



**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**  
**FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET**  
**DE L'INFORMATIQUE**



**DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE**

**MEMOIRE de fin d'étude**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER**

**Domaine : Mathématiques et Informatique**

**Filière : Informatique**

**Spécialité : Systèmes d'Informations Avancés / Réseaux et Technologie de  
l'Information et de Communication**

**Par: BELATTAR KARIMA**

**SUJET**

**Réalisation d'une Application Mobile-Health avec un  
réseau corporel sans fil  
pour le suivi d'une personne âgée**

**Encadré par :**

**Mr Attir Azzeddine**

**Promotion : 2019 /2020**

# *Remerciements*

الحمد لله والصلاة والسلام على محمد رسول الله

Je remercie ALLAH, le tout puissant, le miséricordieux, de m’avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Au terme de ce travail, c’est avec émotion que je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

J’adresse mes sincères remerciements à mon encadreur : Mr Attir Azzeddine

Je tiens à remercier les membres du jury qui ont bien voulu investir de leur temps précieux pour lire mon mémoire.

A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, je leur présente ma profonde gratitude

Enfin, je finirai par exprimer mes remerciements à tous ceux qui ’ont aidé de près ou de loin pour aboutir à ce modeste travail.

# Dédicaces

*A cœur vaillant rien d'impossible  
A conscience tranquille tout est accessible*

*Quand il y a la soif d'apprendre  
Tout vient à point à qui sait attendre*

*Quand il y a le souci de réaliser un dessein  
Tout devient facile pour arriver à nos fins*

*Malgré les obstacles qui s'opposent  
En dépit des difficultés qui s'interposent*

*Les études sont avant tout Notre unique et seul atout  
Ils représentent la lumière de notre existence*

*L'étoile brillante de notre réjouissance  
Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal*

*Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal  
Espérant des lendemains épiques*

*Un avenir glorieux et magique  
Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit, nous mènera  
vers le bonheur fleuri*

*Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, Nous prions dieu que  
cette soutenance Fera signe de persévérance Et que nous serions  
enchantés Par notre travail honoré*

*Je dédie ce mémoire à Ma chère maman*

# *Résumé*

L'un des défis majeurs du monde de ces dernières décennies a été l'augmentation continue de la population des personnes âgées dans le monde et plus particulièrement dans les pays développés. D'où la nécessité de fournir des soins de qualité à une population en croissance rapide, tout en réduisant les coûts des soins de santé. Les applications de surveillance de santé Mhealth est l'une des tendances les plus récentes et des applications les plus avancées dans le domaine médical qui a évolué pour aider les patients et notamment les personnes âgées pour obtenir une assistance médicale meilleure et plus rapide. L'application Mhealth que nous avons développé permet de faire le suivi à distance d'une personne âgée en permettant l'affichage et le stockage en temps réel des données physiologiques captées par les capteurs de température, l'ECG et le capteur HeartBeat, pour le patient lui-même par le biais de son téléphone mobile et pour le médecin à distance qui pourra accéder au cloud afin d'afficher aussi en temps réel ces valeurs, le médecin peut intervenir en cas d'urgence en commandant des actionneurs à distance, notre système peut envoyer des notification au cas où l'un de ses valeurs physiologiques a dépassé le seuil toléré et en envoyant simultanément un SMS d'urgence à l'intention du médecin traitant et des parents du patient et l'ambulancier pour une éventuelle évacuation, notre système permet aussi de stocker les données pertinentes dans une base de donnée pour une consultation ultérieure.

Mots clés: Mhealth; Telephone mobile; HeartBeat ; ECG ; Capteur de temperature.

## ***Abstract***

One of the major challenges of the world in recent decades has been the continuous increase in the population of older people in developed countries. Hence the need to provide quality care to a rapidly growing population, while reducing health care costs. Health Monitoring Apps Mhealth is one of the newest trends and most advanced apps in the medical field that has evolved to help patients and especially the elderly to get better and faster medical assistance. The Mhealth application that we have developed allows remote monitoring of an elderly subject by allowing the display and real-time storage of physiological data captured by the temperature sensors, the ECG and the HeartBeat sensor, for the patient himself through his smartphone and for the doctor remotely who can access the cloud in order to also display these values in real time, the doctor can intervene in the event of an emergency by controlling actuators remotely, our system can send notifications when physiological values has exceeded the tolerated threshold and simultaneously sending an emergency SMS to the attending physician and the patient's parents and the ambulance attendant for possible evacuation, our system allows the relevant data to be stored in a database for later consultation.

Key Word: Mhealth; Smartphone; HeartBeat ; ECG ; Temperature sensor.

## ملخص

من أهم التحديات الرئيسية التي يواجهها العالم منذ بداية العقود الماضية هو الزيادة المستمرة في عدد السكان من كبار السن في العالم وخاصة في البلدان المتقدمة. ومن هنا تأتي الحاجة إلى توفير رعاية جيدة للسكان الذين يتزايد عددهم بسرعة ، مع تقليل تكاليف الرعاية الصحية. تطبيقات مراقبة الصحة Mhealth هي واحدة من أحدث الاتجاهات وأكثر التطبيقات تقدمًا في المجال الطبي والتي تطورت لمساعدة المرضى وخاصة كبار السن للحصول على مساعدة طبية أفضل وأسرع. يسمح تطبيق Mhealth الذي طورناه بالمراقبة عن بُعد لكبار السن من خلال السماح بعرض وتخزين البيانات الفسيولوجية التي تم التقاطها بواسطة مستشعرات درجة الحرارة ، ومخطط كهربية القلب ، ومستشعر نبضات القلب ، وتخزينها في الوقت الأنّي. المريض نفسه من خلال تطبيقه الموجود في هاتفه المحمول والطبيب البعيد يمكنهما عرض هذه القيم أيضًا في الوقت الفعلي ، يمكن للطبيب التدخل في حالة الطوارئ عن طريق التحكم في المشغلات عن بُعد ، يمكن لنظامنا إرسال إشعارات إذا تجاوزت إحدى قيمه الفسيولوجية الحد المسموح به وإرسال رسالة نصية قصيرة في نفس الوقت إلى الطبيب المعالج والوالدي المريض والمسعف لإخلاء محتمل ، يتيح نظامنا أيضًا إمكانية تخزين البيانات ذات الصلة في قاعدة بيانات لاستعمالها لاحقًا من الأطراف المعنية بذلك.

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> Capteurs invasifs et non invasifs.....	15
<b>Tableau I.2</b> Différences entre les réseaux sans fil corporels sans fil (WBAN) et les réseaux de capteurs sans fil(WSN).....	16
<b>Tableau I.3</b> Spécifications Bluetooth.....	18
<b>Tableau I.4</b> Les avantages et les inconvénients des topologies dans les réseaux WBAN.....	23
<b>Tableau II.1</b> Les Capteurs les plus couramment utilisés dans les systèmes de soins de santé.....	42
<b>Tableau III.1</b> : Tableau descriptif des entités de notre système.....	61

# Liste des Figures

<b>Figure I.1:</b> Schéma représentatif du mécanisme de traduction d'un capteur.....	4
<b>Figure I.2:</b> Architecture matérielle d'un capteur sans fil.....	4
<b>Figure I.3:</b> Classification des différents types de capteurs en fonction des différentes sources d'énergies.....	6
<b>Figure I.4 :</b> Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....	7
<b>Figure I.5:</b> Applications des RCSF.....	8
<b>Figure I.6:</b> Collecte d'information par un RCSF « à la demande » ...	8
<b>Figure I.7 :</b> Collecte d'information par un RCSF « suite à un événement » .....	9
<b>Figure I.8:</b> Utilisation des différents OS.....	9
<b>Figure I.9 :</b> Modèle en couches pour la communication dans les RCSF.....	12
<b>Figure I.10:</b> un BAN avec les paramètres physiologiques humains.....	15
<b>Figure I.11:</b> Diverse applications des WBANs.....	18
<b>Figure I.12:</b> Architecture de communication des WBAN.....	20
<b>Figure I.13 :</b> Les topologies dans les réseaux WBAN.....	21
<b>Figure I.14:</b> Classification des trafics WBAN.....	23
<b>Figure I.15:</b> Les bandes de fréquences IEEE 802.15.6.....	27
<b>Figure I.16:</b> Format de la trame MAC IEEE 802.15.6.....	28
<b>Figure I.17:</b> Les modes de communications IEEE 802.15.6.....	29
<b>Figure II.1:</b> Architecture Typique d'une application M-health.....	39
<b>Figure II.2:</b> Le système de réseau téléométrique de zone corporelle (Système TBAN).....	43
<b>Figure II.3:</b> Architecture du système TeleCare.....	45
<b>Figure II.4:</b> Architecture WBAN.....	46
<b>Figure II.5:</b> Schéma fonctionnel de la conception d'ECG proposée.....	47
<b>Figure II.6:</b> L'architecture commune des soins de santé (conçue par les auteurs et dessinée par Ibrahim Almardini).....	47
<b>Figure II.7:</b> Le Schéma fonctionnel du système proposé.....	49
<b>Figure II.8:</b> Représentation schématique du système proposé.....	50
<b>Figure II.9:</b> Vue d'ensemble de l'architecture du système SW-SHMS.....	50
<b>Figure II.10:</b> Le modèle réseau du système WS-SHMS.....	52
<b>Figure II.11:</b> Architecture des systèmes de surveillance ECG basés sur l'IoT.....	53

<b>Figure II.12:</b> Architecture du cloud IoT pour la surveillance ECG.....	54
<b>Figure III.1:</b> Architecture du systeme RHMES (Remote Health monitoring elderly System).....	59
<b>Figure III.2:</b> Diagramme de cas d'utilisation du système RHMES.....	62
<b>Figure III.3:</b> Diagramme de séquence d'authentification.....	63
<b>Figure III.4:</b> Diagramme de séquence MAJ du profil de patient.....	64
<b>Figure III.5:</b> Diagramme de séquence d'affichage des valeurs captées en temps réel.....	64
<b>Figure III.6:</b> Diagramme de séquence de stockage des valeurs captées.....	65
<b>Figure III.7:</b> Diagramme de séquence de notification par SMS d'un parent.....	65
<b>Figure III.8:</b> Le diagramme d'objet .....	66
<b>Figure IV.1:</b> Schéma de Câblage (Schéma électrique).....	69
<b>Figure IV.2:</b> Schéma expérimental.....	70
<b>Figure IV.3:</b> La carte Arduino UNO.....	71
<b>Figure IV.4:</b> Le Capteur de température LM35.....	72
<b>Figure IV.5:</b> Le principe de fonctionnement du capteur Heart Beat.....	73
<b>Figure IV.6:</b> le capteur de pulsation (HBS :Heart Beat Sensor).....	73
<b>Figure IV.7:</b> Mesure de la différence de potentiel entre deux points .....	74
<b>Figure IV.8:</b> Bluetooth HC-06.....	74
<b>Figure IV.9:</b> Arduino-Bluetooth.....	75
<b>Figure IV.10:</b> Le module ESP8266.....	75
<b>Figure IV.11:</b> Le module SIM800L .....	76
<b>Figure IV.12:</b> Le brochage du module GSM 800L.....	76
<b>Figure IV.13:</b> Afficheur LCD 16*2 avec les broches de connexion.....	77
<b>Figure IV.14 :</b> Interface principale.....	90
<b>Figure IV.15</b> Affichage des valeurs captées sur le moniteur série.....	91
<b>Figure IV.16</b> Affichage des valeurs captées sur l'interface du patient.....	91
<b>Figure IV.17</b> Affichage des valeurs captées sur la plate forme Firebase.....	92
<b>Figure IV.18</b> Envoi SMS de notification .....	92
<b>Figure IV.19</b> Message de notification reçu .....	93

# Table des matières

- *Remerciements*
- *Dédicaces*
- *Résumé*
- *Abstract*
- *Introduction Générale*

## Chapitre I

Introduction .....	2
I.1 Réseaux sans fil.....	2
I.2 Réseaux ad hoc.....	2
I.3 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF).....	3
I.3.1 Qu'est-ce qu'un capteur.....	3
I.3.1.1 Introduction.....	3
I.3.1.2 Définition d'un nœud capteur.....	3
I.3.1.3 Architecture d'un nœud capteur.....	4
I.3.1.4 Les type de capteurs.....	5
I.3.1.5 Définition d'un réseau de capteurs sans fil.....	6
I.3.1.6 Architectures et Applications.....	6
I.3.1.6.1 Architecture d'un RCSF.....	6
I.3.1.6.2 Applications des RCSF.....	7
I.3.1.7 Collecter les informations dans un RCSF.....	8
I.3.1.8. Système d'exploitation pour RCSF.....	9
I.3.1.8 .1 TinyOS.....	10
I.3.1.8 .2 Fonctionnement.....	10
I.3.1.9 Contraintes de conception des RCSF.....	11
I.3.1.10 La communication dans les RCSF.....	12
I.3.1.10.1 Modèle en couches.....	12
I.3.1.10.2 Rôle des couches.....	12
I.4 Les réseaux sans fil corporels (WBAN) .....	13
I.4.1 Introduction.....	13
I.4.2 Historique.....	14
I.4.3 Définition et caractéristiques.....	14
I.4.4 Différence entre WBAN et WSN.....	16
I.4.5 Les technologies Radio utilisée dans les WBAN .....	18
I.4.5.1 Bluetooth.....	18
I.4.5.2 ZigBee (IEEE 802.15.4).....	18
I.4.5.3 Technologie Bluetooth basse consommation (Wibree).....	19
I.4.5.4 UWB et IEEE 802.15.6.....	19
I.4.6 Architecture de communication des WBAN.....	20
I.4.7 Topologies des réseaux WBAN .....	21
I.4.7.1 Topologie Point-à-point.....	22
I.4.7.2 Topologie en Etoile.....	22
I.4.7.3 Topologie Maillée.....	22
I.4.7.4 Topologie en Arbre .....	22
I.4.8 Défis des WBAN.....	23
I.4.9 Normalisation et standardisation des WBAN.....	25
I.4.9.1 Introduction.....	25

I.4.9.2 Mais Pourquoi une nouvelle norme pour les WBAN ?.....	25
I.4.9.3 Le standard IEEE 802.15.6 .....	26
I.4.9. 3.1 Les spécifications de la couche MAC IEEE 802.15.6 .....	27
I.4.9. 3.2 Format de la trame MAC IEEE 802.15.6.....	27
I.4.9. 3.3 Les modes de communication IEEE 802.15.6.....	28
Conclusion.....	28

## CHAPITRE II

Introduction.....	36
II.1 Les applications des WBANS dans les soins de santé (Healthcare).....	36
II.1.1 WBAN travaillant en tant que médecin virtuel.....	36.
II.1.2 WBAN utilisés comme « Death Intimation Device »:.....	36.
II.1.3 Systèmes de surveillance des soins de santé en ligne pour les personnes âgées à domicile « E_health care monitoring system »:.....	37
II.1.4 Les systèmes des surveillance des soins de santé à distance ( Remote Healthcare Monitoring System.....	37
II.1.5 Aide à la vie (Assisted Living).....	37
II.1.6 Télémédecine.....	37
II.1.7 M-health.....	38
II.2 Aperçu des capteurs corporels les plus utilisés dans les applications de soins de santé (HealthCare) .....	39
II.3 Exigences des applications M-health.....	42
II.4 Etat de l’art sur les architectures et les technologies utilisées dans les applications M-health .....	43
Conclusion.....	55

## CHAPITRE III

Introduction.....	58
III.1 Convention .....	58
III.2 Les objectifs du système.....	58
III.3 Architecture du système.....	59
III.4 Description générale du système .....	59
III.5 Description détaillée des entités du système.....	60
III.6 Le diagramme de cas d’utilisation du fonctionnement général du système .....	62
III.7 Les diagrammes de séquence.....	63
III .7.1 Diagramme de séquence d’authentification.....	63
III .7.2 Diagramme de séquence de MAJ du profil de patient.....	63
III .7.3 Diagramme de séquence d’affichage des valeurs captées en temps reel.....	64
III .7.4 Diagramme de séquence de stockage des valeurs captées.....	65
III .7.5 Diagramme de séquence de notification par SMS d’un parent.....	65
III.8 La base de données du système.....	66
Conclusion.....	66

## CHAPITRE IV

Introduction.....	68
IV.1 CONCEPTION ARCHITECTURALE.....	68
IV.1.1 La partie matérielle :.....	68
IV.1.1 .1 Présentation des éléments électriques du système.....	68
IV.1.1 .1.1 Arduino.....	70
IV.1.1 .1.2 Le capteur de température LM35.....	71
IV.1.1 .1.3 Le capteur de pulsation cardiaque (Heart Beat Sensor).....	72
IV.1.1 .1.4 le capteur ECG.....	73
IV.1.1 .1.5 Bluetooth.....	74
IV.1.1 .1.6 Le module ESP8266.....	75
IV.1.1 .1.7 Le module GSM sim800L.....	75
IV.1.1 .1.8 Afficheur LCD.....	77
IV.1.2 La partie Logicielle.....	77
IV.1.2.1 Firebase.....	77
IV.1.2.1.1 Création et configuration d'un projet Firebase.....	78
IV.1.2.2 Programmation Arduino.....	80
IV.1.2.2.1 L'environnement de développement de L'Arduino.....	80
IV.1.2.2.2 Structure d'un programme Arduino.....	81
IV.1.2.2.3 Le code de notre programme Arduino.....	81
IV.1.2.3 Programmation Android.....	85
IV.1.2.3.1 Présentation MIT App Inventor 2.....	85
IV.1.2.3.2 Exemples de code de bloc de notre application.....	87
IV.1.2.3.3 Configuration Firebase.....	87
IV.2 Test et Evaluation.....	90
IV.2.1 Interface principale.....	90
IV.2.2 Affichage des valeurs captées sur le moniteur série.....	91
IV.2.3 Affichage des valeurs captées sur l'interface du patient.....	91
IV.2.4 Affichage des valeurs captées sur la plate forme Firebase.....	92
IV.2.5 Envoi SMS de notification.....	92
IV.2.6 Réception du message de notification.....	93
Conclusion.....	93

### *Conclusion Générale*

## *La liste des acronymes*

<b>ADC:</b>	Analog Digital Converter
<b>AUI :</b>	Active User Interface :
<b>AAL :</b>	Active Assisted Live
<b>BS:</b>	Base Station
<b>BE:</b>	Backoff Exponent
<b>BLE :</b>	Bluetooth Low Energy
<b>CAP :</b>	Contention Access Phase
<b>CW:</b>	Contention Windows
<b>EAP :</b>	Exclusive Access Phase
<b>ECG:</b>	ElectroCardioGraphie
<b>EDGE:</b>	Enhanced Data for GSM Evolution
<b>EEG:</b>	ElectroEncéphaloGraphie
<b>EMG :</b>	ElectroMyoGraphie
<b>FCS :</b>	FrameCheck
<b>GUI :</b>	Graphic User Interface
<b>GPS:</b>	Global Position System
<b>HBC :</b>	Human Body Communications
<b>HTML:</b>	Hypertext Markup Language
<b>ISM :</b>	Industriel Sientifique Médical
<b>IoT:</b>	Internet of Thing
<b>LTE :</b>	Long Term Evolution
<b>MANETs:</b>	Mobile ad hoc networks
<b>MAN:</b>	Metropolitan Area Network
<b>MAC:</b>	Medium Access Control
<b>MAP :</b>	Managed Access Phase
<b>MCV :</b>	Maladies Cardio-vasculaires
<b>MEMS :</b>	Micro-ElectroMecanicSystem,
<b>MIC:</b>	Message Integrity Code
<b>MQTT:</b>	Message Queuing Telemetry Transport
<b>MS :</b>	Medical Server
<b>PAN :</b>	Personal Area Network
<b>PPHS :</b>	Patient's Personal Home Server

**QoS :** Quality Of Service  
**RAP :** Random Access Phase  
**RCSF :** Réseaux de Capteurs Sans Fil  
**TIC :** Technologies de l'Information et de la Communication  
**UWB:** Ultra Wide Bande  
**WBAN:** Wireless Body Area Network  
**WBSN:** Wireless Body Sensor Network  
**WBSN:** Wearable Body Sensor Network  
**WBASN :** Wireless Body Area Sensor Network  
**WSN:** Wireless Sensor Network  
**WLAN:** Wireless Local Area Network

## Introduction générale

L'avènement du numérique bouleverse notre quotidien, il impacte aussi la vision moderne de l'industrie de la santé pour fournir de meilleurs soins de santé aux personnes. Par conséquent pour augmenter l'efficacité de ces soins, il y a un besoin qui se fait de plus en plus sentir pour améliorer les dispositifs de surveillance à distance des patients pour une meilleure prise en charge sanitaire.

L'utilisation croissante des réseaux sans fil et la miniaturisation constante des appareils électriques ont permis le développement des réseaux corporels sans fil (WBAN). Dans ces réseaux, divers capteurs sont fixés sur les vêtements ou sur le corps ou même implantés sous la peau. Ces appareils fournissent une surveillance continue de l'état de santé et un retour d'information en temps réel à l'utilisateur ou au personnel médical. La nature sans fil du réseau et la grande variété de capteurs offrent de nombreuses applications nouvelles, pratiques et innovantes pour améliorer les soins de santé et la qualité de vie.

Le téléphone mobile omniprésent, et chamboulant notre vie dans tous ses aspects fait son chemin dans la prévention et la promotion de la santé (mesure de données d'activité physique et de santé), mais aussi dans la médecine au quotidien (mesure de données vitales, coordination, gestion des maladies). En Amérique du Nord et du Sud on dénombre 1,072 millions de connexions mobiles pour une population totale de 997 millions de personnes [59], c'est-à-dire qu'il y a plus de connexions mobiles répertoriées que d'habitants. Environ 165,000 applications mobiles relatives à la santé [60]. Les revenus globaux atteindront \$21.5 milliards en 2018 [61]. L'enjeu économique et financier est extraordinairement immense.

Auparavant, mHealth (pour Mobile health) était limité au partage des problèmes, des remèdes, des rapports et des prescriptions. Cependant, au fil des ans, mHealth a élargi son domaine et adopté une approche plus personnalisée, ouvrant la voie à des applications mobiles personnalisées pour les soins de santé.

Cet engouement cache derrière lui toute une panoplie de problèmes et de défis qui entravent l'évolution des applications mHealth et qui sont les facteurs principaux du retard des applications de médecine par rapport à d'autres secteurs économiques. Le premier argument,

si ce n'est pas le plus dominant est dû au niveau de sécurité et de protection plus élevé que requièrent les données de santé, et qui est dû principalement à un problème inhérent à la technologie utilisée dans mhealth, qui est l'utilisation de réseaux sans fil non sécurisés pour transmettre des informations protégées.

Un autre facteur tout aussi important que le premier dans la mise en œuvre de mHealth est celui associé à la synchronisation des appareils mobiles et à la synchronisation des appareils mobiles avec des appareils non mobiles. Cette évaluation est basée sur la prise de conscience que ces dispositifs peuvent utiliser (et utilisent probablement) différents environnements d'exploitation, différents formats de données et de nombreuses autres disparités qui peuvent être moins évidentes.

La fiabilité et la disponibilité de la connectivité réseau peuvent être considérées d'un point de vue purement technique aussi comme de grands défis auquel les applications mhealth doivent répondre. La même application ou appareil fonctionnera très différemment à chaque endroit.

La question de l'interopérabilité revêt notamment une grande importance pour la santé mobile, elle se décline aussi parmi les problèmes auxquelles les applications mHealth doivent faire face.

Vu l'augmentation continue de la population des personnes âgées lors de ces dernières décennies ; Les applications mHealth apparaissent comme une vraie aubaine, d'une part pour offrir à cette population des soins de qualité à domicile et d'autre part la mise en œuvre de tels systèmes permettront de réduire les frais d'hospitalisation des patients.

Notre objectif est de concevoir un système qui permet de faire le suivi à distance de l'état de santé d'une personne âgée à domicile à l'aide d'une application Mhealth , pour y arriver nous avons sectionné notre travail en quatre chapitres:

- ✚ **Chapitre I** : L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs, puis de mettre l'accent sur les réseaux corporels sans fil WBAN en présentant leurs domaines d'application, leurs architecture, leurs caractéristiques, leur contraintes et les technologies utilisées
- ✚ **Chapitre II** : Dans ce chapitre nous éluciderons les différents concepts liés au domaine des applications médicales des WBAN puis nous nous étalerons sur l'état de

l'art qui va porter sur les architectures adoptées pour le déploiement des applications M-health et les différentes technologies utilisées dans les travaux récents

- ✚ **Chapitre III** : Ce chapitre détaille les phases de conception de notre système de la spécification des besoins jusqu'à l'élaboration du diagramme objet qui représente notre base de donnée en passant par la description générale du système et des entités, la réalisation du diagramme de cas d'utilisation général et les différents diagrammes de séquence.
- ✚ **Chapitre IV** : Ce chapitre est l'aboutissement des trois chapitre précédent, il détaille toute la plateforme matérielle et logicielle utilisée dans la réalisation de ce système.

# *Les Réseaux sans fil des Capteurs Corporaux (WBSN)*

## *Sommaire*

- 
- I.1- Réseaux sans fil**
  - I.2- Réseaux ad hoc**
  - I.3- Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)**
  - I.4- Les réseaux sans fil des capteurs corporels (WBSN)**
- 

*L'objectif de ce chapitre est de donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs, puis de mettre l'accent sur les réseaux corporels sans fil WBAN en présentant leurs domaines d'application, leurs architecture, leurs caractéristiques, leur contraintes et les technologies utilisées.*

## Introduction

Le développement technologique au cours des dernières décennies a permis l'émergence d'une cohabitation parfaite entre l'informatique et l'électronique. Cette cohabitation a permis un développement fulgurant des technologies en matière de communication à travers des réseaux sans fil, mobiles et dotés de capteurs sans cesse miniaturisés. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles. Au cours de son évolution, le paradigme sans fil a vu naître diverses architectures dérivées, telles que : les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fils et autres. Durant cette dernière décennie, une architecture nouvelle a vu le jour : **les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF)**, cette nouvelle technologie est fondée sur la collecte de l'information et sa transmission, ce domaine s'est considérablement développé pour supporter une large gamme d'applications, les réseaux de capteur corporaux (Wireless Body Area Network :WBAN) sont des réseaux de capteurs sans fil à usage spécial qui sont venus répondre aux besoins des systèmes médicaux et des soins de santé.

### I.1 Réseaux sans fil

Un réseau sans fil (Wireless network en anglais) est un réseau informatique qui connecte différents hôtes ou nœuds par des ondes radios. Les réseaux sans fil constituent une alternative aux réseaux câblés. Leur compatibilité avec les réseaux câblés permet également de les ajouter comme extension. C'est une technique qui permet aux particuliers, aux réseaux de télécommunications et aux entreprises de limiter l'utilisation de câbles entre diverses localisations.

### I.2 Réseaux ad hoc

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil dont leurs éléments les constituants (généralement appelés hôtes ou nœuds) communiquent entre eux en mode pair-à-pair et sont capables de s'auto-organiser sans infrastructure définie préalablement et sans aucune administration centralisée. Les réseaux ad hoc sont connus sous le nom de "réseaux mobiles ad hoc" ou MANETs (Mobile ad hoc networks en anglais). Dans un réseau ad hoc, un nœud peut communiquer directement avec les nœuds qui se trouvent dans son rayon de communication (on les appelle les voisins directs). Pour communiquer avec d'autres nœuds qui ne sont pas des voisins directs (ceux qui sont en dehors du rayon de communication), un protocole de routage est nécessaire pour construire des routes entre les nœuds afin d'acheminer les données du nœud source vers le nœud destination. En d'autres termes, chaque

composant du réseau agit en tant que terminal et nœud de relais, et participe au maintien de la connectivité dans le réseau tout entier [1].

### **I.3 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)**

Les réseaux de capteurs sans-fil sont une nouvelle technologie qui permet de déployer des capteurs hétérogènes et de les faire communiquer sans fil et de façon autonome. Cette capacité nouvelle à surveiller ou instrumenter le monde qui nous entoure ouvre la voie à de nouvelles applications innovantes ou à une évolution majeure d'applications déjà existantes. D'une dizaine de nœuds à plusieurs milliers, les réseaux de capteurs sans fil commencent à conquérir le monde industriel et notre vie quotidienne. Leurs besoins en communication, gestion, génération et stockage de l'énergie, miniaturisation et réduction des coûts ne nécessitent pas seulement de perfectionner les technologies actuelles, mais bien d'en inventer de nouvelles [2].

#### **I.3.1 Qu'est-ce qu'un capteur**

*«Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteur : température, fumée, intrusion... On leur demande maintenant de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données !»<sup>1</sup>*

##### **I.3.1.1 Introduction**

Tout ce que nous voyons, entendons, ressentons est de l'information. L'interaction avec l'environnement est essentielle, et l'interaction ne peut se produire que par le processus de fonctionnement d'entrée et de sortie. Tous les êtres vivants ont des sens qui leur permettent d'interagir avec l'univers. Les sens collectent des données et le cerveau fait le traitement et coordonne notre sortie vers l'univers. En conséquence. Chaque système mécatronique <sup>2</sup> a besoin d'un sous-système pour collecter des données de l'environnement. Les informations ainsi collectées sont traitées à l'aide d'une unité de traitement telle qu'un microcontrôleur et un microprocesseur. Un tel sous-système peut être largement classé comme capteur. Les données détectées sont traitées et en conséquence des actions spécifiques sont prises ou la sortie est générée[1].

**I.3.1.2 Définition d'un nœud capteur :** Un capteur est aussi défini comme un appareil électronique ou une partie du système utilisé pour détecter des données, détecter des événements ou des changements et relayer ces données à un système de traitement [3].

---

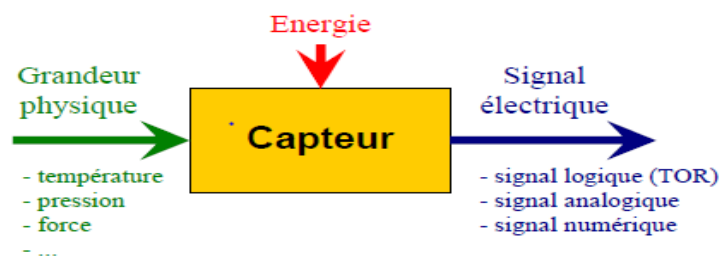
<sup>1</sup> Pierre Maslo , le 01/04/2006

<sup>2</sup> Mécatronique : Discipline alliant la mécanique, l'électronique et l'informatique pour concevoir des systèmes de production industrielle.

Un capteur est un petit dispositif électronique équipé d'une source d'énergie limitée [4]. Les capteurs peuvent être placés ou semés dans une zone d'intérêt pour la surveiller, formant ainsi un réseau de capteurs. Les dispositifs de détection sont conçus pour être capables de former un réseau sans fil autonome, pouvant détecter des données et de les délivrer à un ensemble spécifié de destinations [5].

Les capteurs sont des dispositifs miniaturisés possédants des ressources énergétiques limitées et autonomes, capables de traiter des informations et de les transmettre via des ondes radio.

Un nœud capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique) comme illustrée dans la figure I.1. Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.



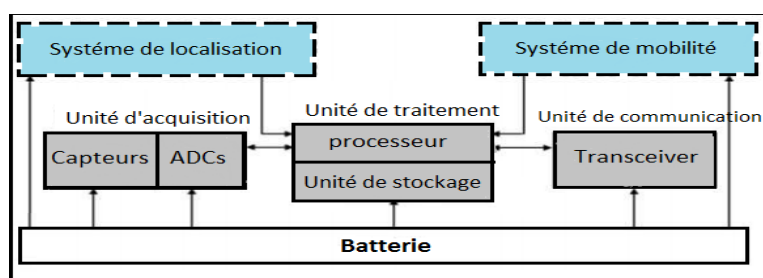
**Figure I.1:** Schéma représentatif du mécanisme de traduction d'un capteur

Parmi les critères selon lesquels on peut classer les nœuds capteurs on trouve les deux critères suivantes:

- ✚ En fonction de la grandeur mesurée : On parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc.
- ✚ En fonction du caractère de l'information délivrée : On parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), des capteurs analogiques ou numériques.

### I.3.1.3 Architecture d'un nœud capteur

Un nœud capteur est composé de quatre unités de base [4], représentées dans la Figure I.2



**Figure I.2:** Architecture matérielle d'un capteur sans fil

- **L'unité d'acquisition** : Appelée aussi unité de captage elle se compose généralement de deux sous unités à savoir les capteurs et les ADCs (Analog Digital Converter) qui sont des convertisseurs analogique-numérique. Les capteurs permettent une mesure sur des paramètres environnementaux pour fournir des signaux analogiques. Les ADCs vont convertir ces signaux analogiques en signaux numériques.

- **L'unité de traitement** : Se compose de deux interfaces, une avec l'unité d'acquisition et l'autre avec l'unité de communication, son rôle est le contrôle du bon fonctionnement des autres unités ; un système d'exploitation nécessaire au fonctionnement du capteur peut y être embarqué sur certain modèle. Cette unité permet l'exécution de procédures de communication qui permettent la collaboration d'un nœud avec les autres nœuds du réseau ; elle permet aussi l'analyse des données récoltées afin d'alléger le travail du nœud puits.

- **L'unité de communication** : Cette unité permet d'effectuer toutes les communications entre les différents nœuds sur un médium sans fil, car elle est dotée d'un émetteur/récepteur.

- **Batterie** : Elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.

