinopathy using an artificial neural network: a screening tool”, *British Journal of Ophthalmology*; 80:940-944, 1996.
- [93] P. Treigys, V. Šaltenis, “Neural Network as an Ophthalmology disease classifier”, *Information Technology and Control*, Vol. 36, No. 4, 2007.
- [94] A. Bourouis, M. Feham, A. Bouchachia, “Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE)”, *International Journal of Computer Science & Information Technology*, Vol 3, No 3, 2011.
- [95] Q. Pan, P. Yang, R. Zhang, C. Lin, S. Gong, L. Li, J. Yan, G. Ning, “A mobile health system design for home and community use”, *Biomedical and Health Informatics (BHI), IEEE-EMBS International Conference*, Page(s): 116 – 119, 2012.
- [96] H.H. Asada, P. Shaltis, A. Reisner, S. Rhee, R.C. Hutchinson, “Mobile monitoring with wearable photoplethysmographic bio sensors”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2003.
- [97] M.A. Al-Tae, N.A. Jaradat, D.M.A. Ali, “Mobile phone-based health data acquisition system using Bluetooth technology”, *Applied Electrical Eng. And Computing Technologies (AEECT)*, Page(s): 1 – 6, 2011.
- [98] P. Ross, “Managing care through air”, *IEEE Spectrum*, pp 26-31, 2004.
- [99] R.S.H. Istepanian, A.A. Petrosian, “Optimal Zonal wavelet-based ECG data compression for a mobile telecardiology system”, *IEEE Trans on Information Technology in Biomedicine* 4(3): 200-211, 2000.

- [100] F. Zhu, M. Bosh, I. Woo, S. Kim, C.J. Boushey, D.S. Ebert, E.J. Delp, “The Use of Mobile Devices in Aiding Dietary Assessment and Evaluation”, IEEE, *Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 4, pp. 756-766, 2010.
- [101] F. Buttussi, L. Chittaro, MOPET: “A Context-Aware and User Adaptive Wearable System for Fitness Training, *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 42, pp. 153-163”, 2008.
- [102] A. Bourouis, M. Feham, A. Bouchachia, “A New Architecture of a Ubiquitous Health Monitoring System: A Prototype of Cloud Mobile Health Monitoring System”, *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol 3, No 3, 2011.
- [103] M.T. Nkosi, F. Mekuria, “Cloud Computing for Enhanced Mobile Health Applications”, *The Second IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, Page(s): 629 – 633, 2010.
- [104] W. Maass and U. Varshney, “Design and evaluation of Ubiquitous Information Systems and use in healthcare”, *Decision Support Systems*, v.54 n.1, p.597-609, 2012.
- [105] P. Zhang, Y. Kogure, H. Matsuoka, M. Akutagawa, Y. Kinouchi, “A remote patient monitoring system using a Java-enabled 3G mobile phone”, In *Proceedings of IEEE Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, 3713-6, 2007.
- [106] National Institutes of Health – National Heart, Lung, and Blood Institute. National High Blood Pressure Education Program Working Group Report on Hypertension in Diabetes. *Hypertension*; 23(2):145-58, 1994.
- [107] V. Könönen, J. Mäntyjärvi, H. Similä, J. Pärkkä, M. Ermes, “Automatic feature selection for context recognition in mobile devices, *Pervasive and Mobile Computing*”, vol. 6, no. 2, pp. 181-197, 2010.
- [108] E. Miluzzo, M. Papandrea, N. Lane, H. Lu, A, “Campbell, Pocket, bag, hand, etc.-automatically detecting phone context through discovery”, In *Proceedings of ACM International Workshop on Sensing for App Phones (PhoneSense)* collocated with ACM SenSys, Zurich, Switzerland, 2010.
- [109] Á. Fábíán, N. Györbíró, G. Hományi, “Activity recognition system for mobile phones using the Motion Band device”, In *Proceedings of the 1st International Conference on MOBILE Wireless Middle WARE, Operating Systems, and Applications*, 2008.
- [110] P. Ferrill, *Pro Android Python with SL4a*. Apress, 1 edition, ISBN-10: 1430235691, 2011.
- [111] Android APIs, <http://developer.android.com/reference/android/graphics/package-summary.html>, 2013.
- [112] S. Piramuthu, M.J. Shaw, J.A. Gentry, “A classification approach using multi-layered neural networks”, *Decision Support Systems*, v.11 n.5, p.509-525, 1994.
- [113] DIARETDB0 - Standard Diabetic Retinopathy Database. <http://www2.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/index.html>, Dec 2012.
- [114] M.T. Jones, *Artificial Intelligence: a System Approach*. Sudbury, Massachusetts, 2009.
- [115] Structured Analysis of the Retina (STARE). <http://www.parl.clemson.edu/~ahoover/stare/>, Feb 2013.

- [116] A. Hoover, M. Goldbaum, Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the bloodvessels, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 22 no. 8, pp. 951-958, 2003.
- [117] M. Egmont-Petersen, D. de Ridder, H. Handels, Image processing with neural networks—a review, *Pattern Recognition*, Volume 35, Issue 10, PP .2279-2301, 2002.
- [118] <http://ziyang.eecs.umich.edu/projects/power tutor/>, August 2013. (2013)
- [119] <http://www.medicinenet.com>, October 2012.
- [120] <http://www.who.int>, January 2012.
- [121] M. Lüder, R. Salomon, G. Bieber, “Stair Master: A New Online Fall Detection Device”. 2nd Congress on Ambient Assisted Living, Berlin, 2009.
- [122] M.N. Nyan, F.E. Tay, M. Manimaran, K.H. Seah, “Garment-based detection of falls and activities of daily living using 3-axis MEMS accelerometer”. *J Phys Conf Ser* 34:1059–1067, 2006
- [123] <http://mover.projects.fraunhofer.pt/>, November 2012.
- [124] Z. Fu, E. Culurciello, P. Lichtsteiner, T. Delbruck, “Fall detection using an address-event temporal contrast vision sensor”, *IEEE international symposium on circuits and systems*, pp: 424-427, 2008.
- [125] B. Jansen, R. Deklerck, “Context aware inactivity recognition for visual fall detection”, *Pervasive health conference and workshops*, 1 - 4, 2006.
- [126] T. Hansen, J. Eklund, J. Sprinkle, R. Bajcsy, S. Sastry, “Using smart sensors and a camera phone to detect and verify the fall of elderly persons”. *European Medicine, Biology and Engineering Conference*, 2005.
- [127] T. Zhang, J. Wang, P. Liu, J. Hou, “Fall detection by embedding an accelerometer in cellphone and using KFD algorithm”. *International Journal on Computer Science Network Security*, 6(10):277–284, October 2006.
- [128] P. Ferrill, “Pro Android Python with SL4A”, A Press, 2011.
- [129] F. Sposaro, G. Tyson, “ifall: An android application for fall monitoring and response,” in *International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6119–6122, 2009.
- [130] DM Karantonis, MR Narayanan, M Mathie, NH Lovell, BG Celler, “Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring”, *IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine* 10(1):156–167,2006.
- [131] <http://www.oneclickroot.com>, February 2013.
- [132] RK Ganti, P Jayachandran, TF Abdelzaher, JA Stankovic, “SATIRE: a software architecture for smart AtTIRE”, In *Proceedings of the 4th international conference on mobile systems, applications and services, MobiSys*, 2006.
- [133] A. Dinh, Y. Shi, D. Teng, A. Ralhan, L. Chen, V. D. Bello-Haas, J. Basran, S. Ko, and C. McCrowsky, “A Fall and Near-Fall Assessment and Evaluation System,” *The Open Biomedical Engineering Journal*, vol. 3, pp. 1–7, 2009.
- [134] Frank, E., Hall, M., Trigg, L., Holmes, G., Witten, I.H.: “Data mining in bioinformatics”, *Bioinformatics* 20(15), 2479–2481 (2004).
- [135] <https://github.com/rjmarsan/Weka-for-Android>, May 2013.

[136] A. Copetti, J. C. B. Leite, O. Loques and M. F. Neves, “A decision making mechanism for context inference in pervasive healthcare environments”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 528–537, 2013.

[137] C. Combes and J. Azema. “Clustering using principal component analysis applied to autonomy–disability of elderly people”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 578–586, 2013.

Conclusion générale

Les applications m-health et les systèmes corporels sont des solutions d'avenir, liées à l'usage du smartphone en mobilité, ou à la communication sans fils dans les réseaux BAN-BSN.

Cette Thèse traite la conception, le développement et l'implémentation de services m-health adaptés aux conditions limitées. Notre recherche a pour but de proposer un modèle référentiel permettant aux développeurs et utilisateurs de bénéficier et d'exécuter des services m-health. Les solutions proposées sont adaptés aux smartphones et aux conditions limitées (faibles ressources du réseau et d'environnement).

Dans une première étape, nous avons commencé nos travaux de recherche par l'étude et l'analyse des travaux connexes dans le domaine du m-health. Dans cette étape nous avons étudié les technologies existantes et les objectifs concernés par les différents travaux. Nous avons présenté les avantages et les inconvénients, ainsi que les limites de ces travaux.

Dans la deuxième étape, nous avons conçu un nouveau modèle pour les applications et les services m-health, adéquat à un environnement à conditions limitées. Ce modèle est basé sur une architecture multi-niveaux et une topologie en étoile redondée. Après un ensemble de test et de benchmarking et afin de valider notre modèle, nous avons intégré les smartphones dans une architecture m-health. Pour valider le choix du smartphone, nous avons conçu et développé une application d'évaluation m-health sur plusieurs plates-formes et systèmes d'exploitation et avec plusieurs langages de développement. Nous avons choisi trois meilleurs téléphones de trois meilleurs systèmes d'exploitation avec des ressources mémoire et processeur presque identique: le Nokia 700 de Symbian S60, le Galaxy S d'Android OS et l'iPhone 4 d'IOS. La première fonction réalisée concerne l'envoi de SPO2 et HR de WBAN par HTTP POST vers un serveur distant. Les deuxième et troisième fonctions sont respectivement l'Advanced Encryption Standard (AES) de cryptage et le GNU zip (Gzip) pour la compression des données. Nous avons montré par la suite que le Symbian OS et l'Android OS sont les meilleures plates-formes de développement des applications m-health dans des conditions limitées.

Dans la troisième étape, nous avons amélioré la partie localisation dans le système m-health par une proposition de deux algorithmes dédiés aux réseaux satellitaire et mobiles, permanent et économe en énergie. Nous avons optimisé notre solution pour être adaptée aux personnes âgées et aux patients dans des conditions limitées. Nous avons proposé l'idée de localisation par redondance hybride afin de faire le suivi en temps continu. Nous avons proposé deux contributions par la présentation de deux algorithmes: ETC et CIPA. Nous avons conçu, implémenter et évaluer nos deux algorithmes expérimentalement.

Dans la quatrième et cinquième contribution, nous avons intégré des algorithmes de décision et de classification pour être implémentés sur le smartphone en exploitant ses capacités de traitement. Nous avons proposé deux exemples de services: l'analyse de la rétine par un smartphone (iTEST) et la détection de chute libre et des mouvements du patient. Les deux applications ont plusieurs nouvelles fonctions innovantes sur les techniques de traitement et de programmation. Nous avons proposé un algorithme nouveau de segmentation et d'apprentissage des images rétinienne, basé sur les réseaux de neurones et sur la représentation des images dans un vecteur RGB. Nous avons implémenté notre algorithme ETC2 basé sur la méthode root afin d'optimiser la consommation des ressources et de la batterie. Dans l'application de détection de chute chez les personnes âgées, nous avons conçu et développé trois systèmes de détection; (i) un système basé sur l'accéléromètre, (ii) un accéléromètre, audio et pièce magnétique (iii) l'algorithme de classification naïve bayésienne sous Android. Nous avons testé et validé nos résultats caractérisés par une grande précision.

Comme perspective à ces travaux de recherche, nous suggérons l'intégration d'outils de profilage de l'énergie dans nos applications m-health afin de surveiller la consommation d'énergie en temps réel. Nous proposons la validation du m-sensing en combinaison avec le m-health dans notre modèle proposé. Dans ce même contexte nous avons également l'idée de concevoir une forme d'exploitation de la technologie m-health dans le domaine relatif au textile, celle communément connue sous l'appellation « Smart Textile ».

Références

- [1] http://www.minkowska.com/article.php3?id_article=145.
- [2] I. Robert, L. Swamy, “M-Health: Emerging Mobile Health Systems”, Springer, ISBN 978-0-387-26558-2, 2005
- [3] <http://www.caroltorgan.com/mhealth-summit/>
- [4] <http://telecom.sia-partners.com/20111116/le-congres-de-la-sante-mobile/>
- [5] M. CAUVILLE, “Diagnostic, soins et prévention par la télémédecine”, Sciences et Technologies, Vol. 2, pp. 32–34, 1999.
- [6] A. FRANCO, “La télémédecine au service de l’autonomie”, La revue de médecine interne, vol. 24(s.4), pp. 390–393, ISBN : S0248-8663(03)80347-8, 2003.
- [7] P. STAB, “Téléconsultation en psychiatrie: évaluation d’une expérience originale dans le hautpays niçois”, Thèse de doctorat en Médecine de l’Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2001.
- [8] <http://www.ifremmont.com/ifrelab/index.php?2006/01/3-tmt>.
- [9] Florence DUCHENE, “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, octobre 2004.
- [10] <http://www.acti-rotec.com/>
- [11] <http://www.admr56.com/teleassistance-mobile-2-42.r.fr.htm>
- [12] <http://www.itu.int/>.
- [13] <http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2011.pdf>.
- [14] <http://openmrs.org/wiki/OpenMRS>.
- [15] Openrosa. <http://www.openrosa.org/>.
- [16] openxcode. <http://www.openxdata.org/Main/WebHome>.
- [17] Rapidsms. <http://www.rapidsms.org/>.
- [18] Voxiva. <http://www.voxiva.com/platform.php>.
- [19] A. Yaw, H. Carl, B. Waylon, L. Adam, T. Clint, B. Gaetano, “Open data kit: Building Information services for developing regions”, IEEE/ACM Conference on Information and Communication Technologies and Development, 2010.
- [20] Frontlinesms. <http://www.frontlinesms.com/>.
- [21] http://homepages.ed.ac.uk/jkstew/work/FLOWS_D6.pdf
- [22] J. STEWART, L. PITT, M. WINSKEL, R. WILLIAMS, I. GRAHAM, J. AGUIAR, “Flows scenarios and definition of services”, IST FLOWS Project Deliverable D1, European Commission IST (Information Society Technologies) office, Brussels, Belgium, 2002.
- [23] O. FOUIAL, “Découverte et fourniture de services adaptatifs dans les environnements mobiles”, Thèse de doctorat en Informatique et Réseaux de l’Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications ENST, Paris, France, 2004.
- [24] <http://www.capitolemobile.com/marketing-mobile/>.
- [25] http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/49/97/97/PDF/These_Fouial_2004.pdf.
- [26] <http://www.commentcamarche.net/>.

- [27] Jurgen Scheible, Ville Tuulos, “Rapid Prototyping of Applications on the Mobile Platform”, ISBN: 978-0-470-51505-1, Wiley, 2007.
- [28] Merzougui Rachid, “Télésurveillance à travers les réseaux IP et Mobiles”, rapport de mémoire pour l’obtention du diplôme du magister, Université de Tlemcen, Algérie, 2006.
- [29] Nicolas JEAN, “Comprendre et programmer le protocole http”.
- [30] D. M Barakah, “A Survey of Challenges and Applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and Role of a Virtual Doctor Server in Existing Architecture”, *Third International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, p. 214-219, 2012.
- [31] R. Baskaran, “An Overview of Applications, Standards and Challenges in Futuristic Wireless Body Area Networks”, *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, n° 2, 2012.
- [32] Z. Tang and W. Dargie. “A Mobility-Aware Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks”, the fifth IEEE international workshop on Heterogeneous, Multi-Hop, Wireless and Mobile Networks, Miami, Florida, 6 December, 2010.
- [33] Y. Zatout, R. Kacimi, J. Llibre, E. Campo, “Mobility-aware Protocol for Wireless Sensor Networks in Health-care Monitoring”, Fifth International Workshop on Personalized Networks (Pernets 2011), Las Vegas, Nevada, USA, January 2011.
- [34] R. Steele, A. Lo, C. Secombe, Y.K. Wong, “Elderly persons’ perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare”, *International Journal of Medical Informatics*. 2009.
- [35] V. Ikonen, E. Kaasinen, “Ethical assessment in the design of ambient assisted living”, *Assisted Living Systems – Models, Architectures and Engineering Approaches*, 2008.
- [36] H.S. Ng, M.L. Sim, C.M. Tan, “Security issues of wireless sensor networks in healthcare applications”, *BT Technology Journal*, 2006.
- [37] O.G. Morchon, T. Falck, T. Heer, K. Wehrle, “Security for pervasive medical sensor networks”, 6th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MobiQuitous), 2009.
- [38] S. Bao, Y. Zhang, L. Shen, “Physiological signal based entity authentication for body area sensor networks and mobile healthcare systems”, 27th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2005.
- [39] D. Surie, O. Laguionie, T. Pederson, “Wireless sensor networking of everyday objects in a smart home environment”, ISSNIP, Sydney, December 2008.
- [40] H. Alemdar and C. Ersoy, “Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey”, *Computer Networks*, Volume 54, Issue 15, October 2010.
- [41] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K. Chowdhury, “A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks” *Computer Networks Journal* (Elsevier), March 2007.
- [42] Purushottam Kulkarni, Deepak Ganesan and Prashant Shenoy, “The case for multi-tier camera sensor networks”, International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video, Stevenson, Washington, USA, 2005.
- [43] P. Kulkarni, D. Ganesan, P.J. Shenoy and Q. Lu, "A multi-tier camera sensor network", *ACM Multimedia*, 2005.
- [44] C. E. R. Lopes, L. B. Ruiz, M. M. Santos, and F. D. Linhares, “A multitier, multimodal wireless sensor network for environmental monitoring”, 4th International Conference Ubiquitous Intelligence and Computing, Hong Kong, China, 2007.
- [45] I.F Akyildiz, T. Melodia and K.R. Chowdury, “Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds”, *Proceedings of the IEEE* (invited paper), vol. 96, no. 10,

October 2008.

