

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ A. MIRA-BEJAIA
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT INFORMATIQUE



MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE
POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL EN
INFORMATIQUE
OPTION : GÉNIE LOGICIEL

THÈME :

**Internet des objets pour le développement d'une
application mobile : Surveillance à distance des
patients atteints de COVID 19**

RÉALISÉ PAR :

M^{LLE} YOUSFI DJIDA

SOUTENU LE : **18/09/2022**

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

M^{ME} AIT ABDELOUHAB KARIMA	MCB	ENCADRANTE
M^{ME} AZOUI AICHA	MAA	CO-ENCADRANTE
M^{ME} LAHLAH SOUAAD	MCB	PRÉSIDENTE
M^R MOHAMMEDI MOHAMED	MCA	EXAMINATEUR

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2021-2022

Remerciements

Avant tout, j'aimerais remercier Dieu « ALLAH » le majestueux de m'avoir accordé la force, le courage et la patience de mener à bien ce travail malgré les conditions exceptionnelles auxquelles j'ai pu faire face.

Je tiens à remercier chaleureusement mon encadrante Mme AIT ABDELOUHAB Karima, MCB à l'université de BEJAIA ainsi que ma co-encadrante AZOUI Aicha, MAA à l'université de BEJAIA, de m'avoir soutenue jusqu'au bout.

J'exprime également ma sincère gratitude au corps médical du service COVID 19 et plus particulièrement mon encadrant Abdenmour qui a été d'une aide et patience sans nom.

Enfin j'aimerais adresser mes dernières salutations à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont appris dès mon plus jeune âge le plaisir que peut nous apporter d'étudier, de considérer ce dernier plus comme une activité plaisante qu'une corvée à exécuter. Je les remercie pour leur soutien, leur patience et leur amour. Je vous aime Papou et Mamoune. Puisse Dieu vous garder et vous protéger.

Mes chères sœurs Dyhia et Ghozlene ainsi qu'à mon cher frère Idir pour leur soutien et amour inconditionnel mais aussi pour avoir eu la patience d'écouter mes plaintes à longueur de journée. Vous êtes les meilleurs !

A ma meilleure amie et alliée Farida ainsi qu'à vous chers amis : Maissa, Chanez, Lyna, Lina, Abdou et Lotfi pour votre flegme imperturbable, vos précieux conseils et votre soutien et amour. Je vous adore.

A mon cher ami Karim qui m'a aidé à finir ce mémoire. Un immense merci à toi.

A moi sans qui rien n'aurait pu se réaliser. On l'a fait !

Tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin.

Djida

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Table des figures

Table des tableaux

Abréviations

Introduction générale	1
1 Internet des objets (Internet of Things IoT)	3
1.1 Introduction	3
1.2 Notion d'objet connecté	3
1.3 Fonctionnement d'un objet connecté	4
1.4 Les types d'objets connectés par secteur d'activité	5
1.5 Définition de l'internet des objets	5
1.6 Domaines d'application de l'IoT	6
1.6.1 Domotique	6
1.6.2 Environnement intelligent	8
1.6.3 Transport et logistique	8
1.6.4 Agriculture intelligente	9
1.6.5 Villes intelligentes	10
1.6.6 Les compteurs intelligents	11
1.6.7 Sécurité et Urgences	12
1.6.8 Cyber-santé	13
1.6.9 Contrôle industriel	15
1.6.10 Vente au détail	16
1.6.11 Gestion de l'eau intelligente	17
1.7 Technologies de communication d'IoT	18
1.7.1 Connectivité filaire	18
1.7.2 Connectivité non filaire	19
1.8 Protocoles de communication de l'IoT	22
1.9 Les défis de l'IoT	23
1.9.1 Confidentialité et sécurité des données	23
1.9.2 L'hétérogénéité	23
1.9.3 Évolutivité	24
1.9.4 Les ressources limitées	24

1.9.5	Auto-configuration	24
1.9.6	Politique réglementaire	24
1.10	Assistance et télésurveillance médicale	24
1.10.1	Personal Sensor network (PSN)	25
1.10.2	Body Sensor Network (BSN)	25
1.11	Conclusion	26
2	Etat de l'art & Proposition	27
2.1	Introduction	27
2.2	Quelques travaux existants	27
2.2.1	Système de surveillance médicale basé sur l'IoT utilisant une applica- tion Android	27
2.2.2	Système de surveillance médical intelligent des patients Covid-19 basé sur l'IoT	28
2.2.3	Système de maisons intelligentes : OntoSmart pour surveiller et assister les habitants	29
2.2.4	Détection pré-symptomatique du Covid-19 à partir des données collec- tées par une Smartwatch	31
2.3	Étude comparative des travaux existants	33
2.4	Proposition d'une architecture à base d'IoT pour la télésurveillance médicale	35
2.4.1	Collecte et transmission des données	36
2.4.2	Stockage et traitement des données	40
2.4.3	Affichage des données	40
2.4.4	Algorithme proposé de détection d'anomalies dans les valeurs des signes vitaux	41
2.5	Conclusion	42
3	Conception de l'architecture proposée par une étude de cas : Surveillance à distance des patients atteints du COVID-19	43
3.1	Introduction	43
3.2	Identification des acteurs et des cas d'utilisation	44
3.3	Diagramme de contexte statique	45
3.4	Diagramme de cas d'utilisation	46
3.5	Diagrammes de séquence système	48
3.5.1	Diagramme de séquence système d'inscription connexion	48
3.5.2	Diagramme de séquence système de réception d'alertes	55
3.6	Diagramme d'interaction d'inscription connexion	57
3.6.1	Diagramme d'interaction d'inscription	57
3.6.2	Diagramme d'interaction de connexion	60
3.6.3	Diagramme d'interaction de réception d'alertes	62
3.7	Diagramme de classes	63
3.8	Conclusion	65
4	Implémentation de l'architecture proposée par une étude de cas : Sur- veillance à distance des patients atteints du COVID-19	66
4.1	Introduction	66
4.2	Environnement de développement	66
4.2.1	Kodular	66
4.2.2	Firestore	66

4.2.3	Visual Paradigm (VP-UML)	67
4.3	Présentation de l'application	67
4.3.1	Écran de démarrage ou Splashscreen	67
4.3.2	Inscription	68
4.3.3	Connexion	72
4.3.4	Profil	75
4.3.5	Accueil	78
4.3.6	Signes vitaux du patient	81
4.3.7	Détails du patient	83
4.3.8	Paramètres	85
4.3.9	Traitement	87
4.4	Conclusion	92
	Conclusion générale et perspectives	93
	Bibliographie	98
	Résumé	

Table des figures

1.1	Fonctionnement d'un objet connecté	4
1.2	Google Nest	7
1.3	Smart Home	7
1.4	Insightrobotics	8
1.5	HiKob WISECOW-T	9
1.6	OnFarm	10
1.7	Ville intelligente	11
1.8	Smart Grid	12
1.9	Aircasting	13
1.10	LeChal	14
1.11	Yanzi	15
1.12	Yanzi application mobile	16
1.13	Motionloft	17
1.14	Intelligentriver	18
1.15	Exemple de modules X-10	19
1.16	Connectivité non filaire	20
1.17	Assistance et télésurveillance médicale	25
2.1	Architecture du système de surveillance médicale basé sur l'IoT utilisant une application Android	28
2.2	Architecture du système de surveillance médical intelligent des patients Covid-19 basé sur l'IoT	29
2.3	Architecture du système de maisons intelligentes : OntoSmart pour surveiller et assister les habitants	31
2.4	Système de détection pré-symptomatique du Covid-19 à partir des données collectées par une Smartwatchss	32
2.5	Architecture proposée de télésurveillance médicale basée sur l'IoT	36
2.6	Algorithme de détection des anomalies dans les valeurs des signes vitaux	41
3.1	Diagramme de contexte statique	46
3.2	Diagramme de cas d'utilisation	47
3.3	Diagramme de séquence système Validation inscription	49
3.4	Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Inscription	52
3.5	Diagramme de séquence système Vérification de connexion	53
3.6	Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Connexion	55
3.7	Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Réception d'alertes	57
3.8	Diagramme d'interaction Validation inscription	58
3.9	Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Inscription	59

3.10	Diagramme d'interaction Vérification connexion	60
3.11	Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Connexion	61
3.12	Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Réception d'alertes	62
3.13	Diagramme de classes	63
3.14	Représentation en arbre de la base de données NoSQL sur Firebase Realtime	64
4.1	Splashscreen d'Hygie	68
4.2	Inscription	69
4.3	Inscription avec un numéro de téléphone	70
4.4	Confirmation du numéro de téléphone par un code	71
4.5	Choix d'un compte Gmail pour l'inscription	72
4.6	Connexion	73
4.7	Connexion par numéro de téléphone	73
4.8	Confirmation numéro de téléphone par un code	74
4.9	Choix d'un compte Gmail pour la connexion	74
4.10	Profil du patient	76
4.11	Profil du médecin	77
4.12	Menu slide du médecin	78
4.13	Accueil du patient	79
4.14	Historique	79
4.15	Statistiques	80
4.16	Menu slide du patient	80
4.17	Accueil du médecin	81
4.18	Signes vitaux du patient	82
4.19	Alerte	82
4.20	Appel et message d'alerte	83
4.21	Détails du profil	84
4.22	Signes vitaux d'un patient dans le compte médecin	85
4.23	Paramètres du compte patient	86
4.24	Paramètres d'un patient dans le compte médecin	87
4.25	Traitement du patient	88
4.26	Notes des traitement du patient	89
4.27	Traitement d'un patient dans le compte médecin	90
4.28	Voir traitement	90
4.29	Notes des traitement d'un patient dans le compte médecin	91
4.30	Ajouter un traitement à un patient dans le compte médecin	92

Liste des tableaux

2.1	Synthèse des travaux étudiés	34
3.1	Identification des acteurs du système	44
3.2	Identification des cas d'utilisation	45

Abréviations

2G réseau cellulaire de deuxième génération
5G réseau cellulaire de cinquième génération
AMQP Advanced Message Queuing Protocol
API Interface de programmation d'application
APK Android Package
B2B Business to business
BLE Bluetooth Low Energy
BSN Body Sensor Network
CHU Centre hospitalier universitaire
CoAP Constrained Application Protocol
CPL Courants Porteurs en Lign
CPU Central processing unit
ECG Electrocardiogramme
HIoT Healthcare IoT
HTTP Hypertext Transfer Protocol
IDO Internet des Objets
IoT Internet of things
LCD Liquid crystal display
LoRAWAN Long-range wide-area network
LoRA Long range
LPWAN Low Power Wide Area Network
MIT Massachute Institute of Technology
MQTT Message Queuing Telemetry Transport
NFC Near-field communication
NoSQL Not only SQL
OCR Reconnaissance optique de caractères
PAN Personal Network Area
PG Procter Gamble
PLC Programable Logic Controller
PSN Personal Sensor Network
QoL Quality of life

RAM Random Access Memory

RFID Radio Frequency Identification

RF Radio Fréquence

SIG Special Interest Group

SPO2 Saturation de l'hémoglobine en oxygène par oxymétrie de pouls

SSHS Semantic Smart Home System

STOMP Simple Text Oriented Messaging Protocol

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TWT Target Wake Time

UNB Ultra Narrow Band

WBAN Wireless Body Area Networks

WiFi Wireless Fidelity

WLAN Wireless Local Area Network

WSN Wireless Sensor Networks

Intoduction générale

Nous vivons dans un monde qui ne cesse d'évoluer de manière spectaculaire et les nombreuses recherches et avancées faites dans le domaine de l'internet est l'un des facteurs les plus importants de cette évolution. En quelques décennies, nous sommes passés de l'internet de contenu (Internet of content en anglais) qui se résumait à pouvoir consulter des informations sur des sites Web ainsi que d'envoyer des emails, à l'internet des objets (Internet of things (IoT) en anglais) qui quant à lui offre une multitude de services tels que le monitoring ou l'automatisation où l'interaction ne se fait plus qu'entre homme/machine mais aussi entre machine/machine.[1]

L'IoT a bien plus qu'une définition mais si l'on devait décrire brièvement celle-ci, on pourrait simplement dire que c'est la rencontre, la communication et la coopération entre le monde physique et le monde digital. De façon explicite, l'IoT est un ensemble d'objets physiques dotés d'une source d'énergie et ayant la capacité d'interagir avec l'environnement physique qui l'entoure à l'aide de capteurs et d'actionneurs, connectés à l'infrastructure d'Internet leur conférant le pouvoir d'interagir et de communiquer entre eux et avec le monde extérieur.[2]

L'IoT a par conséquent changé notre vision des choses et a chamboulé la gestion et réalisation de nos tâches quotidiennes qu'elles soient personnelles ou professionnelles. Effectivement, les technologies basées sur l'IoT dans divers domaines ont changé la donne. Que ce soit dans le domaine de l'agriculture, de la sécurité ou encore de la santé, plusieurs avancées sont notables tels que les environnements intelligents où le contrôle de l'état des plantes cultivées permet d'obtenir des cultures plus efficaces ou encore la Cybersanté où le principe d'automesure confère une aide incommensurable dans la surveillance des patients.

Si l'on se penche sur le domaine de la santé, on peut noter que l'IoT offre ses services dans la surveillance médicale à distance et cela en utilisant des dispositifs électroniques et des capteurs médicaux implantés ou portables que l'on appelle communément Body Sensor Network (BSN) en anglais (Littéralement traduit par réseau de capteurs corporels en français) qui se chargent de prendre des mesures en temps réel des signes vitaux du patient.[3]. Cela nous amène à réfléchir à un moyen plus simple et moins encombrant pour le patient que les capteurs traditionnels pour effectuer ces mesures à distance et qui nous pousse à nous poser cette question : Comment améliorer le suivi médical à distance grâce à l'IoT en utilisant des capteurs moins contraignants que les capteurs traditionnels ?

La solution que nous proposons pour palier à ce problème est une architecture qui est basée sur la collecte des données relatives aux signes vitaux (Saturation de l'hémoglobine en

oxygène par oxymétrie de pouls (SPO2), température, rythme cardiaque et tension artérielle) grâce aux capteurs intégrés dans une Smartwatch que le patient portera constamment au poignet. Et rien de mieux que de prendre un sujet d'actualité tel que la propagation du COVID 19 afin de valider cette architecture où nous nous baserons sur la surveillance à distance des patients atteints de COVID 19.

Quant à l'organisation de ce mémoire, elle se fera comme suit :

Chapitre 01 : Il aborde des généralités sur l'IoT en l'introduisant ainsi que les éléments qui le constituent tout en se basant à la fin de ce chapitre sur l'impact de celui-ci dans l'assistance et télésurveillance médicale ;

Chapitre 02 : Ce chapitre se focalise sur la présentation de l'état de l'art où sont décrits quatre travaux abordant le thème de la surveillance médicale associée à l'IoT en faisant le point sur leurs points forts et faibles dans une étude comparative. Il s'ensuit la proposition d'une architecture pour la télésurveillance médicale ;

Chapitre 03 : Cet avant dernier chapitre est consacré à la présentation du cas d'étude qu'est la surveillance à distance des patients atteints du COVID 19 où l'en se penchera sur la partie conception de celui-ci ;

Chapitre 04 : Dans ce dernier chapitre, l'environnement matériel et logiciel du développement de l'application y sont décrits. Enfin nous clôturerons ce mémoire par une conclusion générale qui établira un bilan du travail fait et dressera les perspectives de ce projet.

Internet des objets (Internet of Things IoT)

1.1 Introduction

De nos jours, que ce soit dans notre vie quotidienne ou professionnelle, nous utilisons de plus en plus d'appareils connectés. Des appareils simplistes tels que les Smartwatch ou bracelets connectés aux appareils plus complexes comme les ordinateurs connectés à des appareils médicaux ou les voitures, on a l'embarras du choix. Ce qui nous amène à la conclusion qu'un nombre incalculable d'objets connectés régissent notre vie. Sans que l'on sache vraiment sa signification, l'ensemble de ces objets connectés à un réseau internet combiné aux technologies adaptées forment ce que l'on appelle : L'internet des objets ou Internet of things (IoT) en anglais.

Dans ce chapitre, nous allons donc nous intéresser à cette nouvelle technologie qu'est l'IoT en l'introduisant par la définition de l'objet connecté suivi de sa propre définition. Par la suite, nous allons mettre en avant les domaines d'application de celui-ci. Nous enchaînerons avec l'énumération des différents protocoles qu'utilise l'IoT suivi des défis de cette dernière. Puis nous nous attellerons à mettre l'accent sur l'IoT dans le domaine médical et plus précisément son rôle dans l'assistance et télésurveillance médicale. Enfin, nous clôturons ce chapitre par une petite conclusion.

1.2 Notion d'objet connecté

Un objet connecté est un objet capable de communiquer diverses informations à un autre objet connecté ou à Internet. Initialement, il n'est pas appelé à être un système informatique ou une interface ayant accès au web mais auquel l'ajout d'une connectivité lui confère une valeur additionnelle ajoutée en termes de fonctionnalité, d'information, etc.[4]. Le concept d'objet connecté va du simple capteur à l'objet intelligent. C'est-à-dire que l'objet peut avoir des fonctionnalités simples (Capturer, transmettre des données) qu'ils soient mécaniques ou électriques pour communiquer des informations simples telles que la détection de la lumière ou la mesure de la température, le traitement des données pour aider à la prise de décision et initier une action de manière autonome, l'interaction avec un smartphone ou une plateforme et enfin l'intégration dans un réseau IoT. [5]

1.3 Fonctionnement d'un objet connecté

Pour mettre en oeuvre un objet connecté il suffit d'avoir ces 4 composants : [5]

- **Les capteurs** : Ce sont des matériaux capables d'intervertir une mesure physique (Mouvement, température, etc.) en une donnée numérique. Le but d'un capteur est de recueillir des informations ;

- **La source d'énergie** : Elle peut se manifester sous forme de : Batterie ou piles, alimentation, énergie photovoltaïque ou objets passifs comme la Radio Frequency Identification (RFID), le Near-field communication (NFC), etc. ;

- **Les actionneurs** : L'actionneur est le dispositif qui transforme une donnée numérique par une action. Les actionneurs sont des interrupteurs ou des variateurs, une alarme, un moteur etc. ;

- **La connectivité** : Via un canal de communication, un objet est connecté à un autre objet connecté ou à une infrastructure d'un ou plusieurs réseaux IoT. Pour transférer les données l'objet connecté utilise des technologies de communication spécifiques comme le Wireless Fidelity (WiFi), le Bluetooth Low Energy (BLE), RFID, la Radio Fréquence (RF)) et du réseau cellulaire de deuxième génération (2G) au réseau cellulaire de cinquième génération (5G), les satellites ou encore les Low Power Wide Area Network (LPWAN).

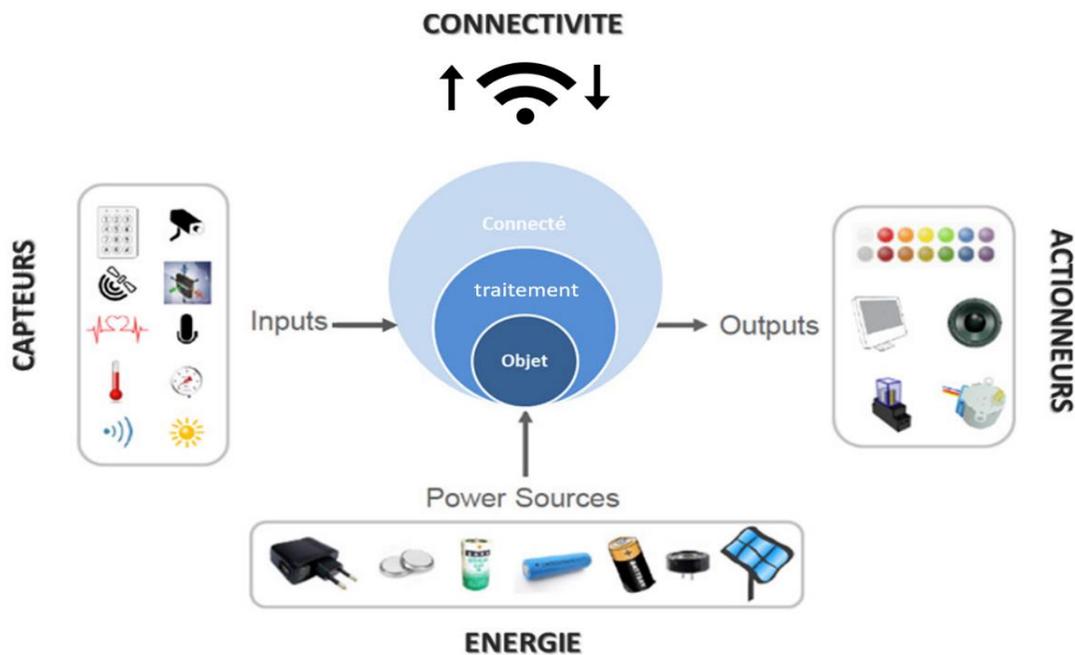


FIGURE 1.1 – Fonctionnement d'un objet connecté
[6]

1.4 Les types d'objets connectés par secteur d'activité

Il existe deux grands marchés complémentaires dans le domaine de l'IoT : [7]

- Le grand publique :

- **Les Wearables** : Que l'on peut traduire littéralement en objets portés comme les montres connectées, bracelets, vêtements intelligents, écouteurs intelligents, etc. ;

- **Dans la maison** : Assistants vocaux, thermostat connecté, pommeau de douche connecté...etc.

- Business to business (B2B) :

- **Smart city** : Gestion du stationnement, caméras connectées, amélioration du trafic, capteurs de mesure de la qualité de l'air, optimisation de l'éclairage, calcul du volume de déchets, gestion des bornes de recharge électrique, etc. ;

- **En industrie** : Optimisation logistique, capteurs de maintenance prédictive sur les équipements, maintenance prédictive, traceur d'actifs, robots, etc. ;

- **Dans l'agriculture** : Capteurs de température, boîtiers géolocalisés sur tracteurs, arrosage intelligent, colliers et bracelets pour animaux, etc. ;

- **En santé** : Téléassistance mobile et fixe, thermomètre, tensiomètre, télésurveillance des patients...etc.

1.5 Définition de l'internet des objets

Internet of things (IoT) est l'une des technologies les plus prometteuses de nos jours. Elle vise à améliorer la qualité de vie de l'être humain (Quality of life (QOL)). Le rôle d'IoT est important dans de multiples disciplines telles que l'éducation, les services de santé, l'agriculture, l'industrie automobile et de nombreuses applications commerciales. Il n'existe pas de définition unique disponible pour l'Internet des objets qui soit acceptable pour la communauté mondiale des utilisateurs. En fait, des chercheurs, des universitaires, des développeurs, des innovateurs, des praticiens et des entreprises, ont défini le terme, bien que son utilisation initiale ait été inventé par Kevin Ashton, directeur exécutif du centre Auto-ID du Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans son discours : «Je peux me tromper, mais je suis à peu près sûr que l'expression "Internet des objets" a commencé sa vie comme le titre d'une présentation que j'ai faite chez Procter Gamble (Procter Gamble (PG)) en 1999...». [8]

La meilleure définition de l'Internet des objets est : «Un réseau ouvert et complet d'objets intelligents qui ont la capacité de s'auto-organiser, de partager des informations, des données et des ressources, de réagir et d'agir face aux situations et aux changements de l'environnement.». [9]

D'après l'Union Internationale des Télécommunications «Internet des Objets (IDO) est une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de ser-

vices évolués en interconnectant des objets (Physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution.».[10]

D'après Le CERP-IdO1 l'Internet des Objets est « Une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto-configuration basées sur des standards et des protocoles de communication interopérables. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuelles et des interfaces intelligentes, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente.».[11]

1.6 Domaines d'application de l'IoT

De nos jours, l'IoT dû à sa capacité de faciliter la réalisation de certaines tâches et l'atteinte d'objectifs est omniprésent dans la vie quotidienne et touche plusieurs si ce n'est tous les secteurs d'activité. D'après Frédéric LEMOINE, il existe 11 catégories de ce domaine qui sont : [3] [12] [13]

1.6.1 Domotique

La domotique concerne les appareils de contrôle à distance où sont automatisées et contrôlées des solutions techniques d'électroniques, d'automatisme, de communication et d'informatique, en local ou à distance qui ont pour but de satisfaire des besoins dans le domaine de l'habitat concernant le confort et le bien-être tels que :

- **Gestion de l'énergie** : Aide à réguler et à économiser l'énergie grâce à des mécanismes tels que l'allumage et l'extinction des appareils à distance comme l'éclairage ou encore la surveillance de la consommation d'énergie et d'eau. On peut le trouver aussi dans les systèmes de chauffage et d'eau chaude (Radiateurs, chaudières) ;

- **Protection et maintenance des biens et de l'art** : Tout ce qui d'ordre sécuritaire comme la mise en place de systèmes de détection d'intrusion (Caméras de surveillance, alarmes, détecteur de mouvements, etc.) ou bien encore le suivi de l'état de conservation à l'intérieur des musées et des entrepôts d'art.

On peut citer quelques exemples de domotique comme HomeKit, Google Home, Nest [14] ou encore Lockitron.



FIGURE 1.2 – Google Nest
[14]

La domotique domiciliaire a connu un grand essor au point où actuellement on l'associe aux maisons intelligentes ou Smart Homes en anglais où il comprend plusieurs dispositifs qui contrôlent entre autres les fenêtres, les portes de garages, les téléviseurs, etc.

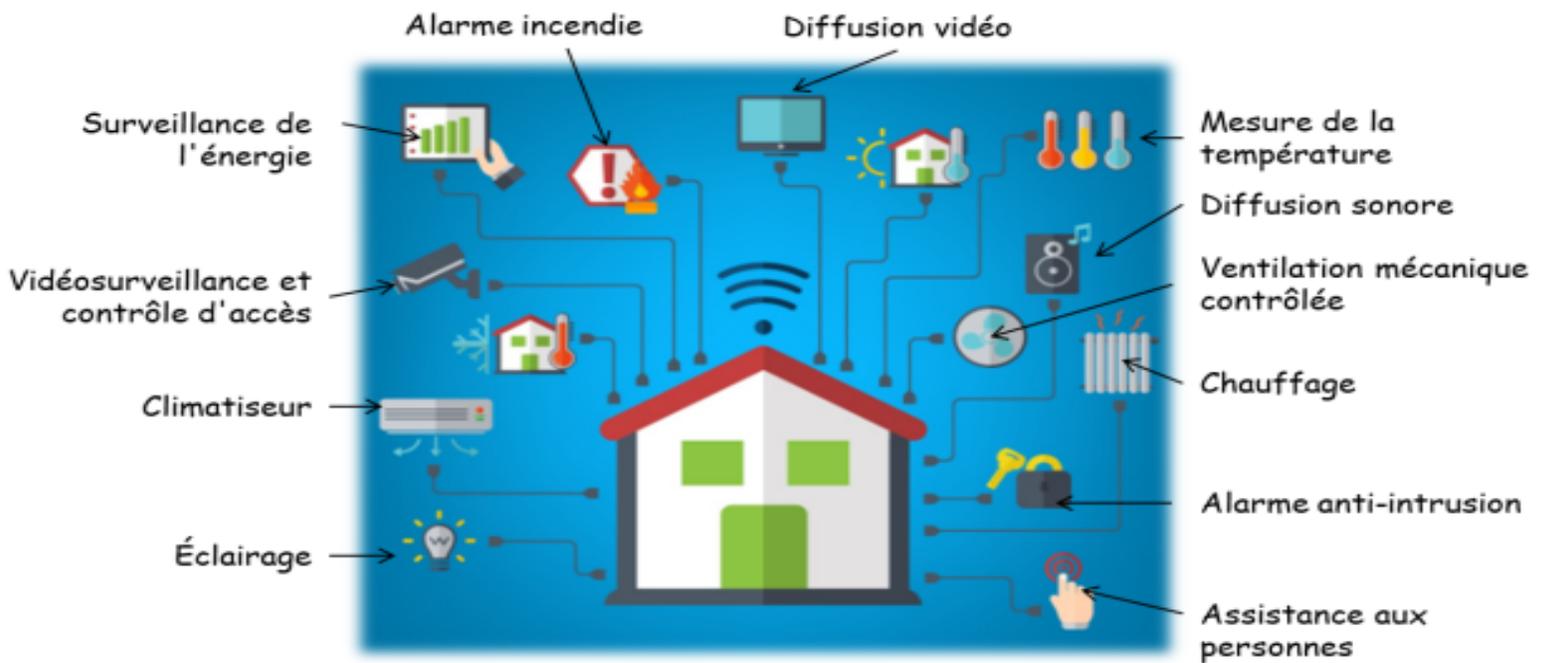


FIGURE 1.3 – Smart Home
[15]

1.6.2 Environnement intelligent

L'environnement est un domaine très important et sensible où il est nécessaire de se reposer sur l'IoT pour avoir des résultats concrets, fiables et cela rapidement. L'environnement intelligent englobe principalement :

- **L'étude de la terre et prédiction des séismes** : Contrôle les endroits éligibles ou potentiellement éligibles aux tremblements de terre et cela par la surveillance de l'humidité du sol, des vibrations et de la densité de la terre. Les sols ayant cet attrait ou ayant une prédisposition aux glissements de terrains sont aussi surveillés afin de les prévoir ou prévoir des avalanches s'ils sont recouverts de neige. Pour ces derniers on mesure aussi le niveau de neige afin d'assurer entre autres la qualité des pistes de ski ;

- **La détection des incendies de forêt** : Son rôle est de définir les zones d'alerte où y'a un risque de combustion de gaz et d'autres conditions favorables d'incendie ;

- **La surveillance de la pollution de l'air** : Constitue à contrôler les émissions de CO2 des usines ou encore de la pollution émise par les voitures et des gaz toxiques ; **etc.**

Insightrobotics [16] est un exemple d'environnement intelligent. Il détecte les incendies de forêt grâce à des caméras et capteurs.

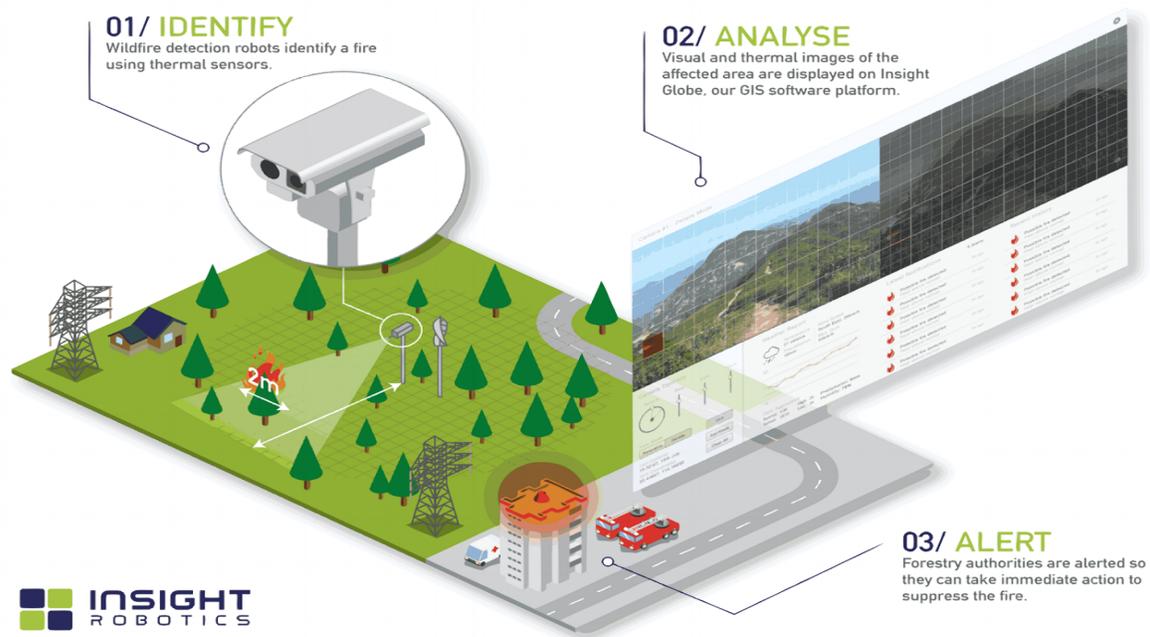


FIGURE 1.4 – Insightrobotics [16]

1.6.3 Transport et logistique

Tout ce qui est attrait au transport et à la logistique a en quelque sorte toujours eu une interaction avec l'IoT. On peut citer certains aspects tels que :

- **Les voitures connectées** ;

- La réduction de trafic ;
- La réduction de l'impact des véhicules sur l'environnement ;
- La détection d'incompatibilité de stockage ;
- Le suivi de flotte ;
- L'emplacement des articles ;
- La qualité des conditions d'expédition ; etc.