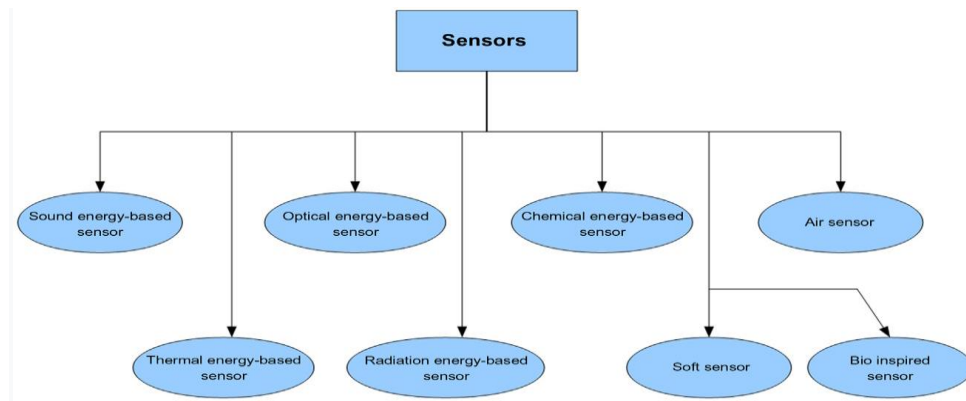
Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres sous unités ou composants additionnels, dépendant des applications, tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System) exigés par les techniques de routage dans le réseau de capteurs.

Il y a quelques autres contraintes sur les nœuds capteurs, ces nœuds doivent [6] consommer moins d'énergie, fonctionner dans des densités volumétriques élevées, avoir un coût de production moins élevé, être dispensables et autonomes, fonctionner sans surveillance, et s'adapter à l'environnement.

#### **I.3.1.4 Les type de capteurs**

Les capteurs peuvent être classés sous différentes catégories selon la détection faites sous différentes sources d'énergie [3] ( Figure I.3) :

- Détection basée sur l'énergie sonore
- Détection basée sur l'énergie thermique
- Détection basée sur l'énergie optique
- Détection basée sur l'énergie chimique
- Détection de radioactivité



**Figure I.3** Classification des différents types de capteurs en fonction des différentes sources d'énergies

### I.3.1.5 Définition d'un réseau de capteurs sans fil

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) ou Wireless Sensor Network (WSN) est un réseau informatique composé de petits dispositifs autonomes, fixés ou dispersés aléatoirement dans une zone d'intérêt [7], utilisant des capteurs coopérant pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement, etc. [8]

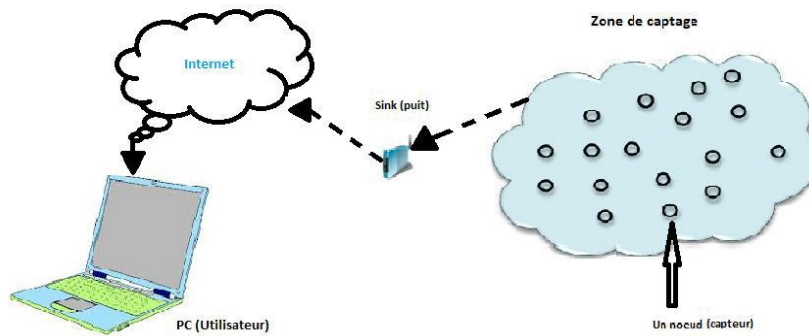
Il est souvent apparenté au réseau ad-hoc de par leur utilisation commune des ondes radio, ainsi que de leurs architectures décentralisées ; les RCSF sont aussi considérés parfois comme leurs successeurs.

Le but de celui-ci est de surveiller une zone géographique, et parfois d'agir sur celle-ci (il s'agit alors de réseaux de capteurs-actionneurs). On peut citer comme exemples un réseau détecteur de feu de forêt, ou un réseau de surveillance de solidité d'un pont après un tremblement de terre. Le réseau peut comporter un grand nombre de nœuds (des milliers). Les capteurs sont placés de manière plus ou moins aléatoire dans des environnements pouvant être dangereux. Toute intervention humaine après le déploiement des nœuds capteurs est la plupart du temps exclue, le réseau doit donc s'autogérer.

### I.3.1.6 Architectures et Applications

#### I.3.1.6.1 Architecture d'un RCSF

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont organisés en champs « sensor fields » (voir figure I.4). Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (dit "sink" en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central pour analyser ces données et prendre des décisions.



**Figure I.4** Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

### I.3.1.6.2 Applications des RCSF

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications (figure I.5). Parmi elles nous citons :

- ✚ Découvertes de catastrophes naturelles : On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds capteurs dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que les feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.
- ✚ Détection d'intrusions : En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.
- ✚ Applications métier : On pourrait imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.
- ✚ Contrôle de la pollution : On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.
- ✚ Agriculture : Des nœuds capteurs peuvent être incorporés dans la terre. On peut ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité).
- ✚ Surveillance médicale : En implantant sous la peau des mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.
- ✚ Contrôle d'édifices : On peut inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le

niveau d'eau si les limites sont atteintes. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence.

- ✚ Applications militaires : On peut faire du monitoring des forces alliées et des équipements, de la surveillance du champ de bataille, de la reconnaissance des forces opposées et du terrain, de l'estimation des dommages et aussi de la détection des attaques Nucléaires, Biologiques et Chimiques.

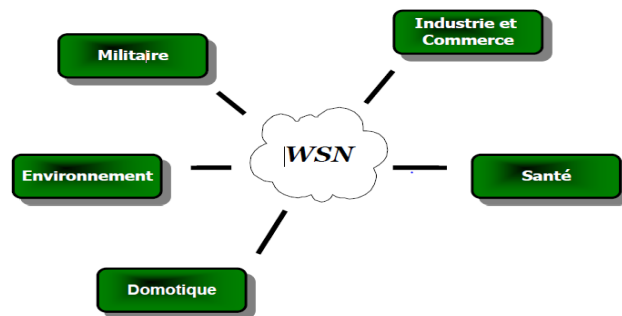


Figure I.5 : Applications des RCSF

### I.3.1.7 Collecter les informations dans un RCSF

Il y a deux méthodes pour collecter les informations d'un réseau de capteurs :

#### ✚ A la demande

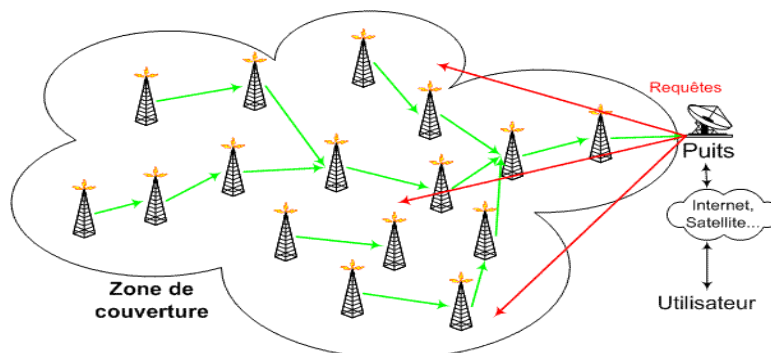
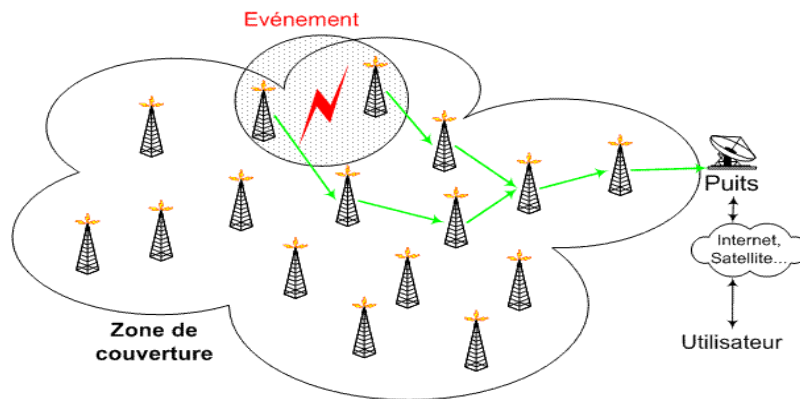


Figure I.6 Collecte d'information par un RCSF « à la demande »

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcasts vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits. Les informations sont alors acheminées par le biais d'une communication multi-sauts.

### ✚ Suite à un événement

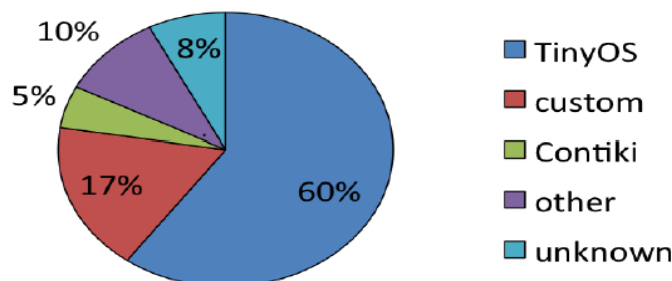


**Figure I.7** Collecte d'information par un RCSF « suite à un événement »

Un événement se produit en un point de la zone de couverture (changement brusque de température, mouvement...), les capteurs situés à proximité remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au puits.

#### I.3.1.8 Système d'exploitation pour RCSF

Les chercheurs spécialisés en RCSF ont contribué avec différents codage et divers langages à fournir un système d'exploitation pour le bon fonctionnement des nœuds capteurs. Différents systèmes d'exploitation (voir figure ci-dessous) sont maintenant fonctionnels pour les nœuds de capteurs, mais Tiny Operating System (TinyOS) est reconnu comme le plus approprié pour fonctionner dans un réseau dépourvu de ressources comme un RCSF. Les nœuds capteurs minuscules opèrent dans une variété de domaines. Ces nœuds sont équipés de ressources énergétiques encore plus limitées. Le remplacement des piles entraîne des frais importants. Par conséquent, l'exigence est qu'un système d'exploitation économe en énergie doit être conçu pour ces nœuds de détection. TinyOS est spécialement conçu pour les nœuds de détection de faible puissance. Il a d'abord été développé comme un projet de recherche, mais il est maintenant reconnu comme un système d'exploitation ouvert pour les nœuds capteurs [9].



**Figure I.8:** Utilisation des différents OS [10]

### **I.3.1.8 .1 TinyOS**

TinyOS a été développé pour la première fois en 2000 à l'Université de Californie à Berkeley. Il a été lancé comme projet de recherche et n'a été utilisé que par les chercheurs. Fin 2000, une direction architecturale systématique pour TinyOS a été proposée [11]. La version 0.6 de TinyOS a été introduite en 2001 et a corrigé certaines limites dans son modèle de programmation. Les versions 2.1 et 2.1.2 sont devenues disponibles en 2010 et 2012. Actuellement, le développement de TinyOS est transformé en GitHub, où les chercheurs peuvent contribuer à son développement. Maintenant, il y a environ 35 000 téléchargements de ce système d'exploitation disponible gratuitement par an [12]. TinyOS est en grande partie écrit en C. Il y a quatre exigences principales qui poussent les chercheurs à faire sortir à chaque fois des versions nouvelles, flexibles et concurrentielles de TinyOS pour les nœuds capteurs [13]:

- 1) Ressources limitées: Des nœuds capteurs avec des ressources limitées et des tailles plus petites ont des ressources physiques et logiques très limitées pour effectuer leurs opérations de détection.
- 2) Accès concurrentiel réactif: L'exigence primordiale pour les systèmes d'exploitation des nœuds capteurs est qu'ils doivent être hautement concurrentiels. L'accès concurrentiel réactif permet au système d'exploitation de gérer les tâches en temps réel pour les opérations de détection.
- 3) Faible puissance: TinyOS a été conçu en tenant compte du pouvoir limité des nœuds capteurs. TinyOS n'est pas seulement un système d'exploitation économe en énergie; il aide d'autres applications de détection à conserver l'énergie dans leurs opérations de détection.
- 4) Flexibilité: TinyOS prend en charge la modularité et un grand nombre de plates-formes matérielles.

### **I.3.1.8 .2 Fonctionnement**

TinyOS s'appuie sur un fonctionnement événementiel, c'est-à-dire qu'il ne devient actif qu'à l'apparition de certains événements, par exemple l'arrivée d'un message radio. Le reste du temps, le capteur se trouve en état de veille. Ainsi, l'activation de tâches, leur interruption ou encore la mise en veille du capteur s'effectue à l'apparition d'événements, ceux-ci ayant la plus forte priorité. Ce fonctionnement événementiel (event-driven) s'oppose au fonctionnement dit temporel (time-driven) où les actions du système sont gérées par une horloge donnée. TinyOS a été conçu pour minimiser la consommation en énergie du capteur.

Cependant, TinyOS ne gère pas le mécanisme de préemption<sup>3</sup> entre les tâches mais donne la priorité aux interruptions matérielles. Ainsi, les tâches entre elles ne s'interrompent pas mais une interruption peut stopper l'exécution d'une tâche [13].

### I.3.1.9 Contraintes de conception des RCSF

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit:

- ✚ La tolérance de fautes : La tolérance de fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur survenue sur un ou plusieurs capteurs à cause d'un manque d'énergie, d'un problème physique ou d'une interférence.
- ✚ L'échelle : Le nombre de nœuds capteurs déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds capteurs engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le puit "sink " soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues.
- ✚ Les coûts de production : Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds capteurs. Le prix d'un nœud capteur est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel.
- ✚ L'environnement : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés,... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.
- ✚ La topologie de réseau : Le déploiement d'un grand nombre de nœuds capteurs nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases: Déploiement, Post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...), Redéploiement de nœuds capteurs additionnels
- ✚ Les contraintes matérielles : La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont que la consommation d'énergie doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.

---

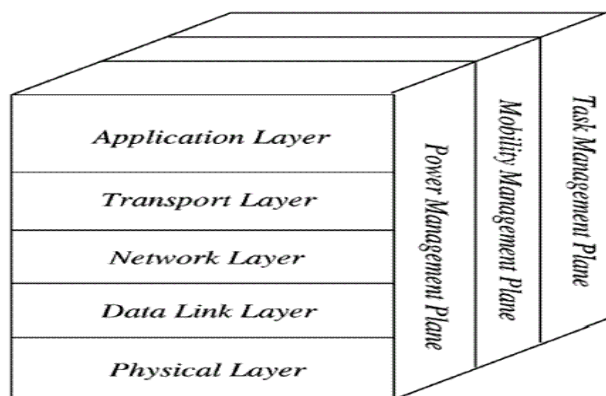
<sup>3</sup> Préemptif : Système d'exploitation capable d'interrompre une tâche à un moment quelconque pour passer la main à une autre tâche.

- ✚ Les médias de transmission : Dans un réseau de capteurs, les nœuds capteurs sont reliés par une architecture sans-fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être normalisé. On utilise le plus souvent le bluetooth et les communications radio ZigBee.
- ✚ La consommation d'énergie : Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie ( $< 1.2V$ ). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie.

### I.3.1.10 La communication dans les RCSF

#### I.3.1.10.1 Modèle en couches

Le rôle de ce modèle consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle ou bien cette pile protocolaire [4] comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches.



**Figure I.9** : Modèle en couches pour la communication dans les RCSF

#### I.3.1.10.2 Rôle des couches

- ✚ La couche physique : Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc...
- ✚ La couche liaison : Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds/routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media,... Elle assure la liaison point à point et multi-point dans un réseau de communication.
- ✚ La couche réseau : Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données captées à partir des nœuds capteurs vers le puits "sink" en

optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs. Ce routage diffère de celui des réseaux de transmission ad hoc sans fils par les caractéristiques suivantes:

- il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds capteurs.
- les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.
- les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).

En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs

✚ La couche transport : Cette couche est chargée du transport des données, l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

✚ La couche application : Cette couche assure l'interface avec les applications.

Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

Les niveaux de gestion d'énergie, de mobilité et de tâches sont responsables du contrôle de l'énergie consommée, des mouvements des nœuds et de la distribution des tâches à travers toute la pile protocolaire, ces niveaux permettent aux capteurs de coordonner leurs tâches et minimiser la consommation d'énergie.

## **I.4 Les réseaux sans fil corporels (WBAN)**

### **I.4.1 Introduction**

Les réseaux sans fil corporels (WBASN : Wireless Body Area Sensor Network) ou appelé aussi (WBSN : Wireless Body Sensor Network) ou communément appelé (WBAN : Wireless Body Area Network) est un sous-domaine des réseaux de capteurs sans fil. Les WBAN sont nés lorsque le développement des réseaux de capteurs sans fil WSN a atteint un certain niveau de maturité. C'est devenu possible en raison de l'énorme progrès technologique menant à des technologies portables sans fil faciles à utiliser et des composants électroniques de petite taille. En effet, ce domaine a attiré une attention considérable ces derniers temps en raison de ses applications qui sont principalement destinées au secteur de la santé. Aujourd'hui, des capteurs de petite taille pourraient être placés sur le corps humain pour enregistrer divers paramètres physiologiques et ces capteurs sont capables d'envoyer des données à d'autres appareils afin que les mesures nécessaires puissent être prises [14].

### **I.4.2 Historique**

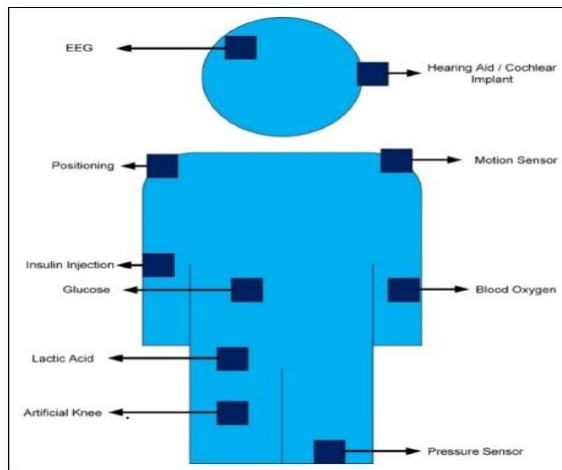
On peut soutenir que le domaine des (WBASN) a été introduit pour la première fois par Van Dam et al. [28] en 2001. Même avant cette date, avec l'augmentation de la popularité des appareils portables en 1996, Zimmerman [15] s'est concentré sur comment ces appareils portables opéreraient autour du corps humain. Initialement, le Réseau Personnel (PAN) était le terme utilisé pour ces types de réseaux.

Plus tard le réseau PAN a reçu un nouveau nom en tant que Body Area Network (BAN) [16]. Avec un terme plus récent, WBASN joint différents types de réseaux et de périphériques pour permettre une opération de surveillance qui pourrait être effectuée à distance. L'un des domaines d'application les plus notables de WBASN est le système de suivi des soins de santé (Healthcare Monitoring System).

### **I.4.3 Définition et caractéristiques**

Les réseaux sans fil corporels (WBAN) sont des réseaux constitués de mini-capteurs portables (non invasifs) ou implantés dans le corps humain (invasifs) qui sont confortables et qui ne nuisent pas aux activités normales de l'être humain. Chaque nœud capteur est généralement capable de détecter une ou plusieurs caractéristiques physiologiques à partir du corps humain ou de son environnement. Les capteurs collecteront les différentes informations afin de surveiller l'état de santé quel que soit son emplacement; Si une urgence est détectée, une alerte sera générée par le système informatique pour informer le patient et / ou le personnel médical. Le nœud capteur stocke puis transmet les données mesurées - par l'intermédiaire d'un réseau sans fil - à un dispositif de traitement central connu sous le nom de serveur personnel (PS : Personal Server). Bien que WBAN soit relatif à WPAN, WBAN offre une interconnexion plus étroite (2-5 mètres) avec des exigences techniques plus strictes telles que la haute fiabilité, l'efficacité énergétique et la sécurité extrême, en particulier la sécurité pour le corps humain [17].

Il existe divers endroits sur le corps humain où les paramètres physiologiques peuvent être mesurés (comme indiqué dans la Figure I.10). Les actionneurs peuvent également être placés à proximité de ces capteurs pour administrer des médicaments dans le corps. Par exemple, un patient diabétique qui est surveillé pour son taux de glucose dans du sang. Si le capteur détecte une baisse du taux de glucose, il active l'actionneur pour pomper une certaine quantité d'insuline dans le corps [18].



**Figure I.10** : un BAN avec les paramètres physiologiques humains [14].

Les capteurs effectuent principalement trois tâches: la détection, le traitement et la communication [19][20]. Dans la tâche de détection, les capteurs surveillent ou détectent le paramètre pour lequel ils en sont capables. Dans la tâche de traitement, un capteur traite les données collectées pour le stockage et la comparaison avant de l'envoyer au puits, et dans la tâche de communication, les données traitées sont transmises au puits pour une communication ultérieure ou traitement [21]. Dans le tableau I.1, nous présentons une liste de capteurs invasifs et non invasifs qui pourraient tous effectuer les trois tâches principales mentionnées ci-dessus.

Capteurs non invasifs / portables	Capteurs invasifs / implantables
Électrocardiogramme (ECG)	Stimulateur cardiaque(Pacemaker)
Capteur de glucose	Les implants cochléaires <sup>4</sup>
Électromyographie (EMG)	Défibrillateurs implantables <sup>5</sup>
Électroencéphalogramme (EEG)	Endoscope à capsule sans fil (pilule électronique)
Température	Pilule électronique pour l'administration de médicaments
Oxymètre de pouls	Stimulateur cérébral profond
Pression artérielle	Implants rétiniens
Oxygène, valeur Ph	

**Tableau I.1** Capteurs invasifs et non invasifs [14].

<sup>4</sup> L'implant cochléaire est un implant électronique qui vise à fournir un certain niveau d'audition pour certaines personnes atteintes d'une surdité profonde

<sup>5</sup> Est un petit dispositif implanté sous la peau qui détecte et corrige les anomalies de l'activité électrique du cœur

#### I.4.4 Différence entre WBAN et WSN

Les défis auxquels les WBASN sont confrontés sont souvent différents que celles des WSN traditionnels. Nous savons que le corps humain offre un environnement relativement petit et qu'il réagit en fonction de l'environnement interne tout aussi comme qu'à l'environnement externe. C'est une évidence que de dire que la surveillance du corps humain nécessite une fiabilité et précision élevée car de fausses lectures peuvent conduire à de diagnostic ou décisions sur des questions critiques liées à la physiologie. Les capteurs doivent également être en mesure de se déplacer selon les différentes postures et mouvements humains ce qui n'est pas le cas pour les capteurs dans un WSN traditionnel. Dans le tableau I.2 sont résumées toutes les différences selon les défis et les problèmes.

Défis / problèmes	WBASN	WSN
Surveillance	Paramètres physiologiques du corps humain	Surveillance de l'environnement
Échelle	De quelques centimètres à quelques mètres	De quelques mètres en kilomètres
Canal	Canal médical, ISM (industriel, scientifique et médical), surface corporelle	ISM
Nombre de nœuds	Peu, limité dans l'espace	De nombreux nœuds sont nécessaires pour qu'une large zone soit couverte
Précision du résultat	Grâce à la précision et à la robustesse des nœuds	Grâce à la redondance des nœuds
Tâche du nœud	Plusieurs	Tâche dédiée
Taille du nœud	De préférence petit	De préférence petit, mais pas important
Topologie du réseau	Plus variable en raison des mouvements du corps humain	Très probablement fixe ou statique
Taux de données	Non homogène	Homogène
Remplacement des nœuds	Remplacement des nœuds implantés difficile	Effectué facilement, nœuds pouvant être jetables
Durée de vie du nœud	Jours / mois	Mois / années
Source de courant	Inaccessible et difficile à remplacer dans un environnement implantable	Accessible et susceptible d'être remplacé plus facilement et fréquemment
Demande de puissance	Inférieur	Grand
Source de récupération d'énergie	Mouvement (vibration), chaleur thermique	Énergie éolienne et énergie solaire
Biocompatibilité	Très important	Pas important
Niveau de sécurité	Plus haut, pour protéger les	Inférieur

	informations des patients	
Impact de la perte de données	Plus significatif	Compensé par des nœuds redondants
Technologie sans fil	Technologie basse consommation requise	Bluetooth, ZigBee, GPRS et réseau local sans fil (WLAN)

**Tableau I.2** Différences entre les réseaux sans fil corporels sans fil (WBAN) et les réseaux de capteurs sans fil (WSN) [14].

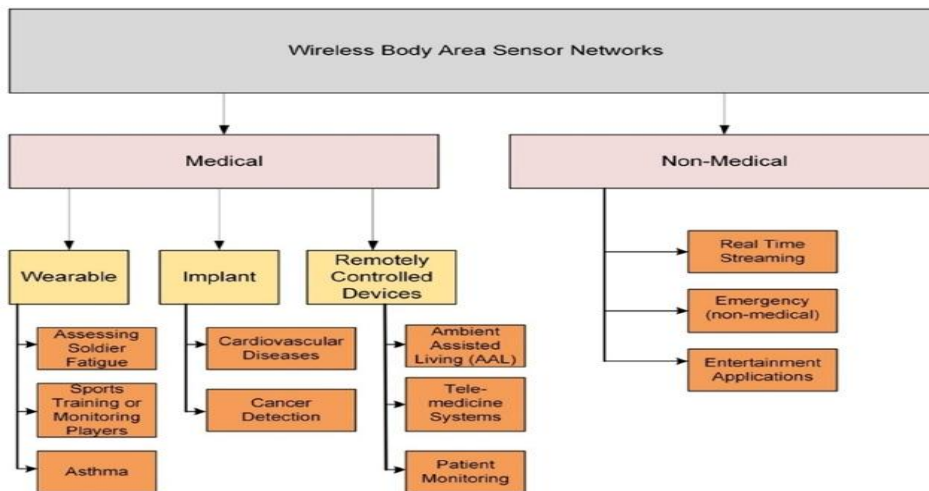
#### I.4.5 Les applications WBAN

Les applications WBAN sont classées selon leur domaine d'utilisation. Dans ce qui suit, nous présentons les principales catégories :

- ✚ Traitement médical et diagnostic: il existe plusieurs cas d'utilisation du WBAN dans le diagnostic et le traitement des maladies, de nombreuses recherches sont menées dans ce domaine. Cas d'utilisation exemple: maladies cardiovasculaires (MCV), diabète, asthme et maladie de Parkinson, etc.
- ✚ Plan d'entraînement des athlètes professionnels: Pendant l'entraînement, les joueurs ou les athlètes peuvent être observés pour leur performance afin qu'ils puissent être testés et en se basant sur leurs performances, ils pourraient être sélectionnés. Les valeurs observées seraient stockées en tant que feedback pour le futur afin de rendre le joueur suffisamment compétent.
- ✚ Sécurité publique et prévention des accidents médicaux: Un grand nombre de personnes décède chaque année en raison d'accidents médicaux, l'installation d'un nœud de capteur pour maintenir un journal des accidents médicaux antérieurs peut réduire le nombre de décès.
- ✚ Protection du personnel en uniforme: Le WBAN peut être utilisé par les pompiers, les policiers ou militaire, pour qu'ils puissent être surveillé dans des environnements dangereux. Par exemple dans le cas des pompiers impliqués dans l'extinction du feu, le WBAN peut par exemple détecter l'existence d'un gaz dangereux et de son niveau dans l'air.
- ✚ Surveillance du sommeil : Le sommeil est un besoin fondamental et important pour les humains. Un sommeil sain est essentiel pour maintenir une bonne santé mentale et physique. Si un humain manque un sommeil sain, plusieurs troubles et décès peuvent se produire. Les conséquences peuvent être la narcolepsie, qui est un trouble neurologique qui affecte le contrôle du sommeil et éveil.

- ✚ Electronique grand public: le WBAN peut être intégré dans les équipements électroniques comme les microphones et les caméras.

Dans la figure I.11 les domaines d'applications des WBASN sont illustrés.



**Figure I.11** : Diverse applications des WBANs [14].

#### I.4.5 Les technologies Radio utilisée dans les WBAN

Dans cette section, nous présenterons les technologies radio pour WBASN tels que Bluetooth, ZigBee, Bluetooth basse consommation technologie (BLE : Bluetooth Low Energy) anciennement connu sous le nom Wibree, ultra-large bande (UWB) et Autres.

##### I.4.5.1 Bluetooth

Il s'agit d'une technologie sans fil de faible puissance et qui a été intégrée dans de nombreux appareils [22]. Il s'agit d'une norme de communication de données conçue pour la communication sans fil entre de petits appareils mobiles [23]. Bluetooth fonctionne à la bande de fréquence ISM (industrielle, scientifique et médicale) de 2,4 GHz [24]. Les données ainsi que la communication vocale sont possibles via Bluetooth.

La fréquence, le débit de données et la portée de Bluetooth sont présentés dans le tableau I.3

Technology	Data rate	Frequency	Maximum range
Bluetooth IEEE 802.15	723 kbps	2.4 GHz	10–100 m

**Tableau I.3** Spécifications Bluetooth [14].

##### I.4.5.2 ZigBee (IEEE 802.15.4)

Il s'agit d'une technologie sans fil de faible puissance et qui a été intégrée dans de nombreux appareils [25]. Il s'agit d'une norme de communication de données conçue pour la communication sans fil entre de petits appareils mobiles. Médical ZigBee (IEEE 802.15.4) fonctionne à l'ISM tout comme Bluetooth. La norme adoptée par ZigBee est la norme IEEE 802.15 groupe de tâches 4 (TG-4) qui est une norme de réseau personnel sans fil (WPAN) à faible débit de données [26],

ZigBee est une technologie généralement associée aux systèmes domotique. Il dispose de deux bandes physiques 2,4 GHz et 868 /915 MHz ayant des débits de données de 250 kbps pour 2,4 GHz, 20 kbps pour 868 MHz et 40 kbps pour 915 MHz. Elle a été par la suite améliorée et renforcée pour un cycle de faible consommation de données, pour un réglage de faible puissance (prolongation de la durée de vie de la batterie de plusieurs mois à ans) [27]. ZigBee est pris en compte pour la mise en réseau de deux appareils finaux comme Bluetooth. Il a certains avantages en raison du fait qu'il est relativement de faible coût et qu'il consomme une faible quantité d'énergie. En fait, c'est parfois considéré comme une alternative à Bluetooth [28].

#### **I.4.5.3 Technologie Bluetooth basse consommation (Wibree)**

Auparavant, cela s'appelait une extension bas de gamme pour Bluetooth, et c'est de la que vient le nom , « Wibree ». Il a été essentiellement conçu pour connecter d'une manière sans fil (wirelessly) de petits appareils sans fil à des terminaux mobiles. On s'attend à ce qu'il fournisse un débit de données allant jusqu'à 1 Mbps [29]. C'est un choix relativement meilleur pour les applications WBASN dans lesquelles une consommation d'énergie moindre est requise, ce qui est possible en utilisant un fonctionnement à faible cycle de fonctionnement [30].

#### **I.4.5.4 UWB et IEEE 802.15.6**

Les technologies UWB (Ultra Wideband) ont une allocation de fréquence de 3,1 à 10,6 GHz et devraient être utilisées dans les WBASN en raison de leurs capacités telles que les capacités anti-trajets<sup>6</sup> (anti-multipath) multiples, la disponibilité d'une large bande passante et une faible consommation d'énergie [31]. Il a été développé pour les communications à courte portée et a été normalisé par IEEE 802.15.6 Task Group 6 (TG-6) [32]. Cette technologie a une gamme de fréquences de 3,2448 à 4,7424 GHz en bande basse et 6,24–10,2336 GHz en bande haute avec une largeur de bande de canal de 499,2 MHz [33].

#### **I.4.5.5 Z-Wave et Insteon**

Ces deux technologies sont les technologies développées pour la domotique. Z-Wave fonctionne sur la bande ISM 2,4 GHz tandis que la bande ISM 900 MHz ainsi que les lignes électriques sont utilisées par Insteon. Z-Wave appartient à un arrangement de réseau sans fil de nouvelle génération permettant la mise en réseau ou pouvant être utilisé pour la télécommande. Il utilise des ondes radio de faible puissance et fiables qui peuvent traverser les murs des bâtiments [34] [35].

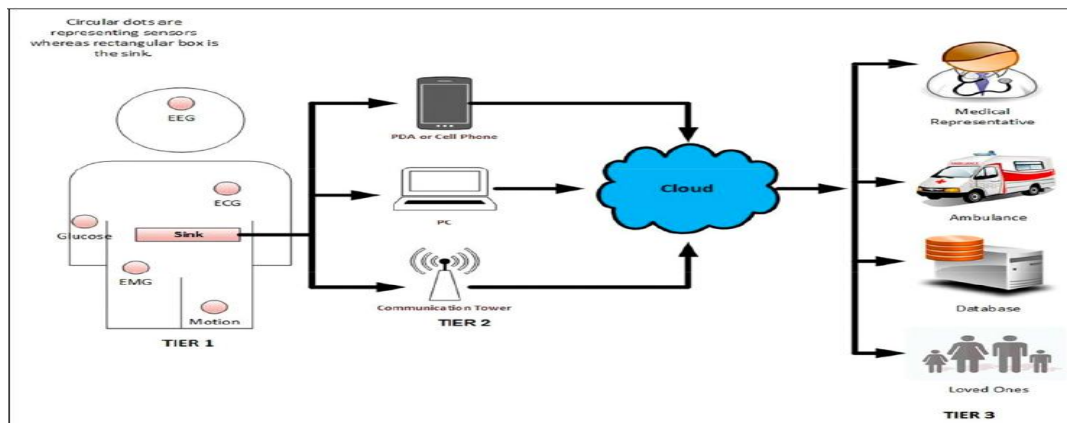
---

<sup>6</sup> Dans les communications radio, le multi-trajet est le phénomène de propagation qui aboutit à ce que les signaux radio atteignent l'antenne de réception par deux ou plusieurs trajets.