- [46] “Reconnaissance de Signaux de Détresse dans l'Habitat Intelligent Santé”. [Online]. Available: http://www-clips.imag.fr/geod/projets/HIS/RESIDE-HIS_7-11-02.pdf
- [47] Crossbow Technology Inc. [Online]. Available : <http://www.xbow.com>
- [48] TinyOs Operating System. [Online]. Available. <http://www.tinyos.net/>
- [49] D. Konstantas, V.Jones, R. Bults and R.Herzog, “MobiHealth: innovative 2.5 /3G mobile services and applications for healthcare” 11th IST Mobile and Wireless Telecommunications Summit, June 2011.
- [50] M-R. Yuce, P-g. Choong Ng, C-K. Lee, J-Y. Khan, and W. Liu, “A Wireless Medical Monitoring Over a Heterogeneous Sensor Network”, IEEE EMBS, Lyon, France. August 23-26, 2007.
- [51] FCC Rules and Regulations, “MICS Band Plan”, Table of Frequency Allocations, Part 95, Jan.2003.
- [52] M. Demirbas, K.Y. Chow, C.S. Wan, “INSIGHT: Internet-sensor integration for habitat monitoring”, International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'06). 2006.
- [53] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. “Versatile low power media access for wireless sensor networks”, In Proceedings of the 2nd international conference on embedded networked Sensor Systems (SenSys'04), New York, 2004.
- [54] A. Mainwaring , D. Culler , J. Polastre , R. Szewczyk , J. Anderson, “Wireless sensor networks for habitat monitoring”, Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, Atlanta, Georgia, USA, 2002.
- [55] Emil Jovanov, Aleksandar Milenkovic, Chris Otto and Piet C de Groen, “A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation”, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, from <http://bmc.ub.uni-potsdam.de/1743-0003-2-6/1743-0003-2-6.pdf>
- [56] B. Gyselinckx, C.V. Hoof, J. Ryckaert, R.F. Yazicioglu, P. Fiorini, and V. Leonov; “Human++: autonomous wireless sensors for body area networks”, Custom Integrated Circuits Conference, 2005, Proceedings of the IEEE 2005, 18-21 Sept, 2005.
- [57] T. He, S. Krishnamurthy, J. Stankovic, T. Abdelzaher, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, J. Hui, and B. Krogh, “Energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks”, 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys04), Boston, June 2004.
- [58] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao. “Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology”, In Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, April, 2001.
- [59] C.C.Y. Poon, Y-T Zhang, S-D Bao, “A Novel Biometrics Method to Secure Wireless Body Area Sensor Networks for Telemedicine and M-Health”, IEEE Communication Magazine, vol.44, April, 2006.
- [60] Kevin VUILLARD, “Géolocalisation et Smartphones dans le domaine culturel et patrimonial”, 2011.
- [61] <http://www.mobilemarketer.com/cms/sectors/healthcare/8133.html>, 2011.
- [62] <http://fr.wikipedia.org/> et <http://en.wikipedia.org/>.
- [63] <http://www.bestofmicro.com/>.
- [64] Rachid MERZOUGUI, Conception et développement d'applications et services dédiés à la santé sur des terminaux mobiles, Juillet 2011.
- [65] Adrian A, I. Issott, “Common Design Patterns for Symbian OS: The Foundations of Smartphone Software”, Symbian Press, 2008.
- [66] <http://www.android.com>, Architecture et composants d'Android, 2012.
- [67] <http://www.searchevolution.com/>.

- [68] <http://meego.com/about>.
- [69] Nonin Medical, <http://www.nonin.com/>, 2011.
- [70] <http://www.gartner.com/>.
- [71] Kupper, Axel, "Location-based services: fundamentals and operation", ISBN-13 978-0-470-09231-6, John Wiley & Sons, 2005.
- [72] Krzysztof W. Kolodziej, Johan Hjelm, "Local Positioning Systems LBS Applications and Services", ISBN-13: 978-0-8493-3349-1, Taylor & Francis Group, 2006.
- [73] M. Erwan ERMEL, "Localisation et Routage géographique dans les réseaux sans fil hétérogènes", Thèse de Doctorat de l'université Paris VI Pierre et Marie CURIE, 2004.
- [74] http://www.patentlens.net/patentlens/patents.html?patnums=US_8285344&returnTo=quick.html, Septembre 2013.
- [75] Abderrahim BOUROUIS, Mohammed Feham and Abdelhamid Bouchachia, "Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE)", International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol 3, No 3, June 2011.
- [76] http://developer.nokia.com/Resources/Tools_and_downloads/Other/Nokia_Energy_Profile/Quick_start.xhtml, Juin 2012.
- [77] http://developer.nokia.com/Community/Wiki/Archived:PyS60_applications, 2013.
- [78] MM Hanaa AL BITAR, "Advanced GPS signal processing techniques for LBS services", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 06/07/2007.
- [79] Jochen Schiller and Agne's Voisard, "Location-Based Services", ISBN: 1-55860-929-6, the Morgan Kaufmann Series Research, 2006.
- [80] <http://www.webimag.com>, 2012.
- [81] Frank Viquez, Anna Lee Dragon, and Tim Archdeacon, "Location based services, a strategic analysis of wireless technologies, markets, and trends", Technical report, Allied Business Intelligence, 2001.
- [82] Andrew Jagoe, "Mobile Location Services: The Definitive Guide", ISBN: 0-13-008456-5, Prentice Hall PTR, 2006.
- [83] DUQUENNE Françoise, BOTTON Serge, PEYRET François, BÉTAILLE David, WILLIS Pascal, "GPS : localisation et navigation par satellites", Lavoisier, 2005.
- [84] Joachim Tisal, "Le radiotéléphone cellulaire GSM", Elsevier Masson, 1995.
- [85] Documentations des équipements utilisés par Algérie Télécom, 2010.
- [86] <https://developers.google.com/maps/articles/?hl=fr>, 2012.
- [87] H. Wang, W. Hsu, K.G. Goh, M.L. Lee, "An effective approach to detect lesions in color retinal images", In *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 181 – 186, vol.2, 2000.
- [88] D. Marin, A. Aquino, M.E. Gegundez-Arias, J.M. Bravo, "A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 146 - 158, Jan. 2011.
- [89] D. Jegelevicius, A. Lukosevicius, "Application of Data Mining Technique for Diagnosis of Posterior Uveal Melanoma", *INFORMATICA*, Vol. 13, No. 4, 455–464, 2002.
- [90] S. Dua, N. Kandiraju, H.W. Thompson, "Design and implementation of a unique blood-vessel detection algorithm towards early diagnosis of diabetic retinopathy", In *Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, 2005, 26 – 31, Vol. 1, 2005.
- [91] M.J. Cree, J.A. Olson, K.C. McHardy, J.V. Forrester, P.F. Sharp, "Automated micro aneurysm detection", In *Proceedings of International Conference on Image Processing*, 699 – 702, Vol.3, 1996.

- [92] G.G. Gardner, D. Keating, T.H. Williamson, A.T. Elliott, “Automatic detection of diabetic retinopathy using an artificial neural network: a screening tool”, *British Journal of Ophthalmology*; 80:940-944, 1996.
- [93] P. Treigys, V. Šaltenis, “Neural Network as an Ophthalmology disease classifier”, *Information Technology and Control*, Vol. 36, No. 4, 2007.
- [94] Abderrahim BOUROUIS, Mohamed FEHAM, “Prototyping of Mobile Health Monitoring System for elderly: Using Android Python with SL4A and logistic regression technique”, *IJECST - Vol11 Issue2*, 2011.
- [95] Q. Pan, P. Yang, R. Zhang, C. Lin, S. Gong, L. Li, J. Yan, G. Ning, “A mobile health system design for home and community use”, *Biomedical and Health Informatics (BHI), IEEE-EMBS International Conference*, Page(s): 116 – 119, 2012.
- [96] H.H. Asada, P. Shaltis, A. Reisner, S. Rhee, R.C. Hutchinson, “Mobile monitoring with wearable photoplethysmographic bio sensors”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2003.
- [97] M.A. Al-Tae, N.A. Jaradat, D.M.A. Ali, “Mobile phone-based health data acquisition system using Bluetooth technology”, *Applied Electrical Eng. And Computing Technologies (AEECT)*, Page(s): 1 – 6, 2011.
- [98] P. Ross, “Managing care through air”, *IEEE Spectrum*, pp 26-31, 2004.
- [99] R.S.H. Istepanian, A.A. Petrosian, “Optimal Zonal wavelet-based ECG data compression for a mobile telecardiology system”, *IEEE Trans on Information Technology in Biomedicine* 4(3): 200-211, 2000.
- [100] F. Zhu, M. Bosh, I. Woo, S. Kim, C.J. Boushey, D.S. Ebert, E.J. Delp, “The Use of Mobile Devices in Aiding Dietary Assessment and Evaluation”, *IEEE, Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 4, pp. 756-766, 2010.
- [101] F. Buttussi, L. Chittaro, MOPET: “A Context-Aware and User Adaptive Wearable System for Fitness Training, *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 42, pp. 153-163”, 2008.
- [102] A. Bourouis, M. Feham, A. Bouchachia, “A New Architecture of a Ubiquitous Health Monitoring System: A Prototype of Cloud Mobile Health Monitoring System”, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol.9, Issue 2, No2, March 2012.
- [103] M.T. Nkosi, F. Mekuria, “Cloud Computing for Enhanced Mobile Health Applications”, *The Second IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, Page(s): 629 – 633, 2010.
- [104] W. Maass and U. Varshney, “Design and evaluation of Ubiquitous Information Systems and use in healthcare”, *Decision Support Systems*, v.54 n.1, p.597-609, 2012.
- [105] P. Zhang, Y. Kogure, H. Matsuoka, M. Akutagawa, Y. Kinouchi, “A remote patient monitoring system using a Java-enabled 3G mobile phone”, In *Proceedings of IEEE Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, 3713-6, 2007.
- [106] National Institutes of Health – National Heart, Lung, and Blood Institute. National High Blood Pressure Education Program Working Group Report on Hypertension in Diabetes. *Hypertension*; 23(2):145-58, 1994.

- [107] V. Könönen, J. Mäntyjärvi, H. Similä, J. Pärkkä, M. Ermes, “Automatic feature selection for context recognition in mobile devices, *Pervasive and Mobile Computing*”, vol. 6, no. 2, pp. 181-197, 2010.
- [108] E. Miluzzo, M. Papandrea, N. Lane, H. Lu, A. “Campbell, Pocket, bag, hand, etc.-automatically detecting phone context through discovery”, In *Proceedings of ACM International Workshop on Sensing for App Phones (PhoneSense)* collocated with ACM SenSys, Zurich, Switzerland, 2010.
- [109] Á. Fábíán, N. Györbíró, G. Hományi, “Activity recognition system for mobile phones using the Motion Band device”, In *Proceedings of the 1st International Conference on MOBILE Wireless Middle WARE, Operating Systems, and Applications*, 2008.
- [110] P. Ferrill, *Pro Android Python with SL4a*. Apress, 1 edition, ISBN-10: 1430235691, 2011.
- [111] Android APIs, <http://developer.android.com/reference/android/graphics/package-summary.html>, 2013.
- [112] S. Piramuthu, M.J. Shaw, J.A. Gentry, “A classification approach using multi-layered neural networks”, *Decision Support Systems*, v.11 n.5, p.509-525, 1994.
- [113] DIARETDB0 - Standard Diabetic Retinopathy Database. <http://www2.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/index.html>, Dec 2012.
- [114] M.T. Jones, *Artificial Intelligence: a System Approach*. Sudbury, Massachusetts, 2009.
- [115] Structured Analysis of the Retina (STARE). <http://www.parl.clemson.edu/~ahoover/stare/>, Feb 2013.
- [116] A. Hoover, M. Goldbaum, Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the bloodvessels, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 22 no. 8, pp. 951-958, 2003.
- [117] M. Egmont-Petersen, D. de Ridder, H. Handels, Image processing with neural networks—a review, *Pattern Recognition*, Volume 35, Issue 10, PP .2279-2301, 2002.
- [118] <http://ziyang.eecs.umich.edu/projects/powertutor/>, August 2013. (2013)
- [119] <http://www.medicinenet.com>, October 2012.
- [120] <http://www.who.int>, January 2012.
- [121] M. Lüder, R. Salomon, G. Bieber, “Stair Master: A New Online Fall Detection Device”. 2nd Congress on Ambient Assisted Living, Berlin, 2009.
- [122] M.N. Nyan, F.E. Tay, M. Manimaran, K.H. Seah, “Garment-based detection of falls and activities of daily living using 3-axis MEMS accelerometer”. *J Phys Conf Ser* 34:1059–1067, 2006
- [123] <http://mover.projects.fraunhofer.pt/>, November 2012.
- [124] Z. Fu, E. Culurciello, P. Lichtsteiner, T. Delbruck, “Fall detection using an address-event temporal contrast vision sensor”, *IEEE international symposium on circuits and systems*, pp: 424-427, 2008.
- [125] B. Jansen, R. Deklerck, “Context aware inactivity recognition for visual fall detection”, *Pervasive health conference and workshops*, 1 - 4, 2006.
- [126] T. Hansen, J. Eklund, J. Sprinkle, R. Bajcsy, S. Sastry, “Using smart sensors and a camera phone to detect and verify the fall of elderly persons”. *European Medicine, Biology and Engineering Conference*, 2005.

- [127] T. Zhang, J. Wang, P. Liu, J. Hou, “Fall detection by embedding an accelerometer in cellphone and using KFD algorithm”. *International Journal on Computer Science Network Security*, 6(10):277–284, October 2006.
- [128] P. Ferrill, “Pro Android Python with SL4A”, A Press, 2011.
- [129] F. Sposaro , G. Tyson, “ifall: An android application for fall monitoring and response,” in *International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6119–6122, 2009.
- [130] DM Karantonis, MR Narayanan, M Mathie, NH Lovell, BG Celler ,” Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring”, *IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine* 10(1):156–167,2006.
- [131] <http://www.oneclickroot.com>, February 2013.
- [132] RK Ganti, P Jayachandran, TF Abdelzaher, JA Stankovic, “SATIRE: a software architecture for smart AtTIRE”, In *Proceedings of the 4th international conference on mobile systems, applications and services, MobiSys*, 2006.
- [133] A. Dinh, Y. Shi, D. Teng, A. Ralhan, L. Chen, V. D. Bello-Haas, J. Basran, S. Ko, and C. McCrowsky, “A Fall and Near-Fall Assessment and Evaluation System,” *The Open Biomedical Engineering Journal*, vol. 3, pp. 1–7, 2009.
- [134] Frank, E., Hall, M., Trigg, L., Holmes, G., Witten, I.H.: “Data mining in bioinformatics”, *Bioinformatics* 20(15), 2479–2481 (2004).
- [135] <https://github.com/rjmarsan/Weka-for-Android>, May 2013.
- [136] A. Copetti, J. C. B. Leite, O. Loques and M. F. Neves, “A decision making mechanism for context inference in pervasive healthcare environments”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 528–537, 2013.
- [137] C. Combes and J. Azema. “Clustering using principal component analysis applied to autonomy–disability of elderly people”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 578–586, 2013.

Annexe 1

A.I. Introduction au réseau GSM

GSM est l'abréviation de *Global System for Mobile Communications*. C'est le système de téléphonie mobile le plus répandu dans le monde. Avec les 3 opérateurs en Algérie (Mobilis, Djezzy, Nedjma) le nombre des abonnés des réseaux GSM avoisine les 33 millions de personnes, soit, 91.6% de la population [1] [6]. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

L'origine du GSM remonte à l'année 1982. Alors qu'apparaissent les premiers services commerciaux de radiotéléphonie cellulaire un peu partout en Europe et aux Etats-Unis, la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) confie à un groupe de travail appelé « Groupe Spécial Mobiles » la tâche de rédiger les spécifications d'un système européen de communication basé sur des téléphones mobiles. La bande des 900 MHz, réservée depuis 1978 par la Conférence Administrative Mondiale des Radiocommunications (WARC) est choisie. Il est devenu une norme internationale en 1991 [2, 3].

Les objectifs du GSM reprennent et prolongent ceux des précédents systèmes de téléphonie mobile :

- Grande capacité de desserte d'abonnés.
- Utilisation efficace du spectre.
- Disponibilité très large.
- Adaptabilité à la densité du trafic.
- Possibilité d'accès à partir de portables (en voiture) et de portatifs (piétons).
- Services téléphoniques ordinaires et services spéciaux.
- Qualité de service téléphonique.
- Prix abordable.

A.I.1- Interface Radio

L'interface radio de GSM est basée sur un découpage du spectre en porteuses, chaque porteuse est découpée en huit intervalles de temps ou slots correspondants à 8 canaux successifs, qui supporte chacun une communication (principe du FDMA/TDMA).

Chaque communication nécessite une paire de canaux radio qui permettent une communication en duplex.

Le taux de transmission représente la quantité d'information transmise sur un canal radio durant un intervalle de temps exprimé en Bit/s. Il est de 270kbit/s sur l'interface air du GSM.

Une communication en GSM met en œuvre également le mécanisme de saut de fréquence ‘Frequency Hopping’ : pour ne pas mobiliser un canal, et permettre une adaptation dynamique aux conditions du réseau, le canal utilisé par la communication change régulièrement.

Le GSM utilise une modulation en fréquence, beaucoup moins coûteuse en énergie que la modulation en amplitude. Par contre, elle est moins performante en termes d’usage du spectre de fréquence et utilise donc une bande de fréquence plus large. Il s’agit plus précisément d’une modulation Gaussian Shift Keying (GMSK) : modulation avec porteuse à minimum de saut de phase, gaussienne.

Deux systèmes GSM existent selon la bande de fréquence utilisée : le GSM 900 (autour des 900 MHz) et le GSM 1800 (autour des 1800 Mhz). Précisément, les fréquences du GSM pour les canaux ascendants (Uplink) sont de 890 à 915 MHz, et pour les canaux descendants (Downlink) de 935 à 960 MHz. Pour le GSM 1800, la bande de fréquence est de 1710 à 1910MHz.

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS Multimedia Message Service). [4, 6]

A.I.2- Les Principes du GSM

Les principales caractéristiques du GSM sont :

- les communications numériques (canaux de voix et de contrôle),
- la possibilité forte de roaming,
- le transport de données.

L’usage du numérique, ainsi que le support de communications de données, distingue la deuxième génération de téléphonie mobile (2G).

Du point de vue de l’usager, le GSM apporte de nouveaux services, à bas coût. Par exemple les SMS, MMS... [2, 3].

