

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955- SKIKDA



FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

PROJET D'OBTENTION D'UN CERTIFICAT DE BREVET
SELON LE DÉCRET MINISTÉRIELLE 1275

**DariCare : Système Intelligent d'assistance médicale a distance
en temps réel en utilisant la technologie IoT et l'Intelligence
Artificielle**

Réalisé par

BOUCHEHIT Rostom

SEMASSEL Ala Eddine

Spécialité

MASTER2 GLAA

Soutenue devant le jury :

Président : Dr. Bendib Riad

Encadrant : Dr. Cheikh Mohamed

Examineur : Dr. Chikh Ramdane

Expert de BMC : Mme. Doghmane Hala

Représentant de partenaire commercial : Mr Belkamel Mouloud

Directeur de l'Inspection du Commerce : Mr Boussis Selim

Inspecteur de la Direction du Commerce : Mr Lekoui Yacine

Juillet 2023

Remerciements

En préambule de ce mémoire, nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la patience, la motivation et le courage pendant cette préparation du projet.

Nous tenons également à remercier tout ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce projet, en particulier notre professeur encadrant Dr. CHEIKH MOHAMED pour ses conseils avisés, ainsi qu'aux membres de l'incubateur qui nous ont formés à l'entrepreneuriat.

Nous tenons également à remercier le personnel médical de l'hôpital des frères Saad Guermech Skikda, en particulier à Mr Belkamel Mouloud chef du service de laboratoire à Skikda qui nous a accordé son temps et de son énergie et nous a ainsi initiés au domaine de la médecine, et aussi au Dr Belkhiri Amine le cardiologue qui a supervisé le travail.

Pour finir nous tenons à remercier nos familles et amis pour leur aide et leur soutien, ainsi qu'aux membres du jury qui ont examiné notre travail.

Merci

Résumé

Le système DARI CARE a pour but d'améliorer de la qualité d'assistance médicale à l'échelle nationale et internationale en utilisant les technologies modernes d'Internet Of Things (IoT) combinées a l'intelligence artificielle (IA), pour fournir au patient un suivi médical rigoureux, permanent et personnalisé au sein des hôpitaux et à distance . Le système se compose de deux parties, La première partie est matérielle, constituée d'un bracelet sophistiqué équipé de multiples capteurs médicaux de pointe. Ces capteurs sont spécifiquement conçus pour mesurer et collecter des données médicales cruciales, permettant ainsi de surveiller en temps réel l'état de santé du patient. La deuxième partie est logicielle, elle se déploie dans un écosystème complet, comprenant une application Web installée au sein du centre hospitalier, ainsi que des applications sur smartphone dédiées précisément pour le patient et le médecin traitant à la fois, le tout associé à un système d'intelligence artificielle qui a pour but d'analyser les données collectées. Cette approche intégrée favorise une communication fluide et instantanée entre toutes les parties concernées.

Mot clés : Intelligence artificielle, Internet des objets, Internet des objets médicaux, Assistance médicaux à distance, Apprentissage profond.

ملخص

نظامنا يهدف إلى تحسين جودة الرعاية الصحية على المستوى الوطني و العالمي. من خلال الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء و الذكاء الاصطناعي، يضمن نظامنا رعاية صحية مستمرة ومخصصة عن بعد داخل المستشفيات و من المنزل. يتألف النظام من جزء مادي يتمثل في سوار إلكتروني متطور مزود بعدة حساسات طبية متقدمة. تم تصميم هذه الحساسات بشكل خاص لقياس وجمع البيانات الطبية الحاسمة، مما يتيح مراقبة حالة المريض في الوقت الحقيقي. أما الجزء البرمجي، يتمثل في بيئة كاملة تشمل تطبيق ويب يتم تثبيته داخل المستشفى، بالإضافة إلى تطبيق الهاتف الذكي المخصصة والمصممة خصيصاً للمريض والطبيب المعالج. يعتمد نظامنا على الذكاء الاصطناعي، وذلك للتتبع و للتنبؤ بالحالات الصحية الحرجة للمريض و إرسال توجيهات و إرشادات صحية حسب الحركة الجسدية و كذا التدخل السريع في حالة تدهور الحالة الصحية أو وقوع حادث سقوط، هذا النهج المتكامل يعزز التواصل السلس والفوري بين جميع الأطراف المعنية.

الكلمات المفتاحية : الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، إنترنت الأشياء في الطب، المتابعة الطبية عن بعد، التعلم العميق.

Summary

The DARI CARE system aims to improve the quality of remote medical assistance by combining modern Internet Of Things (IOT) technologies with artificial intelligence (AI), to provide the patient with rigorous medical monitoring, permanent and personalized and thus alleviate the constant pressure suffered by the medical profession at hospital level. The system consists of two parts : The first part is hardware, consisting of a sophisticated bracelet equipped with multiple state-of-the-art medical sensors. These sensors are specifically designed to measure and collect crucial medical data, allowing real-time monitoring of the patient's health status. The second part is software, it is deployed in a complete ecosystem, including a web application installed within the hospital center, as well as dedicated smartphone applications precisely for the patient and the attending physician at the same time, all associated with a system of artificial intelligence which aims to analyze the collected data. This integrated approach promotes fluid and instant communication between all parties involved.

Keywords : Artificial intelligence, Internet of things, Internet of medical objects, Remote medical assistance, Deep learning.

Table des matières

1	Présentation du domaine de l’IoT	2
1.1	Introduction	2
1.2	Définition IoT	2
1.3	Fonctionnement de l’IoT	3
1.4	Définition d’un capteur IoT	3
1.5	Composant d’un capteur IoT	3
1.6	Introduction a l’Internet des objets médicaux (IoMT)	5
1.7	Architecture de IoMT	6
1.8	Relation entre IoT et IoMT	7
1.9	Les protocoles IoT	7
1.10	Avantages d’utilisation de protocoles	8
1.11	Protocoles de réseau IoT	8
1.12	Conclusion	15
2	Intelligence artificielle	16
2.1	Introduction a l’intelligence artificielle	16
2.2	Machine learning	17
2.2.1	Les Types d’apprentissage du “Machine Learning”	17
2.2.2	Les techniques du machine learning	18
2.3	Deep learning	22
2.3.1	Classification du deep learning	22
2.3.2	Les fonctions d’activation	22
2.3.3	La methode Batch normalization	25
2.3.4	Dropout layer	25
2.3.5	Loss function	25
2.3.6	Cross validation k-fold	25
3	Conception du système	26
3.1	Structure du système Dari Care	26
3.1.1	Structure du hardware	30
3.2	Discussion des choix effectués	30
3.3	Création du système d’intelligence artificielle	34
3.4	Conclusion	37
4	Réalisation du système “ Dari Care “	38
4.1	Partie électronique	38
4.1.1	Composants utilisés	38
4.1.2	Structure du hardware	40

4.2	Partie logicielle	40
4.2.1	Outils logiciels utilisés	40
4.3	Le Prototype	47
4.3.1	Interface d'accueil de l'application	47
4.3.2	Choix du type de compte	48
4.3.3	Formulaire d'inscription	49
4.3.4	Validation du compte	49
4.3.5	L'interface du patient	50
4.3.6	Interface du médecin	51
4.3.7	affichage des médecins traitants	51
4.3.8	Interface de recherche de patient	52
4.3.9	Système de détection bluetooth	52
4.3.10	Connexion au bracelet	53
4.3.11	Affichage de données	53
4.3.12	Détection d'anomalies	54
4.3.13	Changement d'état du patient	54
4.3.14	Scénario de chute	55
4.3.15	Notification d'alerte	55
4.3.16	Interface d'application web	56
4.3.17	Page d'authentification web	56
4.3.18	Interface site web	56
4.3.19	Interface application web	57
4.4	Conclusion générale	58

Table des figures

1.1	Unité d'alimentation	4
1.2	Représentation du fonctionnement de IoMT	5
1.3	représentation de la diversité des capteurs de l'IoMT	6
1.4	Représentation de la structure générale de l'IoMT	7
1.5	Wifi - logo	9
1.6	Bluetooth - logo	9
1.7	Zigbee - logo	10
1.8	MQTT - logo	11
1.9	OPC-UA - logo	12
1.10	cellulaire - logo	12
1.11	Z-wave - logo	13
1.12	NFC - logo	13
1.13	LoRaWAN - logo	14
1.14	SigFox - logo	14
2.1	L'intelligence artificielle et ses sous domaines	17
2.2	Fonctionnement SVM	18
2.3	Représentation de l'arbre de décision	19
2.4	représentation d'un neurone biologique et artificiel	20
2.5	structure des réseaux de neurones	21
2.6	Fonctionnement et activation d'un neurone artificiel	21
2.7	Représentation graphique de la fonction relu	23
2.8	Représentation graphique de la fonction gelu	24
2.9	Fonctionnement de SoftMax	24
3.1	structure générale du système Dari Care	27
3.2	système Dari Care côté patient	28
3.3	Finalisation du modèle d'intelligence artificielle Dari Care	29
3.4	Organigramme du bracelet	30
3.5	Représentation du modèle d'intelligence artificiel du système Dari Care	36
4.1	Flutter logo	40
4.2	Dart logo	41
4.3	Python logo	42
4.4	Keras logo	42
4.5	Tenserflow logo	43
4.6	Sklearn logo	43
4.7	Arduino logo	44
4.8	VScode logo	45
4.9	Pandas logo	45

4.10	Firestore logo	46
4.11	Firestore logo	46
4.12	page d'accueil de l'application Dari Care	47
4.13	choix du type de compte	48
4.14	phase d'inscription	49
4.15	validation de compte	49
4.16	Interface du patient.	50
4.17	Interface du médecin	51
4.18	Liste des medecins traitants	51
4.19	recherche de patient	52
4.20	Connexion bluetooth des composants du systeme.	52
4.21	Établissement de connexion.	53
4.22	Affichage des données du patient.	53
4.23	Détection et signalement d'anomalies.	54
4.24	Signalement d'état critique	54
4.25	Système d'alerte d'état d'activité.	55
4.26	Notification d'alerte de l'etat du patient.	55
4.27	Page d'accueil de l'application web.	56
4.28	Page d'authentification de l'application web.	56
4.29	site web de l'application.	56
4.30	interface de l'application web de l'hôpital.	57

Liste des tableaux

3.1	Table de comparaison des techniques en fonction de l'accuracy	31
3.2	Table de test des couches sur le dataset de santé	31
3.3	Table de test des couches sur le dataset de santé	32
3.4	Test du nombre de neurones sur les données de santé	32
3.5	Test du nombre de neurones sur les données de mouvements	32
3.6	Comparaison du rendement selon la fonction d'activation sur	33
3.7	Comparaison du rendement selon la fonction d'activation	33
3.8	performance du système en utilisant la fonction cross validation sur les données de santé	33
3.9	performance du système en utilisant la fonction cross validation sur les données de mouvements	34
3.10	tableau explicatif des données du dataset de santé	35
3.11	Tableau explicatif du dataset de mouvement	35

Introduction générale

Depuis l'année 2019 les hôpitaux de notre pays ont été confrontés à de nombreux défis en raison de la pandémie de la COVID-19. L'afflux massif de patients atteints par ce virus (marée humaine) a mis à rude épreuve les capacités des établissements de santé, notamment en termes de lits, de matériel médical et de personnel médical qualifié. Les hôpitaux ont dû se réorganiser rapidement pour faire face à cette situation sans précédent, en augmentant leur capacité d'accueil, en mettant en place des unités de soins intensifs supplémentaires et en adaptant leurs protocoles pour répondre aux besoins spécifiques des patients atteints du COVID-19.

En l'année 2023 l'histoire n'est pas finie, ces hôpitaux continuent à affronter les conséquences de cette terrible maladie, connue sous le nom de maladies post-COVID. Ces maladies peuvent entraîner des symptômes persistants et divers, tels que la fatigue chronique, les problèmes respiratoires, les troubles neurologiques et les problèmes cardiaques. Les hôpitaux doivent désormais prendre en charge ces patients post-COVID et leur offrir un suivi médical approprié, malgré les ressources déjà sollicitées par la pandémie.

Dans le but de venir en aide au secteur de santé (l'armée blanche) et de diminuer la charge quotidienne qu'ils subissent, nous avons opté pour la création d'un système d'assistance médicale à distance .

Chapitre 1

Présentation du domaine de l'IoT

1.1 Introduction

L'Internet des Objets (IoT) est une technologie en plein développement qui connecte les objets du quotidien à Internet. Cette discipline consiste à créer un réseau relayant des objets du quotidien ; ce domaine en pleine extension concerne désormais les buildings, les véhicules et tout autres objets dotés de capteurs [1]. Cette discipline permet de collecter, stocker et échanger les données en provenance de l'environnement, ce qui ouvre des possibilités dans plusieurs secteurs tels que l'agriculture, la santé, la fabrication, la logistique, la sécurité, etc.

1.2 Définition IoT

Selon l'union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IoT) est défini comme "l'infrastructure globale de la société de l'information, qui permet d'interconnecter des objets (physiques ou virtuels) à des systèmes de communication interopérables existants ou en évolution grâce aux technologies de l'information." [2]. En d'autres termes, l'IoT se définit comme un domaine regroupant l'ensemble d'objets physiques équipés de capteurs, capables d'échanger des données entre eux et d'interagir avec l'environnement.

1.3 Fonctionnement de l'IoT

Le fonctionnement de l'internet des objets (IoT) se base sur la création d'un réseau reliant plusieurs objets physiques ou virtuels. De ce fait, le bon fonctionnement peut être jugé par les quatres (04) aspects suivants [3] :

- La collecte de données : durant l'interaction avec l'environnement externe, l'objet collecte plusieurs données à l'aide des capteurs intégrés.
- La transmission de données : l'interaction des objets entre eux, les données sont transférées via plusieurs protocoles qui relient les objets entre eux.
- Le traitement de données : cette phase implique l'analyse des données collectées qui contribue à l'extraction d'informations qui seront utilisées plus tard par l'utilisateur. Ces dernières sont généralement affichées sur l'interface utilisateur.
- L'interface utilisateur : représente le point reliant le système à l'utilisateur. Sa simplicité assure une bonne compréhension des fonctions que le système propose à l'utilisateur pour répondre à ses besoins.

1.4 Définition d'un capteur IoT

Un capteur est un dispositif ayant pour objectif la détection et la transformation d'une mesure physique ou chimique en une mesure électrique, traduisible en langage binaire, pour faciliter la compréhension du système d'information. [4]

1.5 Composant d'un capteur IoT

- **Unité de capture d'informations** : Elle est composée du capteur proprement dit et d'un convertisseur Analogique/Numérique (ADC : Analog/Digital Converter) qui transforme les signaux analogiques en signaux numériques. En effet, le capteur observe un phénomène et fournit les signaux analogiques correspondant à ce dernier au convertisseur analogique/numérique, l'ADC, qui les transforme en signaux numériques compréhensibles par l'unité de traitement. [4]

- **Unité de traitement d'information (processeur) :** Cette unité constitue l'élément central d'un nœud capteur : Unité centrale de traitement (UCT). Elle est composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécialement conçu pour les capteurs. Cette unité possède deux (02) interfaces :
 - une interface pour l'unité d'acquisition .
 - une interface pour l'unité de communication.