HiKoB [17] est un exemple de transport et logistique intelligent où il offre en temps réel des informations sur les conditions de circulation.



FIGURE 1.5 – HiKob WISECOW-T
[17]

1.6.4 Agriculture intelligente

L'agriculture est un domaine vaste et complexe où il est nécessaire de nos jours d'avoir recours à l'IoT afin d'avoir plus de solutions autres que celles traditionnelles pour répondre à ses besoins. Voici certaines de ces solutions :

- **Le compost** : Dans le but d'éviter les moisissures dans le foin, la paille, etc., l'humidité et les niveaux de température y sont contrôlés ;
- **Les stations météorologiques** : L'étude des conditions météorologiques dans les champs ;

- **Les serres** : Afin que la production des fruits et légumes soit maximisée, un contrôle sur les conditions microclimatiques est fait ;

- **L'hydroponique** : Contrôle l'état des plantes cultivées dans l'eau pour obtenir des cultures plus efficaces ; **etc.**

OnFarm [18], Bumblebee ou encore Hydropoint sont des exemples d'agriculture intelligente.

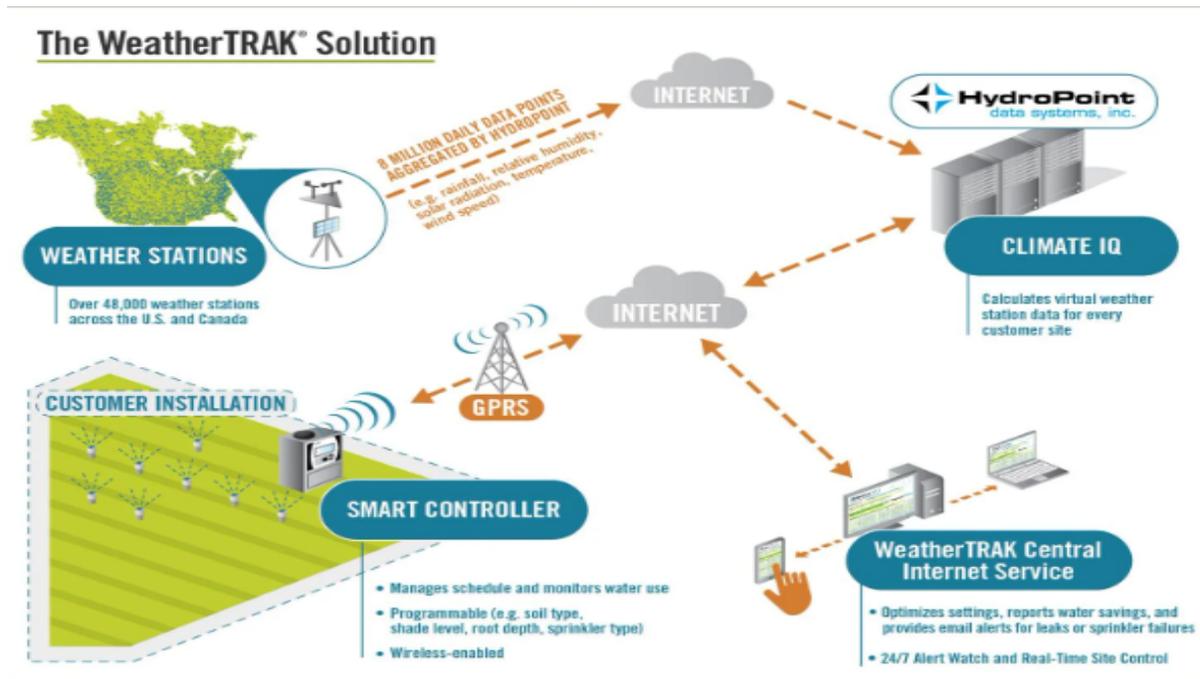


FIGURE 1.6 – OnFarm [18]

1.6.5 Villes intelligentes

L'IoT offre un contrôle continu en temps réel et précis qui permet une meilleure gestion des réseaux divers alimentant nos villes en faisant appel à des capteurs. Parmi ces améliorations, on peut citer à titre d'exemple :

- La réduction de perte de ressources urbaines (Gaz, eau, électricité, etc.) ;
- L'amélioration et la gestion des parkings et du trafic urbain ;
- La collecte des déchets ;
- La diminution des embouteillages et les émissions en CO₂ ;
- Le contrôle des niveaux de champs électromagnétiques : Mesure de l'énergie émise par les stations cellulaires, les routeurs WiFi, les lecteurs de cartes, etc.

- **Le contrôle de la santé structurelle** : Surveillance des conditions matérielles des infrastructures urbaines comme les bâtiments, les ponts, les monuments historiques, etc ;

- **Le contrôle et la gestion des déchets** : Détection des niveaux d'ordures afin d'optimiser leur collecte ;

- **La détection de smartphone** ;

- **Les autoroutes intelligentes** : Offre des signalisations intelligentes d'avertissement et de détournement en fonction des conditions climatiques et des événements inattendus tels que les accidents ou les embouteillages ;

- **Le stationnement intelligent** ;

- **L'éclairage intelligent** ;

- **Les embouteillages** : Optimisation des itinéraires de conduite et de marche à pied ; etc.

Streetline est un exemple de gestion de stationnement pour une ville intelligente.



FIGURE 1.7 – Ville intelligente
[19]

1.6.6 Les compteurs intelligents

Les compteurs intelligents viennent doucement mais sûrement remplacer les compteurs traditionnels : Les compteurs électromécaniques. Ces nouveaux compteurs servent notamment à exécuter ces différentes fonctionnalités :

- **L'écoulement de l'eau** : La pression est mesurée dans les conduites d'eau ;

- **Les niveaux des réservoirs** : Les niveaux d'eau, de pétrole et de gaz dans les compartiments de stockage telles que les citernes y sont surveillés ;
- **La grille intelligente** : La consommation d'énergie y est suivie et gérée ;
- **Les installations photovoltaïques ; etc.**

La grille intelligente Smart Grid [20] est un exemple de compteur intelligent.

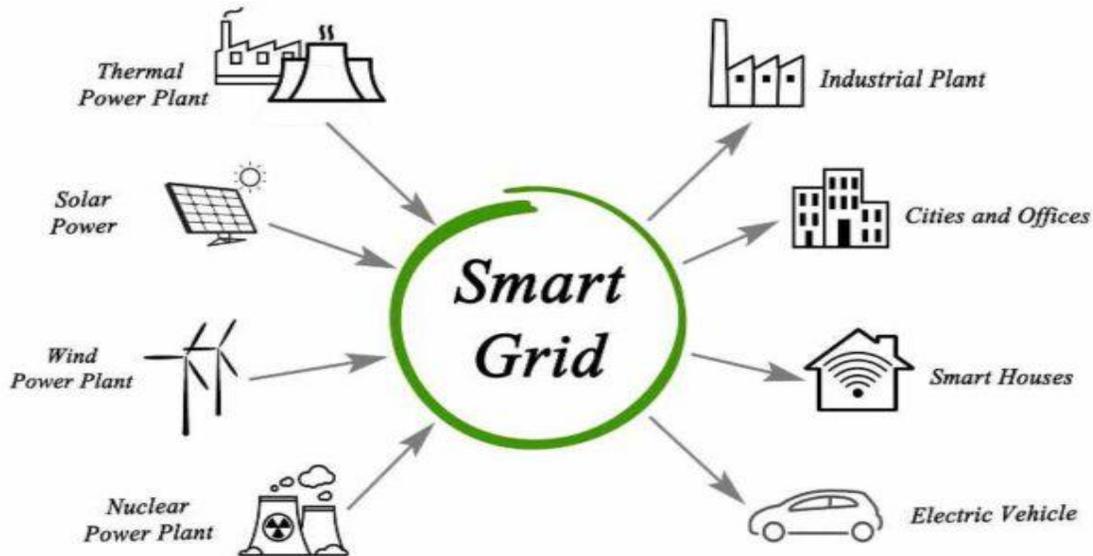


FIGURE 1.8 – Smart Grid
[20]

1.6.7 Sécurité et Urgences

La notion de sécurité s'applique à des domaines très variés et souvent très sensibles où l'IoT y joue un rôle non négligeable. On peut nommer certains de ces rôles tels que :

- **La prévention d'attentats ;**
- **Les mesures de niveaux de rayonnement ;**
- **Le contrôle d'accès périmétrique ;**
- **Détection des gaz explosifs et dangereux ; etc.**

Aircasting [21] est un exemple de dispositif de sécurité intelligent.



FIGURE 1.9 – AirCasting
[21]

1.6.8 Cyber-santé

L'IoT a offert un apport incommensurable dans le domaine de la santé et y est devenu fondamental. Le phénomène d'automesure (Quantified-self en anglais), les maisons intelligentes et la domotique sont les piliers de la Cyber-santé.

L'automesure est principalement basée sur les capteurs (Portés ou incorporés) qui grâce à eux les données vitales relatives aux patients (La tension artérielle, le rythme cardiaque, le niveau d'activité physique, glycémie, etc.) exploitées par les équipements médicaux appropriés et étudiées par les professionnels de santé, sont collectées et traitées plus facilement et cela même à distance -sans la présence immédiate d'un professionnel de santé et cela en connectant les capteurs au cloud- ce qui bien évidemment optimise le temps, anticipe et organise les soins du patient et réduit considérablement les coûts pour les deux parties.

Autrement dit, il procure au médecin les moyens nécessaires au suivi de son patient et à l'attribution d'une prescription de traitement plus adaptée. Il profite encore plus au patient en lui offrant la possibilité de ne pas nécessairement se déplacer et donc de bénéficier d'un suivi domiciliaire et de réduire les coûts d'une prise en charge hospitalière.

Ces technologies étaient initialement dédiées qu'aux établissements hospitaliers mais avec l'apparition des maisons intelligentes, la donne a changé. Ces dernières combinées à de la domotique et à l'automesure offrent leurs services à la Cyber-santé pour aider et faciliter la vie des personnes âgées, à mobilité réduite ou atteintes de maladies chroniques vivant seuls. L'allumage automatique des lumières et de certains appareils tels que la machine à laver, la cafetière et le chauffage font en sorte que ces personnes puissent être autonomes et leur fait éviter d'avoir recours aux services d'établissements spéciaux comme les maisons de retraite pour les plus vieux.

On peut mentionner quelques autres avancées faites en se basant sur l'IoT dans la Cyber-santé tels que :

- La téléconsultation et le télédiagnostic ;
- La télésurveillance ;
- La téléexpertise ;
- La téléformation ;
- La création de réseau de télémédecine ;
- La téléchirurgie ;
- Le rayonnement ultraviolet ;
- Les soins aux sportifs ;
- Les réfrigérateurs médicaux ; etc.

LeChal [22] est un exemple de technologie Cyber-santé. Il propose une assistance aux personnes handicapées en se basant sur une paire de chaussures fournissant un retour d'information par le biais de vibrations de manière intuitive et cela par la détection des obstacles une suggestion de la bonne direction à prendre.



FIGURE 1.10 – LeChal
[22]

1.6.9 Contrôle industriel

Le contrôle industriel se résume principalement à la mesure, le pronostic et à la prédiction des pannes industrielles en prenant compte des éléments suivants :

- **La qualité de l'air intérieur** : Assure la sécurité des employés et des biens, grâce à la surveillance des niveaux de gaz toxiques et d'oxygène à l'intérieur des usines chimiques ;
- **La température** : Contrôle de la température à l'intérieur des chambres froides industrielles et médicales contenant des marchandises sensibles ;
- **L'auto-diagnostic du véhicule** ;
- **La localisation à l'intérieur** : Localisation des ressources internes en ayant recours à des étiquettes actives et passives.

Nous pouvons citer par exemple Yanzi [23] [24] , une solution ayant pour objectif la réduction des consommations énergétiques et le contrôle des systèmes de chauffage et d'ascenseurs et cela en faisant appel aux informations récoltées via différents capteurs.



FIGURE 1.11 – Yanzi
[23]



FIGURE 1.12 – Yanzi application mobile
[24]

1.6.10 Vente au détail

Le domaine de vente au détail a connu une explosion exponentielle ces dernières années grâce aux différentes technologies offertes par l'IoT tel que le système de suggestion. Nous pouvons résumer grossièrement les prouesses faites dans ce domaine dans ce qui suit :

- **Les applications de magasinage intelligentes** : Grâce au système de suggestion, des conseils sont fournis dans le point de vente en fonction des habitudes et préférences du client ;
- **Le paiement sans contact** ;
- **La gestion intelligente des produits** : Automatisation des processus de réapprovisionnement dans les entrepôts ;
- **Le contrôle de la chaîne d'approvisionnement** ; etc.

Motionloft [25] est une solution de vente au détail intelligente qui permet aux grandes chaînes, boutiques, etc. de comprendre l'impact de la circulation des véhicules et des piétons sur leurs revenus en surveillant leurs mouvements en temps réel.



FIGURE 1.13 – Motionloft
[25]

1.6.11 Gestion de l'eau intelligente

L'IoT dans cette catégorie agit globalement sur la prévention de dégâts hydrauliques en prenant compte des points suivants :

- **Le niveaux de pollution maritime ;**
- **La détection de fuite chimique dans les rivières ;**
- **Les Inondations :** Prévenir toute fuite ou débordement dans les rivières, les barrages et les réservoirs en surveillant les fluctuations de leurs niveaux d'eau ;
- **La mesure à distance des piscines ;**
- **Les fuites d'eau :** Détecter les baisses de pression le long des canalisations ainsi que l'eau en dehors des réservoirs provenant d'une fuite potentielle ;
- **La surveillance de l'eau potable :** Surveiller l'eau du robinet dans les villes afin de maintenir sa qualité et son hygiène.

Intelligentriver[26] est un système d'observation assurant l'analyse, le suivi et la gestion en temps réel des ressources en eau.

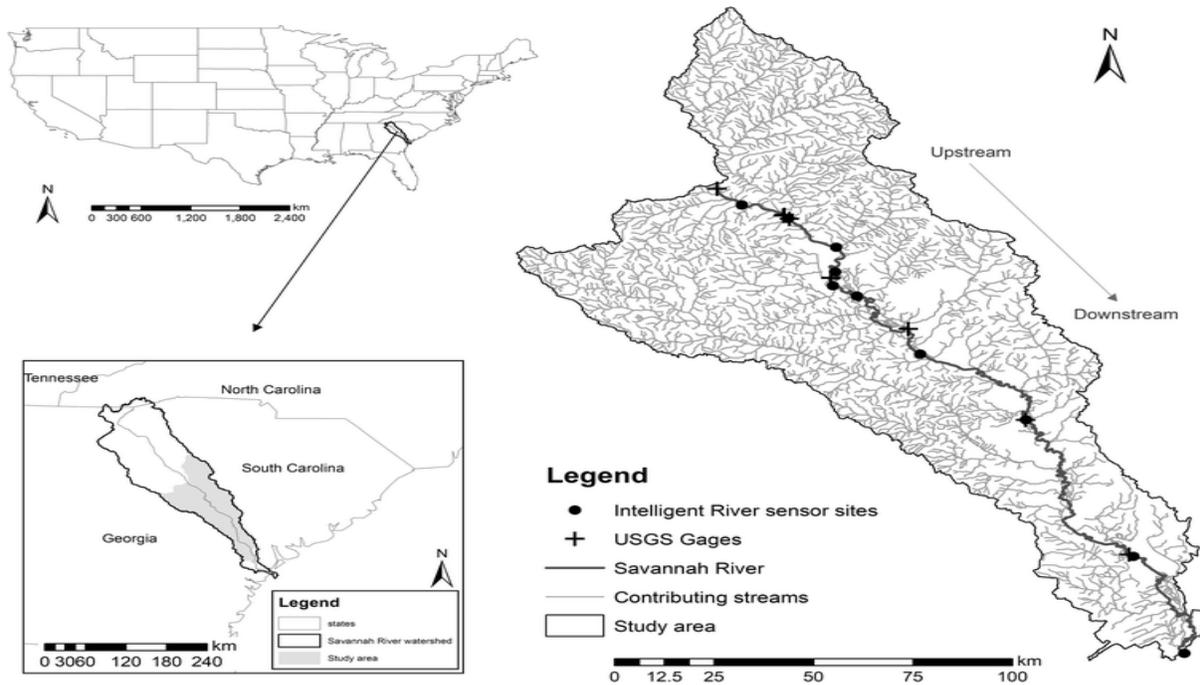


FIGURE 1.14 – Intelligentriver
[26]

1.7 Technologies de communication d'IoT

Dans l'Internet des objets, les technologies de communication entre les objets connectés et le système s'appuient généralement sur le type de technologie non filaire et il y en a plusieurs mais certains cas d'utilisation nécessitent également une combinaison de technologie non filaire/filaire qui connecte les objets à un réseau privé.

1.7.1 Connectivité filaire

Le réseau filaire est un réseau que l'on utilise grâce à une connexion avec des câbles qui relie des ordinateurs et des périphériques grâce à un routeur ou à un commutateur comme Adsl, Ethernet, Fibre Optique.

1.7.1.1 X-10

Le protocole filaire X-10 utilise la ligne d'alimentation électrique pour contrôler différents appareils électriques au sein d'une habitation. Il fonctionne sur le principe des Courants Porteurs en Ligne (CPL) pour communiquer entre l'émetteur et le récepteur. Il existe toutes sortes de contrôleurs domotiques, des plus simples aux plus avancés, contrôlés par micro-informatique via des logiciels tels que Linux, Windows ou Mac OS, etc. Certaines centrales d'alarme permettent d'envoyer des ordres en X10 (Simulation de présence, fermeture des volets en cas d'alarme, etc.). D'autres peuvent piloter des appareils reliés au réseau X10 (Lumières, volets, chauffages, etc.) à l'aide d'un téléphone.

C'est donc une manière simple et facile à implémenter. Ce protocole le moins cher dans le domaine des automatismes résidentiels. Son installation ne nécessite pas de nouveaux câblages et il permet de relier jusqu'à 256 dispositifs entre eux. Il ne peut en revanche envoyer

qu'une seule commande à la fois. Par contre en ce qui concerne la sécurité des installations, toute personne possédant l'accès à une partie de l'installation électrique peut envoyer des ordres X-10.[27]



FIGURE 1.15 – Exemple de modules X-10
[28]

1.7.2 Connectivité non filaire

Un réseau sans fil (Wireless network en anglais) est un réseau informatique numérique permettant de relier des ordinateurs et d'autres appareils informatiques sans avoir à installer de câblage et qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radio.

IoT: A Mix of Industry Standards



QORVO

© Qorvo

FIGURE 1.16 – Connectivité non filaire [29]

1.7.2.1 Bluetooth

Le nom Bluetooth, que l'on traduit littéralement par « Dent bleue » est une norme de communication sans fil par ondes radio sur une bande de fréquences de 2,4 GHz avec une portée variant entre 10 à 100 mètres. Il permet l'échange bidirectionnel de données (Voix, vidéo, image, fichier) entre deux appareils électroniques compatibles dans le but de simplifier les connexions entre les appareils et s'est imposé comme une alternative à la communication filaire.

Développé par le Bluetooth Special Interest Group (SIG), c'est en 1999 qu'apparaît le Bluetooth 1.0 qui équipe les téléphones mobiles. Le Bluetooth 5 est quant à lui une norme publiée en décembre 2016, destinée au développement de l'Internet des objets.

Les principales caractéristiques de cette norme se traduisent en sa capacité à faire passer la portée maximale à 200 mètres en gérant des paquets de données de 255 octets contre 31 octets pour la norme précédente qui est le Bluetooth 4.2 Low Energy (BLE) et permet d'atteindre un débit de 4 Mb/s tout en réduisant la consommation d'énergie afin de faciliter son intégration dans des appareils mobiles notamment des objets connectés.[30]

1.7.2.2 Wi-Fi

Le Wi-Fi (Wireless-Fidelity) qui peut être traduite en français par "Fidélité sans fil" est un réseau local lancé en 1999 normalisé par le groupe IEEE 802.11. Il est principalement

utilisé pour relier par ondes radioélectriques des appareils (Ordinateurs portables, Assistant personnel, etc.) à des réseaux locaux Wireless Local Area Network (WLAN) (Wireless Local Area Network) avec une transmission de haut débit dans le but de faciliter l'échange de données.

Le Wifi 6, basé sur la norme IEEE 802.11 ax, est la nouvelle génération de connexion sans fil, lancé en septembre 2019 pour contrer les problèmes de latence ou d'interférence lorsque plusieurs objets sont connectés.

Le Wifi 6 améliore l'IoT en augmentant les performances du réseau et en réduisant la consommation des batteries des objets connectés et cela grâce à la fonction Target Wake Time (TWT) qui permettent aux capteurs d'être actifs uniquement quand ils doivent recevoir une transmission de données et ensuite se remettre en sommeil.[31]

1.7.2.3 Zigbee

Zigbee est un protocole de communication sans fil basé sur la norme IEEE 802.15.4, utilisé dans la création de réseaux maillés conçu pour les dispositifs limités en ressources. Il peut connecter plus de 65 000 périphériques et est très présent dans la domotique.

Sa portée est de 20 mètres sur une bande de 2,4 GHz avec une vitesse de transmission de données égale à 250 Kbit/s mais Zigbee permet aux objets intelligents de collaborer et offre une communication appareil-à-appareil, relayant les messages pour une portée effective plus large.

Il est avantageux grâce à sa basse consommation d'énergie, sa fiabilité ainsi que sa sécurité.[32]

1.7.2.4 Z-Wave

Z-Wave est un protocole de communication sans fil créé en 1999 et est développé par la société danoise Zensys. Par la suite, cette technologie a été achetée par Silicon Labs en 2018. Tout comme le Zigbee sauf que sa portée est de 30 mètres sur une bande de 868 MHz avec une vitesse de transmission de données égale à 100 Kbit/s.

L'avantage de Z-Wave est qu'il est sur une fréquence différente du WiFi et de la 4G ou des ondes radios classiques. Le Z-Wave fonctionne en 868 MHz et a donc une résistance naturelle aux interférences.

Le Z-Wave plus V2 est une évolution de Z-Wave dévoilé en 2019 de la part d'Alliance Z-Wave. Son objectif est de supprimer la complexité de l'installation des objets connectés domotique pour les consommateurs et garantir la sécurité.[33]

1.7.2.5 Sigfox

Sigfox est un opérateur de réseau qui offre les mêmes avantages que les réseaux cellulaires téléphoniques destiné à l'internet des objets. Il peut être utilisé dans les systèmes de détection des chutes et de suivi médical pour surveiller à distance le bien-être du patient.

SigFox couvre 45 pays dans le monde et utilise l'Ultra Narrow Band (UNB) qui permet

de faire communiquer des périphériques entre eux à très bas débit / très faible consommation.

La technologie Sigfox permet aux transmetteurs de faire remonter des informations (Température, humidité, valeurs de compteurs, etc.) directement sur les serveurs Sigfox et sans contrainte de distance. Les informations stockées dans le Cloud Sigfox peuvent ensuite être transférées vers des plateformes permettant le traitement des données (Statistiques, courbes, alarmes, etc.) grâce à des API ou Callbacks. [34]

1.7.2.6 LoRa

La technologie de modulation des ondes radios sur laquelle sont construits les réseaux Long-range wide-area network (LORAWAN) se nomme Long range (LORA). Cette technologie est largement répandue dans le monde de l'internet des objets. Elle supporte les transmissions émises par des capteurs fixes de données peu volumineuses.

Le principe des réseaux LoRa est de transmettre des données par liaison hertzienne depuis des capteurs à faible puissance d'émission, potentiellement isolés ou difficiles d'accès, fonctionnant sur batterie pour 5 à 10 ans. [35]

1.7.2.7 LoRaWan

Le protocole de télécommunication radio visant à établir une communication à bas débit et de longue portée d'objets connectés se nomme LoRaWan basé sur la technologie LoRa. Il émet sur une bande de fréquence 868 MHz pour limiter le risque d'interférence avec d'autres signaux.

LoRaWAN fait partie de la catégorie des réseaux LPWAN ce qui permet à des dispositifs intelligents à faibles ressources de communiquer entre eux en utilisant la technologie LoRa.[35]

1.8 Protocoles de communication de l'IoT

L'IoT utilise une panoplie de protocoles de communication dans ses échanges de données entre les acteurs du système. Les plus connus sont :

-Hypertext Transfer Protocol (HTTP) : Est un protocole de transfert hypertexte de la couche application. Il est le fondement de l'échange de données pour le World Wide Web (WWW). Comme tous les protocoles applicatifs d'Internet, HTTP est orienté texte ; [3] [36]

-Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) : Est un protocole open source de messagerie standardisé reposant sur Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) qui assure des communications non permanentes entre des appareils par le transport de leurs messages. Il utilise le concept Publisher/Subscriber. C'est le protocole le plus utilisé en IoT. Il sert essentiellement à la configuration de systèmes domotiques ; [3] [37]

-Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) : Est un protocole de messagerie utilisé pour définir le transport de messages entre plusieurs applications. Il est similaire aux protocoles HTTP et TCP car c'est un protocole wire-level, à la différence qu'il permet

un transport asynchrone ; [3] [38]

-Simple Text Oriented Messaging Protocol (STOMP) : Est un protocole open source de messagerie plus simplifié et moins compliqué qu'AMQP et plus proche d'HTTP. Les clients STOMP peuvent communiquer avec à peu près n'importe quel STOMP middleware orienté messages ce qui assure une simple et forte interopérabilité d'émission de messages entre différents langages, plateformes et middleware. [3] [39]

1.9 Les défis de l'IoT

L'accroissement fulgurant des objets connectés conduit en même temps à une explosion du volume d'informations qu'ils créent. Cette avancée crée des défis modernes essentiellement autour de la sécurité et de la disponibilité en temps réel des informations. En effet, les défis portent sur une intégration simple, sécurisée et efficace. Nous avons également le problème de l'hétérogénéité des informations car oui les objets connectés doivent pouvoir communiquer non pas sur l'infrastructure mais aussi entre eux. Nous allons voir ces défis plus en détails dans ce qui suit. [40]

1.9.1 Confidentialité et sécurité des données

Il est nécessaire de sécuriser et cloisonner les données échangées. Avec l'intégration du cloud l'informatique a transformé l'idée de la surveillance en temps réel. Mais cela a également rendu les réseaux plus vulnérables aux cyberattaques, cela peut conduire à une mauvaise gestion des informations et peut affecter le processus de traitement. Pour empêcher un système Healthcare IoT (HIOT) de cette attaque malveillante, plusieurs des mesures préventives doivent être prises lors de la conception d'un système. Les dispositifs doit évaluer et utiliser l'authentification d'identité, sécuriser le démarrage, tolérance aux pannes, gestion des autorisations, cryptage des mots de passe et protocoles de couplage sécurisés pour éviter une attaque. De même, les protocoles réseau tels que Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc. doivent être intégrés à des mécanismes de routage sécurisés et à des techniques de vérification de l'intégrité des messages. Puisque l'IoT est un réseau connecté où chaque utilisateur est lié au serveur, tout problème dans les services de sécurité de l'IoT peut compromettre la vie privée du patient.

1.9.2 L'hétérogénéité

L'Internet des objets se compose d'appareils avec différentes ressources, normes et normes de communication. Les objets connectés une fois déployés ont souvent des actions spécifiques à partir des différentes données collectées via différents capteurs. Le système embarqué va les traiter selon la nature de l'application. Le traitement peut être simple par exemple la vérification du taux d'oxygène dans l'air ou complexe (Détection d'une intrusion dans un bâtiment grâce à l'identification d'un motif particulier dans une vidéo). En effet, on voit bien l'hétérogénéité des données et la diversité des besoins applicatifs qui en résulte. Par conséquent, la gestion de l'hétérogénéité est essentielle pour garantir l'interopérabilité et assurer le fonctionnement efficace de l'IoT pour une variété d'objets connectés.

1.9.3 Évolutivité

L'évolutivité représente la capacité d'un dispositif capable de s'adapter aux changements de l'environnement. Un système avec une évolutivité plus élevée fonctionne sans problème sans délai et utilise efficacement les ressources disponibles. Par conséquent, il est crucial de concevoir un appareil avec une plus grande évolutivité ce qui rend le système plus efficace pour les usages présents et futurs. Le manque d'uniformité entre les appareils connectés diminue l'évolutivité du système et doivent donc être gérés efficacement.

1.9.4 Les ressources limitées

Grâce aux progrès de la miniaturisation et de l'intégration des composants tout en réduisant les coûts de production, des objets connectés plus puissants sont disponibles aujourd'hui. Cependant, la plupart du temps les ressources de connexion sont encore limitées en termes de puissance de traitement (Central processing unit (CPU) et Random Access Memory (RAM)), de capacité de stockage (Mémoire flash), d'autonomie électrique, de connectivité, etc. L'alimentation de fonctionnement est généralement fournie par des batteries ou des packs de batteries, et parfois l'autonomie est assurée par des panneaux solaires ou d'autres systèmes de récupération d'énergie. Étant donné que la communication est généralement énergivore, les objets prennent généralement en charge une technologie de communication unique.

1.9.5 Auto-configuration

Les appareils IoT doivent donner plus de pouvoir aux utilisateurs en incluant plus de fonctionnalités comme le manuel configuration. Ceci permettra aux utilisateurs de changer les paramètres du système en fonction de la demande de l'application et également avec le changement des conditions environnementales.

1.9.6 Politique réglementaire

La réglementation n'est pas adaptée pour des applications IoT spécifiques. Par exemple, les entreprises investissent énormément dans ce domaine, mais l'autorisation de circulation des voitures autonomes n'est toujours pas claire du point de vue réglementaire.

1.10 Assistance et télésurveillance médicale

Comme vu précédemment dans le domaine de la cybersanté, l'IoT est de nos jours un élément central de ce dernier et encore plus dans l'assistance et la télésurveillance médicale. Ce terme désigne globalement les services qui offrent des soins améliorés par la technologie pour les patients ne pouvant pas se déplacer hors domicile. Ces soins sont généralement effectués sur les personnes âgées ou à mobilité réduite.