A.I.3- L’architecture du réseau GSM

Les parties principales du GSM sont : (*fig. 1.1*)

- **MS (mobile station)**: station mobile, c'est le téléphone mobile (téléphone cellulaire), il est transporté par l'utilisateur.
- **Le sous système radio BSS (Base Sub-System)** : c'est la partie qui gère la ressource radio, elle est en contact direct avec le MS.

- **Le sous système de commutation NSS (Network Sub-System):** c'est la partie qui gère la commutation dans le réseau GSM, elle est en contact avec les BSS et d'autre part avec d'autres réseaux de communication.
- **Le sous système d'exploitation et de maintenance OSS (opération SUB-System) :** cette partie permet l'administration de réseau [2,4].

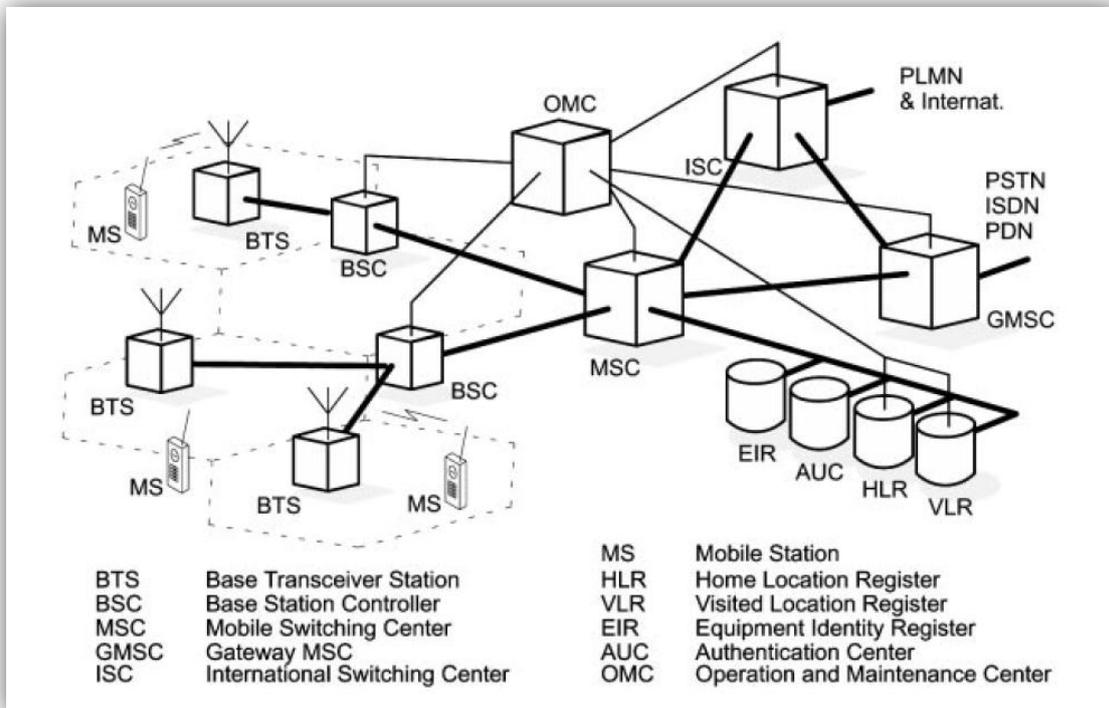


Figure 1.1 : Architecture globale du système GSM

A.I.3.1. La station mobile (MS)

C'est un équipement terminal (mobile) muni d'une carte SIM (Subscriber Identity Mobile). Cette carte à puce contient les caractéristiques de l'utilisateur et les éléments de son abonnement qui permet d'accéder aux services du réseau GSM, c'est la partie visible du réseau (fig.1.2). Chaque équipement mobile est identifié dans n'importe quel réseau GSM par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity).



Figure 1.2 : Equipement mobile personnalisé avec une carte SIM
(Station mobile MS)

A.I.3.1.1- Equipement mobile (ME)

Avant il y avait des mobiles avec une seule bande, la bande GSM 900Mhz, après le développement du DCS 1800Mhz, c'est l'apparition des mobiles avec double bande (bi bande) GSM900/DCS1800, après la création de la bande PCS1900 au Etats Unis, apparaissent les mobiles à triple bande. Chaque équipement mobile est identifié dans n'importe quel réseau GSM par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) on peut obtenir ce numéro en composant sur le clavier d'un portable *#06#, il permet éventuellement de détecter des équipements volés, non homologués ou qui perturbent le réseau.

Les différents types d'équipements mobiles disponibles sur le marché peuvent être regroupés par familles en fonction de leur ergonomie et de leurs usages, on distingue notamment : **ME simple** pour un utilisateur ordinaire avec une configuration basique adaptée à la génération et à la technologie utilisée : téléphone, SMS ,MMS, appareil photos, caméra, lecteur MP3, jeux, Bluetooth .GPRS..., [5]. Autre type d'équipements mobiles ME : les **Smartphones** ou "les téléphones intelligents", ces derniers sont issus de la rencontre du PDA(*Personal Digital Assistant*.) et du téléphone mobile, sont les matériels les plus performants en termes de puissance ,d'intégration et d'ergonomie, sont le support de prédiction des applications mobiles autonomes pour professionnels itinérants. Ces dernières années l'utilisation des Smartphones est beaucoup augmentée par les professionnels et même par les utilisateurs ordinaires , car l'accès aux différents services disponibles actuellement tel que l'internet et le chat par mobile et les services de localisation LBS, nécessitent un système plus intelligent et plus puissant , un autre facteur qui a influencé sur cette augmentation c'est le prix qui est devenu très abordable par rapport aux premières années .La particularité des ME intelligents(*Smartphone*) c'est le système d'exploitation(Palm OS, Windows Mobile, EPOC ou SYMBIAN, Linux).

A.I.3.1.2- Module d'identité de l'abonné (SIM)

Le mobile ne peut pas accéder au réseau GSM sans la carte SIM, la carte SIM relie l'abonné mobile au réseau GSM de l'opérateur où il est inscrit, elle contient toutes les informations nécessaires du réseau GSM, ces informations peuvent être rattachés aux abonnés mobiles, au réseau GSM ou PLMN (Public Land Mobile Network).

La carte SIM contient les informations suivantes:

- Numéro de téléphone de l'abonné (MSISDN).
- Numéro d'abonné international (IMSI, international mobile subscriber identity).
- Etat de la carte SIM.
- Code de service (opérateur).
- Clé d'authentification.
- Informations de localisation : comportant le TMSI, le LAI, le temps de la mise à jour périodique.
- Code PIN (*Personal Identification Code*).
- Code PUK (*Personal Unlock Code*).

A.I.3.2. Partie sous système radio BSS (base sub system)

Le sous-système radio est l'ensemble des constituants du réseau qui gère l'échange et la transmission des données par la voie hertzienne. Le sous-système radio est principalement constitué de deux éléments: les stations de base et le contrôleur des stations (*fig. 1.3*) [2, 4].

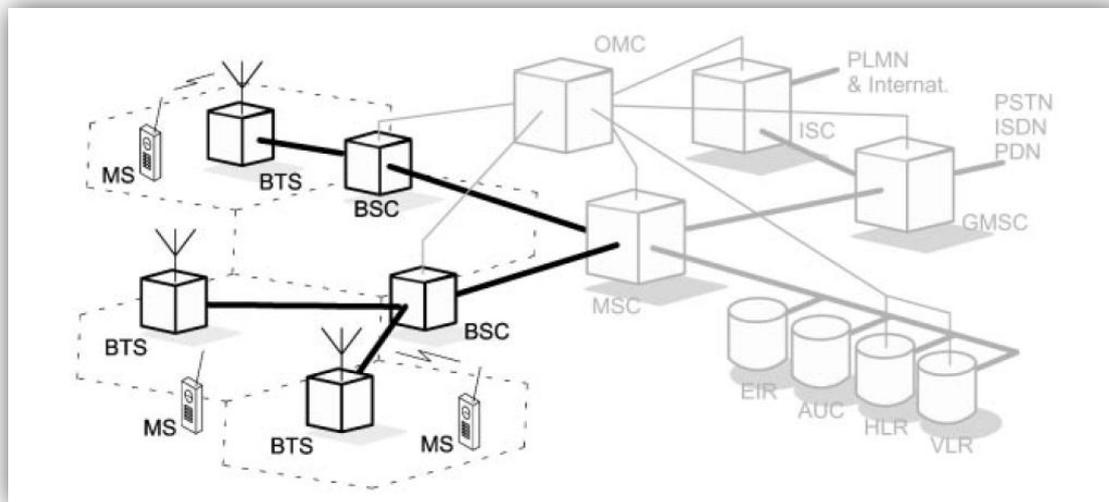


Figure 1.3 : La partie BSS dans le réseau GSM

A.I.3.2.1- La station de base BTS (Base Transceiver Station)

La station d'émission réception (Base Transceiver Station – BTS) ou la station de base est une armoire qui contient des modules d'émission-réception (liés à des antennes) et une carte de contrôle, avec des ventilos internes pour le refroidissement des équipements, la BTS comprend les équipements radio du réseau GSM nécessaires à l'écoulement du trafic lié à une zone, elle assure le traitement des signaux sur la liaison radio et les fonctions de commande associées, la position de station de base et leur nombre dépendent de la topologie du terrain concerné et du trafic à écouler, cette station est reliée d'une part au mobile à travers l'interface radio (UM) et d'autre part au contrôleur de station de base (Base Station Contrôler - BSC) par l'intermédiaire de l'interface A-bis [2, 3,5].

A.I.3.2.1.1- Les fonctions de la BTS

- La gestion de la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure.
- Elle se charge de la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage, correcteur d'erreur)
- Gère toute la couche physique: multiplexage TDMA, saut de fréquence, chiffrement.
- Réalise l'ensemble des mesures radio nécessaires pour vérifier qu'une communication se déroule normalement.
- Capacité maximale 16 porteuses, peut supporter jusqu'à 100 appels simultanés.

A.I.3.2.1.2 -Les équipements de la BTS

a) L'antenne:

Les antennes sont les composantes les plus visibles du réseau GSM. On les voit un peu partout, souvent sur des hauts pylônes, sur des toits d'immeubles, sont des équipements qui jouent le rôle émetteurs-récepteurs des signaux, elles peuvent être des antennes omnidirectionnelle ou des antennes sectoriels.

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante est dirigée dans l'azimut établi. L'azimut est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°). De cette façon, l'azimut 90° correspond à l'est, l'azimut 180° au sud, etc... (fig. 1.4)[2, 4].

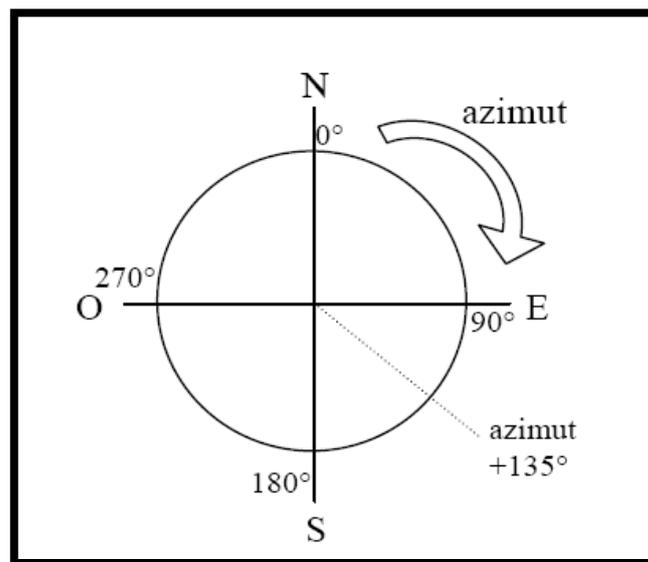


Figure 1.4 : Représentation des azimuts

Chaque relais GSM est partagé en plusieurs zones d'émission, une pour chaque antenne habituellement jusqu'à 3 zones par relais, appelées aussi secteur. (fig.1.5)



Figure 1.5 : Exemple d'antennes GSM tri-sectorielles

Un site est dit mono sectorisé s'il ne possède qu'un seul secteur, c'est-à-dire qui ne gère qu'une seule cellule. Ce type peut être utilisé pour affiner une couverture locale, ou en zone

rurale. Un site bisectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs, mais la majorité des sites GSM sont des sites trisectorisés, c'est-à-dire qu'ils sont constitués de trois secteurs (fig. 1.6).

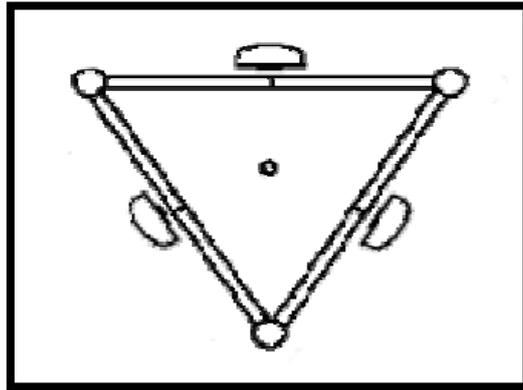


Figure 1.6 : Site trisectorisé

Les secteurs de chaque site sont numérotés. Le secteur n°1 est le secteur qui a l'azimut le moins élevé, c'est-à-dire, c'est le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord (Az 0°) (fig.1.7).

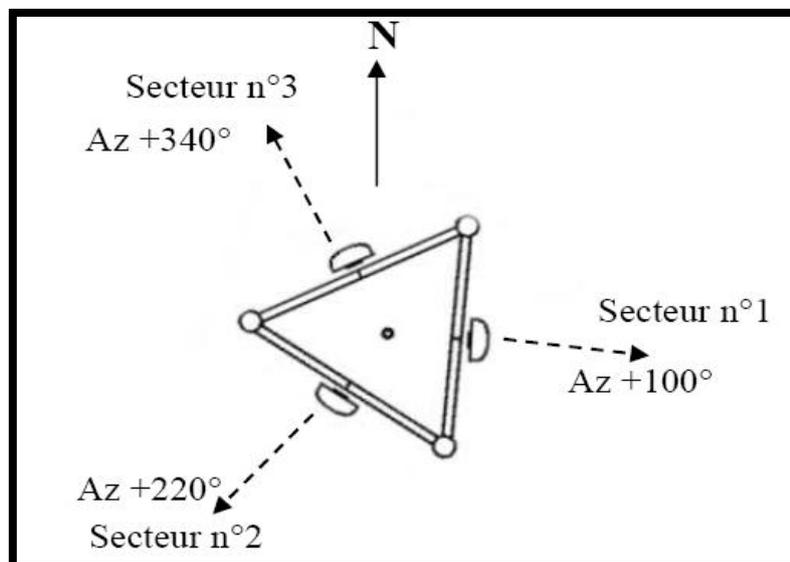


Figure 1.7 : Exemple de numérotation des secteurs d'un site trisectorisé

b) **Carte de contrôle équipée d'un microprocesseur:**

C'est la partie intelligente de la BTS, exemple dans le cas de l'équipement ALCATEL on l'appelle carte SUMA [3].

Les fonctions de la carte de contrôle:

- Contrôle de la fonction AC/DC lorsque celle-ci est intégrée dans la BTS.
- Contrôle le bon fonctionnement des équipements.

- Contrôle les paramètres des valeurs de tension et de courant optimales pour la charge de la batterie.
- Modification des distributions MIC internes.

A.I.3.2.2- Le fonctionnement d'une BTS

Dans le marché de télécommunication algérien existe plusieurs marques et types de BTS, par exemple NEDJMA utilise les BTS SIEMENS (Nokia SIEMENS) et ERICSSON, il ya aussi ALCATEL, HUAWEI et ZTE qui sont utilisés par DJEZZY et MOBILIS :¹

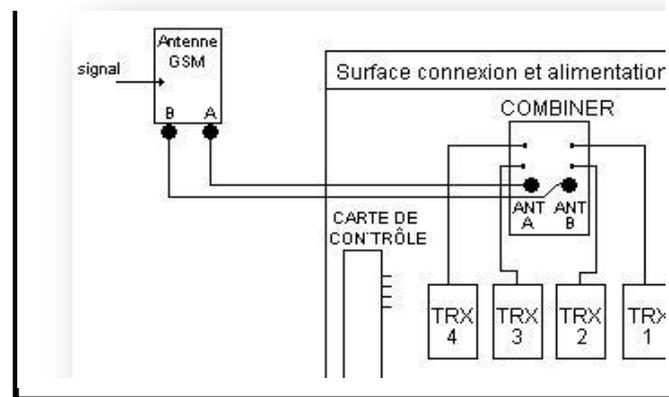


Figure 1.8 : Une partie d'une BTS ALCATEL

A la réception, les signaux reçus par l'antenne seront répartis en deux (A et B) (fig.1.8) ils seront directement envoyés vers le Combiner qui configure chaque partie A ou B pour deux TRX (A pour les TRX 1 et 2, et B pour les TRX 3 et 4).

En cas d'émission, le Combiner va coupler les signaux envoyés par les TRX 1 et 2 dans la partie A, et les TRX 3 et 4 dans la partie B, ils seront envoyés vers l'antenne qui va les émettre.

Le bon fonctionnement de cette procédure est contrôlé et surveillé par la carte de contrôle [3].

A.I.3.2.3 - Contrôleur de station de base (BSC Base Station Controller)

L'ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est relié à un contrôleur de stations BSC. Typiquement, il en contrôle quelques dizaines ou quelques centaines.

Le contrôleur de base (BSC) est l'organe intelligent du sous système radio. Il a pour fonction de gérer la ressource radio. Il commande l'allocation des canaux, utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile: cette dernière est fonction de la distance mobile émetteur de telle manière que la liaison soit toujours de bonne qualité.

Le BSC, c'est l'élément responsable de l'exécution d'un HAND-OVER (transferts intercellulaires), si le mobile change de cellule, il sera directement relié à la cellule la plus proche, sans que l'abonné s'en rende compte.

Plusieurs dispositions entre BTS et BSC sont possibles, les configurations les plus utilisés sont : la configuration en étoile (fig.1.9) et en chaîne (fig.1.10).

