

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DETIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études de Master Académique
Domaine : Science Technologie

Filière : Électronique

Spécialité : Instrumentation

Thème :

**Conception et réalisation d'un
système de contrôle et suivi
médical à l'aide de l'ESP32**

Présenter par :
CHALLAL SONIA
CHEMMOUL SARAH

Encadré par :
ATTAF YUCEF

Président : LAZRI MOURAD
Examineur : MOUHIA YACINE

Promo : 2023/2024

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné ce privilège, l'opportunité d'apprendre, la force, le courage et la patience pour faire ce travail.

Les premières personnes que nous voudrions remercier sont nos parents, qui nous ont suivis tout au long de notre vie.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à notre promoteur, ATTAF YUCEF, pour avoir accepté de nous encadrer. Son aide précieuse et sa supervision ont été essentielles dans la rédaction de ce mémoire. Grâce à ses conseils avisés, sa patience, et ses vastes connaissances, il nous a guidés avec rigueur scientifique. Merci pour votre gentillesse, votre soutien constant et votre présence à chaque étape. Vos qualités scientifiques et humaines resteront pour nous un exemple inoubliable.

Nous tenons à saluer la peine et l'effort fournis par l'ensemble des enseignants afin d'assurer notre formation tout au long de notre cursus universitaire et leur disons de ce fait, merci.

Nous tenons également à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de participer à l'évaluation de notre humble mémoire.

Merci à l'ensemble de nos amis(es) qui ont été là pendant les périodes de doute et de stress.

Enfin, nous remercions aussi sincèrement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Sonia et Sarah

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à mes chers parents, Hocine et Farida, pour leur soutien indéfectible et leurs sacrifices sans fin. Votre amour et votre guidance ont été les piliers de mon parcours. Que Dieu vous accorde une santé de fer et une longue vie remplie de bonheur.

À ma petite sœur Alicia, ta présence aimante et ton soutien constant ont été un réconfort inestimable. Merci pour ton amour et ta bienveillance.

À Sarah, ma binôme, ta collaboration et ta patience ont été déterminantes dans la réalisation de ce projet. Merci pour ton engagement et ta bonne humeur.

À mes amies et compagnons d'études, pour les moments partagés, les encouragements et le soutien, je suis profondément reconnaissant. Merci à toute la promotion de l'électronique d'instrumentation pour cette expérience enrichissante.

À tous mes amis, particulièrement les plus intimes, en témoignage des moments inoubliables, des sentiments sincères et des liens solides qui nous unissent. Enfin, à tous ceux qui croient en moi et m'ont donné la force de poursuivre mes efforts, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Que notre lien d'amitié et de soutien mutuel perdure dans le temps.

Que notre lien d'amitié et de soutien mutuel perdure à travers les années. Que notre amour et notre unité demeurent inébranlables. Chaque succès que je rencontre est également le vôtre. Vous êtes mes plus précieux soutiens, et je vous suis éternellement reconnaissant d'être à mes côtés.

Sonia

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à mes très chers parents, Dalila et Madjid, dont le soutien moral et financier a été inestimable tout au long de mon parcours. Leurs encouragements constants et les sacrifices consentis sont une source infinie de gratitude. À mes adorables sœurs, Liza et Sophie, ainsi qu'à mon cher frère Dylan, vous êtes ma source de joie et de bonheur, et je suis reconnaissant pour chaque instant partagé avec vous. Vous avez été ma source de force, de guidance et d'inspiration tout au long de cette aventure. Que Dieu vous accorde une santé de fer et une longue vie remplie de bonheur. Je vous aime infiniment.

À ma chère amie Sonia, qui est bien plus qu'un simple binôme, votre amitié précieuse a été un soutien indéfectible tout au long de ce chemin. À mes camarades et amis, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin, je vous adresse toute ma reconnaissance. Vos mots d'encouragement ont été une source constante de motivation.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à toute la promotion de l'électronique d'instrumentation, avec qui j'ai partagé des moments précieux d'apprentissage et de camaraderie. Ensemble, nous avons traversé des défis et des réussites, et je suis reconnaissant pour cette expérience partagée.

Enfin, à tous ceux qui croient en moi et m'ont donné la force de poursuivre mes efforts, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Que notre lien d'amitié et de soutien mutuel perdure dans le temps.

Sarah

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale1

Chapitre I : Généralités sur les signaux médicaux

I.1 Préambule.....	3
I.2 La technologie et le monde de la médecine.....	3
I.3 La surveillance médicale.....	4
I.4 Le système cardiovasculaire.....	4
I.4.1 Anatomie cardiovasculaire.....	5
❖ Cœur humain.....	5
❖ 1 Fonctionnement du cœur.....	5
❖ Les vaisseaux sanguins.....	6
❖ Les artères.....	6
❖ Les veines.....	6
❖ Les capillaires.....	6
❖ Le sang.....	7
I.4.2 Physiologie cardiovasculaire.....	7
I.4.2.1 Double pompe.....	8
I.4.2.2 Circulation systémique.....	8
I.4.2.3 Circulation pulmonaire	8
I.4.2.4 Battement du cœur et contraction spontanée.....	9

I.4.3	Fréquence cardiaque	9
I.5	Le cerveau.....	9
I.5.1	Le rôle du cerveau pour l'être humain.....	10
I.5.2	Le lien entre le cerveau et le cœur.....	11
I.5.3	Le fonctionnement du cerveau.....	11
I.6	L'anatomie du muscle.....	12
I.6.1	Types de muscles.....	12
❖	Muscle Strié (ou squelettique)	12
❖	Muscle Lisse.....	12
❖	Muscle cardiaque.....	12
I.6.2	les compositions du muscle.....	13
I.6.3	Fonction du muscle	14
I.7	L'électromyographie.....	14
I.7.1	Classification EMG.....	15
I.7.2	Signal EMG.....	16
I.8	Généralités sur la fonctionnalité de moniteur de surveillance.....	17
I.8.1	Taux d'oxygène.....	17
❖	Normes de saturation en oxygène.....	17
❖	Importance de la mesure.....	17
I.8.2	L'électrocardiogramme (ECG).....	18
I.8.3	Température humaine.....	18
I.8.4	La pression artérielle.....	19
I.9	Discussion.....	20

Chapitre II : Etude des parties matérielle et logicielle du projet.

II.1	Préambule.....	22
II.2	Partie matérielle.....	22
1.	Les capteurs.....	22
❖	Définition.....	22
II.2.1	Oxymètre MAX 30102.....	22
II.2.1.1	Caractéristiques.....	23

• Brochage de MAX 30102 avec esp 32	23
II.2.2 Capteur de température DS18B20.....	24
II.2.2.1 Caractéristiques.....	24
❖ Avantages.....	24
❖ Connexions du capteur de température numérique DS18B20	25
• Brochage de DS18B20 avec esp32.....	25
II.2.3 Résistance.....	25
II.2.3.1 Les Principaux Aspects de l'Utilisation d'une Résistance Pull-up avec le DS18B20.....	26
II.2.4 Capteur de température et d'humidité DHT11.....	26
II.2.4.1 Caractéristiques	27
II.2.4.2 Brochage de DHT11 avec esp 32.....	27
II.2.5 Breadboard (plaque d'essai)	28
II.2.6 Câble d'alimentation ESP32.....	28
II.2.7 Fils de liaison.....	28
II.3 Partie logicielle.....	29
II.3.1 Carte à microcontrôleur ESP32	29
II.3.1.1 Présentation de la carte ESP32.....	29
1. Description.....	30
II.3.1.2 Caractéristiques techniques.....	30
II.3.1.3 ESP32 38 PINS	31
II.3.1.4 Connexion wifi et Bluetooth.....	31
II.3.1.5 Alimentation.....	31
II.3.1.6 Périphériques de l'ESP32	32
II.3.1.7 Broches de l'ESP32.....	32
II.3.1.7.1 Broches d'entrée analogique (ADC).....	32
II.3.1.7.2 Broches Convertisseur numérique-analogique(DAC).....	33
II.3.1.7.3 Broches UART.....	33
II.3.1.8 Brochage de la carte de développement ESP32	33
• Broches d'alimentation	33
• Broches GPIO.....	33
• Broches de communication.....	33
• Broches spéciales.....	34
• Capteur à effet Hall.....	34

• Capteur Capacitif	34
II.3.1.9 Les bus de communication.....	34
II.3.2 Outils de développements	35
II.4 Internet des objets IOT.....	39
II.4.1Caractéristiques d'un objet connecté	39
II.4.2 Fonctionnement d'un objet connecté.....	40
II.5 Discussion.....	40

Chapitre III : Réalisation du circuit avec tests et Résultats.