L'assistance et la télésurveillance médicale utilisent principalement une technologie clé de l'IoT qu'est les systèmes réseaux de capteurs sans fil ou Wireless Sensor Networks (WSN) en anglais. Il existe deux types de WSN : Les réseaux de capteurs personnels ou Personal Sensor Network (PSN) en anglais et les réseaux de capteurs corporels ou Body Sensor Network (BSN) en anglais.[13] [41] [42]

La figure 1.17 ci-dessous illustre les deux types de technologies utilisées par l'assistance et la télésurveillance médicale :

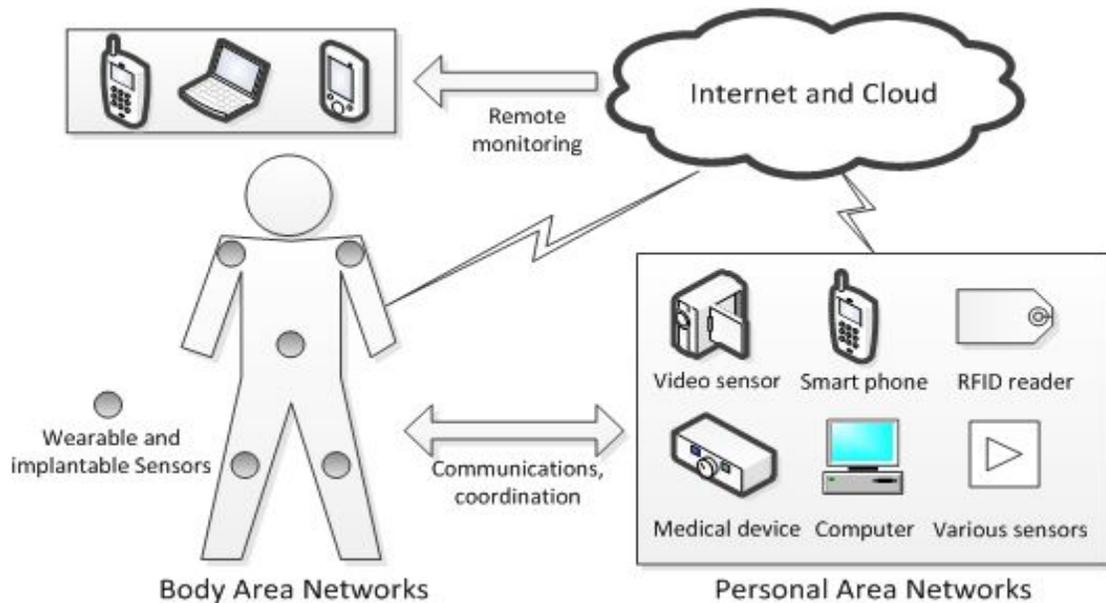


FIGURE 1.17 – Assistance et télésurveillance médicale
[42]

1.10.1 Personal Sensor network (PSN)

Un réseau de capteurs personnels (Personal Sensor Network (PSN) en anglais) ou réseau personnel (Personal Network Area (PAN) en anglais) est un réseau restreint d'échange d'informations filaire ou sans fil à proximité d'une personne à travers d'appareils comme des smartphones, des ordinateurs personnels, etc. Les PSN sont établis le plus souvent par le protocole Bluetooth. Par exemple, connecter une smartwatch (Qui peut être considérée ici comme BSN, qui collecte des données comme l'ECG) à un smartphone à l'aide de Bluetooth.

1.10.2 Body Sensor Network (BSN)

Les réseaux de capteurs corporels BSN sont une extension du PSN non filaire, beaucoup plus proches de la personne. En règle générale, ces appareils seront attachés ou situés sur le corps de la personne voir même implantés. On peut voir les choses ainsi : Un PSN établi par le protocole Bluetooth par exemple, est appliqué sur des capteurs BSN légers et à faible consommation d'énergie qui collectent les informations et données collectés du corps humain afin de surveiller ses informations biologiques comme la fréquence cardiaque (Electrocardiogramme (ECG)), la saturation en oxygène, la température, etc.).

L'objectif de la transmission de ces données vers une station proche de quelques dizaines de mètres reliant un centre de diagnostic distant ou vers le Cloud est l'aide à la prise de décision de l'équipe médicale.

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu nous familiariser avec l'univers de l'internet des objets et les différents concepts qu'il introduit tels que les technologies et protocoles qu'il utilise ainsi que ses défis. Effectivement, désormais nous avons une idée plus claire de ce qu'est un objet connecté et de son implication dans différents domaines tels que l'agriculture ou encore la santé.

D'ailleurs en parlant du domaine médical, nous avons pu nous y intéresser plus amplement en mettant l'accent sur l'assistance et la télésurveillance médicale. Après avoir fait le tour des différents aspects de l'IoT, les éléments recueillis dans ce chapitre nous ont permis de passer à l'étape suivante de ce projet qu'est l'état de l'art et proposition d'une architecture à base d'IoT pour la télésurveillance médicale.

2.1 Introduction

Après l'introduction du concept de l'IoT et ses différents aspects tels que la notion de l'objet connecté, des domaines qui l'utilisent notamment l'assistance et la télésurveillance médicale, des technologies utilisées, etc. dans le premier chapitre, il en va de soi d'être curieux quant aux progrès et réalisations faits de façon plus tangible grâce à l'IoT.

Dans ce deuxième chapitre, nous allons donc découvrir dans un premier lieu comment l'IoT a été exploité. Un état de l'art y est présenté où sont décrits quatre travaux abordant le thème de la surveillance médicale associée à l'IoT en faisant le point sur leurs points forts et faibles dans une étude comparative. Enfin, nous allons découvrir comment nous songions à l'exploiter en introduisant et expliquant en détails l'architecture proposée par nos soins pour la télésurveillance médicale et nous terminons ce chapitre par une conclusion.

2.2 Quelques travaux existants

Dans cette section nous allons découvrir plus amplement quatre travaux faits dans le domaine de la surveillance médicale à distance, à savoir : (1) Système de surveillance médicale basé sur l'IoT utilisant une application Android [43], (2) système de surveillance médical intelligent des patients Covid-19 basé sur l'IoT [44], (3) système de maisons intelligentes : OntoSmart pour surveiller et assister les habitants [45], (4) détection pré-symptomatique du Covid-19 à partir des données collectées par une Smartwatch [46].

2.2.1 Système de surveillance médicale basé sur l'IoT utilisant une application Android

Cette étude est réalisée par Ranjeet Kumar et al [43]. Elle présente une application Android basée sur l'IoT pour la surveillance de patients grâce à des capteurs dits Body Sensor Network (BSN) qui mesurent la température, l'humidité et les pulsations cardiaques pour prendre en charge les problèmes auxquels sont confrontés les patients et médecins en observant les exercices humains en prenant en compte les conditions de vie (La distance par exemple). Ces capteurs envoient les données en analogique au Raspberry qui les convertit en numérique puis les transmet à son tour au Cloud sous format JSON. Grâce au JSON Parser, elles sont visibles dans leur application Android. Ces données peuvent être notamment utiles à des buts statistiques

La figure 2.1 illustre l'architecture de cette étude [43].

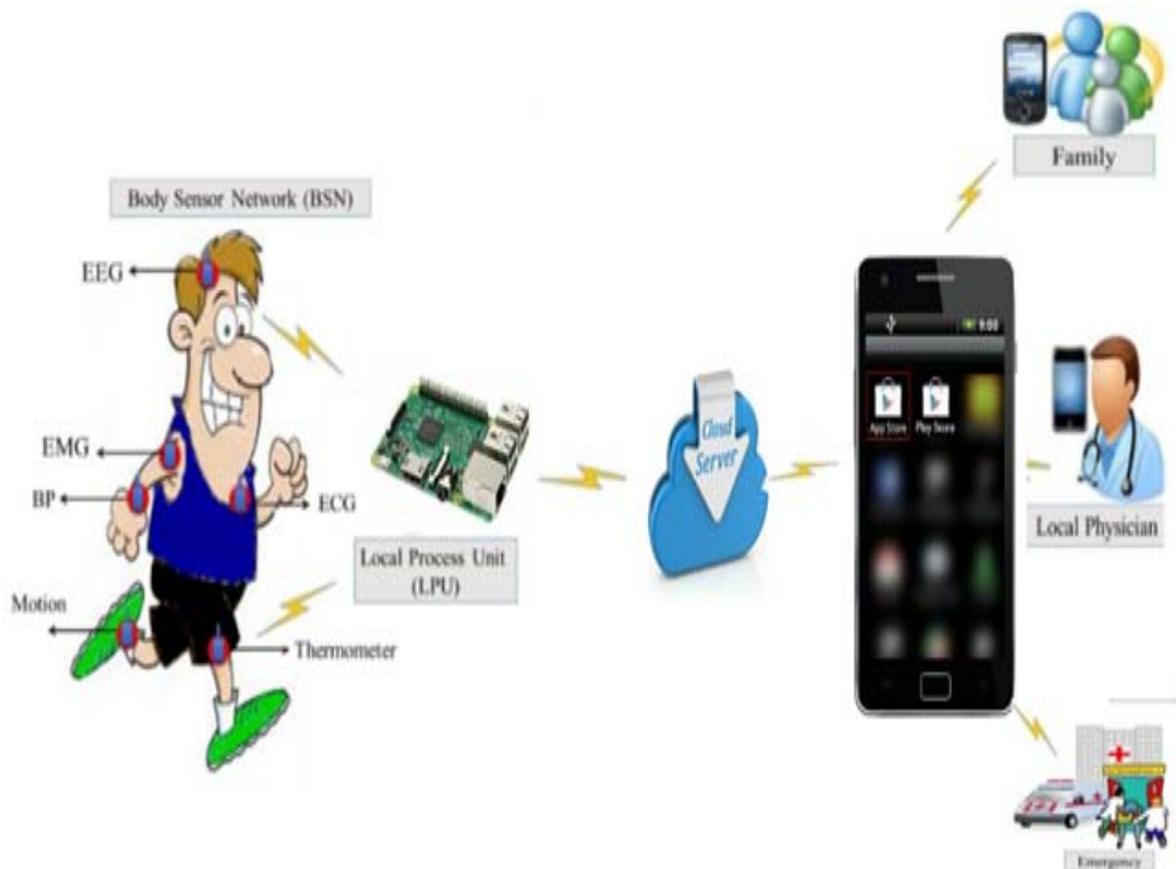


FIGURE 2.1 – Architecture du système de surveillance médicale basé sur l'IoT utilisant une application Android

[43]

2.2.2 Système de surveillance médical intelligent des patients Covid-19 basé sur l'IoT

Cette étude faite par Mohammad Monirujjaman Khan et al [44] présente un système IoT basé sur Arduino Uno où des capteurs mesurent la température corporelle, les battements du cœur et de la saturation en oxygène des patients pour la surveillance de la santé de ces derniers en temps réel. Ces données sont envoyées en analogique à l'Arduino Uno qui les convertit en numérique puis les envoie à un serveur. Les résultats sont affichés sur un Liquid crystal display (LCD) et peuvent être facilement synchronisés avec une application mobile qui a pour but d'informer le personnel soignant de l'état de santé du patient et de leur envoyer une alerte dans le cas d'un état critique.

La figure 2.2 illustre l'architecture de cette étude [44].

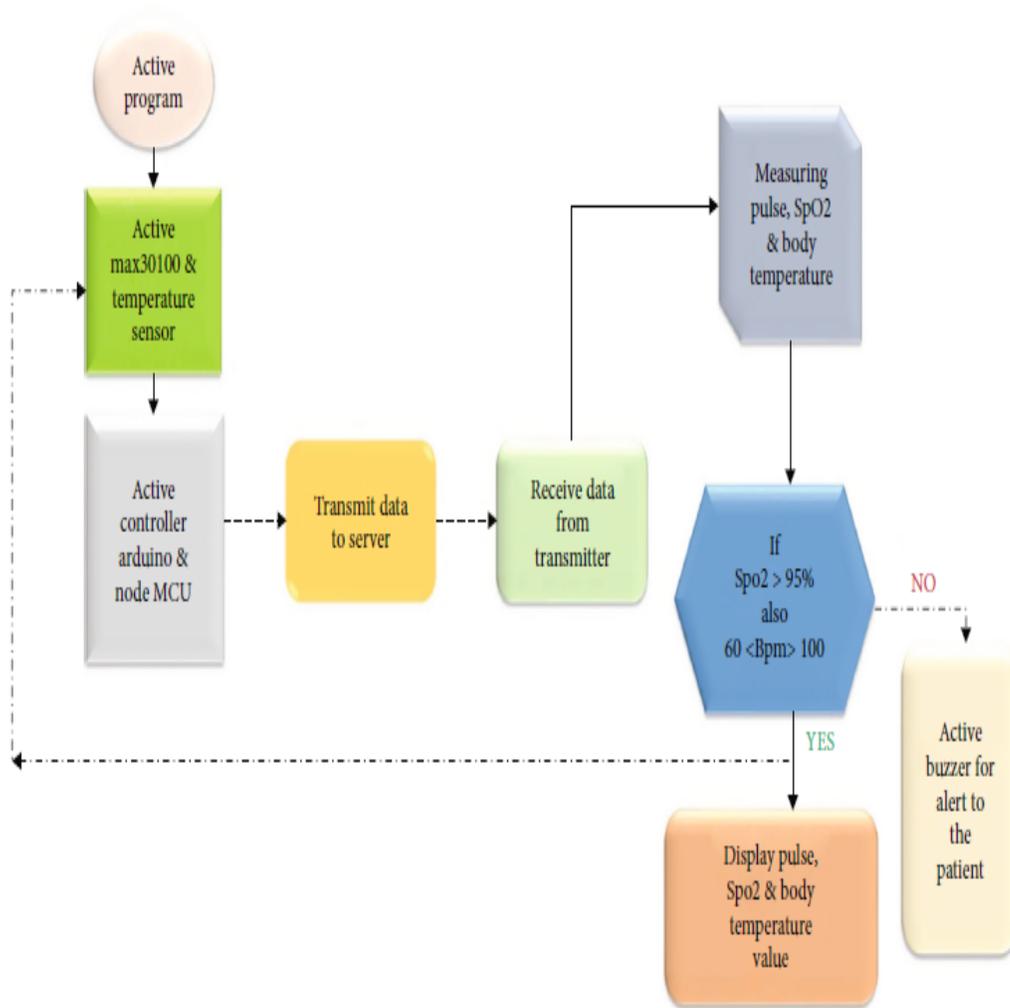


FIGURE 2.2 – Architecture du système de surveillance médicale intelligent des patients Covid-19 basé sur l'IoT

[44]

2.2.3 Système de maisons intelligentes : OntoSmart pour surveiller et assister les habitants

Comme vu précédemment, la Cyber-santé a eu un grand impact sur l'optimisation du confort et la sécurité de la vie des personnes âgées. Effectivement, grâce aux maisons intelligentes dotées de domotique, ces derniers peuvent profiter du luxe de rester chez soi sans avoir recours à un établissement spécialisé. Dans ce qui suit, nous allons voir un exemple de maison intelligente conçue spécialement pour surveiller la santé des personnes âgées et assurer leur sécurité, proposé par Lina Nachabe et al [45].

Cette étude présente un système multi-agents OntoSmart qui se compose de trois groupes : Un réseau corporel sans fil (Wireless Body Area Networks (WBAN)), un cluster local et un Sémantic registre.

Le WBAN se compose d'un ensemble de capteurs qui mesurent et recueillent le rythme cardiaque, la posture et la position du patient qui seront directement reliés au corps de celui-

ci (BSN). Ces données seront envoyées au serveur local via le Smartphone du patient qui joue le rôle du Data Collector Agent (Cluster Hub). La communication entre ce dernier et le serveur local se fait en JSON. Le cluster WSN (Wireless Sensor Network), ou cluster local, a pour but de surveiller le niveau de la maison en termes de température, emplacement, etc. Les paramètres ambiants seront reliés au Smartphone du résident où la communication entre eux se fait en JSON. Quant au reste des communications, elles se feront via Programmable Logic Controller (PLC) (Programable Logic Controller), suivant le mode de bus TCP (Transmission Control Protocol).

Le dernier composant de cette architecture est la Semantic registre ou Remote Semantic Storage and Management Server. Il s'occupe de l'inscription de toutes les ontologies Semantic Smart Home System (SSHS) implémentées en utilisant différents types d'agents. Deux applications mobiles ont été développées qui permettent au patient et à sa famille de surveiller ses signes vitaux en temps réel. Le premier est entièrement dédié au patient. Lors de la première utilisation, le patient se connectera grâce à son adresse Gmail et configurera tout concernant ses proches et sa localisation dans la maison, etc. A la fin de l'initialisation, il verra tous les paramètres affichés à l'écran.

La deuxième application est dédiée aux proches du patient, qui auront un accès continu à ses constantes à travers requêtes GET Constrained Application Protocol (COAP) continues envoyées au serveur distant. En cas de soucis, des notifications seront envoyées aux proches. Deux types de notifications ont été configurées : Notification de fréquence cardiaque anormale et détection de chute. Pour éviter les fausses alarmes, une minuterie de 1 minute a été introduite pendant laquelle le patient pourra annuler la notification.

La figure 2.3 illustre l'architecture de cette étude [45].

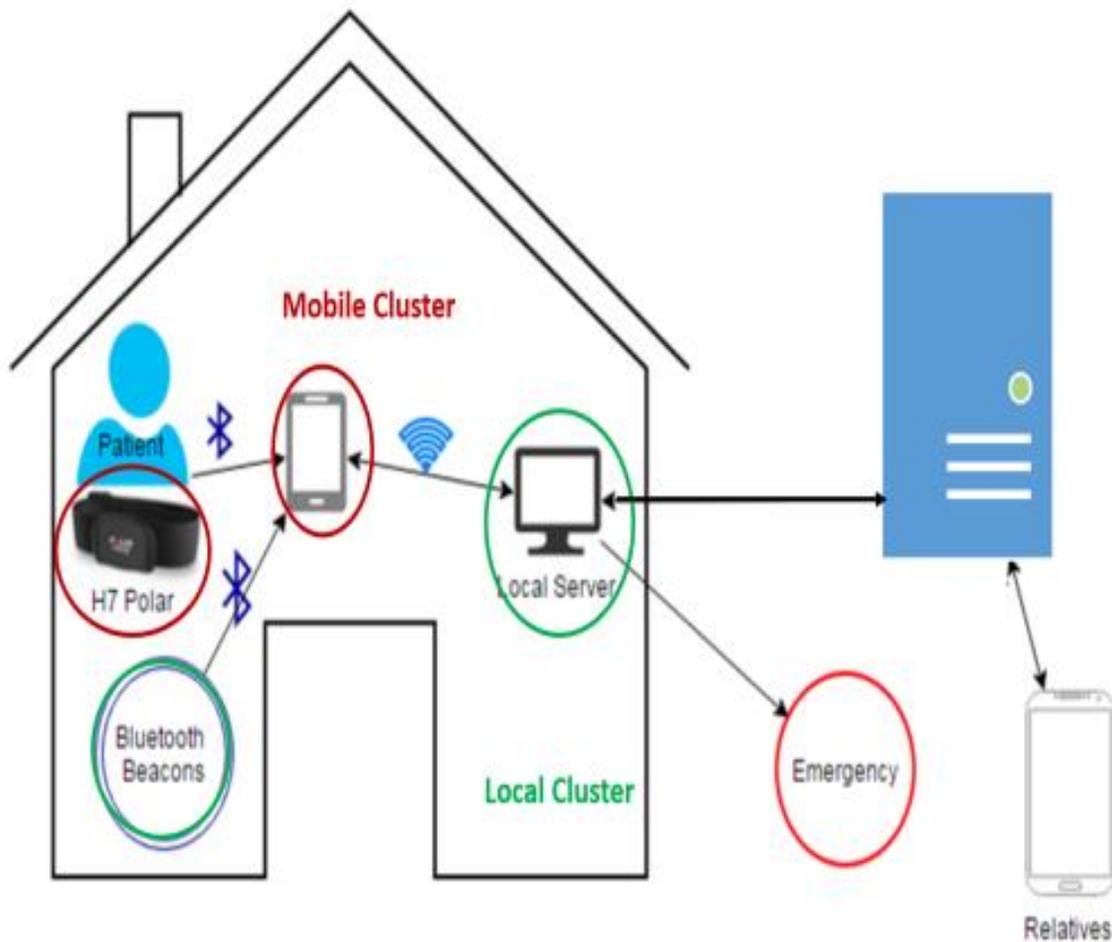


FIGURE 2.3 – Architecture du système de maisons intelligentes : OntoSmart pour surveiller et assister les habitants

[45]

2.2.4 Détection pré-symptomatique du Covid-19 à partir des données collectées par une Smartwatch

Lors de pandémies, il est nécessaire d'avoir recours à plusieurs moyens de prévention afin de réguler le taux de propagation de la maladie ou du virus. L'IoT peut s'avérer être un très bon moyen afin d'atteindre ce but surtout avec l'apparition du Covid 19. Plusieurs travaux ont été réalisés afin de pallier ce problème mais dans ce qui suit nous allons nous focaliser sur un travail précis qui a été proposé par Tejaswini Mishra et al [46].

Cette étude est basée sur la détection précoce du Covid 19 grâce à la collecte et analyse des données émises par les capteurs (De mesure de rythme cardiaque, de température corporelle, de pas et de sommeil) de Smartwatch (Fitbit, Apple, Garmin et autres même si les résultats de cette étude sont basés sur les données collectées des montres Fitbits) connectées à une application mobile appelée MyPHD compatible avec les smartphones Android et iOS.

Il y a été décrit deux méthodes prévues à cet effet. L'une offline étudiant les résultats

de patients atteints de Covid 19 afin d'analyser et examiner les déviations physiologiques causées sur le rythme cardiaque et leur taux de fréquence englobant deux algorithmes : La différence du rythme cardiaque au repos anormal (Abnormal resting heart rate difference - RHR Diff en anglais) et le rythme cardiaque-pas ratio associé à la maladie Covid-19 (Heart rate-to-steps ratio associated with Covid-19 illness- HROS-AD en anglais). A partir des données collectées, une méthode online pour la détection précoce du Covid 19 appelée CuSum a été créée où une alarme est déclenchée en cas d'anomalie.

En ce qui concerne la méthode online, l'utilisateur doit remplir un formulaire détaillé contenant l'âge, le sexe, la région, etc. sur RedCap et où il aura un suivi quotidien de ses symptômes en termes de sévérité. Après cela, il lui est demandé d'installer l'application MyPHD afin de collecter les données émises par les capteurs de façon chiffrée et sécurisée.

La figure 2.4 illustre l'architecture de cette étude [46].

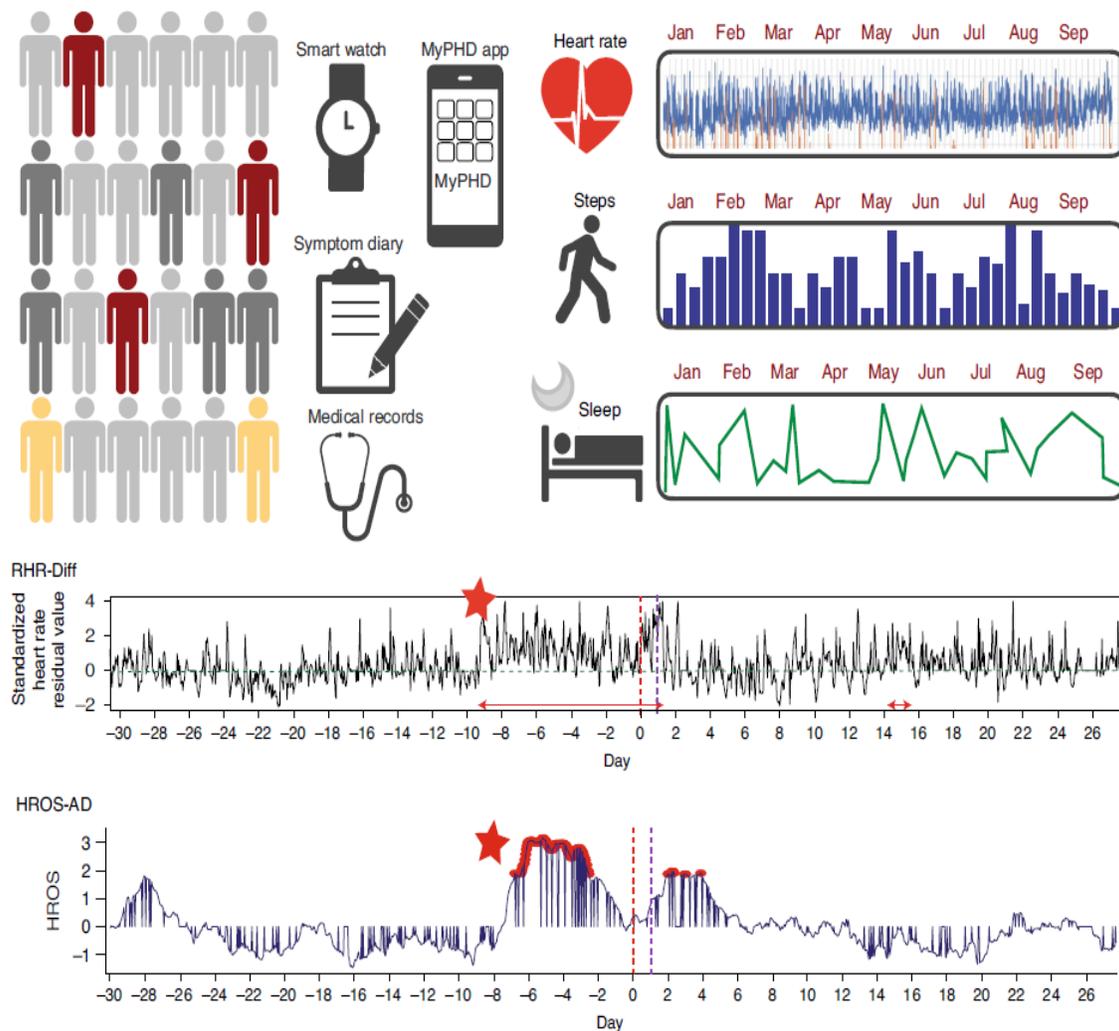


FIGURE 2.4 – Système de détection pré-symptomatique du Covid-19 à partir des données collectées par une Smartwatchss

[46]

2.3 Étude comparative des travaux existants

Dans les sections précédentes, quatre travaux y ont été décrits. Après les avoir présentés, nous allons maintenant faire une petite comparaison qui sera résumée dans le tableau présent dans la figure.

Les trois premiers travaux [43] [44] [45] ont élaboré une solution différente pour un même problème : La télésurveillance médicale et le dernier [46] s'est penché sur la détection médicale. Les deux premières études [43] [44] étaient assez similaires et partageaient les mêmes inconvénients majeurs qui sont la mobilité réduite à cause du système câblé et la constante obligation de poser le doigt sur le capteur afin de mesurer les battements de cœur.

Ces problèmes ont plus au moins trouvé leurs solutions dans l'avant-dernier travail [45]. Même si [45] était bien pensé et efficace, il reste que c'est une solution pas très abordable en termes de coûts et son architecture n'est pas forcément adaptable à toutes les maisons.

Quant au dernier[46], c'est une solution pas très coûteuse et non contraignante pour son utilisateur mais il s'avère que ses résultats ne sont pas tout le temps concluants. Ils peuvent être faussés si l'utilisateur ne porte pas sa montre ou qu'elle est éteinte alors il y a une possibilité de perte de données. Tout comme ils peuvent indiquer une autre maladie qui partage les mêmes symptômes que le Covid 19.

Le tableau 2.1 suivant fait une synthèse globale de cette étude comparative.

Systèmes	objectif	Technologies utilisées	Personnes étudiées	Paramètres	Avantages	Inconvénients
IoT based health monitoring system using Android App [43]	Télésurveillance médicale	Rasberry Cloud Android	Patient malade	-Température corporelle -Humidité -Ryhtme cardiaque	-Temps réel -Possibilité de rajout de capteurs BSN -Coûts abordables	-Mobilité restreinte -Poser un doigt sur le capteur pour avoir les pulsations donc n'enregistre pas à tout moment
IoT based smart health monitoring system for COVID 19 patients [44]	Télésurveillance médicale	Ardouino Uno LCD Cloud Android	Patients atteints du COVID 19	-Température corporelle -Rythme cardiaque -Saturation d'Oxygène	-Temps réel -Possibilité de rajout de capteurs BSN -Adaptable pour la maladie pulmonaire obstructive chronique et d'asthme -Arduino Uno peut se connecter à BLE -Coûts abordables	-Mobilité restreinte -Poser un doigt sur le capteur pour avoir les pulsations donc n'enregistre pas à tout moment
Semantic Smart Home monitoring System : OntoSmart to monitor and assist habitant[45]	Télésurveillance médicale et sécurité des personnes âgées	Smart Home Réseau corporel sans fil (WBAN) Cluster WSN	Personnes âgées	-Température corporelle -Rythme cardiaque -Posture -Localisation -Température de la maison	-Temps réel -Système fiable tible et sécurisé Ontologie non ambiguë -Durée de vie des capteurs du Smartphone Plus longue	-Coûts élevés -Architecture non compacte adéquate à toutes les maisons -Les capteurs peuvent fausser les résultats de posture et des chutes
Pre-symptomatic detection of COVID 19 from Smartwatch data [46]	Détection précoce du COVID 19	Smartwatch Cloud Android iOS	Personnes susceptibles d'avoir ou sont atteints de COVID 19	-Température corporelle -Rythme cardiaque -Posture -Localisation -Température de la maison	-Temps réel -Encrypté et sécurisé -Efficace (63%) de réussite -Utilisation facile -Côts abordables -Ne requiert pas l'aide le personnel médicale	-Maladie détectée autre que le COVID 19 ayant les mêmes symptômes -Les résultats peuvent être faussées en cas d'extinction ou le non port de la Smartwatch

TABLE 2.1 – Synthèse des travaux étudiés

Au vu des inconvénients tirés de ces travaux, nous essayerons dans les prochaines sections d'y trouver une solution dans l'architecture que l'on propose pour une télésurveillance médicale.

2.4 Proposition d'une architecture à base d'IoT pour la télésurveillance médicale

Dans cette section, nous présentons notre système de télésurveillance médicale qui est doté d'une Smartwatch permettant de récupérer les paramètres vitaux du corps d'un patient tels que la température, la saturation de l'oxygène, la tension artérielle et le rythme cardiaque qui sont des facteurs cruciaux pour déterminer le bien-être d'un patient et l'absence d'anomalies dans ses constantes. Il avertit le médecin traitant de celui-ci lorsque ses signes vitaux sont anormaux en générant une alerte afin que le médecin puisse le prendre en charge.

Ce système peut convenir pour une surveillance à distance à temps réel sans avoir recours à une assistance médicale constante rapprochée. Il vise à laisser le patient son autonomie avec une mobilité non restreinte en jouissant d'une surveillance constante et pointue peu coûteuse. Ainsi il contribue à améliorer la qualité et efficacité des soins de santé.

La figure 2.5 illustre notre système de télésurveillance médicale basé sur l'IoT.