¹ On a fait une visite chez les trois opérateurs pour voir les différents équipements utilisés

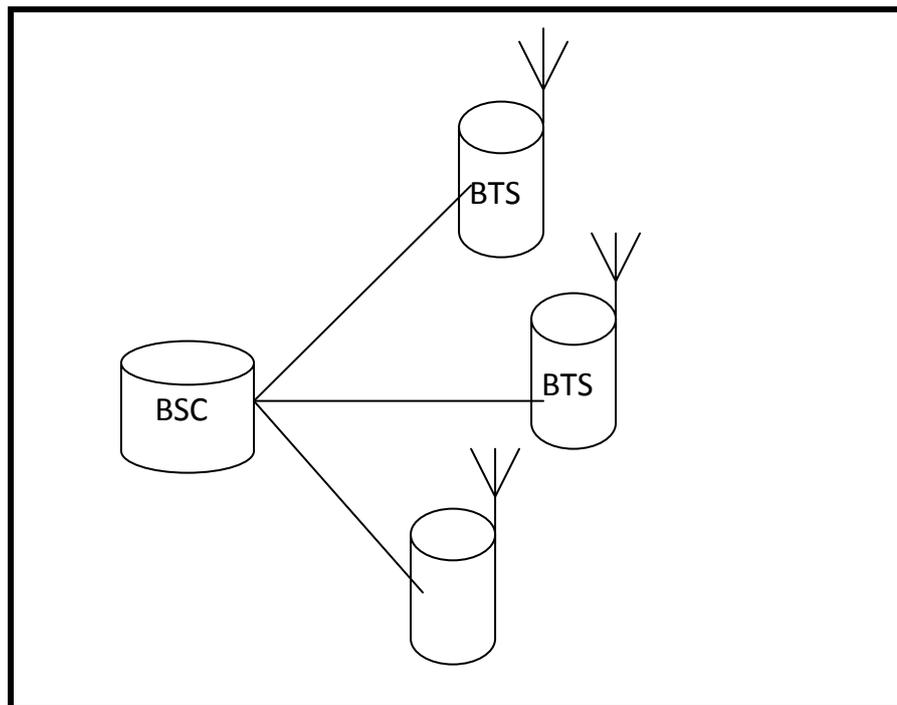


Figure 1.9 : La configuration en étoile

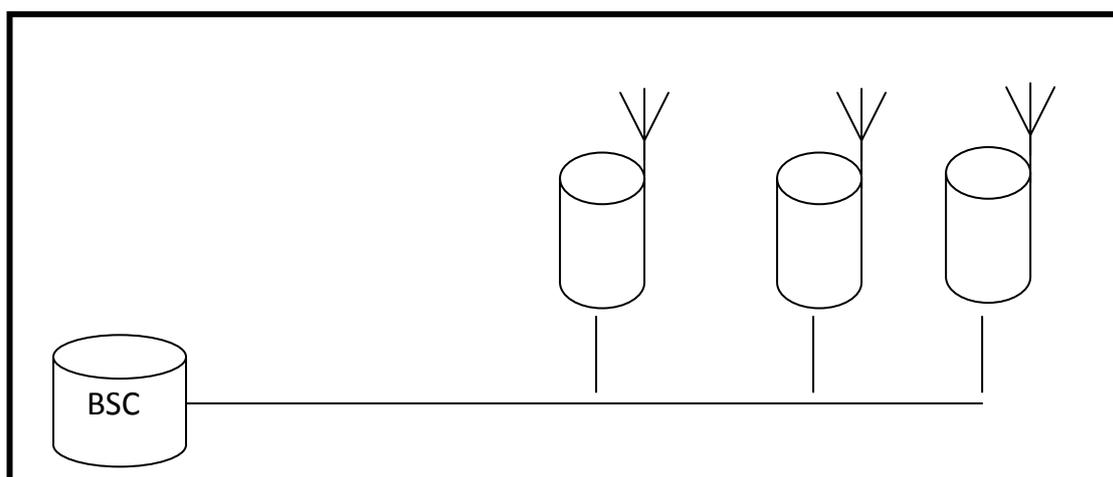


Figure 1.10 : La configuration en chaîne

A.I.3.3- Le sous-système réseau (NSS) :

Le NSS assure principalement les fonctions de commutation et de routage (*fig.1.11*). C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP(PSTN) ou RNIS (ISDN) par le GMSC (Gateway MSC) et avec le réseau mobile ou le réseau international ou internet par l'ISC (International switching center). En plus des fonctions indispensables de commutation, de gestion de la mobilité [4].

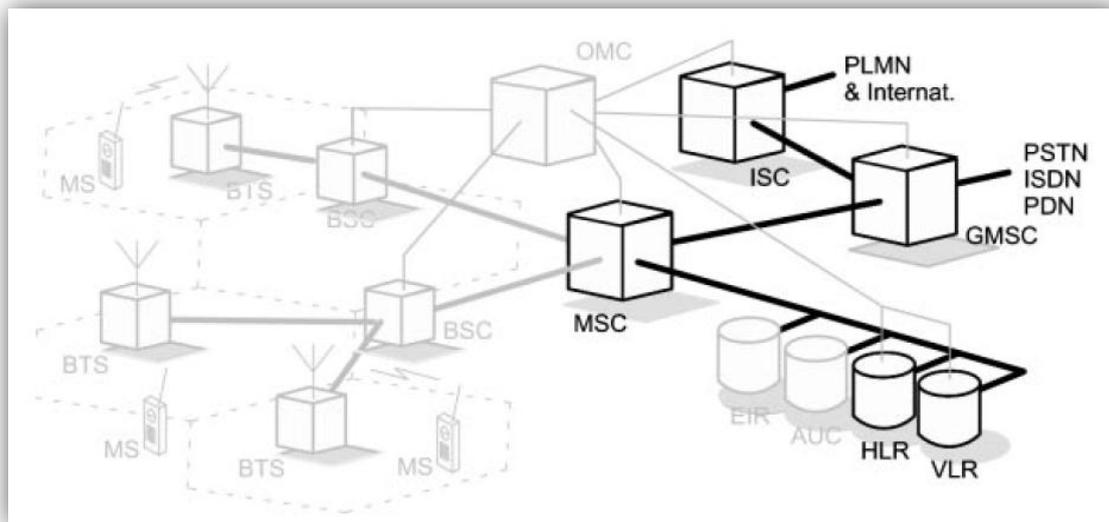


Figure 1.11 : La partie NSS dans le réseau GSM

Il est composé de commutateurs MSC (Mobile Switching Center), et de base de données qui permettent de contrôler l'accès et la facturation des utilisateurs avec un enregistreur de localisation nominale HLR (Home Location Register) et un enregistreur de localisation des visiteurs VLR (Visitor location Register) [3].

Le NSS est dédié au transport par commutation de circuit, et donc à la voix. Les services de données, avec commutation de paquet, sont réalisés par le GPRS.

A.I.3.3.1- MSC (Mobile Switching Center) :

Centre de commutation du service mobile. C'est la partie centrale du NSS. Il prend en charge l'établissement des communications de et vers les abonnés GSM à travers les contrôleurs de stations BSC qui lui sont reliés physiquement. Il est chargé de la transmission des messages courts (message SMS sous forme de texte).

Le MSC (*fig.1.12*) assure d'autres services : gestion de la mobilité (l'exécution d'un *handover* entre deux BSC différentes, il dialogue avec le VLR pour gérer la mobilité des usagers), *roaming* (changement de réseaux), communication voix et données. Une communication peut être transportée à travers plusieurs MSC.



Figure 1.12: MSC (Mobile Switching Center)

A.I.3.3.2 - Les bases de données :

Le MSC est généralement relié à des bases de données assurant des fonctions complémentaires. Elles ont une fonction clé et sont la partie la plus sensible et donc la mieux protégée du réseau.

Deux bases de données gèrent les données utilisateurs :

a) HLR (Home Location Register):

Le registre des abonnés locaux : il s'agit d'une base de données contenant toutes les informations relatives à l'abonnement et aux droits d'accès (position géographique, informations administratives, etc.) sur les abonnés d'un opérateur donné. C'est des informations originales, mises à jour par le fournisseur de l'abonnement telles :

- L'identité internationale de l'abonné utilisée par le réseau (IMSI).
- Le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN ou numéro d'appel),
- Le profil de l'abonnement (services supplémentaires autorisés, autorisation d'appel international...).

b) VLR (Visitor Location Register) :

Le registre des abonnés visiteurs : il s'agit d'une base de données contenant des informations sur les abonnés présents dans une certaine zone géographique. Ces informations sont une copie de l'original conservé dans le HLR. Le VLR rapatrie les données sur un nouvel utilisateur à partir du HLR correspondant à sa zone d'abonnement, vient se rajouter l'identité temporaire TMSI. Le VLR a une information de localisation plus précise que le HLR. Les données sont conservées pendant tout le temps de sa présence dans la zone et sont supprimées lorsqu'il la quitte ou après une longue période d'inactivité (terminal éteint). Le MSC est en général couplé avec le VLR.

A.I.3.4 - Le sous-système opérationnel OSS (Operating Sub-System) :

Assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM. La supervision du réseau intervient à de nombreux niveaux:

- Détection de pannes.
- Mise en service de sites.
- Modification de paramétrage.
- Réalisation de statistiques.

La partie OSS est basée sur les OMC (Operation and Maintenance Center) (*fig. 1.13*), on distingue l'OMC/R (Radio) qui est relié à toutes les entités du BSS, à travers les BSC, l'OMC/S (System) qui est relié au sous système NSS à travers les MSC. Enfin l'OMC/M (Maintenance) contrôle l'OMC/R et l'OMC/S.

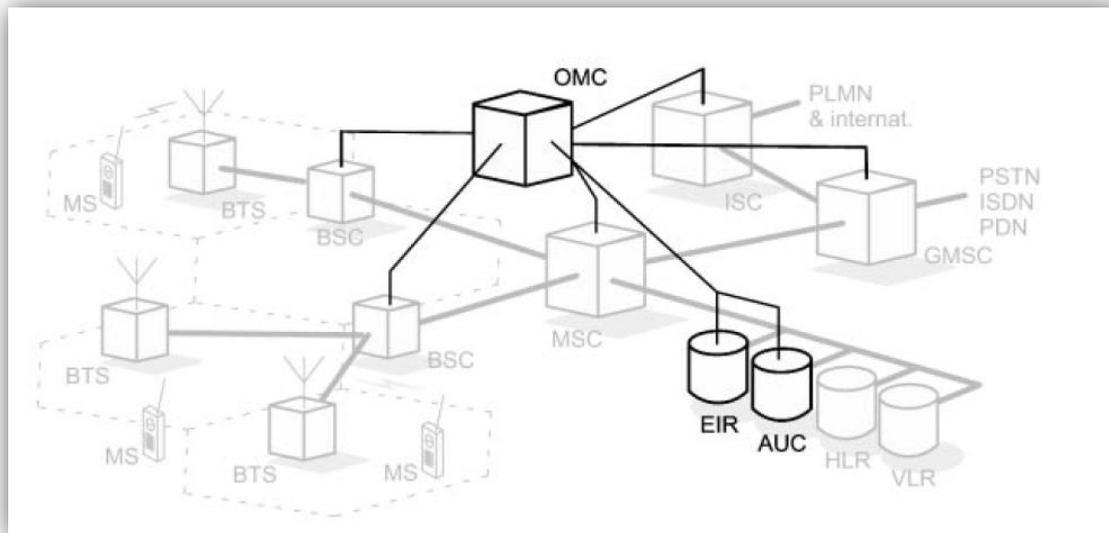


Figure 1.13 : La partie OSS dans le réseau GSM

Dans l'OSS, il existe aussi deux bases de données qui sont chargées de contrôler la validité de la connexion au réseau :

a) AUC (Authentication Center) :

Le Centre d'authentification: il s'agit d'un élément chargé de vérifier l'identité des utilisateurs (informations concernant la carte SIM). Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer les communications. Un AuC est en général associé à chaque HLR.

b) EIR (Equipment Identity Register) :

Le registre des terminaux: il s'agit d'une base de données répertoriant les terminaux mobiles. Pour pouvoir téléphoner, il est donc indispensable de disposer d'une carte SIM valide et d'un terminal autorisé. Ceci permet notamment de bloquer les appareils en cas de vol.

Références

- [1] <http://www.webimag.com/2011/04/33-millions-algeriens-sont-abonnes-a-la-telephonie-mobile/> (2011).
- [2] Joachim Tisal, “Le radiotéléphone cellulaire GSM”, Elsevier Masson, 1995.
- [3] Documentations des équipements utilisés par Algérie Télécom, 2010.
- [4] HansJorg Vogel,Christian Bettletter, “GSM Switching ,Services and Protocols :Second Edition” ,ISBN :0-470-84174-5,(Wiley 2005).
- [5] <http://www.gsm-zen.com/614-les-differents-types-de-mobile.html> (2009).
- [6] <http://maps.mobileworldlive.com> (Aout 2013).

Annexe 2

A.II. Développement de l'application d'évaluation

L'objectif est de présenter les langages de programmation et les outils de développement afin de pouvoir implémenter l'application d'évaluation m-health client-serveur.

A.II.1-WAMP

L'architecture WAMP est le plus souvent utilisée pour développer des sites web sur une machine Windows. De ce fait, en général, tout se passe sur une même machine. Il est très utile d'installer WAMP qui regroupe tous ces outils cités précédemment au lieu de les installer un par un.

WAMP signifie Windows + Apache + MySQL + PHP. WAMP est un utilitaire qui installe et configure automatiquement un environnement de travail complet sous Windows permettant de mettre en œuvre toute la puissance et la souplesse qu'offrent le langage dynamique PHP et son support efficace des bases de données. WAMP regroupe un serveur Apache, une base de données MySQL et le langage PHP. On va voir par la suite dans chaque implémentation le rôle de l'un de ces outils [1].

A.II.2- Le SGBD

Un serveur de base de données répond à des demandes de manipulation de données stockées dans une ou plusieurs bases de données. Il s'agit typiquement de demandes de recherche, de tri, d'ajout, de modification ou de suppression de données.

Le serveur de base de données fait partie d'un système de gestion de base de données (abréviation SGBD).

Le SGBD est un logiciel qui manipule les bases de données. Il permet d'organiser, de contrôler, de consulter, de modifier la base de données et de rechercher efficacement des données spécifiques dans une grande masse d'informations (pouvant atteindre plusieurs milliards d'octets). Les opérations sont parfois formulées dans un langage de requête tel que SQL (le plus connu et employé pour les modèles relationnels [2]).

Le SGBD est un ensemble de services (applications logicielles) permettant de gérer les bases de données c.à.d.:

- Permettre l'accès aux données de façon simple.
- Autoriser un accès aux informations à de multiples utilisateurs.
- Manipuler les données présentes dans la base de données (insertion, suppression, modification).
- Il garantit l'absence de redondance, l'intégrité, la confidentialité.

- Le SGBD effectue les vérifications pour assurer qu'aucune personne non autorisée n'ait accès à des informations confidentielles contenues dans la base de données.
- Les fonctions essentielles de SGBD sont caractérisées par un modèle de description des données (fig.2.1): L' Ajout de données, Mise à jour des données, Recherche des données, La Gestion des transactions et Sécurité.



Figure 2.1: Les fonctionnalités de SGBD

Tous les SGBD présentent à peu près les mêmes fonctionnalités. Ils se distinguent par leur coût, par le volume de données qu'ils sont capables de gérer, par le nombre d'utilisateurs qui peuvent interroger la base simultanément, par la facilité avec laquelle ils s'interfaçent avec les autres logiciels d'application utilisés dans le système d'information, etc.

A.II.2.1- MYSQL

Les langages de requêtes sont destinés à interroger et manipuler les bases de données. SQL est un langage de requête utilisé par un grand nombre de systèmes de gestion de bases de données tels que Oracle, SQL Server ou MySQL.

Pour faire l'implémentation de notre base de données de signalisation, on s'intéresse au SGBD "MySQL".

MySQL est le système de gestion de base de données (SGBD) le plus utilisé dans le monde. Il est considéré comme un véritable serveur multiutilisateur et multithread, son architecture logicielle le rend extrêmement rapide et facile à personnaliser, il est basé sur le langage des requêtes structurées SQL (Structured Query Language). Les principaux avantages de MySQL sont sa rapidité, sa robustesse, sa très bonne intégration dans l'environnement Apache/PHP, et sa facilité d'utilisation et d'administration. Un autre avantage majeur de MySQL est sa documentation très complète et bien construite [3]. De plus, MySQL est gratuit sauf pour certaines utilisations.

A.II.3-Le serveur web

Un serveur web est donc un « simple » logiciel capable d'interpréter les requêtes HTTP arrivant sur le port associé au protocole de communication client-serveur HTTP (par défaut le port 80), et de fournir une réponse avec ce même protocole.

Un serveur web peut remplir plusieurs autres fonctionnalités :

- Générer des pages PHP en HTML.
- Servir une page en ajoutant des entêtes appropriés.
- Reconnaître les entêtes de requêtes et servir des pages différentes suivant le client ou ses préférences.
- Répondre différemment aux différentes machines grâce aux adresses IP et aux ports de celles-ci.

Un serveur HTTP appelé aussi serveur web, et puisque le serveur HTTP le plus utilisé est : Apache HTTP Server, et que ce logiciel est gratuit, on a choisi de l'utiliser.

Le plus souvent, un serveur web est composé de plusieurs logiciels qui fonctionnent en parallèle. On retrouve la combinaison Apache (serveur HTTP), MySQL (serveur de base de données) et PHP, tous gratuits et libres.

La plupart des ordinateurs utilisés comme serveur web sont reliés à Internet et hébergent des sites Web du World Wide Web [4].

A.II.4- L'interpréteur PHP

Le « *PHP: Hypertext Preprocessor* », plus connu sous son sigle *PHP*, est un langage de scripts libre principalement utilisé pour produire des pages Web dynamiques via un serveur HTTP, mais pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale, en exécutant les programmes en ligne de commande.

Le langage PHP est utilisé principalement en tant que langage de script côté, ce qui veut dire que c'est le serveur (la machine qui héberge la page Web) qui va interpréter le code PHP et générer du code (constitué généralement d'XHTML ou d'HTML, de CSS, et parfois de JavaScript). Ce contenu est renvoyé au serveur HTTP, qui l'envoie finalement au client.

Il a été conçu pour permettre la création d'applications dynamiques, le plus souvent dédiées au Web. PHP est très majoritairement installé sur un serveur Apache, mais peut être installé sur les autres principaux serveurs HTTP du marché, par exemple IIS. Ce couplage permet de récupérer des informations issues d'une base de données [3].

A.II.5-Le Symbian C++

Le C++ est le langage natif du Symbian OS, il permet la compilation en langage machine, il est très rapide et il offre de multiples fonctions. Mais il est très complexe par rapport aux autres langages de programmation [5].

a) Gestion de la mémoire

La programmation en C++ sous Symbian permet une gestion relativement avancée de la mémoire. Et cela est nécessaire, car les ressources (espace disque, quantité de mémoire vive...) sont nettement plus limitées que sur une plateforme plus classique.