### I.4.6 Architecture de communication des WBAN

La figure I.12 illustre l'architecture de communication dans un système de surveillance WBAN. Comme le montre la figure, certains capteurs sont placés sur le corps humain. Ces capteurs peuvent être un électroencéphalogramme (EEG), un électrocardiogramme (ECG), un électromyographie (EMG) ou un capteur de mesure de pression du sang. Les données enregistrées par les capteurs sont envoyées au serveur personnel (PS) le plus proche, qui est connu comme le puits (Sink) ou la station de base (BS). Toutes les données ainsi collectées dans le sink sont ensuite transmises vers le monde extérieur qui peut inclure un médecin, ou un centre médical ou toute base de données médicale pour le traitement ultérieur des données et le diagnostic des maladies [14].

Les communications effectuées dans l'architecture WBAN comme le montre la figure I.12 sont divisés en trois niveaux :



**Figure I.12** : Architecture de communication des WBAN [14].

#### ✚ Niveau 1(Tier-1): Communications intra-BAN

À ce niveau, la communication peut être câblée ou sans fil. Ce type de communication a été suggéré par Zimmerman. La communication dans l'intra-BAN se produit seulement entre les capteurs et le puits [36]. La portée de communication à ce niveau est d'environ 2m à l'intérieur et autour du corps humain. Ce niveau a une importance critique parce que les capteurs sont essentiellement situés à l'intérieur de cette portée de communication. C'est la raison pour laquelle le mode de communication est de courte portée. ZigBee et Bluetooth sont utilisés comme des technologies de communication à ce niveau. Les capteurs observent les conditions physiologiques puis transmettent les lectures au PS (Personal Server)/puits, qui se trouve également dans ce niveau. La tâche du puits ici est de traiter les données collectées et de les transmettre au niveau 2 [29] [21] [37].

### ✚ Niveau 2 (Tier-2): communications inter-WBAN

Dans ce niveau, la communication a lieu entre le puits et un ou plusieurs points d'accès (APs). Il peut y avoir une infrastructure qui déploie des points d'accès ou dans un autre scénario, les points d'accès pourraient être placés stratégiquement dans un environnement dynamique afin qu'ils puissent gérer avec succès les situations d'urgence. La fonction de ce niveau est l'inter-connectivité entre différents types de réseaux qui sont facilement accessibles; par exemple, un réseau de téléphonie cellulaire (ou peut être Internet) avec des WBAN. Les technologies sans fil comme 3G/4G, le cellulaire, ZigBee, réseau local sans fil (WLAN) et Bluetooth peuvent être utilisés pour ce niveau [29] [21] [37].

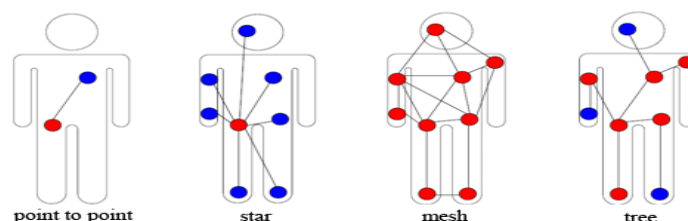
### ✚ Niveau 3(Tier-3) : communications au-delà du WBAN

Ce niveau a été conçu pour être utilisé dans les réseaux métropolitains (MAN). Le capteur médical est connecté à Internet ou à tout autre réseau utilisé pour délivrer les données aux entités destinataires, permettant au personnel médical d'accéder aux données médicales liées à la santé d'un patient. La personne destinataire pourrait être un médecin ou une infirmière. Les données peuvent également être stockées dans la base de données du patient. Dans la base de données, le profil du patient est enregistré avec ses antécédents médicaux. À ce niveau, le médecin peut également être informé par message que l'état du patient s'aggrave et en utilisant les informations contenues dans la base de données, les mesures nécessaires pourraient être prises avant que le patient n'atteint l'hôpital [29] [21].

L'environnement médical et la base de données sont les composantes importantes du niveau 3, notamment les antécédents médicaux et le profil de l'utilisateur. Ainsi, les médecins ou les patients peuvent être informés d'un état d'urgence via Internet ou un service de messages courts (SMS). De plus, le niveau 3 permet de restaurer toutes les informations nécessaires d'un patient qui peut être utilisé pour le traitement. Cependant, selon l'application, le puits du niveau1 peut utiliser (GPRS) / 3G / 4G au lieu de communiquer avec un AP.

#### I.4.7 Topologies des réseaux WBAN

Dans les réseaux WBAN. Nous distinguons les topologies suivantes : point-à-point, étoile, maillée et arbre [17]. La Figure I. 13 représente ces quatre topologies.



**Figure I.13** Les topologies dans les réseaux WBAN [17]

**I.4.7.1 Topologie Point-à-point :** C'est la topologie la plus simple dans les réseaux. Cette topologie est destinée à une seule liaison, par exemple entre un collecteur de données et un nœud capteur. Le principal avantage de cette topologie est la simplicité qui permet souvent l'utilisation d'un protocole simple, la faible latence et le débit élevé. Les inconvénients comprennent ses fonctionnalités limitées ainsi que sa faible couverture.

**I.4.7.2 Topologie en Etoile :** Une topologie dans laquelle tous les nœuds sont connectés par l'intermédiaire d'un nœud central est une topologie en étoile. Ces nœuds peuvent seulement envoyer ou recevoir un message par le biais de l'unique nœud central. Il ne leur est pas permis de s'échanger des messages directement entre eux. Le nœud central joue le rôle d'un relais entre les différents nœuds. À ce jour, cette topologie est la plus proposée et la plus utilisée pour les réseaux WBAN. Cette topologie présente des avantages qui peuvent être résumés par la simplicité, la faible consommation d'énergie des nœuds et la faible latence de communication entre les nœuds et le nœud central. Par contre, son inconvénient majeur est la vulnérabilité du nœud central car tout le réseau est géré par un seul nœud.

**I.4.7.3 Topologie Maillée :** Une topologie avec une connectivité complète entre les nœuds est une topologie maillée (*Mesh* en anglais). Dans ce cas (dit « communication multi-sauts »), tout nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau s'il est à portée de transmission. Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire. L'avantage d'utiliser cette topologie est la redondance et la tolérance aux fautes et une bonne couverture. Par contre, les inconvénients d'une telle topologie sont l'importante consommation d'énergie induite par la communication multi-sauts ainsi que la latence créée par le passage des messages à travers plusieurs nœuds avant d'arriver au nœud destinataire. L'utilisation d'une topologie maillée est une considération primordiale dans toutes les situations dans lesquelles la fiabilité et la communication flexible sont prioritaires par rapport à l'efficacité énergétique et la durée de vie du réseau.

**I.4.7.4 Topologie en Arbre :** Une topologie en arbre (*Tree* en anglais) contient un sommet avec une structure de branches au-dessous. Les connexions entre les nœuds sont structurées hiérarchiquement, ce qui signifie que chaque nœud peut être un fils à un nœud de niveau supérieur et un père à un nœud de niveau inférieur. Cette topologie divise le réseau en sous-parties de sorte qu'il devient plus facile à gérer. Elle présente une bonne tolérance aux fautes, une bonne couverture, une bande passante élevée et une faible latence. Mais toutefois, les nœuds pères peuvent consommer beaucoup d'énergie

Le Tableau I.4 résume les avantages et les inconvénients des topologies décrites ci-dessus.

Topologie	Avantages	Inconvénients
<b>Point-à-point</b>	-Simplicité -Faible latence -Débit élevé	-Fonctionnalités limitées -Faible couverture
<b>Etoile</b>	-Simplicité -Faible consommation d'énergie -Faible latence -Bande passante élevée	-Vulnérabilité du nœud central
<b>Maille</b>	-Redondance -Tolérance aux fautes -Bonne couverture	-Consommation d'énergie importante -Latence élevée
<b>Arbre</b>	-Bonne tolérance aux fautes -Bonne couverture -Faible latence -Bande passante élevée	- Consommation d'énergie des nœuds pères

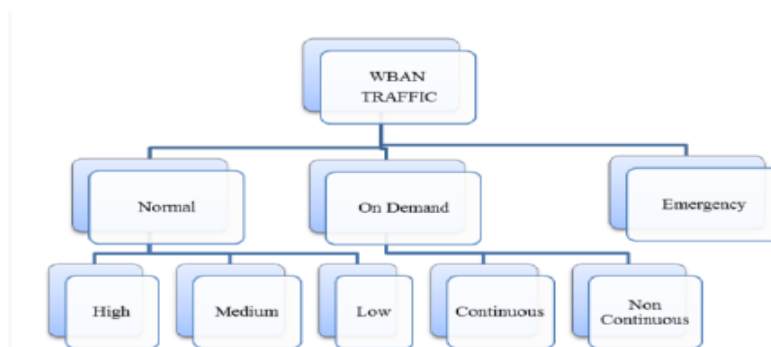
**Tableau I.4** Les avantages et les inconvénients des topologies dans les réseaux WBAN [17]

#### I.4.8 Défis des WBAN

Cette section met en évidence les principaux défis de conception WBAN. En raison de leurs propriétés spéciales telles que la taille, le débit de données, la fiabilité, la sécurité, les exigences de QoS, la plage de transmission etc..., ils nécessitent un ajustement de conception spécial pour répondre à leur besoins particuliers [38].

**A. Trafic hétérogène :** Les Réseaux de capteurs corporels sans fil (WBAN) ont été largement appliqués dans des systèmes de santé omniprésents capables de surveiller les conditions de santé dynamiques du corps humain et de transmettre les données captées en temps réel et de manière fiable. Dans les WBAN, les nœuds capteur ont des exigences de bande passante différentes, par conséquent, un trafic hétérogène est créé. L'ensemble du trafic des WBAN est classé en trois catégories: Normal, Sur demande, et le trafic d'urgence comme indiqué sur la Figure I.14 [38].

WBAN devrait gérer tous ces trafics divers. Comme WBAN est lié à la santé humaine, une réponse efficace et rapide aux urgences ainsi que le trafic à la demande sont nécessaires.



**Figure I.14** Classification des trafics WBAN [38].

**B- Interopérabilité :** Selon les types d'application, les capteurs dans les applications WBAN peuvent être portés sur le corps de l'être humain comme ils peuvent être implantés à l'intérieur du corps. Ces capteurs peuvent donc opérer sur différentes bandes de fréquences et couches PHY. Donc les capteurs doivent être interopérables sur plusieurs bandes de fréquences et prendre en charge plusieurs couches physiques (PHY).

**C- Latence :** Le réseau corporel sans fil contient des données d'urgence qui peuvent être critiques pour la vie, s'il n'y a pas une réponse rapidement. L'exigence de retard pour les données médicales ne dépasse pas 125 ms. Ainsi, la latence est l'un des facteurs importants qui doit être pris en compte dans les WBAN.

**D- Évolutivité :** L'évolutivité fait référence à la gestion de différents trafics hétérogènes et débits de données variables. La couche MAC WBAN doit être évolutive pour les données périodiques et non périodiques. Le plus souvent l'information physiologique des nœuds est normale mais souvent en cas d'urgence, les données sont non périodiques par nature [40].

**E- Efficacité énergétique :** Les nœuds de capteur du WBAN sont alimentés par des batteries. Une fois que les nœuds sont implantés à l'intérieur du corps, les piles doivent être durables pour une plus longue période car ils ne peuvent pas être facilement remplacés. Par conséquent, la conservation de l'énergie est un attribut. Les principales sources d'épuisement énergétique sont les activités radio telles que les collisions au ralenti, l'écoute oisive, le coût de contrôle des paquets, la synchronisation fréquente des nœuds capteurs etc..

**F- Sécurité et confidentialité :** Le rôle des WBAN est de fournir une aide à la surveillance de la santé en temps réel d'un patient et diagnostiquer de nombreuses maladies mortelles. Alors les données collectées à partir d'un système d'application du BAN ou la transmission en dehors du BAN sans fil doit être hautement sécurisée et maintenir le plus haut degré de protection de la vie privée. Une altération des données pourrait entraîner de graves problèmes. Les capteurs dédiés pour une personne devraient générer les données seulement pour ce patient. La transmission de données sur les réseaux doit être sécurisée et précises. Ce qui requiert un niveau élevé de sécurité au niveau du système et de au niveau de l'appareil [41].

**G- Qualité de service (QoS) :** La QoS est un autre attribut à prendre en considération lors de la conception MAC. La qualité de service MAC comprend la plage de communication, le débit, la fiabilité, les variations de retard, etc. Les nœuds WBAN sont implantés à l'intérieur du corps humain ou porté sur le corps humain, les nœuds doivent supporter ces deux opérations simultanément.

**F- Coexistence et atténuation des interférences :** Plusieurs applications WBAN peuvent exister dans une zone confinée comme une chambre d'hôpital. Dans cet état, il peut y avoir un grand risque d'interférence entre les réseaux sans fil d'un utilisateur debout côte à côte d'un autre utilisateur ou même la possibilité de collision du signal au sein de l'utilisateur lui-même. Afin d'empêcher les collisions de données dues à des interférences, ces réseaux doivent coexister sans aucune interférence entre eux et la liaison sans fil devrait également augmenter la coexistence des nœuds capteur avec des périphériques réseau distincts présents dans le même environnement.

#### **I.4.9 Normalisation et standardisation des WBAN**

##### **I.4.9.1 Introduction**

Pour la normalisation de WBAN un groupe de travail appelé IEEE 802.15.6 est établi par IEEE 802. Le but de ce groupe est d'établir une norme de communication optimisée pour la communication sans fil à courte portée dans ou autour de corps de l'être humain.

##### **I.4.9.2 Pourquoi une nouvelle norme pour les WBAN ?**

Au cours des dernières décennies, un certain nombre de protocoles MAC ont été étudiés et proposés sur la base de la norme IEEE 802.15.4, afin qu'ils répondent aux exigences des WBAN. Parmi ceux-ci, la majorité se concentre sur les dispositions de QoS. Très peu d'études traitent du sujet de traitement d'urgence pour les WBAN. Certains d'entre eux se sont concentrés sur le problème de l'économie d'énergie [38].

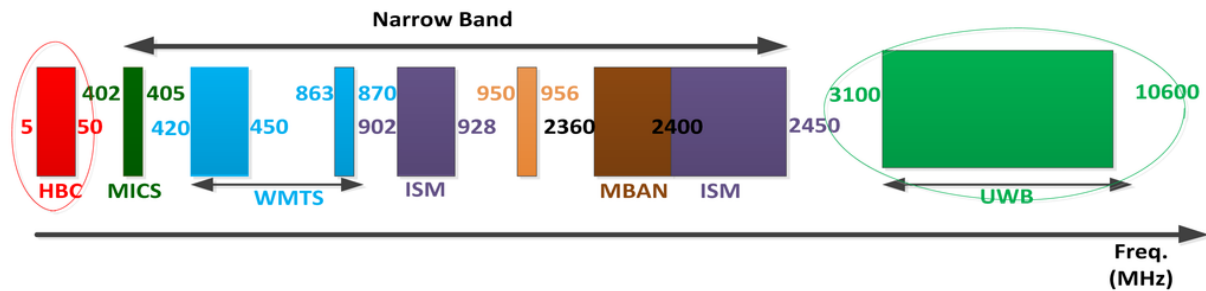
Alors que la technologie WBAN gagne des intérêts mondiaux, des efforts de recherche considérables sont consacrés à la Protocoles MAC basés sur 802.15.4 afin de satisfaire les exigences strictes de WBAN. Dans [42] les auteurs présentent un protocole MAC garantissant la priorité, où les données et les canaux de contrôle sont divisés pour prendre en charge sans collision les communications à haut débit. Ce contrôle spécifique des canaux est adopté pour garantir la priorité des applications médicales vitales liées à un trafic CE beaucoup plus fréquent. Des améliorations du débit et de l'efficacité énergétique sont obtenues à partir de ce protocole MAC.

Eui-Jik et al [43] ont proposé un mécanisme pour l'IEEE 802.15.4 pour fournir un schéma de différenciation du trafic basé sur la taille de la fenêtre de contention (CW) et le Backoff Exponent (BE). Dans ce schéma, les nœuds ayant une priorité supérieure ont des valeurs CW et BE plus faibles que les autres. L'effet de la fenêtre de contention CW est plus sur le débit de saturation alors que BE est davantage affecté par le délai moyen de chaque appareil. Ainsi, le réglage du débit pourrait être effectué en faisant varier l'exposant de backoff tandis qu'un meilleur débit pourrait être obtenu en ajustant la taille de la fenêtre de contention.

Les auteurs [38] ont présenté de façon détaillée les différents protocoles du standard MAC IEEE 802.15.4 existants pour répondre si le protocole MAC IEEE 802.15.4 fonctionne bien dans les réseaux sans fil corporels ou non, en dressant aussi un tableau comparatif entre tous ces protocoles et en faisant ressortir l'apport de chacun d'eux. En présentant plusieurs défis des WBAN, les auteurs ont conclu que l'IEEE 802.15.4 MAC peut être utilisé dans les domaines du WBAN selon les exigences du WBAN. Dans l'ensemble des MAC étudiés, il a été constaté que tous les MAC ne sont pas en mesure de gérer la diversité des trafics de WBAN tels que le trafic d'urgence. Ils pensent qu'un protocole MAC plus efficace doit être développé pour réduire le délai, et augmenter le débit et gérer différents types de trafic. Le protocole MAC existant s'est seulement focalisé sur la gestion du trafic d'urgence et la qualité de service. Pour gérer l'urgence du trafic, la plupart des MAC sont conçus pour utiliser les périodes inactives, ce qui augmente d'une manière considérable la consommation d'énergie du nœud. Chaque MAC a ses propres caractéristiques. Certains sont conçus pour la gestion prioritaire, certains sont conçus pour fournir une QoS, et d'autres sont conçus pour une efficacité d'urgence et ainsi de suite. Les exigences de tous les aspects ne peuvent généralement pas être satisfaites simultanément. En raison de la diversité des exigences et du matériel d'application contraintes, aucun protocole n'est accepté comme standard. Les auteurs pensent qu'un nouveau protocole doit être développé pour répondre aux exigences des WBAN comme l'efficacité énergétique, l'évolutivité, l'équité, la complexité de mise en œuvre réduite, la prise en charge de diverses applications et la QoS. Bien qu'un MAC particulier ne puisse pas répondre à toutes les exigences du WBAN, il existe différents MAC qui peuvent répondre à différentes exigences. Ainsi, ils ont conclu que, le MAC IEEE 802.15.4 est réalisable dans le WBAN tant qu'il peut remplir l'exigence du WBAN.

#### **I.4.9.3 Le standard IEEE 802.15.6**

Le groupe de travail IEEE 802.15.6 a été créé pour normaliser le paradigme de communication WBAN et optimiser les contraintes des biocapteurs pour les applications médicales et non médicales. Il spécifie une transmission à courte portée à l'intérieur ou à proximité d'un objet en utilisant l'ISM ainsi que des fréquences de bande approuvées pour des utilisations médicales (voir la figure I.15). La norme prend en compte la variation du chemin de canal en présence de personnes de forme différente, la qualité de service prise en charge ainsi que l'évitement des interférences et la minimisation du taux d'absorption spécifique [44].



**Figure I.15:** Les bandes de fréquences IEEE 802.15.6 [44].

IEEE 802.15.6 définit une couche (MAC) prenant en charge trois couches physiques :

- Narrowband PHY (PHY à bande étroite) (NB),
- Ultra Wideband PHY (PHY ultra large bande) (UWB),
- Human Body Communications PHY (PHY des communications du corps humain) (HBC).

#### I.4.9. 3.1 Les spécifications de la couche MAC IEEE 802.15.6 [45]

Selon la norme IEEE 802.15.6, les nœuds du WBAN sont organisés en étoile à un ou deux sauts. Un seul coordinateur ou hub contrôle l'ensemble du fonctionnement de chaque WBAN. Le WBAN doit avoir un concentrateur (un hub) et un certain nombre de nœuds, allant de zéro à  $mMaxBANSize$ . Dans un WBAN étoile à deux sauts, un nœud capable de faire des relais peut être utilisé pour échanger des trames de données entre un nœud et le concentrateur. La norme divise l'axe du temps ou le canal en périodes de balise (beacon periods) ou en supertrames de longueur égale. Chaque supertrame contient un certain nombre de tranches de temps allouées (Allocation Slots) qui sont utilisées pour la transmission de données. Ces slots ont une durée égale et sont numérotés de 0 à  $s$ , où  $s \leq 255$ . Le concentrateur transmet des balises pour définir les limites de la supertrame et allouer les créneaux horaires (slots). Pour les modes sans balise, les limites des balises de supertrame ne sont pas utilisées, elles sont définies par des trames polling. Généralement, le concentrateur transmet des balises dans chaque supertrame, sauf celles qui sont inactives. Le concentrateur peut décaler ou faire pivoter les décalages des périodes de balise, déplaçant ainsi l'ordonnancement des slots alloués.

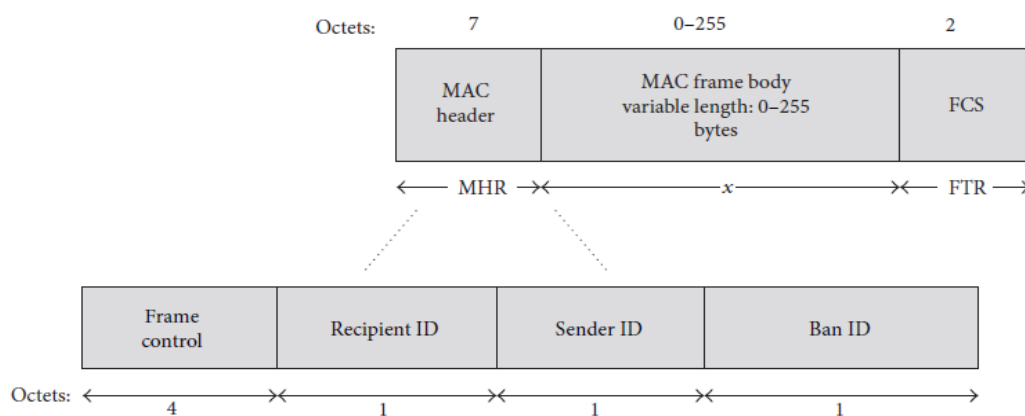
#### I.4.9. 3.2 Format de la trame MAC IEEE 802.15.6.

La figure I.16 montre le format général de trame MAC composé d'un en-tête 56 bits, d'un corps de trame de longueur variable et d'une séquence FrameCheck (FCS) 18 bits. La longueur maximale du corps de trame est de 255 octets. L'en-tête MAC se compose en outre d'un contrôle de trame 32 bits, d'un identificateur de destinataire (ID) 8 bits, d'un ID émetteur 8 bits et d'un champ ID WBAN 8 bits. Le champ de contrôle de trame transporte des

informations de contrôle, y compris le type de trame, c'est-à-dire une trame balise, une trame d'accusé de réception ou d'autres types de trames de contrôle. Les champs ID destinataire et expéditeur contiennent respectivement les informations d'adresse du destinataire et de l'expéditeur de la trame de données.

L'ID WBAN contient des informations sur le WBAN dans lequel la transmission est active. Le premier champ de 8 bits du corps de la trame MAC porte les informations du message requises pour la construction du nonce<sup>7</sup>.

Le champ de charge utile transporte les trames de données et les 32 derniers bits Message Integrity Code (MIC) bits contiennent des informations sur l'authenticité et l'intégrité de la trame.



**Figure I.16** Format de la trame MAC IEEE 802.15.6

### I.4.9. 3.3 Modes de communication IEEE 802.15.6

L'IEEE 802.15.6 prend en charge les modes de communication suivants :

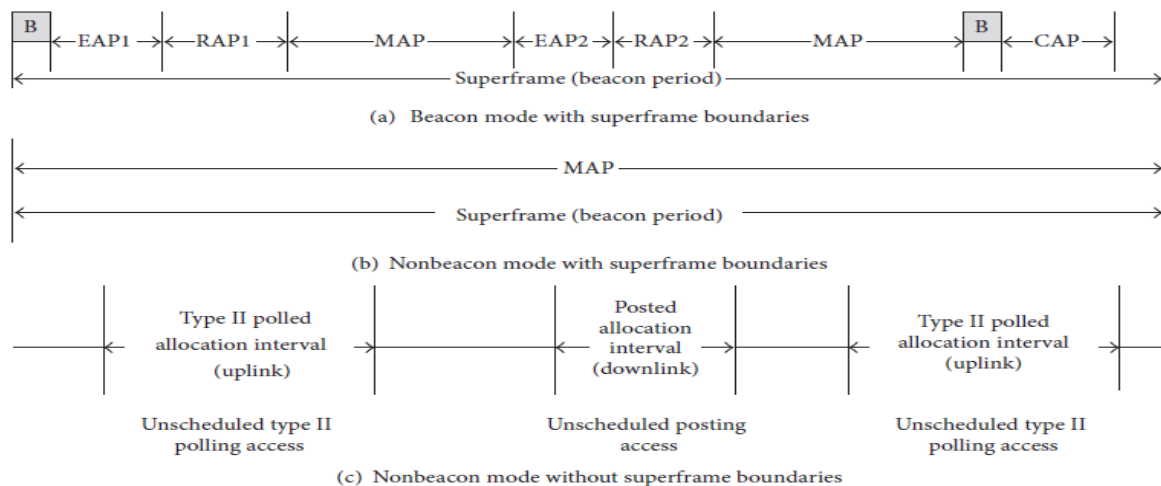
**A- Mode balise avec limites de supertrame** : Dans ce mode, le concentrateur transmet des balises dans de supertrames actives. Les supertrames actives peuvent être suivies de plusieurs supertrames inactives en l'absence de transmission planifiée. Comme illustré sur la figure I.17(a), la structure de la supertrame est divisée en phases d'accès exclusif (EAP1 et EAP2) (Exclusive Access Phase), phases d'accès aléatoire (RAP1 et RAP2)(Random Access Phase), une Phase d'Accès Géré (MAP)(Managed Access Phase) et une Phase d'Accès Contention (CAP)(Contention Access Phase). Les EAP sont utilisés pour transférer un trafic prioritaire ou d'urgence. Les RAP et CAP sont utilisés pour le trafic non récurrent, la période MAP est utilisée pour les allocations bilink planifiées et non planifiées, les allocations planifiées de liaison montante et de liaison descendante et les allocations de type I (et non de type II) interrogées et publiées (polled and posted allocations). La longueur du type I et les allocations

<sup>7</sup> En cryptographie, un nonce est un nombre arbitraire destiné à être utilisé une seule fois. Il s'agit souvent d'un nombre aléatoire ou pseudo-aléatoire émis dans un protocole d'authentification

de type II sont représentées en termes de transmission temps et nombre de trames respectivement.

**B- Mode non beacon avec limites de supertrame.** Dans ce mode, le hub fonctionne uniquement pendant la période MAP, illustré à la figure I.17 (b).

**C- Mode non beacon sans limites de supertrame.** Dans ce mode, le concentrateur fournit des allocations non planifiées ou publiées de type II ou une combinaison des deux, comme le montre la figure I.17 (c)



**Figure I.17** Les modes de communications IEEE 802.15.6

## Conclusion

Les WBAN font partie des nouvelles génération de réseaux de capteurs sans fil qui a vu le jour ces derniers années et qui ne cesse de se démarquer des WSN par une norme, des capteurs, et des technologies spécifiques et faisant aussi face à des défis spécifiques, et par ailleurs ,ils ne cessent de s'imposer dans le domaine médical comme une alternatives aux soins de santé traditionnelles dans le but d'une meilleur prise en charge sanitaire des personnes âgées, des personnes à mobilité réduite, des personnes à risques et des personnes ayant des maladies chroniques ainsi que pour la surveillance de leur environnement de vie. Dans ce chapitre nous avons mis au clair tout ce qui concerne ce type de réseau afin d'entrer dans le vif du sujet dans le chapitre suivant et d'aborder les applications médicales relatives à ce type de réseaux, en dressant un état de l'art qui clarifie les architectures dominantes dans le domaine des applications Mhealth.

## References

- [1] Christian Bettstetter, On the Connectivity of Ad Hoc Networks, in the Computer Journal, Vol. 47 No. 4, pp. 432-447, 2004.
- [2] Florian Perget. Développement de réseaux de capteurs de nouvelle génération pour la surveillance de structures aéronautiques. Micro et nanotechnologies/Microélectronique. INSA de Toulouse, 2014. Français. ffNNT : 2014ISAT0035ff. fftel-01204872f
- [3] A. Mukherjee, A. K. Panja, et N. Dey, « Introduction to sensors and systems », in *A Beginner's Guide to Data Agglomeration and Intelligent Sensing*, Elsevier, 2020, p. 1-27.
- [4] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, Wireless sensor networks: a survey, In journal of Computer Networks, vol.38, pp. 393-422, 2002.
- [5] J. Joy Winston and B. Paramasivan, A Survey on Connectivity Maintenance and Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks, International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN), Vol. 1, No. 2, ISSN :2047-0037, pp.11-18, June 2011.
- [6] J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister, Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust, Proc. ACM MobiCom'99, Washington, DC, pp. 271-78,1999.
- [7] J. Joy Winston and B. Paramasivan, A Survey on Connectivity Maintenance and Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks, International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN), Vol. 1, No. 2, ISSN :2047-0037, pp.11-18, June 2011
- [8] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, Guest Editors' Introduction : Overview of Sensor Networks, Computer, vol.37, no. 83, pp. 41-49, Aug. 2000
- [9] Levis, Philip Alexander. "Tinyos: An open operating system for wireless sensor networks (invited seminar)." In Mobile Data Management, 2006. MDM 2006. 7th International Conference on, pp. 63-63. IEEE, 2006.
- [10] Strazdins, Girts, Atis Elsts, Krisjanis Nesenbergs, and Leo Selavo."Wireless Sensor Network OS Design Rules Based on Real-World Deployment Survey." Journal of Sensor and Actuator Networks 2, no.3 (2013): 509-556.
- [11] Hill, Jason, Robert Szewczyk, Alec Woo, Seth Hollar, David Culler, and Kristofer Pister. "System architecture directions for networked sensors." In ACM SIGOPS operating systems review, vol. 34, no. 5, pp. 93-104. ACM, 2000.

- [12] Levis, Philip. "Experiences from a decade of TinyOS development." In Proceedings of the 10th USENIX conference on OS Design and Implementation, OSDI, vol. 12, pp. 207-220. 2012.
- [13] M. Amjad, M. Sharif, M. K. Afzal, et S. W. Kim, « TinyOS-New Trends, Comparative Views, and Supported Sensing Applications: A Review », *IEEE Sensors J.*, vol. 16, n° 9, p. 2865-2889, mai 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2519924.
- [14] R. A. Khan et A.-S. K. Pathan, « The state-of-the-art wireless body area sensor networks: A survey », *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, n° 4, p. 1550147718768994, avr. 2018, doi: 10.1177/1550147718768994.
- [15] T. G. Zimmerman, « Personal Area Networks: Near-field intrabody communication », *IBM Syst. J.*, vol. 35, n° 3.4, p. 609-617, 1996, doi: 10.1147/sj.353.0609.
- [16] Van Dam K, Pitchers S and Barnard M. Body area networks: Towards a wearable future. In: Proceedings of the wireless world research forum (WWRF) kick off meeting, Munich, 6–7 March 2001. WWRF, <http://www.wwrf.ch/contact.html>.
- [17] A. Makke, « Détection d'attaques dans un système WBAN de surveillance médicale à distance », p. 164.
- [18] E. Krames, « Implantable devices for pain control: spinal cord stimulation and intrathecal therapies », *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, vol. 16, n° 4, p. 619-649, déc. 2002, doi: 10.1053/bean.2002.0263.
- [19] S. Ullah *et al.*, « A Comprehensive Survey of Wireless Body Area Networks: On PHY, MAC, and Network Layers Solutions », *J Med Syst*, vol. 36, n° 3, p. 1065-1094, juin 2012, doi: 10.1007/s10916-010-9571-3.
- [20] S. Ullah, B. Shen, S. M. Riazul Islam, P. Khan, S. Saleem, et K. Sup Kwak, « A Study of MAC Protocols for WBANs », *Sensors*, vol. 10, n° 1, p. 128-145, déc. 2009, doi: 10.3390/s100100128.
- [21] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, et A. Jamalipour, « Wireless Body Area Networks: A Survey », *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, n° 3, p. 1658-1686, 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.121313.00064.
- [22] R. C. Shah, L. Nachman, et C. Wan, « On the performance of Bluetooth and IEEE 802.15.4 radios in a body area network », présenté à 3rd International ICST Conference on Body Area Networks, Tempe, Arizona, USA, 2008, doi: 10.4108/ICST.BODYNETS2008.2972.