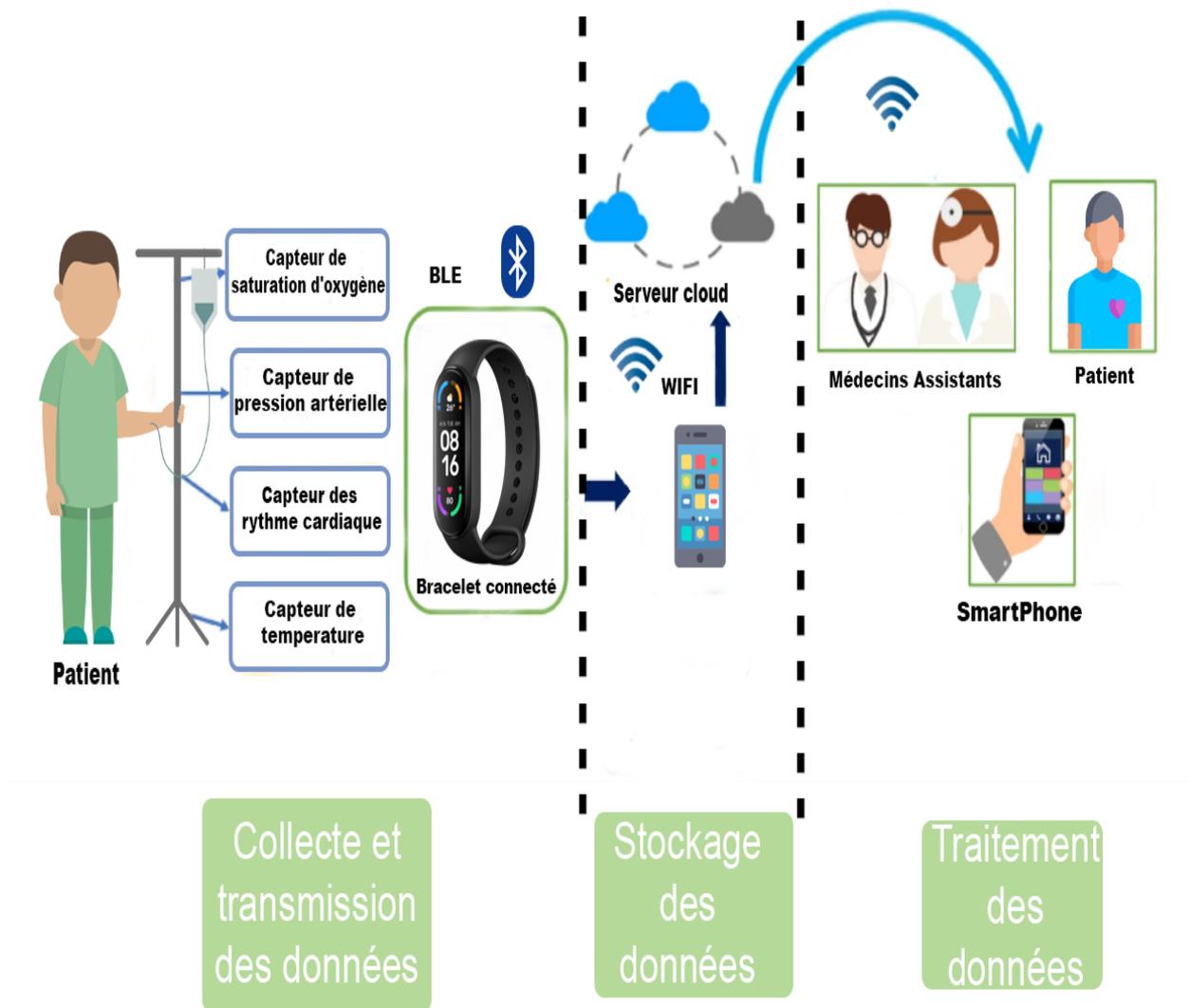


FIGURE 2.5 – Architecture proposée de télésurveillance médicale basée sur l'IoT

Dans ce qui suit, nous allons nous pencher sur le fonctionnement de notre système qui est basé sur trois phases : (1) La collecte et transmission des données, (2) le stockage des données et (3) l'affichage des données.

2.4.1 Collecte et transmission des données

La collecte de données se fait grâce à une Smartwatch dotée de capteurs de température, tension artérielle, saturation d'oxygène et rythme cardiaque. Il suffit donc que le patient la porte constamment sur son poignet afin que ses données vitales soient calculées et collectées.

En pratique et afin de permettre à l'application mobile (Android dans notre cas pratique) qui illustre cette architecture d'accéder et de collecter ces données vitales, nous avons tenté quatre solutions de communication :

- 1- Directe avec la Smartwatch ;
- 2- Par l'intermédiaire de l'application mobile connectée à la Smartwatch (De façon officielle) ;
- 3- Par l'intermédiaire de Google Fit ;
- 4- Par l'intermédiaire de l'application mobile connectée à la Smartwatch (De façon officielle).

2.4.1.1 Communication directe avec la Smartwatch

La première option à laquelle une personne pourrait penser est de faire en sorte que l'application puisse communiquer directement avec la Smartwatch sauf que cette option n'est pas envisageable, du moins avec la Smartwatch qu'on a sous la main qui se nomme Springfield car elle est programmée pour être opérationnelle qu'avec son application mobile FitCloudPro et devoir la reprogrammer n'est pas dans nos cordes mais plus de celui d'un électricien.

Ceci nous a poussé à considérer la deuxième option qui est la communication par l'intermédiaire de l'application mobile connectée à la Smartwatch (De façon officielle).

2.4.1.2 Communication par l'intermédiaire de l'application mobile connectée à la Smartwatch (De façon officielle)

Cette deuxième option pourrait être envisagée dans le cas où l'on obtiendrait les autorisations requises de l'application mobile qui dans cette étude est FitCloudPro pour avoir accès à leur base de données en temps réel dans le cadre d'une collaboration entre les deux applications comme vu par exemple dans le travail [44]. Bien évidemment, c'est une démarche délicate vu qu'elle traite des données sensibles ce qui fait que la réponse de la demande d'autorisation pourrait prendre beaucoup de temps pour être étudiée et évaluée. Rien n'assure l'obtention de cette autorisation. Effectivement, une réponse positive pourrait être reçue comme une réponse négative pourrait l'être.

Vu l'incertitude de la démarche et le manque de temps, il a été jugé préférable d'ignorer cette option et de voir une autre alternative qui est la communication par l'intermédiaire de Google Fit.

2.4.1.3 Communication par l'intermédiaire de Google Fit

Pour que l'application puisse accéder aux données collectées par la SmartWatch, il faut avoir recours à des API et la plus connue et utilisée d'entre elles est l'API Google Fit s'appelant Fitness Rest API avec laquelle on pourra notamment migrer les données vers des feuilles Google Sheet.

Afin de l'obtenir et de pouvoir l'utiliser, il faut tout d'abord avoir un compte Google ou en créer un. Après cela, deux étapes majeures sont nécessaires pour la configuration de l'Interface de programmation d'application (API) afin que l'on puisse l'utiliser ultérieurement.

a)- Obtention du OAuth Access Tokens

L'obtention de OAuth 2.0 Client ID se fait en suivant des instructions simples successives qui englobent l'activation de l'API (En cliquant sur enable the Fitness API) et les autorisations de JavaScript Origins ainsi que Redirect URL (En insérant les liens URL demandés) sur la console Google API.

Premier problème, la demande sera étudiée et donc cette autorisation pourrait être acceptée comme elle pourrait être refusée et même dans le cas d'une acceptation il faut veiller à ne pas enfreindre les lois et conditions requises de sécurité car c'est des données sensibles qui seront traitées.

b)- Invocation des méthodes de l'API

Cette deuxième étape se fait grâce au OAuth Playground en utilisant les requêtes HTTP. Ces requêtes HTTP permettent de voir et/ou créer des sources de données et la commande cURL afin d'accéder à Fitness REST API. Vous pouvez trouver les étapes détaillées ainsi que des exemples de requêtes HTTP sur [47].

Jusqu'ici rien de bien compliqué en soi si on l'omet le risque de refus de l'obtention de l'OAuth Access Tokens dans la première étape. Le vrai problème réside dans le fait que l'API nous donne l'accès à ce que Google Fit récupère comme données d'elle-même comme les données émises par le Podomètre, mais les données reçues par des applications tierces nécessitent l'autorisation de ces dernières (Un peu comme dans la deuxième option pour avoir l'autorisation des bases de données de l'application concernée). En suivant cette logique alors les données des signes vitaux émises par une Smartwatch à son application mobile (Android ou iOS) qui doit pouvoir être associée à Google Fit (Une liste d'applications réduite) ne seront pas accessibles à moins d'avoir l'autorisation de ces dernières pour utiliser leur application comme pont. Ces autorisations prennent du temps à être délivrées, peuvent être payantes et il n'y a aucune certitude qu'elles soient accordées car c'est des autorisations sensibles et éthiquement parlant, une autre application pourrait s'enrichir sur le dos d'une autre.

Une alternative à la console Google API qui est NoCodeAPI propose les mêmes services que celle-ci. Elle a été essayée, mais comme cette première c'était sans succès.

Pour essayer de pallier ce problème, une approche peu orthodoxe a été envisagée dans un cadre purement théorique et non lucratif, celle d'activer soi-même les autorisations de l'application qu'utilise la SmartWatch que l'on va voir dans la dernière option.

2.4.1.4 Communication par l'intermédiaire de l'application mobile connectée à la Smartwatch (De façon officieuse)

Cette dernière option se traduit en quatre étapes majeures : (1) Décompilation de l'application, (2) activation des autorisations, (3) utilisation d'Activity Starter et enfin (4) l'utilisation d'un Reconnaissance optique de caractères (OCR).

Pour cela, il faut tout d'abord avoir sous la main le fichier **.apk** de l'application (Dans cet exemple FitCloudPro) en question et de la décompiler en utilisant les commandes **adb** et les outils **ApkTool** ainsi que **Jadx**.

Pour cela, il faut connecter un Smartphone Android à un ordinateur en mode débogage USB puis exécuter une suite de commandes **adb** pour pouvoir extraire le fichier **.Android Package (APK)** de l'application, puis retransmettre l'apk de l'application modifiée au téléphone une fois fini. Après cela, en utilisant **ApkTool**, il est possible de désassembler le fichier **.apk** et ses ressources, mais aussi de recompiler tout ça. Comme les fichiers résultants sont globalement en **Smali** on utilise **JadX** pour avoir leur conversion en Java. Dans le manifeste on modifie les autorisations qui nous intéressent en les mettant à True pour pouvoir y avoir accès par la suite avec l'**Activity Starter**. Grâce à l'**Activity Starter**, on peut maintenant avoir accès aux interfaces des activités qui nous intéressent.

Malheureusement, certaines autorisations sont tout de même cachées et ne peuvent y être accédées par n'importe qui. Cela nous empêche d'avoir les résultats des activités en utilisant des intents mais grâce à un **OCR** on aurait pu récupérer à l'aide de captures d'écran fréquentes les valeurs des données des constantes et pourraient être stockées dans une base de données personnelle sauf que cela n'a pas pu se faire car l'autorisation qui active les captures d'écran sur l'application quand une autre la sollicite est cachée et est donc inaccessible.

Suite à toutes ces complications, il a été décidé que la collecte se fasse manuellement pour pouvoir mettre en œuvre cette architecture et de la tester.

2.4.1.5 Capteurs

Dans ce qui suit, nous allons voir une petite définition de chaque capteur.

a)-Capteur de température

La température corporelle peut être estimée à partir de la température cutanée, qui peut être mesurée avec une thermopile infrarouge, des thermistances, des effets thermoélectriques ou via des moyens optiques. La configuration de la thermistance est principalement utilisée dans les capteurs portables, alors que la résistance de la thermistance varie en fonction de la température. Ce genre de capteurs est un nouveau dispositif dans les Smartwatch et donc est pour le moment peu fiable mais donne quand même une approximation qui peut aider à détecter des fièvres. [48]

b)-Capteur de saturation d'oxygène

La dernière génération de Smartwatch mesure la saturation en oxygène en reprenant le système d'un matériel médical (Oxymètre de pouls) sauf que celui-ci est effectué sur le poignet. qui consiste à placer votre doigt dans un petit capuchon et qui, grâce à de la lumière pulsée, va pouvoir mesurer la lumière réfléchiée et la lumière absorbée en fonction du taux d'oxygène dans le sang. Ce système ressemble au système effectué pour le calcul du rythme cardiaque sauf qu'on y utilise une lumière rouge, et non pas verte. Cette mesure permet de surveiller l'état des patients sujets à des troubles respiratoires ou souffrant d'affections de l'appareil respiratoire. [49] [50]

c)-Capteur de tension artérielle)

Actuellement, moult et moult Smartwatch sont dotés de capteurs de mesure de la pres-

sion artérielle. Ces capteurs diffèrent d'un tensiomètre traditionnel (Par secousses). Effectivement ; les capteurs de tension artérielle intégrés dans les Smartwatch sont déterminés en fonction des indicateurs des capteurs de fréquence cardiaque, du rythme et de la vitesse de l'onde de pouls en ayant préalablement le taux de croissance, le poids et l'âge. [51]

d)-Capteur de rythme cardiaque

Le capteur de rythme cardiaque est de loin un des capteurs fards utilisés par les Smartwatch si ce n'est le plus incontournable. Cette mesure est la plupart du temps faite avec un cardiofréquence-mètre qui est fixé au dos de la montre utilisant la photopléthysmographie. Ce terme désigne le fait d'envoyer une lumière verte pulsée afin de mesurer la quantité de lumière réfléchi. Si le taux de réflexion est élevé cela signifie que le flux sanguin est conséquent et donc que le rythme des battements de cœur est élevé.[52]

2.4.2 Stockage et traitement des données

Une fois les données des signes vitaux collectées, celles-ci seront envoyées à l'aide du Bluetooth Low Energy au Smartphone du patient qui jouera le rôle d'un serveur Fog en utilisant TinyDb en local. Comme la collecte dans notre cas pratique s'est faite manuellement donc il n'a pas eu lieu d'utiliser le BLE.

En activant et utilisant le Wifi du Smartphone, les données seront envoyées, représentées et stockées dans un serveur Cloud qui est Firebase Realtime où les données seront partagées (Mode online quand une connexion est disponible et en offline dans le cas contraire. Les données stockées en mode Offline seront immédiatement stockées en mode Online dès qu'une connexion est disponible), afin qu'elles soient accessibles et affichées sur le compte médecin à distance et celui du patient.

En plus de Firebase Realtime, Firebase Authentication permet de gérer les comptes inscrits et connectés à l'application en offrant plein de services tels que la récupération de mot de passe par email ou la connexion par téléphone ou Gmail.

2.4.3 Affichage des données

Les données concernant les signes vitaux collectés par les capteurs de la SmartWacth sont récupérées de la base de données Firebase Realtime et affichées sur les deux comptes gérés par Firebase Authentication : Patient et médecin une fois qu'ils se soient authentifiés bien sûr.

Le compte patient donne à celui-ci la possibilité de suivre ses signes vitaux, de consulter les détails de son traitement si un traitement existe et de consulter ses notifications d'alertes reçues en cas de constantes anormales. Il pourra aussi modifier son profil (modifier son nom, prénom, âge,etc.), et se déconnecter. Quant au compte médecin, il peut également accéder à ces mêmes services et peut jouir en plus de ça de pouvoir contrôler les données en ajoutant un traitement, de modifier les paramètres sur lesquels seront basées les alertes et de pouvoir contacter son patient.

2.4.4 Algorithme proposé de détection d'anomalies dans les valeurs des signes vitaux

Cette figure 2.6 présente l'algorithme utilisé afin de détecter les anomalies dans les valeurs des signes vitaux en fonction de l'âge du patient et du signe vital.

```

1  program Hygie;
2
3      var dataTemp, dataSatu, dataRC, dataTens, dataTempNormalMin, dataTempNormalMax, dataSatuNormalMin, dataSatuNormalMax,
4          dataRCNormalNouveauneMin, dataRCNormalNouveauneMax, dataRCNormalNourrissonMin, dataRCNormalNourrissonMax,
5          dataRCNormalEnfantMin, dataRCNormalEnfantMax, dataRCNormalAdulteMin, dataRCNormalAdulteMax,
6          dataTensNormalNouveauneMin, dataTensNormalNouveauneMax, dataTensNormalNourrissonMin, dataTensNormalNourrissonMax,
7          dataTensNormalEnfantMin, dataTensNormalEnfantMax, dataTensNormalAdulteMin, dataTensNormalAdulteMax : real;
8
9      age: integer;
10     const T;
11
12
13     procedure comparaison (dataUti,dataNormalMin, dataNormalMax: real, TempsLimite:const):
14     var alert: integer;
15     begin
16         if ((dataUti < dataNormalMin) or (dataUti > dataNormalMax)) then
17         begin
18             alert := -1;
19             Send orange alert to System application;
20
21             if Temps > TempsLimite then
22                 Send red alert to System application;
23                 Call Doctor number and send him a message with GPS localisation;
24             end;
25         end;
26
27     begin
28
29         age := ageComptePersonne ;
30
31     if (dataT received from sensorTemp or dataS received from sensorSatu or
32     dataR received from sensorRC or dataTe received from sensorTens)then
33     begin
34         dataTemp := dataT;
35         dataSatu := dataS;
36         dataRC := dataR;
37         dataTen := dataTe;
38
39         comparaison(dataTemp, dataTempNormalMin, dataTempNormalMax,T);
40
41         comparaison(dataSatu, dataSatuNormalMin, dataSatuNormalMax, T);
42
43         case age of
44             -- Nouveau né (Jusqu'a 1 mois)
45             0..28:    comparaison(dataRC, dataRCNormalNouveauneMin, dataRCNormalNouveauneMax,T);
46
47             -- Nourrisson (De 1 mois à 2 ans)
48             29..730:  comparaison(dataRC, dataRCNormalNourrissonMin, dataRCNormalNourrissonMax,T);
49
50             -- Enfant (De 2 ans à 17 ans)
51             731..6205: comparaison(dataRC, dataRCNormalEnfantMin, dataRCNormalEnfantMax,T);
52
53             -- Adulte (De plus de 17 ans)
54             else :    comparaison(dataRC, dataRCNormalAdulteMin, dataRCNormalAdulteMax,T);
55         end;
56
57         case age of
58             -- Nourrisson et nouveau né jusqu'a 1 an
59             0..365:    comparaison(dataTens, dataTensNormalNouveauneMin, dataTensNormalNouveauneMax, T);
60
61             -- Enfant de plus d'un an et moins de 5 ans
62             366..1825: comparaison(dataTens, dataTensNormalNourrissonMin, dataTensNormalNourrissonMax, T);
63
64             -- Enfant de plus de 5 ans et moins de 10 ans
65             1826..3650: comparaison(dataTens, dataTensNormalEnfantMin, dataTensNormalEnfantMax, T);
66
67             -- Personne plus de 17 ans (Adulte)
68             else:     comparaison(dataTens, dataTensNormalAdulteMin, dataTensNormalAdulteMax, T);
69         end;
70     end if;
71
72     end.

```

FIGURE 2.6 – Algorithme de détection des anomalies dans les valeurs des signes vitaux

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu voir et décortiquer quatre travaux qui traitent sur la télésurveillance. Après avoir relevé les points forts et faibles de chacun d'entre eux dans une étude comparative, nous avons pu proposer à notre tour une architecture basée sur la surveillance à distance de patients en expliquant les trois étapes qui la composent -c'est à dire- la collecte et transmission des données, le stockage et traitement des données et enfin l'affichage des données et cela accompagné d'un schéma explicatif ainsi que l'algorithme conçu à cet effet.

Dans le chapitre suivant, nous allons pouvoir comprendre l'implémentation de cette architecture de façon conceptuelle.

Conception de l'architecture proposée par une étude de cas : Surveillance à distance des patients atteints du COVID-19

3.1 Introduction

Après avoir critiqué quelques travaux et avoir présenté notre propre architecture, nous allons maintenant procéder à la mise en œuvre de celle-ci dans un cas pratique qui est la surveillance à distance des patients atteints du COVID-19.

Initialement des pneumonies de source inconnue découvertes en Chine à Wuhan le 31 décembre 2019, le Covid-19 est une maladie infectieuse et contagieuse qui touche plus précisément les personnes âgées ou malades chroniques dont le temps d'incubation est estimé entre 2 et 14 jours après un contact à risque où le sujet est contagieux. Le COVID 19 se transmet par voie aérienne ou par contact physique d'homme à homme dans un espace confiné qui par la suite peut causer de la fièvre accompagnée d'une toux, une fatigue intense ou le nez qui coule dans le meilleur des cas ou des douleurs musculaires inhabituelles accompagnées de difficultés respiratoires dans les pires des cas qui peuvent mener à la mort. Afin de monitorer les patients atteints du COVID 19, le suivi continu des signes vitaux biologiques tels que la température, la saturation de l'oxygène pulsée SpO₂, le rythme cardiaque ainsi que la tension artérielle peuvent donner une vue de l'état de santé du patient et contribuer à déceler les problèmes qui requièrent un examen plus détaillé ou la prise en charge dans un établissement de santé spécialisé. Il faut comprendre que l'interprétation de ces valeurs aide uniquement à faire un suivi approximatif et préliminaire et non à émettre un diagnostic précis et final.

Grâce au stage effectué dans le Centre hospitalier universitaire (CHU) de Béjaïa, des médecins spécialisés en la matière dans plusieurs services tels que le service pédiatrie et maternité nous ont fourni les informations nécessaires quant aux normes minimales et maximales des valeurs des signes vitaux biologiques : Température, saturation de l'oxygène pulsée, le rythme cardiaque et la tension artérielle dans les différents cas possibles -c'est à dire- nouveau né, enfant bas âge, adulte et femme enceinte.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la partie conception de l'application mobile android nommée Hygie contenant les diagrammes de : Contexte, de cas d'utilisation, de

séquence système et d'interaction.

3.2 Identification des acteurs et des cas d'utilisation

Afin d'entamer la phase de conception de notre application, il est impératif de définir les acteurs de ce système ainsi que ses cas d'utilisation. Nous avons eu recours à l'UML ou Unified Modeling Language appliqué sur Visual Paradigme.

Nous allons commencer par identifier les acteurs dans le tableau 3.1 ci-dessous :

Acteur	Type	Description
Patient	Principal	Entité physique humaine adulte ou sous la tutelle d'un adulte utilisant l'application et ayant accès à toutes ses fonctionnalités
Médecin	Principal	Entité physique humaine adulte appartenant au corps médical utilisant l'application et ayant accès à toutes ses fonctionnalités
Smartwatch	Secondaire	Entité physique et virtuelle constituant un ensemble de données et de méthodes mises en œuvre pour collecter les données des signes vitaux d'un patient atteint de COVID 19

TABLE 3.1 – Identification des acteurs du système

Quant aux différents cas d'utilisation englobés dans notre application, ils sont ordonnés dans le tableau 3.2 suivant :

Cas d'utilisation	Acteur
Collecter les valeurs des signes vitaux	Smartwatch
S'inscrire Se connecter Consulter les valeurs des signes vitaux Afficher le profil Modifier le profil Recevoir alerte Consulter historique Consulter statistiques Se déconnecter	Patient/Médecin
Afficher la liste des patients Filtrer la liste des patients Voir les détails des patients	Médecin

TABLE 3.2 – Identification des cas d'utilisation

3.3 Diagramme de contexte statique

Ce diagramme nous permet d'avoir une vue globale quant aux acteurs qui jouent un rôle dans notre application android de surveillance à distance des patients atteints de COVID 19 comme illustré dans la figure 3.1.

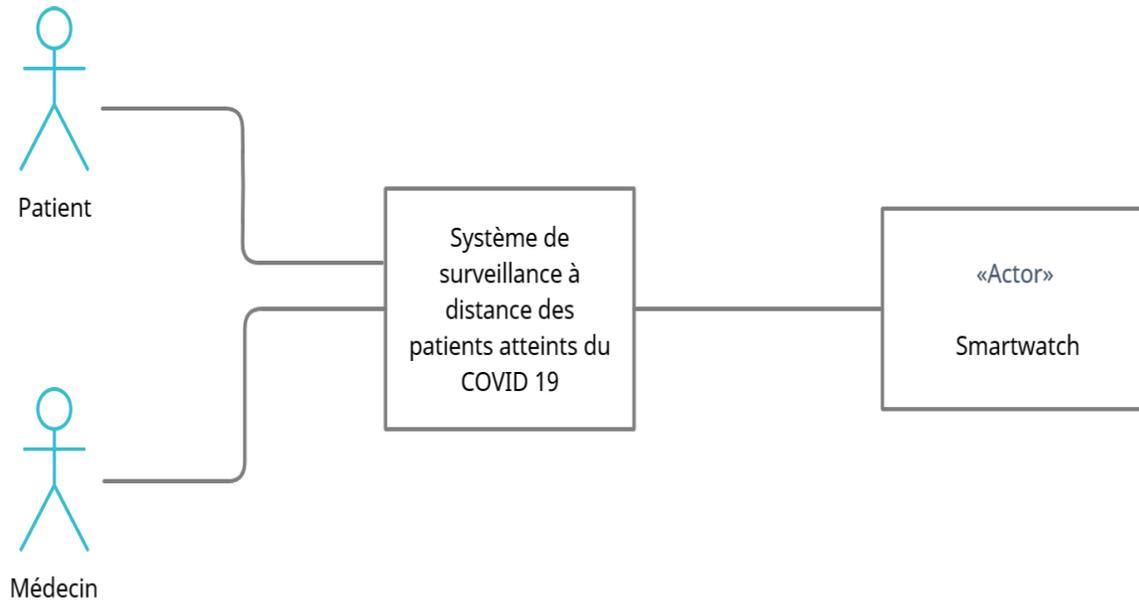
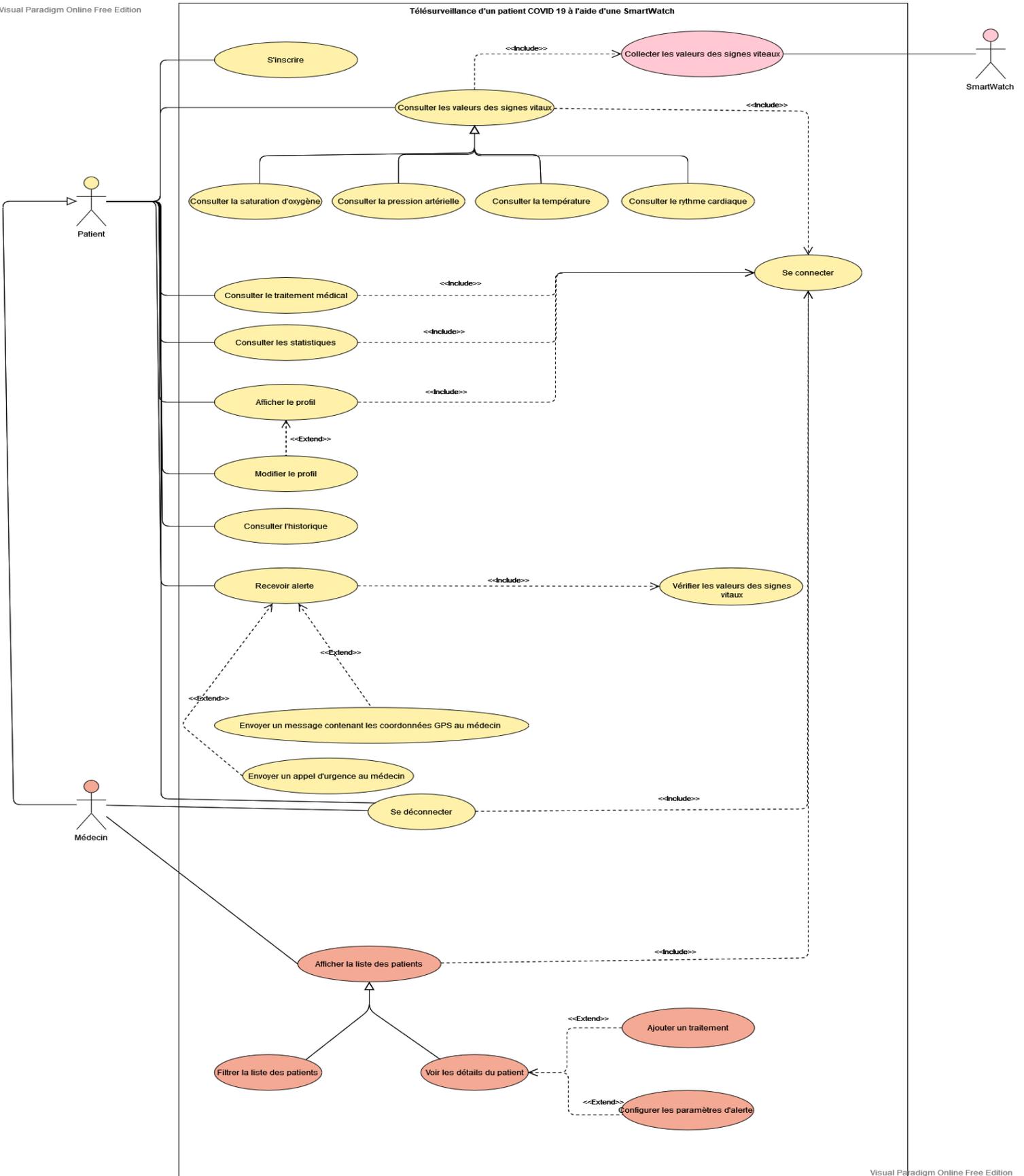


FIGURE 3.1 – Diagramme de contexte statique

3.4 Diagramme de cas d'utilisation

Ci-dessous est représenté le diagramme de cas d'utilisation générale qui illustre les fonctionnalités de notre application (Figure 3.2).

Visual Paradigm Online Free Edition



Visual Paradigm Online Free Edition

FIGURE 3.2 – Diagramme de cas d'utilisation

3.5 Diagrammes de séquence système

Afin de pouvoir tracer les diagrammes séquence système basés des deux cas principaux de notre étude qui sont : L'inscription connexion et la réception d'alertes, il faut d'abord décrire ces deux cas et cela en donnant une description textuelle ainsi qu'un scénario nominal des deux cas.

3.5.1 Diagramme de séquence système d'inscription connexion

Description textuelle :

Objectif : Un utilisateur (Patient / Médecin) doit obligatoirement s'authentifier.

● **Scénario nominal "Inscription/Connexion" :** Après avoir ouvert l'application, une fenêtre Splash Screen s'affiche où l'utilisateur peut choisir de s'inscrire ou de se connecter.

Deux scénarios alternatifs se présentent donc devant nous :Inscription et Connexion.

Nous allons en premier lieu décrire le scénario alternatif Inscription et afin de mieux comprendre ce scénario, il faut d'abord décrire le déroulement des étapes faites dans Validation d'inscription à laquelle on refera dans le scénario alternatif Inscription.

● **Scénario nominal "Validation d'inscription" :**

1 –Le système vérifie la validité du compte. Deux cas s'offrent à nous.

-**Scénario alternatif 1 :** Le compte est valide et n'est pas encore utilisé. Ce scénario commence au point 1 du scénario nominal "**Validation d'inscription**".

1 – Le système crée un compte provisoire.

2 – L'écran de profil s'affiche.

3 – Le patient remplit le formulaire du profil puis valide l'opération.

4 - Le système vérifie que le formulaire est bien rempli. Deux scénarios sont possibles.

-**Scénario alternatif 1.1 :** Le formulaire est bien rempli et est valide. Ce scénario commence au point 4 du scénario alternatif 1.

1 – Le système crée un compte définitif.

2 – L'écran d'accueil est affiché.

-**Scénario alternatif 1.2 :** Le formulaire n'est pas correctement rempli ou est non valide. Ce scénario commence au point 4 du scénario alternatif 1.

1 – Un message d'erreur comportant le champ vide ou mal rempli est affiché à l'écran.

-Scénario alternatif 2 : Le compte n'est pas valide ou existe déjà. Ce scénario commence au point 1 du scénario nominal "**Validation d'inscription**".

1 – Un message d'erreur s'affiche à l'écran informant l'utilisateur que l'adresse e-mail ou le numéro de téléphone n'est pas valide ou est déjà utilisé.

La figure 3.3 illustre le diagramme de séquence "Validation d'inscription".