Bien que les téléphones soient de mieux en mieux équipés et qu'ils tendent à rivaliser avec les ordinateurs dans ce domaine, la gestion de la mémoire est donc un aspect très important. L'utilisation des destructeurs notamment prend donc une importance toute particulière.

c) Types primitifs (ou basiques)

Les types primitifs utilisés habituellement en C++ laissent place à de nouveaux types primitifs spécifiques à Symbian. Ces nouveaux types sont couramment appelés descripteurs de données.

Voici une courte et non exhaustive liste de ces types :

- Types numériques et booléens

TInt : Type représentant des entiers de taille acceptable pour le système.

TBool : Type représentant un booléen.

- Types de chaînes de caractères

TBuf : descripteur de chaîne modifiable

TBufC : descripteur de chaîne non modifiable

TPtr : pointeur sur un descripteur de chaîne modifiable

TPtrC : pointeur descripteur de chaîne non modifiable

HBufC : descripteur de chaîne modifiable, de taille supérieure au type TBuf

TDes : Ancêtre de tous les types précédent modifiables

TDesC : Ancêtre de tous les types précédent non modifiables

L'API Mobinfo

L'API Mobinfo offre un accès complet aux différents services du Symbian OS, parmi les méthodes utilisées avec cet API, on a :

- *void CMobileInfo::GetIMEI(TMobilIMEI& aImei, TRequestStatus& aStatus)* : elle est utilisée pour extraire l'IMEI du mobile .
- *void CMobileNetworkInfo::NotifyCellIdChange(TMobilCellIdBuf& aCellID, TRequestStatus& aStatus)*: cette méthode retourne la valeur de l'identificateur de cellule CellID.
- *Void CMobileNetworkInfo::GetNetworkAvailability(TMobilNetAvailability& aNetStat, TRequestStatus& aStatus)* : cette méthode fait un scan sur le type de réseau utilisé et elle retourne le nom et type du réseau .
- *void CMobileContext::GetBatteryChargeLevel(TMobilBattLevel& aBattLevel, TRequestStatus& aStatus)* :elle retourne le niveau de la batterie.
- *void CMobileContext::GetSignalStrengthLevel(TMobilSignalStrength& aLevel, TRequestStatus& aStatus)* : cette méthode fait l'acquisition du niveau de signal elle retourne une valeur en dbm [6].

A.II.6- Le Python S60 (PyS60)

Python est un langage de programmation interprété multi-paradigme, portable, dynamique, extensible, et gratuit. Il favorise la programmation impérative structurée, et purement orientée objet (*tout est objet*). Il est doté d'un typage dynamique fort, d'une gestion automatique de la

mémoire et d'un système de gestion d'exceptions ; il est ainsi similaire à Perl, Ruby, Scheme, Smalltalk et Tcl [7].

Il est conçu pour optimiser la productivité des programmeurs en offrant des outils de haut niveau et une syntaxe simple à utiliser.

On l'utilise également comme langage de développement de prototype lorsqu'on a besoin d'une application fonctionnelle avant de l'optimiser avec un langage de plus bas niveau. Il est particulièrement répandu dans le monde scientifique, et possède de nombreuses extensions destinées aux applications numériques.

Le Python S60 offre un interpréteur Python développé en utilisant l'API C++ de Symbian, On peut étendre les fonctionnalités de Python en développant facilement des modules en Symbian C++. [5,8]

Caractéristiques du langage python

Dans ce passage on va citer quelques caractéristiques de Python :

- Python est portable, non seulement sur les différentes variantes d'Unix, mais aussi sur les OS propriétaires: MacOS, BeOS, NeXTStep, MS-DOS et les différentes variantes de Windows.
- Python est extensible, on peut facilement l'interfacer avec des bibliothèques C existantes.
- Python convient aussi bien à des scripts d'une dizaine de lignes qu'à des projets complexes de plusieurs dizaines de milliers de lignes. Cela veut dire que la syntaxe de Python est très simple. A fonctionnalités égales, un programme Python est souvent de 3 à 5 fois plus court qu'un programme C ou C++ (ou même Java) équivalent, ce qui représente en général un temps de développement de 5 à 10 fois plus court et une facilité de maintenance largement accrue.
- Python est orienté-objet et il intègre aussi un système d'exceptions, qui permettent de simplifier considérablement la gestion des erreurs.
- Comme Schème ou SmallTalk, Python est dynamiquement typé. Tout objet manipulable par le programmeur possède un type bien défini à l'exécution, qui n'a pas besoin d'être déclaré à l'avance.
- La bibliothèque standard de Python, et les paquetages contribués, donnent accès à une grande variété de services : chaînes de caractères et expressions régulières, services UNIX standards (fichiers, pipes, signaux, sockets, threads...), protocoles Internet (Web, FTP, HTML...), persistance et bases de données, interfaces graphiques [7].

A.II.6.1- Quelques modules de Python pour la plateforme S60

Parmi les modules utilisés dans notre projet on a :

- Le module '*appuiw*' : Le module *appuiw* établit une interface pour le cadre de l'interface utilisateur de S60 (dialogues, sélections, listes,...).
- La structure de l'interface utilisateur de Python ressemble à l'interface des applications S60 (fig. 2. 2). [8]

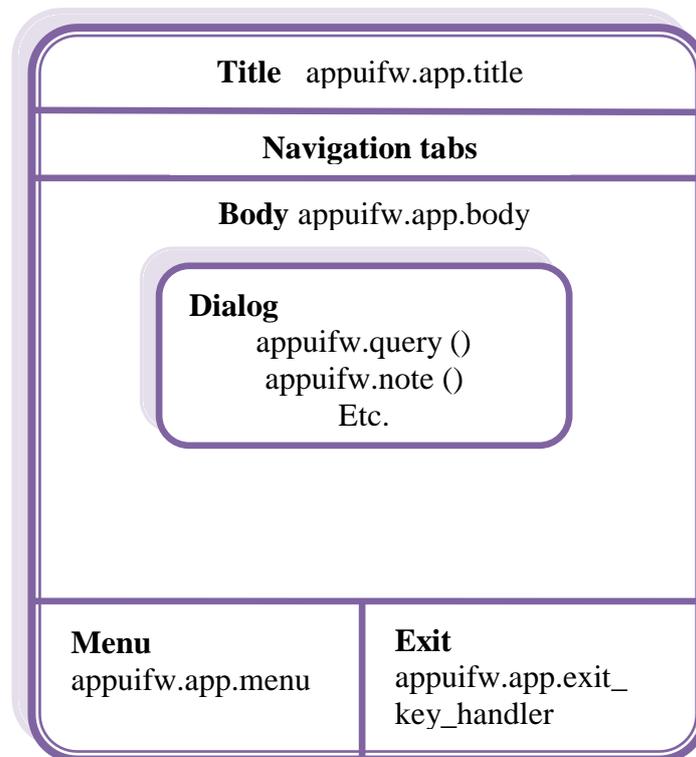


Figure 2.2 : La structure de l'interface utilisateur de PyS60

- Le module '*graphics*' : C'est le responsable de la gestion des touches du clavier, il est aussi utilisé pour dessiner des formes graphiques ou afficher des images dans l'interface S60 (Canvas).
- Le module '*httplib*' : On utilise le module *httplib* pour établir une connexion HTTP et envoyer les données par POST. il faut définir les headers et encoder l'URL avant un POST HTTP, on utilise ensuite un objet *HTTPConnection*. Après chaque connexion HTTP il y a la fonction *close()* qui fait la clôture de la connexion.
- Le module '*json*' : JSON (*JavaScript Object Notation*) est un protocole de transfert récent de la couche supérieure, utilisé par les applications web modernes. Il permet de représenter de l'information structurée (fig. 2.3).

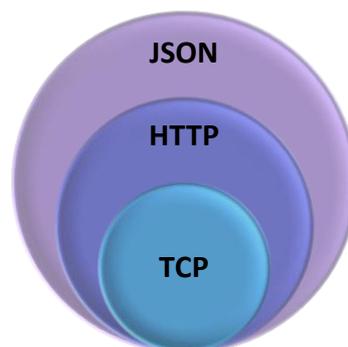


Figure 2.3: Les protocoles de communication

- Le module '*sysinfo*' : Il existe des dizaines de méthodes associées à ce module spécifiques pour l'accès aux informations système.

- Le module *'e32'* : Utilisé pour les fonctions Symbian OS non relatives à UI.
- Le module *'keycapture'* : C'est une API pour la saisie des événements sur les touches.
- Le module *'telephone'* : C'est une API utilisée pour les fonctionnalités de téléphonie.
- Le module *'time'* : Il est utilisé pour appliquer un *timer* (chronomètre) dans le programme.
- Le module *'qrcode'* : Il est utilisé pour décoder le QR Code par l'instruction suivante « `x = qrcode.Decoder()` ».

A.II.7-Les classificateurs bayésiens

A.II.7.1-Les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels sont des modèles de calcul dont la conception est inspirée du fonctionnement des neurones biologiques.

Les réseaux de neurones sont généralement optimisés par des méthodes d'apprentissage de type probabiliste (bayésien). Ils sont placés d'une part dans la famille des applications statistiques, qu'ils enrichissent avec un ensemble de paradigmes permettant de créer des classifications rapides, et d'autre part dans la famille des méthodes de l'intelligence artificielle auxquelles ils fournissent un mécanisme perceptif indépendant des idées propres de l'implémenteur, et fournissant des informations d'entrée au raisonnement logique formel.[9]

A.II.7.1.1-Structure du réseau

Un réseau de neurones est en général composé d'une succession de couches dont chacune prend ses entrées sur les sorties de la précédente. Chaque couche (i) est composée de N_i neurones, prenant leurs entrées sur les N_{i-1} neurones de la couche précédente. À chaque synapse est associé un poids synaptique, de sorte que les N_{i-1} sont multipliés par ce poids, puis additionnés par les neurones de niveau i, ce qui est équivalent à multiplier le vecteur d'entrée par une matrice de transformation. Mettre l'une derrière l'autre les différentes couches d'un réseau de neurones reviendrait à mettre en cascade plusieurs matrices de transformation et pourrait se ramener à une seule matrice, produit des autres, s'il n'y avait à chaque couche, la fonction de sortie qui introduit une non linéarité à chaque étape. Ceci montre l'importance du choix judicieux d'une bonne fonction de sortie : un réseau de neurones dont les sorties seraient linéaires n'aurait aucun intérêt [9].

Au-delà de cette structure simple, le réseau de neurones peut également contenir des boucles qui en changent radicalement les possibilités mais aussi la complexité. De la même façon que des boucles peuvent transformer une logique combinatoire en logique séquentielle, les boucles dans un réseau de neurones transforment un simple dispositif de reconnaissance d'entrées en une machine complexe capable de toutes sortes de comportements. (Voir fig. 2.4)

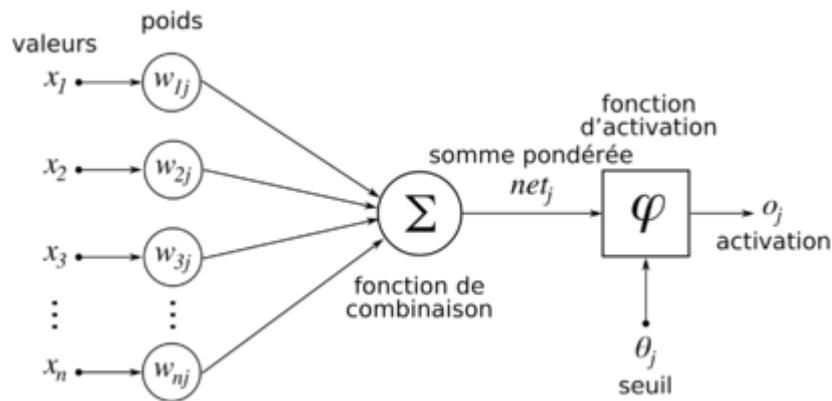


Figure 2.4 : Structure d'un neurone artificiel

A.II.7.1.2-Fonction de combinaison

Considérons un neurone quelconque.

Il reçoit des neurones en amont un certain nombre de valeurs via ses connexions synaptiques, et il produit une certaine valeur en utilisant une fonction de combinaison. Cette fonction peut donc être formalisée comme étant une fonction vecteur-à-scalaire, notamment :

- Les réseaux de type **MLP** (Multi-Layer Perceptron) calculent une combinaison linéaire des entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie le produit scalaire entre le vecteur des entrées et le vecteur des poids synaptiques.
- Les réseaux de type **RBF** (Radial Basis Function) calculent la distance entre les entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie la norme euclidienne du vecteur issu de la différence vectorielle entre les vecteurs d'entrées.

Fonction d'activation

1. La fonction d'activation (ou fonction de seuillage, ou encore fonction de transfert) sert à introduire une non-linéarité dans le fonctionnement du neurone.
2. Les fonctions de seuillage présentent généralement trois intervalles :
3. en dessous du seuil, le neurone est non-actif (souvent dans ce cas, sa sortie vaut 0 ou -1) ;
4. aux alentours du seuil, une phase de transition ;
5. au-dessus du seuil, le neurone est actif (souvent dans ce cas, sa sortie vaut 1).
6. Des exemples classiques de fonctions d'activation sont :
7. La fonction sigmoïde.
8. La fonction tangente hyperbolique.
9. La fonction de Heaviside.
10. La logique bayésienne, dont le théorème de Cox-Jaynes formalise les questions d'apprentissage, fait intervenir aussi une fonction en S qui revient de façon récurrente :

$$ev(p) = 10 \log \left(\frac{p}{1-p} \right)$$

A.II.7.1.3-L'algorithme d'entraînement

La large majorité des réseaux de neurones possède un algorithme « d'entraînement » qui consiste à modifier les poids synaptiques en fonction d'un jeu de données présentées en entrée du réseau. Le but de cet entraînement est de permettre au réseau de neurones « d'apprendre » à partir des exemples. Si l'entraînement est correctement réalisé, le réseau est capable de fournir des réponses en sortie très proches des valeurs d'origines du jeu de données d'entraînement.

Mais tout l'intérêt des réseaux de neurones réside dans leur capacité à généraliser à partir du jeu de test.

On peut donc utiliser un réseau de neurones pour réaliser une mémoire ; on parle alors de mémoire neuronale.

La vision topologique d'un apprentissage correspond à la détermination de l'hypersurface sur \mathbb{R}^n où \mathbb{R} est l'ensemble des réels, et n le nombre d'entrées du réseau.

L'apprentissage

A.II.7.1.3.1-Mode supervisé ou non

Un apprentissage est dit supervisé lorsque l'on force le réseau à converger vers un état final précis, en même temps qu'on lui présente un motif.

À l'inverse, lors d'un apprentissage non-supervisé, le réseau est laissé libre de converger vers n'importe quel état final lorsqu'on lui présente un motif.

A.II.7.1.3.2-Surapprentissage

Il arrive souvent que les exemples de la base d'apprentissage comportent des valeurs approximatives ou bruitées. Si on oblige le réseau à répondre de façon quasi parfaite relativement à ces exemples, on peut obtenir un réseau qui est biaisé par des valeurs erronées. Par exemple, imaginons qu'on présente au réseau des couples $(x_i, f(x_i))$ situés sur une droite d'équation $y=ax+b$, mais bruités de sorte que les points ne soient pas exactement sur la droite. S'il y a un bon apprentissage, le réseau répond $ax+b$ pour toute valeur de x présentée. S'il y a un surapprentissage, le réseau répond un peu plus que $ax+b$ ou un peu moins, car chaque couple $(x_i, f(x_i))$ positionné en dehors de la droite va influencer la décision. Pour éviter le surapprentissage, il existe une méthode simple : il suffit de partager la base d'exemples en 2 sous-ensembles. Le premier sert à l'apprentissage et le 2^e sert à l'évaluation de l'apprentissage. Tant que l'erreur obtenue sur le 2^e ensemble diminue, on peut continuer l'apprentissage, sinon on arrête.