- [23] S. J. Barnes, « Under the skin: short-range embedded wireless technology », *International Journal of Information Management*, vol. 22, n° 3, p. 165-179, juin 2002, doi: 10.1016/S0268-4012(02)00003-8.
- [24] D. Famolari, « Link performance of an embedded Bluetooth personal area network », in *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications. Conference Record (Cat. No.01CH37240)*, Helsinki, Finland, 2001, vol. 8, p. 2573-2577, doi: 10.1109/ICC.2001.936614.
- [25] Shah RC, Nachman L and Wan CY. «On the performance of Bluetooth and IEEE 802.15.4 radios in a body area network. In: Proceedings of the ICST 3rd international conference on body area networks, Tempe, AZ,13–17 March 2008. New York: ACM.
- [26] Park C and Rappaport TS. «Short-range wireless communications for next-generation networks: UWB,60 GHz millimeter-wave WPAN, and ZigBee». *IEEE Wire Commun* 2007; 14(4): 70–78.
- [27] Shin DI, Huh SJ and Pak PJ. «Patient monitoring system using sensor network based on the ZigBee radio». In:Proceedings of the ITAB 2007, 6th international special topic conference on information technology applications in biomedicine, Tokyo, Japan, 8–11 November 2007.New York: IEEE.
- [28] Pathak S, Kumar M, Mohan A, et al. «Energy optimization of ZigBee based WBAN for patient monitoring». *Procedia Comput Sci* 2015; 70: 414–420.
- [29] Chen M, Gonzalez S, Vasilakos A, et al. «Body area networks: a survey». *Mob Netw Appl* 2011; 16(2): 171–193.
- [30] Hayajneh T, Almashaqbeh G, Ullah S, et al. «A survey of wireless technologies coexistence in WBAN: analysis and open research issues». *Wire Netw* 2014; 20(8): 2165–2199.
- [31] Yamamoto H and Kobayashi T. «Ultra-wideband propagation loss around a human body in various surrounding environments». In: Sabath F, Giri DV, Rachidi F, et al. (eds) *Ultra-wideband, short pulse electromagnetics 9*. Berlin: Springer, 2010, pp.11–17.
- [32] Kumar V and Gupta B. «On-body measurements of SSUWB patch antenna for WBAN applications». *Int J Elect Commun* 2016; 70(5): 668–675.
- [33] Kumpuniemi T, Tuovinen T, Ha¨ma¨ la¨ inen M, et al. «Measurement-based on-body path loss modelling for UWB WBAN communications». In: Proceedings of the 2013 7th international symposium on medical information and communication technology (ISMICT), Tokyo,Japan, 6–8 March 2013. New York: IEEE.

- [34] De Vicq N, Robert F, Penders J, et al. «Wireless body area network for sleep staging». In: Proceedings of the 2007 IEEE biomedical circuits and systems conference, Montreal, QC, Canada, 27–30 November 2007. New York: IEEE.
- [35] Falck T, Espina J, Ebert J-P, et al. BASUMA—«the sixth sense for chronically ill patients. In: Proceedings of the BSN 2006, international workshop on wearable and implantable body sensor networks», Cambridge, MA, 3–5 April 2006. New York: IEEE.
- [36] Abdullah WAN, Yaakob N, Elobaid ME, et al. «Energy efficient remote healthcare monitoring using IoT: a review of trends and challenges». In: Proceedings of the international conference on Internet of Things and cloud computing, Cambridge, 22–23 March 2016. New York: ACM.
- [37] Negra R, Jemili I and Belghith A. «Wireless body area networks: applications and technologies». *Procedia Comput Sci* 2016; 83: 1274–1281.
- [38] Chosun University, Gwangju, South Korea, S. Nepal, S. Dahal, et S. Shin, « Does the IEEE 802.15.4 MAC Protocol Work Well in Wireless Body Area Networks? », *JACN*, vol. 4, n° 1, p. 52-58, 2016, doi: 10.18178/JACN.2016.4.1.203
- [39] S. Ullah, P. Khan, and K. S. Kwak, «On the development of low-power MAC protocol for WBANs, » in *Proc. the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2009, vol. 1.
- [40] Y. S. Seo, D. Y Kim, and J. Cho, «A dynamic CFP allocation and opportunity contention-bases WBAN MAC protocol, » *IEICE Transactions on Communications*, vol. 93, no. 4, 2010, pp. 850-853.
- [41] M. Al. Ameen, J. Liu, and K. Kwak, «Security and privacy issues in wireless sensor networks for healthcare applications, » *Journal of Medical Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 93-101, 2012.
- [42] Y. Zhang and G. Dolmans, “A new priority-guaranteed MAC protocol for emerging body area networks,” in *Proc. 5th International Conference on Wireless and Mobile Communications*, 2009, pp.140-145.
- [43] E. J. Kim, M. Kim, S. K. Youm, S. Choi, and C. H. Kang, “Priority-based service differentiation scheme for IEEE 802.15.4 sensor networks,” *International Journal of Electronics and Communications*, vol. 61, no. 2, pp. 69-81, 2007.
- [44] ESSI lab, Ibnou Zohr University, Agadir Morocco, M. E. azhari, A. Toumanari, R. Latif, et N. E. moussaid, « Impact of Wireless Channel Model on 802.15.6 Standard Performance for Wireless Body Sensor Networks », *IJCNIS*, vol. 8, n° 5, p. 1-8, mai 2016, doi: 10.5815/ijcnis.2016.05.01

[45] S. Ullah, M. Mohaisen, et M. A. Alnuem, « A Review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and Security Specifications », *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 9, n° 4, p. 950704, avr. 2013, doi: 10.1155/2013/950704.3

# *Les architectures et les technologies déployées dans les applications médicales WBSN*

## *Sommaire*

---

**II.1- Les applications des WBANS dans les soins de santé (Healthcare)**

**II.2- Aperçu des capteurs corporels les plus utilisés dans les applications de soins de santé (HealthCare)**

**II.3- Exigences des applications M-health**

**II.4- Etat de l'art sur les architectures et les technologies utilisées dans les applications M-health**

---

*Dans ce chapitre nous éluciderons les différents concepts liés au domaine des applications médicales des WBAN puis nous nous étalerons sur l'état de l'art qui va porter sur les architectures adoptées pour le déploiement des applications M-health et les différentes technologies utilisées dans les travaux récents.*

## Introduction

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 21ème siècle. Après le m-learning et le m-banking, la technologie m-health (Mobile 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.

Récemment, l'utilisation des réseaux de capteurs de surface corporelle sans fil (WBASN), un domaine de recherche en pleine croissance, a augmenté dans les applications de soins médicaux et notamment dans les applications MHealth. Les WBSN assurent un suivi des soins de santé, en particulier pour les personnes âgées, les nourrissons et les malades chroniques.

### II.1 Les applications des WBANS dans les soins de santé (Healthcare)

WBAN a conquis le domaine médical avec un large éventail de possibilités. La technologie WBAN améliore l'efficacité des activités médecin-patient telles que la surveillance à distance des patients, l'état de santé en temps opportun, la notification, les appels d'urgence..etc, les applications médicales potentielles sont décrites comme suit [46] :

#### II.1.1 WBAN travaillant en tant que médecin virtuel:

Le système basé sur les WBAN peut être développé et utilisé comme médecin virtuel. Il prend en charge divers services de santé à ses personnes à charge ayant des anomalies liées au cancer, au diabète, à l'hypertension artérielle, aux maladies cardiovasculaires, etc. Ici, un serveur est conçu pour conserver des informations sur le patient (par exemple ses antécédents médicaux). Le serveur envoie également des conseils et des suggestions quotidiens. De plus, en cas d'urgence, il fournit au patient une assistance médicale en informant l'hôpital concerné ainsi que sa famille et ses proches.

#### II.1.2 WBAN utilisés comme « Death Intimation Device »:

Cette application de WBAN est principalement développée pour les personnes âgées inaptes, les patients paralysés ou immobiles. De nos jours, dans divers pays, les gens vivent seuls dans la dernière durée de leur vie. Les informations relatives à leur décès doivent être transmises en temps opportun à la bonne autorité. Ainsi, les patients paralysés et immobiles sont suivis à distance sans aucune intervention humaine régulière. En cas de décès, ce système informe également les autorités responsables de prendre les dispositions nécessaires pour collecter et éliminer les cadavres dans des lieux spécifiques.

### **II.1.3 Systèmes de surveillance des soins de santé en ligne pour les sujets âgés au foyer « E\_health care monitoring system »:**

Dans cette application des WBAN, le bien-être des personnes âgées vivant de manière autonome dans leur résidence est en train d'être accompli. Un système de surveillance à domicile intelligent basé sur ZIGBEE-WSN a été conçu et développé pour observer et évaluer l'aptitude des personnes âgées à la maison. Les capteurs de température et autres capteurs corporels sont utilisés pour détecter toute irrégularité chez les aînés au cours de leurs activités de routine comme - Dormir, marcher, manger, se baigner ou même conduire une voiture.

### **II.1.4 Les systèmes des surveillance des soins de santé à distance (Remote Healthcare Monitoring)**

L'avancement des capteurs miniaturisés et peu coûteux, des dispositifs informatiques embarqués et des technologies de réseau sans fil ont ouvert la voie à la réalisation de systèmes de surveillance de la santé à distance. WBAN peut offrir un service médical automatique grâce à la surveillance à distance des organes vitaux d'un patient. Des capteurs sont placés sur le corps du patient et sont capables d'envoyer l'état des organes tels que la température corporelle, la fréquence cardiaque, la pression artérielle, le signal ECG pour surveiller l'activité cardiaque, le capteur de mouvement pour surveiller les mouvements du patient. Toutes les informations peuvent être surveillées et stockées à partir de l'unité de contrôle ou à distance [47].

La surveillance de la santé à distance permet une surveillance discrète, omniprésente et en temps réel des signes physiologiques sans interrompre les activités quotidiennes des individus. Les gens peuvent rester dans leur maison familière et profiter de leur vie normale avec les amis et la famille pendant que leur santé est surveillée et analysée à partir d'un établissement éloigné sur la base des données physiologiques collectées par différents capteurs sur le corps. Le système peut effectuer une analyse des tendances de santé à long terme, détecter les anomalies et générer des signaux d'alerte en cas d'urgence [48].

### **II.1.5 Aide à la vie (Assisted Living)**

WBAN a une autre application passionnante dans les services médicaux et de soins de santé connue sous le nom de vie assistée. Des capteurs médicaux portables peuvent être utilisés à la maison pour mesurer les données physiologiques du corps du patient et les transmettre / stocker dans un serveur / une unité de contrôle de centre médical particulier à intervalles réguliers. Il aide le patient à rester à la maison et à bénéficier d'un soutien continu au lieu de rester à l'hôpital [47].

### **II.1.6 Télémédecine**

La télémédecine est un autre domaine d'application fascinant du WBAN. Il fournit des services de soins de santé à distance à l'aide des technologies de l'information et de la communication. La technologie WBAN peut être intégrée dans le secteur de la télémédecine comme la consultation

vidéo en ligne avec les médecins, la transmission de rapports médicaux et images, diagnostic médical à distance, etc. Cette technologie aide le patient à obtenir un traitement à distance où les médecins peuvent fournir une prescription électronique en surveillant l'état du patient de n'importe où [47].

La télémédecine ne remplacera jamais le contact immédiat médecin-malade mais vient s'ajouter aux outils du médecin au service du patient.

### II.1.7 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[49].

M-health est basé sur des technologies de communication mobile modernes telles que l'Environnement GSM de données amélioré (EDGE)(Enhanced Data for GSM Evolution), la 3G, l'accès par paquets à haut débit (HSPA) et LTE (Long Term Evolution), qui sont des technologies qui offrent un transfert de données rapide et transparent depuis n'importe où, à tout moment, permettant ainsi personnes à rester connectées au système central de M-health

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

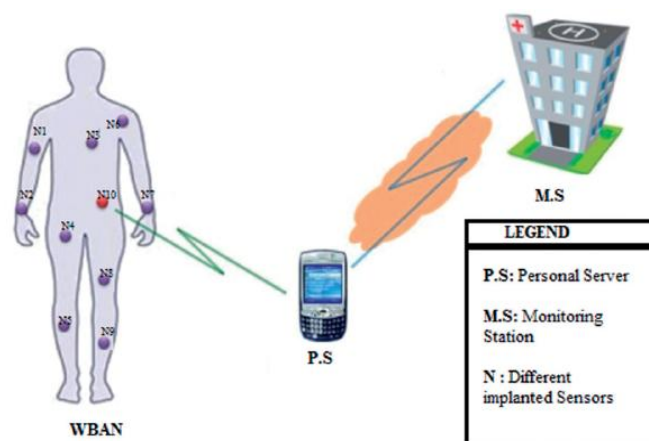
- ✚ Les applications destinées à rendre le malade autonome en lui permettant de contrôler par lui-même et à domicile son état de santé (balance communicante, application mobile permettant de mesurer la glycémie, ...);
- ✚ Les applications destinées aux professionnels de santé (applications permettant 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, ...) .

Un réseau de capteurs environnementaux, biomédicaux et de mouvement, qui peuvent mesurer et envoyer des données mesurées aux installations distantes via la passerelle, peut être déployé avec des capteurs biomédicaux portables situés dans (dispositifs implantés, par exemple, stimulateur cardiaque, injecteur d'insuline), sur (par exemple, électrodes ECG ou EEG) ou autour (par exemple, détecteurs de gestes, dispositifs externes) du corps humain peuvent être connectés dans un BAN, permettant ainsi une surveillance continue omniprésente et discrète de l'état de santé.

Les données collectées par les capteurs sont transmises à un nœud BAN central, qui peut traiter et transférer des informations vers un appareil externe (le téléphone mobile de l'utilisateur) ou un poste de travail distant (un poste d'infirmière dans un hôpital ou une maison de retraite). La surveillance des paramètres clés tels que l'activité du patient, la fréquence cardiaque (FC), la pression artérielle (TA), la fréquence respiratoire (RR) et la température corporelle (BT) à partir d'une station distante et l'envoi de commentaires en conséquence sur le système M-health peuvent potentiellement conduire à les soins E-ambulatoires système [48].

La figure II.1 montre une architecture système typique des applications Mhealth composée de trois parties principales [50] :

- ✚ la première est le WBAN où des capteurs sans fil sont placés dans, sur ou autour du corps humain. Ces capteur sans fil est composé de nœuds capables d'effectuer certains traitements, de collecter des informations sensorielles et de communiquer avec d'autres nœuds connectés du réseau pour atteindre les informations jusqu'à leur destination finale appelée puits.
- ✚ la deuxième partie est le Personal Server (PS), qui conserve les données, il utilise des points d'accès (internet, Zigbee, Bluetooth...) pour transférer les données vers la troisième partie
- ✚ le Medical Server (MS) servant à la surveillance médicale des médecins.



**Figure II.1** Architecture typique d'une application M-health

## II.2 Aperçu des capteurs corporels les plus utilisés dans les applications de soins de santé (HealthCare)

Les capteurs et actionneurs sont les composants clés des WBANs. Ils relient le monde physique aux systèmes électroniques. Parce que ces capteurs/actionneurs sont en contact direct avec des personnes ou même implantées, leur taille et la compatibilité physique avec les tissus humains est cruciale. Cela motive la recherche et la synthèse de nouveaux matériaux.

En tant que sources de données du système BAN, les capteurs corporels sont utilisés pour collecter les signaux vitaux d'un patient. Sur la base de ces signaux corporels, un diagnostic précis peut être obtenu pour donner au patient des traitements corrects et opportuns. Traditionnellement, les mesures via les capteurs corporels impliquent une intervention humaine par le personnel médical. Avec les progrès continus dans la conception de circuits, le traitement du signal et les systèmes micro-électromécaniques (MEMS), les capteurs / actionneurs sont de plus en plus petits, dans la gamme de 1 à 100 micromètres, les données sensorielles du corps peuvent être collectées de manière non invasive, ce qui rend les WBANs plus susceptibles d'être déployés dans un environnement hautement dynamique, par rapport aux systèmes médicaux précédents. En conséquence, les coûts médicaux et la dépendance à l'égard des installations médicales peuvent être considérablement réduits, tout en améliorant la qualité des services médicaux et des soins de santé [29].

Les types de capteurs disponibles dans le commerce sont répertoriés comme suit (tableau I.1):

- **Accéléromètre / Gyroscope:** L'accéléromètre est utilisé pour reconnaître et surveiller la posture du corps, comme s'asseoir, s'agenouiller, ramper, s'allonger, se tenir debout, marcher et courir. La surveillance de la posture basée sur l'accéléromètre pour les WBANs se compose généralement d'accéléromètres à 3 axes qui sont placés à un emplacement stratégique dans le corps humain. Ils peuvent également être utilisés pour mesurer les vibrations, ainsi que l'accélération due à la gravité. Les gyroscopes peuvent être utilisés avec des accéléromètres pour la surveillance des mouvements physiques.
- **Glycémie:** représente la quantité de glucose circulant dans le sang. Traditionnellement, les mesures de glucose sont effectuées en piquant un doigt et en extrayant une goutte de sang, qui est appliquée sur une bandelette de test composée de produits chimiques sensible au glucose dans l'échantillon de sang. Un mètre optique (glucomètre) est utilisé pour analyser l'échantillon de sang et donne une lecture numérique du glucose. Récemment, une surveillance non invasive du glucose est disponible grâce à la technologie infrarouge et à la détection optique.
- **Pression artérielle:** Le capteur de pression artérielle est un capteur non invasif conçu pour mesurer la pression artérielle humaine systolique et diastolique, en utilisant la technique oscillométrique.
- **Capteur de gaz CO<sub>2</sub>:** il mesure les niveaux de dioxyde de carbone gazeux pour surveiller les changements dans les niveaux de CO<sub>2</sub>, ainsi que pour surveiller la concentration d'oxygène pendant la respiration humaine.
- **Capteur ECG:** l'ECG est un enregistrement graphique de l'activité électrique du cœur. Les fournisseurs de soins de santé l'utilisent pour diagnostiquer une maladie cardiaque. Ils peuvent également l'utiliser pour surveiller l'efficacité des différents médicaments pour le cœur. Afin

d'obtenir un signal ECG, plusieurs électrodes sont fixées à des sites spécifiques sur la peau (par exemple, les bras et la poitrine), et les différences de potentiel entre ces électrodes sont mesurées.

- Capteur EEG: Il mesure l'activité électrique dans le cerveau en attachant de petites électrodes aux multiples emplacements du cuir chevelu humain. Ensuite, des informations sur les activités électriques du cerveau détectées par les électrodes sont transmises à un amplificateur pour produire un motif de tracés.
- Capteur EMG: Il mesure les signaux électriques produits par les muscles lors des contractions ou au repos. Les études de conduction nerveuse sont souvent effectuées ensemble tout en mesurant l'activité électrique dans les muscles, car les nerfs contrôlent les muscles du corps par des signaux électriques (impulsions), et ces impulsions font réagir les muscles de manière spécifique.
- Oxymétrie de pouls: il mesure la saturation en oxygène à l'aide d'une sonde non invasive. Un petit clip avec un capteur est attaché au doigt, au lobe ou à l'orteil de la personne. Le capteur émet un signal lumineux qui passe à travers la peau. Selon l'absorption lumineuse de l'hémoglobine oxygénée et de l'hémoglobine totale dans le sang artériel, la mesure est exprimée en tant que rapport de l'hémoglobine oxygénée à la quantité totale hémoglobine.
- Capteurs d'humidité et de température: Ils sont utilisés pour mesurer la température du corps humain et /ou l'humidité de l'environnement immédiat autour d'une personne.
- Capteur de fréquence cardiaque: est conçu pour fournir une sortie numérique du battement de chaleur lorsqu'un doigt est placé dessus. Quand le détecteur de rythme cardiaque fonctionne, la LED de battement clignote à l'unisson à chaque battement cardiaque. Cette sortie numérique peut être connectée à un microcontrôleur directement pour mesurer le taux de battements par minute (BPM). Il fonctionne sur le principe de la modulation de la lumière par le sang à chaque impulsion, le capteur se compose d'une LED rouge très brillante et d'un détecteur de lumière. La LED doit être très brillante car la lumière maximale doit passer dans le doigt et être détectée par le détecteur. Maintenant, quand le cœur pompe une pulsation du sang à travers les vaisseaux sanguins, le doigt devient légèrement plus opaque et donc moins de lumière atteint le détecteur. Avec chaque impulsion cardiaque, le signal du détecteur varie. Cette variation est convertie en impulsion électrique. Ce signal est amplifié et déclenché par un amplificateur qui émet un signal de niveau logique + 5V. Le signal de sortie est également indiqué par une LED qui clignote à chaque battement de cœur [29].

Sensor	Topology	Data rate
Accelerometer/gyroscope	Star	High
Blood glucose	Star	High
Blood pressure	Star	Low
CO <sub>2</sub> gas sensor	Star	Very low
ECG sensor	Star	High
EEG sensor	Star	High
EMG sensor	Star	Very high
Pulse oximetry	Star	Low
Humidity	Star	Very low
Temperature	Star	Very low
Image/video sensor	P2P	Very high

**Tableau II.1** Les Capteurs les plus couramment utilisés dans les systèmes de soins de santé [29]

### II.3 Exigences des applications 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 [49]:

- ✚ **Prise en compte des caractéristiques de l'environnement:** Parmi les caractéristiques de l'utilisateur que le réseau WBAN 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 WBAN 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.
- ✚ **Respect de la vie privé:** Les données médicales des personnes surveillées doivent être protégées et sécurisées. Selon une étude réalisée dans, 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.
- ✚ **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.
- ✚ **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 auxquels vient s'ajouter le coût lié au service.

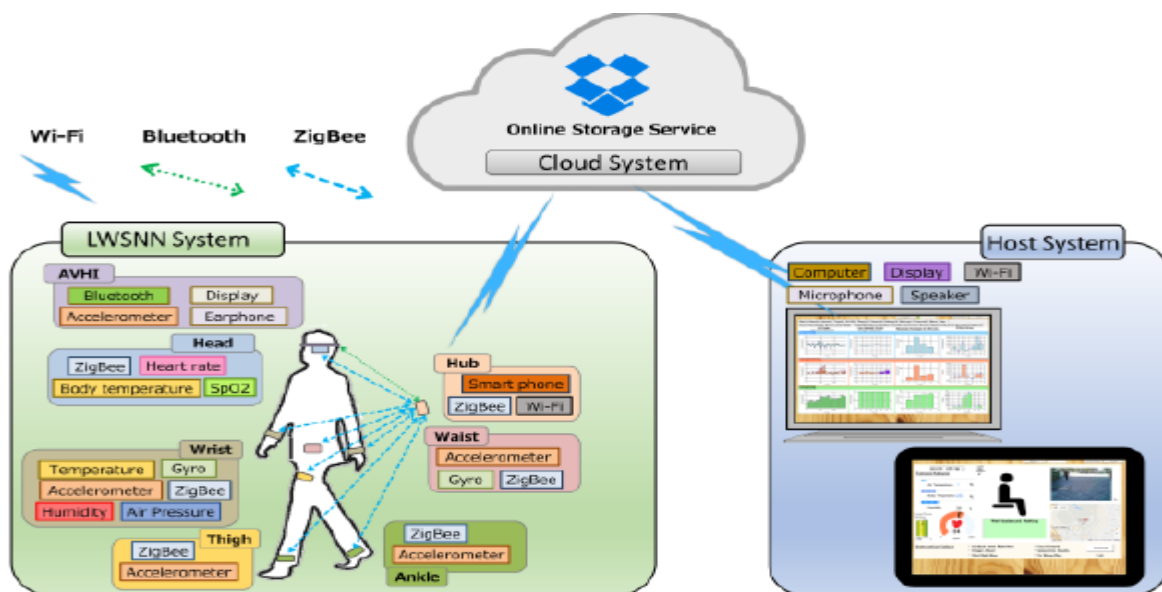
## II.4 Etat de l'art sur les architectures et les technologies utilisées dans les applications M-health

Dans la littérature des systèmes de surveillance de la santé, il y a eu un nombre intéressant d'initiatives de recherche, qui a conduit à l'émergence de diverses solutions, architectures et systèmes de santé, en utilisant les dispositifs mobiles et les diverses technologies de communication.

Notre état de l'art va porter sur les architectures et protocoles de communication utilisés pour les WBSN, dans le contexte des applications Mhealth, Nous présentons ci-après une synthèse de projets et de travaux de recherche les plus récents et les plus illustratifs dans le domaine :

➔ Les auteurs [51] de cet article ont développé un TBAN constitué d'un réseau de capteurs et d'un hôte.

Le système est constitué de deux systèmes principaux; le système LWSNN et le système Hôte. Tous les deux communiquent entre eux par un système Cloud. Le système LWSNN est constitué de 3 sous-systèmes; Le système HUB, Les nœuds de détection portables (WSN) et une Interface humaine audiovisuelle (AVHI). La figure II.2 montre la connexion des différents sous systèmes.



**Figure II.2** Le système de réseau télémetrique de zone corporelle (Système TBAN)

Les paramètres physiologiques envoyés depuis les WBAN sont collectés dans le HUB. Le HUB génère de nombreux types de conseils pour l'amélioration du comportement des utilisateurs par la fusion des données de ces paramètres. Ces paramètres physiologiques sont présentés à l'utilisateur et en parallèle ils sont envoyés au système hôte à un endroit distant.

### A. Le Système LWSNN

Les WSN mesurent les comportements humains et les signes vitaux par plusieurs types de capteurs (accélération, température, etc.). Certaines données mesurées sont envoyées au répertoire HUB par communication Zigbee et d'autres sont envoyés sous forme de paramètres avec une mise en forme spécifique au système hôte. Le sous système HUB exploite trois types de fonctions en tant qu'application de téléphone intelligent. Ces fonctions sont l'échange de données, le traitement des données et la génération de conseils. La communication entre HUB et AVHI se fait par Bluetooth.

### B. Le Système Cloud

Cloud System est une méthode de communication télémétrique utilisant un service cloud pour connecter le HUB et le système hôte. La méthode de communication entre Cloud System et Host System consiste en une synchronisation de fichiers à l'aide de « Dropbox » développée par Dropbox Inc. Elle est implémentée par une application smartphone qui utilise l'API Dropbox afin de télécharger des fichiers via une authentification pour permettre à l'application d'accéder au compte spécifié.

### C. Système hôte

Le système hôte est un ordinateur distant permet à l'observateur de surveiller l'état des paramètres physiologiques corporels actuel de l'utilisateur par télémétrie<sup>1</sup>. Les données traitées de WSN sont envoyées au HUB, et à partir d'ici, Le système hôte reçoit les données via un service de stockage en ligne qui est le Cloud System. Les données reçues sont traitées afin d'être fournies dans une interface utilisateur (Active User Interface :AUI). AUI fournit à l'utilisateur la fréquence cardiaque (FC) en temps réel, l'affichage des graphiques SpO2, les données (GPS), le stockage interne du smartphone, les données de température environnante avec non seulement un format visuel, mais également auditif.

➡ Cette étude [52] explore la conception, le développement et l'évaluation des systèmes Telecare (télé-soins) à l'aide d'applications mobiles pour la gestion de la santé afin d'assurer un suivi et un traitement de santé appropriés à domicile.

Cette étude développe une application Android basée sur la méthodologie de recherche en science du design. Cette étude utilise les soins personnels à domicile comme unité de base Telecare pour concevoir un modèle de service intégrant six types de services de soins de prestations de santé.

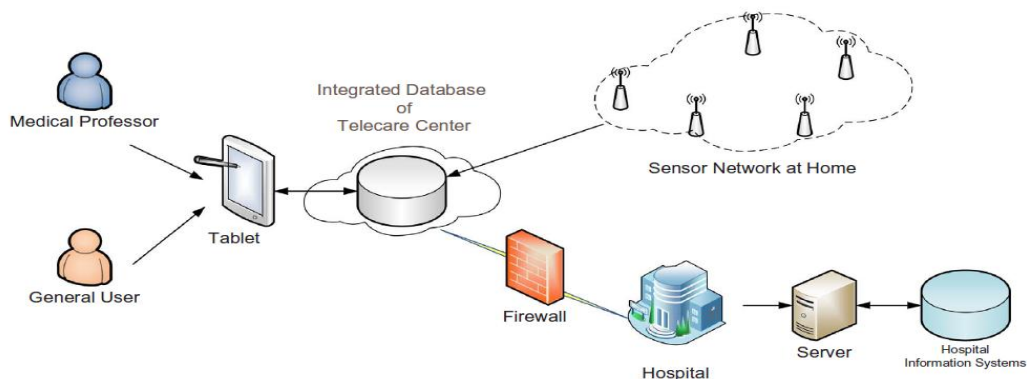
L'architecture de Telecare mobile implémentée comprend une box domestique connectée à un tensiomètre, une interface utilisateur dans le smartphone OS Android et un système d'information Telecare basé sur le cloud. Le système peut effectuer la surveillance des données et la gestion des

---

<sup>1</sup> La **télémétrie** est une technologie qui permet la mesure à distance et la journalisation d'informations d'intérêt vers le concepteur du système ou un opérateur par des procédés optiques

signes vitaux du patient et de l'activité quotidienne, fournissant une interface efficace entre le personnel clinique et les patients assistés à distance.

Le système mis en œuvre est présenté sur la figure II.3. Le smartphone sert de plate-forme informatique principale et stocke les données du patient. Le système met en œuvre un traitement de données distribué, avec un traitement primaire, y compris des calculs de paramètres physiologiques. Le traitement intermédiaire et la représentation des données sont effectués sur le smartphone, tandis que le traitement avancé des données et la gestion de la base de données sont assurés par le système Telecare basées sur le système cloud



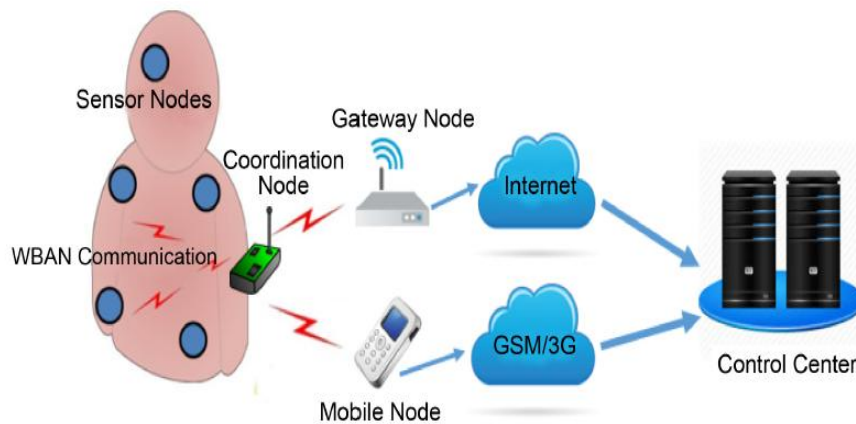
**Figure II.3** Architecture du système TeleCare

➔ L'objectif de cet article [53] est de proposer une solution sans fil adaptée et appropriée pour déployer WBAN. Plusieurs technologies de communications sans fil à courte portée qui peuvent être adoptées dans le WBAN ont également été discutées.

Les auteurs ont divisé l'architecture du réseau en quatre sections (voir figure II.4) :

- ✚ La première section : C'est la partie WBAN qui se compose de plusieurs nœuds capteurs stratégiquement placés sur le corps humain.
- ✚ La deuxième section : C'est le nœud de coordination, tous les nœuds de capteurs seront directement connectés à un nœud de coordination appelé unité de contrôle centrale (CCU). CCU prend la responsabilité de collecter les informations des nœuds de capteurs et de les transmettre à la section suivante. Les technologies sans fil les plus populaires utilisées pour le système de surveillance médicale sont WLAN, WiFi, GSM, 3G, 4G, WPAN (Bluetooth, ZigBee). La communication WMTS (Wireless Medical Telemetry Service) et Ultra-Wide Band sont d'autres technologies qui pourraient être utilisées pour le système de surveillance du corps car ils fonctionnent à faible puissance de transmission.
- ✚ La troisième section : C'est la communication WBAN qui servira de passerelle pour transférer les informations vers la destination. Un nœud mobile peut être une passerelle vers une station distante pour envoyer un message mobile à un réseau cellulaire en utilisant GSM / 3G / 4G.

- ✚ La quatrième section : Elle sera un centre de contrôle composé de périphériques de nœuds d'extrémité tels que des téléphone portables pour les messages, un PC pour la surveillance et le courrier électronique et un serveur pour le stockage des informations de la base de données.

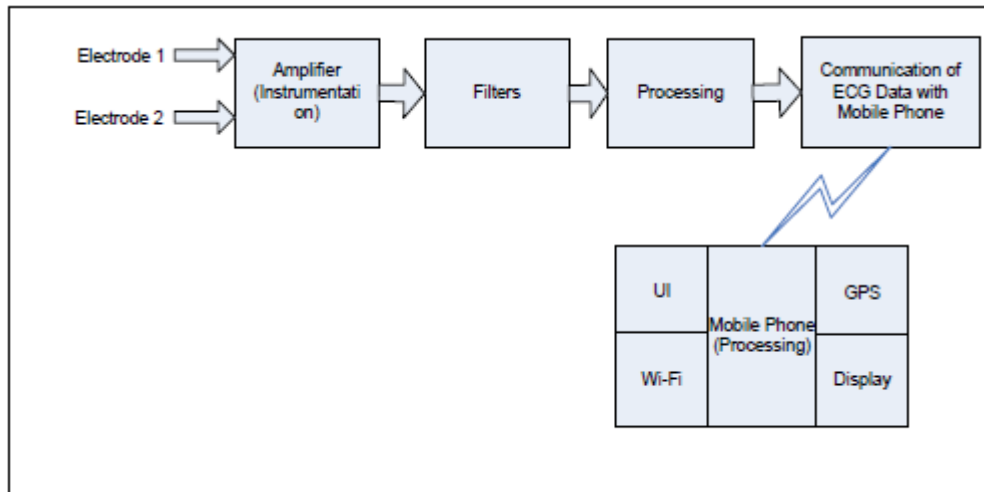


**Figure II.4** Architecture WBAN

- ➔ L'application Android conçue par les auteurs [54] de cet article est capable de surveiller et d'afficher le tracé d'onde ECG et la fréquence cardiaque d'un individu en temps réel. Le système utilise la norme Wi-Fi 802.11 pour les transmissions des données à un téléphone mobile Android. L'application Android développée pour le Smartphone affiche l'ECG ainsi que la fréquence cardiaque et les données GPS. L'emplacement est obtenu en utilisant le GPS disponible sur la plupart des téléphones intelligents.