III.1 Préambule	42
III.2 Description du système de surveillance	42
III.3 Elaboration du système de mesure	42
III.4 Schéma d'interconnexions des composants.....	44
• Logiciel Fritzng.....	44
III.5 Programmation de la carte ESP 32	46
III.6Tests et résultats des capteurs	47
III.6.1 Mesure d'humidité et de température DHT11	47
III.6.2 Mesure de température corporel DS18B20	49
III.6.3 Mesure de fréquence cardiaque ainsi que le niveau d'oxygène dans le sang avec capteur MAX 30102.....	50
III.7 Intégration et Utilisation de l'Application REMOTE XY.....	52
III.7.1 Définition de REMOTE XY	52
III.7.2 Les principales caractéristiques de REMOTE XY	53
III.7.3 Création d'application REMOTE XY	53
III.7.3.1 Fonctionnalités Principales de REMOTE XY	53
III.7.4 Fonctionnement de l'application	57
III.7.5 Les avantages de cette application	57
III.8 Affichage des résultats sur le serveur web	60
III.8.1 Etape pour réaliser l'affichage des résultats.....	60
III.9 Discussion	62

Conclusion et perspectives64

Références Bibliographiques

Liste des figures

Figure I.1 : Le système cardiovasculaire.....	5
Figure I.2 : Fonctionnement de cœur.....	6
Figure I.3 : Les vaisseaux sanguins.....	7
Figure I.4 : Composants du sang.....	7
Figure I.5 : Le cerveau.....	10
Figure I.6 : Types du muscle.....	13
Figure I.7 : Les compositions du muscle.....	13
Figure I.8 : L'électromyographie.....	15
Figure I.9 : Signal EMG.....	16
Figure I.10 : L'oxymètre.....	17
Figure I.11 : L'électrocardiogramme (ECG).....	18
Figure I.12 : La température corporelle.....	19
Figure I.13 : Mesure de la pression artérielle.....	20
Figure II.1 : Oxymètre Max30102.....	22
Figure II.2 : Schéma de MAX30102 connecter à ESP32.....	23
Figure II.3 : Sonde de Température DS18B20.....	24
Figure II.4 : Schéma de DS18B20 connecter à ESP32.....	25
Figure II.5 : Résistance.....	25
Figure II.6 : Capteur de température et d'humidité DHT11.....	26
Figure II.7 : Brochage de DHT11 avec esp 32.....	27
Figure II.8 : BreadBoard.....	28
Figure II.9 : Cable d'alimentation ESP32.....	28
Figure II.10 : Fils de liaison	29
Figure II.11 : Carte ESP32.....	29
Figure II.12 : Repérage des broches des modules ESP 32.....	31
Figure II.13 : Interface de programmation d'arduino	36
Figure II.14 : La barre d'action.....	37
Figure II.15 : Présentation des préférences d' IDE Arduino.....	37
Figure II.16 : Sélection de gestionnaire de carte.....	38

Figure II.17 : Internet des objets IOT.....	39
Figure III.1 : Schéma synoptique du système de surveillance.....	43
Figure III.2 : Schéma d'interconnexions des composants.....	44
Figure III.3 : Photo réelle de système de surveillance de la santé des patients.....	45
Figure III.4 : (BPM) /(SpO2/ la température /l'humidité et la température du corps lues sur le moniteur série.....	46
Figure III.5 : Organigramme d'acquisition des valeurs.	46
Figure III.6 : Photo réelle du capteur DHT11.....	47
Figure III.7 : Humidité et température lue sur le moniteur série.....	48
Figure III.8 : L'organigramme du capteur de température DHT11.....	48
Figure III.9 : Photos réelle de capteur DS18B20.....	49
Figure III.10 : La température corporelle lue sur le moniteur série.....	49
Figure III.11 : L'organigramme du capteur DS18B20.....	50
Figure III.12 : Photos réelle de capteur MAX 30102.....	50
Figure III.13 :SPO2/ BPM lue sur le moniteur série.....	51
Figure III.14 :SPO2/ BPM lue sur le traceur série.....	51
Figure III.15 : L'organigramme du capteur MAX 30102.....	52
Figure III.16 : L'application REMOTE XY.....	52
Figure III.17 : L'interface graphique.....	54
Figure III.18 : La configuration des paramètres	55
Figure III.19 : Le code source	56
Figure III.20 : L'application mobile	56
Figure III.21 : Schéma synoptique du l'application REMOTE XY.	57
Figure III.22 : Affichage des résultats sur l'application REMOTE XY.....	58
Figure III.23 : Organigramme de de transmission de données.....	59
Figure III.24 : Affichage de l'adresse IP sur le moniteur série.....	60
Figure III.25 : Affichage des résultats sur le Smartphone.....	61

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques.....	30
Tableau II.2 : Broches d'entrée analogique (ADC).	32
Tableau II.3 : Broches UART.	33
Tableau II.4 : Les broches GPIO de Capteur Capacitif.....	34

Liste des abréviations

ECG : Électrocardiogramme.

EMG : Électromyographie.

PA : Pression artérielle.

T : Température.

uv : Microvolt.

mv : Millivolt.

BPM : Battements par minute.

SPO2 : Saturation pulsée en oxygène.

C° : Celsius.

F : Fahrenheit.

CAN : Convertisseur analogique-numérique.

E/S : Entrées/Sorties.

HTTP : Hypertexte Transfer Protocol.

IDE : Environnement de Développement Intégré.

IOT : Internet des Objets.

NTC : Negative Temperature Coefficient.

OTP : One-Time Programming.

LED : Diode Émettant de la Lumière.

Wifi : Réseau local hertzien (sans fil).

I2C : Inter Integrated Circuit Bus.

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter .

Résumé

Aujourd'hui, les avancées technologiques permettent de contrôler et de surveiller des objets physiques connectés via Internet. L'Internet des objets (IoT) révolutionne notre quotidien et transforme notre façon de vivre, en étant omniprésent dans les secteurs industriels, de services et économiques. Pour tirer parti du potentiel immense offert par l'IoT, ce projet propose la réalisation d'un système de surveillance médicale en temps réel, connecté à Internet.

Ce projet vise à concevoir un système embarqué pour surveiller les paramètres vitaux des patients, tels que la température corporelle, la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène. Pour ce faire, nous utilisons une carte ESP32 ainsi qu'un ensemble de capteurs spécifiques. Pour assurer la surveillance médicale des patients, qu'ils soient mobiles ou à domicile, notre système se connecte au réseau Internet via la carte ESP32. Ce dispositif permet ainsi une surveillance continue et en temps réel, offrant une solution efficace pour le suivi médical à distance.

Mots clés : Esp32, Capteurs médicaux, Internet des objets.

Abstract

Today, technological advancements allow for the control and monitoring of physical objects connected via the Internet. The Internet of Things (IoT) is revolutionizing our daily lives and changing the way we live, being omnipresent in industrial, service, and economic sectors. To harness the immense potential offered by IoT, this project proposes the creation of a real-time medical monitoring system connected to the Internet.

This project aims to design an embedded system to monitor patients' vital signs, such as body temperature, heart rate, and oxygen saturation. To achieve this, we use an ESP32 board along with a set of specific sensors. To ensure the medical monitoring of patients, whether they are mobile or at home, our system connects to the Internet via the ESP32 board. This device thus allows continuous and real-time monitoring, providing an effective solution for remote medical follow-up.

Keywords : ESP32, Medical sensors, Internet of Things

Introduction Générale

Les progrès de la médecine, des technologies et des droits des patients ont engendré une nécessaire évolution des pratiques médicales. Les informations médicales relatives aux patients sont devenues des données sensibles qui doivent être gérées de manière sécurisée. Le secteur de la santé souffre aujourd'hui d'un système d'information fragmenté, peu intégré et peu communicatif. L'informatique est devenue inéluctable pour améliorer la prise en charge des patients. La télésurveillance médicale repose sur les techniques organisationnelles et les technologies des systèmes d'information, afin d'assurer un niveau de soins au moins équivalent à celui dispensé en institution, tout en permettant une surveillance médicale plus continue et plus précise.

Chaque patient doit être suivi régulièrement pour surveiller ses paramètres vitaux et établir un traitement approprié basé sur des données médicales. Ce processus devient encore plus important lorsqu'une personne atteint un certain âge et ne peut pas surveiller correctement sa santé. Dans cette optique, des centres médicaux spécialisés sont établis et équipés des systèmes de surveillance à distance pour assurer le suivi des patients, afin de parer à toute urgence et d'intervenir au bon moment. Dans des nombreux cas, même des brefs retards peuvent avoir des conséquences irréremédiables, y compris le décès du patient.

Aujourd'hui, avec l'avènement des nouvelles technologies telles que l'IoT (l'internet des Objets), de nouveaux systèmes de surveillance des patients ont vu le jour, qui peuvent aider le personnel hospitalier à assister les personnes âgées et handicapées. Ce type de suivi doit fournir des informations complètes et fiables en temps réel. Dans ce contexte, le travail développé dans ce mémoire consiste à concevoir un système de contrôle médical à distance par le biais de l'IoT. Ce système est composé d'une carte à microcontrôleur ESP32, d'un ensemble des capteurs de fréquence cardiaque, de saturation d'oxygène, de température et d'humidité.