A.II.7.1.4-La rétropropagation (backpropagation)

La rétropropagation consiste à rétropropager l'erreur commise par un neurone à ses synapses et aux neurones qui y sont reliés. Pour les réseaux de neurones, on utilise habituellement la *rétropropagation du gradient de l'erreur*, qui consiste à corriger les erreurs selon l'importance des éléments qui ont justement participé à la réalisation de ces erreurs : les poids synaptiques qui contribuent à engendrer une erreur importante se verront modifiés de manière plus significative que les poids qui ont engendré une erreur marginale. [9]

A.II.7.1.5-L'implémentation par Python [10]

```

import math
import random
import string

random.seed(0)

# calculate a random number where: a <= rand < b
def rand(a, b):
    return (b-a)*random.random() + a

# Make a matrix (we could use NumPy to speed this up)
def makeMatrix(I, J, fill=0.0):
    m = []
    for i in range(I):
        m.append([fill]*J)
    return m

# our sigmoid function, tanh is a little nicer than the standard 1/(1+e^-x)
def sigmoid(x):
    return math.tanh(x)

def dsigmoid(y):
    return 1.0 - y**2

class NN:
    def __init__(self, ni, nh, no):
        # number of input, hidden, and output nodes
        self.ni = ni + 1 # +1 for bias node
        self.nh = nh
        self.no = no

        # activations for nodes
        self.ai = [1.0]*self.ni
        self.ah = [1.0]*self.nh
        self.ao = [1.0]*self.no

        # create weights
        self.wi = makeMatrix(self.ni, self.nh)
        self.wo = makeMatrix(self.nh, self.no)
        # set them to random vaules
        for i in range(self.ni):
            for j in range(self.nh):
                self.wi[i][j] = rand(-0.2, 0.2)
        for j in range(self.nh):
            for k in range(self.no):
                self.wo[j][k] = rand(-2.0, 2.0)

        # last change in weights for momentum
        self.ci = makeMatrix(self.ni, self.nh)
        self.co = makeMatrix(self.nh, self.no)

    def update(self, inputs):
        if len(inputs) != self.ni-1:
            raise ValueError('wrong number of inputs')

        # input activations
        for i in range(self.ni-1):
            #self.ai[i] = sigmoid(inputs[i])
            self.ai[i] = inputs[i]

```

```

# hidden activations
for j in range(self.nh):
    sum = 0.0
    for i in range(self.ni):
        sum = sum + self.ai[i] * self.wi[i][j]
    self.ah[j] = sigmoid(sum)

# output activations
for k in range(self.no):
    sum = 0.0
    for j in range(self.nh):
        sum = sum + self.ah[j] * self.wo[j][k]
    self.ao[k] = sigmoid(sum)

return self.ao[:]

def backPropagate(self, targets, N, M):
    if len(targets) != self.no:
        raise ValueError('wrong number of target values')

    # calculate error terms for output
    output_deltas = [0.0] * self.no
    for k in range(self.no):
        error = targets[k]-self.ao[k]
        output_deltas[k] = dsigmoid(self.ao[k]) * error

    # calculate error terms for hidden
    hidden_deltas = [0.0] * self.nh
    for j in range(self.nh):
        error = 0.0
        for k in range(self.no):
            error = error + output_deltas[k]*self.wo[j][k]
        hidden_deltas[j] = dsigmoid(self.ah[j]) * error

    # update output weights
    for j in range(self.nh):
        for k in range(self.no):
            change = output_deltas[k]*self.ah[j]
            self.wo[j][k] = self.wo[j][k] + N*change + M*self.co[j][k]
            self.co[j][k] = change
            #print N*change, M*self.co[j][k]

    # update input weights
    for i in range(self.ni):
        for j in range(self.nh):
            change = hidden_deltas[j]*self.ai[i]
            self.wi[i][j] = self.wi[i][j] + N*change + M*self.ci[i][j]
            self.ci[i][j] = change

    # calculate error
    error = 0.0
    for k in range(len(targets)):
        error = error + 0.5*(targets[k]-self.ao[k])**2
    return error

def test(self, patterns):
    for p in patterns:
        print(p[0], '->', self.update(p[0]))

```

```

def weights(self):
    print('Input weights:')
    for i in range(self.ni):
        print(self.wi[i])
    print()
    print('Output weights:')
    for j in range(self.nh):
        print(self.wo[j])

def train(self, patterns, iterations=1000, N=0.5, M=0.1):
    # N: learning rate
    # M: momentum factor
    for i in range(iterations):
        error = 0.0
        for p in patterns:
            inputs = p[0]
            targets = p[1]
            self.update(inputs)
            error = error + self.backPropagate(targets, N, M)
        if i % 100 == 0:
            print('error %-.5f' % error)

def demo():
    # Teach network XOR function
    pat = [
        [[0,0], [0]],
        [[0,1], [1]],
        [[1,0], [1]],
        [[1,1], [0]]
    ]

    # create a network with two input, two hidden, and one output nodes
    n = NN(2, 2, 1)
    # train it with some patterns
    n.train(pat)
    # test it
    n.test(pat)

if __name__ == '__main__':
    demo()

```

A.II.7.1.6-Classification naïve bayésienne

La classification naïve bayésienne est un type de classification Bayésienne probabiliste simple basée sur le théorème de Bayes. Elle met en œuvre un classificateur bayésien naïf, appartenant à la famille des classifieurs Linéaires.

Le classificateur bayésien naïf suppose que l'existence d'une caractéristique pour une classe, est indépendante de l'existence d'autres caractéristiques.

Selon la nature de chaque modèle probabiliste, les classifieurs bayésiens naïfs peuvent être entraînés efficacement dans un contexte d'apprentissage supervisé. Dans beaucoup d'applications pratiques, l'estimation des paramètres pour les modèles bayésiens naïfs repose sur le maximum de vraisemblance. Autrement dit, il est possible de travailler avec le modèle

bayésien naïf sans se préoccuper de probabilité bayésienne ou utiliser les méthodes bayésiennes [3].

L'avantage du classifieur bayésien naïf est qu'il requiert relativement peu de données d'entraînement pour estimer les paramètres nécessaires à la classification, à savoir moyennes et variances des différentes variables. En effet, l'hypothèse d'indépendance des variables permet de se contenter de la variance de chacune d'entre elle pour chaque classe, sans avoir à calculer de matrice de covariance.

Le modèle probabiliste pour un classifieur est le modèle conditionnel :

$$p(C|F_1, \dots, F_n)$$

Où C est une variable de classe dépendante dont les instances ou *classes* sont peu nombreuses, conditionnée par plusieurs variables caractéristiques F_1, \dots, F_n .

Lorsque le nombre de caractéristiques n est grand, ou lorsque ces caractéristiques peuvent prendre un grand nombre de valeurs, baser ce modèle sur des tableaux de probabilités devient impossible. Par conséquent, nous le dérivons pour qu'il soit plus facilement soluble.[11]

À l'aide du théorème de Bayes, nous écrivons :

$$p(C|F_1, \dots, F_n) = \frac{p(C) p(F_1, \dots, F_n|C)}{p(F_1, \dots, F_n)}.$$

En langage courant, cela signifie :

$$\text{postérieure} = \frac{\text{antérieure} \times \text{vraisemblance}}{\text{évidence}}.$$

En pratique, seul le numérateur nous intéresse, puisque le dénominateur ne dépend pas de C .

Le dénominateur est donc en réalité constant. Le numérateur est soumis à la loi de probabilité à plusieurs variables :

$$p(C, F_1, \dots, F_n)$$

Et peut-être factorisé de la façon suivante, en utilisant plusieurs fois la définition de la probabilité conditionnelle :

$$\begin{aligned} & p(C, F_1, \dots, F_n) \\ = & p(C) p(F_1, \dots, F_n|C) \\ = & p(C) p(F_1|C) p(F_2, \dots, F_n|C, F_1) \\ = & p(C) p(F_1|C) p(F_2|C, F_1) p(F_3, \dots, F_n|C, F_1, F_2) \\ = & p(C) p(F_1|C) p(F_2|C, F_1) p(F_3|C, F_1, F_2) p(F_4, \dots, F_n|C, F_1, F_2, F_3) \\ = & p(C) p(F_1|C) p(F_2|C, F_1) p(F_3|C, F_1, F_2) \dots p(F_n|C, F_1, F_2, F_3, \dots, F_{n-1}). \end{aligned}$$

C'est là que nous faisons intervenir l'hypothèse naïve : si chaque F_i est indépendant des autres caractéristiques $F_{j \neq i}$, alors

$$p(F_i|C, F_j) = p(F_i|C)$$

Pour tout $i \neq j$, par conséquent la probabilité conditionnelle peut s'écrire

$$\begin{aligned} p(C, F_1, \dots, F_n) &= p(C) p(F_1|C) p(F_2|C) p(F_3|C) \dots \\ &= p(C) \prod_{i=1}^n p(F_i|C). \end{aligned}$$

Par conséquent, en tenant compte de l'hypothèse d'indépendance ci-dessus, la probabilité conditionnelle de la variable de classe C peut être exprimée par :

$$p(C|F_1, \dots, F_n) = \frac{1}{Z} p(C) \prod_{i=1}^n p(F_i|C)$$

Où Z (appelé « évidence ») est un facteur d'échelle qui dépend uniquement de F_1, \dots, F_n , à savoir une constante dans la mesure où les valeurs des variables caractéristiques sont connues.

Les modèles probabilistes ainsi décrits sont plus faciles à manipuler, puisqu'ils peuvent être factorisés par l'antérieure $p(C)$ (probabilité *a priori* de C) et les lois de probabilité indépendantes $p(F_i|C)$. S'il existe k classes pour C et si le modèle pour chaque fonction $p(F_i|C = c)$ peut être exprimé selon r paramètres, alors le modèle bayésien naïf correspondant dépend de $(k - 1) + n r k$ paramètres.

Dans la pratique, on observe souvent des modèles où $k = 2$ (classification binaire) et $r = 1$ (les caractéristiques sont alors des variables de Bernoulli). Dans ce cas, le nombre total de paramètres du modèle bayésien naïf ainsi décrit est de $2n + 1$, avec n le nombre de caractéristiques binaires utilisées pour la classification [11].

A.II.7.1.7-L'implémentation par python/SL4A [12]

```
import numpy as np

from .base import BaseEstimator, ClassifierMixin

class GNB(BaseEstimator, ClassifierMixin):
    """
    Gaussian Naive Bayes (GNB)

    Parameters
    -----
    X : array-like, shape = [n_samples, n_features]
        Training vector, where n_samples in the number of samples and
        n_features is the number of features.
    y : array, shape = [n_samples]
        Target vector relative to X

    Attributes
    -----
    proba_y : array, shape = nb of classes
        probability of each class.
    theta : array of shape nb_class*nb_features
        mean of each feature for the different class
    sigma : array of shape nb_class*nb_features
        variance of each feature for the different class

    Methods
    -----
    fit(X, y) : self
        Fit the model

    predict(X) : array
```

Predict using the model.

```
predict_proba(X) : array
    Predict the probability of each class using the model.
```

Examples

```
-----
>>> import numpy as np
>>> X = np.array([[ -1, -1], [-2, -1], [-3, -2], [1, 1], [2, 1], [3, 2]])
>>> Y = np.array([1, 1, 1, 2, 2, 2])
>>> from scikits.learn.naive_bayes import GNB
>>> clf = GNB()
>>> clf.fit(X, Y)
GNB()
>>> print clf.predict([[ -0.8, -1]])
[1]
```

See also

"""

```
def __init__(self):
    pass

def fit(self, X, y):
    theta = []
    sigma = []
    proba_y = []
    unique_y = np.unique(y)
    for yi in unique_y:
        theta.append(np.mean(X[y==yi,:], 0))
        sigma.append(np.var(X[y==yi,:], 0))
        proba_y.append(np.float(np.sum(y==yi)) / np.size(y))
    self.theta = np.array(theta)
    self.sigma = np.array(sigma)
    self.proba_y = np.array(proba_y)
    self.unique_y = unique_y
    return self

def predict(self, X):
    y_pred = self.unique_y[np.argmax(self.predict_proba(X),1)]
    return y_pred

def predict_proba(self, X):
    joint_log_likelihood = []
    for i in range(np.size(self.unique_y)):
        jointi = np.log(self.proba_y[i])
        n_ij = - 0.5 * np.sum(np.log(np.pi*self.sigma[i,:]))
        n_ij -= 0.5 * np.sum( (X - self.theta[i,:])**2) /\
```

```

        (self.sigma[i,:]),1)
        joint_log_likelihood.append(jointi+n_ij)
    joint_log_likelihood = np.array(joint_log_likelihood).T
    proba = np.exp(joint_log_likelihood)
    proba = proba / np.sum(proba,1)[:,np.newaxis]
    return proba

import numpy as np

def to_1_of_K(y, y_min=None, y_max=None):
    """
    Convert a label vector y to a matrix Y such that Y[i,j]=1 means that sample
    i has class j.
    """
    if y_min is None: y_min = y.min()
    if y_max is None: y_max = y.max()

    n_samples = y.shape[0]
    Y = np.zeros((n_samples, y_max-y_min+1))
    for i, ind in enumerate(y):
        Y[i, ind-y_min] = 1

    return Y

def softmax(loga, k=-np.inf, out=None):

    if out is None: out = np.empty_like(loga).astype(np.float64)
    m = np.max(loga)
    logam = loga - m
    sup = logam > k
    inf = np.logical_not(sup)
    out[sup] = np.exp(logam[sup])
    out[inf] = 0.0
    out /= np.sum(out)
    return out

def logsum(loga, k=-np.inf):
    """
    Compute a sum of logs without underflow.

    \log \sum_c e^{b_c} = \log [(\sum_c e^{b_c}) e^{-B}e^B]
                      = \log [(\sum_c e^{b_c-B}) e^B]
                      = [\log(\sum_c e^{b_c-B}) + B]

    where B = max_c b_c
    """
    B = np.max(loga)
    logaB = aB = loga - B
    sup = logaB > k
    inf = np.logical_not(sup)
    aB[sup] = np.exp(logaB[sup])

```

```

aB[inf] = 0.0
return (np.log(np.sum(aB)) + B)

def loglikelihood(X, Y, p_w_c_log, p_c_log):
    n_samples, n_features = X.shape
    _, n_classes = Y.shape

    lik = 0.0

    p_x_c_log = np.zeros((n_samples, n_classes), np.float64)
    for d,w in zip(*X.nonzero()):
        p_x_c_log[d,:] += p_w_c_log[w,:] * X[d,w]

    for d,c in zip(*Y.nonzero()):
        lik += p_x_c_log[d,c]
        if p_c_log is not None:
            lik += p_c_log[c]

    return lik

def loglikelihood_u(X, Y, X_u, p_w_c_log, p_c_log):
    n_samples, n_features = X.shape
    n_samples_u, _ = X_u.shape
    _, n_classes = Y.shape

    lik = loglikelihood(X, Y, p_w_c_log, p_c_log)

    p_x_c_log = np.zeros((n_samples_u, n_classes), np.float64)
    for d,w in zip(*X_u.nonzero()):
        p_x_c_log[d,:] += p_w_c_log[w,:] * X_u[d,w]

    # add Log P(c)
    if p_c_log is not None:
        p_x_c_log += p_c_log[np.newaxis,:]

    for d in range(n_samples_u):
        lik += logsum(p_x_c_log[d,:], k=-10)

    return lik

def normalize_p_c(p_c, alpha):
    M = len(p_c)
    denom = M * alpha + np.sum(p_c)
    p_c += alpha
    p_c /= denom

def normalize_p_w_c(p_w_c, alpha):
    V, X = p_w_c.shape

```

```

denoms = V * alpha + np.sum(p_w_c, axis=0)
p_w_c += alpha
p_w_c /= denoms[np.newaxis,:]

```

```

def generate_classifier(n_classes, n_features, length, n_labels=1):
    clf = MultinomialNaiveBayes()
    clf.length = length
    clf.n_labels = n_labels
    clf.p_c = np.random.random(n_classes)
    clf.p_c /= clf.p_c.sum()
    clf.p_w_c = np.random.random((n_features, n_classes))
    clf.p_w_c /= np.sum(clf.p_w_c, axis=0)
    return clf

```

```

class BaseNaiveBayes(object):

```

```

    def __init__(self, alpha=1):
        """
        Parameters
        -----
        alpha : int
            Smoothing parameter (0 for no smoothing).
        """
        self.alpha = alpha
        self.use_prior = False
        self.p_w_c = None
        self.p_c = None
        self.length = None
        self.n_labels = None
        self.debug = False

    def fit_semi(self, X, Y, X_u, maxiter=50, eps=0.01):
        """
        Fit the model by EM.

        Parameters
        -----
        X : array-like, shape = [n_samples, n_features]
            Training matrix, where n_samples is the number of samples and
            n_features is the number of features.
        Y : array, shape = [n_samples, n_classes]
            Label matrix, where n_samples is the number of samples and
            n_classes is the number of classes.
            Y[i,j] = 1 means that sample i belongs to class j.
            Y[i,j] = 0 means that sample i does not belong to class j.
        X_u : array-like, shape = [n_samples, n_features]
            Training matrix (unlabeled), where n_samples is the number of
            samples and n_features is the number of features.

        Returns
        -----

```

```

self

References
-----

"Semi-Supervised Text Classification Using EM", by Nigam et al.
"""
X = np.asarray(X)
X_u = np.asarray(X_u)
Y = np.asarray(Y)

n_samples, n_classes = Y.shape
n_samples_, n_features = X.shape
n_samples_u, n_features_ = X_u.shape

assert(n_samples == n_samples_)
assert(n_features == n_features_)

if self.length is None:
    self.length = int(np.ceil((np.sum(X) + np.sum(X_u)) /
                              float(n_samples + n_samples_u)))

# Average number of labels per example
self.n_labels = int(np.ceil(np.mean(np.sum(Y, axis=1))))

# compute counts for labeled data once for all
self.fit(X, Y, normalize=False)
if self.use_prior:
    p_c_l = np.array(self.p_c, copy=True)
    normalize_p_c(self.p_c, self.alpha)

p_w_c_l = np.array(self.p_w_c, copy=True)
# normalize to get initial classifier
normalize_p_w_c(self.p_w_c, self.alpha)

p_c_log = np.log(self.p_c) if self.p_c is not None else None
lik = loglikelihood_u(X, Y, X_u, np.log(self.p_w_c), p_c_log)

for iteration in range(1, maxiter+1):
    # E-step: find the probabilistic labels for unlabeled data
    if hasattr(self, "predict_proba"):
        Yu = self.predict_proba(X_u)
    else:
        Yu = to_1_of_K(self.predict(X_u))

    # M-step: train classifier with the union of
    # labeled and unlabeled data
    self.fit(X_u, Yu, normalize=False, sparse=False)

    if self.use_prior:

```

```

        self.p_c += p_c_l
        normalize_p_c(self.p_c, self.alpha)

    self.p_w_c += p_w_c_l
    normalize_p_w_c(self.p_w_c, self.alpha)

    p_c_log = np.log(self.p_c) if self.p_c is not None else None
    lik_new = loglikelihood_u(X, Y, X_u, np.log(self.p_w_c), p_c_log)
    lik_diff = lik_new - lik
    lik = lik_new

    if lik_diff < eps:
        print "No more progress, stopping EM at iteration", iteration
        break

    if self.debug:
        print "Iteration", iteration
        print "L += %f" % lik_diff

    return self

def _get_p_c(self):
    if self.p_c is None:
        n_classes = self.p_w_c.shape[1]
        return [1.0 / n_classes] * n_classes
    else:
        return self.p_c

def sample(self, n, multi_label=False):
    """
    Generate samples from the model.

    Parameters
    -----
    n : int
        Number of samples.
    k : int
        Length of a sample.
    """
    func = self.sample_multi_label_example if multi_label \
           else self.sample_example
    samples, labels = zip(*[func() for i in range(n)])
    return np.array(samples, dtype=int), np.array(labels, dtype=int)

def sample_example(self):
    p_c = self._get_p_c()

    # pick a class with probability P(c)
    c = np.random.multinomial(1, p_c).argmax()

    # pick a document length

```

```

k = np.random.poisson(self.length) or 1

# generate a document of length k words
sample = np.random.multinomial(k, self.p_w_c[:, c])

return sample, c

def sample_multi_label_example(self):
    n_features, n_classes = self.p_w_c.shape
    p_c = self._get_p_c()

    # pick a number of labels per document
    # FIXME: use a distribution
    n = self.n_labels

    # pick n classes
    classes = []
    while len(classes) != n:
        # pick a class with probability P(c)
        c = np.random.multinomial(1, p_c).argmax()

        if not c in classes:
            classes.append(c)

    classes = np.array(classes)
    Y = np.sum(to_1_of_K(classes, y_min=0, y_max=n_classes-1), axis=0)

    # pick a document length
    k = np.random.poisson(self.length) or 1

    # generate a document of length k words
    sample = np.zeros(n_features, dtype=int)
    for i in range(k):
        c = classes[np.random.randint(len(classes))]
        w = np.random.multinomial(1, self.p_w_c[:,c]).argmax()
        sample[w] += 1

    return sample, Y

def score(self, X, Y):
    X = np.asarray(X)
    Y = np.asarray(Y)

    if len(Y.shape) == 1:
        Y = to_1_of_K(Y)

    return loglikelihood(X, Y, np.log(self.p_w_c), np.log(self.p_c))

class MultinomialNaiveBayes(BaseNaiveBayes):
    """

```

Multinomial Naive Bayes.