L'architecture adoptée pour la conception du système est bâtie sur trois axes (voir figure II.5):

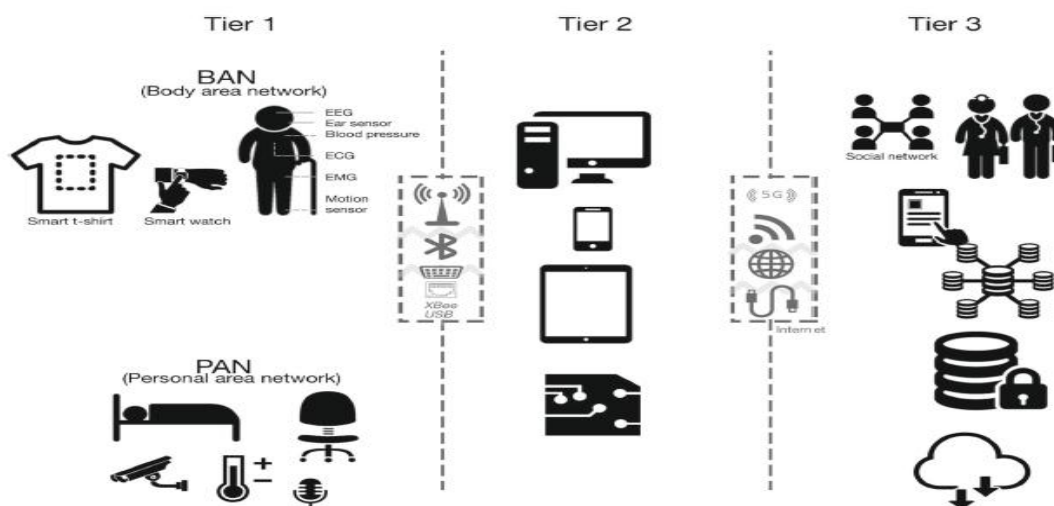
- Une seule puce a été utilisée pour la mise en œuvre de l'ECG, qui intègre un certain nombre de fonctionnalités qui en font qu'elle soit idéalement adaptée à l'amplification ECG.
- Le traitement implique la lecture de la sortie analogique de l'ECG dans le microcontrôleur et la préparation des données pour la transmission au module Wi-Fi Xbee. L'Arduino Uno était initialement utilisé pour la conception mais en raison de sa grande taille, il était remplacé par un autre microcontrôleur avec un 8 bits 16 MHz Processeur AVR. Il dispose de 12 entrées analogiques.
- La communication sans fil des données ECG : Elle implique le transfert des données sur le téléphone mobile. La communication utilisée se fera avec le Wi-Fi, la raison de ce choix est justifié selon leur avis par le taux et de la portée de transmission de données élevés. Ils pensent qu'en utilisant la norme 802.11, il sera possible de se connecter directement à la plupart des appareils mobiles sans aucune exigence supplémentaire. Le module Xbee Wi-Fi S6B a été utilisé pour la communication sans fil, Il prévoit une capacité allant jusqu'à 1 Mbps et fonctionne sur une bande de fréquence ISM 2,4 GHz.



**Figure II.5** Schéma fonctionnel de la conception d'ECG proposée

➔ Dans cet article [55] les auteurs ont examiné et étudiés les applications les plus récentes dans le domaine de la surveillance des soins de santé, ils ont organisés les applications en catégories et présentés leur architecture commune. Avec les normes utilisées, ils ont constatés que ces systèmes partagent une architecture commune et un ensemble de propriétés commun.

Cette architecture se compose de trois niveaux qui fonctionnent ensemble pour recueillir et analyser les données sensorielles du patient. Les composants de chaque niveau et l'interaction entre eux sont illustrés dans la figure II.6 avec les technologies utilisées dans chaque couche



**Figure II.6** L'architecture commune des soins de santé (conçue par les auteurs et dessinée par Ibrahim Almardini)

### A. Niveau 1 : Les capteurs

Ces capteurs sont responsables de la collecte des signaux médicaux des patients en les attachant à leur corps (Body Area Network) ou les déployer tout au tour comme un PAN (Réseau personnel) ou bien des capteurs ambiants. Les capteurs BAN surveillent en permanence les signaux médicaux, tels que : la température, le rythme cardiaque, l'activité physique, la tension artérielle, l'électroencéphalographie (EEG), l'électromyographie (EMG), et l'électrocardiographie (ECG).

Un PAN, également appelé réseau ambiant, est composé de capteurs ambiants déployés sur des appareils appartenant au patient. Ces capteurs fournissent des informations contextuelles riches sur le milieu de vie et les activités du patient comme par exemples les capteurs de son, les caméras vidéo, la luminosité, la proximité, la température ambiante. Les données collectées sont transmises à un appareil local de différentes manières. Les capteurs médicaux peuvent être connectés à d'autres appareils via les normes câblées conventionnelles, telles que: Ethernet et USB mais les connexions sans fil sont les plus dominantes dans le transfert des données collectées vers la passerelle. Bluetooth et Zigbee sont couramment utilisés pour les communications courtes distances, le WiFi et LTE sont couramment utilisés pour les communications à longue distance.

### **B. Niveau 2 : La Passerelle**

Une passerelle est généralement utilisée pour collecter les données des capteurs et le transférer vers un serveur distant situé à l'hôpital ou sur le cloud pour analyse. Cependant, certains systèmes effectuent une analyse localement, puis transfèrent les données dérivées à un serveur distant pour une analyse plus approfondie ou pour un enregistrement de l'historique. La dernière approche est plus adoptée récemment avec l'émergence du fog computing<sup>2</sup>, où l'analyse est effectuée localement (appelées Edge) pour une prise de décision plus rapide et une meilleure utilisation de la bande passante et seulement des mises à jour partielles sont envoyés dans le cloud. La passerelle peut être un appareil dédié ou simplement un smartphone connecté à Internet. La communication peut être unidirectionnelle, ou bidirectionnelle comme dans le cas où la passerelle peut également envoyer des informations au capteur pour modifier certains paramètres d'enregistrement. Ethernet, 5G, LTE<sup>3</sup>, NB-IoT<sup>4</sup> et SigFox<sup>5</sup> pourraient être utilisés pour transférer les signaux collectés de la passerelle vers le serveur distant.

### **C. Niveau3 : Le Système de télésurveillance**

Les signaux médicaux ou environnementaux collectés sont généralement transmis à un système distant (serveur) considéré comme le cœur du système. Il possède quatre fonctionnalités principales:

1. Exécutez des algorithmes spéciaux pour interpréter les données collectées et extraire des informations supplémentaires.
2. Générez des alertes en cas d'urgence.
3. Enregistrez les données de chaque patient dans une base de données pour une analyse future.

---

<sup>2</sup> Fog computing : une technologie cloud dans laquelle les données générées par les terminaux ne sont pas directement téléchargées dans le cloud, mais sont au préalable prétraitées dans des mini-centres de calcul décentralisés.

<sup>3</sup> LTE (*Long Term Evolution*) est une évolution des normes de téléphonie mobile GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS.

<sup>4</sup> NB-IoT ou Narrowband IoT ou encore appelé LTE-M2 est une technologie basse consommation et longue portée (LPWAN) validée en Juin 2016

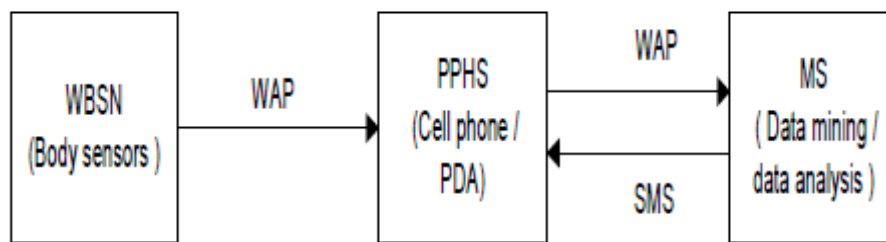
<sup>5</sup> C'est un opérateur Français des télécommunications de l'Internet des objets.

4. Fournir une interface utilisateur graphique (GUI) pour permettre la surveillance en temps réel de l'état du patient.

Le système de surveillance à distance est généralement mis en œuvre en tant que serveur situé dans un hôpital. Cependant, les nouvelles recherches s'orientent vers l'intégration du cloud computing et le fog computing dans les systèmes de santé.

➔ Les auteurs [56] de cet article proposent un système de surveillance mobile interactif de la santé qui permet de recueillir les données physiologiques du patient (température, ECG, saturation en oxygène et battements cardiaques) via des biocapteurs. Les données collectées sont transmises au téléphone portable, au PDA ou au PC d'un patient qui à son tour est transmis au serveur médical.

Le schéma fonctionnel proposé comprend principalement trois blocs principaux (voir figure II.7):



**Figure II.7** Le Schéma fonctionnel du système proposé

#### **A. WBSN (Wearable Body Sensor Network):**

C'est un réseau de biocapteurs portables sur le corps du patient, ces signaux sont traités par le microcontrôleur ARM7 qui agit comme un contrôleur central du WBSN et via Bluetooth envoient les données traitées à PPHS (Serveur Personnel à Domicile du Patient).

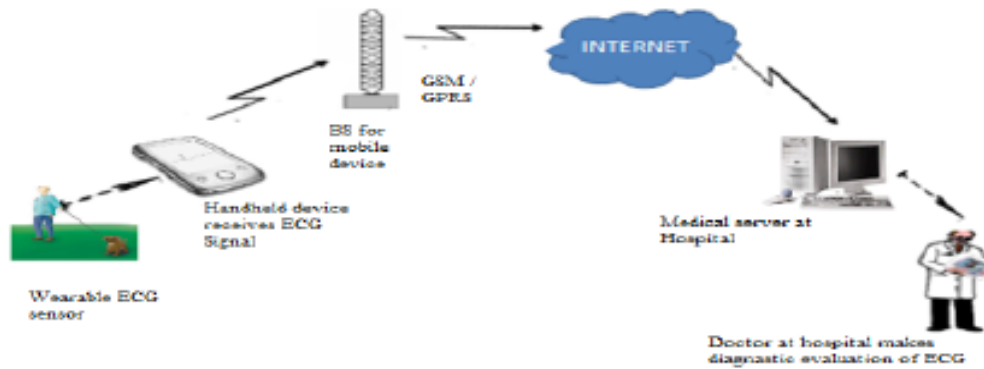
#### **B. PPHS (Patient's Personal Home Server):**

PPHS n'est rien d'autre qu'un appareil mobile Android utilisé pour collecter les données du WBSN puis les transmet au serveur médical (MS) en utilisant GPRS. PPHS peut décider s'il faut transmettre ces informations à MS ou non.

#### **C. MS (Médical Server):**

Il reçoit les données physiologiques captées en temps réel de PPHS, à intervalles réguliers ou sans interruption, le médecin peut enquêter parmi ces paramètres. En outre, MS fournit le journal fichiers pour comparer et vérifier les irrégularités dans l'état de santé du patient à différents intervalles de temps, ce qui à son tour aide le médecin à interagir avec le patient des messages instantanés. Et s'il s'avère pour lui que le patient est en grand danger, il peut avertir le service ambulatoire.

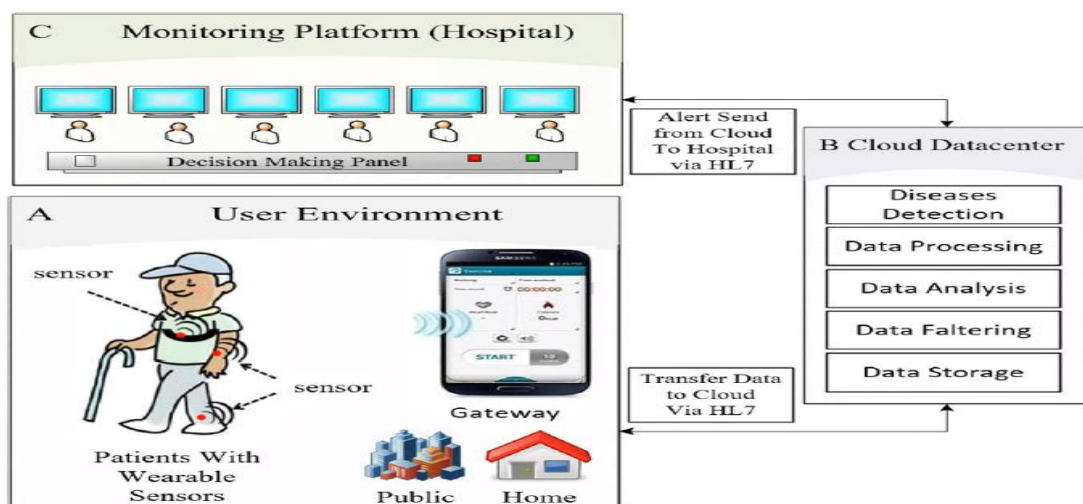
La figure II.8 est une représentation schématique de cette architecture.



**Figure II.8** Représentation schématique du système proposé

➔ Le système SW-SHMS proposé par les auteurs [57] adhère aux systèmes AAL (Active Assisted Live) qui visent à permettre aux personnes âgées, handicapées de vivre en toute sécurité dans leur environnement domestique. Ce système utilise des téléphones intelligents et des capteurs portables pour surveiller les personnes âgées en temps réel dans leur domicile, Le principal objectif de ce système est de surveiller les données physiologiques du patient, puis de les enregistrer dans le centre de données, et finalement fournir l'accès à ces données par un dispensateur de soins et des médecins autorisés à tout moment et en tout lieu. Le système se compose de trois couches principales qui collaborent pour atteindre cet objectif.

Chaque couche a ses propres exigences et techniques, par exemple, dans la couche patient, les exigences clés sont que les capteurs et la passerelle doivent pouvoir communiquer avec le centre de données pour stocker les données des capteurs du patient. Les principales couches du système sont illustrées à la Figure II.9



**Figure II.9** Vue d'ensemble de l'architecture du système SW-SHMS

**A. La couche « patient »:**

Les données sensorielles captées sont transmises à l'application sur le smart phone du patient via un appareil Bluetooth et, finalement, à une base de données cloud.

**B. La couche Cloud:**

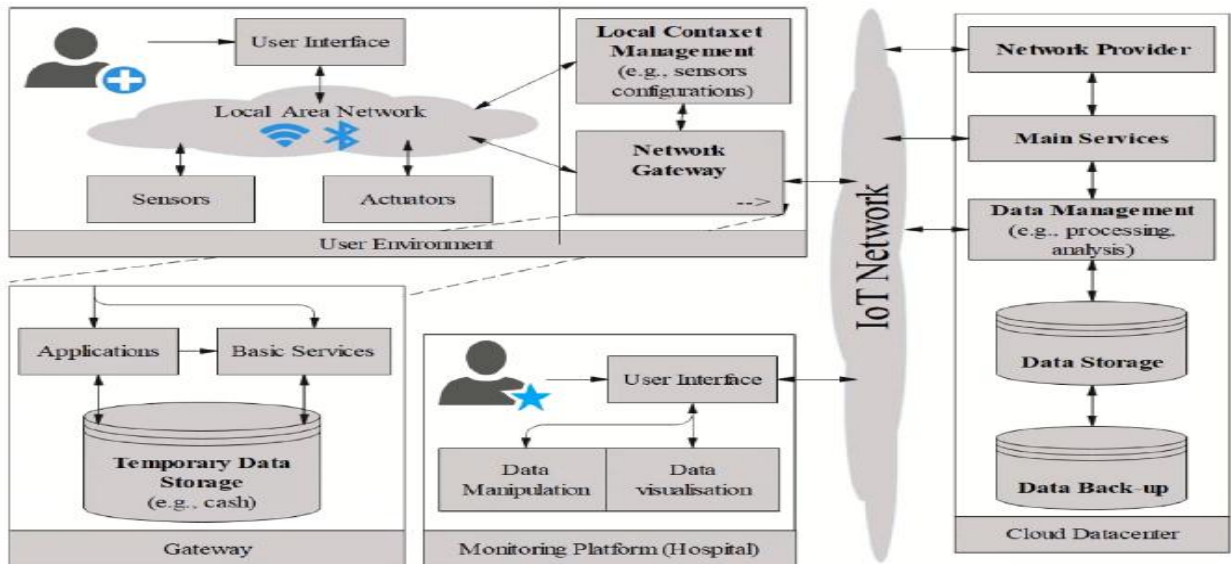
Le cloud reçoit les données des patients via Internet pour être triées afin de les rendre disponibles pour les inspections médicales. De plus, toutes les analyses et les différents traitements seront faits dans le cloud pour toute détection de trouble chez le patient. Ainsi, le Cloud permet la collaboration et le partage des connaissances grâce à son infrastructure qui permet aux professionnels médicaux d'héberger des informations, des analyses et des diagnostics sur les patients afin que d'autres professionnels ayant des intérêts similaires puissent accéder immédiatement aux données. Cela se traduit par des prescriptions plus rapides et des mises à jour en temps réel des données des patients.

### C. La couche Plateforme de surveillance (couche hospitalière):

Cette couche est une plate-forme médicale pour surveiller les dossiers du patient et données physiologiques captées. Les médecins pourront consulter les rapports fournis par le système à partir du cloud.

Les principaux composants de la topologie de réseau adoptée (voir figure II.11) se résument à:

- **Environnement utilisateur (portable et capteurs):** il représente la couche de perception, où tous les capteurs médicaux et portables sont connectés aux patients et exploités sur le réseau IoT (c'est-à-dire capables d'envoyer et de recevoir des données sur ce réseau). Chaque capteur / appareil portable (par exemple, capteur de pouls) a un identifiant unique et une capacité de communication sur le réseau pour interagir avec la passerelle. Les données générées / collectées dans cette couche sont transmises à la passerelle via des protocoles de communication sans fil ou filaires, tels que Bluetooth, ZigBee et Wi-Fi.
- **Passerelle:** Cette partie est chargée d'interagir avec les capteurs des patients qui sont utilisés pour détecter les symptômes du patient et effectuer un traitement primaire sur les données détectées. Le résultat de ce segment est un résumé des conditions des patients envoyé aux soignants. En outre, la passerelle est également capable de réagir en cas d'anomalie des symptômes lorsqu'elle a été détectée, par exemple, en envoyant une demande d'aide (par exemple, une demande de soignant pour un assistant) ou une demande d'urgence (par exemple, appeler une ambulance) dès qu'une situation d'urgence est détectée.
- **Cloud Data-center:** Ce segment a été déployé pour agir sur les données fournies par la passerelle, c'est pourquoi l'activité principale de stockage de données et de détection des maladies est exécutée.
- **Plateformes de surveillance:** Cela inclut à la fois la plateforme du patient et la plateforme des soignants. Ainsi, chaque tableau de bord fournit la visualisation des données, la surveillance et les contrôles de fonctionnalité sur les données collectées à partir des capteurs. Cette plate-forme nécessite le niveau d'accès adéquat, par exemple les patients utilisateurs peuvent avoir le niveau d'accès principal, tandis que les soignants ont un accès restreint.



**Figure II.10** Le modèle réseau du système WS-SHMS

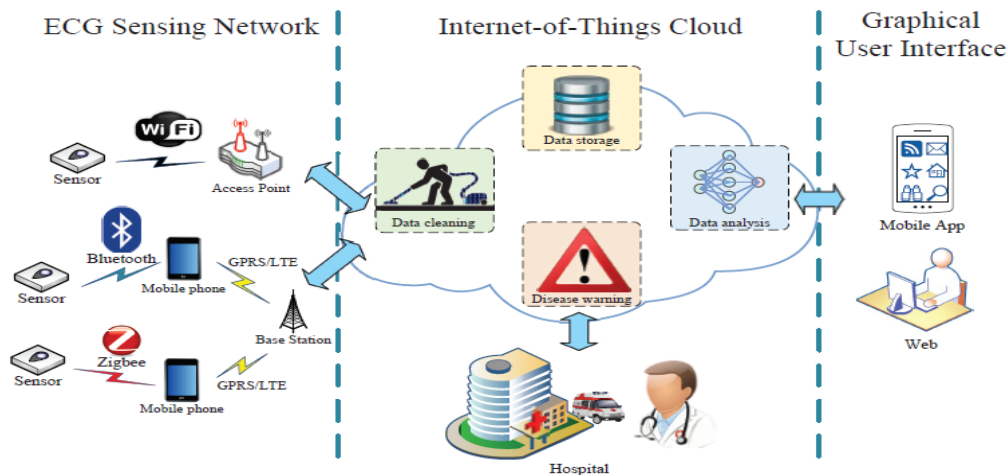
Dans la figure II.10 les auteurs font référence au réseau d'intercommunication IoT car il est différent du réseau traditionnel par des contenus et/ou des serveurs générant et consommant des données<sup>6</sup>. Ainsi, le réseau IoT est plus interactif. De plus, dans le réseau traditionnel, le contenu et / ou les serveurs sont générés ou consommés par des humains via une demande manuelle d'un service ou d'une acquisition de données, tandis que dans le réseau IoT, les contenus et/ou serveurs sont générés ou activés principalement par le biais de choses (c.-à-d. capteurs et systèmes embarqués). La passerelle, peut être n'importe quel microcontrôleur programmé pour agir sur les données capables de transmettre d'une plateforme à une autre. Dans ce système, Arduino Uno et le smartphone du patient seront utilisés comme passerelle dans la solution proposée.

➔ Dans cet article, les auteurs [58] proposent une nouvelle méthode de surveillance ECG basée sur les techniques de l'Internet des objets (IoT).

Les données ECG sont collectées à l'aide d'un nœud de surveillance portable et sont transmises directement au cloud IoT via Wi-Fi. Les protocoles HTTP et MQTT sont tous deux utilisés dans le cloud IoT afin de fournir aux utilisateurs des données ECG visuelles et en temps opportun. Presque tous les terminaux intelligents avec un navigateur Web peuvent acquérir des données ECG de manière pratique, ce qui a considérablement atténué le problème multiplateforme.

L'architecture de ce système basé sur l'IoT est illustrée à la Figure II.11, qui est constituée principalement de trois parties, à savoir le réseau de détection ECG, le cloud IoT et l'interface graphique.

<sup>6</sup> ID Oriented Networking (ION) est un système d'identification des objets dans l'IOT



**Figure II.11** Architecture des systèmes de surveillance ECG basés sur l'IoT

### A. Réseau de détection ECG

Le réseau de détection ECG est la base de l'ensemble du système, Les données ECG collectées à partir des capteurs sont transmises au cloud IoT via un protocole sans fil spécifique, par exemple Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc. Cependant, en raison des plages de communication limitées de Bluetooth et de Zigbee, un terminal intelligent (tel qu'un téléphone mobile) est généralement nécessaire pour recevoir les données ECG, qui va se charger d'envoyer les données au cloud IoT via GPRS ou LTE. Le capteur ECG AD8232 a été utilisé.

### B. Cloud IoT

Grâce au développement des techniques IoT avancées, les données ECG peuvent être stockées et analysées d'une manière efficace. À l'aide d'un cloud IoT, les tâches de traitement et d'analyse des données à forte intensité de calcul peuvent être effectuées dans des serveurs puissants, ce qui allège considérablement le fardeau des appareils intelligents. De manière générale, un cloud IoT pour la surveillance ECG se compose généralement de quatre modules fonctionnels, à savoir le nettoyage des données, le stockage des données, l'analyse des données et l'alerte aux maladies.

**Nettoyage des données ;** Le signal ECG doit d'abord être nettoyé du bruit qui peut être introduit dans le Signal ECG. Ce qui aurait un effet négatif sur la précision du diagnostic;

**Stockage des données :** Les données historiques doivent être stockées dans la base de données pour une analyse plus approfondie. Les données ECG incluent souvent l'heure. De plus, au moins une copie des données doit être stockée pour la reprise après sinistre;

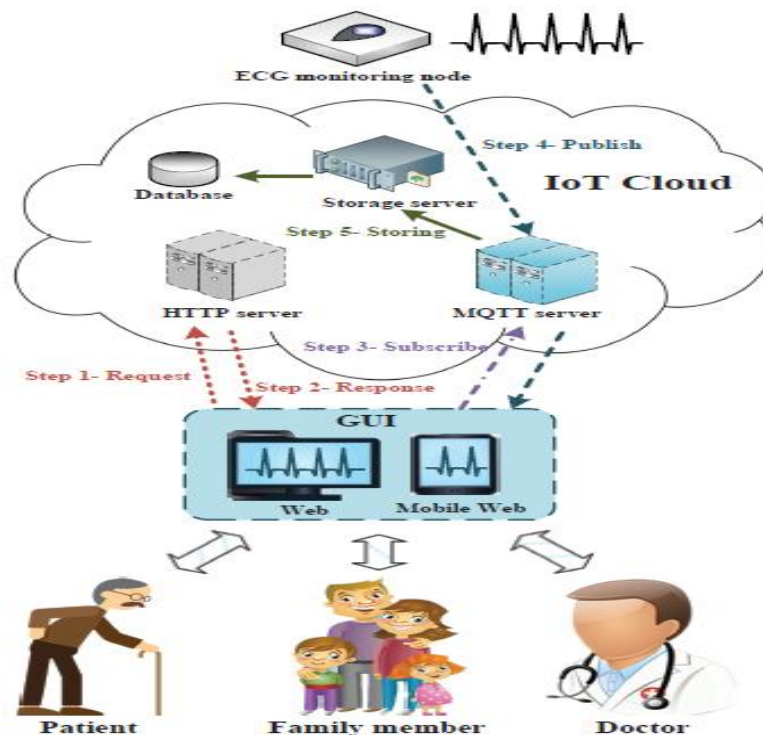
**Analyse des données :** le cloud IoT fournit souvent une plateforme d'analyse de données pour extraire des informations utiles du signal ECG.

**Avertissement de maladie :** l'alerte aux maladies sur le cloud IoT est primordiale pour la protection des patients. Sur la base des résultats de l'analyse des données, En cas de lectures

suspectes, le cloud IoT informera la famille du patient et le médecin à temps afin d'éviter Les crises cardiaques soudaines menaçant gravement la vie des patients cardiaques.

### C.GUI (Graphic User Interface)

L'interface graphique est responsable de la visualisation et de la gestion des données. Elle fournit un accès facile aux données dans le cloud IoT. Les utilisateurs peuvent se connecter au cloud pour acquérir des données ECG visualisées en temps réel. Généralement, deux types d'interfaces graphiques sont disponibles pour que les utilisateurs visualisent les données ECG, c'est-à-dire les applications mobiles et les pages Web.



**Figure II.12** Architecture du cloud IoT pour la surveillance ECG.

Trois types de serveurs de différentes fonctionnalités sont utilisés dans le cloud IoT : Le serveur de stockage ; Le serveur HTTP et le serveur MQTT. Grâce au développement des technologies de virtualisation, ces serveurs peuvent être établis sur des machines de manière à utiliser pleinement les ressources physiques. Les serveurs déployés dans le cloud IoT sont élaborés comme suit :

#### 🚦 Serveur HTTP

Pour accéder aux données ECG, les utilisateurs doivent envoyer une demande GET au cloud IoT via une URL. Ensuite, un fichier écrit en langage HTML (Hypertext Markup Language) est transmis au navigateur via le protocole HTTP. Le navigateur est capable de convertir le fichier HTML en une interface graphique conviviale permettant aux utilisateurs de se connecter en toute sécurité au serveur. Après avoir réussi à obtenir l'accès, le serveur HTTP envoie un autre fichier HTML qui est utilisé pour présenter une interface graphique pour afficher le signal ECG;

### **Serveur MQTT**

La transmission des données ECG du nœud de surveillance à la page Web est mis en œuvre sur la base du protocole MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Un serveur MQTT est chargé de fournir des données ECG en temps réel aux utilisateurs. Le mécanisme du protocole MQTT repose sur la notion de «sujet». Deux types d'opérations sont utilisés dans les communications entre l'appareil et le client : « s'abonner » et « publier ». Les messages publiés sur un certain sujet par l'appareil peuvent être transmis aux clients qui se sont abonnés au même sujet

### **Serveur de stockage**

Il est chargé de stocker les données ECG dans la base de données, qui joue un rôle essentiel dans le diagnostic et la détection précoce des maladies cardiaques. En tant que l'une des bases de données non relationnelles les plus prometteuses, « Redis » est utilisé dans le système proposé.

## **II.5-Validation du choix**

Notre choix s'est fixé sur la conception et la réalisation d'une application M-health de suivi d'une personne âgée à domicile , nos motivations de recherche viennent de l'intérêt porté à cette catégorie de patient car la surveillance de la santé des personnes âgées a été une préoccupation majeure de la plupart des pays notamment les pays occidentaux , et ce en raison du vieillissement de la population, la prévalence des maladies chroniques qui a augmenté et par ailleurs les citoyens ont étendu leurs demandes pour les meilleurs soins de santé disponibles.

## **Conclusion**

Les systèmes WBAN qui surveillent les signes vitaux promettent une surveillance de la santé omniprésente mais abordable. Nous pensons que les systèmes WBAN permettront un changement radical dans la façon dont les gens pensent et gèrent leur santé, de la même manière qu'Internet a changé la façon dont les gens communiquent entre eux et recherchent des informations. Cette évolution vers des soins de santé préventifs et plus proactifs ne va pas seulement améliorer la qualité de vie, mais réduira également les coûts de santé. Dans ce chapitre nous avons essentiellement fait un tour d'horizons des contributions des travaux récents dans le domaine de surveillance de santé à distance et utilisant le téléphone mobile comme composant incontournable de ce type d'application, en mettant l'accent sur les différentes architectures adoptées et les différentes technologies utilisées, dans le chapitre suivant nous exposerons en détail l'architecture que nous allons déployer afin de réaliser une application M-health de surveillance médicale d'une personne âgée à domicile.

## References

- [46] A. Tewari et P. Verma, « Security and Privacy in E-Healthcare Monitoring with WBAN: A Critical Review », *IJCA*, vol. 136, n° 11, p. 37-42, févr. 2016, doi: 10.5120/ijca2016908600.
- [47] Md. T. Arefin, M. H. Ali, et A. K. M. F. Haque, « Wireless Body Area Network: An Overview and Various Applications », *JCC*, vol. 05, n° 07, p. 53-64, 2017, doi: 10.4236/jcc.2017.57006.
- [48] S. Majumder *et al.*, « Smart Homes for Elderly Healthcare—Recent Advances and Research Challenges », *Sensors*, vol. 17, n° 11, p. 2496, oct. 2017, doi: 10.3390/s17112496.
- [49] B. Abderrahim et F. Mohammed, « INTELLIGENT MOBILE HEALTH MONITORING SYSTEMS », p. 210.
- [50] B. Abidi, A. Jilbab, et E. H. Mohamed, « Wireless body area network for health monitoring », *Journal of Medical Engineering & Technology*, vol. 43, n° 2, p. 124-132, févr. 2019, doi: 10.1080/03091902.2019.1620354.
- [51] J. Amano et S. Takayama, « Active user interface of telemetric body area network system », in *2017 11th Asian Control Conference (ASCC)*, Gold Coast, QLD, déc. 2017, p. 2575-2580, doi: 10.1109/ASCC.2017.8287581.
- [52] H.-Y. Kao, C.-W. Wei, M.-C. Yu, T.-Y. Liang, W.-H. Wu, et Y. J. Wu, « Integrating a mobile health applications for self-management to enhance Telecare system », *Telematics and Informatics*, vol. 35, n° 4, p. 815-825, juill. 2018, doi: 10.1016/j.tele.2017.12.011.
- [53] Md. T. Arefin, M. H. Ali, et A. K. M. F. Haque, « Wireless Body Area Network: An Overview and Various Applications », *JCC*, vol. 05, n° 07, p. 53-64, 2017, doi: 10.4236/jcc.2017.57006.
- [54] A. Khalaf et R. Abdoola, « Wireless body sensor network and ECG Android application for eHealth », in *2017 Fourth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)*, Beirut, oct. 2017, p. 1-4, doi: 10.1109/ICABME.2017.8167526.
- [55] M. T. Mardini, Y. Iraqi, et N. Agoulmine, « A Survey of Healthcare Monitoring Systems for Chronically Ill Patients and Elderly », *J Med Syst*, vol. 43, n° 3, p. 50, mars 2019, doi: 10.1007/s10916-019-1165-0.
- [56] V. Wahane et Dr. P. V. Ingole, « Interactive Mobile Health Monitoring System », *ijacsa*, vol. 8, n° 4, 2017, doi: 10.14569/IJACSA.2017.080442.
- [57] M. Al-khafajiy *et al.*, « Remote health monitoring of elderly through wearable sensors », *Multimed Tools Appl*, vol. 78, n° 17, p. 24681-24706, sept. 2019, doi: 10.1007/s11042-018-7134-7.
- [58] Z. Yang, Q. Zhou, L. Lei, K. Zheng, et W. Xiang, « An IoT-cloud Based Wearable ECG Monitoring System for Smart Healthcare », *J Med Syst*, vol. 40, n° 12, p. 286, déc. 2016, doi: 10.1007/s10916-016-0644-9.
- [59] We Are Social Singapore, “Digital in 2016”, online: SlideShare
- [60] Simon Khalaf, “Health and Fitness Apps Finally Take Off, Fueled by Fitness Fanatics” (June 19 2014),
- [61] « Things are looking app », *The Economist*, March 12, 2016

## *Etude et conception du système*

# *RHMES (Remote Health Monitoring Elderly System)*

### *Sommaire*

- 
- III.1- Convention**
  - III.2- Les objectifs du système**
  - III.3- Architecture du système**
  - III.4- Description générale du système**
  - III.5- Description détaillée des entités du système**
  - III.6- Les diagrammes de séquence**
  - III.7- Le diagramme de cas d'utilisation du système**
  - III.8- La base de données du système**
- 

*Ce chapitre détaille les phases de conception de notre système de la spécification des besoins jusqu'à l'élaboration du diagramme objet qui représente notre base de donnée en passant par la description générale du système et des entités, la réalisation du diagramme de cas d'utilisation général et les différents diagrammes de séquence.*

## Introduction

Tout travail structuré et organisé doit commencer par une étape de conception préliminaire qui élabore une analyse détaillée des besoins à satisfaire et des objectifs visés et c'est ce à quoi nous nous sommes attelés depuis le début de notre étude en commençant par déterminer l'architecture adoptée et définir les différents acteurs et entités de notre système avec les tâches qui leur incombent pour enfin dégager les fonctionnalités de notre système. Avant d'entamer les différentes étapes de la conception d'un système de surveillance à distance de l'état de santé d'une personne âgée et qui vise à une meilleur prise en charge sanitaire de la population concernée, il est à noter que notre système n'inclut que la surveillance d'une personne âgée à son domicile<sup>1</sup>.