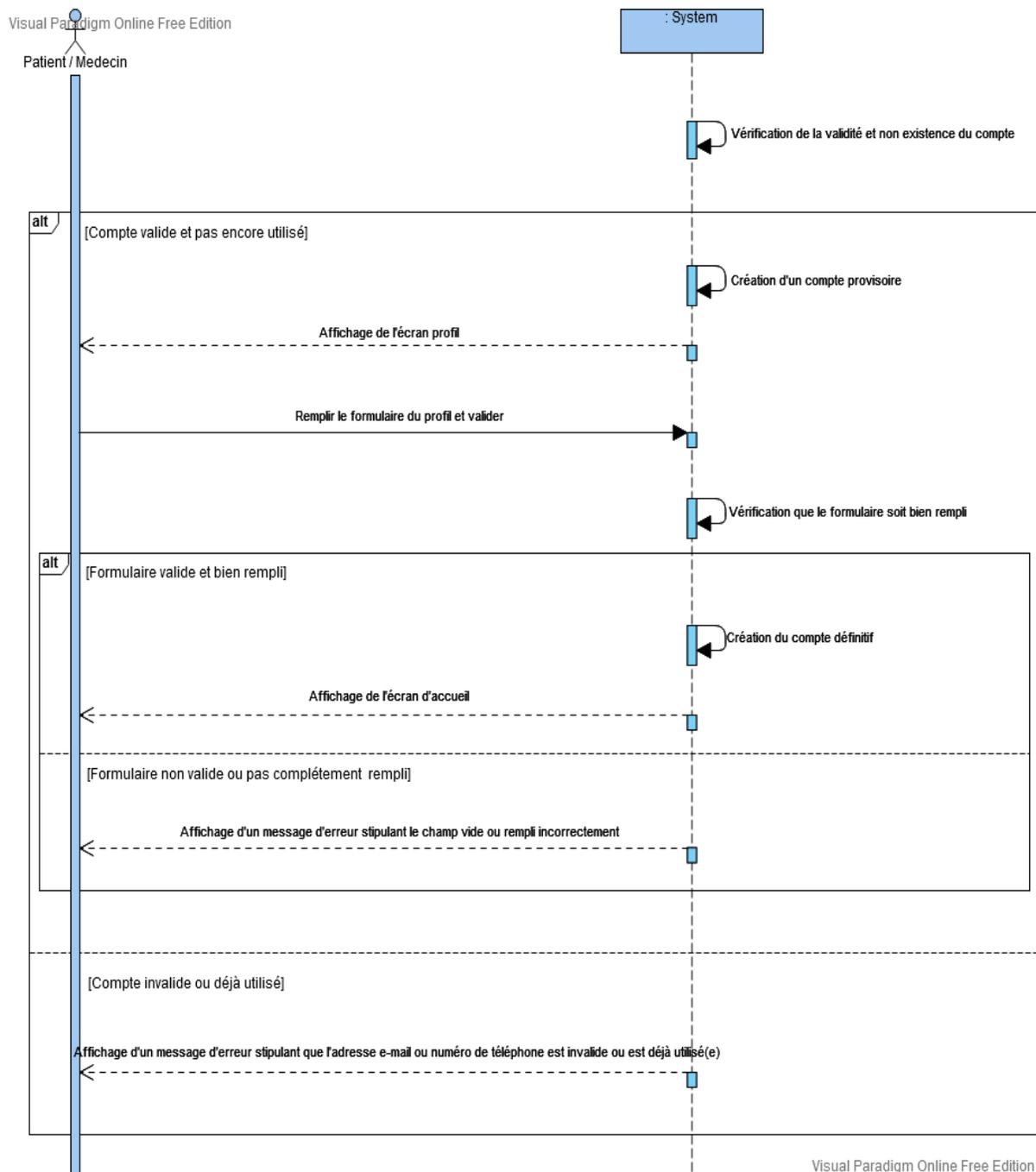


FIGURE 3.3 – Diagramme de séquence système Validation inscription

Maintenant que nous avons décrit les étapes faites dans Validation d'inscription nous pou-

vons enfin décrire le scénario alternatif Inscription.

Scénario alternatif 1 "Inscription" : Le patient décide de s'inscrire en cliquant sur le bouton Inscription.

1- L'écran d'inscription s'affiche proposant trois manières de s'inscrire : Par e-mail accompagné d'un mot de passe, par téléphone et par Gmail.

2- Le patient choisit une option.

-Scénario alternatif 1.1 : Par e-mail et mot de passe. Ce scénario commence au point 2 du **scénario alternatif 1 "Inscription"**.

1 - Il remplit les champs e-mail, mot de passe et confirmation de mot de passe puis valide l'opération.

2 - Le système vérifie que les mots de passe sont identiques. Deux scénarios sont possibles.

-Scénario alternatif 1.1.1 : Mots de passe identiques. Ce scénario commence au point 2 du scénario alternatif 1.1.

1 - Étapes faites dans le **scénario nominal "Validation d'inscription"**.

-Scénario alternatif 1.1.2 : Mots de passe différents. Ce scénario commence au point 2 du scénario alternatif 1.1.

1 - Un message d'erreur apparaît pour informer le patient que les mots de passe sont différents.

-Scénario alternatif 1.2 : Par numéro de téléphone. Ce scénario commence au point 2 du **scénario alternatif 1 "Inscription"**.

1 -Le patient clique sur l'icône téléphone.

2 - L'écran d'inscription du numéro de téléphone apparaît.

3 - Le patient insère son numéro de téléphone puis valide.

4 - Le système génère le code de confirmation puis l'envoie par SMS.

5 - L'écran d'insertion du code de validation est affiché. Deux cas sont à dénoter.

-Scénario alternatif 1.2.1 : Le code est reçu sur le même smartphone. Ce scénario commence au point 5 du scénario alternatif 1.2.

1 - Étapes faites dans le **scénario nominal "Validation d'inscription"**.

-Scénario alternatif 1.2.2 : Le code est reçu sur un smartphone différent. Ce scénario commence au point 5 du scénario alternatif 1.2.

1 – Le patient insère le code de validation dans le champ qui lui est dédié puis confirme l'opération.

2 - Étapes faites dans le **scénario nominal "Validation d'inscription"**.

-Scénario alternatif 1.3 : Par compte Gmail. Ce scénario commence au point 2 du **scénario alternatif 1 : Inscription**.

1 – L'utilisateur clique sur l'icône Gmail.

2 – Affichage d'un écran comportant tous les comptes disponibles sur l'appareil.

3 – L'utilisateur choisi parmi les comptes disponibles.

4 - Étapes faites dans le **scénario nominal "Validation d'inscription"**.

La figure 3.4 illustre le diagramme de séquence du cas d'utilisation "Inscription".

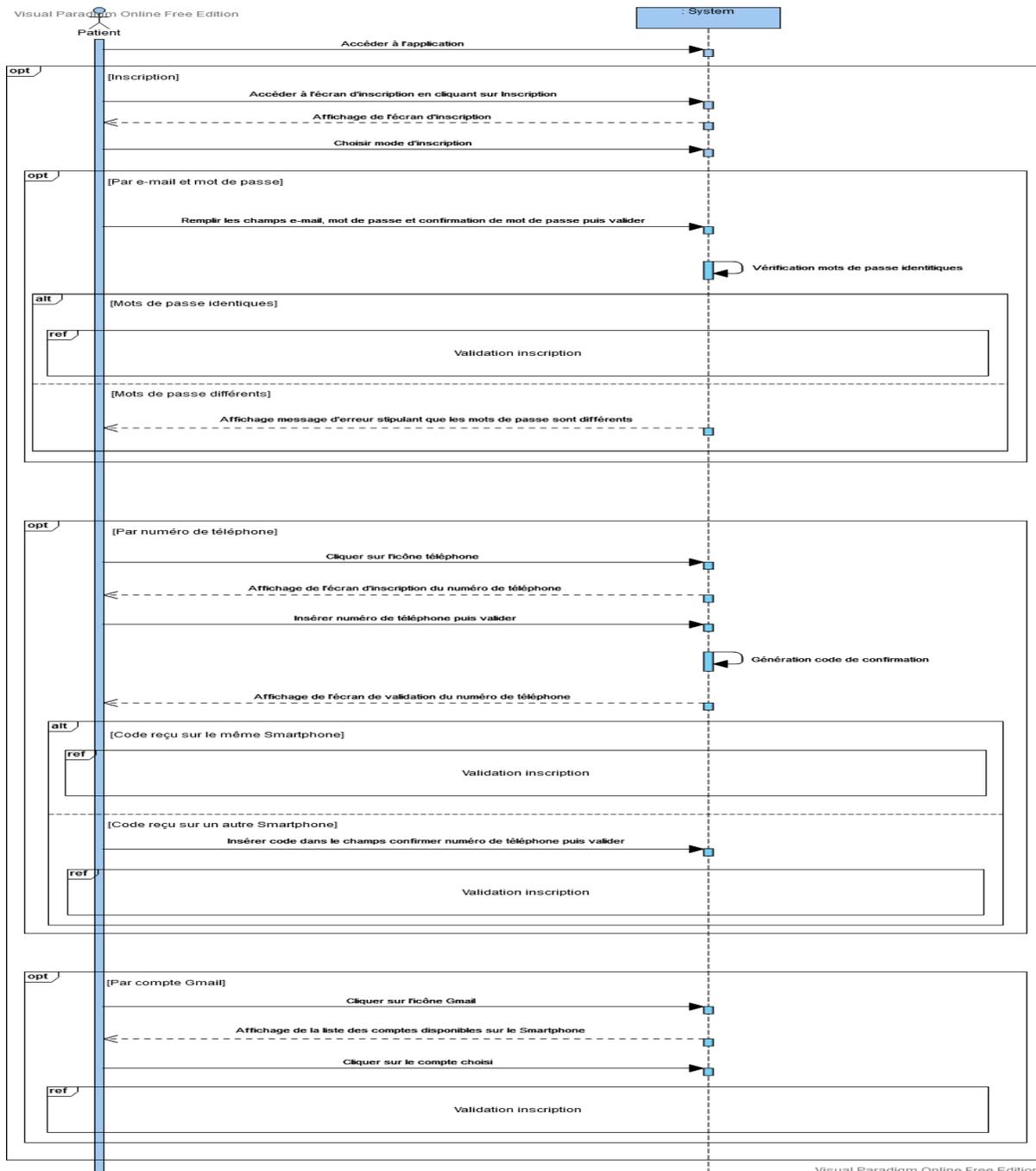


FIGURE 3.4 – Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Inscription

Nous allons maintenant nous consacrer au scénario alternatif 2 Connexion. Comme pour l'inscription, il faut d'abord décrire le déroulement des étapes faites dans Vérification de connexion à laquelle on fera dans le scénario alternatif Connexion.

- Scénario nominal de “Vérification de connexion” :

1– Le système vérifie que le compte existe et qu'il est valide.

2 – Le système vérifie que la méthode de connexion est la même utilisée lors de l'inscription.

Deux cas de figures sont possibles.

-Scénario alternatif 1 : Le compte existe et est valide et la méthode de connexion est conforme à celle de l'inscription. Ce scénario commence au point 2 du **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

1 –L'écran d'accueil s'affiche.

-Scénario alternatif 2 : Le compte n'existe pas ou n'est pas valide ou la méthode de connexion n'est pas conforme à celle de l'inscription. Ce scénario commence au point 2 du **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

1 – Un message d'erreur est affiché à l'écran stipulant le motif de l'erreur.

La figure 3.5 illustre le diagramme de séquence "Vérification de connexion".

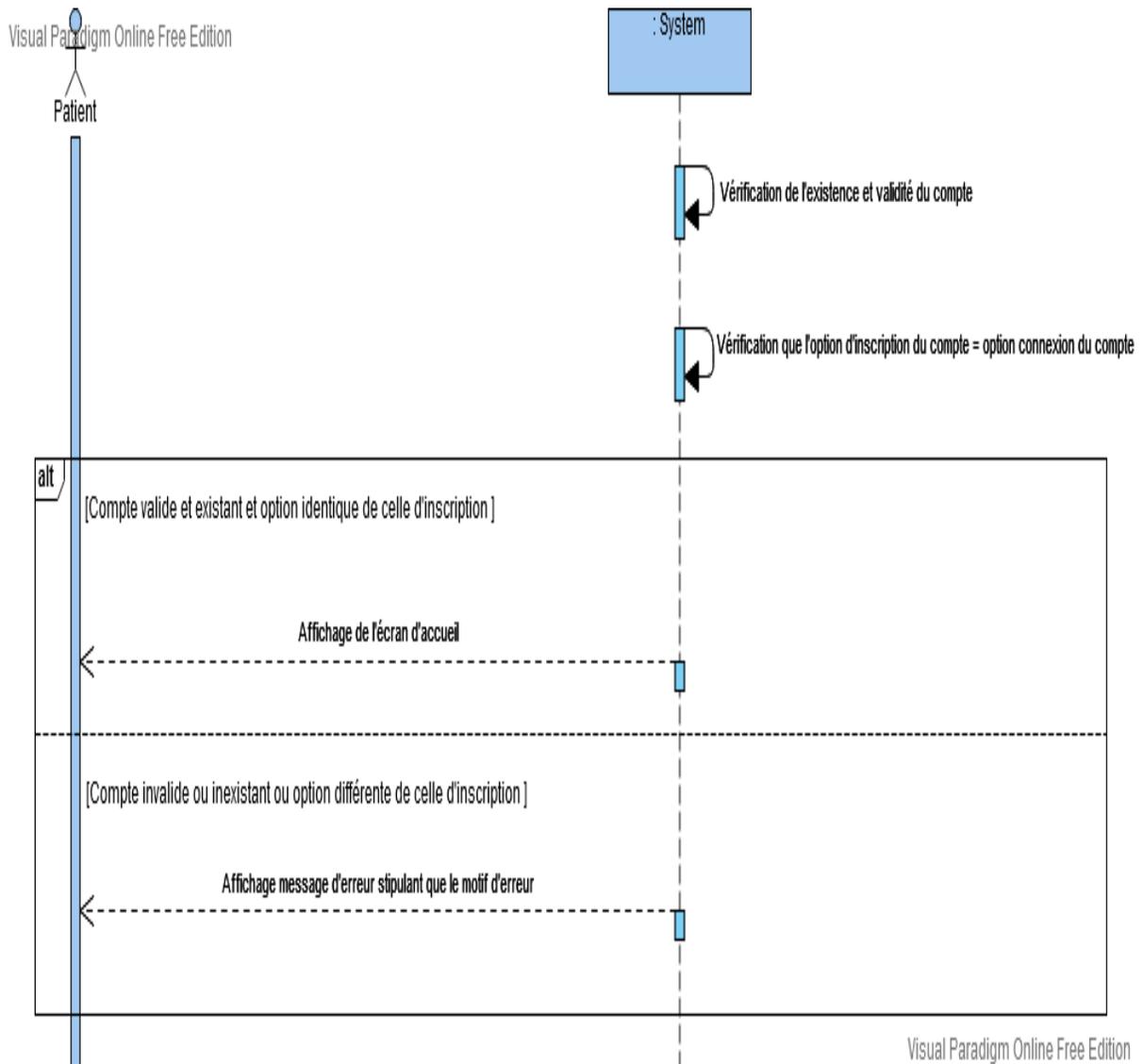


FIGURE 3.5 – Diagramme de séquence système Vérification de connexion

Nous pouvons désormais décrire le scénario alternatif 2 "Connexion".

Scénario alternatif 2 "Connexion" : Le patient décide de se connecter en cliquant sur le bouton Connexion.

1 – L'écran de connexion s'affiche proposant trois manières de se connecter : Par e-mail accompagné d'un mot de passe, par téléphone et par Gmail.

- **Scénario alternatif 2.1** : Par e-mail et mot de passe. Ce scénario commence au point 1 du **scénario alternatif 2 "Connexion"**.

1 – L'utilisateur remplit les champs e-mail et mot de passe puis valide l'opération.

2- Étapes faites dans le **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

- **Scénario alternatif 2.2** : Par numéro de téléphone. Ce scénario commence au point 1 du **scénario alternatif 2 "Connexion"**.

1 – L'utilisateur clique sur l'icône téléphone.

2 – Le système affiche l'écran de connexion avec numéro de téléphone.

3 – Un code de confirmation est généré et est envoyé au patient.

4 – L'écran de confirmation de code s'affiche. Deux cas de figures sont possibles.

- **Scénario alternatif 2.2.1** : Le code de validation est reçu sur le même smartphone. Ce scénario commence au point 4 du scénario alternatif 2.2.

1 – Etapes faites dans le **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

- **Scénario alternatif 2.2.2** : Le code de validation est reçu sur un autre smartphone. Ce scénario commence au point 4 du scénario alternatif 2.2.

1 – Le patient insère le code de confirmation puis appuie sur valider.

2 - Étapes faites dans le **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

- **Scénario alternatif 2.3** : Par compte Gmail. Ce scénario commence au point 1 du **scénario alternatif 2 "Connexion"**.

1 – L'utilisateur clique sur l'icône Gmail.

2 – Le système affiche tous les comptes disponibles sur l'appareil.

3 –Le patient choisit un compte en cliquant dessus.

4 -Étapes faites dans le **scénario nominal "Vérification de connexion"**.

La figure 3.6 illustre le diagramme de séquence du cas d'utilisation "Connexion".

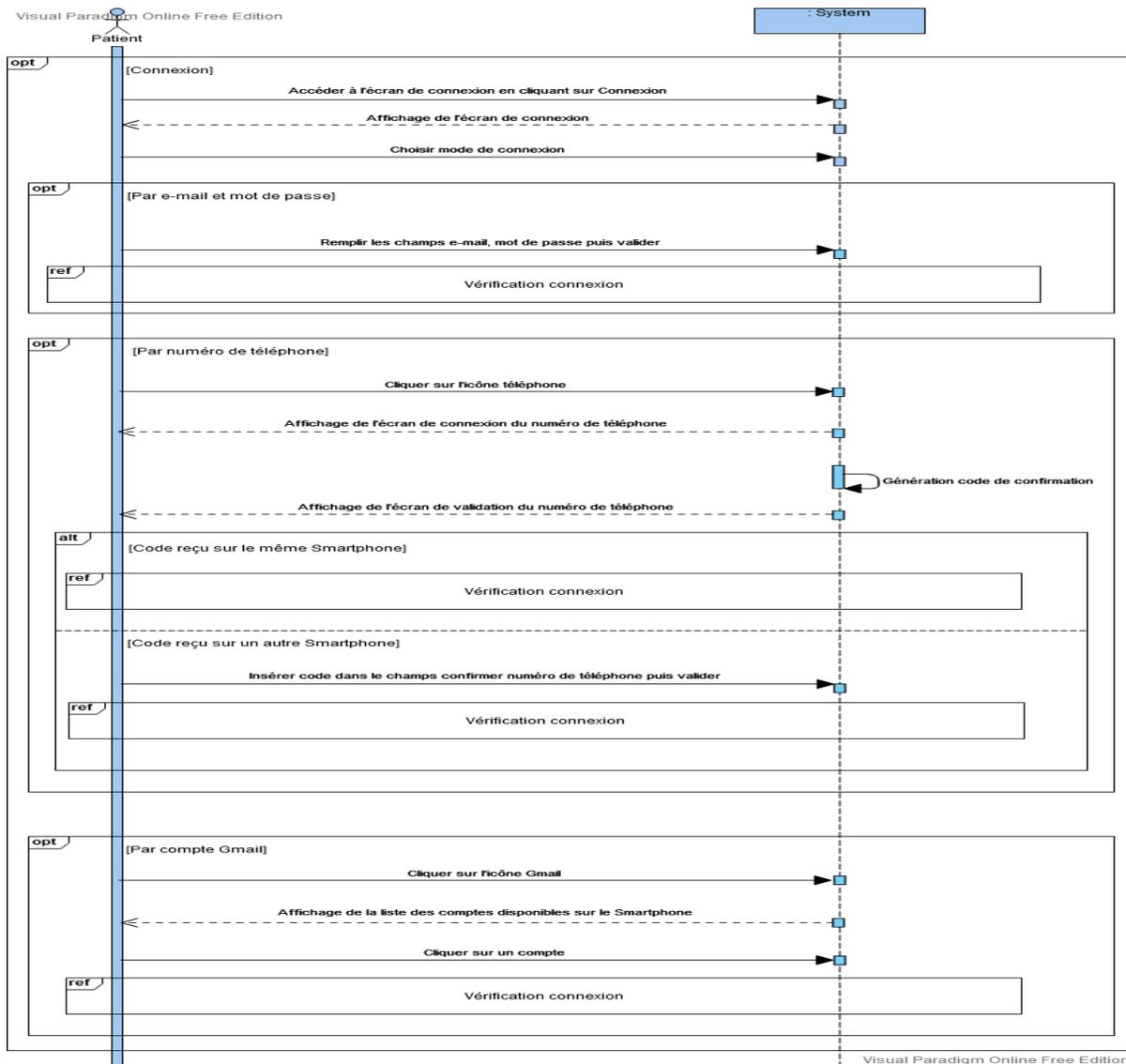


FIGURE 3.6 – Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Connexion

3.5.2 Diagramme de séquence système de réception d'alertes

Description textuelle :

Objectif : Après s'être authentifié, un patient reçoit une alerte quand les valeurs de ses signes vitaux sont anormales et le médecin reçoit un appel d'urgence et un message contenant les coordonnées GPS du patient dans les cas critiques.

- **Scénario nominal :** Après s'être authentifié, le système évalue les valeurs des signes vitaux du patient.

Scénario alternatif 1 : Les valeurs des signes vitaux sont normales.

1- Ni le patient, ni le médecin ne reçoivent d'alerte.

Scénario alternatif 2 : Les valeurs des signes vitaux sont inférieures aux valeurs normales minimales ou supérieures aux valeurs normales maximales.

1- Le patient reçoit une alerte de type orange lui énonçant le signe vital qui pose problème. Deux scénarios s'offrent à nous.

Scénario alternatif 2.1 : Le patient ferme l'alerte avant que le temps limite ne se soit écoulé. Ce scénario démarre au point 1 du scénario alternatif 2.

1)- Aucune alerte n'est envoyée au médecin.

Scénario alternatif 2.2 : Le patient ne ferme pas l'alerte avant que le temps limite ne se soit écoulé. Ce scénario démarre au point 1 du scénario alternatif 2.

1- L'alerte devient rouge et un appel d'urgence est envoyé au médecin.

2)- Un message contenant les coordonnées du patient est envoyé au médecin.

La figure 3.7 illustre le diagramme de séquence du cas d'utilisation "Réception d'alertes".

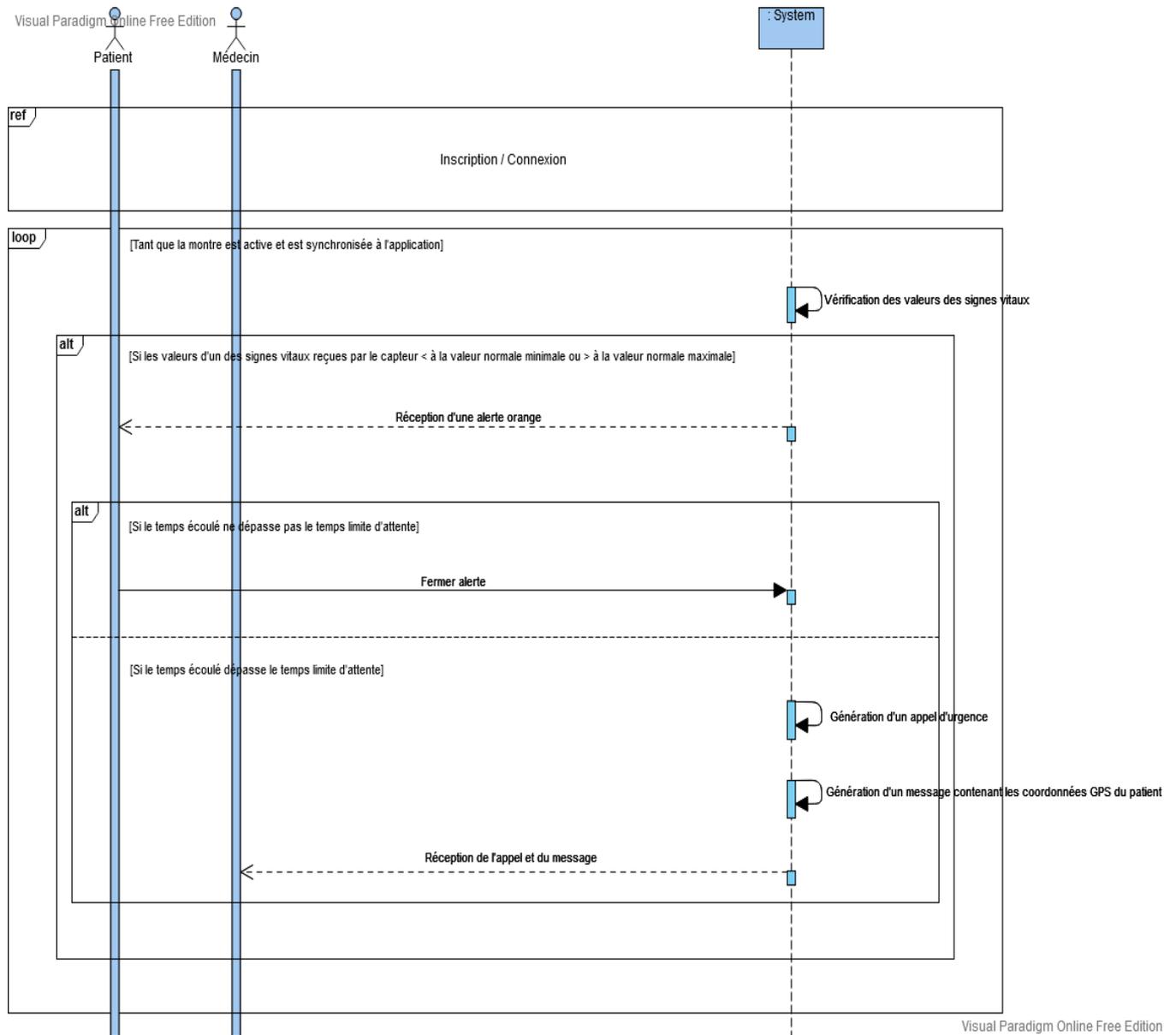


FIGURE 3.7 – Diagramme de séquence système du cas d'utilisation Réception d'alertes

3.6 Diagramme d'interaction d'inscription connexion

3.6.1 Diagramme d'interaction d'inscription

La figure 3.8 représente le diagramme d'interaction "Validation d'inscription".

Il est à noter que l'interface Inscription correspond aux interfaces : Inscription E-mail/MDP, Confirmation code et Liste comptes Gmail pour les options d'inscription : Par e-mail/MDP, Par numéro de téléphone et Par Compte Gmail respectivement qui sont dans le diagramme d'interaction du cas d'utilisation "Inscription".

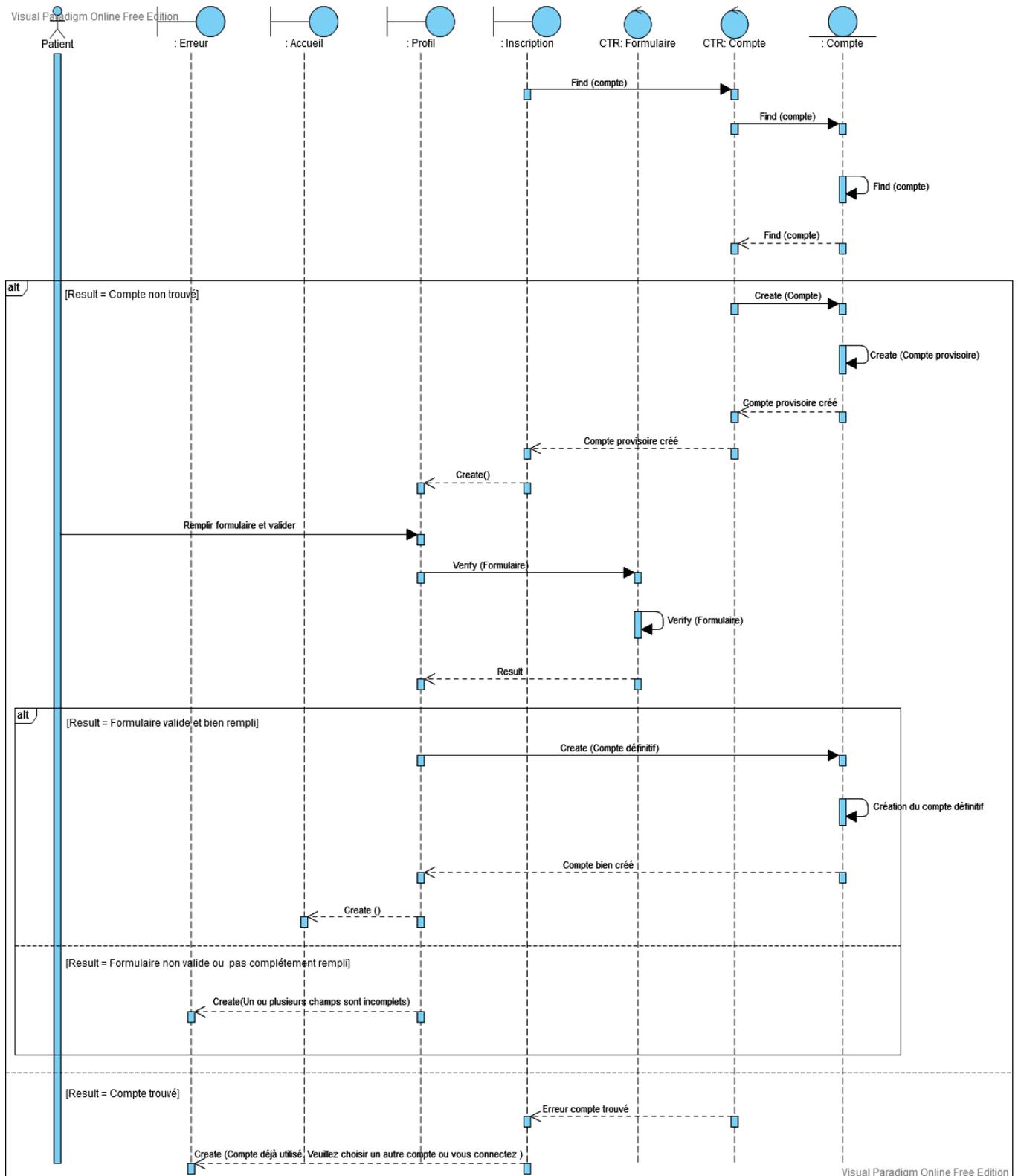


FIGURE 3.8 – Diagramme d'interaction Validation inscription

La figure 3.9 représente le diagramme d'interaction du cas d'utilisation "Inscription".