Elle est aussi chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permettent de faire collaborer le nœud capteur avec d'autres nœuds. De plus, elle peut analyser les données captées. [4]

- **Unité de communication :**

Cette unité est responsable de toutes les émissions et les réceptions des données via un support de communication sans fil.[4]

- **Unité d'alimentation :**

C'est un élément primordial de l'architecture d'un nœud capteur ; c'est elle qui fournit l'énergie à toutes les autres unités. Elle correspond le plus souvent à une batterie ou une pile qui alimente le nœud capteur, dont les ressources limitées en font une problématique propre à ce type de réseau, puisque ces derniers sont généralement déployés dans des zones non accessibles. La réalisation récente d'unité d'alimentation à base de panneaux solaires tente d'apporter une solution pour prolonger sa durée de vie.[4]

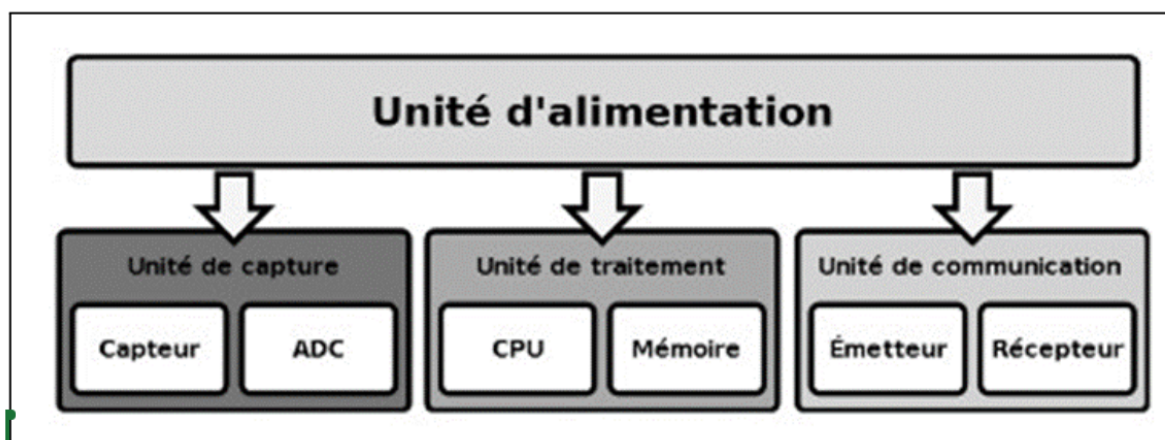


FIGURE 1.1: Unité d'alimentation

1.6 Introduction a l'Internet des objets médicaux (IoMT)

L'Internet des objets médicaux (IoMT) est la fusion entre différents dispositifs médicaux et l'Internet des objets (IoT). Cette dernière représente l'avenir des systèmes de santé, où chaque dispositif médical est connecté à Internet et surveillé par des professionnels de la santé. Cela offre une prise en charge rapide et à coût réduit.[5]

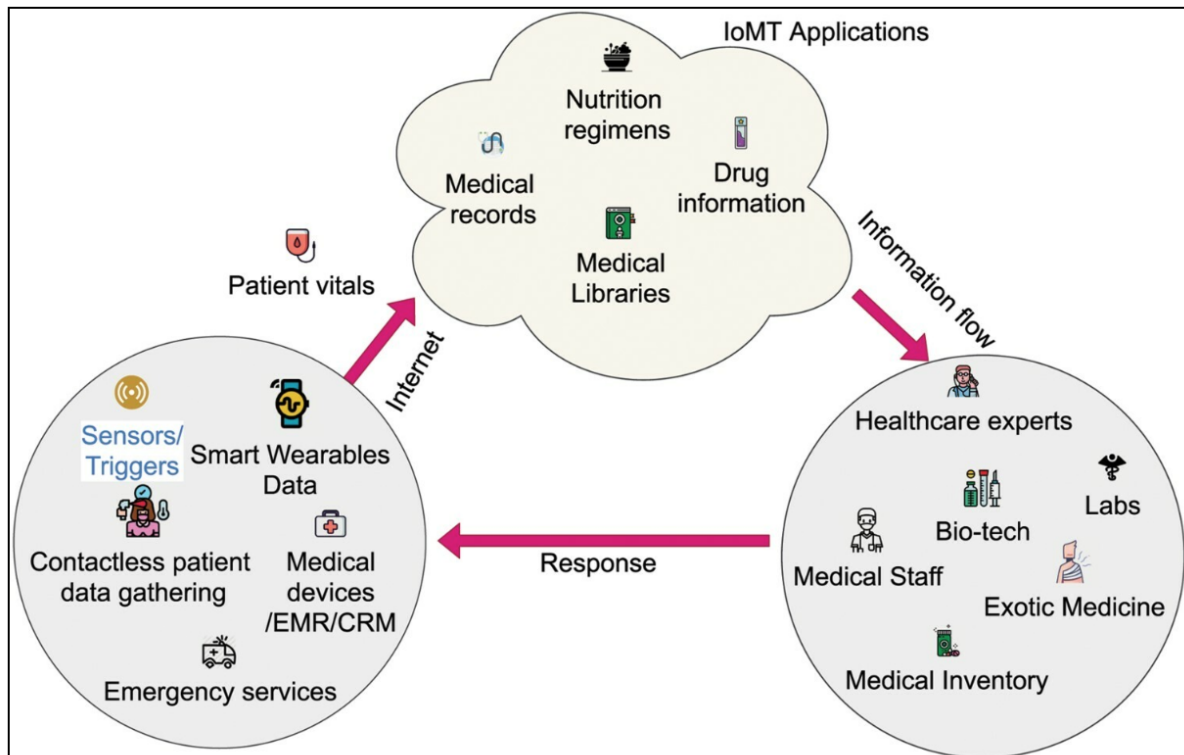


FIGURE 1.2: Représentation du fonctionnement de IoMT

L'Internet des objets médicaux (IoMT) englobe les appareils et les applications interconnectés utilisés dans l'informatique médicale et de santé. Les appareils IoMT connectent à la fois les patients, les médecins et les appareils médicaux (équipements hospitaliers, équipements de diagnostic et technologie portable) en transmettant des informations sur un réseau sécurisé.[5] Tout comme les appareils (IoT) généraux, l'IoMT également connu sous le nom d'IoT de la santé, utilise l'automatisation, des capteurs et une intelligence machine pour réduire le recours à l'intervention humaine lors des procédures de soins et des opérations de supervision de routine. En offrant ainsi aux patients et aux professionnels de santé un meilleur accès aux informations de santé, l'IoMT réduit également

le besoin de visites inutiles au cabinet du médecin ou à l'hôpital grâce à sa diversité de capteurs (voir figure 3) . L'IoMT réduit également d'économiser des frais inutiles pour les patients et les professionnels de santé.[5]

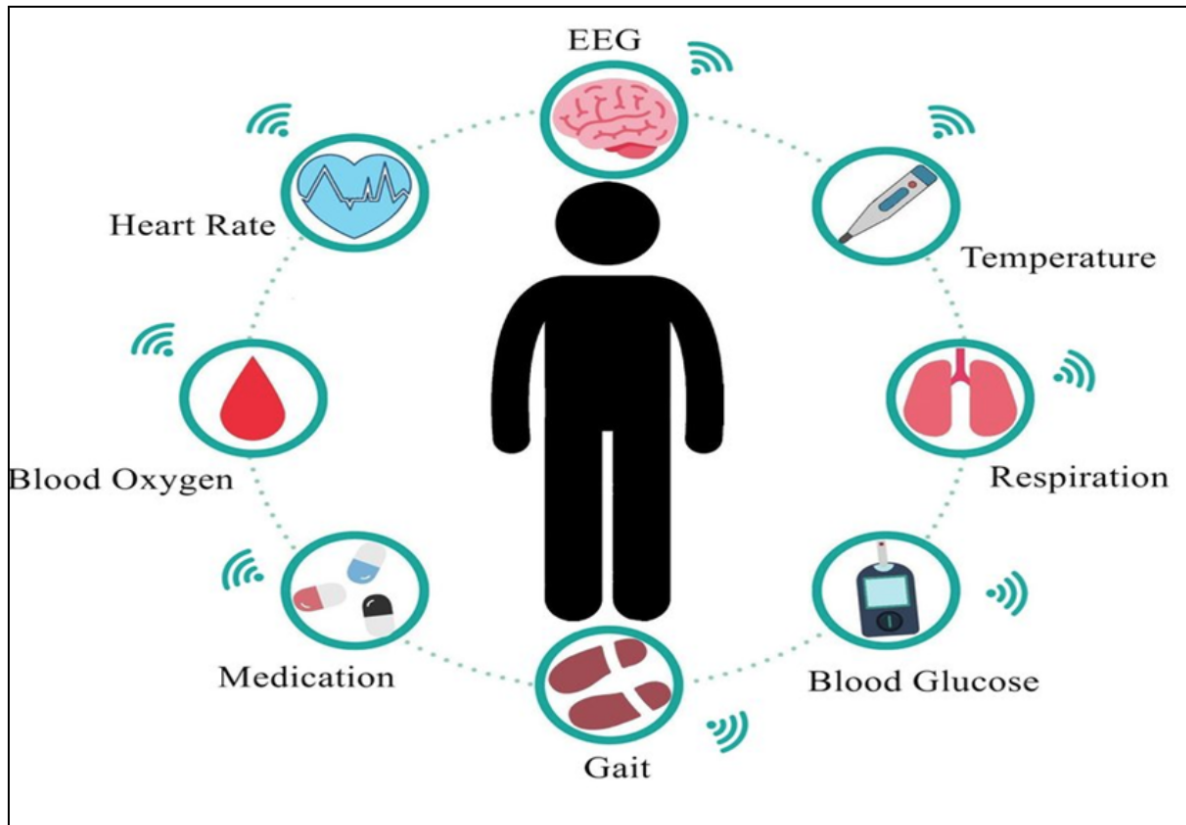


FIGURE 1.3: représentation de la diversité des capteurs de l'IoMT

1.7 Architecture de IoMT

L'architecture de l'IoMT se compose de trois (03) couches distinctes [6] :

- La couche d'objets (things layer) qui comprend les différents capteurs, dispositif médicaux de surveillance etc, cette couche est directement connectée aux utilisateurs de l'écosystème, son rôle est de collecter les données.
- La couche brouillard (fog layer) se situe entre la couche d'objets et le cloud, elle peut représenter un serveur local ainsi que différents périphériques de passage de données.
- La couche nuage (cloud layer) représente la couche finale de l'IoMT, son rôle ne

se résume pas seulement à stocker les données, elle peut être également utilisée comme ressource pour analyser les données.

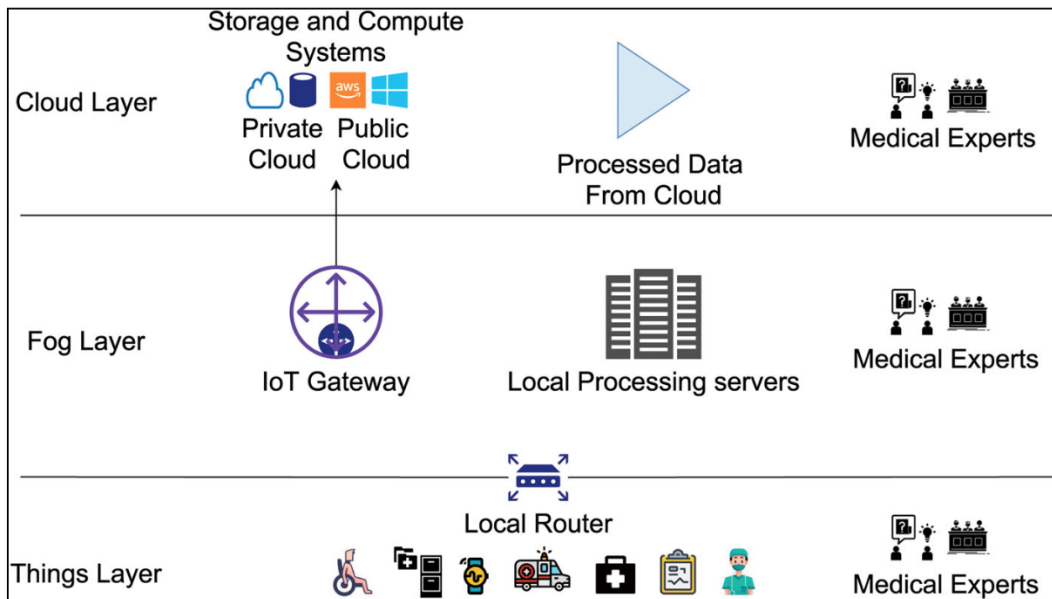


FIGURE 1.4: Représentation de la structure générale de l'IoMT

1.8 Relation entre IoT et IoMT

L'IoMT est un sous-ensemble de l'IoT, en effet l'IoT représente n'importe quel objet connecté tandis que l'IoMT regroupe l'ensemble des outils à usage médical, les deux catégories ont naturellement beaucoup en commun. On peut considérer que de nombreux appareils IoMT relèvent plus généralement de la catégorie IoT. Par exemple, une montre connectée qui mesure la fréquence cardiaque et l'oxygène dans le sang (clairement des fonctions IoMT) est aussi un appareil grand public utilisé pour recevoir des messages texte, des instructions de navigation, etc. Avec le temps, les frontières séparant l'IoT, l'IoMT et d'autres sous-ensembles de l'IoT sont destinées à s'estomper [5].

1.9 Les protocoles IoT

Les protocoles désignent des modes de communication permettant d'assurer une sécurité optimale des données échangées entre les appareils connectés à l'IoT. Ils autorisent

la connexion des appareils IoT via un réseau IP ou non IP. Les liaisons via les réseaux IP se révèlent complexes et nécessitent une capacité de mémoire et une puissance élevées des appareils IoT, bien que leur portée ne soulève aucun problème. Quant aux connexions non IP, comme Bluetooth, elles nécessitent moins de mémoire et d'énergie, mais leur portée est limitée [7].

1.10 Avantages d'utilisation de protocoles

- **Qualité et crédibilité élevées :** Les technologies de communication qui suivent des normes offrent une qualité de service élevée et une grande robustesse face aux interférences. Elles garantissent également la transmission fiable et sécurisée de données massives depuis les capteurs IoT jusqu'à la périphérie [7].
- **Interopérabilité et flexibilité pour l'innovation :**
Les protocoles standard ont la souplesse nécessaire pour être programmés sur divers produits et matériels standard tels que les passerelles et les chipsets. Par conséquent, les solutions de prise en charge multi-fournisseurs aident les utilisateurs finaux à éviter le verrouillage des fournisseurs [7].
- **Évolutivité :**
Toute organisation qui évolue souhaite adopter une connectivité IoT qui puisse être mise en œuvre à l'échelle mondiale. Or, les protocoles de communication standard offrent une connectivité universelle tout en minimisant la complexité d'installation. Sans compter qu'ils jouent un rôle majeur dans la détermination du coût et des caractéristiques des solutions IoT spécifiques [7].

1.11 Protocoles de réseau IoT

Les protocoles de réseau IoT visent à connecter des appareils de puissance moyenne à élever sur le réseau. Ils permettent la communication de données au sein du réseau.

- **Wi-Fi**



FIGURE 1.5: Wifi - logo

Il s'agit de l'un des protocoles de communication IoT les plus prisés. En fait, ce type de connexion fonctionne mieux pour l'environnement LAN et offre un transfert de données rapide. Capable de traiter de grandes quantités de données, il constitue de ce fait le choix de prédilection de nombreux développeurs. Basé sur la norme IEEE 802.11n, il s'utilise principalement dans les foyers et dans diverses entreprises. Cette norme permet d'atteindre des centaines de mégabits/s. D'ailleurs, il s'agit d'une vitesse satisfaisante pour les transferts de fichiers, mais trop gourmande en énergie pour de nombreuses applications IoT [7].

— **Bluetooth**



FIGURE 1.6: Bluetooth - logo

Bluetooth fait partie des technologies de communication à courte portée les plus importantes. En effet, elle convient à l'envoi de petits blocs de données pour les produits personnels tels que les montres intelligentes. Conçu pour les appareils mobiles, il constitue le principal protocole de l'IoT. Aujourd'hui, le nouveau Bluetooth

Low-Energy (BLE) ou Bluetooth Smart représente la technologie utilisée par les entreprises de développement IoT pour divers produits. Avec une faible consommation d'énergie, ce protocole est considéré comme une base solide de l'IoT. De plus, il se montre évolutif et flexible pour toutes les innovations du marché [7].

— Zigbee



FIGURE 1.7: Zigbee - logo

Ce protocole présente des avantages considérables dans les systèmes complexes. En effet, il offre : un fonctionnement à faible consommation, une sécurité élevée, une robustesse et une évolutivité élevées. De plus, il permet de tirer parti du contrôle sans fil. Comme Bluetooth, ZigBee dispose d'une large base d'utilisateurs. Il s'agit d'un produit spécialement développé pour les sites industriels où une faible puissance est requise et moins pour le réseau grand public. Avec un nombre maximum de 1024 nœuds dans le réseau, ce protocole peut transférer des données avec une portée allant jusqu'à 200 mètres. Il utilise même un cryptage AES 128 bits [7].



FIGURE 1.8: MQTT - logo

MQTT permet d'envoyer des flux de données simples à partir de capteurs vers des applications et des logiciels intermédiaires. Ce protocole fonctionne sur le réseau TCP/IP pour fournir des flux de données fiables, mais simples. Il peut toutefois être exploité avec n'importe quel réseau qui fournit des connexions ordonnées, sans perte et bidirectionnelles. Par ailleurs, le protocole MQTT se compose de trois éléments clés : un abonné, un éditeur et un courtier. Il se révèle être un meilleur choix pour les réseaux sans fil qui connaissent des contraintes occasionnelles de bande passante ou des connexions peu fiables. Facebook a utilisé MQTT dans Facebook Messenger pour le chat en ligne [7].