Le mémoire décrivant le travail à développer est subdivisé en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** : est une introduction aux généralités sur les signaux médicaux.
- **Le deuxième chapitre** : est consacré à la description du matériel et des logiciels utilisés dans le projet.
- **Le troisième chapitre** : traite des différentes étapes de développement du système de surveillance médicale, ainsi que des tests et des résultats.

La conclusion récapitule le travail réalisé et présenté quelques perspectives qui restent à réaliser, ainsi que les références bibliographiques utilisées.

Chapitre I

Généralités sur les signaux médicaux

I.1 Préambule

Dans ce chapitre nous présenterons les aspects théoriques et pratiques de la surveillance médicale. Nous nous sommes d'abord intéressés à l'anatomie et physiologie du cœur. Par la suite, nous aborderons l'anatomie du cerveau et des muscles. Comprendre la physiologie, la composition et la fonction d'un muscle et du cœur, nous permet aussi de comprendre les fonctionnalités médicales à suivre. Un suivi médical d'un patient concerne sa température corporelle, le taux d'oxygène dans le sang SPO₂, la pression artérielle, etc. Le suivi médical à distance est une spécialité moderne qui succède aux services du domaine de suivi médical à distance. Il permet aux médecins et aux experts de prendre en charge et de surveiller l'état de santé des patients en interprétant et en démontant les données reçues par le patient à distance afin de le protéger d'un état de santé. La surveillance à distance offre de nouvelles possibilités aux équipes cliniques pour évaluer l'état des patients sans avoir à être physiquement présentes dans la même salle à tout-moment. Avec des tonnes de nouvelles start-ups technologiques dans le domaine de la santé, l'IoT révolutionne rapidement le secteur de la santé.

I.2 La technologie et le monde de la médecine

Au cours des dernières décennies, la technologie a connu des développements majeurs dans tous les domaines, conduisant notre monde à subir des changements importants à chaque instant ! Les objets intelligents et connectés sont devenus indispensables au quotidien de tout le monde. Le secteur de la santé était l'un des premiers à appréhender ces nouvelles technologies, allant de l'internet des objets qui permet un suivi de très près du malade par ses médecins ainsi que par sa famille via des applications mobiles, aux outils et robots de haute précision qui réalisent des tâches que jusque-là l'Homme ne peut pas réaliser. Le nombre croissant d'appareils dont les Smartphones et la miniaturisation des capteurs ont engendré de nouvelles connexions, qui permettent le suivi des patients via les téléphones portables, ou simplement de partager leurs données de santé, favoriser leurs traitements, et de leurs fournir la sécurité et le confort qui sont indispensables à la vie de chacun.

I.3. La surveillance médicale

La surveillance médicale est un élément essentiel dans le domaine de la santé et du suivi des patients. Elle englobe diverses pratiques visant à évaluer, surveiller et maintenir la santé des individus, elle est également connue sous le nom de suivi médical ou de monitoring de la santé, elle fait référence à la pratique de suivre de près l'état de santé d'une personne.

La surveillance médicale : C'est un acteur médical dans le domaine de la gestion des risques, car son rôle est le suivant :

- ❖ Fourniture de conseils médicaux aux assurés sociaux et aux professionnels de la santé dans le domaine de la législation médicale et sociale.
- ❖ Accompagner socialement les assurés, améliorer la qualité des soins pour eux, notamment ceux atteints de maladies chroniques, en concertation avec les professionnels de santé.
- ❖ Analyse et suivi des demandes d'exécution.
- ❖ Assurer la bonne application des lois.

La surveillance médicale concerne les personnes dont l'état personnel nécessite une surveillance particulière ou celles qui sont soumises à des facteurs de risque spécifiques (physiques, chimiques ou biologiques). Ce suivi médical assure une prise en charge adéquate, facilite les déclarations en maladie professionnelle, et permet d'anticiper toute pathologie liée à l'activité professionnelle, même après la cessation de l'exposition aux risques. De plus, la surveillance médicale participe à la prévention des risques professionnels, à l'information des travailleurs sur les dangers potentiels, et à la mise en place de moyens adaptés pour maintenir la santé des agents au travail.

I.4. Le système cardiovasculaire

Le système cardiovasculaire est un système complexe du corps humain qui est responsable du transport et de la distribution du sang, ainsi que des nutriments, de l'oxygène, des hormones et d'autres substances vitales à travers tout l'organisme. Il se compose principalement du cœur, des vaisseaux sanguins (artères, veines et capillaires) et du sang lui-même.

Le cœur agit comme une pompe qui génère la force nécessaire pour faire circuler le sang dans tout le corps. Les vaisseaux sanguins servent de réseau de transport, permettant au sang de circuler à travers différentes parties du corps

Le sang transporte des nutriments, de l'oxygène et des hormones aux cellules et élimine les déchets métaboliques et le dioxyde de carbone du corps [1].



Figure I.1 Le système cardiovasculaire [2].

I.4.1 Anatomie cardiovasculaire

L'anatomie cardiovasculaire se compose de plusieurs structures clés qui travaillent ensemble pour assurer la circulation sanguine dans tout le corps. Voici une brève description de ces structures :

❖ Cœur humain

Le cœur est un organe musculaire situé dans la cage thoracique derrière le sternum et décalé légèrement sur la gauche chez la plupart des individus. Il mesure environ 1,5 fois la taille d'un poing humain et est divisé en parties gauche et droite par un mur épais. Chaque section comprend deux cavités, une oreillette et un ventricule, relié par une valve [1].

a.1 Fonctionnement du cœur

Le cœur fonctionne comme une pompe, et grâce à ses contractions régulières, il pousse le sang dans tout le corps, assurant ainsi l'apport d'oxygène dans tout le corps. Chaque jour, le cœur pompe environ 8 000 litres de sang. Le cœur sert à faire circuler le sang, il agit comme une pompe. C'est un muscle qui se contracte et se détend. La vitesse à laquelle le cœur se contracte est contrôlée par des cellules cardiaques spécialisées. Ceux-ci génèrent des courants qui déclenchent des contractions. Ainsi, le cœur ressemble à une pompe reliée à un mécanisme d'horlogerie. Quand

la pompe est altérée on parle d'insuffisance cardiaque (dans ce cas le cœur ne pompe plus assez fort), quand le mécanisme d'horloge dysfonctionne on parle de troubles du rythme. En cas de troubles du rythme, le cœur bat soit trop vite, soit trop lentement et/ou de façon irrégulière [3].

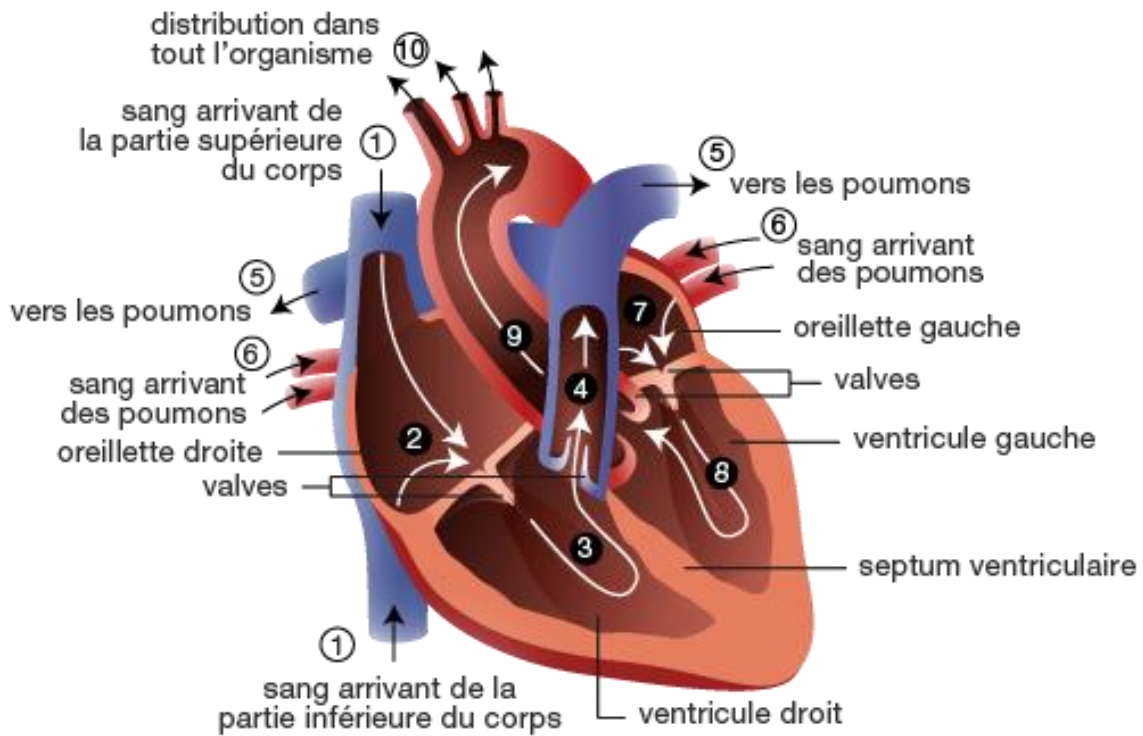


Figure I. 2 Fonctionnement de cœur [4].