Implements Maximum A Posteriori (MAP) estimation as well as semi-supervised learning by Expectation-Maximization (EM).

Methods

`fit(X, Y) : self`

Fit the model by MAP.

`fit_semi(X, Y, X_u) : self`

Fit the model by EM.

`predict(X) : array`

Predict using the model.

`predict_proba(X) : array`

Predict using the model.

`sample(n) : array`

Generate samples from the model.

"""

`def __init__(self, alpha=1, use_prior=True):`

"""

Parameters

`alpha : int`

Smoothing parameter (0 for no smoothing).

`use_prior : boolean`

Whether to use prior or not.

"""

`BaseNaiveBayes.__init__(self, alpha)`

`self.use_prior = use_prior`

`def fit(self, X, Y, normalize=True, sparse=True):`

"""

Fit the model by MAP.

Parameters

`X : array-like, shape = [n_samples, n_features]`

Training matrix, where `n_samples` is the number of samples and `n_features` is the number of features.

`Y : array, shape = [n_samples]`

Target vector.

or

`array, shape = [n_samples, n_classes]`

Target matrix, where `n_samples` is the number of samples and `n_classes` is the number of classes.

`Y[i,j] = 1` means that sample `i` belong to class `j`.

`Y[i,j] = 0` means that sample `i` does not belong to class `j`.

(fractional numbers are also possible)

Returns

self

"""

`X = np.asarray(X)`

`Y = np.asarray(Y)`

`n_samples, n_features = X.shape`

`if len(Y.shape) == 1:`

`Y = to_1_of_K(Y)`

`n_samples_, n_classes = Y.shape`

`assert(n_samples == n_samples_)`

Average document length

`if self.length is None:`

`self.length = int(np.sum(X) / float(n_samples))`

Average number of Labels per example

`self.n_labels = int(np.ceil(np.mean(np.sum(Y, axis=1))))`

P(c)

`if self.use_prior:`

`self.p_c = np.sum(Y, axis=0).astype(np.float64)`

P(w/c)

`self.p_w_c = np.zeros((n_features,n_classes), dtype=np.float64)`

`if sparse:`

faster when Y is sparse

select indices of documents that have class c

`for d,c in zip(*Y.nonzero()):`

select indices of terms that are non-zero

`for w in np.flatnonzero(X[d,:]):`

`self.p_w_c[w,c] += X[d,w] * Y[d,c]`

`else:`

faster when Y is non-sparse

`for d,w in zip(*X.nonzero()):`

`self.p_w_c[w,:] += X[d,w] * Y[d,:]`

`if normalize:`

`if self.use_prior:`

```

        normalize_p_c(self.p_c, self.alpha)
        normalize_p_w_c(self.p_w_c, self.alpha)

    return self

def p_x_c_log_all(self, X):
    n_classes = self.p_w_c.shape[1]
    n_samples, n_features = X.shape
    p_x_c_log = np.zeros((n_samples, n_classes), np.float64)
    p_w_c_log = np.log(self.p_w_c)

    # Log P(x/c)
    for d,w in zip(*X.nonzero()):
        p_x_c_log[d,:] += p_w_c_log[w,:] * X[d,w]

    return p_x_c_log

def predict_proba(self, X, k=-10):
    """
    Predict using the model.

    Parameters
    -----
    X : array-like, shape = [n_samples, n_features]
        Training matrix, where n_samples is the number of samples and
        n_features is the number of features.

    Returns
    -----

    Y : array, shape = [n_samples, n_classes]
        Probabilistic predictions.

    """
    n_samples, n_features = X.shape

    # Log P(x/c)
    p_x_c_log = self.p_x_c_log_all(X)

    # add Log P(c)
    if self.use_prior:
        p_x_c_log += np.log(self.p_c)[np.newaxis,:]

    # softmax(Log P(x/c) + Log P(c)) = P(c/x)
    for d in range(n_samples):
        softmax(p_x_c_log[d,:], k, out=p_x_c_log[d,:])

    return p_x_c_log

def predict(self, X):
    """

```

Predict using the model.

Parameters

X : array-like, shape = [n_samples, n_features]

Training matrix, where n_samples is the number of samples and
n_features is the number of features.

Returns

y : array, shape = [n_samples]

Most likely labels.

"""

Log P(x/c)

p_x_c_log = self.p_x_c_log_all(X)

add Log P(c)

if self.use_prior:

p_x_c_log += np.log(self.p_c)[np.newaxis,:]

return p_x_c_log.argmax(axis=1)

class ComplementNaiveBayes(BaseNaiveBayes):

"""

Complement Naive Bayes.

Methods

fit(X, Y) : self

Fit the model by MAP.

predict(X) : array

Predict using the model.

References

"Tackling the Poor Assumptions of Naive Bayes Text Classifiers",
by Rennie et al.

"""

def fit(self, X, Y, normalize=True, sparse=True):

"""

Fit the model.

Parameters

X : array-like, shape = [n_samples, n_features]

Training matrix, where n_samples is the number of samples and

```

n_features is the number of features.
Y : array, shape = [n_samples]
    Target vector.

or

array, shape = [n_samples, n_classes]
Target matrix, where n_samples is the number of samples and
n_classes is the number of classes.
Y[i,j] = 1 means that sample i belong to class j.
Y[i,j] = 0 means that sample i does not belong to class j.

```

(fractional numbers are accept)

Returns

self

"""

```
X = np.asarray(X)
```

```
Y = np.asarray(Y)
```

```
n_samples, n_features = X.shape
```

```
if len(Y.shape) == 1:
```

```
    Y = to_1_of_K(Y)
```

```
n_samples_, n_classes = Y.shape
```

```
assert(n_samples == n_samples_)
```

```
# Length
```

```
if self.length is None:
```

```
    self.length = int(np.sum(X) / float(n_samples))
```

```
# P(w/c)
```

```
self.p_w_c = np.zeros((n_features,n_classes), dtype=np.float64)
```

```
self.nc = np.zeros(n_classes, dtype=np.float64)
```

```
ind = np.arange(n_classes)
```

```
if sparse:
```

```
    # faster when Y is sparse
```

```
    # select indices of documents that have class c
```

```
    for d,c in zip(*Y.nonzero()):
```

```
        # select indices of terms that are non-zero
```

```
        for w in np.flatnonzero(X[d,:]):
```

```
            self.p_w_c[w, ind != c] += X[d,w] * Y[d,c]
```

```
else:
```

```
    # faster when Y is non-sparse
```

```
    for d,w in zip(*X.nonzero()):
```

```
        for c in range(n_classes):
```

```
            self.p_w_c[w,ind != c] += X[d,w] * Y[d,c]
```

```

    if normalize:
        normalize_p_w_c(self.p_w_c, self.alpha)

    return self

def p_x_c_log_all(self, X):
    n_classes = self.p_w_c.shape[1]
    n_samples, n_features = X.shape
    p_x_c_log = np.zeros((n_samples, n_classes), np.float64)
    p_w_c_log = np.log(self.p_w_c)
    p_w_c_log /= np.sum(np.abs(p_w_c_log), axis=0)

    # Log P(x/c)
    for d,w in zip(*X.nonzero()):
        p_x_c_log[d,:] += p_w_c_log[w,:] * X[d,w]

    return p_x_c_log

def predict(self, X):
    """
    Predict using the model.

    Parameters
    -----
    X : array-like, shape = [n_samples, n_features]
        Training matrix, where n_samples is the number of samples and
        n_features is the number of features.

    Returns
    -----

    y : array, shape = [n_samples]
        Most likely labels.
    """
    return self.p_x_c_log_all(X).argmin(axis=1)

```

Références

- [1] <http://www.wampserver.com/> (Septembre 2013).
- [2] <https://cours.etsmtl.ca/gpa775/Cours/> (Avril 2010).
- [3] <http://php.net/manual/fr/book.mysql.php> (Janvier 2012).
- [4] <http://info.sio2.be/kpz/1/11.php>
- [5] M. DE JODE, A. JONATHAN, H. DARREN, N. ALAN and T. COLIN, “Programming Java 2 Micro Edition on Symbian OS”, Edition Wiley, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England 2004. ISBN: 0-470-09223-8.
- [6] Symbian C++ - Documentation, <http://developer.nokia.com> (2010).
- [7] A. MARTELLI, “Python en concentré”, Édition O'Reilly, France, 2004.
<http://wpetrus.developpez.com/linux/pythonconcentre/>.
- [8] PyS60- Documentation, <http://developer.nokia.com> (2010).
- [9] Le data mining, <http://fr.scribd.com/doc/46677159/Data-Mining> (2013).
- [10] <http://arctrix.com/nas/python/bpnn.py> (2012).
- [11] Classification naïve bayésienne, <http://fr.academic.ru> (2013).
- [12] <http://pastebin.com/b4Rdjrbs> (Septembre 2013).

Références

- [1] http://www.minkowska.com/article.php3?id_article=145.
- [2] I. Robert, L. Swamy, “M-Health: Emerging Mobile Health Systems”, Springer, ISBN 978-0-387-26558-2, 2005
- [3] <http://www.caroltorgan.com/mhealth-summit/>
- [4] <http://telecom.sia-partners.com/20111116/le-congres-de-la-sante-mobile/>
- [5] M. CAUVILLE, “Diagnostic, soins et prévention par la télémédecine”, Sciences et Technologies, Vol. 2, pp. 32–34, 1999.
- [6] A. FRANCO, “La télémédecine au service de l’autonomie”, La revue de médecine interne, vol. 24(s.4), pp. 390–393, ISBN : S0248-8663(03)80347-8, 2003.
- [7] P. STAB, “Téléconsultation en psychiatrie: évaluation d’une expérience originale dans le hautpays niçois”, Thèse de doctorat en Médecine de l’Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2001.
- [8] <http://www.ifremmont.com/ifrelab/index.php?2006/01/3-tmt>.
- [9] Florence DUCHENE, “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, octobre 2004.
- [10] <http://www.acti-rotec.com/>
- [11] <http://www.admr56.com/teleassistance-mobile-2-42.r.fr.htm>
- [12] <http://www.itu.int/>.
- [13] <http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/FactsFigures2011.pdf>.
- [14] <http://openmrs.org/wiki/OpenMRS>.
- [15] Openrosa. <http://www.openrosa.org/>.
- [16] openxcode. <http://www.openxdata.org/Main/WebHome>.
- [17] Rapidsms. <http://www.rapidsms.org/>.
- [18] Voxiva. <http://www.voxiva.com/platform.php>.
- [19] A. Yaw, H. Carl, B. Waylon, L. Adam, T. Clint, B. Gaetano, “Open data kit: Building Information services for developing regions”, IEEE/ACM Conference on Information and Communication Technologies and Development, 2010.
- [20] Frontlinesms. <http://www.frontlinesms.com/>.
- [21] http://homepages.ed.ac.uk/jkstew/work/FLOWS_D6.pdf
- [22] J. STEWART, L. PITT, M. WINSKEL, R. WILLIAMS, I. GRAHAM, J. AGUIAR, “Flows scenarios and definition of services”, IST FLOWS Project Deliverable D1, European Commission IST (Information Society Technologies) office, Brussels, Belgium, 2002.
- [23] O. FOUIAL, “Découverte et fourniture de services adaptatifs dans les environnements mobiles”, Thèse de doctorat en Informatique et Réseaux de l’Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications ENST, Paris, France, 2004.
- [24] <http://www.capitolemobil.com/marketing-mobile/>.
- [25] http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/49/97/97/PDF/These_Fouial_2004.pdf.
- [26] <http://www.commentcamarche.net/>.

- [27] Jurgen Scheible, Ville Tuulos, “Rapid Prototyping of Applications on the Mobile Platform”, ISBN: 978-0-470-51505-1, Wiley, 2007.
- [28] Merzougui Rachid, “Télésurveillance à travers les réseaux IP et Mobiles”, rapport de mémoire pour l’obtention du diplôme du magister, Université de Tlemcen, Algérie, 2006.
- [29] Nicolas JEAN, “Comprendre et programmer le protocole http”.
- [30] D. M Barakah, “A Survey of Challenges and Applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and Role of a Virtual Doctor Server in Existing Architecture”, *Third International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*, p. 214-219, 2012.
- [31] R. Baskaran, “An Overview of Applications, Standards and Challenges in Futuristic Wireless Body Area Networks”, *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, n° 2, 2012.
- [32] Z. Tang and W. Dargie. “A Mobility-Aware Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks”, the fifth IEEE international workshop on Heterogeneous, Multi-Hop, Wireless and Mobile Networks, Miami, Florida, 6 December, 2010.
- [33] Y. Zatout, R. Kacimi, J. Llibre, E. Campo, “Mobility-aware Protocol for Wireless Sensor Networks in Health-care Monitoring”, Fifth International Workshop on Personalized Networks (Pernets 2011), Las Vegas, Nevada, USA, January 2011.
- [34] R. Steele, A. Lo, C. Secombe, Y.K. Wong, “Elderly persons’ perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare”, *International Journal of Medical Informatics*. 2009.
- [35] V. Ikonen, E. Kaasinen, “Ethical assessment in the design of ambient assisted living”, *Assisted Living Systems – Models, Architectures and Engineering Approaches*, 2008.
- [36] H.S. Ng, M.L. Sim, C.M. Tan, “Security issues of wireless sensor networks in healthcare applications”, *BT Technology Journal*, 2006.
- [37] O.G. Morchon, T. Falck, T. Heer, K. Wehrle, “Security for pervasive medical sensor networks”, 6th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MobiQuitous), 2009.
- [38] S. Bao, Y. Zhang, L. Shen, “Physiological signal based entity authentication for body area sensor networks and mobile healthcare systems”, 27th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2005.
- [39] D. Surie, O. Laguionie, T. Pederson, “Wireless sensor networking of everyday objects in a smart home environment”, ISSNIP, Sydney, December 2008.
- [40] H. Alemdar and C. Ersoy, “Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey”, *Computer Networks*, Volume 54, Issue 15, October 2010.
- [41] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K. Chowdhury, “A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks” *Computer Networks Journal* (Elsevier), March 2007.
- [42] Purushottam Kulkarni, Deepak Ganesan and Prashant Shenoy, “The case for multi-tier camera sensor networks”, International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video, Stevenson, Washington, USA, 2005.
- [43] P. Kulkarni, D. Ganesan, P.J. Shenoy and Q. Lu, "A multi-tier camera sensor network", *ACM Multimedia*, 2005.
- [44] C. E. R. Lopes, L. B. Ruiz, M. M. Santos, and F. D. Linhares, “A multitier, multimodal wireless sensor network for environmental monitoring”, 4th International Conference Ubiquitous Intelligence and Computing, Hong Kong, China, 2007.
- [45] I.F Akyildiz, T. Melodia and K.R. Chowdury, “Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds”, *Proceedings of the IEEE* (invited paper), vol. 96, no. 10,

October 2008.

- [46] “Reconnaissance de Signaux de Détresse dans l'Habitat Intelligent Santé”. [Online]. Available: http://www-clips.imag.fr/geod/projets/HIS/RESIDE-HIS_7-11-02.pdf
- [47] Crossbow Technology Inc. [Online]. Available : <http://www.xbow.com>
- [48] TinyOs Operating System. [Online]. Available. <http://www.tinyos.net/>
- [49] D. Konstantas, V.Jones, R. Bults and R.Herzog, “MobiHealth: innovative 2.5 /3G mobile services and applications for healthcare” 11th IST Mobile and Wireless Telecommunications Summit, June 2011.
- [50] M-R. Yuce, P-g. Choong Ng, C-K. Lee, J-Y. Khan, and W. Liu, “A Wireless Medical Monitoring Over a Heterogeneous Sensor Network”, IEEE EMBS, Lyon, France. August 23-26, 2007.
- [51] FCC Rules and Regulations, “MICS Band Plan”, Table of Frequency Allocations, Part 95, Jan.2003.
- [52] M. Demirbas, K.Y. Chow, C.S. Wan, “INSIGHT: Internet-sensor integration for habitat monitoring”, International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'06). 2006.
- [53] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. “Versatile low power media access for wireless sensor networks”, In Proceedings of the 2nd international conference on embedded networked Sensor Systems (SenSys'04), New York, 2004.
- [54] A. Mainwaring , D. Culler , J. Polastre , R. Szewczyk , J. Anderson, “Wireless sensor networks for habitat monitoring”, Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, Atlanta, Georgia, USA, 2002.
- [55] Emil Jovanov, Aleksandar Milenkovic, Chris Otto and Piet C de Groen, “A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation”, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, from <http://bmc.ub.uni-potsdam.de/1743-0003-2-6/1743-0003-2-6.pdf>
- [56] B. Gyselinckx, C.V. Hoof, J. Ryckaert, R.F. Yazicioglu, P. Fiorini, and V. Leonov; “Human++: autonomous wireless sensors for body area networks”, Custom Integrated Circuits Conference, 2005, Proceedings of the IEEE 2005, 18-21 Sept, 2005.
- [57] T. He, S. Krishnamurthy, J. Stankovic, T. Abdelzaher, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, J. Hui, and B. Krogh, “Energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks”, 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys04), Boston, June 2004.
- [58] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao. “Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology”, In Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, April, 2001.
- [59] C.C.Y. Poon, Y-T Zhang, S-D Bao, “A Novel Biometrics Method to Secure Wireless Body Area Sensor Networks for Telemedicine and M-Health”, IEEE Communication Magazine, vol.44, April, 2006.
- [60] Kevin VUILLARD, “Géolocalisation et Smartphones dans le domaine culturel et patrimonial”, 2011.
- [61] <http://www.mobilemarketer.com/cms/sectors/healthcare/8133.html>, 2011.
- [62] <http://fr.wikipedia.org/> et <http://en.wikipedia.org/>.
- [63] <http://www.bestofmicro.com/>.
- [64] Rachid MERZOUGUI, Conception et développement d'applications et services dédiés à la santé sur des terminaux mobiles, Juillet 2011.
- [65] Adrian A, I. Issott, “Common Design Patterns for Symbian OS: The Foundations of Smartphone Software”, Symbian Press, 2008.
- [66] <http://www.android.com>, Architecture et composants d'Android, 2012.
- [67] <http://www.searchevolution.com/>.