— OPC-UA



FIGURE 1.9: OPC-UA - logo

OPC UA compte parmi les protocoles de communication les plus importants pour l'industrie 4.0 et l'IoT. Il appartient au réseau de communications industrielles M2M. Comme MQTT, il s'agit d'une norme indépendante pour les plateformes. Cette dernière permet à différents types de systèmes et d'appareils de communiquer en envoyant des messages de requête et de réponse entre les clients et les serveurs[7].

— Cellulaire



FIGURE 1.10: cellulaire - logo

Les protocoles IoT cellulaires ne nécessitent pas de passerelles préétablies pour créer une zone de couverture. Ils sont donc préférables à l'échelle régionale, nationale, voire transcontinentale. Bien que les réseaux cellulaires permettent de faciliter les flux de données massifs, les périphériques IoT compatibles avec ce type de réseau consomment énormément d'énergie. Dès qu'il s'agit de connecter des objets tels que des lampadaires, des parcmètres ou des applications industrielles, les protocoles cellulaires sont capables d'améliorer la connectivité. La simplicité de l'infrastructure combinée à l'émergence de la 5G fait de ces derniers un choix incontournable [7].

— **Z-wave**



FIGURE 1.11: Z-wave - logo

Ce protocole de communication sans fil repose sur une technologie de communication radio-fréquence à faible puissance. Il convient parfaitement aux produits domotiques tels que les contrôleurs de lampes, les capteurs et bien d'autres encore. De plus, il offre une grande évolutivité et peut contrôler jusqu'à 232 appareils. Basés sur la topologie de réseau maillé, les dispositifs Z-Wave peuvent atteindre une distance de communication allant jusqu'à 40 mètres. Ils ont en outre la possibilité de transmettre des messages entre 4 participants au maximum. Cette technologie couvre les couches allant du physique à l'application pour les communications réseau [7].

— **NFC (Near Field Communication)**



FIGURE 1.12: NFC - logo

Grâce à l'énorme part de marché des smartphones, ce protocole permet aux clients d'effectuer des paiements sans contact via leurs smartphones. Il utilise l'induction électromagnétique entre deux antennes-cadres situées l'une dans l'autre à proximité du champ. Il étend ainsi les capacités de la technologie des cartes sans contact et permet aux appareils de partager des informations à une distance inférieure à 4 cm. La technologie NFC propose deux modes de communication Le mode de communication passif. Dans ce mode, un seul dispositif NFC génère un champ RF.

Le deuxième appareil, appelé la cible, utilise une technique appelée modulation de charge pour transférer des données à l'appareil primaire/initiateur. Mode de communication actif. Les deux dispositifs NFC génèrent un signal RF sur lequel les données sont transportées.

[7].

— **LoRaWAN**



FIGURE 1.13: LoRaWAN - logo

Lora se présente sous la forme d'un réseau radio à longue portée. Il fournit une sécurité mobile à faible coût aux applications IoT, aux villes intelligentes et aux applications industrielles. Il a été optimisé pour une faible consommation d'énergie et prend en charge un vaste réseau de millions d'appareils. L'éclairage public intelligent constitue un exemple pratique, où les lampadaires sont connectés à la passerelle LoRa qui utilise le protocole LoRaWAN. Celle-ci a pour fonction de détecter les signaux sous le niveau de bruit avec une sécurité intégrée et un positionnement sans GPS [7].

— **SigFox**



FIGURE 1.14: SigFox - logo

La communication Sigfox vise les domaines d'application M2M à faible coût où

une large couverture est nécessaire. L'interface sans fil SigFox permet toute communication qui nécessite une consommation d'énergie minimale. Elle possède une fonctionnalité bidirectionnelle et est utilisée dans les infrastructures IoT, notamment : La maison et les objets grand public. Le transport – cela peut inclure la gestion automobile Les communications liées à l'énergie, comme les compteurs intelligents La vente au détail, y compris les points de vente, les mises à jour des rayons, etc [7].

1.12 Conclusion

En conclusion ce chapitre a englobé plusieurs points cruciaux tel que le fonctionnement de l'IoT, la structure ainsi que les différents protocoles de transmission de données, ce qui représente la base et le fondement du fonctionnement du système que nous souhaitons réaliser.

Chapitre 2

Intelligence artificielle

2.1 Introduction a l'intelligence artificielle

Le nom “Intelligence Artificielle” désigne les sciences et technologies qui permettent d’imiter le fonctionnement du cerveau humain par la machine, l’objectif étant d’étendre et d’augmenter l’intelligence de la machine en effectuant un raisonnement humain [8].

Les progrès dans ce domaines augmente de plus en plus allant jusqu’à la compréhension de textes, l’analyse d’images, pour en arriver là, la machine a dû copier les méthodes de raisonnement et pour se faire plusieurs systèmes d’apprentissage ont été appliqués ce qui a donné naissance à de nouvelles discipline comme le montre la figure suivante :

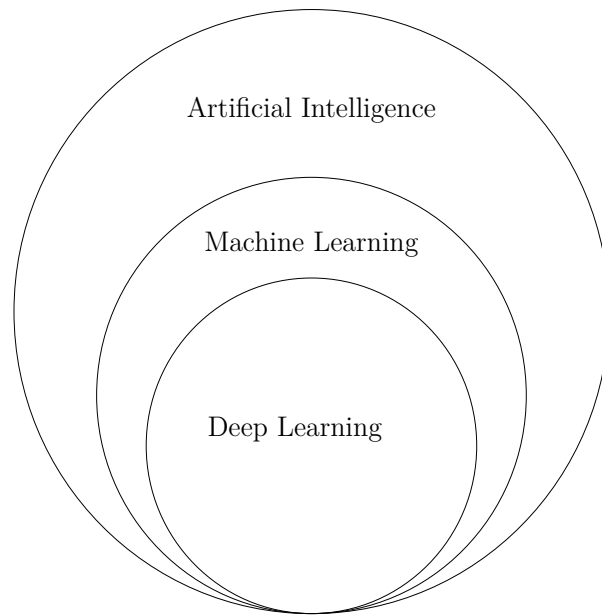


FIGURE 2.1: L’intelligence artificielle et ses sous domaines

2.2 Machine learning

Le concept de “Machine Learning” est une méthode particulière de l’Intelligence artificielle, son principe consiste à collecter de l’information à partir du traitement des données, lors de cet apprentissage la machine trouve des relations entre les différentes entrées et sorties, et cela s’effectue suite à un apprentissage. [9]

2.2.1 Les Types d’apprentissage du “Machine Learning”

1. **Apprentissage supervisé (Supervised Learning)** : Ce type d’apprentissage consiste à entraîner l’algorithme à relier des entrées (inputs) à des sorties (outputs) via des exercices en se basant sur la classification de données étiquetées.
2. **Apprentissage semi-supervisé (Semi-supervised learning)** : C’est une méthode qui consiste à trouver la meilleure classification de données étiquetée et non étiquetée.
3. **Apprentissage non-supervisé (Unsupervised learning)** : Dans cette branche du machine learning aucun entraînement n’est appliqué aux données, les techniques appliquées dans cette branche sont : Clustering, Clustering flou, Clustering hiéar-

chique, K means.

4. **Apprentissage par renforcement (Reinforcement learning)** est une branche du machine learning (également deep learning) dont l'idée consiste à laisser des agents interagir avec l'environnement via une suite d'action et de maximiser les récompenses [9].

2.2.2 Les techniques du machine learning

Le machine learning possède différentes techniques, voici quelques-unes que nous avons utilisé

- (1) **Support Vector Machine (SVM)** : est l'un des algorithmes les plus populaires et les plus utilisés pour les cas de classifications, c'est un algorithme d'apprentissage supervisé qui a pour objectif de trouver dans un ensemble de n-dimension la ligne qui divise au mieux les données en classes et qui permet de mettre facilement les données dans la catégorie adéquate, cette frontière linéaire est appelée Hyperplan

Les SVM choisissent les points/vecteurs en maximisant la distance pour créer les hyperplans, ces points et vecteurs sont appelés support vecteur [10].

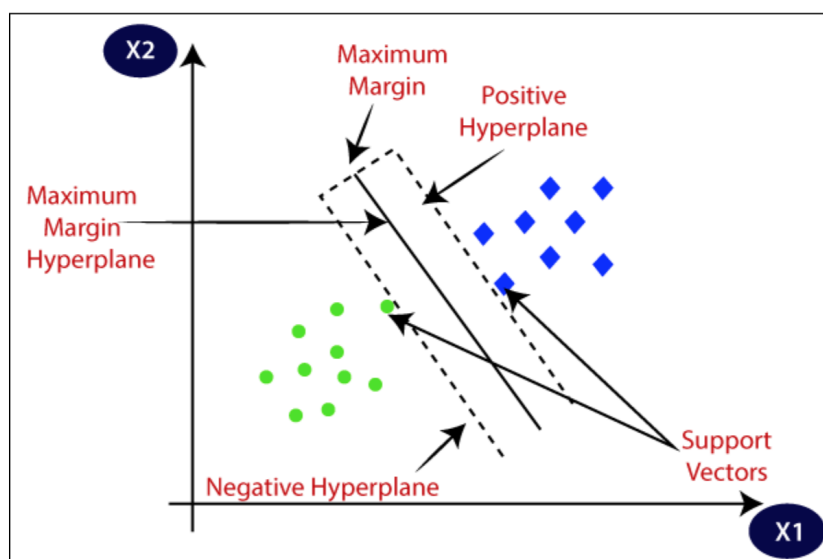


FIGURE 2.2: Fonctionnement SVM

- (2) **Arbre de décision** : L'arbre de décision ou decision tree est une technique d'apprentissage supervisé qui peut être utilisé pour les problèmes de classifications ainsi que ceux de (régression), c'est une classification sous forme d'arbre ou chaque noeud représente des paramètres de la base de donnée, et chaque branche représente une règle/ condition appliquée et chaque feuille représente une sortie.

L'architecture d'un arbre de décision se base sur 2 types de noeuds, les noeuds de décision et les noeuds feuilles, les noeuds de décision sont divisés en plusieurs branches tandis que les noeuds feuilles représentent les sorties et ne sont suivi d'aucune branche [11].

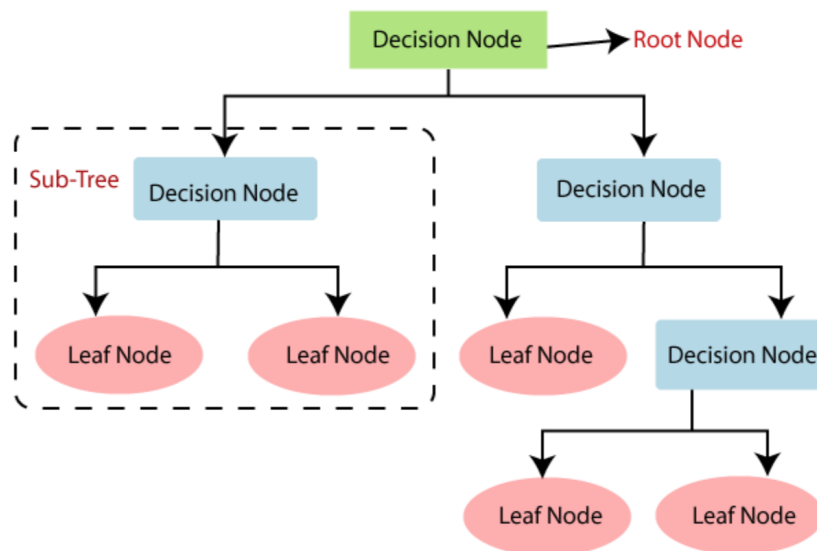


FIGURE 2.3: Représentation de l'arbre de décision

- (3) **Réseau de neurones artificielles (Artificial Neural Network ANN)** : Les réseaux de neurones artificielles est une technique d'intelligence artificielle qui base son concept sur le fonctionnement des neurones dans le cerveau humain, l'architecture des réseaux de neurones sont directement inspirés du fonctionnement des neurones et de leur architecture [12].

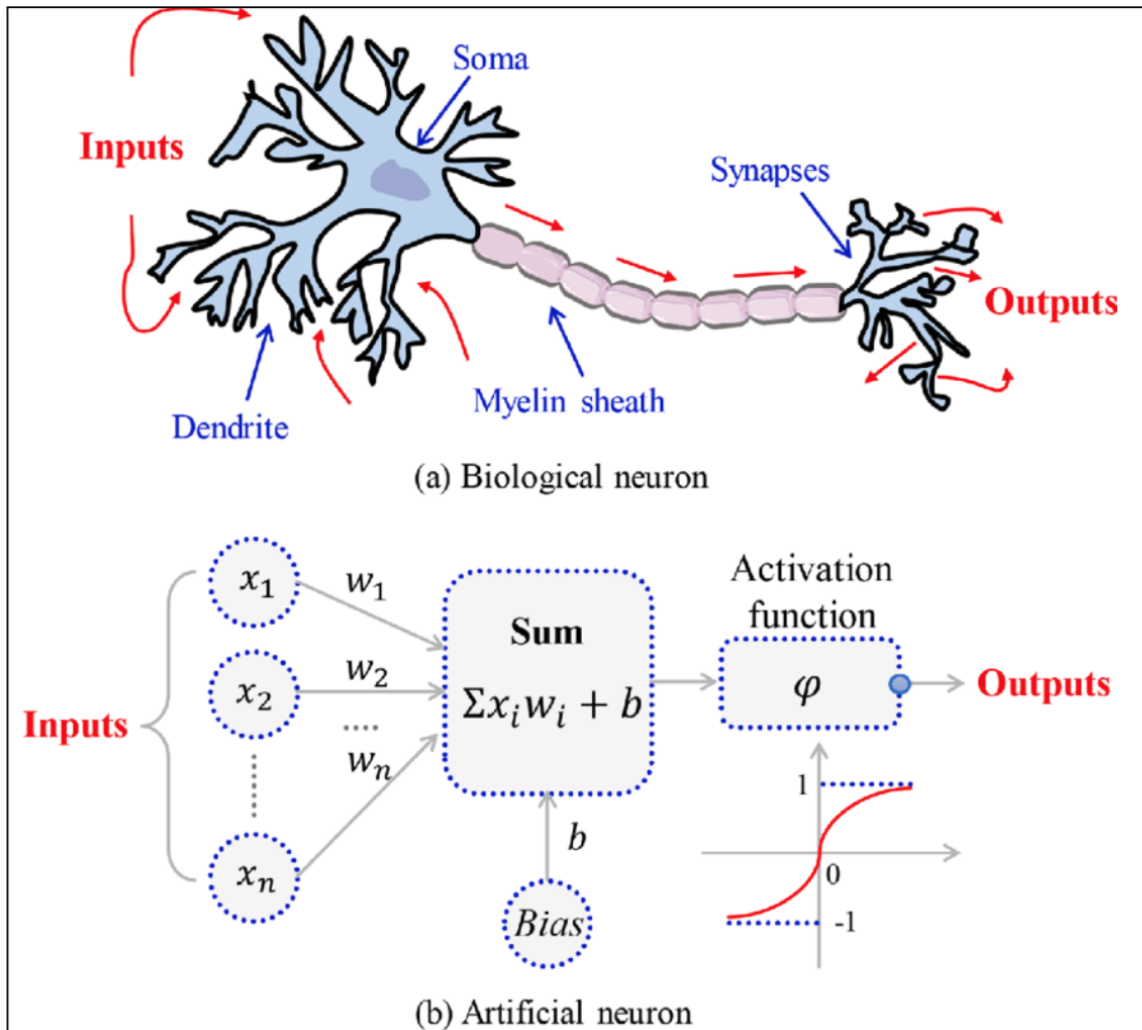


FIGURE 2.4: représentation d'un neurone biologique et artificiel

les réseaux de neurones se composent de plusieurs couches que l'on peut dissocier en 3 parties :

- Une couche d'entrée ;
- Une ou plusieurs couches cachées ;
- Une couche de sortie.

Les neurones de chaque couche sont connectés à tous les neurones de la couche suivante comme le montre la figure.