❖ **Les vaisseaux sanguins**

Les vaisseaux sanguins sont des structures essentielles de l'appareil cardiovasculaire, responsables du transport du sang dans tout le corps. Ils se divisent en trois types principaux [1].

Les artères : Ce sont des vaisseaux sanguins qui transportent le sang du cœur vers les autres parties du corps. Les artères ont des parois épaisses et élastiques pour résister à la pression sanguine élevée émise par le cœur [1].

Les veines : Ce sont des vaisseaux sanguins qui ramènent le sang des parties du corps vers le cœur. Contrairement aux artères, les veines ont des parois plus minces et sont munies de valves pour empêcher le reflux sanguin [1].

Les capillaires : Ce sont de minuscules vaisseaux sanguins qui relient les artères et les veines.

Les capillaires permettent les échanges de nutriments, d'oxygène et de déchets entre le sang et les tissus [1].

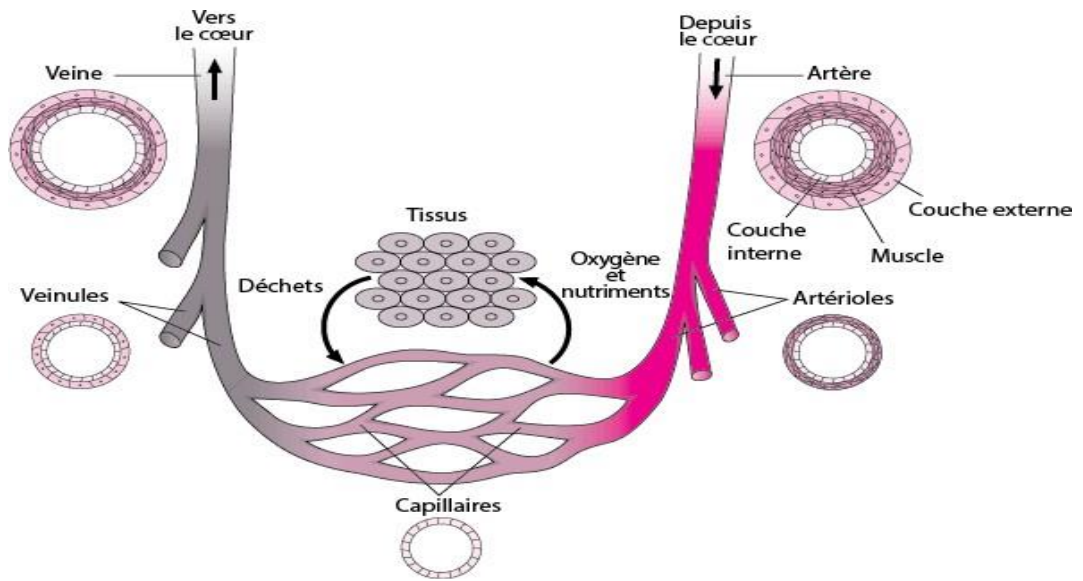


Figure I. 3 Les vaisseaux sanguins [5].

❖ Le sang

Il est composé de cellules sanguines (globules rouges, globules blancs et plaquettes) et de plasma. Les cellules sanguines transportent l'oxygène, éliminent les déchets et sont impliquées dans la défense immunitaire. Le plasma est un liquide jaunâtre qui transporte les nutriments, les hormones et les déchets à travers le corps.

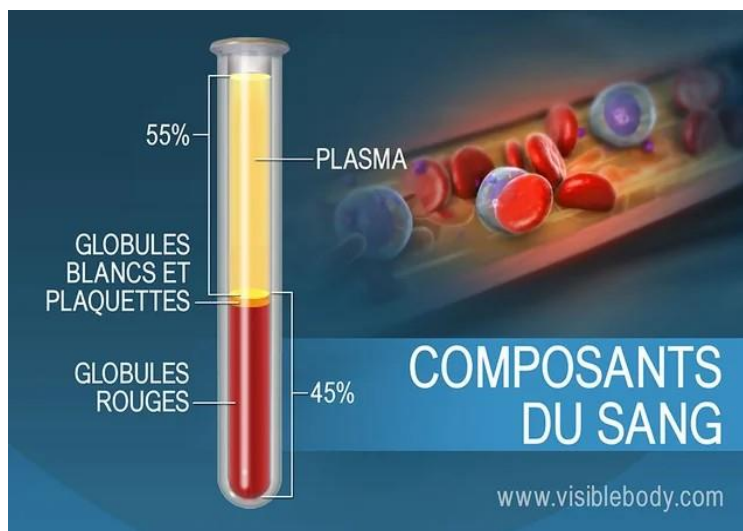


Figure I. 4 Composants du sang [6].

I.4.2 Physiologie cardiovasculaire

I.4.2.1 Double pompe

Le cœur joue un rôle essentiel dans la circulation sanguine de l'organisme. Il assure le transport de l'oxygène et des nutriments vers les tissus. Le cœur fonctionne comme une double pompe, aspirant le sang désoxygéné et le propulsant vers les poumons pour l'oxygénation (circulation pulmonaire) et vers le reste du corps (circulation systémique) [7].

I.4.2.2 Circulation systémique

La circulation systémique assure la distribution générale du sang dans tous les tissus du corps, ainsi que vers le cœur. Voici les étapes clés de ce processus :

Le sang oxygéné provenant des poumons atteint l'oreillette gauche du cœur. De là, il passe dans le ventricule gauche, qui se contracte vigoureusement pour éjecter le sang dans l'aorte. L'aorte transporte ensuite le sang oxygéné vers divers organes et tissus du corps. Après avoir nourri les tissus, le sang désoxygéné est ramené au cœur droit par le réseau veineux. La circulation systémique permet au sang artériel, riche en oxygène et pauvre en gaz carbonique, d'irriguer l'ensemble de l'organisme via l'aorte et ses branches. Une fois les échanges entre oxygène et gaz carbonique effectués dans les organes à travers les capillaires, le sang retourne au cœur par l'intermédiaire des veines pour compléter le cycle vital de distribution d'oxygène et de nutriments [7].

I.4.2.3 Circulation pulmonaire

La circulation pulmonaire, également connue sous le nom de petite circulation, est un processus essentiel qui achemine le sang vers les poumons pour les échanges gazeux, puis le ramène au cœur. Voici les étapes clés de ce processus :

Le sang pauvre en oxygène et riche en dioxyde de carbone pénètre dans l'oreillette droite depuis le corps via les veines caves inférieure et supérieure.

De l'oreillette droite, le sang descend dans le ventricule droit, qui l'éjecte ensuite dans les deux artères pulmonaires (aussi appelées troncs pulmonaires).

Ces artères transportent le sang vers les poumons, où il subit un échange gazeux : il élimine le dioxyde de carbone et absorbe l'oxygène.

Après cette oxygénation, le sang est redirigé vers l'oreillette gauche du cœur via les veines pulmonaires.

La saturation en oxygène représente le taux d'oxygène contenu dans les globules rouges après leur passage dans les poumons. Cette mesure permet aux médecins d'évaluer rapidement les fonctions respiratoires d'un patient [7].

I.4.2.4 Battement du cœur et contraction spontanée

La circulation sanguine est assurée par les battements du cœur, correspondant à la contraction du muscle cardiaque composé de la plupart des cellules musculaires. Contrairement à d'autres muscles, le cœur présente des contractions spontanées, rythmiques et indépendantes dues à son activité électrique interne. Ces contractions régulières permettent au cœur de pomper le sang dans tout l'organisme pour assurer l'apport en oxygène nécessaire aux tissus et organes.

I.4.3 Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque est le nombre de battements cardiaques par unité de temps, généralement exprimé en battements par minute. Chez un adulte au repos, une fréquence cardiaque normale se situe entre 60 et 100 battements par minute. Cependant, cette valeur peut varier en fonction de divers facteurs tels que l'âge, le niveau d'activité physique et la condition physique globale.

Il est essentiel de surveiller sa fréquence cardiaque, car elle peut fournir des informations précieuses sur la santé cardiovasculaire. Mesurer sa fréquence cardiaque peut se faire en plaçant les doigts sur le cou pour sentir les battements cardiaques et compter le nombre de pulsations pendant une minute. Une autre méthode consiste à compter les battements pendant 15 secondes et multiplier le résultat par 4 pour obtenir le nombre de battements par minute, à condition que le rythme soit régulier.