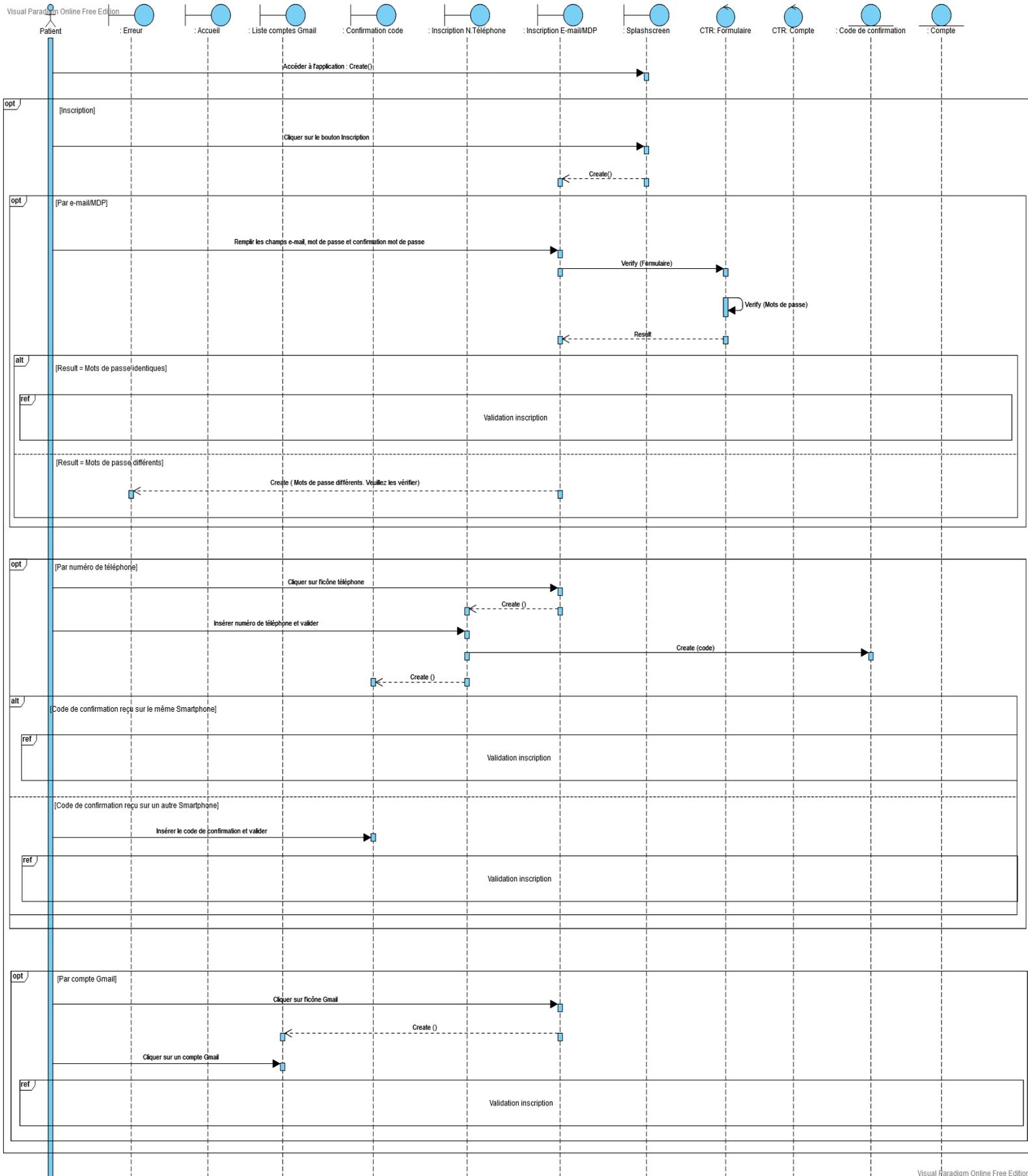


FIGURE 3.9 – Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Inscription

3.6.2 Diagramme d'interaction de connexion

La figure 3.10 représente le diagramme d'interaction "Vérification de connexion".

Il est à noter que l'interface Connexion correspond aux interfaces : Connexion E-mail/MDP, Confirmation code et Liste comptes Gmail pour les options d'inscription : Par e-mail/MDP, Par numéro de téléphone et Par Compte Gmail respectivement qui sont dans le diagramme d'interaction du cas d'utilisation "Connexion".

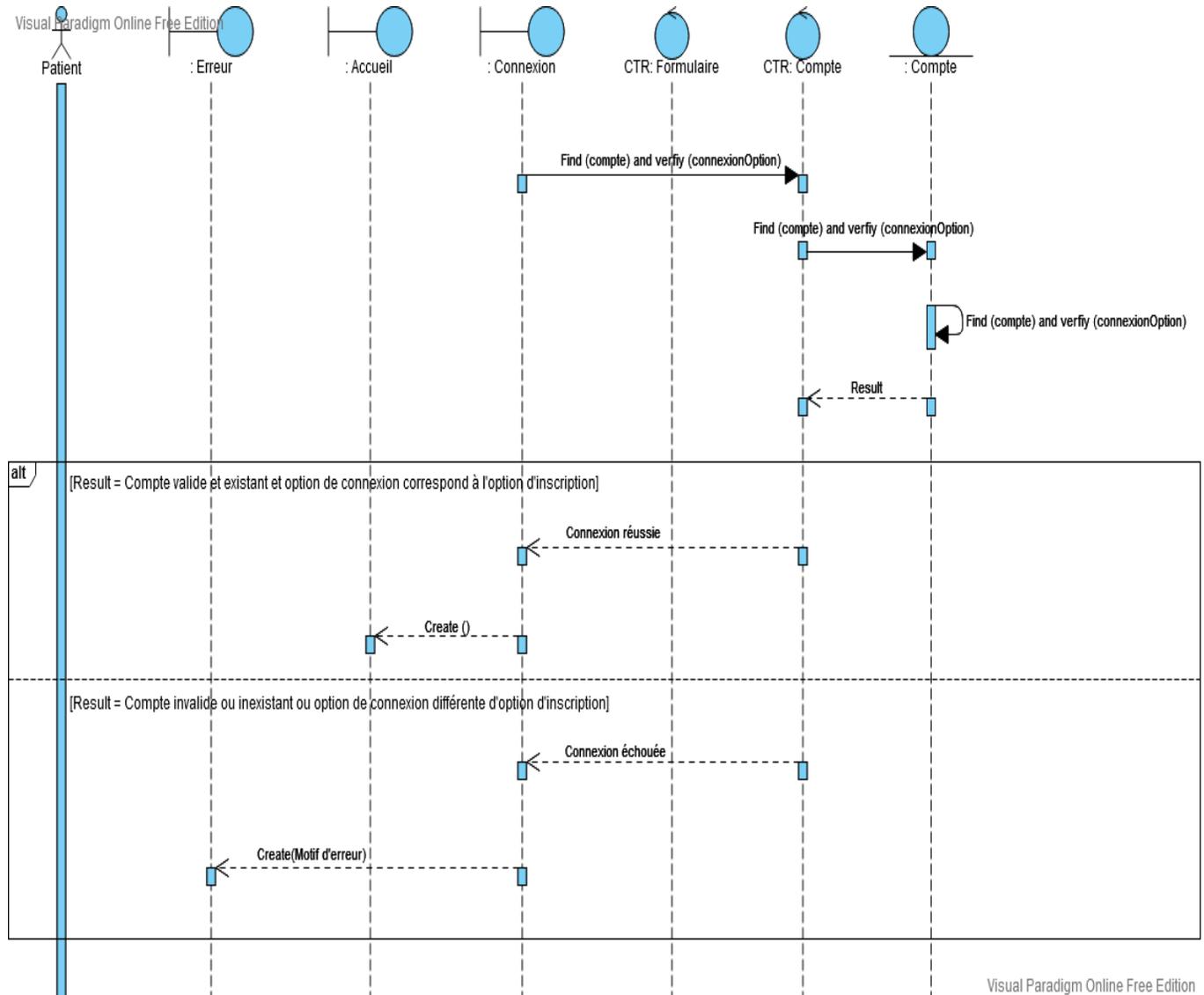


FIGURE 3.10 – Diagramme d'interaction Vérification connexion

La figure 3.11 représente le diagramme d'interaction du cas d'utilisation " Connexion".

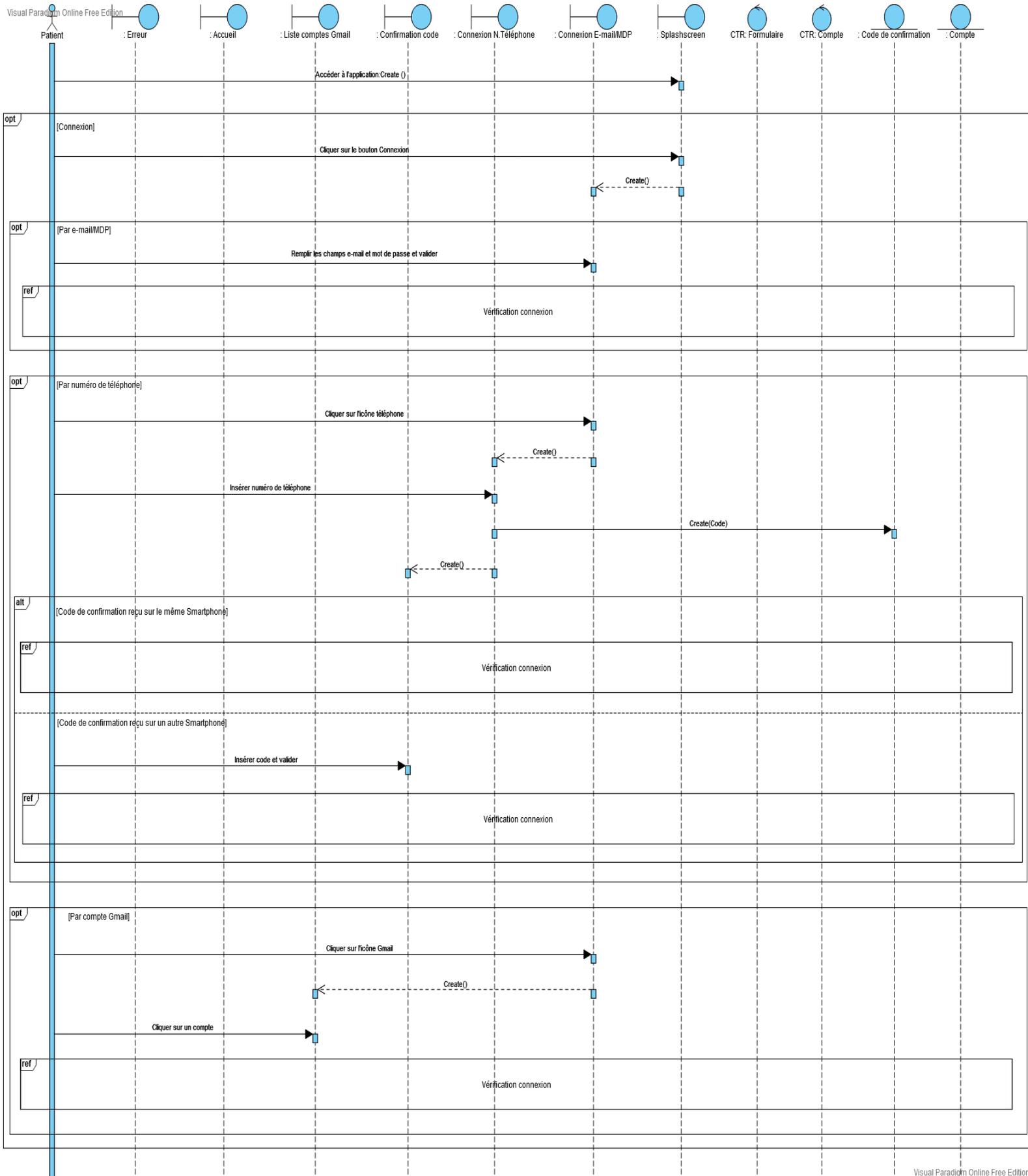


FIGURE 3.11 – Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Connexion

3.6.3 Diagramme d'interaction de réception d'alertes

La figure 3.12 représente le diagramme d'interaction du cas d'utilisation " Réception d'alertes".

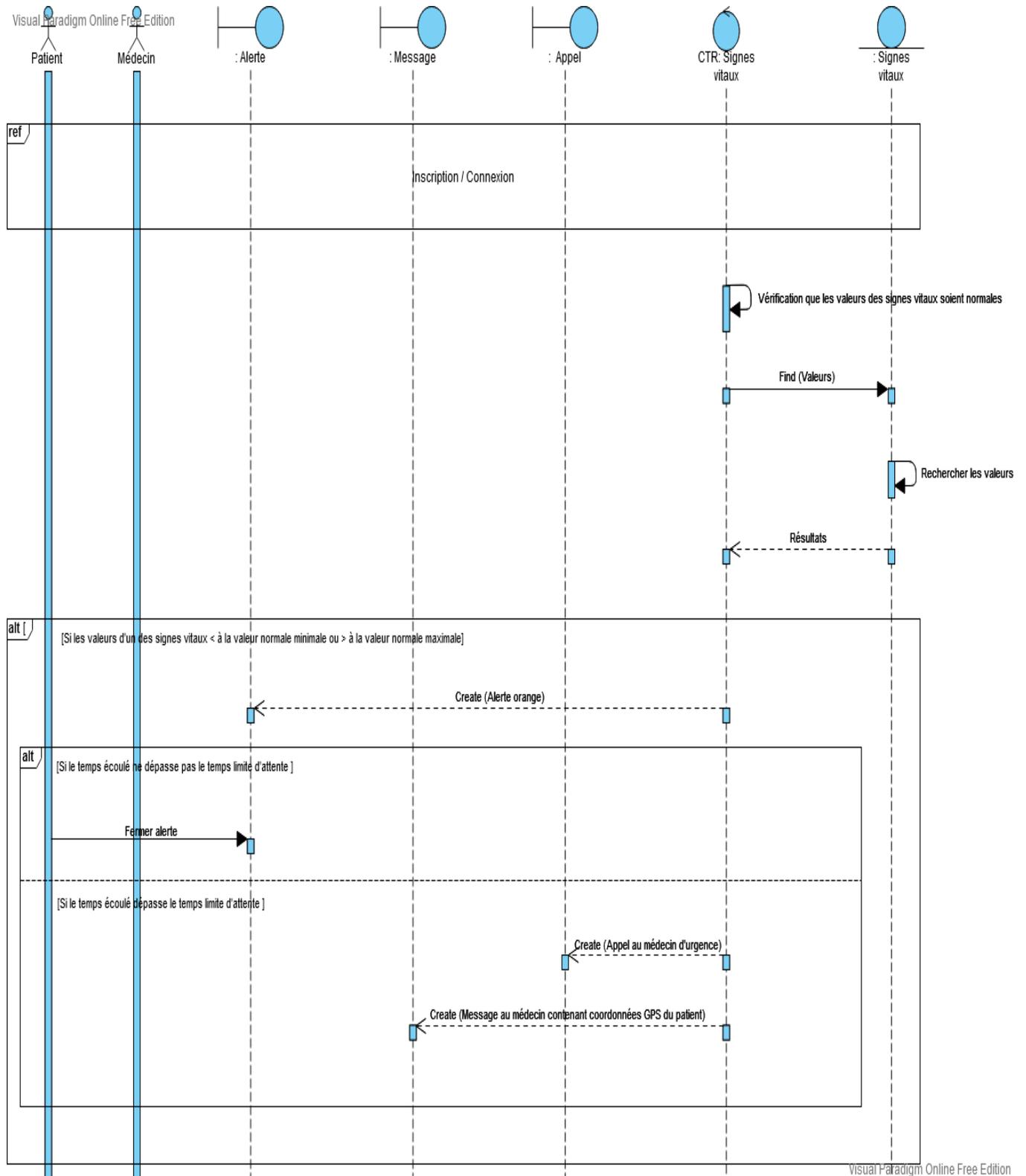


FIGURE 3.12 – Diagramme d'interaction du cas d'utilisation Réception d'alertes

3.7 Diagramme de classes

Dans cette section est représenté le diagramme de classes qui illustre notre base de données (Figure 3.13). Comme celle-ci est Not only SQL (NOSQL) sur Firebase Realtime, une présentation en arbre est proposée en dessous (Figure 3.14).

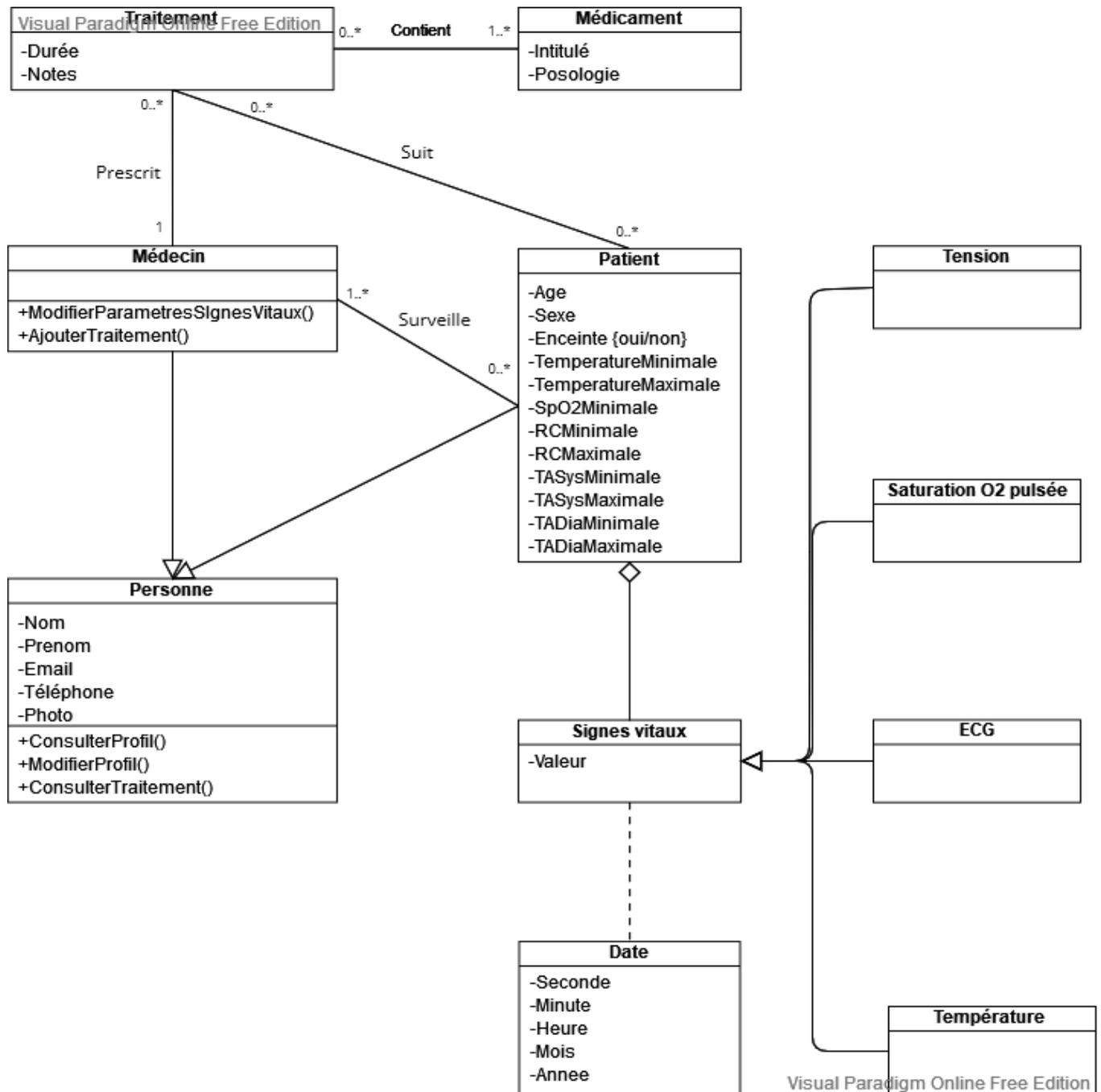


FIGURE 3.13 – Diagramme de classes



FIGURE 3.14 – Représentation en arbre de la base de données NoSQL sur Firebase Realtime

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu nous familiariser avec le sujet de notre cas d'étude qui est la surveillance à distance de patients atteints de COVID 19 en faisant le point sur sa provenance, ses méthodes de transmission, ses symptômes ainsi que le rôle du suivi des signes vitaux biologiques tels que la température et la SpO2. Nous avons pu également entrer plus en détails dans la conception de l'architecture proposée dans le deuxième chapitre en exposant les diagrammes principaux comme le diagramme de cas d'utilisation ainsi que ceux d'interaction.

Les éléments recueillis dans ce chapitre nous ont permis de passer à l'étape suivante du projet qui est la programmation de l'architecture proposée dans le deuxième chapitre.

Implémentation de l'architecture proposée par une étude de cas : Surveillance à distance des patients atteints du COVID-19

4.1 Introduction

Afin de concrétiser la conception de notre application, nous avons eu recours à plusieurs outils et technologies logicielles formant ainsi un environnement de développement riche en ressources. Dans ce chapitre, nous allons donc décrire ce dernier ainsi que ses composantes. Nous enchaînons ensuite avec la présentation des principales interfaces graphiques de celle-ci. Enfin, nous terminons ce chapitre par une conclusion.

4.2 Environnement de développement

4.2.1 Kodular

Kodular anciennement connu sous le nom de Makeroid basé initialement sur MIT AppInventor, est un site web en ligne pour le développement d'applications mobiles basé en Java, Scheme et Kawa. Il fournit principalement un créateur d'applications Android gratuit par glisser-déposer sans codage qui est hébergé sur Google Cloud Platform où les projets sont stockés en toute sécurité sur les serveurs. Ce qui signifie qu'il n'est pas nécessaire de les télécharger et de faire des sauvegardes. Il apporte de nombreuses nouvelles fonctionnalités comme de nouveaux composants et blocs.

Doté de Kodular Companion, celui-ci permet aux créateurs d'applications utilisant Kodular de tester leurs applications en direct, sans avoir à exporter et à compiler l'application. Toutes les applications créées dans Kodular auront Material Design, offrant une interface sophistiquée aux utilisateurs.[53] [54]

4.2.2 Firebase

Firebase permet de faire tourner le backend de vos applications sans gérer de serveurs en prenant en charge des millions d'utilisateurs avec les bases de données Firebase Authentifi-

cation, Realtime et Firestore en proposant des solutions d'hébergement et de stockage et les fonctions cloud.

Hébergée dans le cloud, la base de données Firebase Realtime stocke ses données au format JSON et synchronisées en temps réel avec chaque client connecté.

Quant à Firebase Authentication, ses services backend ainsi que les SDK qu'elle offre servent à authentifier les utilisateurs auprès de votre application. Plusieurs types d'authentification sont pris en charge. On peut citer l'authentification à l'aide de mots de passe, de numéros de téléphone ou encore Google, Facebook et Twitter, etc. [55]

4.2.3 Visual Paradigm (VP-UML)

Visual Paradigm (VP-UML) est une suite d'outils de conception et de modélisation UML, sous licence propriétaire avec Free Community Edition. Ces outils sont disponibles sur leur site web www.visual-paradigm.com. [56]

4.3 Présentation de l'application

A présent, nous allons pouvoir nous consacrer au produit final qu'est notre application Android nommée Hygie pour la surveillance à distance des patients atteints de COVID 19. Nous allons donc voir les différentes interfaces qui la constituent accompagnées de petites descriptions explicatives.

4.3.1 Écran de démarrage ou Splashscreen

Au démarrage de l'application, nous rencontrons cet écran contenant deux boutons : Connexion et Inscription (Figure 4.1). Le premier nous redirige vers l'écran de connexion, le second vers l'écran d'inscription.



FIGURE 4.1 – Splashscreen d'Hygie

4.3.2 Inscription

Après avoir cliqué sur le bouton inscription, un écran d'inscription sera affiché au patient comme le montre la figure 4.2 ci-dessous.

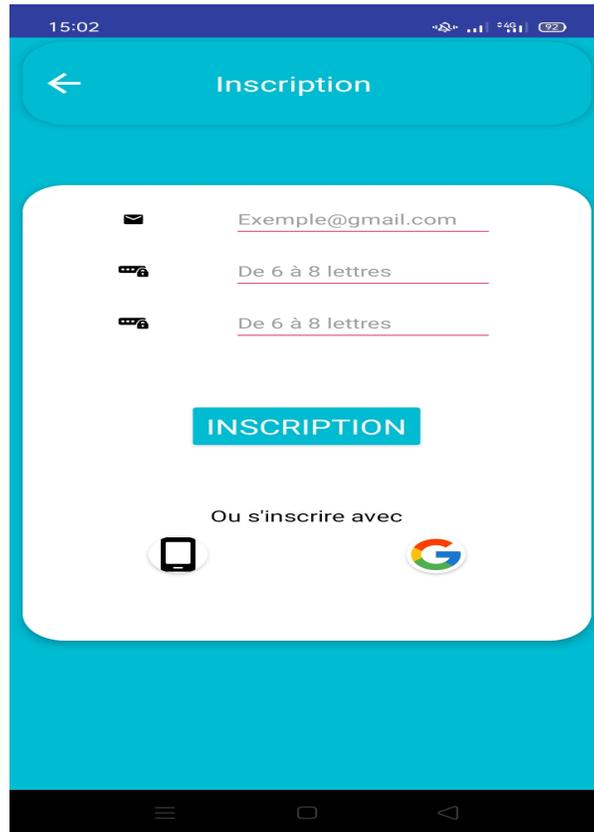


FIGURE 4.2 – Inscription

Le patient dispose de trois choix pour se connecter : (1) Avec email/mot de passe, (2) avec un numéro de téléphone ou (3) encore avec un compte Gmail. Une fois qu'il aurait choisi et validé une option, il sera redirigé vers un écran de profil pour remplir un formulaire obligatoire.

4.3.2.1 Inscription par email / mot de passe

Si le patient décide de se connecter avec la première option, il lui suffit de remplir les champs : Adresse email, mot de passe et confirmation mot de passe puis de cliquer sur le bouton Inscription.

4.3.2.2 Inscription par numéro de téléphone

S'il décide de se connecter avec la deuxième option, il lui suffit de cliquer sur l'icône du téléphone en bas à gauche. Il sera redirigé vers un écran où il devra introduire son numéro de téléphone comme montré sur la Figure 4.3 ci-dessous :

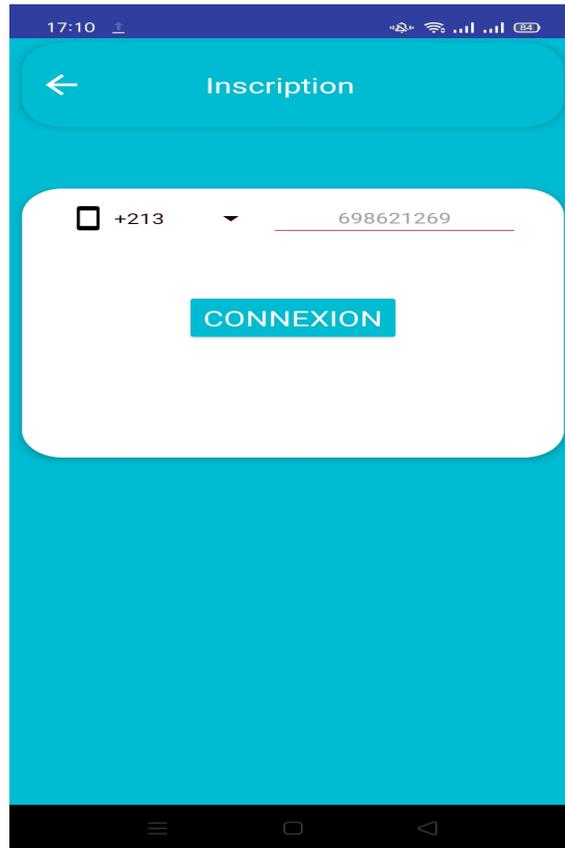


FIGURE 4.3 – Inscription avec un numéro de téléphone

Une fois le numéro de téléphone saisi, en cliquant sur le bouton Connexion où il sera redirigé vers un écran de confirmation du numéro de téléphone.

Si le patient avait introduit un numéro dont la carte sim est dans son Smartphone, le champ où est censé être le code sera rempli automatiquement et le bouton Confirmer sera lui aussi enclenché automatiquement. Par contre, si la carte sim du numéro préalablement introduit ne figure pas dans son Smartphone, le patient pourra introduire le code de confirmation qu'il aura reçu sur un autre Smartphone puis cliquer sur le bouton Confirmer (Figure 4.4).

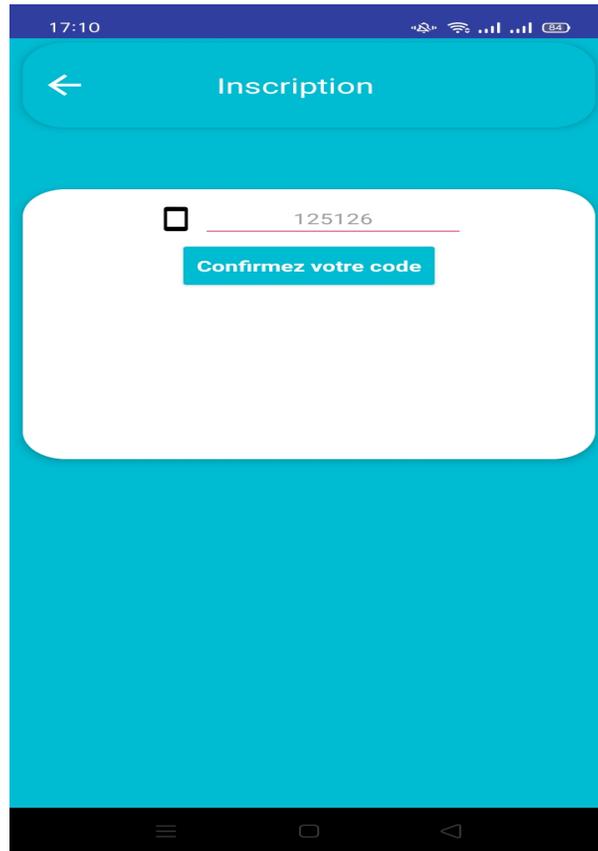


FIGURE 4.4 – Confirmation du numéro de téléphone par un code

4.3.2.3 Inscription par compte Gmail

Si le patient décide de se connecter avec la dernière option, il lui suffit de cliquer sur l'icône Gmail en bas à droite de l'écran. Un écran lui sera affiché où il pourra choisir un compte parmi les comptes existants sur son Smartphone (Figure 4.5).

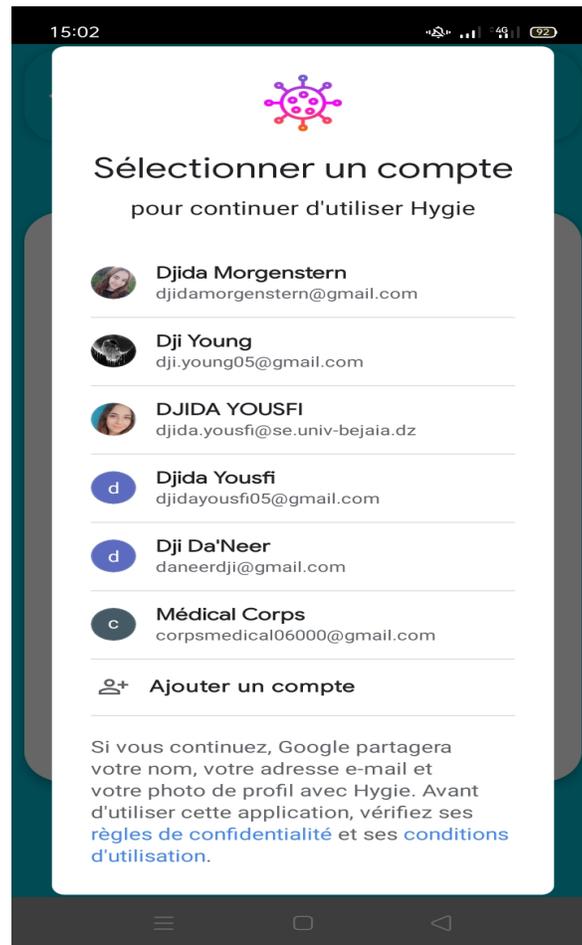


FIGURE 4.5 – Choix d'un compte Gmail pour l'inscription

4.3.3 Connexion

Si l'utilisateur (Patient ou médecin) décide de se connecter en ayant cliqué sur le bouton Connexion du Splashscreen, il sera redirigé vers cet écran de connexion où trois options de connexion lui seront proposées (Figure 4.6). Il devra choisir l'option avec laquelle il s'était inscrit la toute première fois.