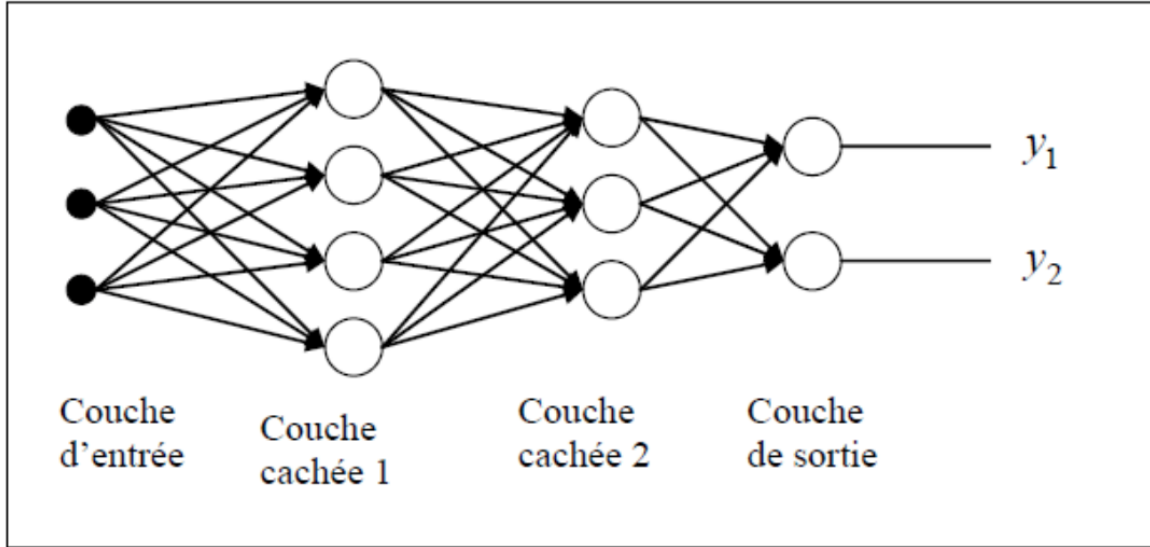


FIGURE 2.5: structure des réseaux de neurones

le fonctionnement des réseaux de neurones est assez simple en théorie, dès que la couche d'entrée est défini, un poids et un seuil sont attribués au neurones, si la valeur du noeud précédent est supérieur à la valeur du seuil spécifié, le noeud est activé, et plus le poids des neurones est élevé plus sa contribution est grande au résultat final [12].

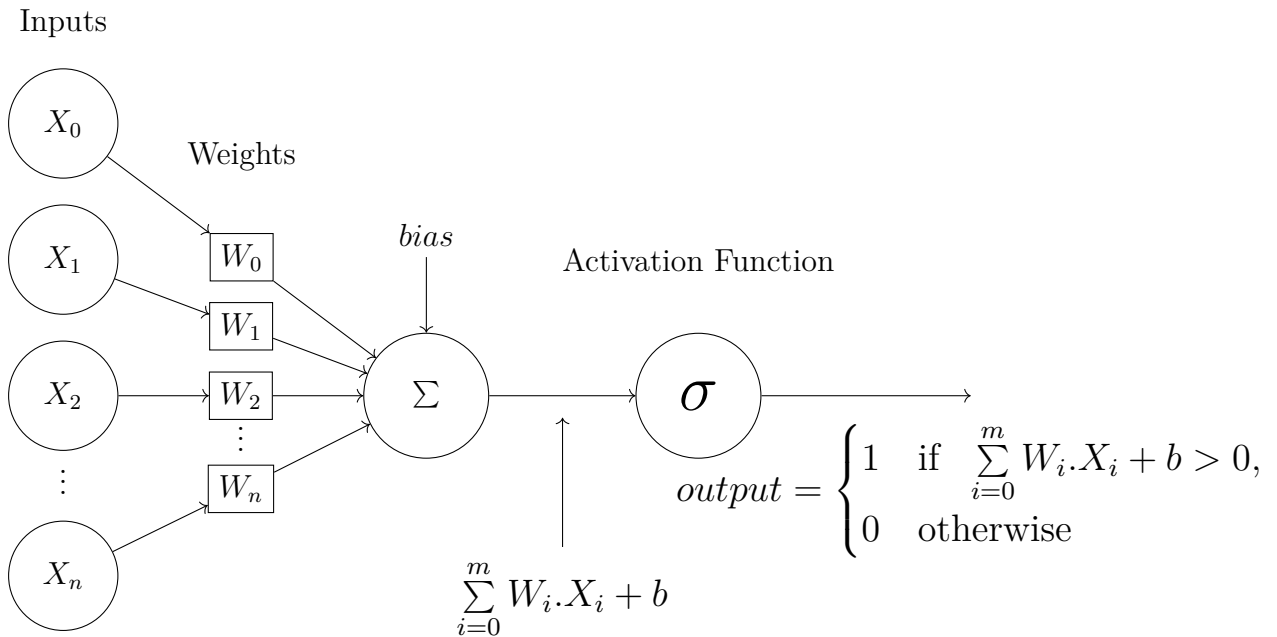


FIGURE 2.6: Fonctionnement et activation d'un neurone artificiel

2.3 Deep learning

Le deep learning, également appelé apprentissage profond, est une sous-discipline de l'intelligence artificielle (IA) qui se concentre sur l'entraînement de réseaux de neurones artificiels à partir de données pour résoudre des problèmes complexes. Il s'inspire du fonctionnement du cerveau humain et vise à créer des modèles informatiques capables d'apprendre et de généraliser à partir de larges ensembles de données. Le deep learning repose sur des architectures de réseaux de neurones profonds, composés de plusieurs couches de neurones interconnectés. Chaque couche traite les données d'entrée de manière progressive, en extrayant des caractéristiques de plus en plus abstraites à mesure que l'information progresse à travers les couches. Ce dernier est généralement utilisé pour résoudre les problèmes complexes, contrairement aux autres formes d'apprentissage qui nécessitent des règles mathématiques bien précises et des lois physiques exactes le deep learning est utilisé pour faire face au problèmes qui nécessitent une réflexion poussée et des connaissances implicites [13].

2.3.1 Classification du deep learning

Le deep learning peut être classée en quatre (04) types d'apprentissage dont 3 principaux : (l'apprentissage supervisé, l'apprentissage semi-supervisé et l'apprentissage non supervisé) en plus de l'apprentissage par renforcement qui peut être classifié comme semi-supervisé L'apprentissage par renforcement est différent de par sa nature comparée aux autres type d'apprentissage supervisé car ces derniers opèrent sur des données tandis que ce dernier opère en fonction de son interaction avec l'environnement [14].

2.3.2 Les fonctions d'activation

Une fonction d'activation est une fonction mathématique qui transforme les données d'entrées en sorties souhaitées, comme son nom l'indique son rôle est d'activer les neurones dès que le seuil est atteint, il existe deux types de fonctions linéaires et non linéaires, parmi les fonctions les plus utilisées dans le domaine du deep learning nous avons [15]

- **La fonction Rectified linear activation (Relu)** : Relu est une fonction non linéaire qui renvoie la valeur des données entrées si ces derniers sont positif et qui donne pour sortie 0 si la valeur entrée est négative, mathématiquement cette fonction est exprimée selon la fonction suivante [15] :

$$F(x) = \max(0, x) \quad (2.1)$$

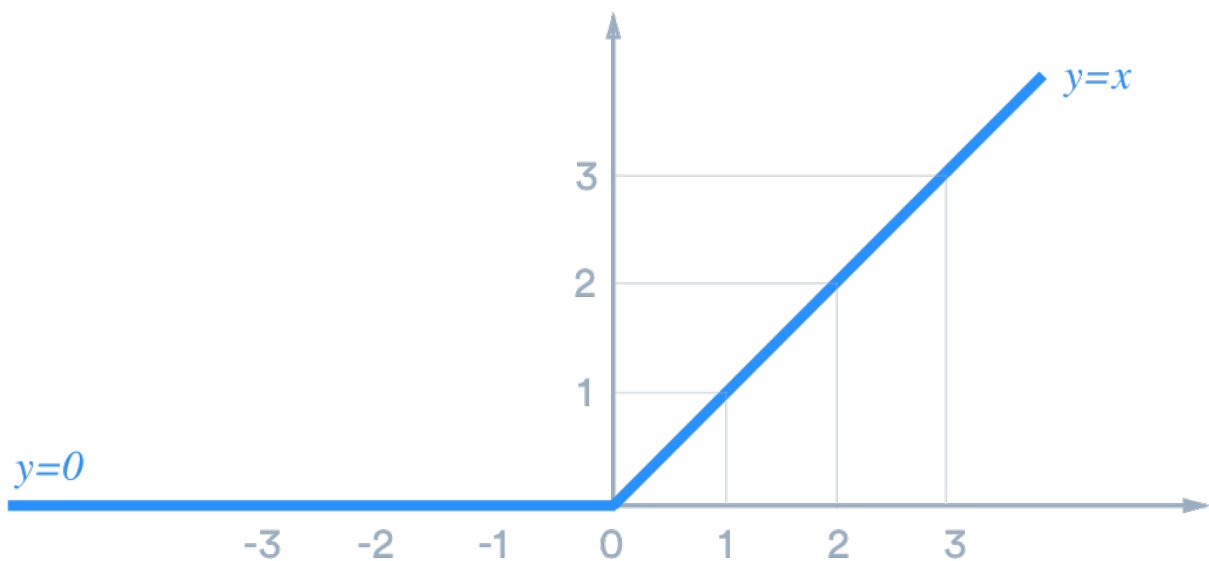


FIGURE 2.7: Représentation graphique de la fonction relu

- **La fonction gaussian error linear unit (Gelu)** : Gelu est une fonction d'activation non linéaire qui est généralement qualifié comme étant une version plus adouci de Relu elle est exprimée selon la fonction.

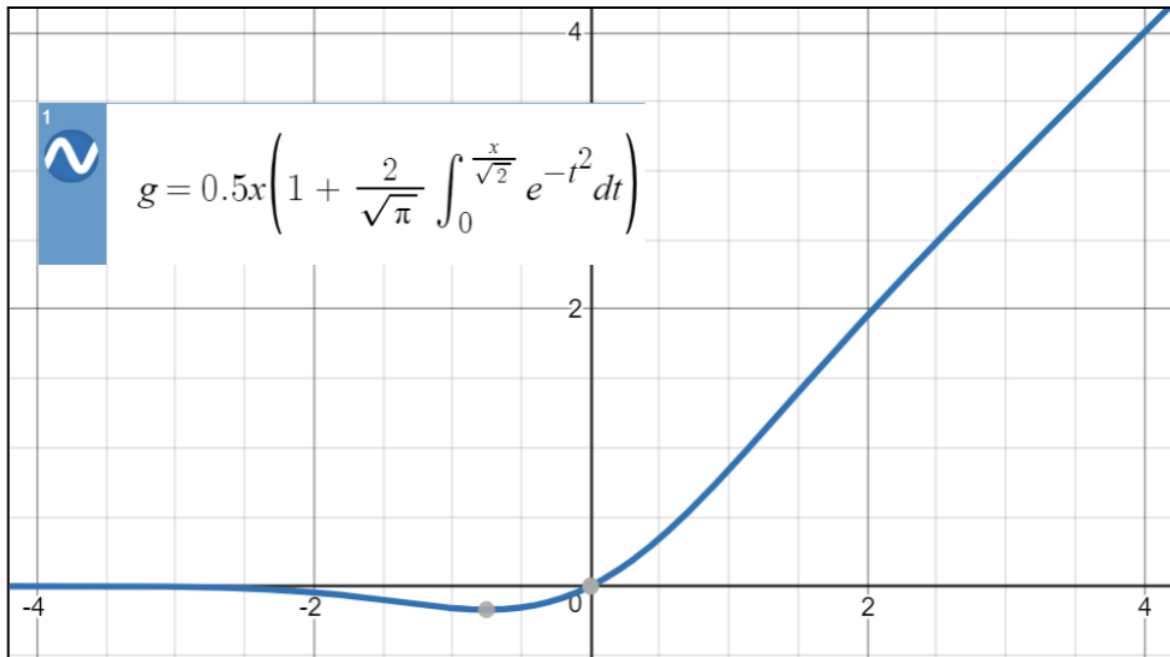


FIGURE 2.8: Représentation graphique de la fonction gelu

- **La fonction SoftMax :** La fonction Soft-argmax est une fonction mathématique utilisée dans le machine learning, son rôle est de transformer des valeur réel en probabilités, elle peut être utilisée pour classifier des données en plusieurs classes en indiquant le pourcentage de chance de chacune d’entre elles [16].

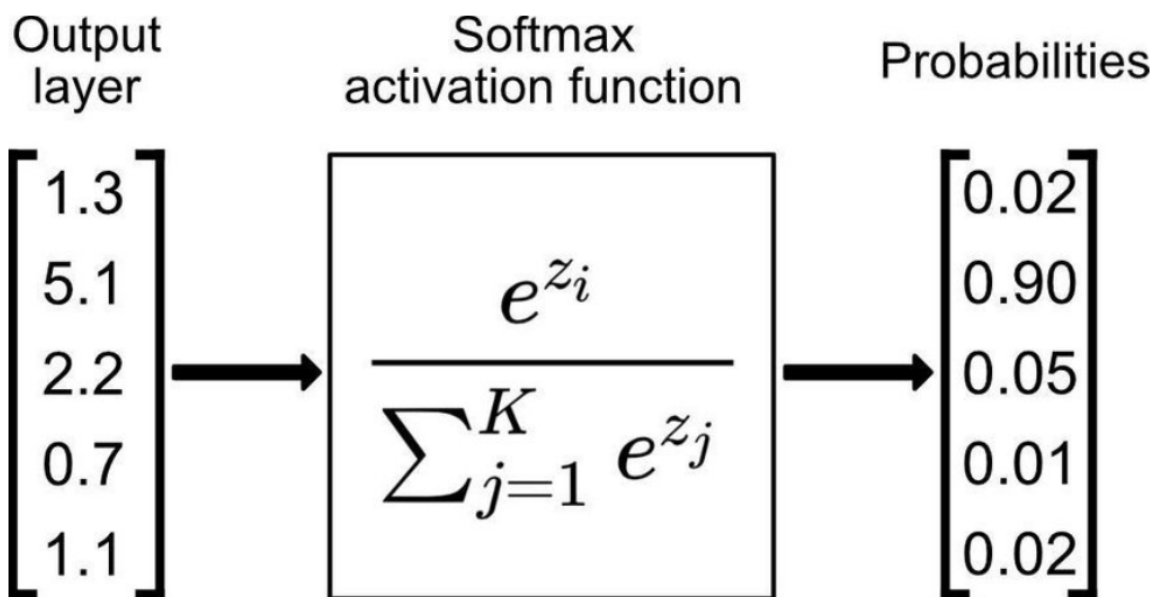


FIGURE 2.9: Fonctionnement de SoftMax

2.3.3 La methode Batch normalization

Est une fonction d'apprentissage supervisé utilisé dans le deep learning qui nécessite un empilement de plusieurs couches de neurones, les sorties de chaque couches représentent les entrées de la couche suivante, le principe consiste à réinitialiser les sorties d'une couche donnée ce qui permet un meilleur apprentissage [17], [18].

2.3.4 Dropout layer

Le dropout est technique qui consiste à supprimer temporairement certaines neurones de manière aléatoire dans le but d'éviter l'overfitting lors de l'entraînement du modèle, en faisant cela on désactive toute ses connexions ce qui oblige le réseau à explorer d'autres chemins de neurones.

2.3.5 Loss function

la loss function est une fonction qui permet de calculer le taux d'erreur entre le résultat prédit et le résultat attendu, lors de cette étape l'objectif est de minimiser le plus possible le résultat de cette fonction [19].

2.3.6 Cross validation k-fold

La Cross-Validation est une méthode permettant de tester les performances d'un modèle prédictif de Machine Learning, dans notre cas nous avons utilisé "K-fold" qui consiste à diviser l'ensemble de données en K sous ensembles de même taille, chaque sous ensemble est utilisé pour les testes tandis que les autres sous ensembles sont utilisés pour l'entraînement.