Des variations de la fréquence cardiaque peuvent être causées par divers facteurs tels que l'exercice physique, les émotions fortes, l'anxiété, la fièvre, la consommation d'alcool ou de café, certaines maladies cardiaques ou l'hypertension artérielle. Une fréquence cardiaque anormalement élevée ou basse peut nécessiter une évaluation médicale pour identifier la cause sous-jacente et prendre les mesures appropriées [8].

I.5 Le cerveau

Les cerveaux, en anatomie, font référence à la masse nerveuse contenue dans la boîte crânienne des êtres humains et comprennent le cerveau, le cervelet, le bulbe et les pédoncules cérébraux. Le cerveau est l'organe principal du système nerveux central, responsable de diverses fonctions.

L'évolution du cerveau mammalien a été étudiée, mettant en lumière le développement du néocortex chez les mammifères, qui se superpose au cerveau plus ancien, le paléo cortex reptilien. Le cerveau joue un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'organisme en contrôlant les actions à partir des informations sensorielles reçues. En tant que chef d'orchestre du corps humain, il centralise les informations, envoie des messages aux différents membres et se compose de deux hémisphères reliés, chacun contrôlant la partie opposée du corps. Le cerveau est également crucial pour des fonctions telles que la pensée, la mémoire, les émotions, et les réflexes. De plus, il est le siège de la vie psychique, des facultés intellectuelles, et constitue un enjeu majeur dans la compréhension de la cognition, des émotions, et des comportements moteurs. Enfin, le cerveau est protégé par les os du crâne, les méninges, et le liquide céphalo-rachidien, assurant ainsi son intégrité et son bon fonctionnement [9].

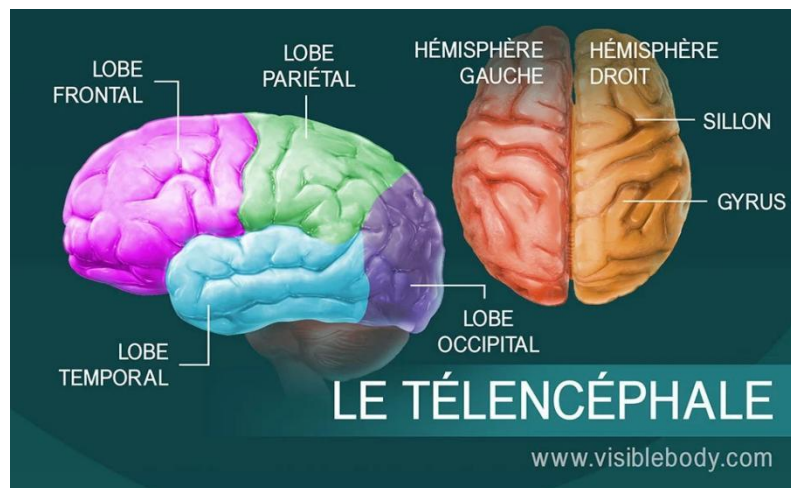


Figure I.5 Le cerveau [10].

I.5.1 Le rôle du cerveau pour l'être humain

Le rôle du cerveau pour l'être humain est fondamental, car il est l'organe central du système nerveux, responsable de fonctions essentielles telles que la pensée, la mémoire, les émotions, et les réflexes. Le cerveau est également le siège de la vie psychique et des facultés intellectuelles, jouant un rôle crucial dans la cognition, les émotions et les comportements moteurs. De plus, le cerveau est impliqué dans la régulation de divers processus physiologiques et psychologiques, assurant le bon fonctionnement de l'organisme dans son ensemble. Son interaction avec le cœur et d'autres organes est complexe, soulignant l'importance d'une communication harmonieuse entre ces systèmes pour maintenir la santé globale et le bien-être [9].

I.5.2 Le lien entre le cerveau et le cœur

Le lien entre le cerveau et le cœur est profond et complexe, impliquant une communication bidirectionnelle essentielle pour le bon fonctionnement de l'organisme. Des études récentes révèlent que le cœur possède son propre système nerveux, appelé le "cerveau du cœur," capable d'envoyer des informations au cerveau, influençant nos émotions, nos pensées et nos prises de décision. D'autre part, le cerveau reçoit constamment des signaux du cœur à travers diverses voies, telles que le système nerveux autonome et les hormones, lui permettant de moduler nos émotions, notre cognition et même notre santé physique. Cette connexion entre le cœur et le cerveau se manifeste à travers des communications neurologiques, biochimiques, biophysiques et énergétiques, qui sont responsables de la variation de la santé mentale et cardiovasculaire. Un équilibre harmonieux entre le cœur et le cerveau est crucial pour le bien-être global, et des déséquilibres peuvent avoir des répercussions sur la santé mentale et physique, augmentant les risques de troubles cardiovasculaires, de troubles émotionnels et de déficits cognitifs. En comprenant et en favorisant cette cohérence entre le cœur et le cerveau, il est possible d'améliorer notre santé globale et notre qualité de vie, c'est profond et complexe, impliquant une communication bidirectionnelle essentielle pour le bon fonctionnement de l'organisme.

I.5.3 Le fonctionnement du cerveau

Le fonctionnement du cerveau est complexe et crucial pour de nombreuses fonctions essentielles de l'être humain. Le cerveau est l'organe central du système nerveux, responsable de la régulation de la plupart des fonctions du corps, du traitement des informations sensorielles, du contrôle des mouvements, et de la gestion des fonctions cognitives telles que la pensée, la mémoire et les émotions. Il se compose de différentes parties, telles que le cortex cérébral, le cervelet et le tronc cérébral, chacune ayant des rôles spécifiques dans la coordination des actions involontaires et volontaires du corps. Par exemple, le cortex cérébral, divisé en quatre lobes principaux, est associé à des fonctions complexes comme la pensée, la perception, la planification et la compréhension du langage. De plus, le cerveau est impliqué dans la régulation des fonctions vitales telles que la respiration, le rythme cardiaque et la digestion, soulignant son rôle central dans le bon fonctionnement de l'organisme. Comprendre le fonctionnement du cerveau est essentiel pour appréhender son rôle dans la cognition, les émotions et les comportements, ainsi que pour explorer les mécanismes sous-jacents aux maladies neurologiques et aux troubles cérébraux [9].

I.6 L'anatomie du muscle

L'anatomie du muscle est complexe et essentielle pour comprendre son fonctionnement. Un muscle est constitué de fibres musculaires, qui à leur tour sont composées de myofibrilles, formées de myofilaments. Ces filaments se divisent en deux types : les filaments fins d'actine et les filaments épais de myosine. L'interaction entre ces deux types de filaments permet la contraction musculaire, générant un travail mécanique qui soutient diverses fonctions corporelles telles que le maintien de la posture, la préhension, la ventilation pulmonaire, la circulation sanguine ou encore la digestion. Les muscles sont des tissus contractiles qui permettent diverses postures et notamment activent certaines parties du corps. Les muscles peuvent être de forme allongée, plate ou ronde [11].

I.6.1 Types de muscles

Il existe trois types de muscles dans le corps humain :

- ❖ **Muscle Strié (ou squelettique) :** Appelé muscles rouges ou muscles squelettiques. Ce type de muscle est volontaire et contrôlé consciemment par le système nerveux central. Il est responsable des mouvements du corps et de la mobilité en unissant les os. Les muscles squelettiques sont les plus communs dans le corps humain.
- ❖ **Muscle Lisse :** Également appelés muscles blancs, on les retrouve dans les parois de nombreux organes. Les muscles lisses se trouvent dans les organes internes tels que l'utérus, l'intestin, ou les vaisseaux sanguins. Leur contraction est involontaire et autonome, n'étant pas soumise au contrôle de la volonté.
- ❖ **Muscle cardiaque :** Ce type de muscle est spécifique au cœur. Aussi connu sous le nom de myocarde, sa structure est similaire à celle du muscle strié.

Mais ses contractions sont volontaires et involontaires : elles poussent le sang dans le système circulatoire du cœur. Les contractions du muscle cardiaque sont autonomes et involontaires, propulsant le sang à travers le système circulatoire.

Chaque type de muscle a une structure unique et des fonctions spécifiques dans le corps humain,

contribuant à des mouvements, à la circulation sanguine, et au bon fonctionnement des organes internes [11] [12].