- [68] <http://meego.com/about>.
- [69] Nonin Medical, <http://www.nonin.com/>, 2011.
- [70] <http://www.gartner.com/>.
- [71] Kupper, Axel, "Location-based services: fundamentals and operation", ISBN-13 978-0-470-09231-6, John Wiley & Sons, 2005.
- [72] Krzysztof W. Kolodziej, Johan Hjelm, "Local Positioning Systems LBS Applications and Services", ISBN-13: 978-0-8493-3349-1, Taylor & Francis Group, 2006.
- [73] M. Erwan ERMEL, "Localisation et Routage géographique dans les réseaux sans fil hétérogènes", Thèse de Doctorat de l'université Paris VI Pierre et Marie CURIE, 2004.
- [74] http://www.patentlens.net/patentlens/patents.html?patnums=US_8285344&returnTo=quick.html, Septembre 2013.
- [75] Abderrahim BOUROUIS, Mohammed Feham and Abdelhamid Bouchachia, "Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE)", International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol 3, No 3, June 2011.
- [76] http://developer.nokia.com/Resources/Tools_and_downloads/Other/Nokia_Energy_Profile/Quick_start.xhtml, Juin 2012.
- [77] http://developer.nokia.com/Community/Wiki/Archived:PyS60_applications, 2013.
- [78] MM Hanaa AL BITAR, "Advanced GPS signal processing techniques for LBS services", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 06/07/2007.
- [79] Jochen Schiller and Agne's Voisard, "Location-Based Services", ISBN: 1-55860-929-6, the Morgan Kaufmann Series Research, 2006.
- [80] <http://www.webimag.com>, 2012.
- [81] Frank Viquez, Anna Lee Dragon, and Tim Archdeacon, "Location based services, a strategic analysis of wireless technologies, markets, and trends", Technical report, Allied Business Intelligence, 2001.
- [82] Andrew Jagoe, "Mobile Location Services: The Definitive Guide", ISBN: 0-13-008456-5, Prentice Hall PTR, 2006.
- [83] DUQUENNE Françoise, BOTTON Serge, PEYRET François, BÉTAILLE David, WILLIS Pascal, "GPS : localisation et navigation par satellites", Lavoisier, 2005.
- [84] Joachim Tisal, "Le radiotéléphone cellulaire GSM", Elsevier Masson, 1995.
- [85] Documentations des équipements utilisés par Algérie Télécom, 2010.
- [86] <https://developers.google.com/maps/articles/?hl=fr>, 2012.
- [87] H. Wang, W. Hsu, K.G. Goh, M.L. Lee, "An effective approach to detect lesions in color retinal images", In *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 181 – 186, vol.2, 2000.
- [88] D. Marin, A. Aquino, M.E. Gegundez-Arias, J.M. Bravo, "A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 146 - 158, Jan. 2011.
- [89] D. Jegelevicius, A. Lukosevicius, "Application of Data Mining Technique for Diagnosis of Posterior Uveal Melanoma", *INFORMATICA*, Vol. 13, No. 4, 455–464, 2002.
- [90] S. Dua, N. Kandiraju, H.W. Thompson, "Design and implementation of a unique blood-vessel detection algorithm towards early diagnosis of diabetic retinopathy", In *Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, 2005, 26 – 31, Vol. 1, 2005.
- [91] M.J. Cree, J.A. Olson, K.C. McHardy, J.V. Forrester, P.F. Sharp, "Automated micro aneurysm detection", In *Proceedings of International Conference on Image Processing*, 699 – 702, Vol.3, 1996.

- [92] G.G. Gardner, D. Keating, T.H. Williamson, A.T. Elliott, “Automatic detection of diabetic retinopathy using an artificial neural network: a screening tool”, *British Journal of Ophthalmology*; 80:940-944, 1996.
- [93] P. Treigys, V. Šaltenis, “Neural Network as an Ophthalmology disease classifier”, *Information Technology and Control*, Vol. 36, No. 4, 2007.
- [94] Abderrahim BOUROUIS, Mohamed FEHAM, “Prototyping of Mobile Health Monitoring System for elderly: Using Android Python with SL4A and logistic regression technique”, *IJECST - Vol11 Issue2*, 2011.
- [95] Q. Pan, P. Yang, R. Zhang, C. Lin, S. Gong, L. Li, J. Yan, G. Ning, “A mobile health system design for home and community use”, *Biomedical and Health Informatics (BHI), IEEE-EMBS International Conference*, Page(s): 116 – 119, 2012.
- [96] H.H. Asada, P. Shaltis, A. Reisner, S. Rhee, R.C. Hutchinson, “Mobile monitoring with wearable photoplethysmographic bio sensors”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2003.
- [97] M.A. Al-Tae, N.A. Jaradat, D.M.A. Ali, “Mobile phone-based health data acquisition system using Bluetooth technology”, *Applied Electrical Eng. And Computing Technologies (AEECT)*, Page(s): 1 – 6, 2011.
- [98] P. Ross, “Managing care through air”, *IEEE Spectrum*, pp 26-31, 2004.
- [99] R.S.H. Istepanian, A.A. Petrosian, “Optimal Zonal wavelet-based ECG data compression for a mobile telecardiology system”, *IEEE Trans on Information Technology in Biomedicine* 4(3): 200-211, 2000.
- [100] F. Zhu, M. Bosh, I. Woo, S. Kim, C.J. Boushey, D.S. Ebert, E.J. Delp, “The Use of Mobile Devices in Aiding Dietary Assessment and Evaluation”, *IEEE, Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 4, pp. 756-766, 2010.
- [101] F. Buttussi, L. Chittaro, MOPET: “A Context-Aware and User Adaptive Wearable System for Fitness Training, *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 42, pp. 153-163”, 2008.
- [102] A. Bourouis, M. Feham, A. Bouchachia, “A New Architecture of a Ubiquitous Health Monitoring System: A Prototype of Cloud Mobile Health Monitoring System”, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol.9, Issue 2, No2, March 2012.
- [103] M.T. Nkosi, F. Mekuria, “Cloud Computing for Enhanced Mobile Health Applications”, *The Second IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, Page(s): 629 – 633, 2010.
- [104] W. Maass and U. Varshney, “Design and evaluation of Ubiquitous Information Systems and use in healthcare”, *Decision Support Systems*, v.54 n.1, p.597-609, 2012.
- [105] P. Zhang, Y. Kogure, H. Matsuoka, M. Akutagawa, Y. Kinouchi, “A remote patient monitoring system using a Java-enabled 3G mobile phone”, *In Proceedings of IEEE Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, 3713-6, 2007.
- [106] National Institutes of Health – National Heart, Lung, and Blood Institute. National High Blood Pressure Education Program Working Group Report on Hypertension in Diabetes. *Hypertension*; 23(2):145-58, 1994.

- [107] V. Könönen, J. Mäntyjärvi, H. Similä, J. Pärkkä, M. Ermes, “Automatic feature selection for context recognition in mobile devices, *Pervasive and Mobile Computing*”, vol. 6, no. 2, pp. 181-197, 2010.
- [108] E. Miluzzo, M. Papandrea, N. Lane, H. Lu, A. “Campbell, Pocket, bag, hand, etc.-automatically detecting phone context through discovery”, In *Proceedings of ACM International Workshop on Sensing for App Phones (PhoneSense)* collocated with ACM SenSys, Zurich, Switzerland, 2010.
- [109] Á.Fábián, N. Györbíró, G.Hományi, “Activity recognition system for mobile phones using the Motion Band device”, In *Proceedings of the 1st International Conference on MOBILE Wireless Middle WARE, Operating Systems, and Applications*, 2008.
- [110] P. Ferrill, *Pro Android Python with SL4a*. Apress, 1 edition, ISBN-10: 1430235691, 2011.
- [111] Android APIs, <http://developer.android.com/reference/android/graphics/package-summary.html>, 2013.
- [112] S.Piramuthu, M.J. Shaw, J.A. Gentry, “A classification approach using multi-layered neural networks”, *Decision Support Systems*, v.11 n.5, p.509-525, 1994.
- [113] DIARETDB0 - Standard Diabetic Retinopathy Database. <http://www2.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/index.html>, Dec 2012.
- [114] M.T. Jones, *Artificial Intelligence: a System Approach*. Sudbury, Massachusetts, 2009.
- [115] Structured Analysis of the Retina (STARE). <http://www.parl.clemson.edu/~ahoover/stare/>, Feb 2013.
- [116] A. Hoover, M. Goldbaum, Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the bloodvessels, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 22 no. 8, pp. 951-958, 2003.
- [117] M. Egmont-Petersen, D. de Ridder, H. Handels, Image processing with neural networks—a review, *Pattern Recognition*, Volume 35, Issue 10, PP .2279-2301, 2002.
- [118] <http://ziyang.eecs.umich.edu/projects/powertutor/>, August 2013. (2013)
- [119] <http://www.medicinenet.com>, October 2012.
- [120] <http://www.who.int>, January 2012.
- [121] M. Lüder, R. Salomon, G. Bieber, “Stair Master: A New Online Fall Detection Device”. 2nd Congress on Ambient Assisted Living, Berlin, 2009.
- [122] M.N. Nyan, F.E. Tay, M. Manimaran, K.H. Seah, “Garment-based detection of falls and activities of daily living using 3-axis MEMS accelerometer”. *J Phys Conf Ser* 34:1059–1067, 2006
- [123] <http://mover.projects.fraunhofer.pt/>, November 2012.
- [124] Z. Fu, E. Culurciello, P. Lichtsteiner, T. Delbruck, “Fall detection using an address-event temporal contrast vision sensor”, *IEEE international symposium on circuits and systems*, pp: 424-427, 2008.
- [125] B. Jansen, R. Deklerck, “Context aware inactivity recognition for visual fall detection”, *Pervasive health conference and workshops*, 1 - 4, 2006.
- [126] T. Hansen, J. Eklund, J. Sprinkle, R. Bajcsy, S. Sastry, “Using smart sensors and a camera phone to detect and verify the fall of elderly persons”. *European Medicine, Biology and Engineering Conference*, 2005.

- [127] T. Zhang, J. Wang, P. Liu, J. Hou, “Fall detection by embedding an accelerometer in cellphone and using KFD algorithm”. *International Journal on Computer Science Network Security*, 6(10):277–284, October 2006.
- [128] P. Ferrill, “Pro Android Python with SL4A”, A Press, 2011.
- [129] F. Sposaro , G. Tyson, “ifall: An android application for fall monitoring and response,” in *International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6119–6122, 2009.
- [130] DM Karantonis, MR Narayanan, M Mathie, NH Lovell, BG Celler ,” Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring”, *IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine* 10(1):156–167,2006.
- [131] <http://www.oneclickroot.com>, February 2013.
- [132] RK Ganti, P Jayachandran, TF Abdelzaher, JA Stankovic, “SATIRE: a software architecture for smart AtTIRE”, In *Proceedings of the 4th international conference on mobile systems, applications and services, MobiSys*, 2006.
- [133] A. Dinh, Y. Shi, D. Teng, A. Ralhan, L. Chen, V. D. Bello-Haas, J. Basran, S. Ko, and C. McCrowsky, “A Fall and Near-Fall Assessment and Evaluation System,” *The Open Biomedical Engineering Journal*, vol. 3, pp. 1–7, 2009.
- [134] Frank, E., Hall, M., Trigg, L., Holmes, G., Witten, I.H.: “Data mining in bioinformatics”, *Bioinformatics* 20(15), 2479–2481 (2004).
- [135] <https://github.com/rjmarsan/Weka-for-Android>, May 2013.
- [136] A. Copetti, J. C. B. Leite, O. Loques and M. F. Neves, “A decision making mechanism for context inference in pervasive healthcare environments”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 528–537, 2013.
- [137] C. Combes and J. Azema. “Clustering using principal component analysis applied to autonomy–disability of elderly people”, *Decision Support Systems*, Volume 55, Issue 2, Pages 578–586, 2013.

Travaux associés à cette thèse

Brevets

1. Patent: Abderrahim Bourouis, Mohammed Feham and Ikram Djebri, Smart headband for drowsiness detection, INAPI, 1547/DB/B5/13, 2013, accepted.
2. Patent: Abderrahim Bourouis, Mohammed Feham and Ikram Djebri, Social Tee-shirt INAPI, 1548/DB/B5/13, 2013, accepted.
3. Patent: Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Smart Tee-Shirt for elderly and Alzheimer patients, INAPI, 1960/DB/AD/12, 2012, in publishing.

Publications internationales

4. Abderrahim BOUROUIS, Mohamed Feham, Alamgir Hossain and Li Zhang, An Intelligent Mobile based Decision Support System for Retinal Disease Diagnosis, Decision Support System Journal - Elsevier, 2013, accepted.
5. Abderrahim BOUROUIS, Mohamed Feham, Abdelhamid Bouchachia, Alamgir Hossain and Li Zhang, Intelligent Mobile Fall-detector system, Decision Support System Journal-Elsevier, 2013, submitted.
6. Abderrahim BOUROUIS, Mohamed Feham and Abdelhamid Bouchachia, A New Architecture of a Ubiquitous Health Monitoring System: A Prototype of Cloud Mobile Health Monitoring System, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol.9, Issue 2, No2, March 2012.
7. Abderrahim BOUROUIS, Mohamed FEHAM, Prototyping of Mobile Health Monitoring System for elderly: Using Android Python with SL4A And logistic regression technique, IJECST - Vol1 Issue2, 2011.
8. Abderrahim BOUROUIS, Mohamed Feham and Abdelhamid Bouchachia, Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE) », International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol 3, No 3, June 2011.

Conférences internationales

9. Abderrahim Bourouis, Ali Zerdazi, Mohammed Feham and Abdelhamid Bouchachia, M-Health: Skin Disease Analysis System Using Smartphone's Camera, The 4th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, Canada, Procedia Computer Science, Elsevier- Siencedirect, Vol 19, 2013.

Communications nationales

10. Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Smart headband for drowsiness detection and Social Tee-shirt, Third National Innovation Fair, Algiers, 2013.
11. Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Smart Tee-Shirt for elderly and Alzheimer patients, Second National Show of Academic Innovation, Algiers, 2012.
12. Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Mobile Power Failure Detection System, First National Show of Academic Innovation, Oran, 2012.
13. Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Intelligent Location Based Services (ILBS), The First National Show of Academic Innovation, Oran, 2012.
14. Abderrahim BOUROUIS and Mohamed Feham, Intelligent Signaling System on Smartphone in East-West Algerian highway, The First National Show of Academic Innovation, Oran, 2012.

Prix

15. SIFTECH Competition: 1st Prize, le cartable communicant, 2013.
16. Prize: “Meilleur Docteur et Doctorant”, ANDRU, 2013.
17. Gold Medal: The 5th International Invention Fair in The Middle East IIFME 2012, Kuwait, Smart Tee-Shirt Invention.
18. Silver Medal: The 5th International Invention Fair in The Middle East IIFME 2012, Kuwait, iTEST Invention.
19. Innovation Certificate, “iTEST”, Northumbria University, Newcastle, UK .NU/078/2012.
20. MED-IT Competition: 1st Prize, 2012.
21. MED-IT Competition: 2nd Prize, Best Algerian Mobile Applications, 2011.
22. Nokia Launchpad prize, 2010.

INTELLIGENT MOBILE HEALTH MONITORING SYSTEMS

Auteur : BOUROUIS Abderrahim
Prof. Responsable : FEHAM Mohammed
Co-directeur de Thèse : BOUCHACHIA Abdelhamid
Sujet proposé au sein du labo *STIC*

أطروحة الدكتوراه التي بين أيديكم، تعالج تصميم وتطوير خدمات الصحة المتنقلة في الظروف المحدودة. نستعمل فيها الهواتف الذكية والشبكات الجسمية من أجل الخدمات المتنقلة الخاصة بالطب. من أجل هذا، نحن نقترح على مستوى مخبر البحث نظم وتكنولوجيات المعلومات والاتصال (STIC) مجموعة من المساهمات والتطويرات الخاصة بخدمات الصحة المتنقلة. مجموعة من محاور البحث تنتمي إلى هذا المجال نذكر على سبيل المثال هندسة الاتصال بين جميع ممثلي الشبكة، المراقبة عن بعد، تحديد المواقع وتطوير مستوى العيش.

هذه الأعمال تندرج في نشاطات مجموعة البحث الخاصة بالنظم الذكية والبيئية في مخبر نظم وتكنولوجيات المعلومات والاتصال (STIC) التابع لجامعة أبو بكر بلقايد بتلمسان.

كلمات دلالية- الصحة المتنقلة، خدمات الصحة عن بعد، خدمات تحديد المواقع، الهواتف الذكية، الشبكات الملبوسة، الأنظمة الذكية، الظروف المحدودة.

Cette Thèse de doctorat traite la conception, le développement et l'implémentation de services m-health adaptés aux conditions limitées. Nous utilisons les Smartphones et les réseaux corporels BAN-BSN pour des services mobiles dédiés à la médecine. Pour cela, nous proposons au sein du laboratoire de recherche des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) plusieurs contributions de développement de services mobiles innovants m-health. De nombreux axes de recherche sont impliqués dans ce domaine. Ils concernent notamment la conception d'architectures de communication entre les acteurs de ces systèmes, la télésurveillance et la localisation adaptée au contexte, l'amélioration de la qualité de vie des personnes et de traitement de données. Il s'agit alors de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques d'une personne à distance, impliquant la transmission de messages et d'alarmes aux acteurs concernés prêts à intervenir en cas de nécessité.

Mot-clé—m-health, Services de Télémédecine, LBS, Smartphone, BSN, Les systèmes intelligents, Les conditions limitées.

This PhD thesis processes the design, development and implementation of m -health services adapted to limited conditions. We use smartphones and BAN- BSN body area networks for mobile services dedicated to medicine. For this, we propose in the research laboratory of Systems and Technologies of Information and Communication (STIC) more contributions and innovative mobile services in m-health field. Many areas of research are involved in this field. They concern the communication architecture design between actors of these systems, remote monitoring, location appropriate to the context, improving the quality of life of people and data processing. Then it is to detect and prevent the occurrence of critical situations remotely.

Keywords— m-health, telemedicine services, LBS, Smartphone, BSN, Intelligent systems, the limited conditions.