Chapitre 3

Conception du système

3.1 Structure du système Dari Care

La structure du système Dari Care est très complexe, elle comporte plusieurs parties ayant chacune un rôle bien défini, comme le montre la figure suivante

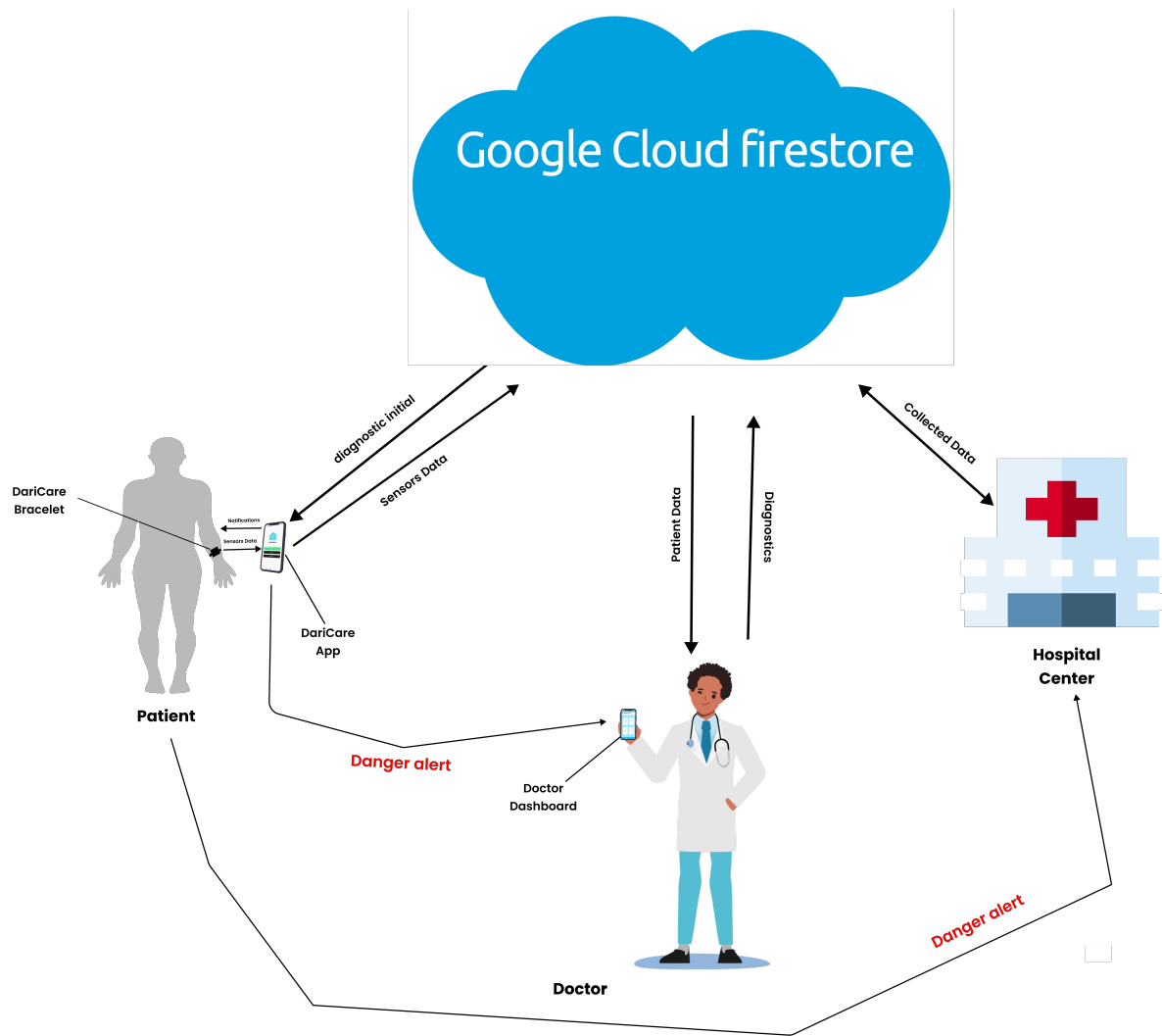


FIGURE 3.1: structure générale du système Dari Care

Dans cette figure nous pouvons remarquer plusieurs activités tâches tel que la collecte de données, leur traitement ainsi que le signalement d'anomalies .

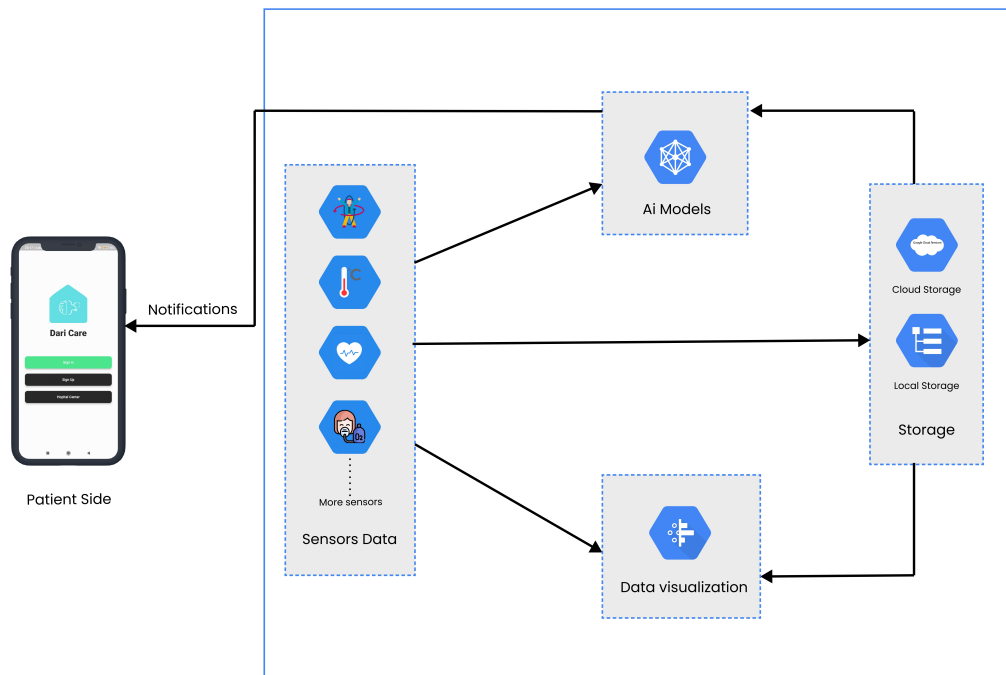


FIGURE 3.2: système Dari Care côté patient

Cette figure représente le fonctionnement du système côté patient, ce dernier a pour rôle de gérer la classification des données et leur sauvegarde, ainsi que leurs traitements et leur affichage.

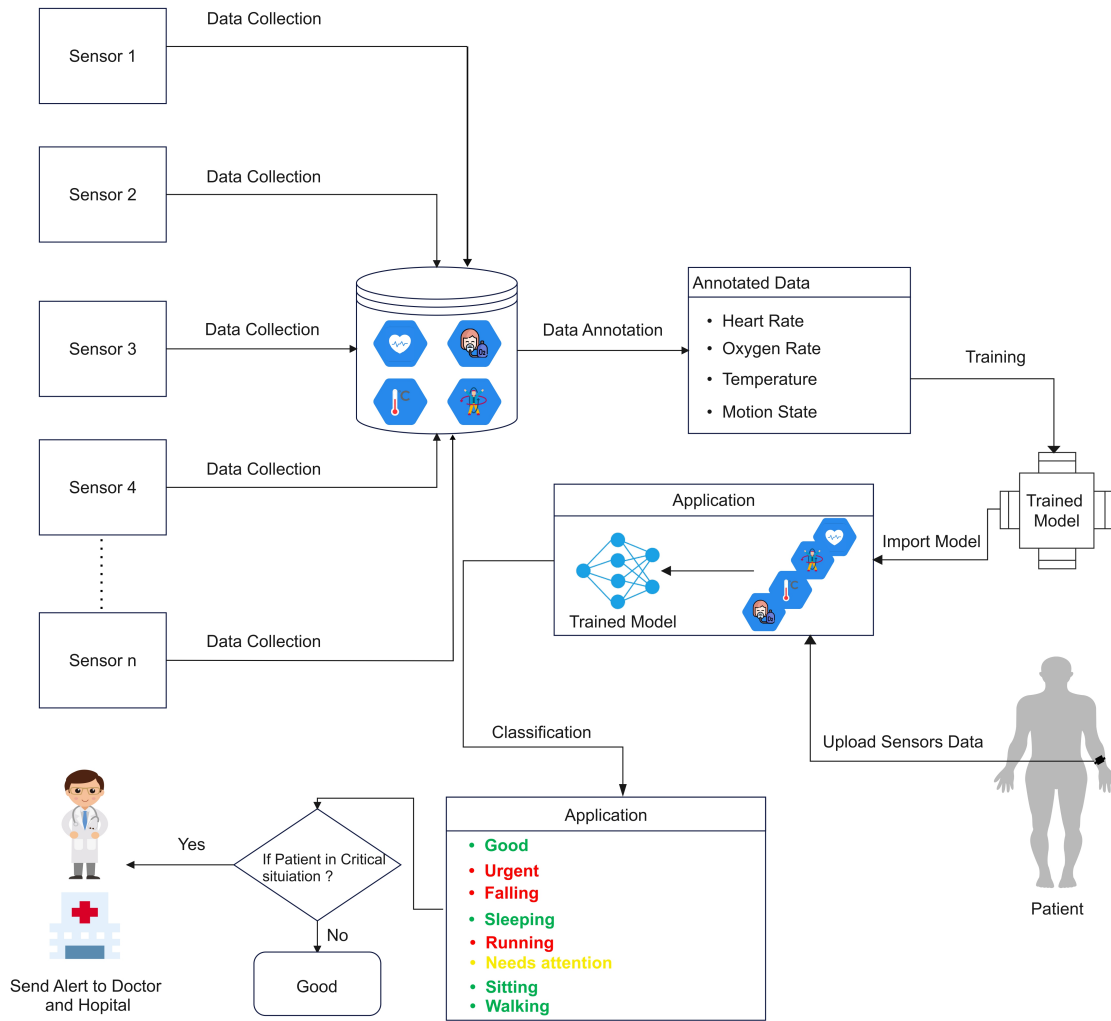


FIGURE 3.3: Finalisation du modèle d'intelligence artificielle Dari Care

Cette figure représente les différentes phases de réalisation du système d'intelligence en commençant par l'entraînement sur une base de données puis l'importation du modèle vers l'application et le traitement des données collectées par le bracelet. en fonction des résultats obtenus le camp médical soignant sera averti Ce modèle d'intelligence artificielle affiche de bons résultats mais nécessite tout de même une grande quantité de données, plus tard en utilisant des données variées et en plus grande quantité nous serons aptes à améliorer le rendement du système en établissant des diagnostics

3.1.1 Structure du hardware

Cette figure expose le fonctionnement de notre circuit qui utilise le protocole bluetooth, pour commencer il est nécessaire de créer une connexion bluetooth entre le circuit et le smartphone, une fois que c'est fait les capteurs transmettent les différentes données collectées au microcontrôleur qui s'occupe de les transférer au smartphone.

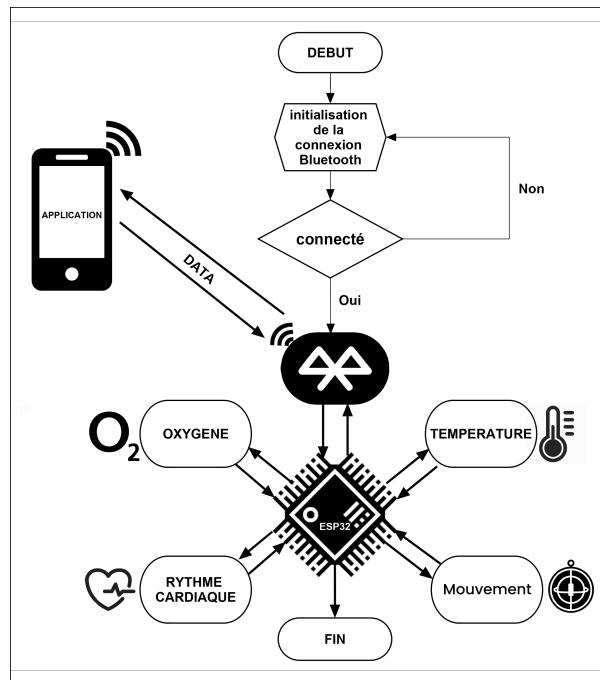


FIGURE 3.4: Organigramme du bracelet

3.2 Discussion des choix effectués

- Techniques d'intelligence artificielle Lors de l'implémentations du système nous avons effectué une étude comparative entre différentes techniques Support vector machine (SVM), Decision tree (DT) et les réseaux de neurones artificielles (ANN), cette étude a été effectuée sur une même base de données et le critère de comparaison était l'accuracy
- Définition Accuracy : Accuracy désigne le pourcentage de l'exactitude de la prédiction par rapport à l'ensemble des prédictions elle est calculée selon 4 critères de probabilités (True Positif, True Negatif, False Positif, False Negatif) L'exactitude des valeurs positives (True et False) augmente l'accuracy de l'al-

gorithme tandis que les valeurs négatives (True et False) la baisse L'accuracy est calculée selon l'expression suivante : $Accuracy = (TP + NP)/(TP+NP+TN+NN)$

Les résultats de la comparaison sont les suivants :

	Techniques	Accuracy
0	Artificial Neural Network	97.59
1	Support Vector Machine	78.59
2	Decision Trees	78.36

TABLE 3.1: Table de comparaison des techniques en fonction de l'accuracy

Le taux élevé de bonne prédiction nous a poussé à utiliser les réseaux de neurones artificielles comme technique principale d'intelligence artificielle

- La structure des réseaux de neurones artificielles Lors du choix du nombre de couches dans la structure des réseaux de neurones nous avons implémenté et testé plusieurs structures avec des nombres de couches différentes sur le même dataset et nous avons comparé l'accuracy lors de la phase d'entraînement ainsi que la phase de test, les résultats sont décrit dans le tableau suivant :

- Modèle de prédiction basé sur les données de santé

Number of dense layers	Train accuracy	Test accuracy
2	99,20	99,14
3	99,81	99,83
4	99,55	99,51

TABLE 3.2: Table de test des couches sur le dataset de santé

- Modele de prediction base sur les données de mouvement

Number of dense layers	Train accuracy	Test accuracy
2	99,12	98,30
3	99,60	98,80
4	98,40	97,90

TABLE 3.3: Table de test des couches sur le dataset de santé

Nous constatons que lors du passage à quatre 04 couches le taux d'exactitude des prédictions commence à diminuer c'est pourquoi nous avons décidé d'implémenter une structure avec 3 couches de neurones. En raison de la taille de notre base de données ainsi que du taux élevé de l'accuracy nous avons opté pour la structure suivante :

- Modèle de prédiction basé sur les données de santé

Dense layer size			Train accuracy (%)	Test accuracy (%)
1st layer	2nd layer	3rd layer		
64	32	32	100	100
80	64	64	98,93	99,11
128	80	80	99,81	99,83

TABLE 3.4: Test du nombre de neurones sur les données de santé

- Modèle de prédiction base sur les données de mouvement

Dense layer size			Train accuracy (%)	Test accuracy (%)
1st layer	2nd layer	3rd layer		
64	32	32	99,18	98,40
80	64	64	99,33	98,10
128	80	80	99,73	98,60

TABLE 3.5: Test du nombre de neurones sur les données de mouvements

Après avoir effectué une série de testes en changeant a chaque fois le nombre de neurones dans chaque couche, nous avons décidé d'utiliser des couches de 128,80,80 en raison du taux de précision élevé

- Fonction d'activation Pour le choix de la fonction d'activation nous avons effectué des tests comparatifs en utilisant les fonction Relu et Gelu, et en comparant l'accuracy comme le montre le tableau suivant :

- Modèle de prédiction basé sur les données de santé

Activation Function	RELU	GELU
Train Acc	99,81%	98,51 %
Train Acc	99,83 %	98,60 %

TABLE 3.6: Comparaison du rendement selon la fonction d'activation sur

- Modèle de prédiction base sur les données de mouvement

Activation Function	RELU	GELU
Train Acc	99,60 %	99,40 %
Train Acc	98,80 %	98,20 %

TABLE 3.7: Comparaison du rendement selon la fonction d'activation

Nous remarquons que les résultats de la fonction Relu sont supérieurs à ceux de la fonction Gelu c'est pourquoi le système utilisera la fonction Relu

- Fonction de validation En raison des bon résultats obtenu par la technique Cross validation nous avons décidé de l'employer, les résultats sont détaillés dans le tableau suivant :

- Modèle de prédiction basé sur les données de santé

	Train accuracy	Test accuracy
With cross validation	99,97 %	98,51 %

TABLE 3.8: performance du système en utilisant la fonction cross validation sur les données de santé

— Modèle de prédiction base sur les données de mouvement

	Train accuracy	Test accuracy
With cross validation	99,60 %	98,80 %

TABLE 3.9: performance du système en utilisant la fonction cross validation sur les données de mouvements

En utilisant la fonction Cross validation, la qualité des résultats est très élevé c'est pourquoi nous avons décidé de l'employer