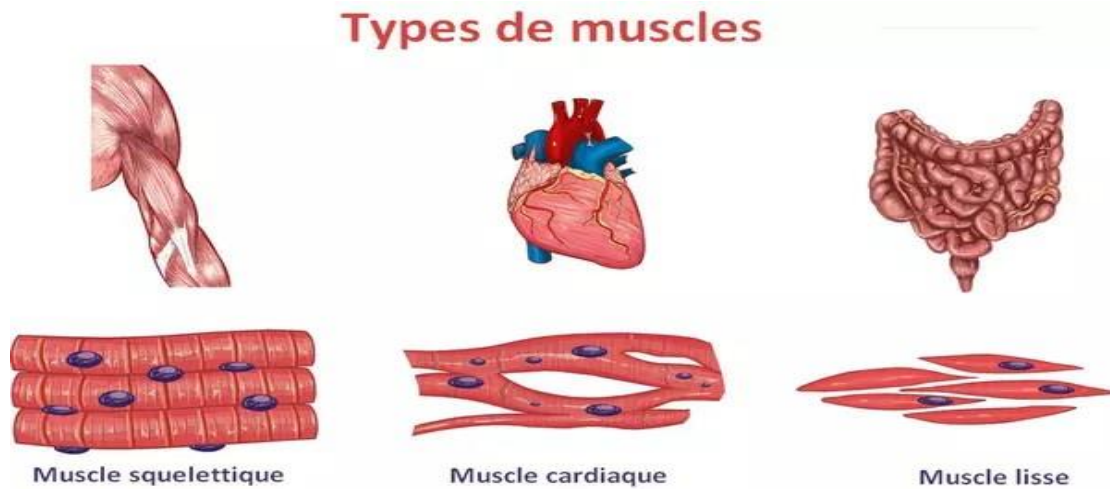


Figure I.6 Types du muscle [13].

I.4.2 les compositions du muscle

Le muscle est composé de tissus musculaires, de tissus conjonctifs, de vaisseaux sanguins et de nerfs. Les cellules musculaires, qui constituent le tissu musculaire, sont essentielles pour la contraction musculaire et le mouvement du corps. Le tissu musculaire est constitué de fibres musculaires (ou cellules musculaires). Les fibres elles-mêmes sont composées de myofibrilles, elles-mêmes composées de myofilaments. Il existe deux types de ces filaments : l'un est fin, constitué d'actine, l'autre, épais, est constitué de myosine. C'est à cause de leur interaction que la contraction musculaire se produit et fournit un travail mécanique. Ainsi, les muscles permettent par exemple le maintien de la posture, la préhension, la ventilation des poumons, la circulation sanguine, la progression des aliments où le remplissage de la vessie [12].

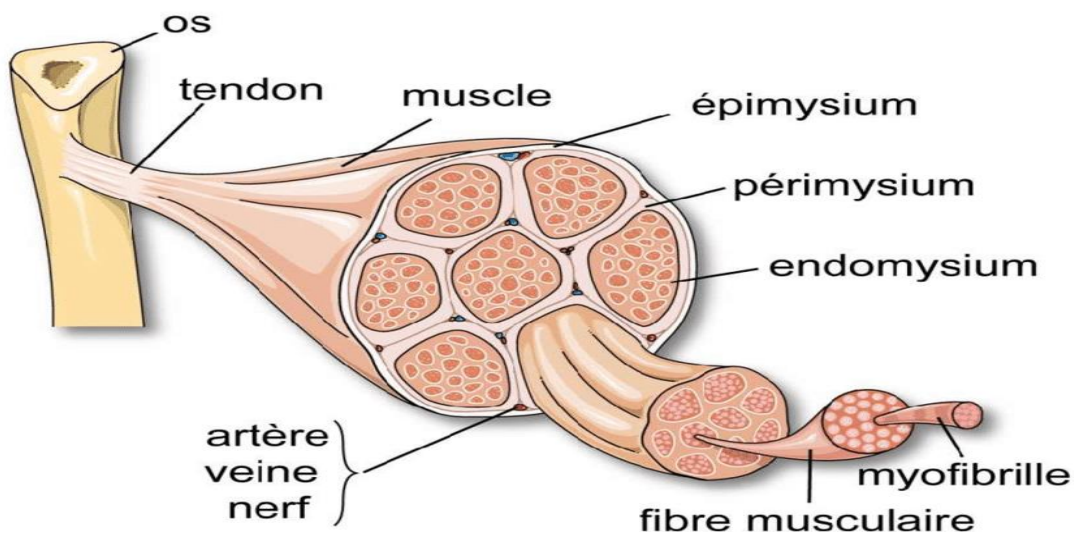


Figure I.7 les compositions du muscle [14]

I.6.3 Fonction du muscle

Dans notre corps, nous avons trois types de muscles, et leurs fonctions sont diverses :

- Muscles striés squelettiques : responsables des mouvements volontaires et réflexes : marche, lever de jambe, préhension, etc.
- Muscles striés du myocarde : responsable du cœur, de la circulation sanguine...
- Muscles lisses fonctionnent seuls et naturellement, vous n'avez pas besoin de réfléchir à leur utilisation : fonctionnement normal de la respiration, de la digestion et des organes internes...

Les muscles protègent aussi des chocs, des chutes et des traumatismes, de l'équilibre corporel dans le corps, de la production de chaleur.

Les muscles jouent un rôle essentiel dans le corps humain, assurant diverses fonctions vitales :

1. Production de Force et de Mouvement : Les muscles sont principalement responsables de la production de force et du mouvement. Ils permettent de maintenir la posture, d'évoluer dans l'espace, de réaliser des gestes volontaires comme marcher, lever un objet, ou attraper quelque chose.
2. Fonctions spécifiques des différents types de muscles : Les muscles squelettiques : Responsables des mouvements volontaires et réflexes tels que la marche, la préhension, ou le maintien de la posture.
3. Protection et Équilibre Physique : Les muscles jouent un rôle crucial dans la protection contre les chocs, les chutes, et les traumatismes. De plus, ils contribuent à la stabilité et à l'équilibre du corps.
4. Production de Chaleur : Environ 85% de la chaleur corporelle est produite par les muscles, ce qui est essentiel pour maintenir une température corporelle adéquate.

I.7 L'électromyographie

L'électromyographie est un examen médical qui consiste à enregistrer l'activité électrique d'un muscle ou d'un nerf. Cet examen permet de différencier divers troubles neuromusculaires, notamment en cas de paralysie, en identifiant des atteintes du système nerveux central, des syndromes neurogènes périphériques, des atteintes musculaires, ou des troubles de la conduction neuromusculaire.

Il est utilisé pour localiser les nerfs atteints, préciser les mécanismes des lésions, et suivre l'évolution des maladies. L'électromyographie peut confirmer des diagnostics tels que les myopathies ou la myasthénie, mais ne permet pas d'identifier les causes. L'examen se déroule en enregistrant l'activité électrique d'un muscle au repos et pendant la contraction, soit en insérant une aiguille dans le muscle, soit en stimulant un nerf avec un courant électrique. Les résultats de l'électromyographie aident les médecins à établir des diagnostics précis et à orienter les traitements appropriés [15].

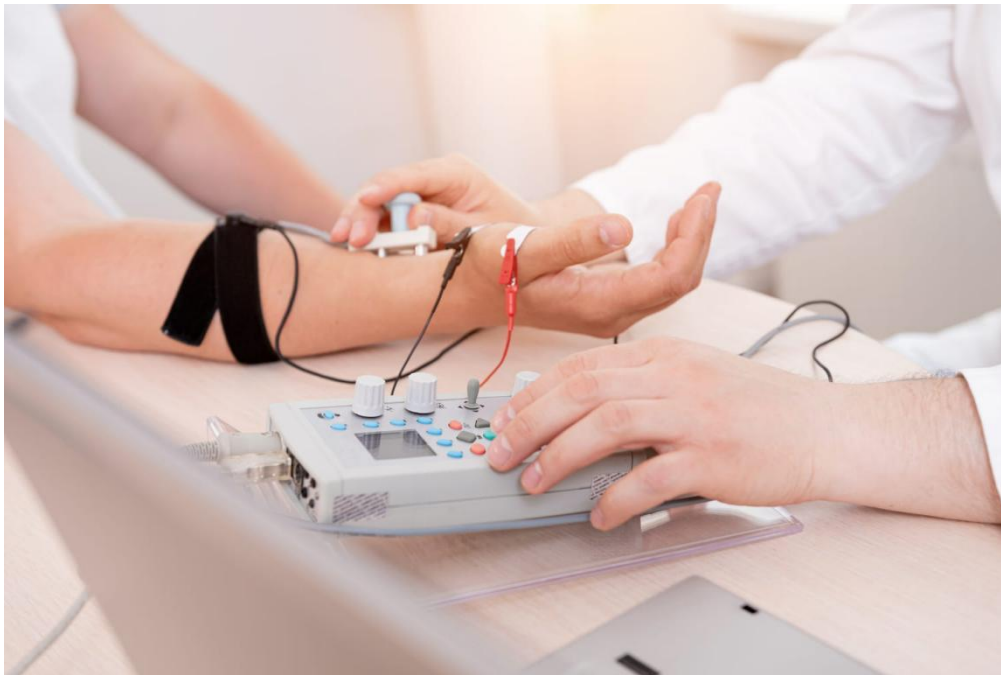


Figure I.8 L'électromyographie [16].