### III.1 Convention

- ✚ Notre système sera dénommé Système de surveillance de santé d'un personne âgée à distance<sup>2</sup> (Remote Health Monitoring Elderly System)(RHMES)
- ✚ Et notre application Android sera dénommée « **Mhealth\_Elderly** »

### III.2 Les objectifs du système

Avant de s'attaquer à la tâche de conception, Il est nécessaire dans un premier temps d'élucider les objectifs visés par notre système et qui se résument à ce qui suit:

- ✚ Surveiller en temps réel l'état de santé d'une personne âgée en collectant les signes physiologiques du patient (rythme cardiaque, température, ECG)
- ✚ Stocker les signes physiologiques du patient dans une Base de données pour une analyse ultérieure afin de permettre aux différents acteurs concernés de l'associer à des algorithmes de traitement et de diagnostic.
- ✚ Générer éventuellement des alarmes en cas d'anomalie dans la capture d'un élément physiologique
- ✚ Notifier à distance les parents du patient en cas d'urgence.
- ✚ Notifier l'ambulancier pour une évacuation d'urgence en cas d'extrême nécessité
- ✚ Analyses des valeurs captées et détecter si elles dépassent le seuil des valeurs normales.

---

<sup>1</sup> C'est-à-dire que ce système médical vise les personnes âgées qui sont tout le temps à l'intérieur de leur domicile et non à l'extérieur.

<sup>2</sup> A distance veut dire que les entités intervenantes dans le système (comme le médecin) sont éloignées géographiquement du WBAN et par conséquent ne peuvent être accessibles que par le réseau Internet ou bien le réseau GSM.

- ✚ Commander un actionneur à distance

### III.3 Architecture du système

Pour pouvoir atteindre les objectifs énumérés ci-dessus, voici l'architecture qu'on a adoptée pour réaliser le système RHMES. RHMES est un système basé sur une architecture 3 tiers (niveau) avec une topologie étoile pour le WBAN, ci-dessous le schéma représentatif de cette architecture avec les différents types de communications utilisés.

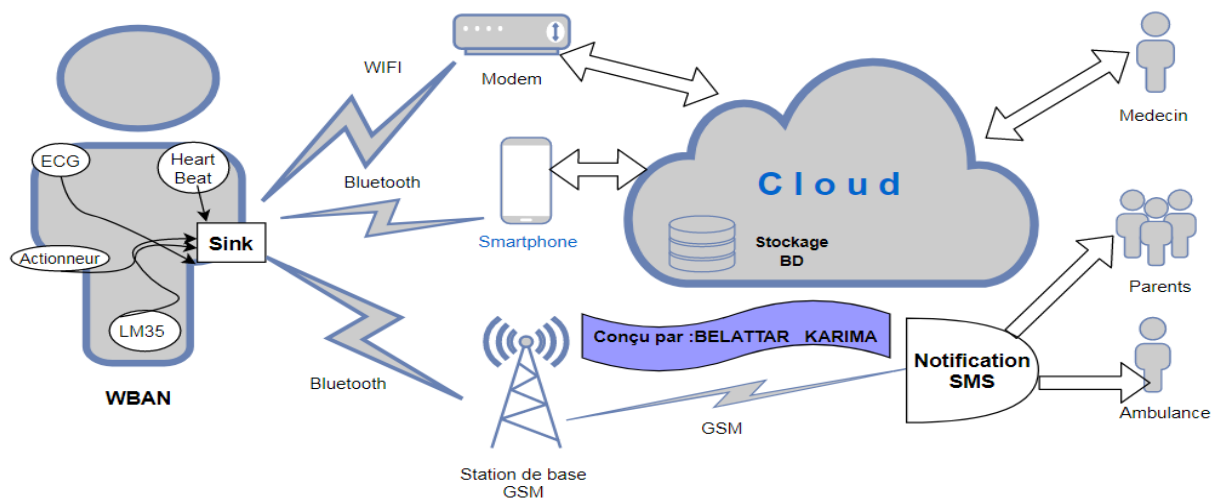


Figure III.1 Architecture du système RHMES (Remote Health monitoring elderly System)

### III.4 Description générale du système

Notre WBAN est constitué de trois capteurs corporels qui mesurent les signes physiologiques de la personne âgée et un actionneur, ces signes sont d'une importance capitale dans le suivi de l'état de santé d'une personne âgée et toute anomalie dans leur valeur peut entraîner des complications graves ou bien mener au décès, ces capteurs sont :

- ✚ Le capteur de température LM35.
- ✚ Le capteur ECG .
- ✚ Le capteur Heart Beat qui mesure le nombre de pulsation du cœur.

Le sink (puits ) dans notre architecture est le microcontrôleur ARDUINO UNO, le sink est relié aux différents capteurs par une liaison filaire (tous les capteurs sont branchés directement sur l'ARDUINO), il est à noter qu'il existe des capteurs qui peuvent avoir une liaison sans fil avec le sink, ce sink reçoit ces paramètres physiologiques les traite et les envoient à l'applications Mhealth\_ELderly via une liaison bluetooth pour être affichés

en temps réel dans l'espace de travail du patient, en parallèle il les envoie au cloud qui héberge la base de donnée préalablement créées pour y être stockés, et ce via une liaison Wifi connecté à un modem Internet par le biais du module ESP8266. Les utilisateurs autorisés peuvent se connecter au cloud pour visualiser les données physiologiques en temps réel. Le sink se chargera aussi de notifier les entités concernées via SMS en utilisant le réseau GSM.

### III.5 Description détaillée des entités du système

L'entité est une représentation d'un élément matériel ou immatériel, ayant une existence propre et qui a un rôle dans le système que l'on désire décrire. Elle contient les informations qui la caractérisent, ces informations sont appelées propriétés. Ces propriétés sont collectées lors de l'établissement du dictionnaire de donné.

Les entités intervenant dans notre système sont :

- ✚ Le médecin traitant : C'est une entité clé dans ce système dans la mesure où le concept de surveillance de l'état de santé d'une personne âgée ne se concrétise qu'à travers son intervention qui portera sur :
  - Consultation en temps réel des paramètres physiologiques
  - Consultation de l'historique des valeurs captées d'un patient pour une analyse ultérieure.
  - Déclencher les actionneurs lorsque l'un ou plusieurs paramètres physiologiques atteignent un seuil critique : On avait précédemment vu qu'un WBAN est constitué de capteurs et d'actionneur, ces actionneurs peuvent être commandés à distance par le médecin traitant comme par exemple injecter une dose de médicament dans le corps du patient à distance
  - Dispenser des conseils à distance au patient âgé.
  - Changer un ou plusieurs paramètres de notre système notamment des seuils critiques qui vont servir pour déclencher les notifications d'urgences pour les entités concernées.
- ✚ Le patient : Pourra consulter ses paramètres physiologiques en temps réel et modifier son profil.
- ✚ Les parents du patient : seront notifiés par un SMS à titre d'information lorsque leur malade se trouve dans une situation critique.
- ✚ L'ambulancier : sera notifié pour une évacuation en urgence.

- ✚ L'administrateur du système : Il est chargé de la configuration initiale du système et du suivi du bon fonctionnement du système.

Voici un tableau récapitulatif de ces entités avec leur description et propriétés.

Entité	Description	Propriétés
Patient	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MAJ de son profil.</li> <li>- Consulter ses données physiologiques captées en temps réel.</li> <li>- Consulter historique de ses données physiologiques captées</li> <li>- Lecture des conseils dispensés par le médecin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdPatient</li> <li>- Nom</li> <li>- Prénom</li> <li>- Age</li> <li>- Adresse</li> <li>- Sexe</li> <li>- Email</li> <li>- Numéro Téléphone</li> <li>- Nom utilisateur</li> <li>- Mot de pass</li> </ul>
Le médecin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consulter les données physiologiques captées des patients en temps réel.</li> <li>- Consulter historique des données physiologiques des patients</li> <li>- Dispenser des conseils aux patients selon leur état de santé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdMedecin</li> <li>- Nom</li> <li>- Prenom</li> <li>- Numéro Téléphone</li> <li>- Nom utilisateur</li> <li>- Mot de pass</li> </ul>
Administrateur du système	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Configuration initiale des paramètres du système</li> <li>- MAJ profil ambulancier.</li> <li>- MAJ profil médecin</li> <li>- MAJ profil administrateur</li> <li>- MAJ profil agent de maintenance</li> <li>- MAJ profil patient.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdAdmin</li> <li>- Nom</li> <li>- Prenom</li> <li>- Numéro Téléphone</li> <li>- Email</li> <li>- Nom utilisateur</li> <li>- Mot de pass</li> </ul>
Ambulancier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evacuation à l'hôpital rapide d'un patient en situation critique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdAmbulancier</li> <li>- Nom</li> <li>- Prenom</li> <li>- Numéro Téléphone</li> <li>- Email</li> </ul>
Parent du patient	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lire message de notification.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdParent</li> <li>- Nom</li> <li>- Prenom</li> <li>- Numéro Téléphone</li> <li>- Email</li> </ul>
Agent de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lire notification concernant l'état des capteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IdMaintenancier</li> <li>- Nom</li> <li>- Prenom</li> <li>- Numéro Téléphone</li> </ul>

**Tableau III.1 :** Tableau descriptif des entités de notre système

### III.6 Le diagramme de cas d'utilisation du fonctionnement général du système

Un cas d'utilisation est l'abstraction d'une fonction typique du système à modéliser

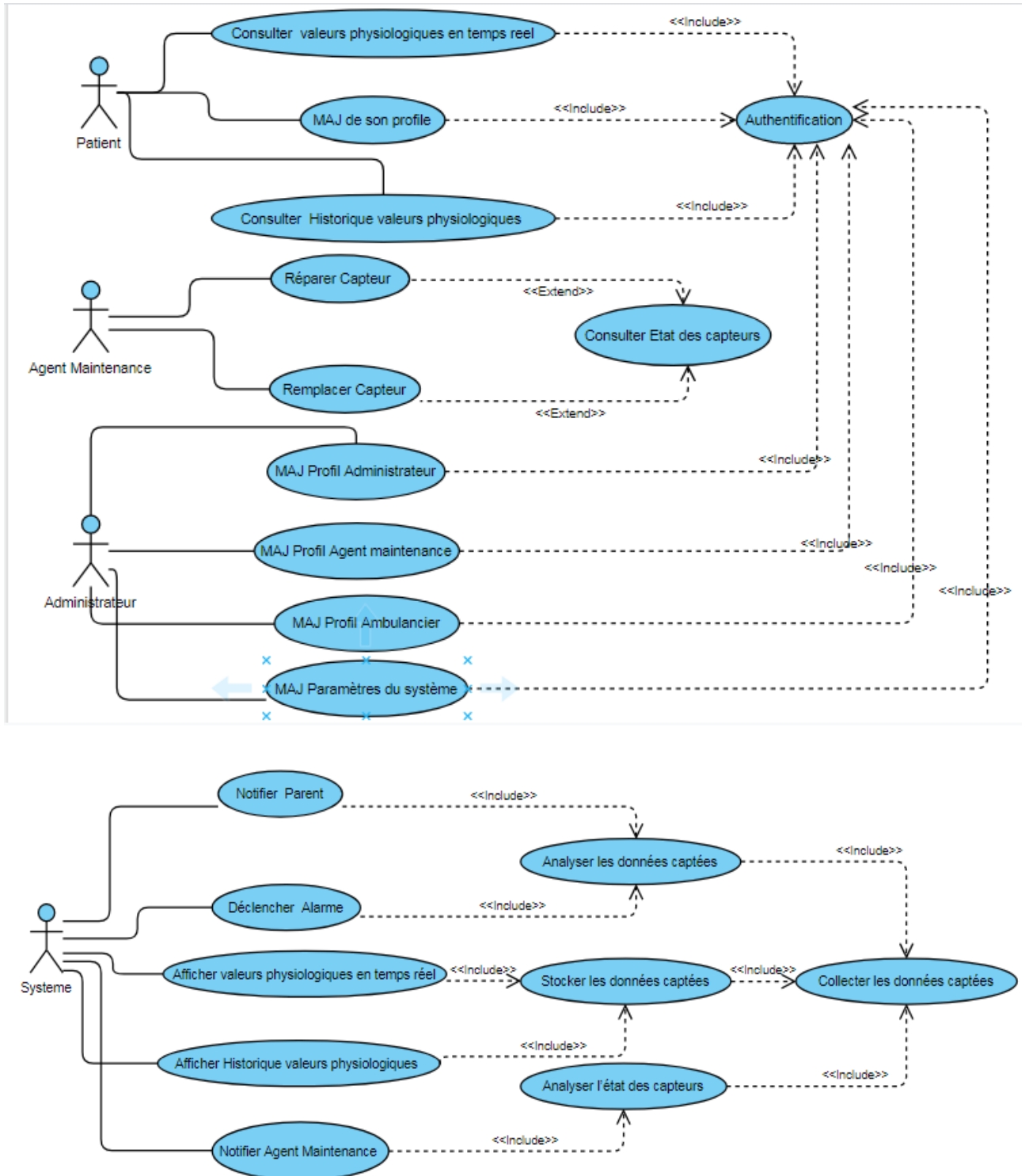


Figure III.2 Diagramme de cas d'utilisation du système RHMES

### III.7 Les diagrammes de séquence

Les diagrammes de séquences permettent de représenter les interactions entre objets selon un point de vue temporel. L'accent est mis sur la chronologie des envois de messages, ils sont généralement utilisés pour illustrer les cas d'utilisation, voici les diagrammes de séquence les plus significatifs dans notre système.

#### III .7.1 Diagramme de séquence d'authentification

1. L'utilisateur clique sur son espace de travail.
2. L'application affiche le formulaire d'authentification.
3. L'utilisateur saisit le mot de passe.
4. Le système vérifie la validité du mot de passe
5. L'application affiche l'espace de travail de l'utilisateur

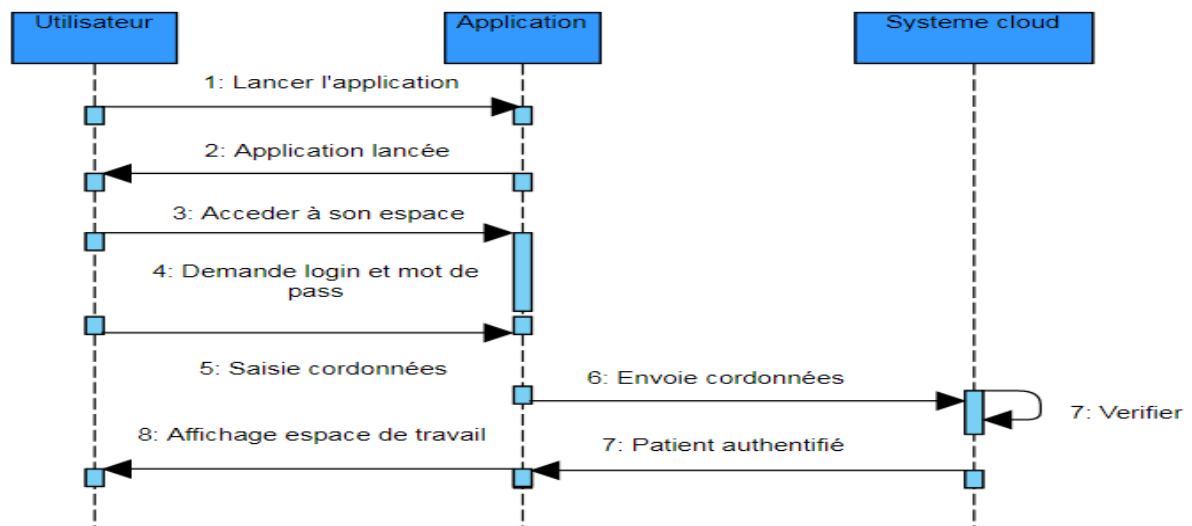


Figure III.3 Diagramme de séquence d'authentification

#### III .7.2 Diagramme de séquence de MAJ du profil de patient

1. L'utilisateur demande le formulaire de MAJ.
2. L'application affiche le formulaire de MAJ.
3. L'utilisateur saisit ou modifie les nouvelles données.
4. L'application envoi la requête à au système de gestion de la base de donnée.
5. Le système met à jour les informations sur la base e donnée.
6. L'application confirme la MAJ effectuée.

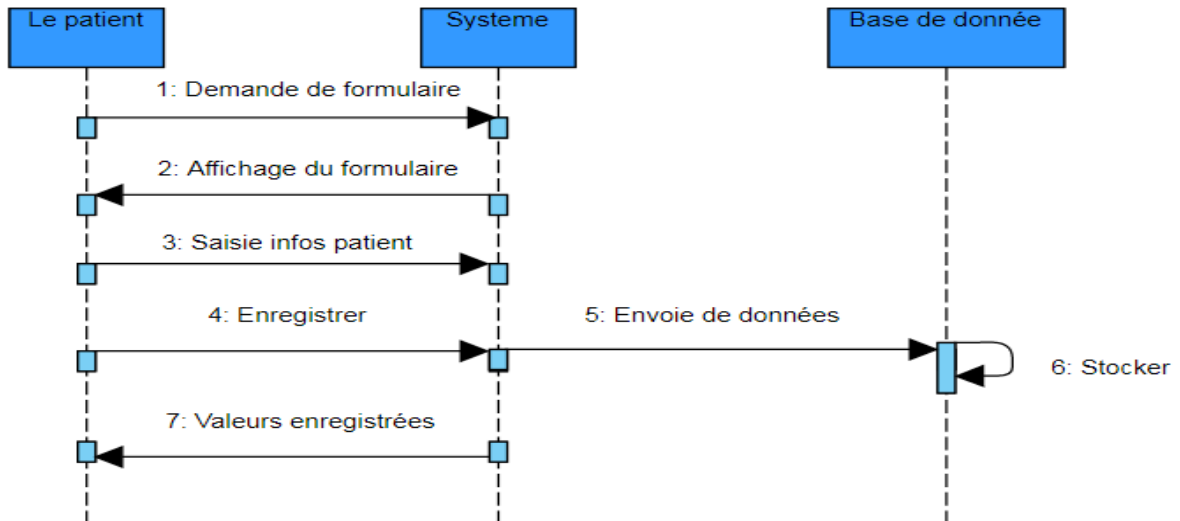


Figure III.4 Diagramme de séquence MAJ du profil de patient

### III .7.3 Diagramme de séquence d’affichage des valeurs captées en temps réel

1. Le capteur envoie les valeurs captées au sink.
2. Le sink renvoi à son tour ces valeurs à l'application mobile du patient via bluetooth.
3. L'application récupère ses valeurs.
4. L'application affiche les valeurs.

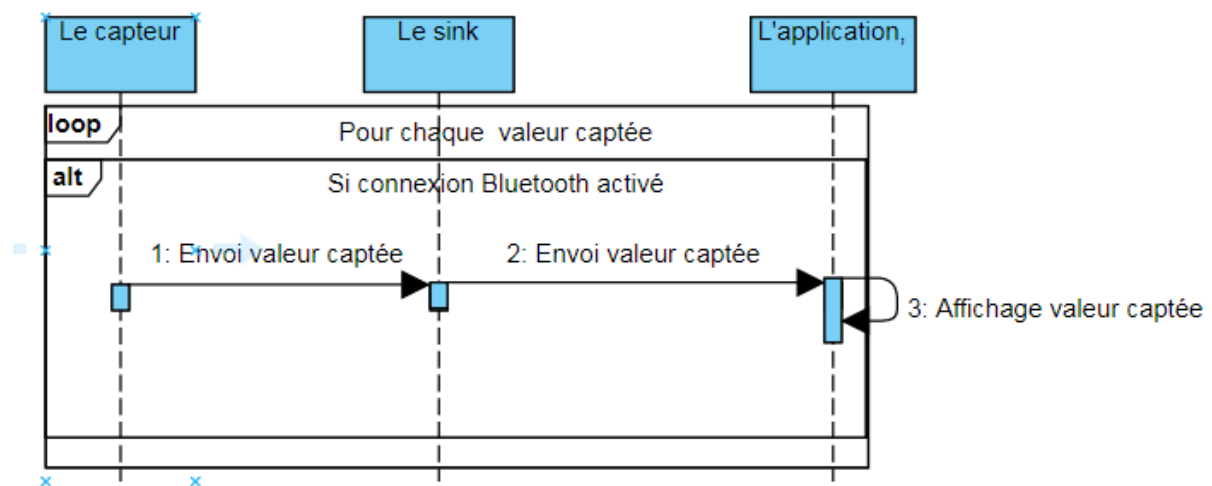


Figure III.5 Diagramme de séquence d’affichage des valeurs captées en temps réel

### III .7.4 Diagramme de séquence de stockage des valeurs captées

1. Le capteur envoie les valeurs captées au sink.
2. Le sink renvoi à son tour ses valeur au système cloud via une connexion Internet WIFI.
3. Le système cloud enregistre ces données dans la base de données.

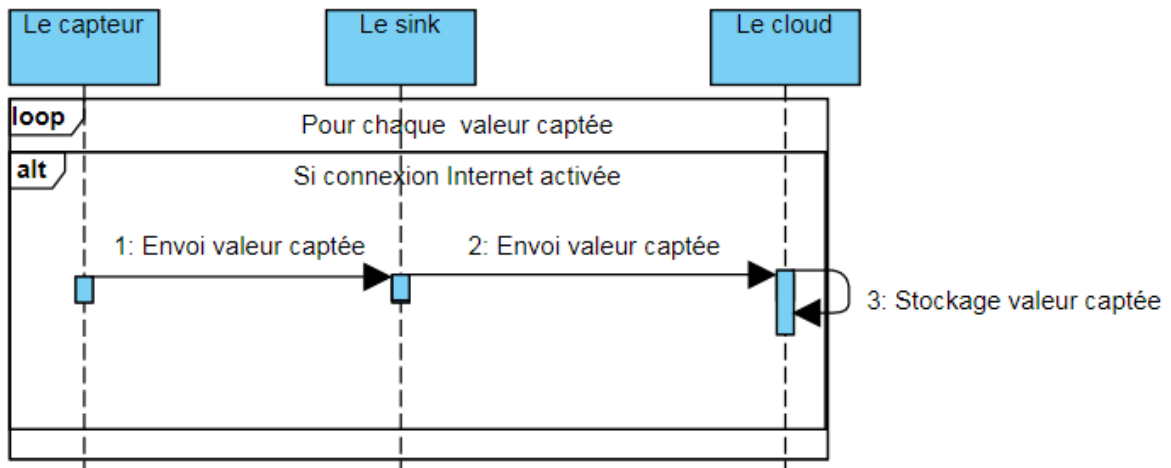


Figure III.6 Diagramme de séquence de stockage des valeurs captées

### III .7.5 Diagramme de séquence de notification par SMS d'un parent

1. Le capteur envoie la valeur captée au sink.
2. Le sink analyse la valeur captée si elle dépasse un seuil prédéfini, il envoie une notification au parent du patient.

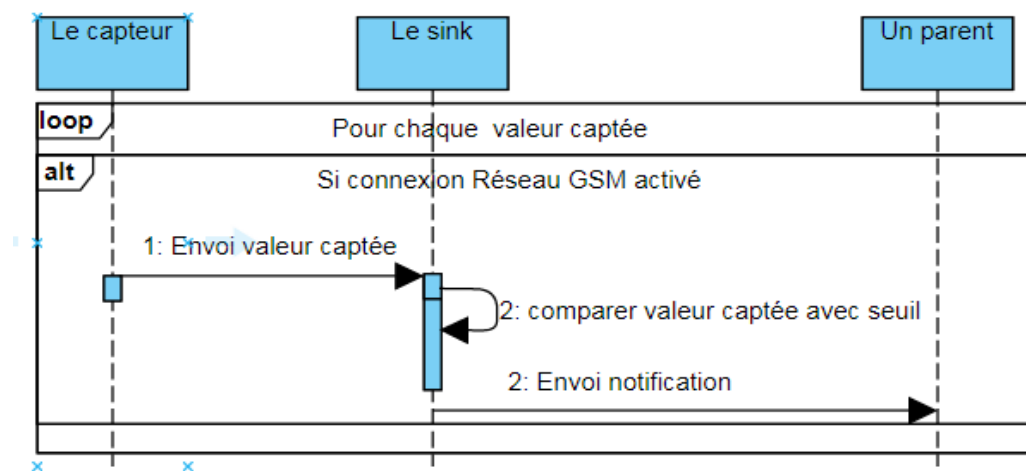


Figure III.7 Diagramme de séquence de notification par SMS d'un parent

### III.8 La base de données du système

La base de données est un élément incontournable dans la conception et le fonctionnement de notre système, c'est elle qui va principalement héberger les données physiologiques vitales du patient. Le diagramme d'objet est représenté sur la figure ci-dessous. La base de données comprend dix (10) tables qui ont été construites pour gérer les interactions et fonctionnalités des données système.

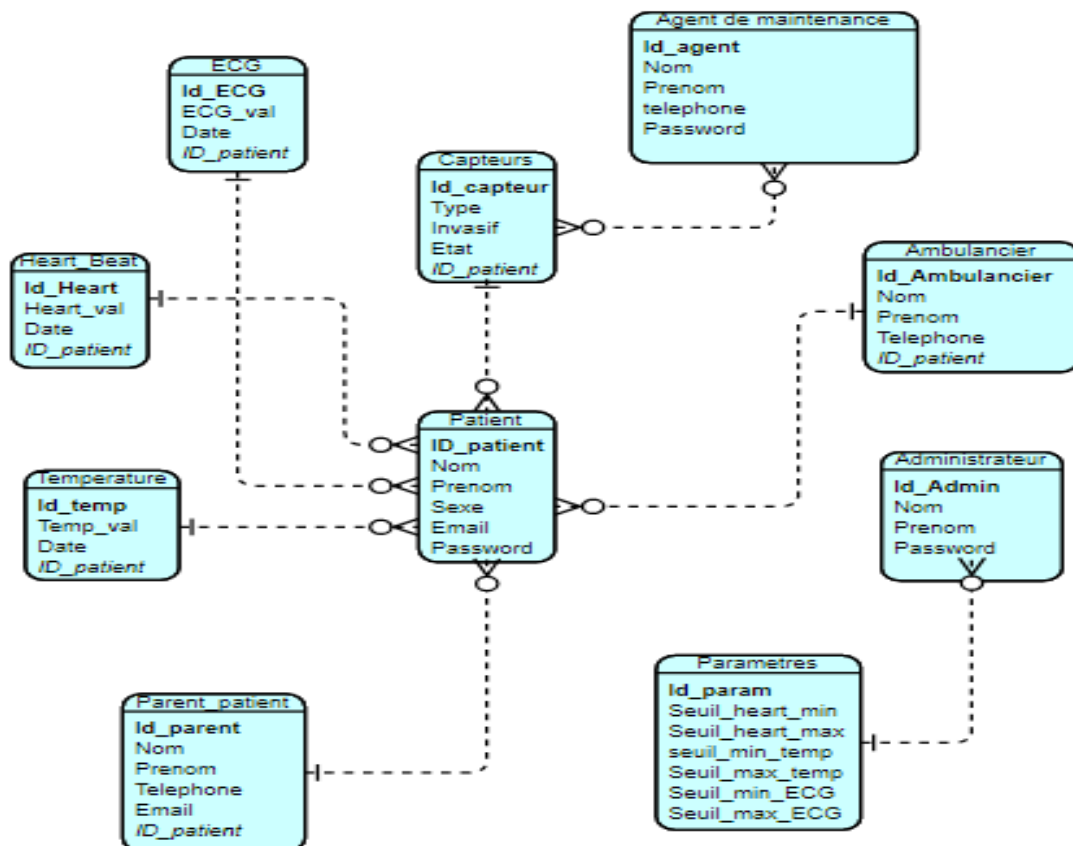


Figure III.8 Le diagramme d'objet

### Conclusion

L'étude conceptuelle est une étude de premier niveau. Elle permet d'évaluer le projet dans ses prémices. Elle a pour but de développer les caractéristiques essentielles de la solution à émerger ; de grossir la solution retenue lors de l'étude d'opportunité et de décrire les principes des solutions indépendamment de moyens utilisés, ce qui constitue une base de référence stable et indépendante de tout matériel ou logiciel de base. Pour ce qui est de la conception de notre système c'était pour nous une vraie remue méninge, tant les architectures sont multiples. Il fallait à tout moment peser le pour et le contre de chaque solution. Le chapitre suivant sera consacré essentiellement au déploiement et à l'implémentation de cette architecture.

## *Implémentation et test du système*

# *RHMES (Remote Health Monitoring Elderly System)*

### *Sommaire*

---

#### **IV.1- Conception architecturale**

##### **IV.1.1- La partie matérielle**

##### **IV.1.2- La partie logicielle**

#### **IV.2 Test et Evaluation**

---

*Ce chapitre est l'aboutissement des trois chapitres précédents, il détaille toute la plateforme matérielle et logicielle et comment elles sont utilisées pour la réalisation de notre système.*

## Introduction

Une fois les objectifs du système sont fixés et l'architecture à déployer est dégagé; Dans ce chapitre nous allons commencer par déterminer l'architecture matérielle de notre système en présentant tous les éléments électriques et en faisant un description générale de tous les capteurs et les modules utilisés pour passer à l'architecture logicielle dans laquelle on va présenter les différentes manipulations et configurations et programmes des trois plateformes utilisées que sont Firebase, EDI ARDUINO, MIT AppInventor.

### IV.1 Conception architecturale

Notre système de surveillance M-health des personnes âgées a été conçu en deux phases : une conception matérielle et une autre logicielle. La partie matérielle traite de la construction des circuits électriques et électroniques. La partie logicielle traite de la configuration de la plateforme Firebase[62], la programmation Arduino avec son environnement de développement intégré IDE Arduino [63], et celle du téléphone mobile à l'aide du logiciel MIT AppInventor [64].

#### IV.1.1 La partie matérielle :

La mise en oeuvre d'un tel système nécessite la compréhension des composants tant matériels que logiciel que l'on ne peut dissocier l'un de l'autre, c'est pourquoi il est primordial avant d'aborder le coté programmation, d'être imprégnés des notions fondamentales et parfois avancées de l'électronique et bien assimiler le fonctionnement des différents capteurs pour pouvoir les utiliser correctement.