3.3 Création du système d'intelligence artificielle

La création du système d'intelligence artificielle et son intégration dans l'application nécessite le suivi de certaines étapes très importantes

- **Importer les Bibliothèques et charger les datasets** Le fonctionnement du système nécessite d'importer plusieurs bibliothèques tel que et tensorflow.keras qui est nécessaire pour la création du modèle de réseau de neurone, sa fonction d'activation. la bibliothèque scikit-learn quant à elle se charge de la phase de preprocessing Une fois les bibliothèque installées nous avons importé deux type de datasets, l'un contient les données médicales du patient, pour créer ce dataset nous avons combiné une base de données implémenté en inde [17] que nous avons fait contrôlé par un médecin spécialiste à la base de donnée que nous avons créé à partir des données collectées au sein de l'hôpital Saad guermech SKIKDA sous la supervision de Mr BELKAMEL responsable du laboratoire de l'hôpital ainsi que du Dr BELKHIRI Amine cardiologue de l'hôpital. La base de données a pour entrée quatre (04) paramètres à prendre en considération et donne en résultat une (01) sortie comportant trois (03) valeurs possibles comme le montre le tableau suivant :

Attribut	Description	Type
age	L'age exacte des patients	Numérique
gender	Masculin 1 ou Féminin 0	Numérique
Oxygene Rate	Le taux de saturation d'oxygène de chaque patient (en pourcentage)	Numérique
Heart Rate	Le nombre de battement de coeur de chaque patient par minute (Bpm)	Numérique
Health State	Colonne de classification des patients selon leurs états, il comporte 3 etats (sorties) [Good,0]/[Need of attention,1]/[Urgent,2]	Numérique

TABLE 3.10: tableau explicatif des données du dataset de santé

Le second Dataset concerne la détection de mouvements, nous avons réalisé ce dataset en effectuant différents test à l'aide du gyroscope MPU6050 et l'état d'activité a été défini en fonction des changement de valeurs, le dataset comporte six (06) entrées et une (01) sortie comportant cinq (05) valeurs possibles comme le montre le tableau suivant :

Attribut	Description	Type
Ax	L'accélération selon l'axe des x	Numérique
Ay	Masculin 1 ou Féminin 0	Numérique
Az	L'accélération selon l'axe des y	Numérique
Gx	La rotation selon l'axe des x	Numérique
Gy	La rotation selon l'axe des y	Numérique
Gz	La rotation selon l'axe des z	Numérique
Activity	L'état d'activité du patient : — 0 : Walking — 1 : Running — 2 : Sleeping — 3 : Falling — 4 : Sitting	Numérique

TABLE 3.11: Tableau explicatif du dataset de mouvement

dataset en effectuant différents test à l'aide du gyroscope MPU6050 et l'état d'activité a été défini en fonction des changement de valeurs, le dataset comporte six (06) entrées et une (01) sortie comportant cinq (05) valeurs possibles comme le montre le tableau suivant :

- **La phase de prétraitement :** La phase de prétraitement consiste en la normalisation des données utilisées en définissant les valeurs minimales et maximales des

données ainsi que le codage de données, pour ce faire nous avons utilisé le Label Encoder et One Hot encoder qui ont pour rôle de donner des valeurs numériques aux différentes variables du dataset

- **Architecture des réseaux de neurones** L'architecture des réseaux de neurones utilisé comporte trois couches denses comme le démontre la figure suivante Une couche d'entrée : le modèle attend des données d'entrée en forme de quatre (04) échantillon couches cachées : Le modèle contient trois couches denses contenant respectivement 128, 80, 80 neurones Une couche de sortie contenant trois neurones de sorties le modèle est représenté dans la figure suivante

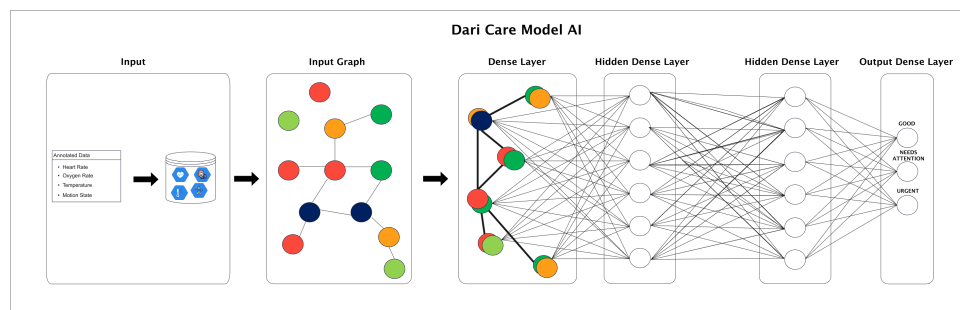


FIGURE 3.5: Représentation du modèle d'intelligence artificiel du système Dari Care

La fonction d'activation utilisée dans ces couches est l'unité linéaire rectifiée (ReLU), qui introduit la non-linéarité dans le modèle. La couche dense finale se compose de trois unités, représentant les trois classes (Good, Needs attention, Urgent). La fonction d'activation utilisée dans cette couche est softmax, qui génère des probabilités pour chaque classe Le modèle est compilé avec Adam optimizer et the loss function is a categorical cross-entropy, adaptée aux tâches de classification multi-classes

- **La phase d'apprentissage :** Pour effectuer la phase d'apprentissage nous avons utilisé la fonction de Keras Model.fit(), pour faire appel à cette fonction il est nécessaire de préciser quel sont les entrées et le nombre d'itérations de l'opération (epochs), il est important d'utiliser une grande quantité de données et d'utiliser des dropout afin d'éviter les cas d'overfitting (que le modèle apprenne par coeur les données d'entraînement)

- **La phase d'exportation** : Le modèle est par la suite sauvegardé et exporté sous le format TFLiTE avant d'être implémenté dans une application et d'être enfin opérationnel capable d'analyser de nouvelles données et de généraliser ses connaissances.

3.4 Conclusion

Pour conclure le système implémenté présente de bon résultat mais nécessite une grande quantité de données pour augmenter ses performances, en perspectives nous pouvons également varier les données collectées en utilisant divers capteurs et espérer obtenir des diagnostics plus poussés.

Chapitre 4

Réalisation du système “ Dari Care “

4.1 Partie électronique

4.1.1 Composants utilisés

1. ESP32 Le composant NODEMCU ESP32 WROOM : est une carte de développement basée sur le microcontrôleur ESP32 de la société Espressif Systems. Cette carte est très populaire dans le domaine de l’Internet des objets (IoT) en raison de ses capacités étendues, de sa connectivité Wi-Fi et Bluetooth intégrée, ainsi que de sa polyvalence. Voici une description détaillée des principales caractéristiques du composant NODEMCU ESP32 WROOM : Microcontrôleur [20].
2. Max30102 Le capteur MAX30102 : est un capteur optique de fréquence cardiaque et de saturation en oxygène du sang (SpO2) développé par Maxim Integrated. Il est couramment utilisé dans les dispositifs médicaux et les wearables pour mesurer ces paramètres vitaux. Le MAX30102 utilise une technologie de photopléthysmographie (PPG) pour détecter les variations de la quantité de sang circulant à travers les vaisseaux sanguins. Il comprend une diode émettrice de lumière infrarouge et une photodiode qui mesure la lumière réfléchiée par les tissus vasculaires. En mesurant les changements d’absorption de la lumière, le capteur peut estimer le rythme cardiaque et la saturation en oxygène du sang. Le capteur MAX30102 offre une interface simple et prend en charge la communication via le protocole I2C. Il intègre

également un convertisseur analogique-numérique (CAN) pour la conversion précise des signaux lumineux en données numériques exploitables. En plus de la mesure du pouls et de la SpO₂, le MAX30102 peut être utilisé pour détecter d'autres informations physiologiques telles que la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) et la détection de mouvement. Il convient de noter que bien que le MAX30102 soit un capteur précis et largement utilisé, son utilisation pour des diagnostics médicaux précis nécessite une validation clinique approfondie et une comparaison avec des appareils médicaux certifiés [21].

3. AD8232 ECG : Le composant AD8232 est un amplificateur de mesure de signaux biopotentiels développé par Analog Devices. Il est principalement utilisé dans les applications médicales et de monitoring de la santé pour capturer les signaux électriques émis par le corps humain, tels que l'électrocardiogramme (ECG). L'AD8232 est spécifiquement conçu pour amplifier et filtrer les signaux faibles du corps humain, en particulier les signaux provenant du cœur. Il intègre un amplificateur d'instrumentation de haute précision avec une architecture de gain programmable et un filtre passe-bande intégré pour réduire les interférences indésirables et améliorer la qualité du signal [22].
4. LM35 : Le composant LM35 est un capteur de température analogique de précision développé par Texas Instruments. Il est largement utilisé dans les applications électroniques pour mesurer la température ambiante avec une grande précision [23].
5. MPU6050 : Le MPU-6050 est un composant électronique qui intègre un accéléromètre triaxial et un gyroscope triaxial. Développé par InvenSense, il est couramment utilisé dans les applications électroniques pour mesurer l'accélération linéaire et la vitesse angulaire [24].
6. Multiplexer TCA9548A : Le TCA9548A est un commutateur I2C (Inter-Integrated Circuit) à 8 canaux développé par Texas Instruments. Il permet de multiplexer plusieurs périphériques I2C sur un même bus, ce qui permet de connecter et de contrôler plusieurs composants I2C avec un seul microcontrôleur [25].

4.1.2 Structure du hardware

Cette figure expose le fonctionnement de notre circuit qui utilise le protocole bluetooth, pour commencer il est nécessaire de créer une connexion bluetooth entre le circuit et le smartphone, une fois que c'est fait les capteurs transmettent les différentes données collectées au microcontrôleur qui s'occupe de les transférer au smartphone.

4.2 Partie logicielle

4.2.1 Outils logiciels utilisés

1. Flutter framework



FIGURE 4.1: Flutter logo

Flutter est un framework de développement d'applications multiplateforme, conçu par Google, dont la première version a été publiée sous forme de projet open source à la fin de l'année 2018. Flutter met à disposition une grande variété de bibliothèques d'éléments d'IU standard pour Android et iOS. Il reste cependant aussi adapté au développement d'applications web de bureau classiques. Les applications développées avec Flutter prennent l'aspect d'applications typiques des systèmes correspondants et se comportent également de manière similaire, sans que le programmeur, c'est-à-dire vous, n'ait besoin de prêter attention à ces caractéristiques [26].

2. langage Dart



FIGURE 4.2: Dart logo

Dart est un langage de programmation, qui a été et est développé principalement par Google. Il est standardisé par Ecma (Ecma est une organisation internationale de normalisation des systèmes d'information et de communication ainsi que des appareils électroniques grand public). La programmation dans Dart doit être une alternative attrayante à JavaScript dans des navigateurs Web modernes. D'après les développeurs de Dart, les faiblesses de JavaScript ne peuvent plus être corrigées par son développement.

Le langage Dart est développé depuis 2010 et lancé la même année. Comme les navigateurs ne pouvaient et ne peuvent pas le manier en mode natif et que JavaScript peut être exécuté dans tous les navigateurs modernes, il existe le Compiler Dart2js, autrement dit "Dart vers JavaScript". Le langage Dart ressemble aux langages de programmation orientés objet établis, dont Swift, C# ou Java font partie, qui sont soumis à des paradigmes de programmation déterminés. Les règles de combinaison de signes établis, c'est-à-dire la syntaxe, ressemblent au langage de programmation C. Cette "parenté" facilite grandement la prise en main, de sorte que l'on peut y accéder sans avoir à surmonter trop d'obstacles [27].

3. Langage python



FIGURE 4.3: Python logo

Développé par Guido Van Rossum au début des années 1980, le Python est un langage de programmation caractérisé par sa polyvalence : il est utilisé pour le développement web, l'IA, le machine learning, les systèmes d'exploitation, le développement d'applications mobiles, les jeux vidéo et bien d'autres. Un langage typographié dynamiquement, successeur du langage de programmation ABC, le Python est vite devenu un favori et a été utilisé dans une multitude de domaines. C'est au début des années 2000 qu'il a vraiment pris forme avec l'arrivée de Python 2.0, "object oriented" ce langage est idéal aussi bien pour les projets à grande échelle que les programmes plus petits [28].

4. keras



FIGURE 4.4: Keras logo

Keras est une bibliothèque open source de prototypage rapide de modèles de deep learning. A la portée des débutants en IA, elle s'articule autour d'une API de haut niveau supportant différentes librairies de réseaux de neurones artificiels récurrents ou convolutifs, comme Tensorflow, Microsoft Cognitive Toolkit, PlaidML ou Theano [28].

5. Tensorflow



FIGURE 4.5: Tensorflow logo

est une bibliothèque de Machine Learning, il s'agit d'une boîte à outils permettant de résoudre des problèmes mathématiques extrêmement complexes avec aisance. Elle permet aux chercheurs de développer des architectures d'apprentissage expérimentales et de les transformer en logiciels [29].

6. Sklearn



FIGURE 4.6: Sklearn logo

Scikit-learn est une bibliothèque pour le machine learning elle contient de nombreux outils efficaces pour l'apprentissage automatique et la modélisation statistique, qui incluent la classification, régression, regroupement et réduction de dimensionnalité.

cette bibliothèque est programmée en python [30].

7. Arduino Ide



FIGURE 4.7: Arduino logo

Le logiciel arduino (IDE) est un logiciel open source, qui est utilisé pour programmer les cartes Arduino, c'est également un environnement de développement intégré, développé par arduino.cc. Il permet de programmer et implémenter des codes sur des cartes arduino. Et il contient de nombreuses bibliothèques et d'exemples de mini-projets. Il est compatible avec différents systèmes d'exploitation (Windows, Linux, Mac OS X) et prend en charge les langages de programmation (C/C++) [31].

8. VS code

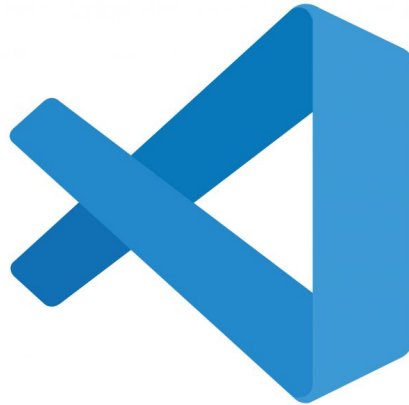


FIGURE 4.8: VScode logo

Visual Studio Code est un éditeur de code open-source développé par Microsoft supportant un très grand nombre de langages grâce à des extensions. Il supporte l'autocomplétion, la coloration syntaxique, le débogage, et les commandes git. Kaggle : Kaggle est une plate-forme qui offre un environnement Jupyter Notebooks personnalisable et sans configuration. Il est facile à démarrer même pour les débutants complets, ne nécessite aucune installation et est facile d'accès de n'importe où à tout moment. Kaggle est populaire parmi les scientifiques des données et les ingénieurs en apprentissage automatique. Il contient une énorme quantité d'ensembles de données publics et de blocs-notes partagés. Mais Kaggle n'est pas une plateforme d'apprentissage [32].

9. Pandas



FIGURE 4.9: Pandas logo

La bibliothèque logicielle open-source Pandas est spécifiquement conçue pour la manipulation et l'analyse de données en langage Python. Elle est à la fois performante,

flexible et simple d'utilisation. Grâce à Pandas, le langage Python permet enfin de charger, d'aligner, de manipuler ou encore de fusionner des données. Les performances sont particulièrement impressionnantes quand le code source back-end est écrit en C ou en Python. [33]

10. FireBase



FIGURE 4.10: Firebase logo

Firebase est une plateforme de développement d'applications mobiles de Google dotée de puissantes fonctionnalités pour le développement, la manipulation et l'amélioration des applications. Firebase est fondamentalement un ensemble d'outils sur lesquels les développeurs peuvent compter, créant des applications et les développant en fonction de la demande [34].