I.7.1 Classification EMG

La classification des signaux électromyographiques (EMG) est un domaine d'étude visant à analyser et interpréter ces signaux complexes enregistrés au niveau des muscles. Cette classification est essentielle pour comprendre les activités électriques des muscles et des nerfs, permettant ainsi de diagnostiquer divers troubles neuromusculaires. Les recherches dans ce domaine ont abouti à des avancées telles que l'évaluation automatique des caractéristiques EMG pour contrôler une prothèse de main, l'utilisation de réseaux neuronaux non supervisés pour des tâches de classification en électromyographie, ou encore l'apprentissage en ligne pour la commande de prothèses basée sur l'EMG. Ces avancées témoignent de l'importance de la classification des signaux EMG dans le domaine de la neurologie et de la réadaptation fonctionnelle [15].

I.7.2 Signal EMG

Le signal en électromyographie (EMG) est composé d'une large gamme de fréquences, allant de quelques Hertz à 500 Hz, et peut varier en amplitude de quelques fractions de microvolt (uv.). Ce signal électrique est enregistré lors de la contraction musculaire et représente l'activité électrique des muscles. L'EMG permet de capter ces signaux électriques associés aux contractions musculaires, appelés potentiels d'action, à l'aide d'électrodes placées sur la peau ou directement à l'intérieur des muscles. Ces signaux sont ensuite amplifiés, filtrés et analysés pour fournir des informations sur l'état et le fonctionnement des muscles étudiés. L'électromyographie consiste en l'acquisition de l'activité électrique présente sur un muscle lors de sa contraction, pouvant être enregistrée en surface avec une électrode collée sur la peau ou directement à l'intérieur du muscle de manière invasive à l'aide d'une aiguille. Le signal produit par le muscle est exprimé en millivolts (mV) et permet l'analyse de l'activité musculaire humaine lors de la contraction musculaire. Les signaux EMG sont analysés dans trois domaines : le domaine temporel, le domaine fréquentiel et le domaine temps-fréquence, offrant ainsi une compréhension approfondie de l'activité musculaire et des processus neurologiques associés à la contraction musculaire [15].

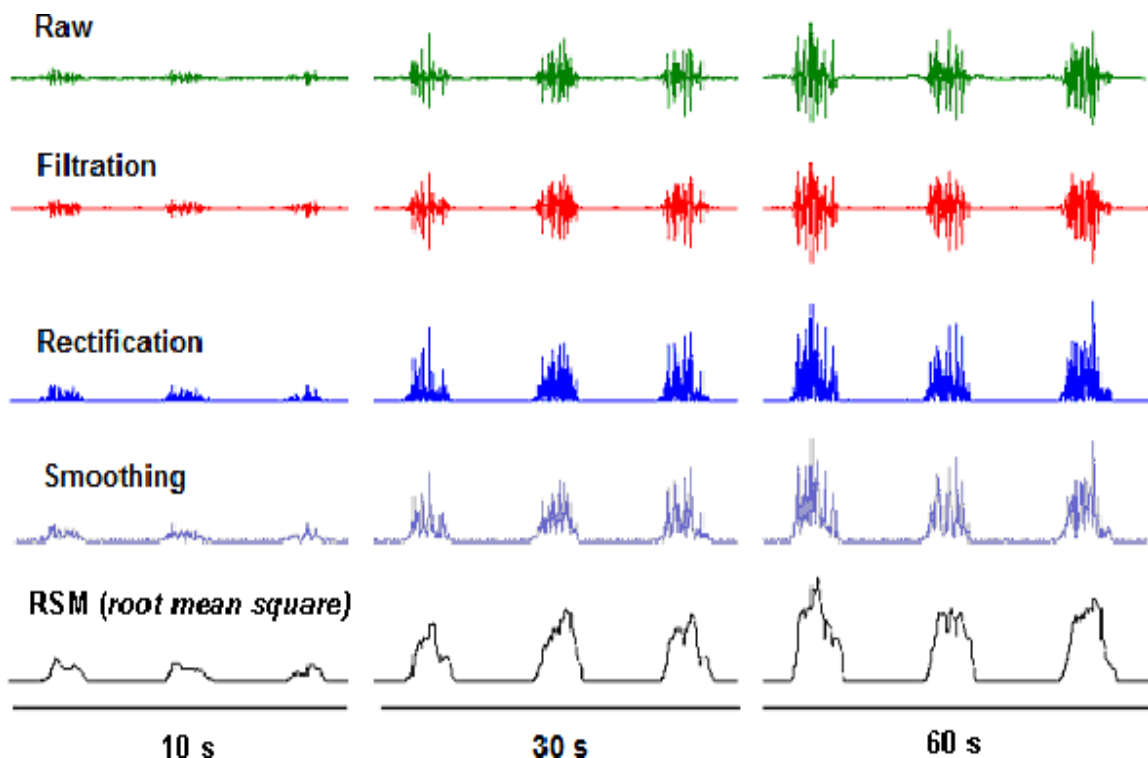


Figure I.9 Signal EMG [17].

I.8 Généralités sur la fonctionnalité de moniteur de surveillance

I.8.1 Taux d'oxygène

La saturation en oxygène, mesurée par les médecins pour évaluer la fonction respiratoire d'un patient, correspond au niveau d'oxygène contenu dans les globules rouges après leur passage dans les poumons. Deux méthodes sont utilisées pour mesurer ce taux :

- La saturation en oxygène peut être mesurée à l'aide d'un oxymètre de pouls, un appareil simple et non invasif qui évalue la saturation pulsée en oxygène (SpO₂).
- La méthode invasive, appelée "saturation artérielle en oxygène" (SaO₂), qui nécessite un prélèvement sanguin dans une artère [18].



Figure I.10 L'oxymètre [19]

❖ Normes de saturation en oxygène

Un taux de saturation en oxygène normal se situe entre 95% et 100%. En dessous de 95%, on parle d'hypoxémie, et en dessous de 90%, la situation est critique [18].

❖ Importance de la mesure

La mesure de la saturation en oxygène est essentielle pour évaluer l'état d'oxygénation rapidement et efficacement, notamment aux urgences. Elle permet de détecter des problèmes respiratoires ou des situations nécessitant une intervention médicale [18].

I.8.2 L'électrocardiogramme (ECG)

L'électrocardiogramme (ECG) est un examen médical essentiel en cardiologie qui permet d'enregistrer l'activité électrique du cœur au fur et à mesure des battements cardiaques. Cet examen, également appelé électrocardiographie, consiste à placer des électrodes sur la peau du thorax, des bras et des jambes pour enregistrer les impulsions électriques du cœur. L'ECG est utilisé pour détecter divers troubles cardiaques tels que les arythmies, l'insuffisance coronarienne, les zones endommagées du cœur, la dilatation cardiaque, et bien d'autres affections. Il est non invasif, indolore et dure généralement entre 5 et 10 minutes. Les résultats d'un ECG normal présentent un tracé sinusal avec différentes périodes électriques, permettant au médecin d'interpréter d'éventuelles anomalies et d'orienter le diagnostic. En cas de résultats anormaux, des examens complémentaires peuvent être prescrits pour confirmer le diagnostic et guider le traitement approprié [20].



Figure I.11 L'électrocardiogramme (ECG) [21].

I.8.3 Température humaine

La température normale du corps humain est généralement considérée comme étant de 37°C , mais des études récentes suggèrent qu'elle est en réalité plus basse, autour de $36,5^{\circ}\text{C}$, avec une fourchette normale entre $35,7$ et $37,3^{\circ}\text{C}$. Cette température peut varier en fonction de divers facteurs tels que l'âge, le moment de la journée, la saison, l'activité physique, le sexe, la consommation d'alcool, l'alimentation, le stress et d'autres facteurs émotionnels. La température corporelle peut être mesurée à différents endroits du corps avec des valeurs normales spécifiques pour chaque méthode : rectum ($36,6$ à $38,0^{\circ}\text{C}$), oreilles ($35,8$ à 38°C), bouche ($35,5$ à $37,5^{\circ}\text{C}$), aisselles ($34,7$ à $37,3^{\circ}\text{C}$) et sur la peau. Ce processus est contrôlé par l'hypothalamus, qui régule la température en faisant transpirer le corps pour dissiper la chaleur en cas de surchauffe et en provoquant des frissons pour produire de la chaleur en cas de froid. La thermorégulation du corps humain est essentielle pour maintenir une température corporelle stable et vitale pour le bon fonctionnement de l'organisme.

Cependant, les extrémités du corps peuvent atteindre des températures plus basses, notamment 30°C au niveau des mains, des doigts et des pieds [22].