Comme expliqué pour l'inscription, la connexion fonctionne de la même manière pour les trois options sauf qu'au lieu d'être redirigé vers l'écran Profil, l'utilisateur sera redirigé vers son écran d'accueil.

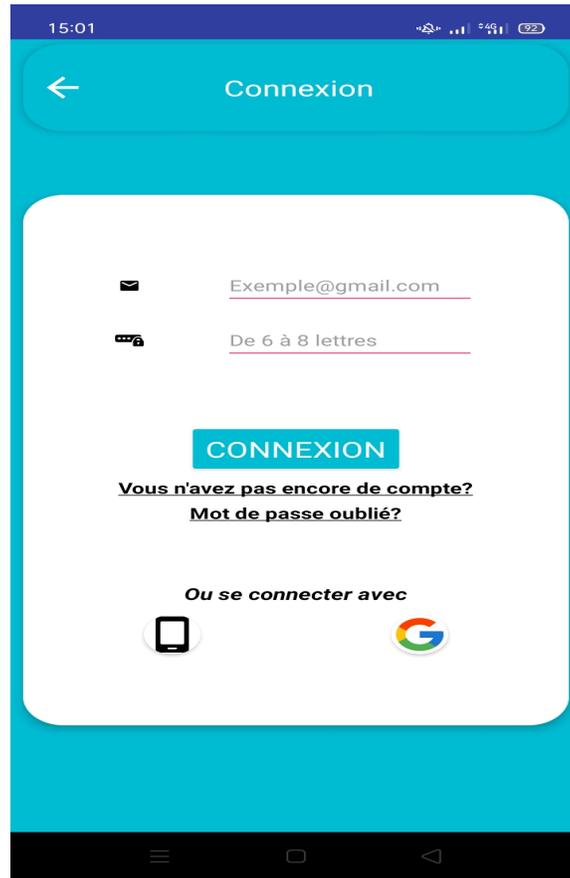


FIGURE 4.6 – Connexion

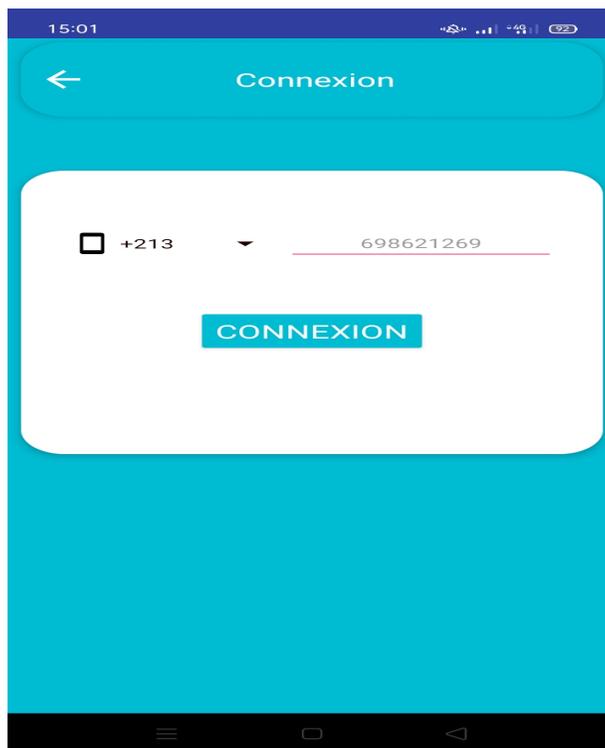


FIGURE 4.7 – Connexion par numéro de téléphone

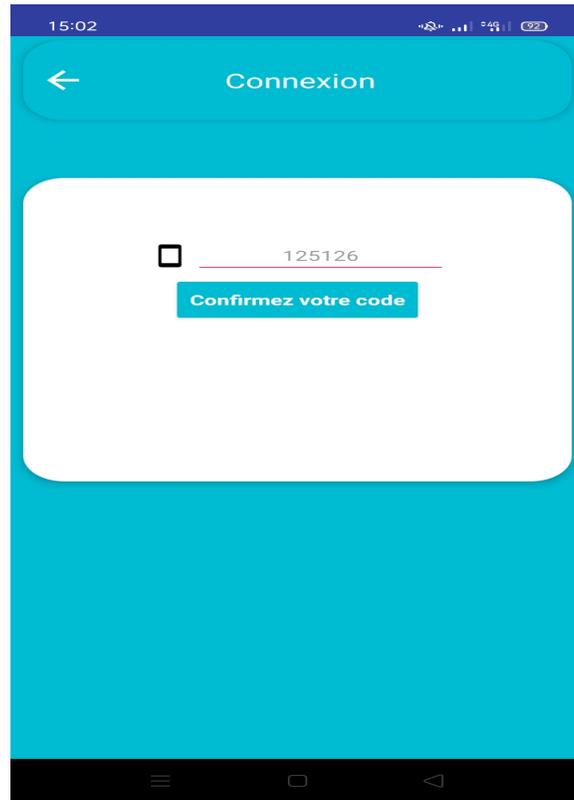


FIGURE 4.8 – Confirmation numéro de téléphone par un code

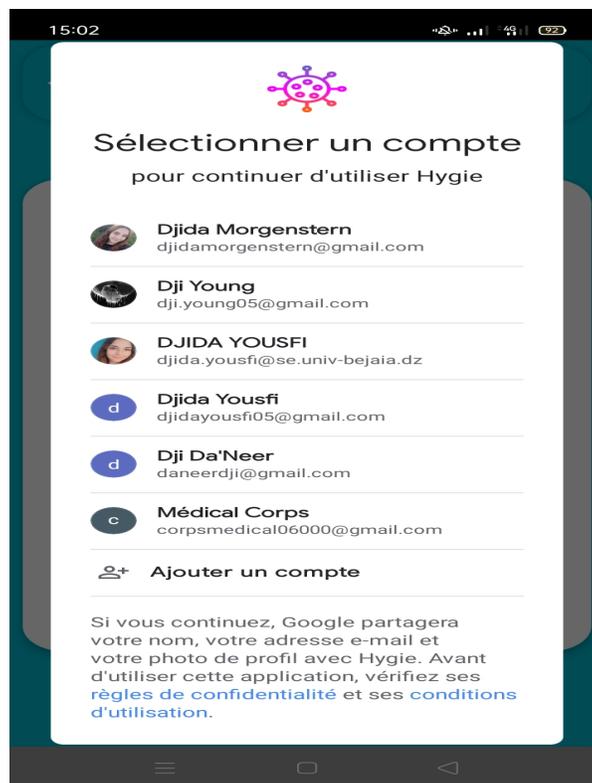


FIGURE 4.9 – Choix d'un compte Gmail pour la connexion

4.3.4 Profil

4.3.4.1 Profil du patient

Une fois que le patient se sera inscrit, cet écran lui sera affiché. Un formulaire y est inclus, que le patient doit obligatoirement remplir. En cliquant sur le bouton Ajouter une photo de profil, il sera redirigé vers la galerie de son Smartphone où il pourra y choisir une photo. Dans le champ Age, une alerte sera affichée en bas de l'écran une fois qu'on focus dessus pour nous expliquer que pour exprimer qu'un nouveau-né n'a que quelques jours (Entre 1 et 29 jours) on écrit 0.020 par exemple pour signifier 20 jours. Même chose pour les mois, il suffit d'écrire 0.3 par exemple pour signifier 3 mois. Pour les années, il suffit d'introduire un entier normal comme 22 pour signifier 22 ans par exemple.

Une fois que le patient aura rempli tout le formulaire et cliqué sur le bouton Sauvegarder, il sera redirigé vers l'écran d'accueil.

En bas de l'écran on trouve un petit accès rapide aux écrans Signes vitaux, Accueil et Profil et cela en cliquant sur les boutons à l'icône Coeur (En bas à gauche), icône Maison (En bas au milieu) et l'icône Profil (En bas à droite) respectivement, qui est bloqué à ce niveau jusqu'à ce que le patient valide son inscription. Il est à noter que ce menu d'accès rapide reste le même dans tous les écrans liés au compte patient. Une fois bien inscrit ou connecté, cet écran de profil (Figure 4.10) sera accessible pour modifier une ou plusieurs informations en cliquant soit sur l'icône Profil en bas à droite de l'écran, ou en cliquant sur Profil dans le menu slide que l'on verra plus bas.

The screenshot displays a mobile application interface for a patient profile. At the top, there is a status bar with the time 15:15 and various system icons. Below this is a teal header with a back arrow and the title 'Profil'. The main content area is white and contains a profile picture placeholder with the text 'Ajouter une photo de profil'. Below this are several form fields, each with an icon on the left and a text input field on the right. The fields are: 'Nom' (Smith), 'Prenom' (John), 'Email' (adresse@email.com), 'Tel' (+213601622502), 'Age' (22), 'Sexe' (Homme, with radio buttons for Homme and Femme), and 'Enceinte' (Non, with radio buttons for Oui and Non). A teal 'Sauvegarder' button is located at the bottom of the form. At the very bottom of the screen is a teal navigation bar with three icons: a heart, a house, and a person. The Android navigation bar is visible at the bottom.

FIGURE 4.10 – Profil du patient

4.3.4.2 Profil du médecin

En bas de l'écran on trouve un petit accès rapide aux écrans Paramètres, Accueil et Profil et cela en cliquant sur les boutons à l'icône Paramètres (En bas à gauche), icône Maison (En bas au milieu) et l'icône Profil (En bas à droite) respectivement (Figure 4.11). Il est à noter que ce menu d'accès rapide reste inchangé pour tous les écrans liés au compte médecin.

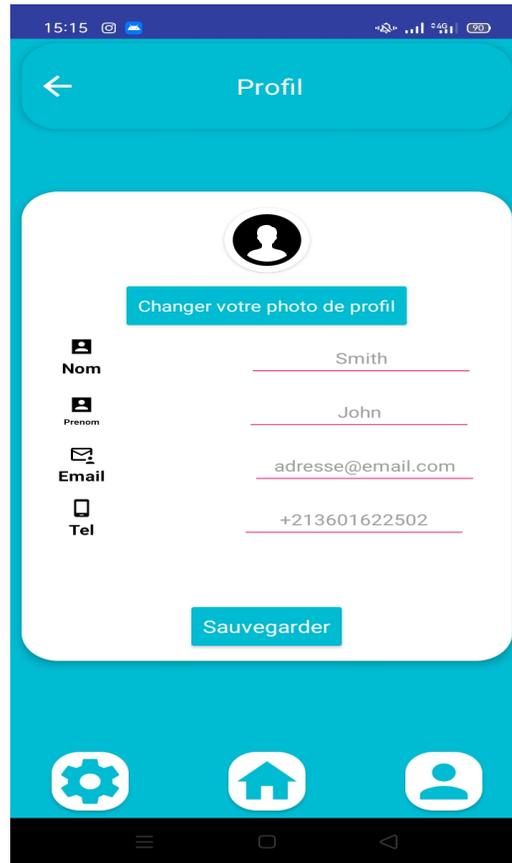


FIGURE 4.11 – Profil du médecin

Un menu slide (Figure 4.12) s'affiche en faisant glisser deux doigts de gauche à droite de l'écran contenant les éléments : Accueil, Profil, Paramètres et Déconnexion.

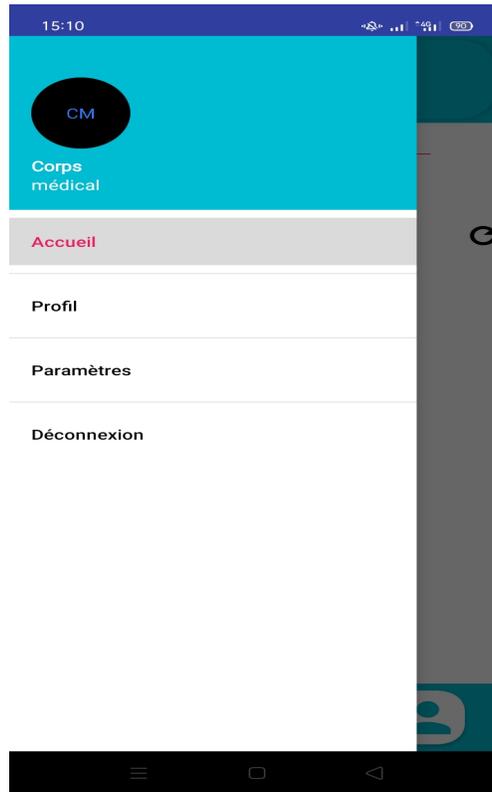


FIGURE 4.12 – Menu slide du médecin

Une fois bien connecté, cet écran de profil sera accessible pour modifier une ou plusieurs informations en cliquant soit sur l'icône Profil en bas à droite de l'écran, ou en cliquant sur Profil dans le menu slide qui apparaît en faisant glisser deux doigts de gauche à droite de l'écran.

4.3.5 Accueil

Cet écran sera affiché soit après la connexion ou après avoir sauvegarder le profil qui s'affiche après l'inscription. L'écran d'accueil du patient est différent de celui du médecin.

4.3.5.1 Accueil du patient

Effectivement, sur l'écran d'accueil du patient on trouve les dernières valeurs des signes vitaux introduites de celui-ci : SpO2, température, rythme cardiaque et tension artérielle (Figure 4.13).

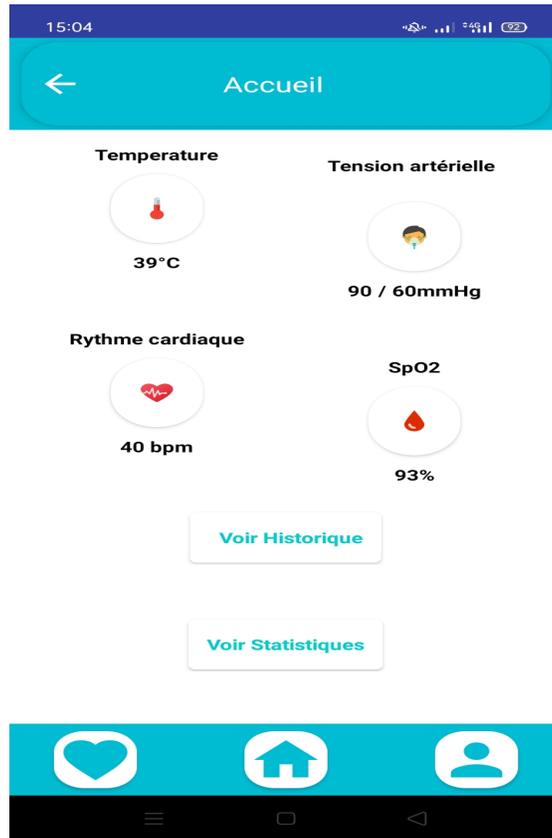


FIGURE 4.13 – Accueil du patient

On trouve également un bouton Historique qui une fois enclenché nous montre l'historique de chaque signe vital (Figure 4.14). De même pour le bouton Statistiques qui quant à lui montre les statistiques de chaque signe vital (Figure 4.15).

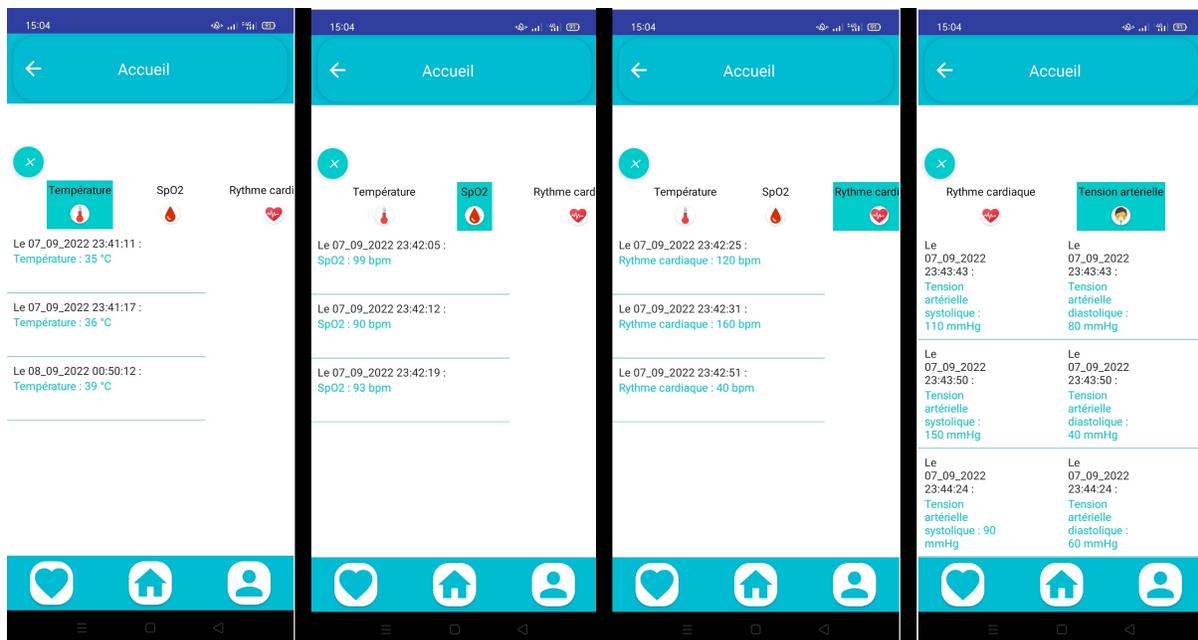


FIGURE 4.14 – Historique

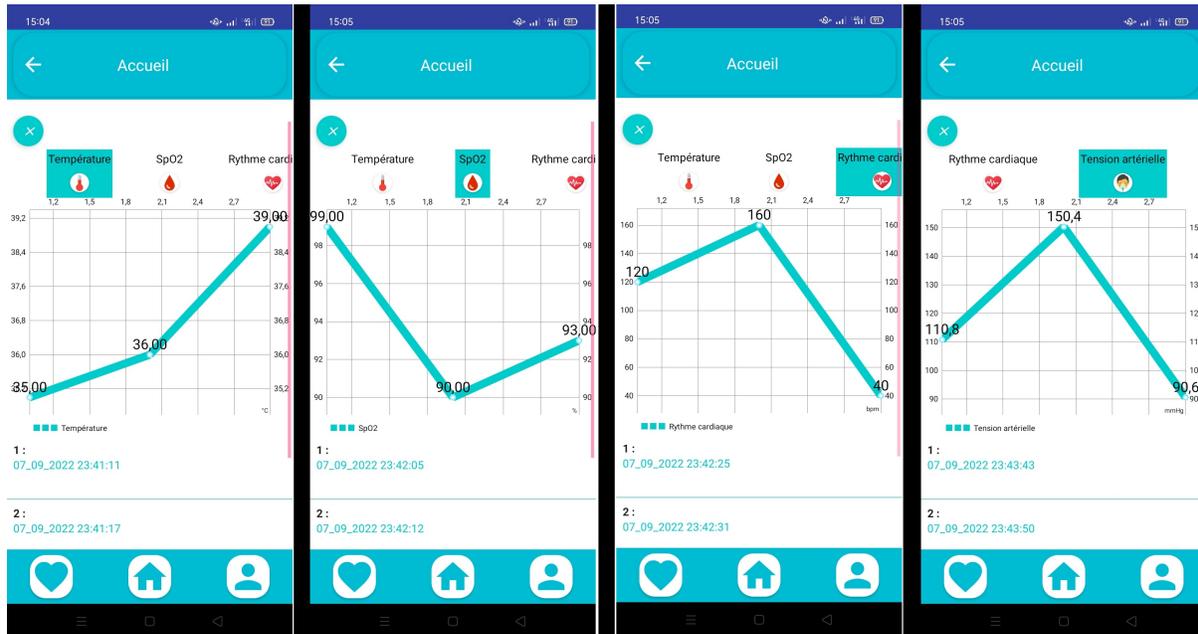


FIGURE 4.15 – Statistiques

Un menu slide s'affiche en faisant glisser deux doigts de gauche à droite de l'écran contenant les éléments : Accueil, Profil, Signes vitaux, Paramètres, Traitement et Déconnexion. Il est à noter que ce menu slide ne change pas dans tous les écrans liés au compte patient (Figure 4.16).

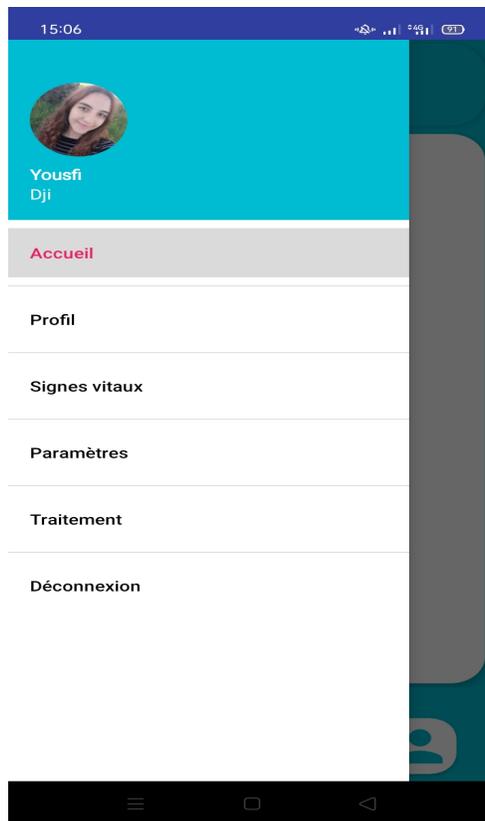


FIGURE 4.16 – Menu slide du patient

4.3.5.2 Accueil du médecin

Quant à l'écran d'accueil du médecin, on trouve la liste des patients au milieu de l'écran muni d'un bouton pour pouvoir actualiser cette liste. En haut de l'écran une barre de recherche est disponible où l'on peut trier la liste par nom (Figure 4.17).

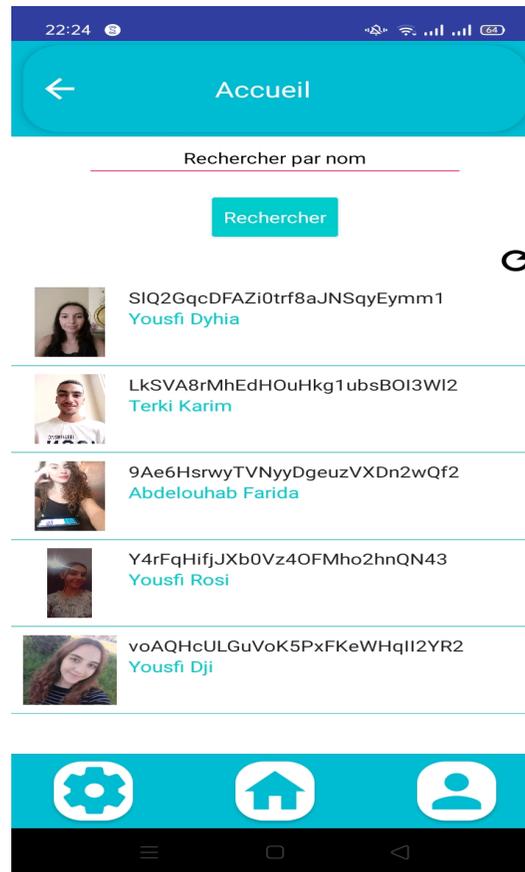


FIGURE 4.17 – Accueil du médecin

4.3.6 Signes vitaux du patient

Au niveau de cet écran, le patient peut ajouter les valeurs de ses signes vitaux (Figure 4.18).

Si le patient est en mode "Offline" -c'est à dire- est hors connexion, les valeurs seront ajoutées dans Firebase Realtime Offline e une fois la connexion rétablie, les valeurs seront ajoutées automatiquement en Online dans Firebase Realtime Online et seront visibles au niveau du compte Médecin.

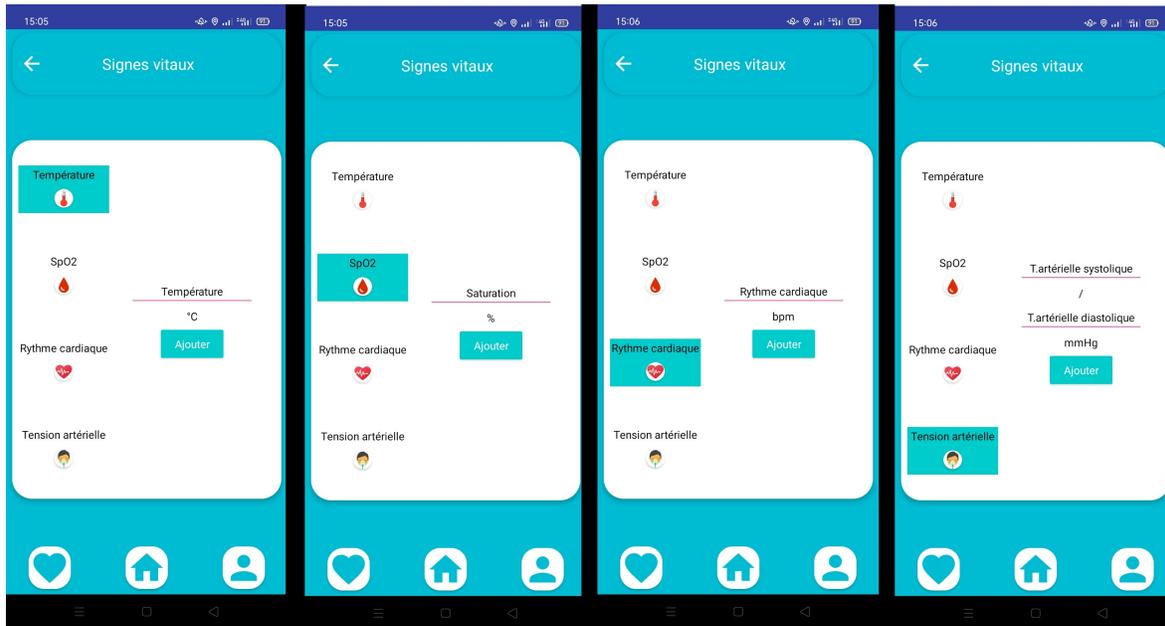


FIGURE 4.18 – Signes vitaux du patient

Si la valeur introduite est inférieure à la valeur minimale du signe vital ou supérieure à la valeur maximale du signe vital, une alerte s'enclenche stipulant quel signe vital pose problème. Cette alerte est composée d'un Notifier accompagné d'une sonnerie d'alerte et d'une voix qui énonce le message d'alerte (Figure 4.19).

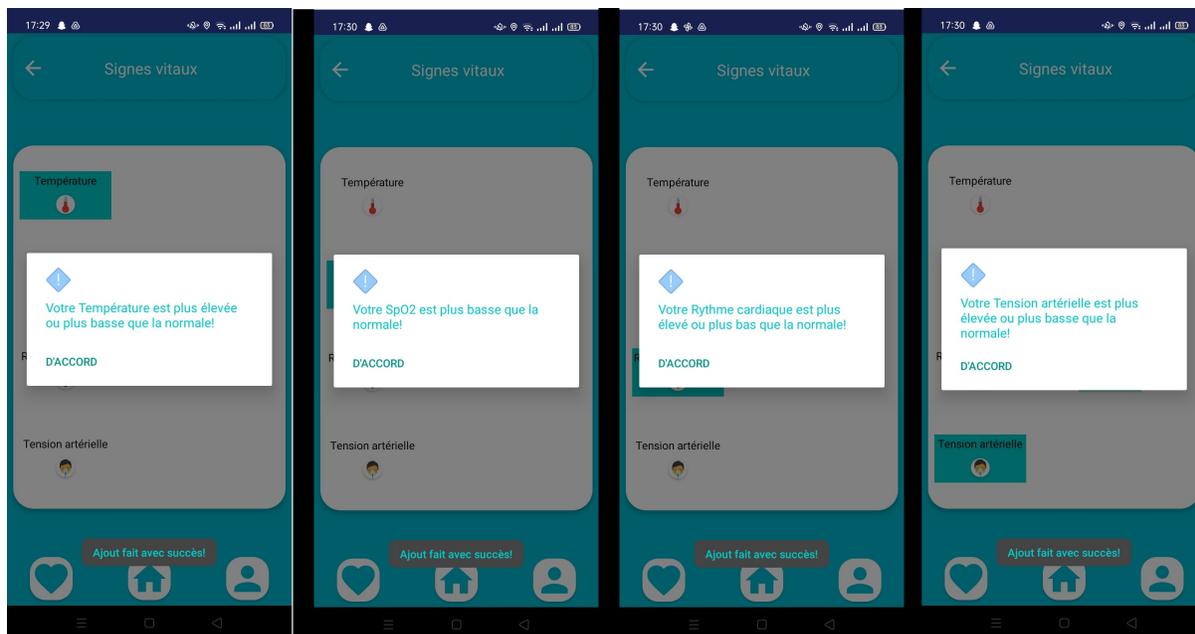


FIGURE 4.19 – Alerte

Dans le cas où le patient ne ferme pas l'alerte au bout d'un temps T donné, un appel d'urgence sera automatiquement enclenché vers le numéro du compte médecin ainsi qu'un message contenant les coordonnées GPS en latitude/longueur du patient (Figure 4.20).

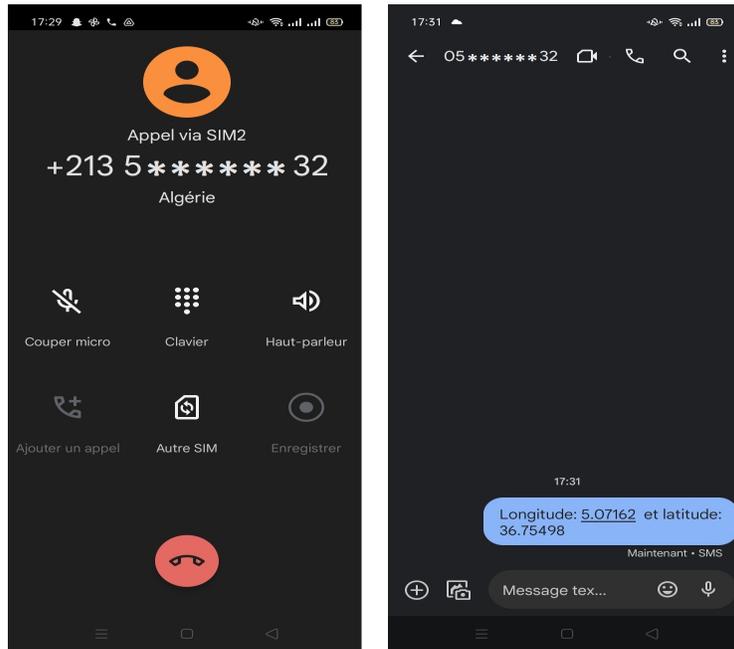


FIGURE 4.20 – Appel et message d'alerte

4.3.7 Détails du patient

Dans le compte médecin quand celui-ci clique sur un patient, un écran s'affiche contenant les détails du médecin (Figure 4.21). Un formulaire est visible au centre de l'écran similaire à celui contenu dans l'écran Profil du patient sauf qu'il n'est pas possible de modifier les informations dans celui-ci. Un bouton pour fermer les détails est visible en haut à gauche du formulaire qui, une fois enclenché, re-affiche l'écran d'accueil du médecin.