11. FireStore

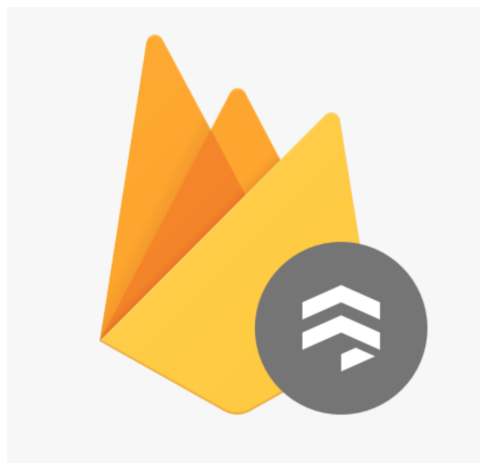


FIGURE 4.11: Firestore logo

Firestore est une base de données NoSQL orientée documents. Contrairement à une base de données SQL, il n'y a ni tables, ni lignes. À la place, vous stockez les données dans des documents organisés en collections. Chaque document contient un ensemble de paires clé/valeur. Firestore est optimisé pour le stockage de grandes collections composées de petits documents [35]

4.3 Le Prototype

Le prototype comporte une application mobile relayant deux (02) types d'utilisateurs (médecin/patient), ainsi qu'une application web.

4.3.1 Interface d'accueil de l'application

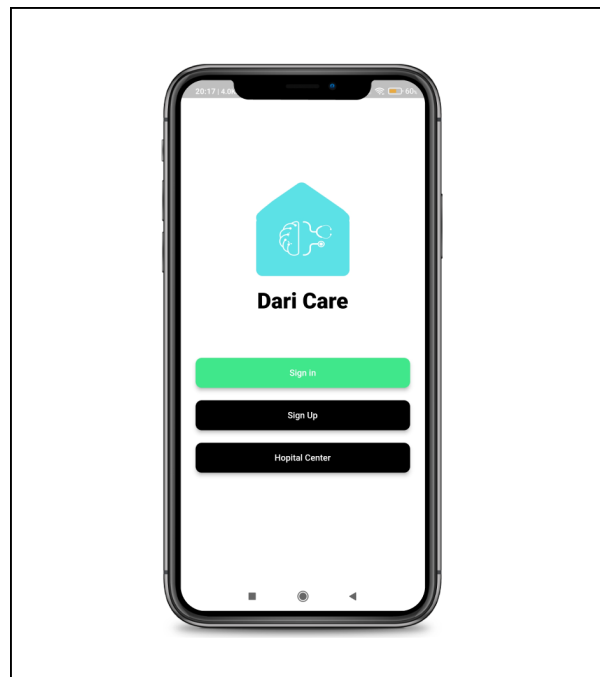


FIGURE 4.12: page d'accueil de l'application Dari Care

Lors de l'ouverture de l'application, l'utilisateur aura le choix de se connecter s'il a déjà un compte ou de s'inscrire s'il est nouveau.

4.3.2 Choix du type de compte

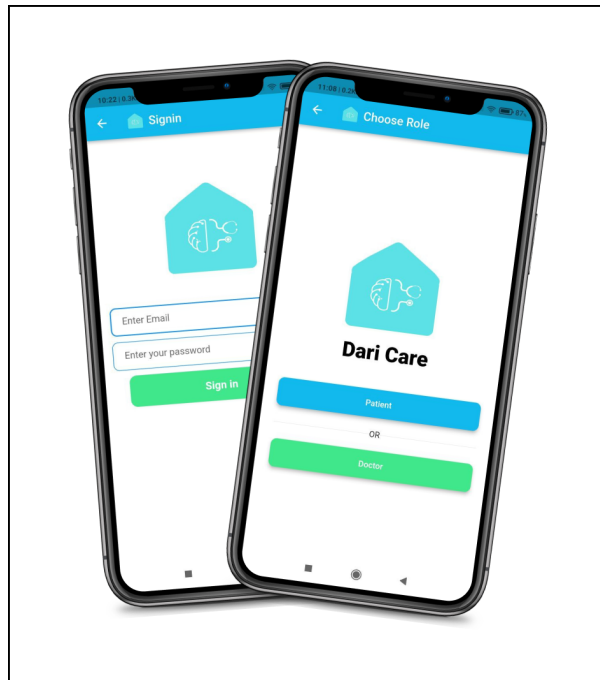


FIGURE 4.13: choix du type de compte

Pour créer un compte l'utilisateur devra choisir le type du compte qu'il souhaite créer, les fonctionnalités changeront en fonction du type du compte créé.

4.3.3 Formulaire d'inscription

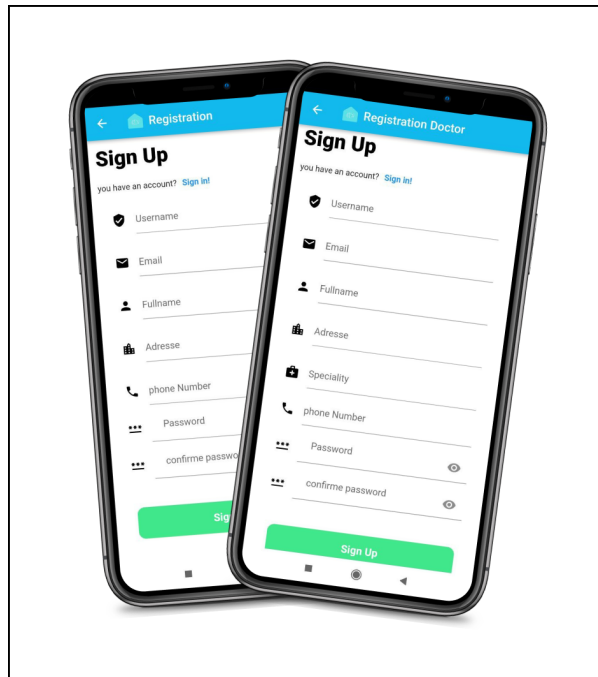


FIGURE 4.14: phase d'inscription

Pour s'inscrire, l'utilisateur devra remplir un formulaire, ce dernier changera en fonction du type du compte.

4.3.4 Validation du compte

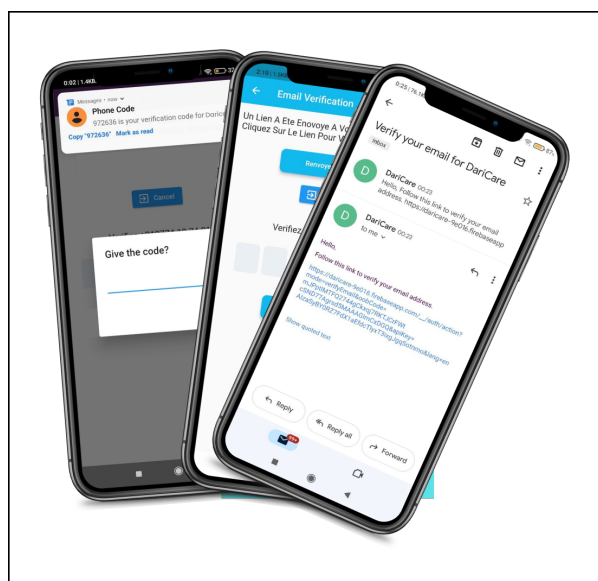


FIGURE 4.15: validation de compte

Une fois le formulaire rempli un mail de validation de compte sera envoyé.

4.3.5 L'interface du patient

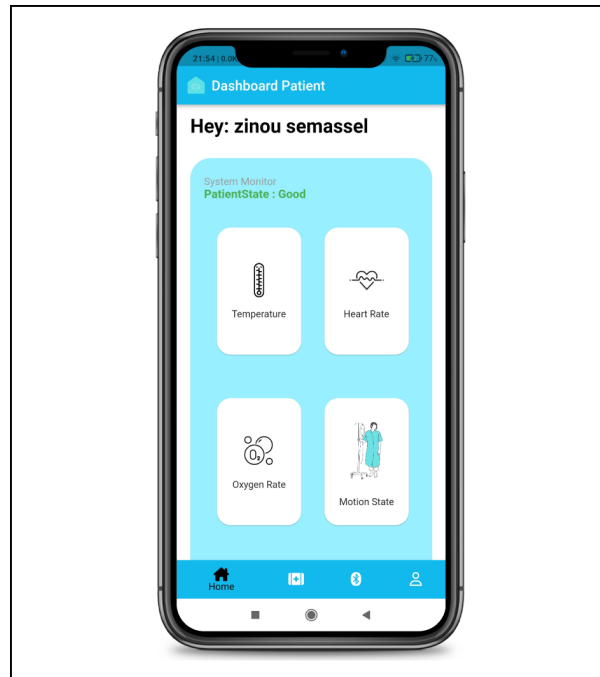


FIGURE 4.16: Interface du patient.

Interface ou les données médicaux collectées du patient seront affichées.

4.3.6 Interface du médecin

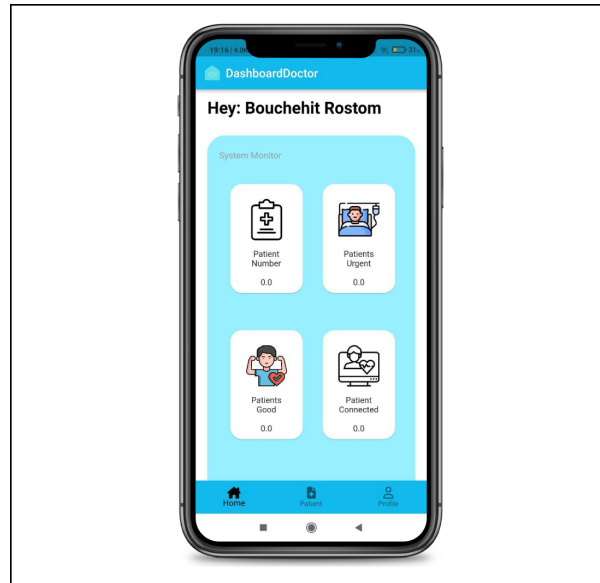


FIGURE 4.17: Interface du médecin

Interface du médecin ou il peut contrôler l'état des différents patients qu'il suit.

4.3.7 affichage des médecins traitants

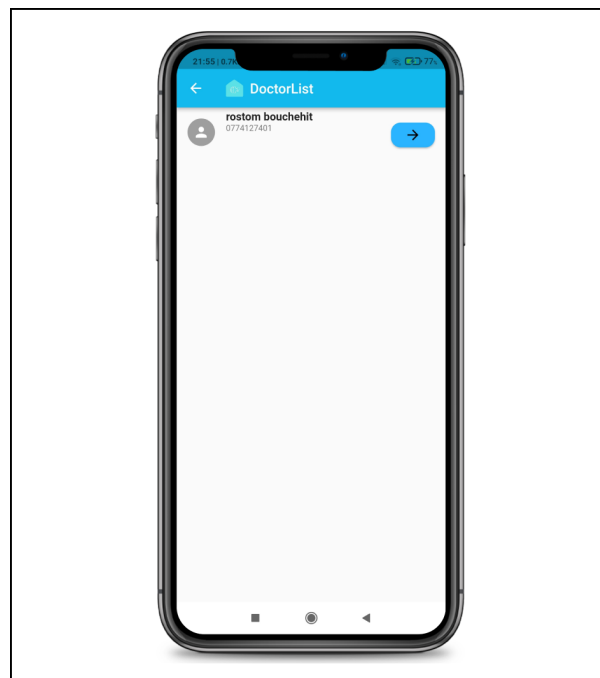


FIGURE 4.18: Liste des medecins traitants

4.3.8 Interface de recherche de patient

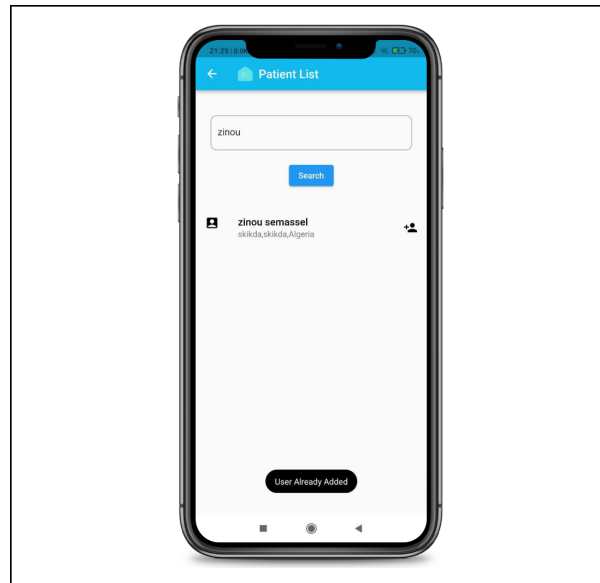


FIGURE 4.19: recherche de patient

4.3.9 Système de détection bluetooth

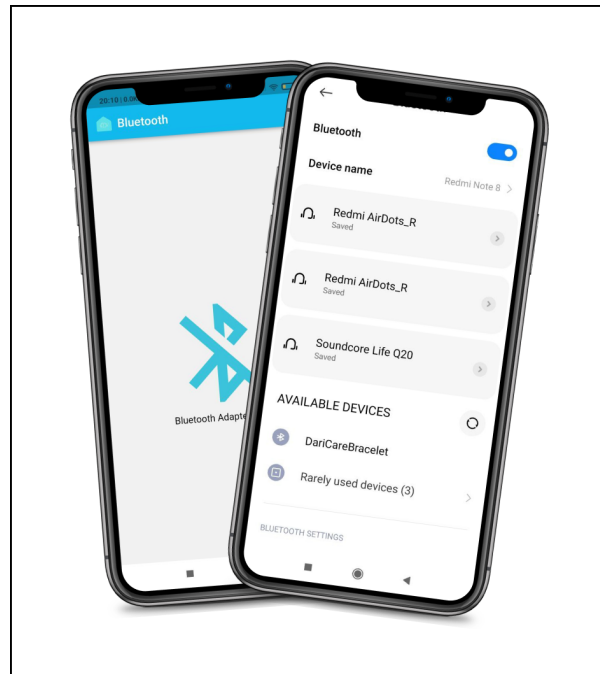


FIGURE 4.20: Connexion bluetooth des composants du systeme.

L'application se connecte au bracelet via bluetooth dans le but de recevoir les données qu'il collecte.

4.3.10 Connexion au bracelet

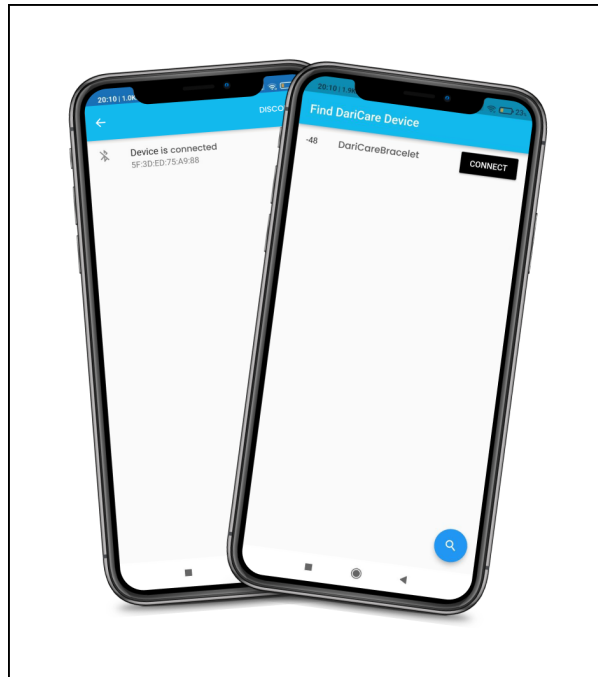


FIGURE 4.21: Établissement de connexion.

4.3.11 Affichage de données

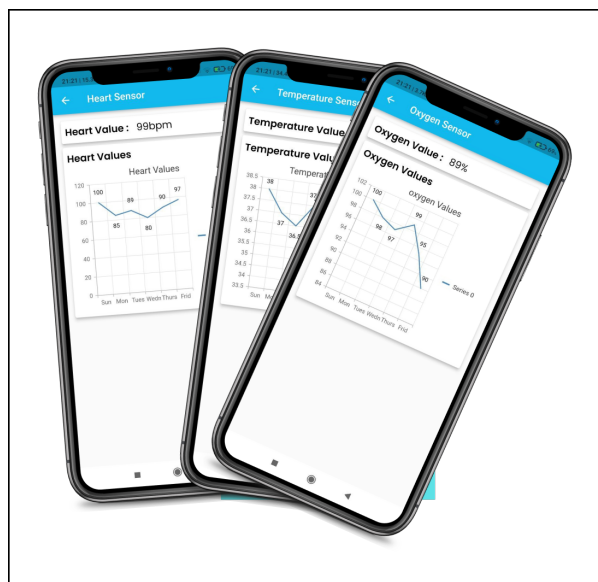


FIGURE 4.22: Affichage des données du patient.

Des que la connexion entre le bracelet et l'application mobile est établi, l'application recevra et affichera les données collectées en temps réel.