##### IV.1.1 .1 Présentation des éléments électriques du système

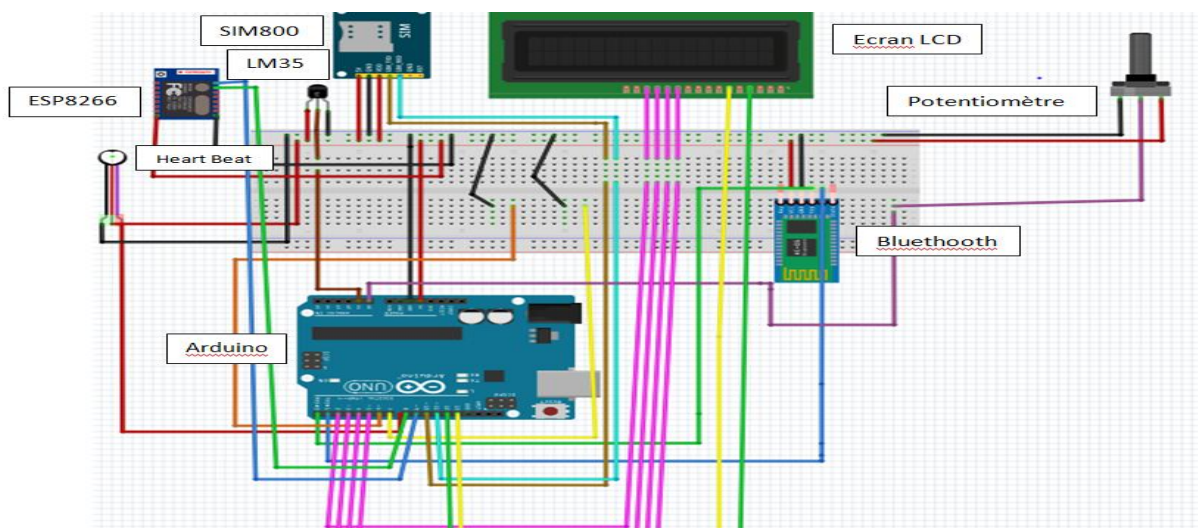
Notre schéma électrique se compose de trois types d'élément :

- ✚ Le microcontrôleur gérant le système : Dans notre cas on a utilisé « ARDUINO UNO »
- ✚ Les capteurs corporels : Dans notre système on a utilisé :
  - Le capteur de température « LM 35 »
  - Le capteur des pulsations cardiaques « PULSE SENSOR »
  - Un Potentiomètre qui fera office d'un ECG (explication ultérieures)
- ✚ Les modules de communication réseaux :
  - Le module BLUETOOTH HC-06
  - Le module WIFI ESP8266
  - Le module SIM800L
- ✚ Un module d'affichage : On a utilisé un écran d'affichage LCD 2 \* 16

### Remarques

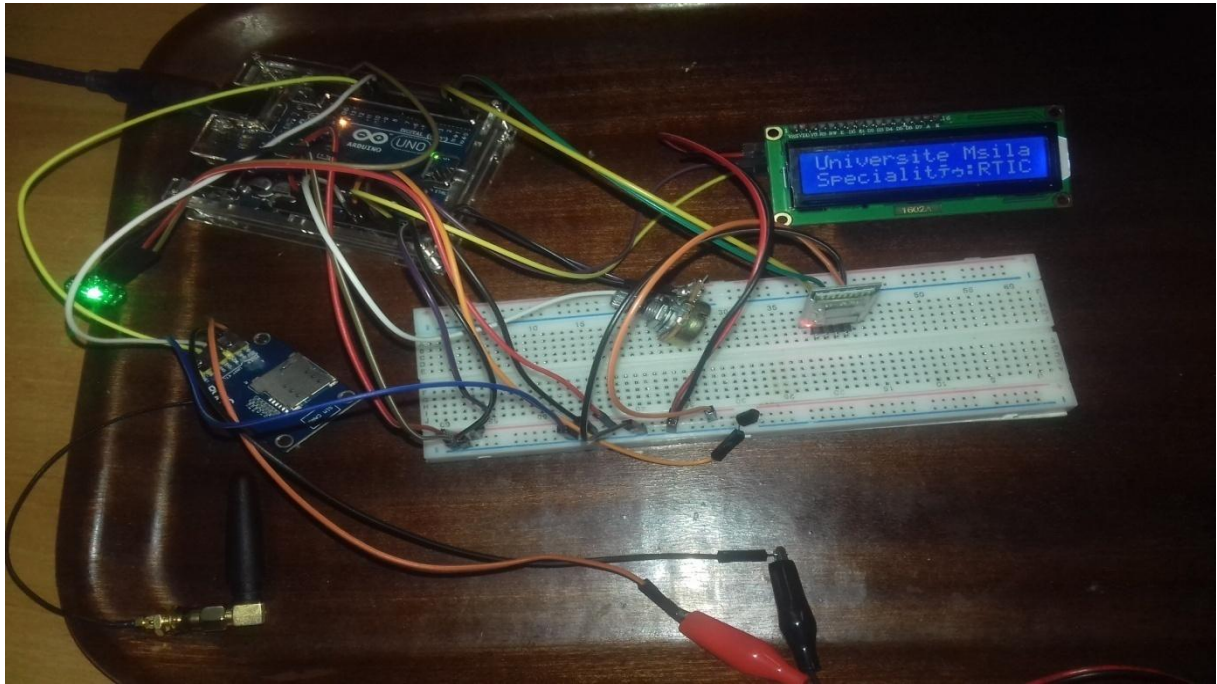
- ✚ En raison de la pandémie Covid 19 on n'a pas pu se procurer le capteur de température corporel infrarouge car étant utilisé dans les appareil qui mesurent la température à l'entrée des administration et partout ailleurs, il est devenue indisponible sur le marché, donc on l'a remplacé avec le capteur LM35 qui lui aussi est un capteur de température pouvant être utilisé dans les WBAN, par ailleurs, vu qu'on a pas pu se procurer le capteur ECG on l'a remplacé avec un potentiomètre qui peut faire office d'un capteur ECG (expliqué ultérieurement dans ce chapitre).
- ✚ Dans notre projet on a utilisé deux module de transmission de données à distances que sont le module GSM800L qui utilise le réseau GSM pour la transmission des SMS de notification et d'alerte entre le patient d'une part et le médecin , les parents et l'ambulancier d'autre part .Quant aux transmission des données captées par notre WBAN et le cloud Google Firebase ou se trouve notre Base de donnée, nous avons utilisé le module WIFI ESP 8266 pour une communication wifi avec l'internet car le volume de données est très important .

Voici le schéma électrique élaboré avec le logiciel « Fritzing » qui montre toutes les connexions. Nous avons utilisé une « Breadboard » qui est une planche de montage expérimentale permettant d'ajouter autant de composants et de capteurs que nous voulons, vu le fait que le microcontrôleur Arduino UNO possède une seule sortie VCC(5v) et une seule sortie GND (Terre) avec l'utilisation du Breadboard on peut bénéficier de plusieurs sorties VCC et GND comme illustré dans le schéma en dessous:



**Figure IV.1** Schéma de Câblage (Schéma électrique)

Et voici le schéma expérimental



**Figure IV.2** Schéma expérimental

#### IV.1.1 .1.1 Arduino

##### ➡ Description générale

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre mais certains composants de la carte ne le sont pas : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires.

Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée (la domotique, le pilotage d'un robot, commande des moteurs..etc).

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. C'est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C.

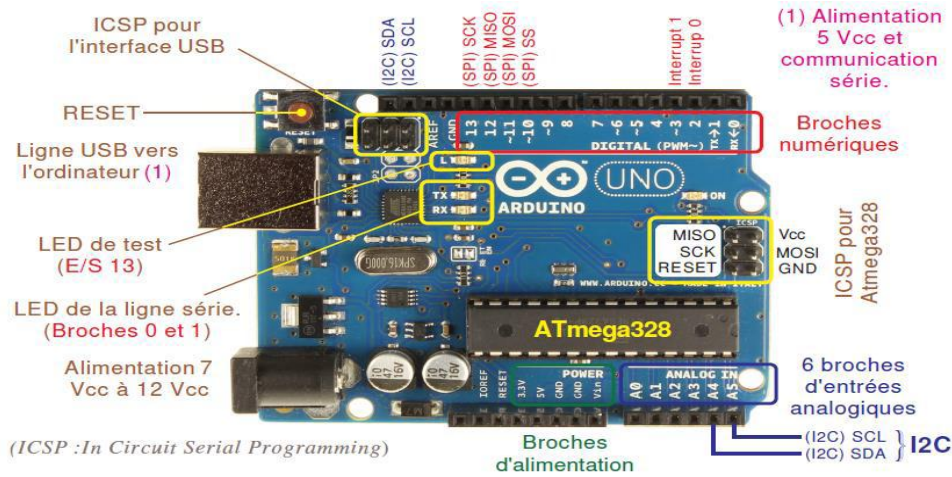


Figure IV.3 : La carte Arduino UNO

### ► Pourquoi Arduino UNO ?

- ✚ « Pas cher »
- ✚ Environnement de programmation clair et simple.
- ✚ Multiplate forme : fonctionne sous Windows, Macintosh et Linux.
- ✚ Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- ✚ Logiciel et matériel open source et extensible.
- ✚ Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso, etc.).

### ► Les différents types de l'Arduino

Les modules d'origine des différentes versions de l'Arduino sont fabriqués par la société italienne Smart Project mais ils existent d'autres marques qui ont été conçues par la société américaine SparkFun Electronics. Plusieurs versions des cartes Arduino ont été produites et vendues dans le monde, on peut citer :

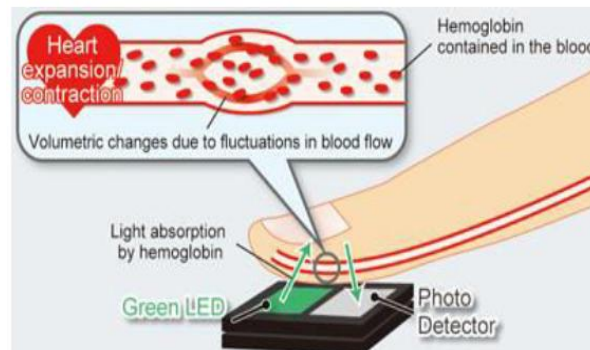
- ✚ ARDUINO NANO
- ✚ LILYOAP ARDUINO
- ✚ ARDUINO BLUETOOTH (BT):
- ✚ ARDUINO MEGA
- ✚ ARDUINO UNO
- ✚ ARDUINO ETHERNET
- ✚ ARDUINO LEONARDO
- ✚ ARDUINO DUE

#### IV.1.1 .1.2 Le capteur de température LM35

LM35 est un capteur à circuit intégré qui peut être utilisé pour mesurer la température avec un signal électrique proportionnel à la température (en ° C). Le circuit capteur est scellé et non soumis à l'oxydation, etc. Il a une tension de sortie proportionnelle à la température

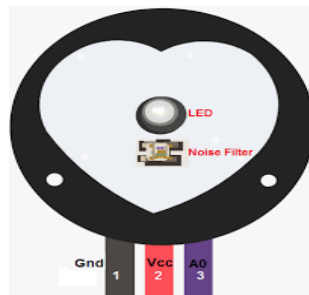


sanguin est déterminé par la fréquence des pulsations cardiaques et comme la lumière est absorbée par le sang, les impulsions de signal sont équivalentes aux pulsations cardiaques.



**Figure IV.5 :** Le principe de fonctionnement du capteur Heart Beat

Ci-dessous le brochage du capteur Heart Beat avec lequel on a travaillé dans notre projet.



**Figure IV.6 :** le capteur de pulsation (HBS :Heart Beat Sensor) .

Le capteur de pouls a trois points de connexions comme indiqué sur la figure IV.5 :

- Le premier, est le fil de couleur rouge c'est le fil d'alimentation, il accepte une valeur de tension entre + 3V et + 5V.
- Le fil noir représente la connexion à la terre (GND).
- Le fil bleu est responsable du transfert du signal du capteur vers l'Arduino UNO

#### IV.1.1 .1.4 le capteur ECG

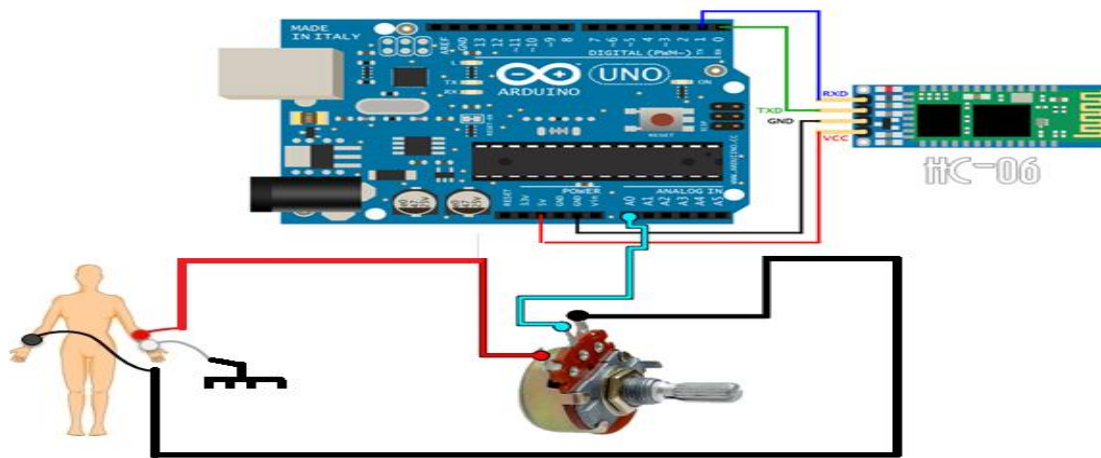
L'électrocardiogramme (ECG) est la représentation graphique du potentiel électrique qui commande l'activité musculaire du cœur, ce potentiel est recueilli par des électrodes convenablement placées à la surface de la peau.

A chaque battement du cœur, une onde électrique est envoyée. Cette onde permet la contraction du muscle cardiaque qui permet elle-même de transmettre le sang aux autres organes du corps humain. Cette onde peut être irrégulière, ce qui peut être symptomatique d'un trouble cardiaque. Le rôle de l'ECG est de détecter cette anomalie, ou de vérifier que les impulsions électriques du cœur sont normales.

Un pont diviseur de tension est formé de deux résistances. Le but du pont diviseur est de fournir une tension plus petite à partir d'une tension plus grande. Par exemple, on peut souhaiter créer une tension qui vaut la moitié ou le dixième de la tension d'origine

Le capteur ECG AD8233 comporte six diviseurs de tension. Chaque diviseur de tension est utilisé pour mesurer la différence de potentiel entre deux points

Un potentiomètre est un diviseur de tension, donc au lieu de monter le potentiomètre avec la carte Arduino, nous mesurons la différence de potentiel entre deux points du corps humain pour obtenir une tension similaire à celle du capteur RCG comme c'est illustré dans le schéma ci-dessous



**Figure IV.7:** Mesure de la différence de potentiel entre deux points

#### IV.1.1 .1.5 Bluetooth

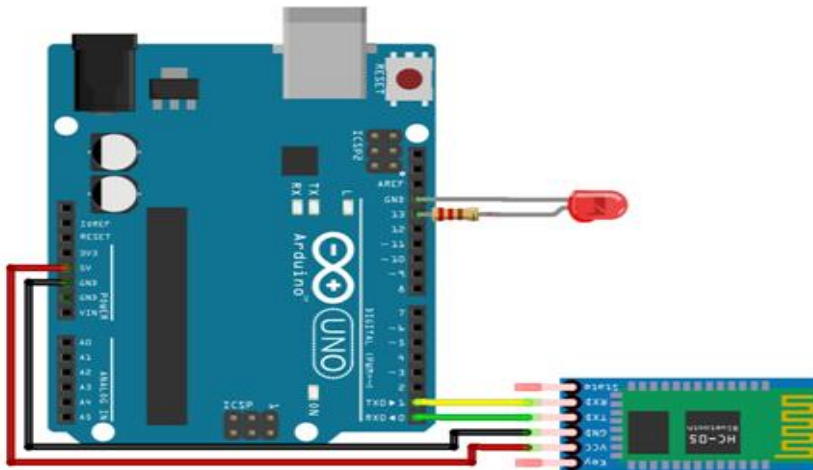
Arduino Bluetooth HC-06 (voir Figure IV.7) a quatre points de connexion, ce sont VCC, GND, TXD et RXD. Les quatre points de connexion doivent être connectés à la carte UNO afin de terminer l'opération d'envoi des lectures des valeurs captées à l'application via le HC-06. De plus, le périphérique Bluetooth est connecté à la carte Arduino via les fils suivants:

- Connexion de la broche Bluetooth VCC à la broche 5V sur la carte Arduino.
- Connexion de la broche Bluetooth GND à la broche GND sur la carte Arduino.
- Connexion de la broche Bluetooth TXD à la broche RXD sur la carte Arduino.
- Connexion de la broche Bluetooth RXD à la broche TXD sur la carte Arduino



**Figure IV.8 :** Bluetooth HC-06

Voici les connexions avec Arduino



**Figure IV.9** Arduino-Bluetooth

#### IV.1.1 .1.6 Le module ESP8266

L'ESP8266 est un circuit intégré avec un microcontrôleur permettant la connexion en WiFi. Les modules intégrant ce circuit sont très utilisés pour contrôler des périphériques par Internet. L'ESP8266 est livré avec un firmware préinstallé qui permet d'en prendre le contrôle à l'aide de « commandes AT » standards pouvant provenir d'une carte Arduino avec qui il peut communiquer par liaison série.



**Figure IV.10** Module ESP8266

#### IV.1.1 .1.7 Le module GSM SIM800L

Le module GSM SIM800L est l'un des plus petits modules GSM du monde avec une taille de 2.2 cm x 1.8 cm. C'est un module puissant qui démarre automatiquement et recherche automatiquement le réseau. Il inclut notamment le Bluetooth 3.0+EDR et la radio FM (récepteur uniquement). Il permet d'échanger des SMS, de passer des appels mais aussi, et c'est nouveau, de récupérer de la data en GPRS 2G+. Au dos, il a un emplacement SIM sur lequel on insère une micro-Sim. Lorsqu'il reçoit suffisamment de puissance, le voyant d'alimentation à bord doit s'allumer.



**Figure IV.11:** Le module SIM800L

Il possède les caractéristiques suivantes :

- Tension: 3.7-4.2V.
- Courant de crête: 2A.
- Interface de commande AT.
- Quadri-bande 850/900/1800 /1900 MHz.
- Envoyer et recevoir des messages SMS.
- Envoyer et recevoir des données GPRS (TCP / IP, http, etc.).

Il y a 7 broches au total sur le SIM800L, qui sont utilisés pour interfacer avec Arduino.

**VCC** : entrée de tension d'alimentation externe pour SIM800L.

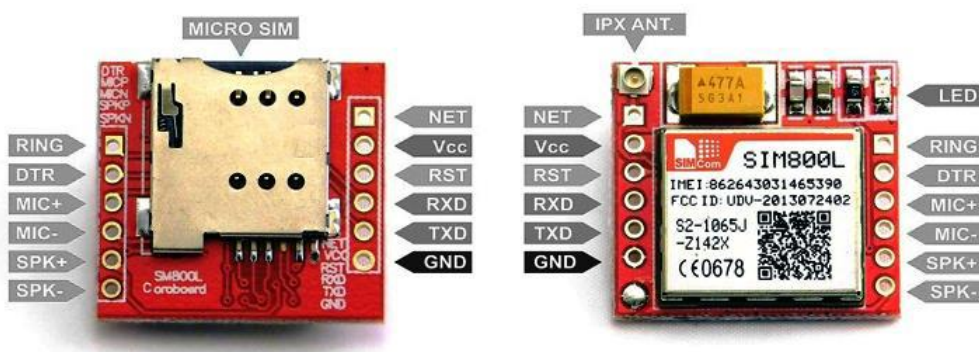
**GND** : masse externe pour SIM800L.

**VDD** : Microcontrôleur Entrée tension d'alimentation pour SIM800L.

**RST** : broche de réinitialisation pour SIM800L.

**RXD** : communication série (broche du récepteur).

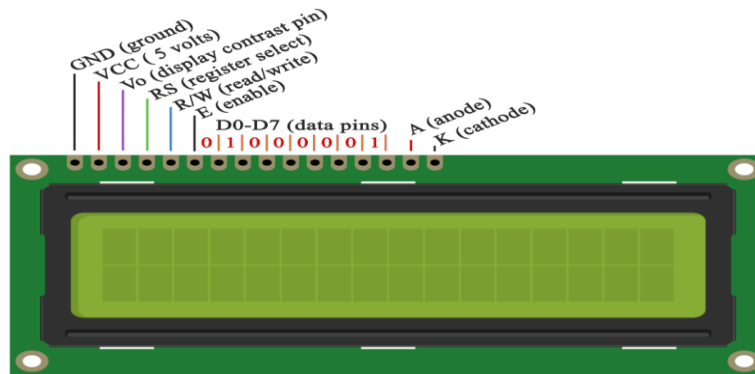
**TXD** : communication série (Pin de transfert).



**Figure IV.12 :** Le brochage du module GSM SIM800L

### IV.1.1 .1.8 Afficheur LCD

Un des éléments permettant d'afficher des informations les plus utilisés dans le monde Arduino est l'écran à cristaux liquide (Liquid Crystal Display) LCD 16×2 (16 colonnes et 2 lignes) .Les afficheurs à cristaux liquides utilisent la propriété de modulation de lumière des cristaux liquides. L'écran LCD 16×2 présente 16 broches pour permettre la gestion de l'affichage comme le montre la figure ci-dessous.



**Figure IV.13** Afficheur LCD 16\*2 avec les broches de connexion

## IV.1.2 La partie Logicielle

Le système proposé ci-dessus est mis en œuvre à l'aide des outils de développement de système suivants:

- Création d'un projet au niveau de la plateforme Firebase du cloud Google Firebase qui va héberger notre Base de données partagée.
- Programmation Arduino : L'environnement de développement intégré IDE Arduino.
- Programmation Android : L'environnement de développement MIT App Inventor.

### IV.1.2.1 Firebase

Dans notre projet on va créer une seule base de données au niveau de la plateforme Firebase et qui va être accessibles par les différents utilisateurs.

Google Firebase est une plateforme de développement d'applications pour le web ou pour mobiles. C'est un backend en tant que service (Baas). Elle fournit des outils sous forme de services pour la création d'applications mobiles.

La technologie utilisée est la base de données temps réel noSQL (Realtime DataBase). Hébergée dans le Cloud, elle stocke et elle synchronise les données utilisateurs en temps réel. A l'aide d'une simple API, Firebase fournit à l'application les valeurs actuelles des données et les rafraîchit automatiquement. Par ce biais, la plateforme permet en outre de gérer

l'authentification des utilisateurs, de tester son application sur toutes les plateformes (web, iOS, Android), d'effectuer des mises à jour à distance, L'utilisateur dispose de Google Analytics qui dresse des rapports sur l'expérience utilisateur et permet par exemple de déclencher des notifications en conséquence.

Lancé en 2011 sous le nom d'Envolv, par Andrew Lee et par James Templin, le service est racheté par Google en octobre 2014. Il appartient aujourd'hui à la maison mère de Google : Alphabet<sup>2</sup>.

#### IV.1.2.1.1 Création et configuration d'un projet Firebase

Ci-dessous les principales étapes de création d'un projet avec Firebase.

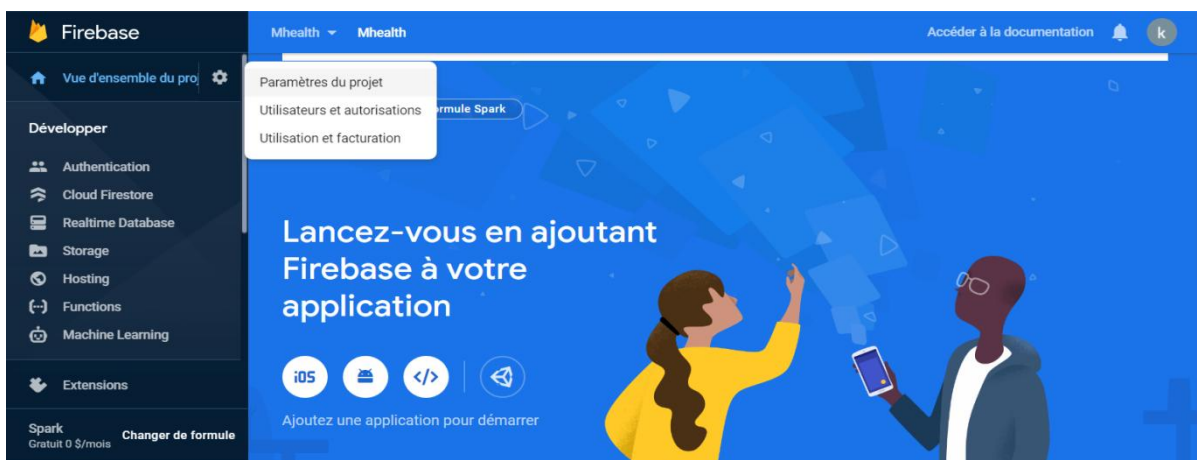
✚ Renseigner le nom du projet



✚ A la fin on obtient

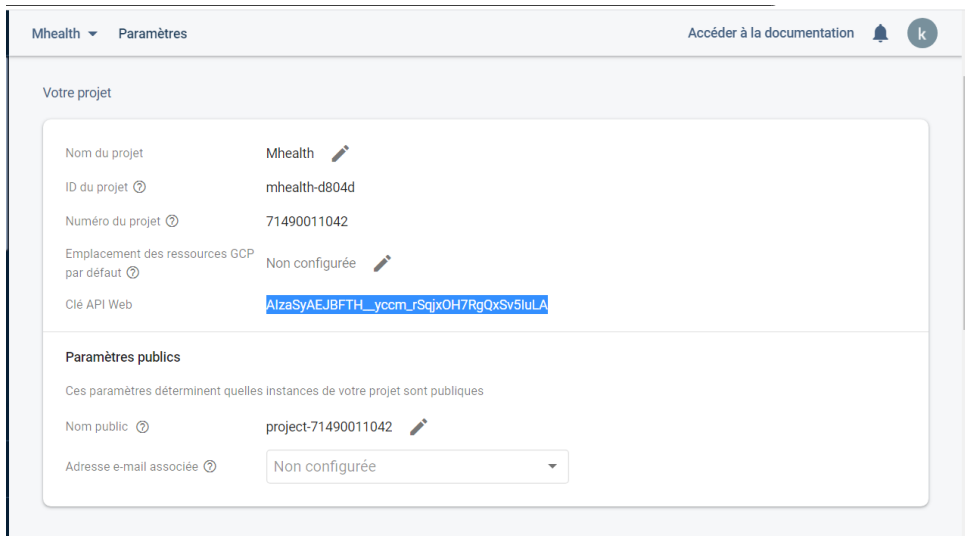


✚ Notre projet créée, on doit aller vers paramètres

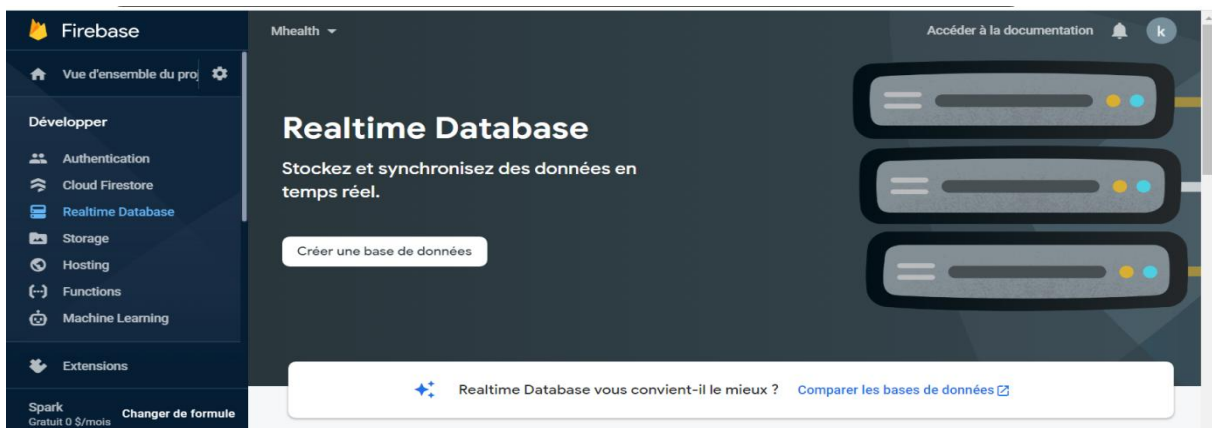


<sup>2</sup> **Alphabet Inc.** est une entreprise américaine basée en Californie, créée en 2015 comme un conglomérat de sociétés précédemment détenues par la société Google. Selon les fondateurs de Google, le but de cette structure est de décharger la société historique des activités ne représentant pas son cœur de métier,

- Sur cet écran on trouve tous les paramètres de notre projet, entre autre on trouve la clé API (elle est sélectionnée sur la capture d'image en dessous) et qui doit être sauvegardée pour l'utiliser ultérieurement dans notre projet App Inventor.



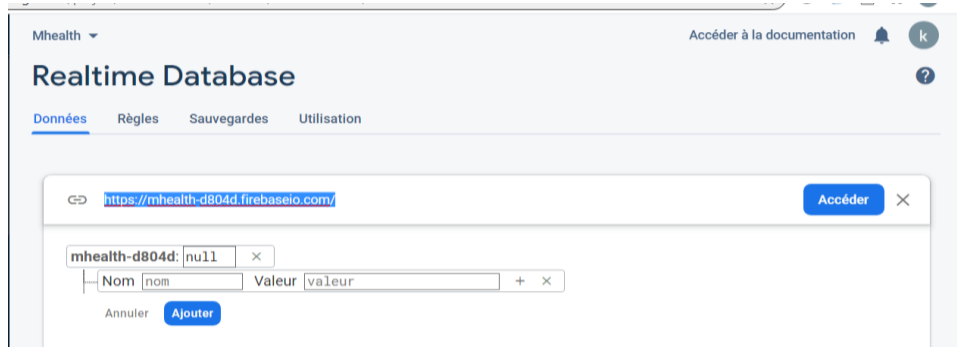
- On passe à l'étape de création d'une Base de données Realtime



- Puisqu'on est sur un projet d'expérimentation nous avons choisi une BD Test



- ✚ Notre BD est créée, il faut rappeler que c'est une BD noSQL , sur cet écran on trouve aussi l'URL de notre projet qui doit être sauvegardée aussi comme l'API afin d'établir ultérieurement le lien avec notre application.



- ✚ Dans cet espace on peut modifier les règles de sécurité de notre BD

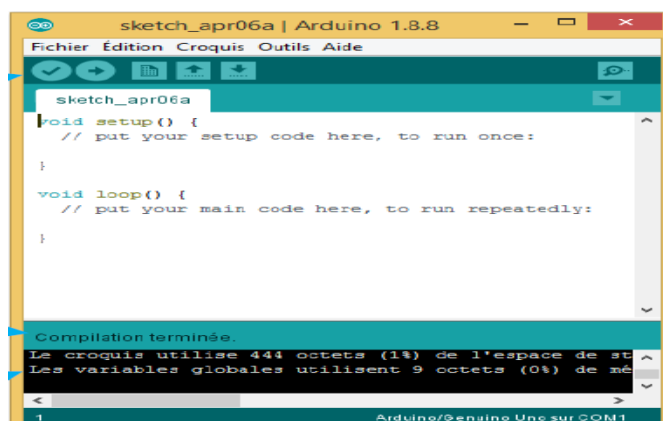


## IV.1.2. 2 Programmation Arduino

### IV.1.2.2.1 L'environnement de développement de L'Arduino

Cet environnement de développement est disponible gratuitement (open source) pour les ordinateurs fonctionnant sous Linux, Windows et Mac OSX.

Ce qui le caractérise par rapport aux autres environnement de développement avec lesquels on a l'habitude de travailler autant qu'informaticiens, c'est le fait de pouvoir televerser ou bien injecter le programme -via le port série qui le relie au PC- dans un microcontrôleur réel qu'est Arduino ,Il possède aussi un outil très important qu'est ce qu'on appelle « Moniteur série qui est une console spéciale qui permet d'afficher les résultats sortant du port série en temps réel.



#### IV.1.2.2.2 Structure d'un programme Arduino

Un programme destiné à l'Arduino est composé par deux fonctions principales :

##### ✚ La fonction setup()

Elle contient les instructions d'initialisation de certaines ressource de la carte Arduino à titre d'exemple la déclaration des entrées sorties, la vitesse de fonctionnement du port série ...etc. la fonction setup s'exécute seulement une fois juste après le lancement de programme.

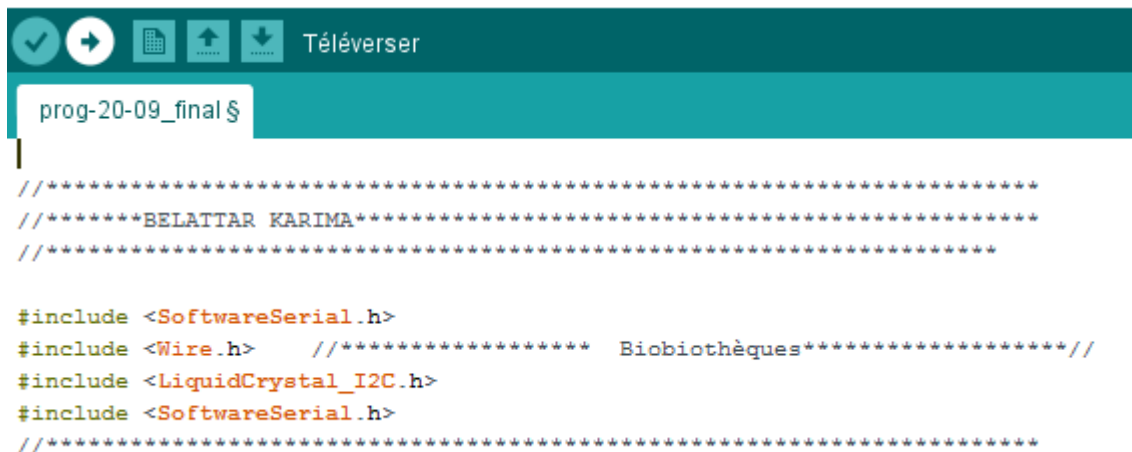
##### ✚ La fonction loop() :

Elle contient les instructions qui seront indéfiniment répétées tant que l'Arduino est sous tension.