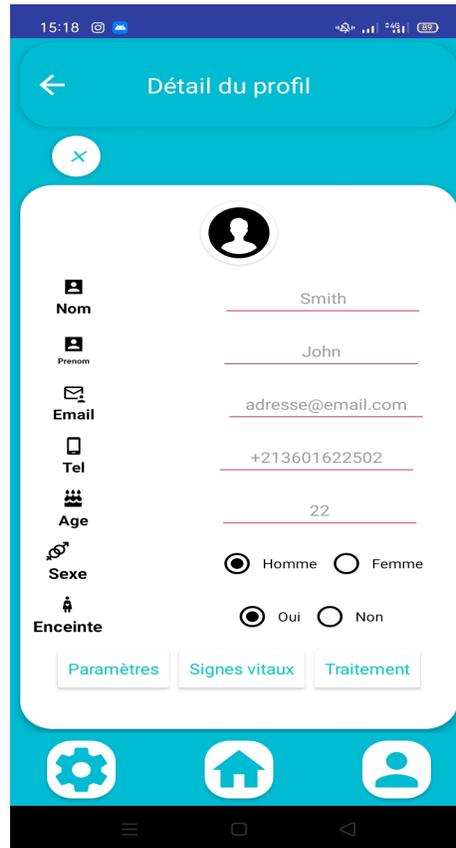


FIGURE 4.21 – Détails du profil

Trois boutons sont disponibles en bas du formulaire : Paramètres, Signes vitaux et Traitement (Figure 4.22). En ce qui concerne Paramètres et Signes vitaux, nous les verrons en détail un peu plus loin. Quant aux Signes vitaux, son écran est similaire à l'écran d'accueil du patient à deux différences près. La première est qu'en haut de l'écran se trouve un bouton pour fermer l'écran et nous redirige vers l'écran de détails du patient. La deuxième différence se trouve dans le menu d'accès rapide en bas qui lui ressemble à celui du compte médecin et non à celui du compte patient (C'est à dire au lieu de l'icône Coeur, l'icône Paramètres la remplace).

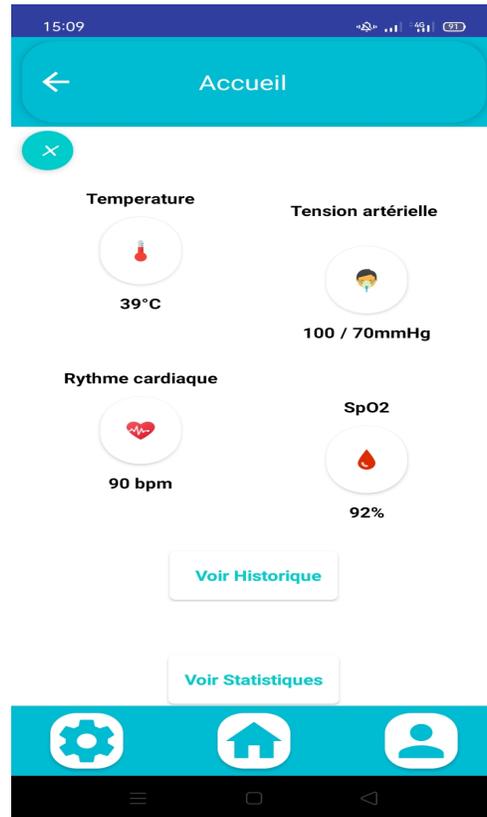


FIGURE 4.22 – Signes vitaux d'un patient dans le compte médecin

4.3.8 Paramètres

4.3.8.1 Paramètres du patient

Cet écran est accessible en cliquant sur Paramètres à partir du menu side du patient (Figure 4.23). Par paramètres on veut signifier par là les paramètres pris en compte pour la génération des alertes. Une liste des valeurs minimales et maximales de chaque signe vital y est affichée.

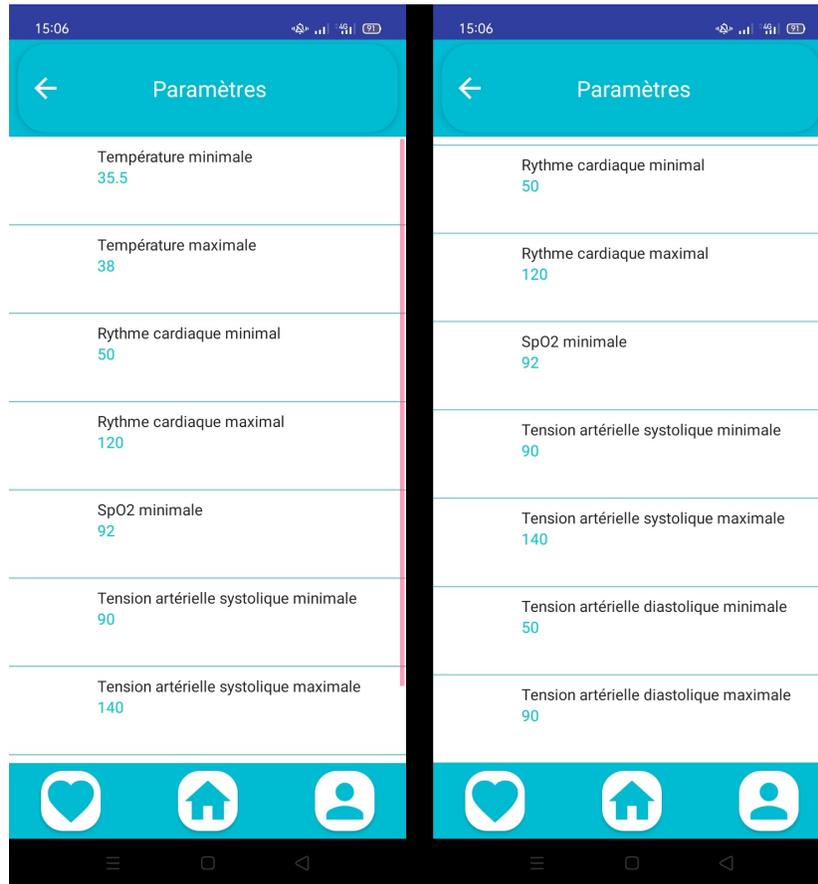


FIGURE 4.23 – Paramètres du compte patient

4.3.8.2 Paramètres d'un patient dans le compte médecin

Cet écran est accessible en cliquant sur Paramètres dans l'écran détails du patient du compte médecin vu plus haut (Figure 4.24). Deux différences sont notables par rapport à l'écran des paramètres du compte patient. La première est que le médecin à la main pour changer les valeurs des paramètres à sa guise si celui-ci juge que les paramètres par défaut ne conviennent pas au patient dû par exemple à d'autres problèmes de santé. Il lui suffit d'introduire une valeur et de cliquer sur le paramètre qu'il veut changer. La modification se fait en temps réel. Les valeurs se modifient automatiquement dans la vue et la base de données Firebase Realtime. La deuxième est l'existence d'un bouton pour clore l'écran des paramètres qui une fois enclenché nous redirige vers l'écran des détails du patient.

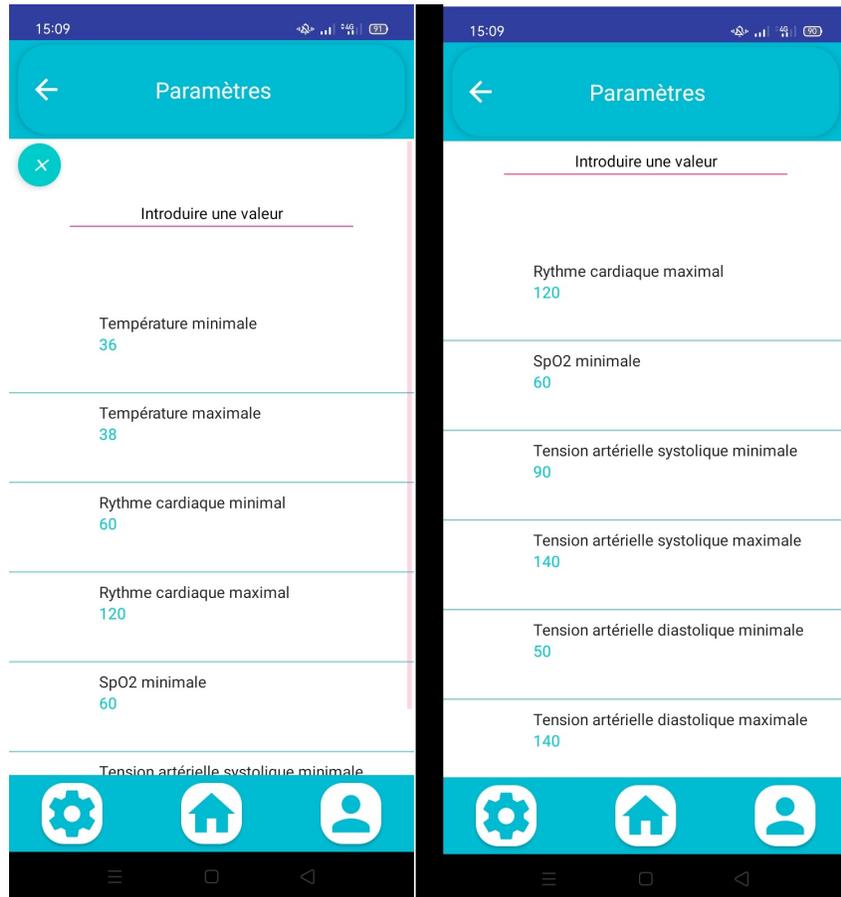


FIGURE 4.24 – Paramètres d'un patient dans le compte médecin

4.3.9 Traitement

4.3.9.1 Traitement du patient

Cet écran est accessible en cliquant sur Traitement à partir du menu side du patient. S'il n'y a pas de traitement alors il y aura juste un texte stipulant qu'il n'existe pas. Dans le cas contraire, une liste de traitements sera affichée (Figure 4.25).

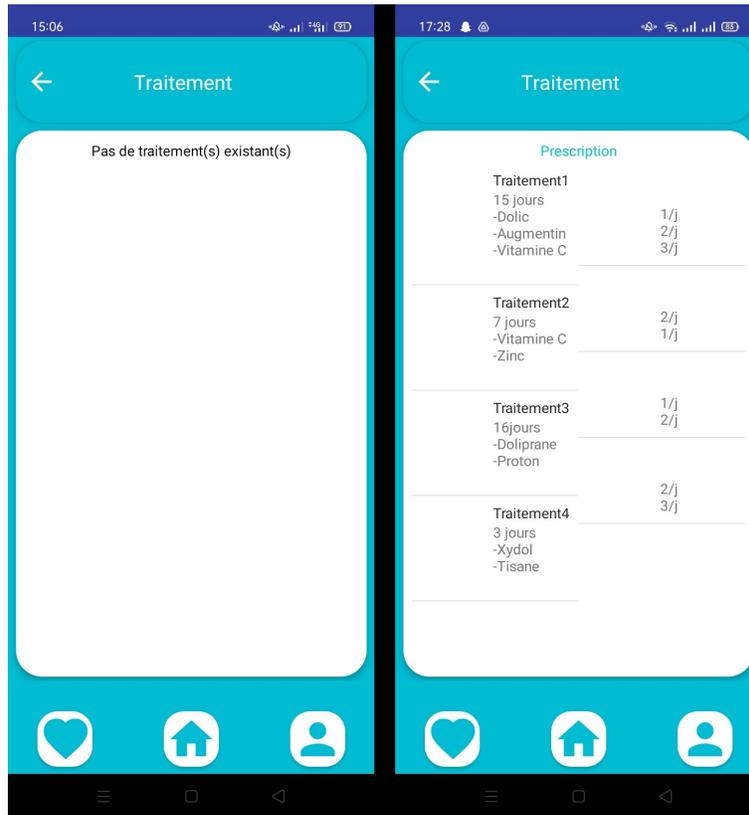


FIGURE 4.25 – Traitement du patient

Si il y'a au moins un traitement de disponible, il suffit de cliquer sur la liste des traitements pour qu'une liste de notes correspondantes à chaque traitement soit affichée (Figure 4.26).

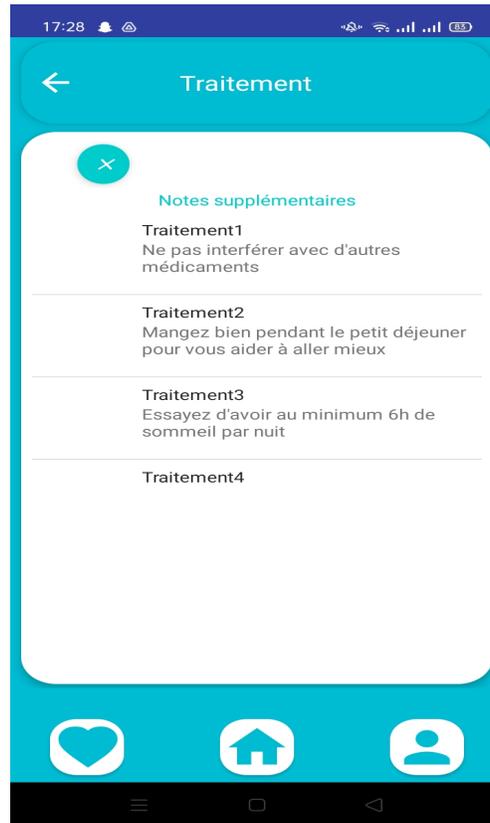


FIGURE 4.26 – Notes des traitement du patient

4.3.9.2 Traitement d'un patient dans le compte médecin

Cet écran est accessible en cliquant sur traitement dans l'écran détails du patient du compte médecin vu plus haut. Un bouton pour pouvoir fermer l'écran est disponible en haut de celui-ci qui une fois enclenché vous redirigera vers l'écran des détails du patient.

Cet écran a deux boutons principaux qui sont visibles : Voir traitement et Ajouter traitement (Figure 4.27).

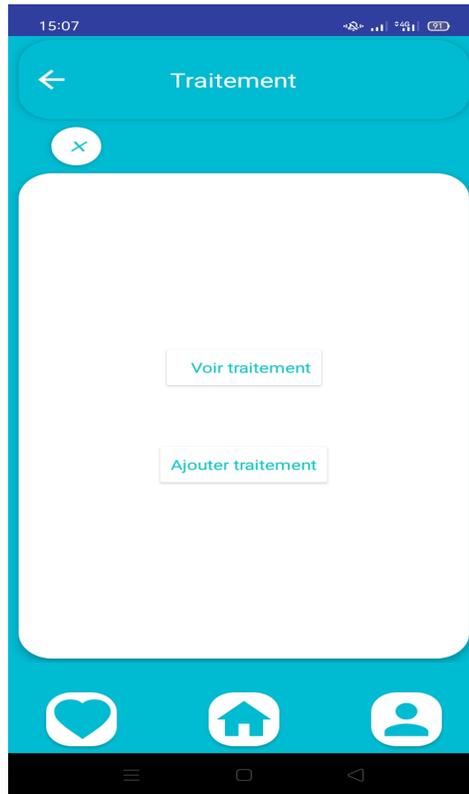


FIGURE 4.27 – Traitement d'un patient dans le compte médecin

Le premier permet de voir les traitements déjà existants (Figure 4.28). La différence entre celui-ci et celui du traitement du patient est qu'ici on a un bouton pour fermer la liste des traitements et revenir à l'écran de traitement principal.

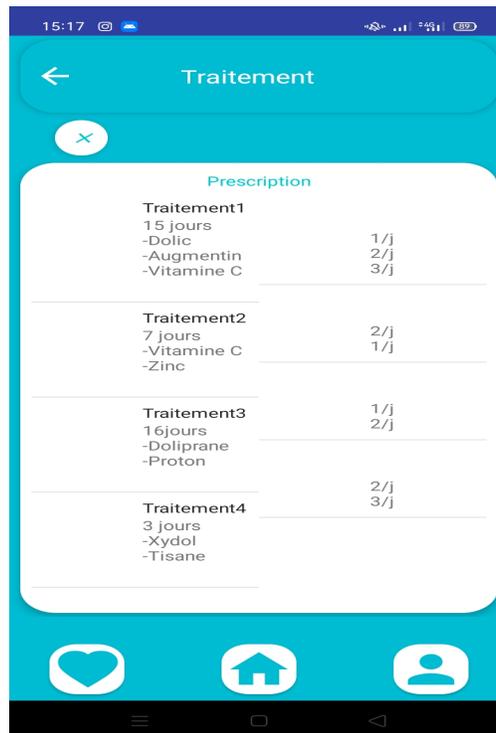


FIGURE 4.28 – Voir traitement

En cliquant sur la liste, une liste de notes apparaît devant l'intitulé du traitement (Figure 4.29).



FIGURE 4.29 – Notes des traitement d'un patient dans le compte médecin

Le second quant à lui permet au médecin d'ajouter un traitement à un patient (Figure 4.30). Une fois que le médecin clique sur sauvegarder, le traitement est ajouté en parallèle et sur la liste des traitements du patient choisi et sur la base de données Firebase Realtime.

The screenshot shows a mobile application interface for adding a treatment. The title bar is teal with a back arrow and the text 'Traitement'. Below the title bar is a close button (X). The main form area is white with rounded corners and contains the following sections:

- Durée du traitement**: 20 jours
- Prescription**: A table with two columns: Médicament and Posologie. The table is currently empty.
- Notes supplémentaires**: A section for additional notes, currently empty.

A 'Sauvegarder' button is located at the bottom of the form. The bottom navigation bar is teal and contains three icons: a heart, a house, and a person.

FIGURE 4.30 – Ajouter un traitement à un patient dans le compte médecin

4.4 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons pu nous familiariser plus amplement avec les outils utilisés dans ce projet. Nous avons pu également découvrir la multitude d'interfaces que notre application Android Hygie proposait et comprendre le fonctionnement de chacune d'entre elles. Il nous reste donc plus qu'à clôturer ce projet avec une conclusion générale.

Conclusion générale et perspectives

L'IoT comme nous le savons maintenant est la rencontre, la communication et la coopération entre le monde physique et le monde digital. Les objets physiques dits "connectés" sont dotés d'une source d'énergie en ayant la capacité d'interagir avec l'environnement physique qui les entoure à l'aide de capteurs et d'actionneurs, connectés à l'infrastructure d'Internet leur conférant le pouvoir d'interagir et de communiquer entre eux et avec le monde extérieur.

L'IoT connaît une propagation exponentielle dans différents domaines dont celui de la santé où plusieurs avancées sont notables telle que la surveillance à distance de patients.

Afin de contribuer au développement de ces avancées, nous nous sommes attelés dans ce mémoire de fin d'étude à en découvrir plus sur le domaine de l'HIoT (L'IoT dans le domaine de la santé) et cela en faisant une étude approfondie sur plusieurs travaux réalisés dans ce domaine. Comme nous avons aussi conceptualisé et réalisé une application mobile sous Android pour la surveillance des patients atteints de Covid 19 grâce à une Smartwatch portée au poignet.

Au fil de ce projet, nous nous sommes rendus compte que le développement d'une application de monitoring de santé n'est pas des plus aisés, ceci est plutôt l'alternance de moult phases complémentaires et interdépendantes, qui comporte des parties théoriques mais aussi des parties pratiques, nécessitant une bonne organisation et une coordination irréprochable. Son développement a requis de nombreuses aptitudes et savoir-faire dans différents domaines dans lesquels nous étions limités ce qui nous a poussé à approfondir nos connaissances en la matière.

Tandis que pour l'aspect humain : Ce projet nous a permis d'avoir un avant-goût de la vie professionnelle, incluant ainsi l'art de faire face aux problèmes et de les solutionner en restant objectifs et bien organisés afin de mener à bien les tâches dont nous étions chargés dans des conditions propices et en respectant les délais.

A l'aide d'Hygie, nous souhaitons offrir aux patients atteints de COVID 19 un espace où ils pourront surveiller leurs constantes vitales (SpO₂, température, rythme cardiaque et tension artérielle) en leur assurant une utilisation facile et ludique sans les contraindre à rejoindre un établissement de santé.

Nous souhaitons également assurer les mêmes services au corps médical tout en leur donnant la main quant aux modifications des paramètres d'alertes des anomalies dans les valeurs des signes vitaux et à l'ajout de traitements. Mais encore plus important, de leur permettre

de recevoir des appels et messages d'urgence afin d'intervenir et prendre en charge ces patients.

Pour ce qui est des perspectives, notre application est apte à être perfectionnée dans le but d'être plus riche en fonctionnalités afin de donner une meilleure prestation à l'utilisateur comme par exemple l'ajout d'un compteur de fréquence cardiaque en utilisant un algorithme combinant les données émises par le podomètre et le capteur de rythme cardiaque, mais de surtout réussir à avoir les autorisations nécessaires afin de vraiment connecter une Smartwatch à l'application pour qu'elle soit à cent pour cent opérationnelle dans la vraie vie et qu'elle puisse valider nos objectifs.

Bibliographie

- [1] Hend Ben Hadji. Les fondamentaux de l'iot. Août 2020. https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Africa/Documents/PRIDA%202020%20-%20ONLINE%20Capacity%20building%20%26%20digital%20services/FR_Workshop_Slides.pdf.
- [2] Sameh Ben Fredj. Introduction à l'iot avec sameh ben fredj. Avril 2015. <https://www.duchess-france.org/introduction-a-liot-avec-sameh-ben-fredj/>.
- [3] MIMI Amani. Suivi médicale à distance dans l'internet des objets. 2020/2021. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/18923/1/MIMI_Amani.pdf.
- [4] Gabriel Dabi-Schwebel. Objet connecté. <https://www.1min30.com/dictionnaire-du-web/objet-connecte>.
- [5] Objet connecté. <https://iotjourney.orange.com/fr-FR/explorer/les-solutions-iot/objet-connecte>.
- [6] AFOUF Oussama. Développement d'un système d'iot (internet of things) dans le cadre de smart university. 2019 / 2020. <http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/10499/1/Memoire%20finale%20kouah%20Version%20finale%20v3.pdf>.
- [7] Internet of things (iot) history. Décembre 2019. <https://www.postscapes.com/iot-history/>.
- [8] Iot. <https://www.scirp.org/genericerrorpage.html>.
- [9] Iot-makers, «les 4 fondamentaux de l'internet des objets». Mai 2017. <https://medium.com/iot-makers/>.
- [10] I. Saleh. Les enjeux et les défis de l'internet des objets (ido). Avril 2017. https://www.researchgate.net/publication/316469870_Les_enjeux_et_les_defis_de_l%27Internet_des_Objets_Id0.
- [11] Habib Benlahmer Younes Abbassi. Un aperçu sur la sécurité de l'internet des objets (iot). Mars 2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03593723>.
- [12] Frédéric LEMOINE. Internet des objets centré service autocontrôlé. Mars 2021. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02180889/document>.
- [13] Fatma MERABET. Solutions de sécurité pour l'internet des objets dans le cadre de l'assistance à l'autonomie à domicile. Juin 2021. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03326960>.
- [14] Google nest. https://www.abmsale.com/?product_id=257629889_53.
- [15] La domotique, c'est quoi? http://lycees.ac-rouen.fr/maupassant/Melec/co/Communication/Domotic/co/Modules_domotic_9.html.
- [16] Insight robotics wildfire detection system. <https://iffmag.mdmpublishing.com/insight-robotics-wildfire-detection-system/>.

- [17] Hikob wisecow-t. <https://www.hikob.com/en/product/hikob-wisecow-magnetometer-sensor/>.
- [18] Onefarm. <https://technews.tmcnet.com/machine-to-machine-solutions/topics/machine-to-machine-solutions/articles/359658-att-m2m-technology-powers-hydropoints-vm.htm>.
- [19] Regards Économiques smart city : Les enjeux ÉnergÉtiques de la ville durable. <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/smart-city-les-enjeux-energetiques-ville-durable>.
- [20] Les « smart grids », le temps de l'optimisation énergétique est arrivé! Avril 2020. <https://www.ingenierieetconstruction.sener/actualites/smart-grid>.
- [21] Michael Heimbinder. Meet the aircasting air monitor. <https://www.habitatmap.org/blog/meet-the-aircasting-air-monitor>.
- [22] Anjuman Rahman. What is lechal : A smart footwear that navigates its users with vibrations. Juin 2019. <https://www.nsmedicaldevices.com/news/lechal-smart-footwear/>.
- [23] Yanzi discover. <https://www.yanzi.se/discover/>.
- [24] Yanzi + co. <http://designcareof.co/works/yantzi-co/>.
- [25] "unquestionable greed" : The startup ceo who stole \$765k from his friends. <https://arstechnica.com/tech-policy/2015/04/unquestionable-greed-the-startup-ceo-who-stole-765k-from-his-friends/>.
- [26] Map of the study area with locations of intelligent river sensors. https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-study-area-with-locations-of-intelligent-RiverR-sensors-and-USGS-gage-st-fig1_324015148.
- [27] N.Subramanian V.Chundur. Effects of power lines on performance of home control system. page 1-6, 2006.
- [28] Exemple de modules x-10. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/X10_1.jpg.
- [29] Cees Links. Iot standards : The end game. Avril 2019. <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/iot-standards-the-end-game>.
- [30] Jaap C Haartsen. The bluetooth radio system. Février 2000. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Bluetooth-radio-system-Haartsen/6054e55e3038074c665afe59ee0e45a4e7386d36>.
- [31] Jin-Shyan Lee et al. A comparative study of wireless protocols : Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. Février 2000. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4460126>.
- [32] Shahin Farahani. Zigbee wireless networks and transceivers. 2011. <https://homey.app/fr-be/wiki/quest-ce-que-zigbee/>.
- [33] Wail Mardini et Ashwaq Khalil Muneer Bani Yassein. Smart homes automation using zwave protocol. page 1-6, 2016. <https://www.domotique-store.fr/s/1/modules-zwave-plus>.
- [34] Juan Carlos Zuniga et Benoit Ponsard. Sigfox system description. Novembre 2016. <https://enless-wireless.com/fr/sigfox/>.
- [35] Aloÿs Augustin et al. A study of lora : Long range low power networks for the internet of things. 2016. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>.

- [36] Le protocole http. <https://gayerie.dev/epsi-i4-web-services/http/http.html>.
- [37] Célia Garcia-Montero. Mqtt : comment fonctionne ce protocole? Décembre 2020. <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440686-mqtt-comment-fonctionne-ce-protocole/#:~:text=et%20la%20s%C3%A9curit%C3%A9-,Qu'est%2Dce%20que%20MQTT%20%3F,le%20transport%20de%20leurs%20messages>.
- [38] Amqp 0-9-1 model explained. <https://www.rabbitmq.com/tutorials/amqp-concepts.html>.
- [39] Stomp. <https://www.cloudamqp.com/docs/stomp.html>.
- [40] Saugat Bhattacharyya et Kunal Pal Bikash Pradhan. Iot-based applications in health-care devices. Mars 2021. <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2021/6632599/>.
- [41] D.Finlay. Chapter seven - connected health approaches to wound monitoring. pages 229–244, Mars 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128037621000072>.
- [42] Maged N. Kamel Boulos et al. Connectivity for healthcare and well-being management : Examples from six european projects. Juillet 2009. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2738891/>.
- [43] Ranjeet Kumar et al. Iot based health monitoring system using android app. Octobre 2017. http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_1017_6400.pdf.
- [44] Mohammad Monirujjaman Khan et al. Iot-based smart health monitoring system for covid-19 patients. Octobre 2021. <https://www.hindawi.com/journals/cmmm/2021/8591036/>.
- [45] Marc Girod-Genet et Bachar Ahmed ElHassan Lina Nachabe. Semantic smart home system : Ontosmart to monitor and assist habitant. Janvier 2016. https://www.researchgate.net/publication/303697774_Semantic_Smart_Home_System_OntoSmart_to_monitor_and_Assist_habitant.
- [46] Tejaswini Mishra et al. Pre-symptomatic detection of covid-19 from smartwatch data. Décembre 2020. <https://www.nature.com/articles/s41551-020-00640-6>.
- [47] Getting started with the rest api. 2021. <https://developers.google.com/fit/rest/v1/get-started>.
- [48] Aida Kamišalić et al. Sensors and functionalities of non-invasive wrist-wearable devices : A review. Mai 2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6021794/>.
- [49] Comment fonctionne l'oxymètre de pouls? <https://www.mediprostore.com/fonctionnement-oxymetre#:~:text=L'oxym%C3%A8tre%20permet%20de%20mesurer,affections%20de%20l'appareil%20respiratoire>.
- [50] Mesurer la saturation en oxygène avec un dispositif portable : utile ou absurde? <https://smarthealth.live/fr/2021/04/25/mesurer-la-saturation-en-oxygene-avec-un-dispositif-portable-utile-ou-absurde/#:~:text=La%20derni%C3%A8re%20g%C3%A9n%C3%A9ration%20de%20smartwatches,oxym%C3%A8tres%20de%20pouls%20m%C3%A9dicaux%20approuv%C3%A9s>.
- [51] Modèles de montre intelligents avec mesure de la pression artérielle. <https://techinfus.com/cifrovaya/smart-chasy/obzor-s-tonometrom-i-pulsometrom.html>.

- [52] TGeoffroy Husson. Rythme cardiaque, vo2max, spo2, ecg : comment les montres connectées prennent soin de votre cœur. Novembre 2020. https://www.frandroid.com/produits-android/accessoires-objets-connectes/montres-connectees-2/786255_rythme-cardiaque-vo2max-spo2-ecg-comment-les-montres-connectees-prennent-soin-de-vo
- [53] What is kodular creator? <https://www.quora.com/What-is-Kodular-creator>.
- [54] Kodular. <https://www.kodular.io/creator>.
- [55] Firebase realtime database. <https://firebase.google.com/docs/database>.
- [56] Visual paradigme. <https://www.visual-paradigm.com/>.

Résumé

La rencontre, la communication et la coopération entre le monde physique et le monde digital se matérialise grâce à l'internet des objets ou plus communément appelé par son sigle anglais IoT (Internet of things en anglais). Les objets connectés ainsi que les technologies qu'elle utilise ont aidé au développement de plusieurs domaines dont le domaine de la santé et plus précisément la surveillance à distance de patients ou le monitoring de santé.

C'est par conséquent ce qui nous a poussé à proposer une architecture basée sur une Smartwatch afin de surveiller des patients à distance et ainsi d'offrir d'une part à ces derniers la possibilité de jouir de leur mobilité et de ne pas être contraints à résider dans un établissement de santé. D'une autre part, ce système pourrait alléger la charge que le corps médical subit et ainsi diminuer la surcharge dans les hôpitaux.

Et afin de valider cette architecture, nous avons choisi de concevoir et déployer une application Android pour la surveillance des patients atteints de COVID 19.

Mots clés : IoT, COVID 19, surveillance, Smartwatch, application Android.

Abstract

The meeting, the communication and the cooperation between the physical world and the digital world are personified in one word : Internet of Things or more commonly called by its acronym IoT . The connected objects as well as the technologies it uses have helped the development of several fields including the field of health and more precisely remote patient health monitoring

This is what prompted us to propose an architecture based on a Smartwatch in order to monitor a patient's health from afar and thus to offer the latter the possibility of enjoying his mobility and not being constrained to reside in a health facility. On the other hand, this system could lighten the burden on the medical team and thus reduce the overload in hospitals.

And in order to validate this architecture, we have chosen to design and deploy an Android application for remote monitoring patients affected with COVID 19.

Keywords : IoT, COVID 19, monitoring, Smartwatch, Android application.