4.3.12 Détection d'anomalies

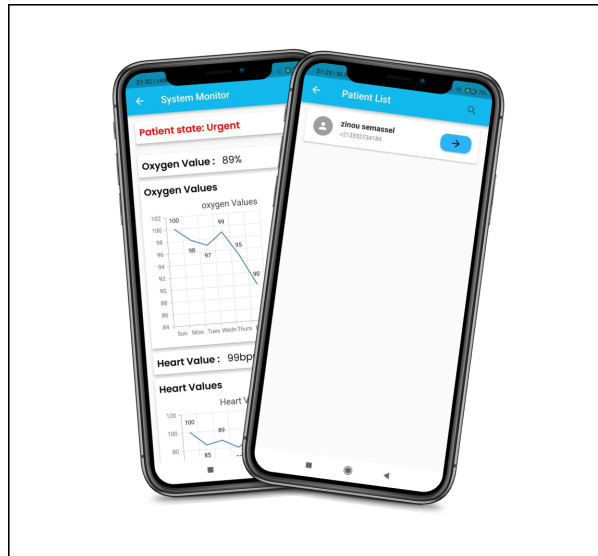


FIGURE 4.23: Détection et signalement d'anomalies.

4.3.13 Changement d'état du patient

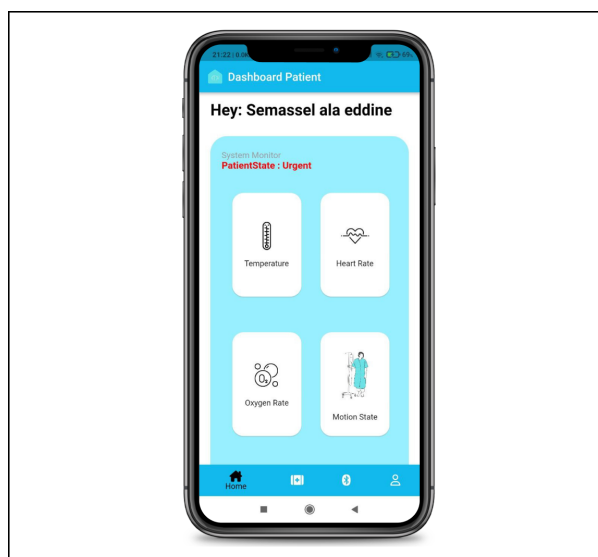


FIGURE 4.24: Signalement d'état critique

Le système envoie une alerte automatiquement si ce dernier détecte un changement dans l'état de santé du patient.

4.3.14 Scénario de chute

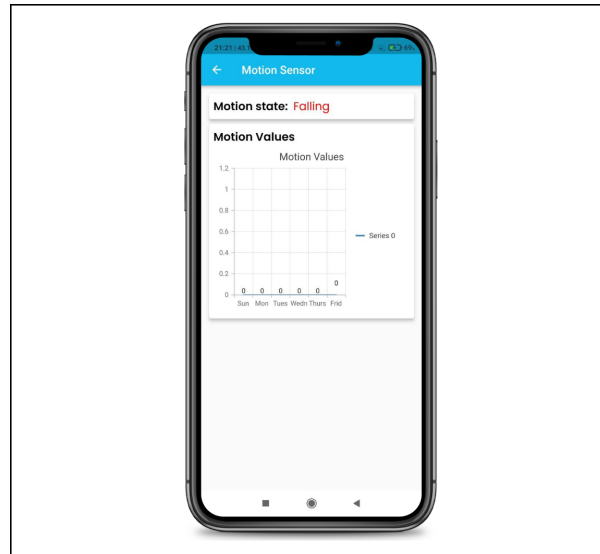


FIGURE 4.25: Système d'alerte d'état d'activité.

grâce à l'intelligence artificielle intégrée, le système est capable de détecter les scénarios de chute en se basant sur les données reçues et de les signaler

4.3.15 Notification d'alerte

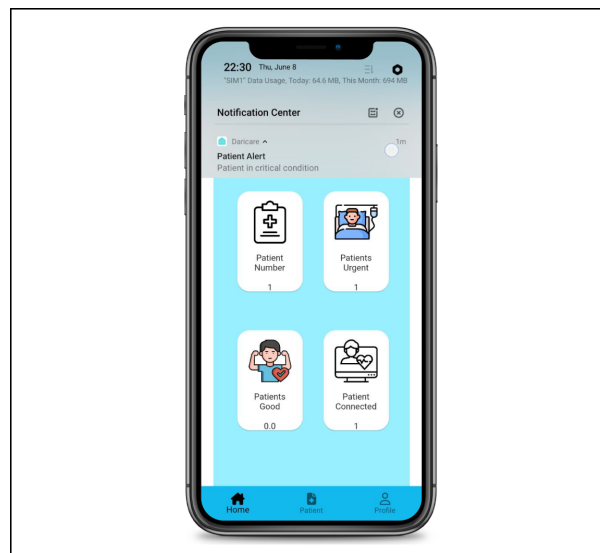


FIGURE 4.26: Notification d'alerte de l'état du patient.

En cas d'alerte le médecin reçoit une notification d'alerte

4.3.16 Interface d'application web

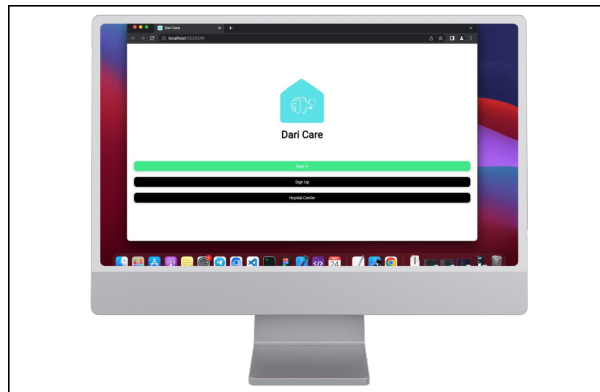


FIGURE 4.27: Page d'accueil de l'application web.

4.3.17 Page d'authentification web

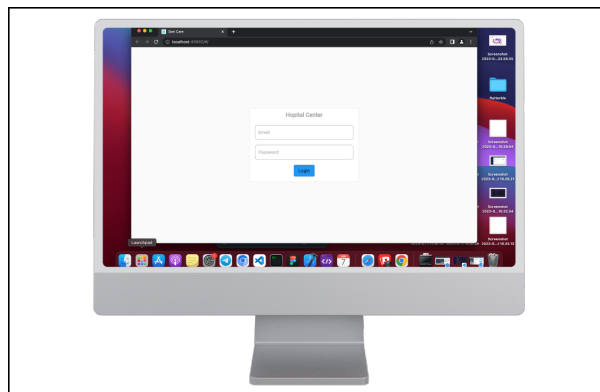


FIGURE 4.28: Page d'authentification de l'application web.

4.3.18 Interface site web

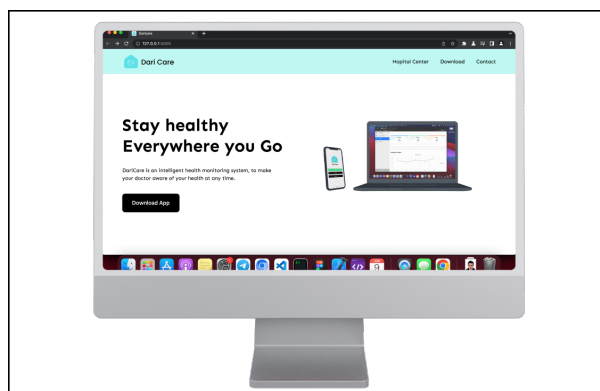


FIGURE 4.29: site web de l'application.

4.3.19 Interface application web

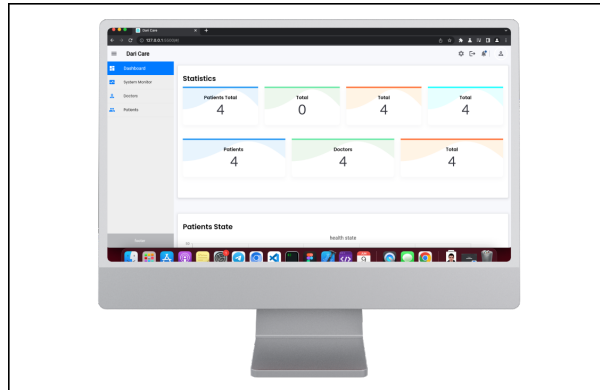


FIGURE 4.30: interface de l'application web de l'hôpital.

Cette interface permet de surveiller a partir de l'hôpital l'état des patients

4.4 Conclusion générale

Plus tard nous aspirons à élargir la portée de notre système en introduisant d'autres types de données à traiter, et ainsi agrandir sa base de données pour pouvoir établir des diagnostics préliminaires approfondies. Nous espérons également pouvoir agrandir notre système de sorte à constituer un réseau national relayant tous les hôpitaux pour prendre en charge de manière rapide et efficace les patients dans tous le pays.

References

- [1] P. GOKHALE, O. BHAT et S. BHAT, « Introduction to IOT », t. 5, p. 41-44, 1^{er} jan. 2018. DOI : 10.17148/IARJSET.2018.517.
- [2] « L'IoT, Qu'est Ce Que Cela Peut Représenter ? » (), adresse : <https://www.iotbusiness.fr/c-est-quoi-exactement-l-iot/> (visité le 04/07/2023).
- [3] J. RIO, oct. 2021. adresse : <https://www.ringcentral.com/fr/fr/blog/iot/>.
- [4] Y. SHOU, « Cryptographie sur les courbes elliptiques et tolérance aux pannes dans les réseaux de capteurs »,
- [5] « Qu'est-ce que l'Internet des objets médicaux (IoMT) ? », Splunk. (), adresse : https://www.splunk.com/fr_fr/data-insider/what-is-the-internet-of-medical-things-iomt.html (visité le 04/07/2023).
- [6] Déc. 2021. adresse : https://blog.back4app.com/fr/quest-ce-que-firebase/#Qursquoest-ce_que_Google_Firebase.
- [7] K. R. « Protocoles : découvrez les principales normes IoT en 2022 », OBJETCONNECTE.COM. (3 jan. 2022), adresse : <https://www.objetconnecte.com/protocoles-iot-2022/> (visité le 04/07/2023).
- [8] O. PALLANCA et J. READ, « Principes Généraux et Définitions En Intelligence Artificielle », *Archives des Maladies du Coeur et des Vaisseaux - Pratique*, t. 2021, 1^{er} déc. 2020. DOI : 10.1016/j.amcp.2020.11.002.
- [9] K. SHAILAJA, B. SEETHARAMULU et M. A. JABBAR, « Machine Learning in Healthcare: A Review », in *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, mars 2018, p. 910-914. DOI : 10.1109/ICECA.2018.8474918.
- [10] « Support Vector Machine (SVM) Algorithm - Javatpoint ». (), adresse : <https://www.javatpoint.com/machine-learning-support-vector-machine-algorithm> (visité le 04/07/2023).
- [11] « Decision Tree Algorithm in Machine Learning - Javatpoint ». (), adresse : <https://www.javatpoint.com/machine-learning-decision-tree-classification-algorithm> (visité le 04/07/2023).
- [12] U. KERZEL, « Enterprise AI Canvas – Integrating Artificial Intelligence into Business », *Applied Artificial Intelligence*, t. 35, n° 1, p. 1-12, 2 jan. 2021, ISSN : 0883-9514, 1087-6545. DOI : 10.1080/08839514.2020.1826146. arXiv : 2009.11190 [cs]. adresse : <http://arxiv.org/abs/2009.11190> (visité le 04/07/2023).

- [13] O. FAUST, Y. HAGIWARA, T. J. HONG, O. S. LIH et U. R. ACHARYA, « Deep learning for healthcare applications based on physiological signals: A review », *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, t. 161, p. 1-13, 1^{er} juill. 2018, ISSN : 0169-2607. DOI : 10.1016/j.cmpb.2018.04.005. adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260718301226> (visité le 04/07/2023).
- [14] Y.-W. CHEN et L. C. JAIN, éd., *Deep Learning in Healthcare: Paradigms and Applications* (Intelligent Systems Reference Library). Cham : Springer International Publishing, 2020, t. 171, ISBN : 978-3-030-32605-0 978-3-030-32606-7. DOI : 10.1007/978-3-030-32606-7. adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-32606-7> (visité le 04/07/2023).
- [15] « ReLU (Rectified Linear Unit) Activation Function », OpenGenus IQ: Computing Expertise & Legacy. (30 déc. 2021), adresse : <https://iq.opengenus.org/relu-activation/> (visité le 04/07/2023).
- [16] *Pattern Recognition and Machine Learning*. adresse : <https://link.springer.com/book/9780387310732> (visité le 04/07/2023).
- [17] « Batch Normalization », DeepAI. (17 mai 2019), adresse : <https://deepai.org/machine-learning-glossary-and-terms/batch-normalization> (visité le 04/07/2023).
- [18] T. KELDENICH. « Batch Normalization, la meilleure technique pour améliorer son Deep Learning », Inside Machine Learning. (13 juill. 2021), adresse : <https://inside-machinelearning.com/batch-normalization-la-meilleure-technique-pour-ameliorer-son-deep-learning/> (visité le 04/07/2023).
- [19] I. M. LEARNING. « Deep Learning - Apprend Partie 1: Loss Function ». (Year), adresse : <https://inside-machinelearning.com/deep-learning-apprend-partie-1-loss-function>.
- [20] « ESP-IDF Programming Guide - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide Latest Documentation ». (), adresse : <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/index.html> (visité le 04/07/2023).
- [21] « MAX30102–High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health »,
- [22] « AD8232 Datasheet and Product Info | Analog Devices ». (), adresse : <https://www.analog.com/en/products/ad8232.html?doc=AD8232.pdf#product-evaluationkit> (visité le 04/07/2023).
- [23] « LM35 Data Sheet, Product Information and Support | TI.Com ». (), adresse : <https://www.ti.com/product/LM35> (visité le 04/07/2023).
- [24] « MPU-6050 », TDK InvenSense. (), adresse : <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/> (visité le 04/07/2023).
- [25] Adresse : <https://www.ti.com/product/TCA9548A>.
- [26] « Flutter : présentation du framework de développement d'applications multiplateforme », IONOS Digital Guide. (9 oct. 2020), adresse : <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/flutter-cest-quoi/> (visité le 04/07/2023).

- [27] « Dart : présentation du langage de programmation », IONOS Digital Guide. (15 oct. 2020), adresse : <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/le-langage-de-programmation-dart/> (visité le 04/07/2023).
- [28] MOBISKILL. « Qu'est Ce Que Le Python et Quelle Est Son Utilisation ? », Mobiskill. (18 déc. 2020), adresse : <https://mobiskill.fr/blog/conseils-emploi-tech/quest-ce-que-le-python-et-quelle-est-son-utilisation/> (visité le 04/07/2023).
- [29] B. L. « TensorFlow : tout savoir sur la bibliothèque Machine Learning open source ». (), adresse : <https://www.lebigdata.fr/tensorflow-definition-tout-savoir#:~:text=Pour%20faire%20simple%2C%20TensorFlow%20est%20une%20biblioth%C3%A8que%20de,d%E2%80%99apprentissage%20exp%C3%A9rimentales%20et%20de%20les%20transformer%20en%20logiciels.> (visité le 04/07/2023).
- [30] haut-PARLEUR. « SKLearn | Scikit-Learn en Python », Haut-parleur de données. (11 août 2022), adresse : <https://datapeaker.com/big-data/sklearn-scikit-learn-en-python/> (visité le 04/07/2023).
- [31] ANDPROF. « What is arduino software (IDE), and how use it ? », AndProf. (2 oct. 2021), adresse : <https://andprof.com/tools/what-is-arduino-software-ide-and-how-use-it/> (visité le 04/07/2023).
- [32] « Qu'est-Ce Que Kaggle.Com ? Pourquoi Devrais-Je l'utiliser En Tant Que Data Scientist Débutant ? Comment Puis-Je Commencer ? » (), adresse : <https://ichi.pro/fr/qu-est-ce-que-kaggle-com-pourquoi-devrais-je-l-utiliser-en-tant-que-data-scientist-debutant-comment-puis-je-138682386808429> (visité le 04/07/2023).
- [33] PANDAS DEVELOPMENT TEAM, *Pandas*, <https://pandas.pydata.org/>, Accessed on July 5, 2023.
- [34] *Firebase*, <https://firebase.google.com/>, Accessed on July 5, 2023.
- [35] Déc. 2021. adresse : <https://blog.back4app.com/fr/quest-ce-que-firebase/>.