#### IV.1.2.2.3 Le code de notre programme Arduino

Dans ce qui suit nous allons commenter chaque partie de notre programme

- ✚ Tout d'abord on doit inclure les bibliothèques des modules additif à l'arduino et utilisées dans notre programme, par exemple « SoftwareSerial.h » est la bibliothèque du module SIM800L.



```

prog-20-09_final §
//*****
//*****BELATTAR KARIMA*****
//*****

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h> //***** Biobibliothèques*****//
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
//*****

```

- ✚ Ici on a défini nos constantes :

- la première ligne définit l'URL de notre projet Firebase
- la deuxième ligne définit le nom de notre réseau wifi par le biais duquel le module ESP8266 va accéder à Internet
- la troisième ligne définit le mot de pass de notre réseau wifi

```

//*****
#define FIREBASE_HOST "https://proj4-355c3.firebaseio.com/"
#define WIFI_SSID "zaki_zaki2" // Change the name of your WIFI
#define WIFI_PASSWORD "zaki2222" // Change the password of your WIFI
//*****

```

- ✚ Ici on a défini en premier lieu le numéro du pin analogique sur lequel est branché le capteur LM 35 qui est A1 puis on a défini les variables qu'on va utiliser pour calculer la température captée

```

//*****
int lm35 = A1; // température
float temp;
float tempc; //***** température*****//
float tempf;|
//*****

```

- ✚ Ici on a défini le numéro du pin analogique sur lequel est branché le potentiomètre qui est A0 puis on a défini les variables qu'on va utiliser pour calculer la tension ECG

```

//*****
int pot = A0; // potentiometre
float ECG_pot; //***** ECG*****//
float ECG;
//*****

```

- ✚ Ici on a défini le numéro du pin numérique sur lequel est branché le capteur HeartBeat qui est le pin numéro 12 puis on a défini les variables qu'on va utiliser pour calculer le nombre de pulsations cardiaques.

```

//*****
int heart_rate=12;
float val_heart_rate;
int rate=0; //*****//
unsigned long time2,time1; //*****//
unsigned long time; //*****Heart Rate Sensor *****//
byte heart[8] = { //*****//
  0b00000,
  0b01010,
  0b11111,
  0b11111,
  0b11111,
  0b11111,
  0b01110,
  0b00100,
  0b00000
};
//*****

```

- ✚ La fonction sim() détermine les numéros de pin numériques sur ARDUINO sur lesquels sont branchés le module SIM800L. Le numéro de téléphone affecté à la variable « number » est mon numéro de téléphone personnel mais dans notre système il représente celui du médecin qui doit être notifié par SMS lorsqu'un paramètre physiologique dépasse un seuil prédéterminé

```

//*****
//*****
//*****
SoftwareSerial sim(10, 11); //*****GSM*****//
int _timeout;
String _buffer;
String number = "+213557487194"; //-> change with your number
//*****

```

- ✚ Ici on est dans la fonction setup() à l'intérieur de laquelle les instructions s'exécutent une seule fois. Ces instructions permettent de faire la connexion wifi et on a envoyé un message « Connecting » sur le moniteur série

```

//*****
void setup() {
//*****
//*****
  // connection wifi
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("connecting");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { // connection wifi
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
//*****

```

- ✚ La fonction pinMode détermine si un pin particulier sert pour la lecture ou l'écriture, dans notre cas on définit les pins sur lesquels sont branchés nos trois capteurs sur « INPUT » pour dire que c'est à travers ces pin que l'ARDUINO va lire les valeurs captées, on a aussi défini la vitesse de transmission du port série sur 9600

```

//*****
pinMode(lm35, INPUT);
pinMode(pot, INPUT);
pinMode(heart, INPUT);
lcd.begin();
lcd.backlight();
Serial.begin(9600);
//*****

```

- ✚ Ici on a défini un petit menu qui permet d'envoyer ou de recevoir une notification par SMS

```

//*****
delay(2000); // attendre 2 secondes pour être sûr que les modules ont reçu le signal
_buffer.reserve(50);
Serial.println("System Started..."); //*****GSM*****//
sim.begin(9600);
delay(1000);
Serial.println("Type s to send an SMS, r to receive an SMS, and c to make a call , f display");

//*****
.....

```

- ✚ Ici on est à l'intérieur de la fonction loop() : on trouve un appel à la fonction afficher() et on envoie un message de notification au médecin si la température dépasse la valeur 40

```

//*****
void loop() {
//*****
  afficher();
  if(tempc>40){
    SendMessage();
  }
  if (sim.available() > 0)
    Serial.write(sim.read());
//*****

```

- ✚ Ce block d'instruction est responsable de l'envoi et de la mise à jour des valeurs captées dans la base de données Firebase

```

//*****
Firebase.setFloat("rate", rate);
Firebase.setFloat("temp", tempc);
Firebase.setFloat("ECG", ECG);
if (Firebase.failed()) {
  Serial.print("Erreur /Verifier la connexion:");
  Serial.println(Firebase.error());
  return;
}
delay(1000);
// MAJ des valeurs envoyées à Firebase
Firebase.setFloat("rate", rate);
Firebase.setFloat("temp", tempc);
Firebase.setFloat("ECG", ECG);
Firebase.setString("les valeurs sont envoyées vers la base de données");
delay(1000);
// set bool value
Firebase.setBool("valeur", false);
// handle error
if (Firebase.failed()) {
  Serial.println(Firebase.error());
  return;
}
//*****

```

- ✚ Cette fonction est responsable de l'envoi d'un SMS de notification au numéro défini précédemment dans la variable « number »

```

//*****
// La fonctions SEND SMS
//*****
void SendMessage()
{
  sim.println("AT+CMGF=1"); //Sets the GSM Module in Text Mode
  delay(100);
  sim.println("AT+CMGS=\"" + number + "\"\r"); //Mobile phone number to send message
  delay(100);
  String SMS = " la température très élevée";
  sim.println(SMS);
  delay(100);
  sim.println((char)26); // ASCII code of CTRL+Z
  delay(100);
  _buffer = _readSerial();
}
//*****

```

- ✚ Cette fonction est responsable de la réception d'un SMS de notification

```

//*****
// La fonctions RECEIVE SMS
//*****
void RecieveMessage()
{
  Serial.println ("SIM800L Read an SMS");
  delay (100);
  sim.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0"); // AT Command to receive a live SMS
  delay(100);
  Serial.write ("Unread Message done");
}
String _readSerial() {
  _timeout = 0;
  while (!sim.available() && _timeout < 12000 )
  {
    delay(13);
    _timeout++;
  }
  if (sim.available()) {
    return sim.readString();
  }
}

```

- ✚ Cette fonction récupère les valeurs captées, applique les formules adéquates pour chaque paramètre physiologique capté pour pouvoir les afficher et sur le moniteur série et sur l'écran LCD.

```

void afficher() {
//*****
temp=analogRead(lm35);
tempc=(temp*5)/10; //***** température en °C*****//
tempf=(tempc*1.8)+32; //***** température en °F*****//
//*****
ECG_pot=analogRead(pot);
ECG=(ECG_pot*2)/8-28; //***** ECG *****//
//*****
time1=millis();
time2=millis();
rate=time2-time1;
rate=rate/5;
rate=60000/rate;
//*****
Serial.print("Heart Beat Rate:");
Serial.println(rate);
Serial.print("Temp in deg Celcius = ");
Serial.println(tempc);
Serial.print("ECG = ");
Serial.println(ECG);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Temp in C = ");
lcd.println(tempc);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("ECG = ");
lcd.println(ECG);
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("NBr puls = ");
lcd.print(rate);
delay(2000);
lcd.clear();
//*****
}

```

### IV.1.2.3 Programmation Android

#### IV.1.2.3.1 Présentation MIT App Inventor 2

« *App Inventor* » pour Android est une application développée par Google. Elle est actuellement entretenue par le Massachusetts Institute of Technology (MIT). Elle simplifie le développement des applications sous Android. Elle est basée sur une interface graphique similaire à « *Scratch* ». Google a publié l'application le 15 décembre 2010 et a mis fin à son activité le 31 décembre 2011. Depuis, c'est le centre d'études mobiles au MIT qui gère le support technique de cette application sous le nouveau nom « *MIT App Inventor* ».

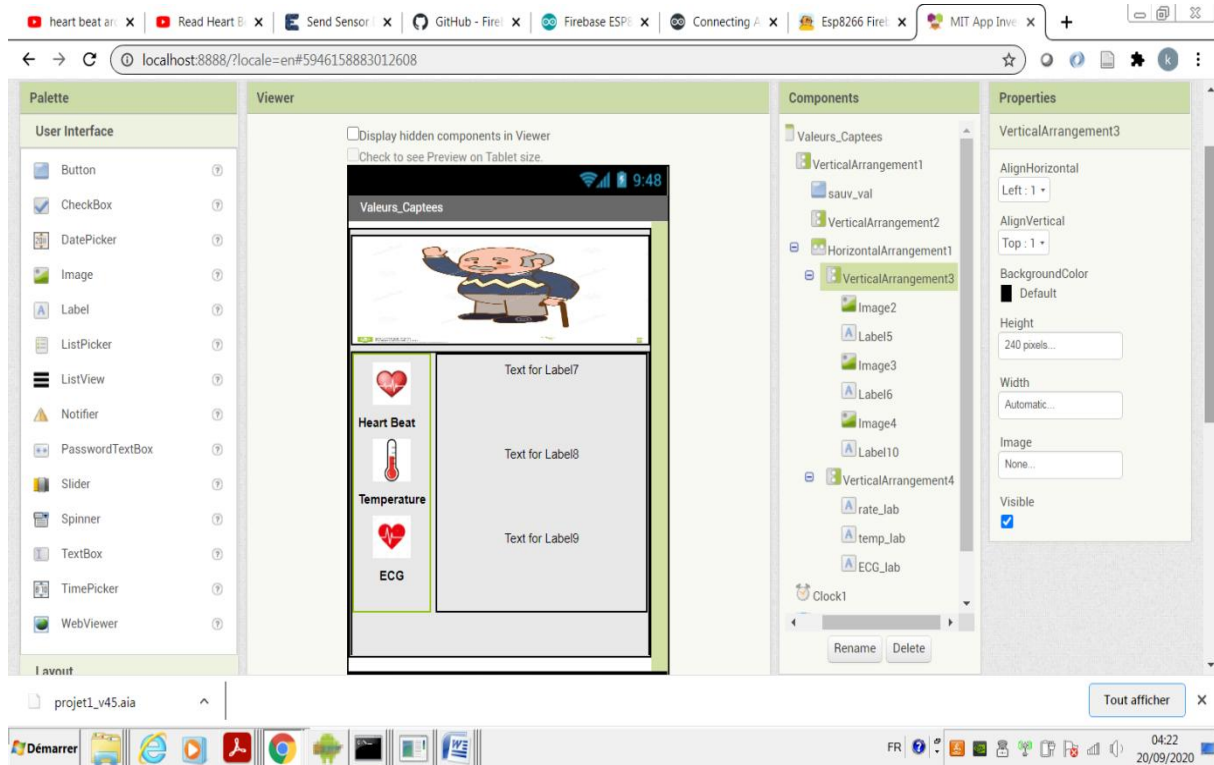
« *MIT App Inventor* » se compose de deux parties

#### ✚ Partie « *Designer* »

C'est la partie de création de l'interface et les différents écrans dans une application mobile. Elle contient tous les éléments possibles qui peuvent intervenir lors de l'exécution d'un projet ou d'une activité. Elle contient des composants visibles dans l'écran comme ; les boutons, les

étiquettes, les tableaux ...etc. Et aussi des composants invisibles comme ; le Bluetooth Server, l'horloge (Clock), camera, FirebaseDB.

Ci-dessous l'écran qui permet d'afficher les valeurs captées en mode conception



### Partie « Blocs »

Cette partie est responsable de la programmation des composants. Elle utilise des fonctions et des boucles écrites en langage humain, sans avoir besoin d'utiliser ou bien de retenir une structure ou un code de programmation précis. Elle ouvre la porte à notre imagination sans limite. La difficulté réside juste dans l'enchaînement des idées pour obtenir un résultat fiable et assuré et de savoir quel est le bon bloc pour effectuer la tâche voulue.

### IV.1.2.3.2 Exemples de code de bloc de notre application

Ci-dessous les blocs qui permettent la connexion de l'application au module bluetooth

```

when ListPicker1 . BeforePicking
do set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames

when ListPicker1 . AfterPicking
do if call BluetoothClient1 . Connect address ListPicker1 . Selection
then set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames
    
```

Ci-dessous les blocs qui permettent d'afficher sur l'application du patient les valeurs captées en temps réel envoyées par notre programme Arduino via le module Bluetooth

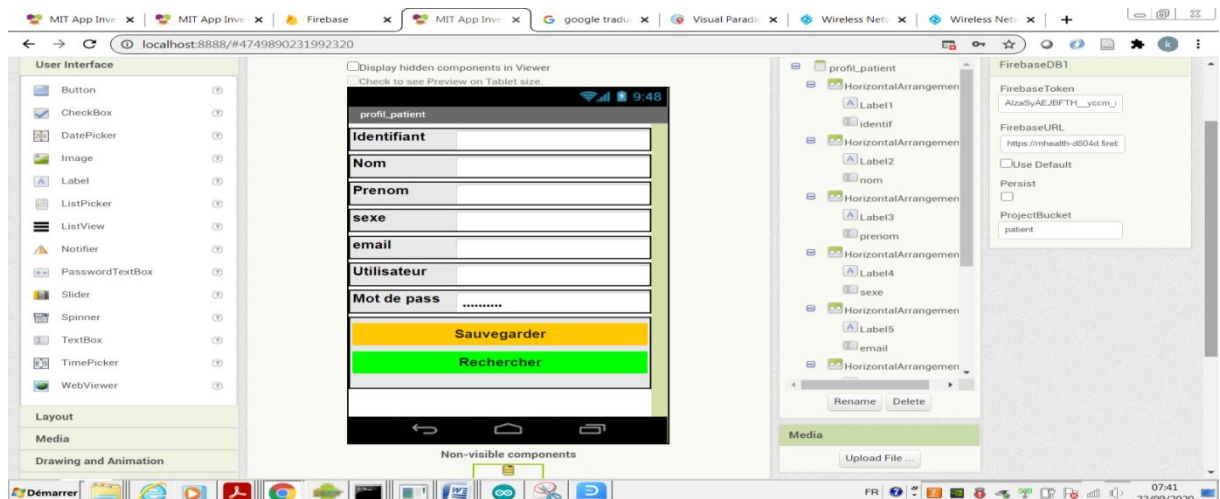
```

initialize global list to create empty list
initialize global input to ""

when Clock1 . Timer
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then if call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive > 0
then set global input to call BluetoothClient1 . ReceiveText
      numberOfBytes call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive
      set global list to split text get global input
      at " "
      set rate_lab . Text to select list item list get global list
      index 1
      set temp_lab . Text to select list item list get global list
      index 2
      set ECG_lab . Text to select list item list get global list
      index 3
      set global input to ""
      set global list to create empty list
    
```

### IV.1.2.3.3 Configuration Firebase

Cet écran représente le screen par le biais duquel on sauvegarde et on récupère les valeurs de la table patient vers et depuis Firebase



✚ En haut et à droite de ce screen on trouve les paramètres Firebase qu'il faut remplir pour établir la connexion avec celui-ci on trouve :

- FirebaseToken : Corresponds à la clé API récupérée lors de la création du projet
- FirebaseUrl : Corresponds à l'URL du projet récupérée lors de la création du projet

**Properties**

**FirebaseDB1**

**FirebaseToken**  
AlzaSyAEJBFTH\_\_yccm\_

**FirebaseURL**  
https://mhealth-d804d.firebaseio.com

Use Default

**Persist**

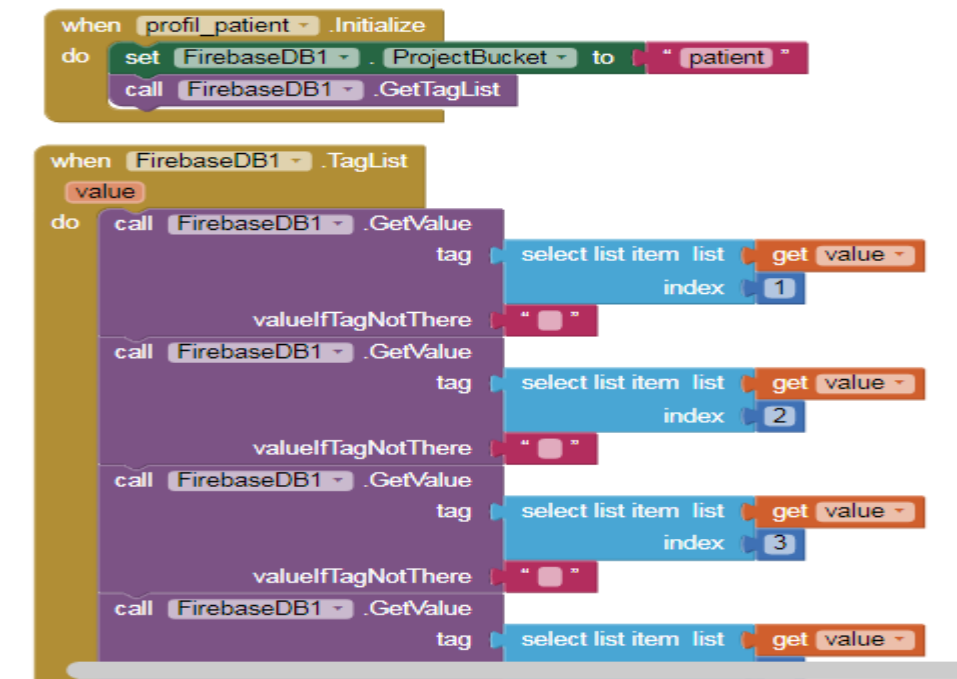
**ProjectBucket**  
patient

✚ Ci-dessous les blocs correspondant au screen précédent et qui permettent de sauvegarder et de récupérer les informations de la table « patient » depuis et vers la plateforme Firebase.

```

when Button1.Click
do
  set FirebaseDB1.ProjectBucket to "patient"
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "identif"
  valueToStore identif.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "nom"
  valueToStore nom.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "prenom"
  valueToStore prenom.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "sexe"
  valueToStore sexe.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "email"
  valueToStore email.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "user"
  valueToStore user.Text
  call FirebaseDB1.StoreValue
  tag "motpass"
  valueToStore PasswordTextBox1.Text
]

when FirebaseDB1.GoValue
tag value
do
  if get tag == "identif"
  then set identif.Text to get value
  if get tag == "nom"
  then set nom.Text to get value
  if get tag == "prenom"
  then set prenom.Text to get value
  if get tag == "sexe"
  then set sexe.Text to get value
  if get tag == "email"
  then set email.Text to get value
  if get tag == "user"
  then set user.Text to get value
  if get tag == "motpass"
  then set PasswordTextBox1.Text to get value
  
```



## IV.2 Test et Evaluation

Notre application est une application multi-utilisateurs avec un accès personnalisé et authentifié pour chaque utilisateur.

### IV.2.1 Interface principale

✚ Voici l'interface principale de notre application

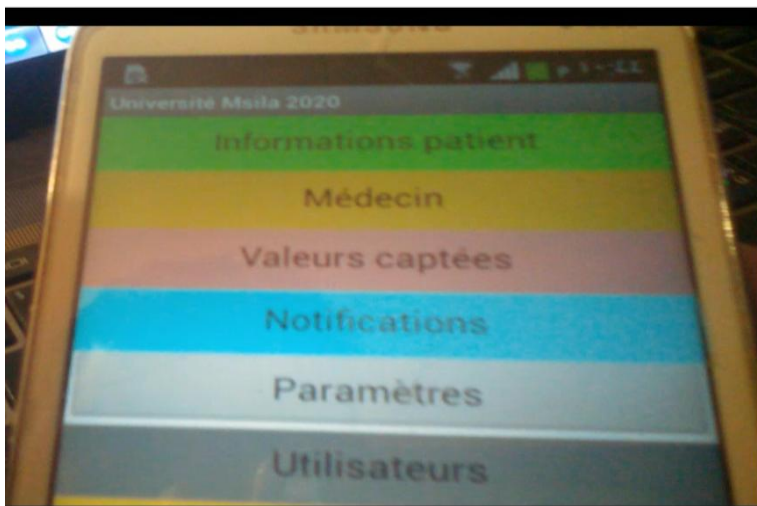
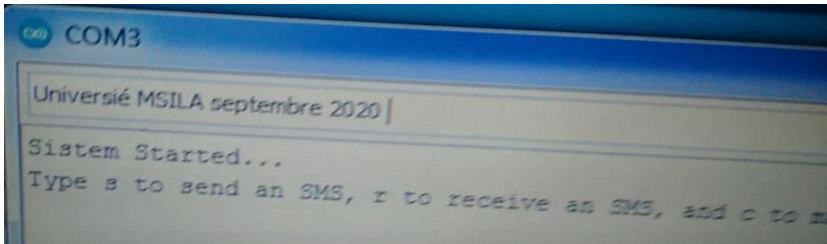


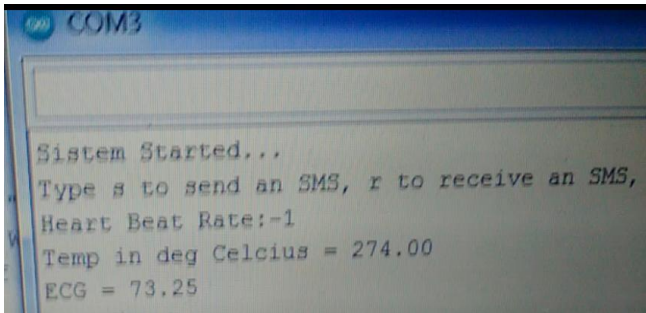
Figure IV.14 : Interface principale

- ✚ Des qu'on branche notre système sur une source d'alimentation le système démarre comme on le voit sur le moniteur série



#### IV.2.2 Affichage des valeurs captées sur le moniteur série

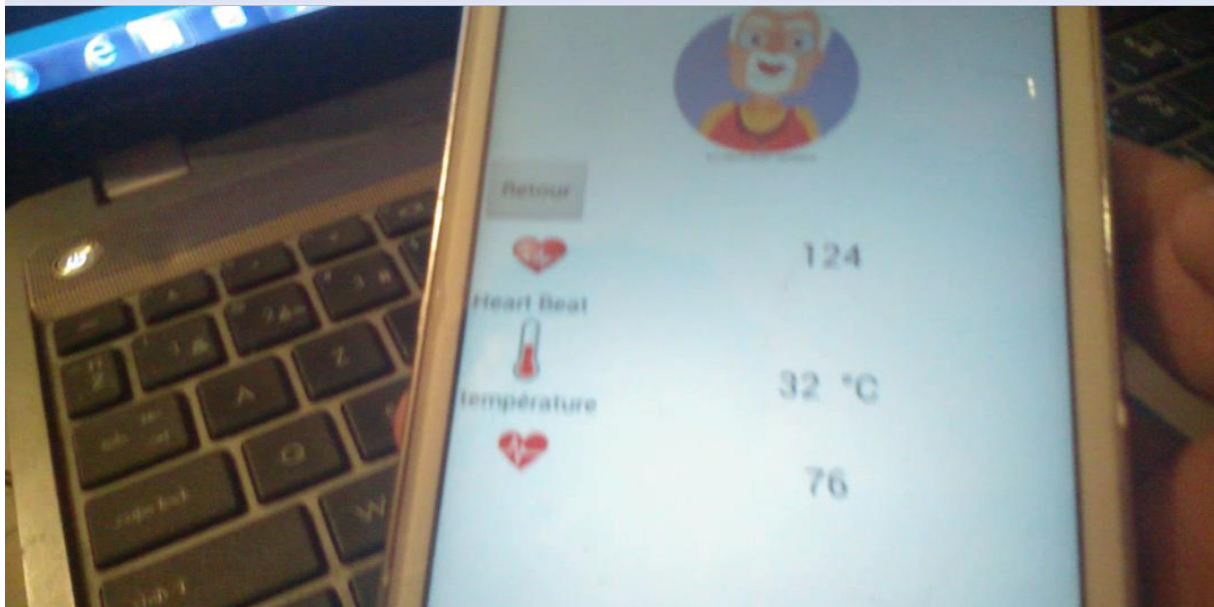
- ✚ Les valeurs captées commencent à s'afficher en temps réel sur le moniteur série.



**Figure IV.15** Affichage des valeurs captées sur le moniteur série

#### IV.2.3 Affichage des valeurs captées sur l'interface du patient

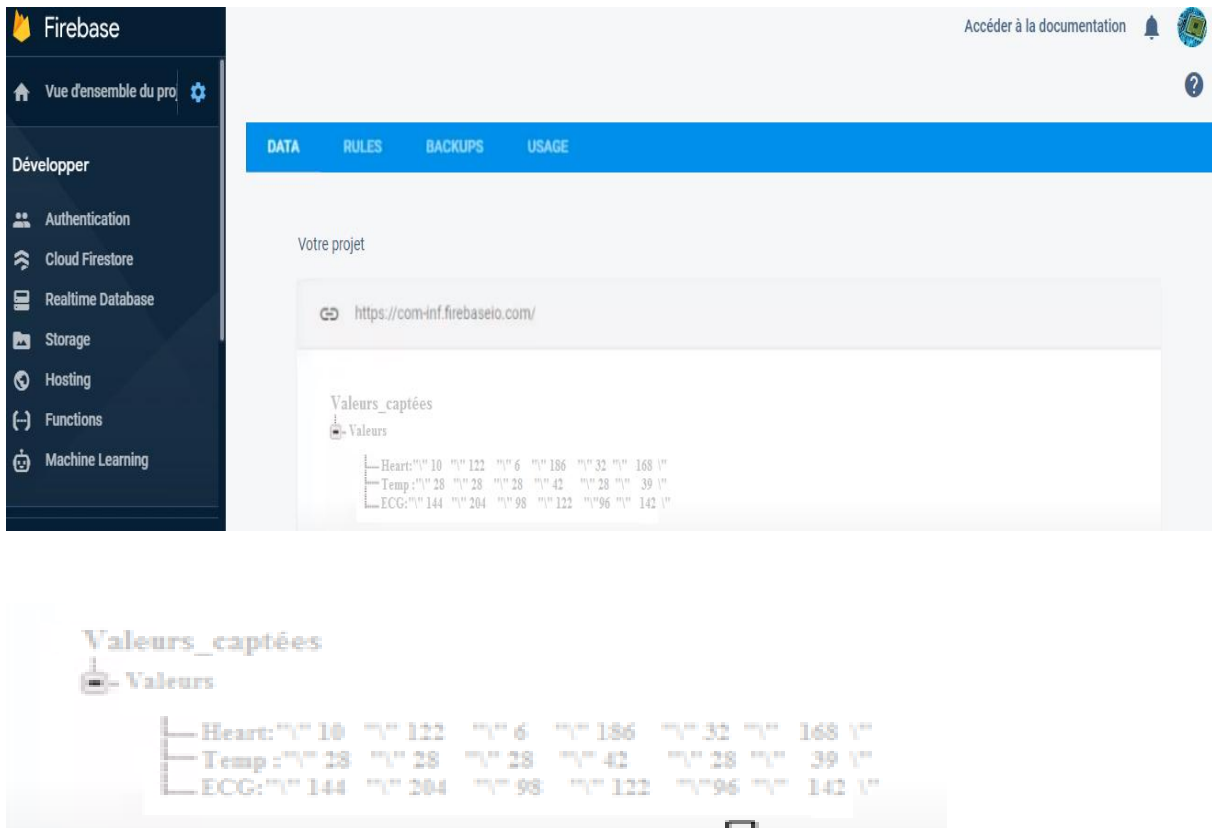
- ✚ les valeurs captées s'affichent aussi en temps réel sur l'interface du patient



**Figure IV.16** Affichage des valeurs captées sur l'interface du patient

### IV.2.3 Affichage des valeurs captées sur la plate forme Firebase

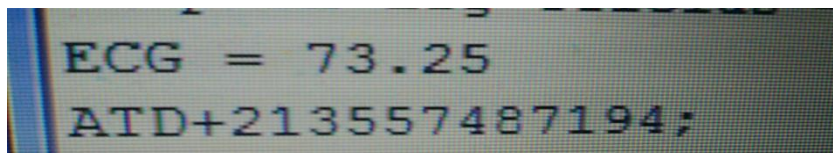
- ✚ les valeurs captées s'affichent aussi en temps réel sur la plate forme Firebase hébergée dans le cloud Google



**Figure IV.17** Affichage des valeurs captées sur la plate forme Firebase

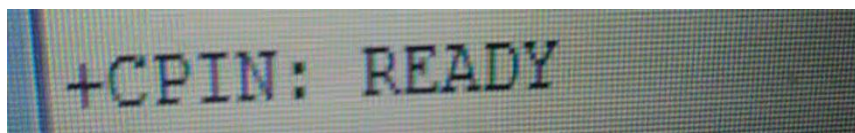
### IV.2.4 Envoi SMS de notification

- ✚ Envoi SMS notification pour le médecin lorsque la température du patient dépasse 40 (vu précédemment dans le programme arduino), on voit afficher sur le moniteur série le numéro du destinataire qu'on suppose le médecin



**Figure IV.18** Envoi SMS de notification

- ✚ Le système nous informe que la puce Sim se trouvant dans le module SIM800L est prête pour l'envoi



### IV.2.5 Réception du message de notification

- Le message est reçu par le destinataire, le numéro qui figure sur cet écran est celui du système (le numéro de la puce qu'on a inséré dans le module SIM800L)



**Figure IV.19** Message de notification reçu

## Conclusion

Cette partie de notre projet a été la phase la plus dure et la plus contraignante de notre projet de fin d'étude vu qu'il fallait maîtriser plusieurs environnements de développement différents, faire face aux limites et bugs de l'Internet, acquérir des notions fondamentales en électronique, comprendre le fonctionnement des différents capteurs et assimiler les formules de calculs de leurs valeurs, retrouver les bonnes bibliothèques des modules de communication ajoutés à l'Arduino comme le module SIM800L, le module ESP8266 et tant et tant d'autres difficultés, mais en contrepartie elle a été la phase la plus riche en matière d'apprentissage et de défis à relever. Les fonctionnalités les plus importantes du système sont fonctionnelles, mais il reste beaucoup à faire et à ajouter.

## References

---

[62] <https://firebase.google.com/>

[63] <https://www.arduino.cc/>

[64] <https://appinventor.mit.edu/>

## Conclusion Générale

Le marché de mHealth va continuer à se développer à grande échelle dans les années à venir non pas pour se substituer au rôle de médecin mais pour constituer une plateforme d'assistance au corps médical. Les applications de santé mobiles gagnent de jour en jour du terrain dans le secteur de la santé.

Ce travail avait comme objectif le développement d'une application de surveillance Mhealth d'une personne âgée à domicile. D'abord, on a commencé par l'étude des différents travaux récents en mettant l'accent sur les architectures et les technologies utilisées ce qui a fait ressortir l'intérêt de ce type d'application et l'évolution de ces architectures en fonction des technologies émergentes comme l'IoT avec son nouveau protocole de communication à distance le MQTT et les systèmes cloud .

La solution cloud qui a été d'un apport considérable dans ce domaine, est entrain de s'imposer comme une alternative aux systèmes précédents, car elle permet la création d'applications multi-utilisateurs avec une infrastructure de stockage centralisée et illimitées dans la capacité de stockage , enrichie par toute sorte de fonctionnalités nouvelles et administrées par des prestataires de services employant les dernières technologies, par ailleurs le cloud hébergeant les bases de données de ces systèmes déploient des serveurs très puissants permettant d'alléger les processus de traitement et d'analyse qui étaient auparavant à la charge de l'application mobile , cette solution affranchit aussi les développeurs de ce type d'application de beaucoup de contraintes matérielles ou logicielles auxquelles il leur incombait la gestion.

Malgré les avantages que peut apporter le Cloud pour les institutions médicales, les problèmes de sécurité et de confidentialité représentent l'obstacle majeur à l'adoption du Cloud Computing par le domaine médical. En effet, pour bénéficier du Cloud Computing, les institutions médicales doivent déplacer les données sensibles de leurs patients vers un serveur tiers. Le déplacement des données vers le Cloud Computing, implique le déplacement du contrôle de ces données vers le fournisseur de service définitivement. Mais cela ne veut nullement dire que c'est une bataille perdue car beaucoup de travaux de recherches sont entrain d'élaborer des solutions pour sécuriser les informations médicales à l'intérieur du

cloud comme la solution de « l'anonymisation des patients », qui vient s'ajouter aux procédés classiques comme ceux de la cryptographie.

Pour ce qui est du système qu'on devait concevoir en sachant que l'utilisation du cloud computing pour notre solution relève de l'impossible, on a passé beaucoup de temps dans l'exploration des autres solutions et des autres alternatives comme le fait de créer une base de donnée locale au niveau de l'application mobile, mais le problème majeur résidait dans le comment on devrait faire pour transmettre les valeurs captées en temps réel vers des serveurs distant et comment synchroniser entre les différentes base de données en temps reel , jusqu'à ce qu'on ait découvert la plateforme Firebase qui est une plateforme hébergée dans le cloud Google permettant la création des base de données NoSql et « RealTime », cette découverte a été pour nous une vrai aubaine.

Firebase est le nom d'une plateforme mobile de Google qui facilite la création de back-end à la fois scalable et performant. En d'autres termes, il s'agit d'une plateforme qui permet de développer rapidement des applications pour mobile et pour le web, elle permet d'éviter aux professionnels et aux particuliers de s'engager dans un processus complexe de création et de maintenance d'une architecture serveur. Cette palteforme est très riche en fonctionnalités et service comme : Firebase Authentification, Firebase Cloud Messaging (FCM), Cloud Firestore,ML kit, Cloud storage et tant d'autres fonctionnalités que tout le monde s'empresse de découvrir et exploiter.

Dans notre projet nous avons utilisé deux technologies de communication à distance que sont GSM (pour la transmission des SMS de notification) et un accès Internet wifi (pour la transmission des valeurs captée à la plateforme Firebase), ce choix est justifié par deux motifs :

- ✚ La technologie GSM ne permet pas le transfert d'un grand volume de donnée à l'opposé de l'accès Internet wifi.
- ✚ Le réseau GSM pourrait être une solution alternative pour la transmission des valeurs captée au cas ou le réseau Internet devenait indisponible pour une cause ou une autre, ce qui garantit la disponibilité du service.

Il est à noter que notre travail en fin de compte ne consistait pas seulement à la création d'une application mobile, mais il s'agit de la conception de tout un système qui englobe une architecture matérielle, une architecture logicielle, une gestion des différentes technologies de communication.

Notre application ne remplit que les fonctionnalités fondamentales de surveillance à distance, elle pourrait être enrichie avec beaucoup de fonctionnalités supplémentaires. Le côté sécurité dans ce domaine est dans sa phase d'expérimentation, il n'y a aucun standard pour le moment et par conséquent il pourrait être plus finement exploré en proposant des mécanismes et pourquoi pas des protocoles pour répondre aux exigences sécuritaires des WBAN.

Ce projet a été des plus difficiles car on a été obligé de maîtriser ou du moins explorer plusieurs plateformes de développement à savoir App Inventor, l'IDE Arduino, plusieurs aspects du domaine électronique devaient aussi être acquis, une compréhension exacte du fonctionnement des capteurs utilisés, et notamment la maîtrise du microcontrôleur Arduino UNO, mais cette expérience a été aussi des plus bénéfiques, ne dit-on pas que « toute peine mérite salaire », pour nous le plus grand salaire est qu'il nous a ouvert les portes ouvertes sur des domaines d'actualités.