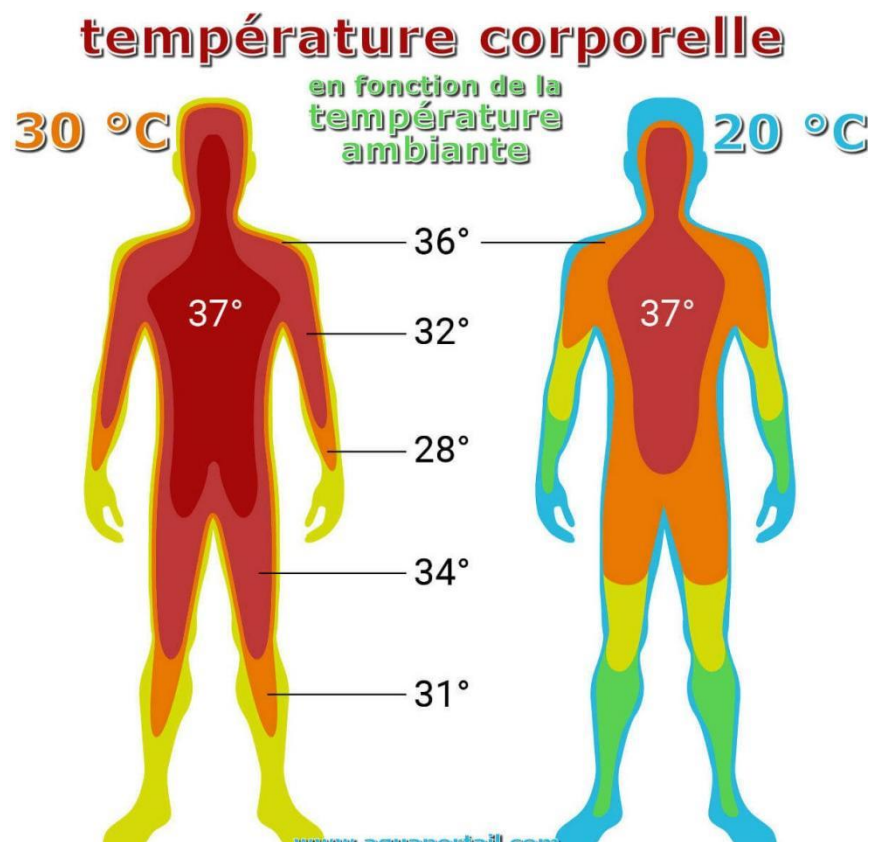


Figure I.12 La température corporelle [23].

I.8.4 La pression artérielle

La pression artérielle (PA) est la force exercée par le sang sur les parois artérielles. Elle se compose de deux mesures : la pression systolique, qui correspond à la contraction du cœur, et la pression diastolique, qui reflète le relâchement du cœur. Les valeurs normales de la pression artérielle chez l'adulte sont généralement entre 120-129 mm Hg pour la systolique et entre 80-84 mm Hg pour la diastolique. Une pression artérielle élevée peut indiquer de l'hypertension, diagnostiquée lorsque la pression systolique est supérieure à 140 mm Hg et la pression diastolique supérieure à 90 mm Hg lors de trois mesures distinctes.

Pour contrôler l'hypertension, il est recommandé d'améliorer son hygiène de vie en limitant la consommation de sel, d'alcool, de tabac, en perdant du poids si nécessaire et en pratiquant une activité physique régulière.

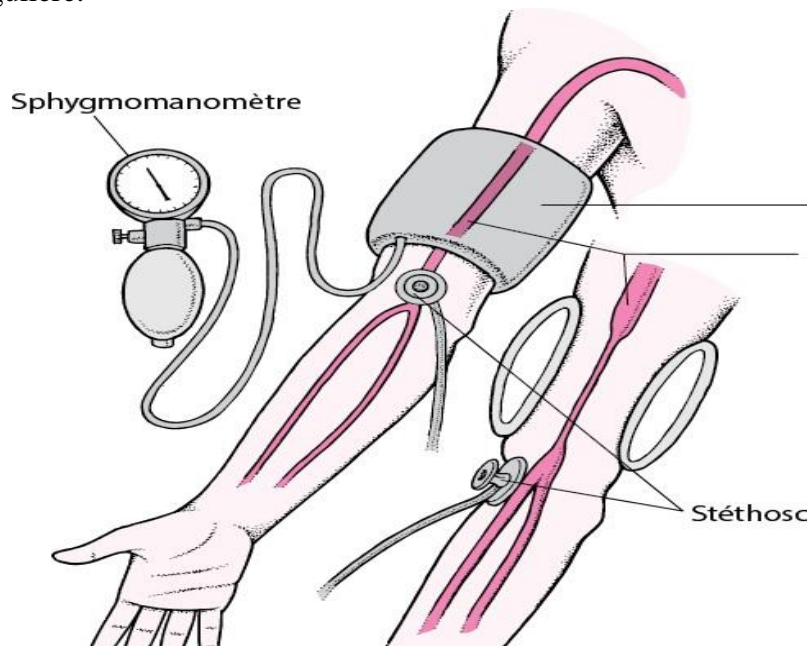


Figure I.13 Mesure de la pression artérielle [24].

I.9 Discussion

Dans ce chapitre on a fait une étude globale sur la technologie et ses rapports à la vie quotidienne plus précisément dans le domaine de la santé ! Nous avons présenté le système nerveux et le système cardiovasculaire et les anomalies présentées. Le système nerveux concerne l'activité musculaire (EMG), le diagnostic musculaire de l'EMG, la classification de l'EMG et les signaux de l'EMG. Tandis que le système cardiovasculaire se rapporte à la fonction et la physiologie du cœur. Dans le chapitre qui suit nous allons introduire notre travail et les différents composants que nous allons utiliser lors de notre réalisation ainsi que le rôle de chacun. Nous allons introduire les différents outils matériels et logiciels que nous allons utiliser afin de développer notre propre système de surveillance médicale.

Chapitre II

Etude matérielle et logicielle du projet

II.1 Préambule :

Dans ce chapitre nous allons décrire les différents composants capteurs utilisés de notre application, ainsi que leurs modes de fonctionnement qui utilise l'internet des objets connectés l'IoT.

II.2 Partie matérielle

Les capteurs

I : Définition

- **Un capteur** : est un élément clé dans le processus de collecte de données, car il permet de convertir des grandeurs physiques en signaux exploitables par des dispositifs électroniques pour diverses applications. Il nous permet de transformer une grandeur physique à une grandeur électrique.

II.2.1 Oxymètre MAX 30102

Le MAX30102 est un module biocapteur avec un oxymètre de pouls et un moniteur de fréquence cardiaque intégrés. Il comprend des LED internes, des photos détectrices, des optiques et des composants électroniques à faible bruit avec suppression de la lumière ambiante. Le MAX 30102 fournit une solution système complète pour faciliter le processus de conception des appareils mobiles et portables. Le MAX 30102 fonctionne à partir d'une alimentation unique de 1,8 V et les LEDS internes fonctionnent à partir d'une alimentation séparée de 5,0 V. La communication se fait via une interface compatible I2C standard. Le module peut être éteint par logiciel avec un courant de veille nul, gardant les rails d'alimentation alimentés à tout moment [25].

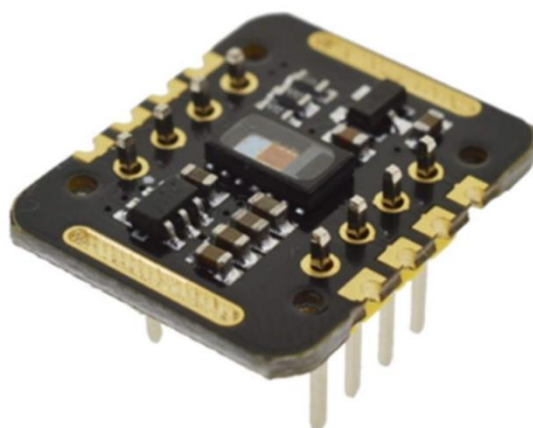


Figure II.1 Oxymètre Max30102 [26].

II.2.1.1 Caractéristiques [25].

- Biocapteur de moniteur de fréquence cardiaque et d'oxymétrie de pouls dans une solution. Réfléchissante à LED.
- Module optique 14 broches minuscules de 5,6 mm x 3,3 mm x 1,55 mm.
- Lamelle intégrée pour des performances optimales et robustes.
- Fonctionnement à très basse consommation pour les appareils mobiles.
- Fréquence d'échantillonnage programmable et courant DEL pour des économies d'énergie.
- Moniteur de fréquence cardiaque à faible consommation.
- Taux d'échantillonnage élevés.
- Capacité de sortie rapide des données.
- Résilience des artefacts de mouvement robuste.
- SNR élevé.
- -40 ° C à + 85 ° C Température de fonctionnement.

❖ Brochage de MAX 30102 avec esp 32

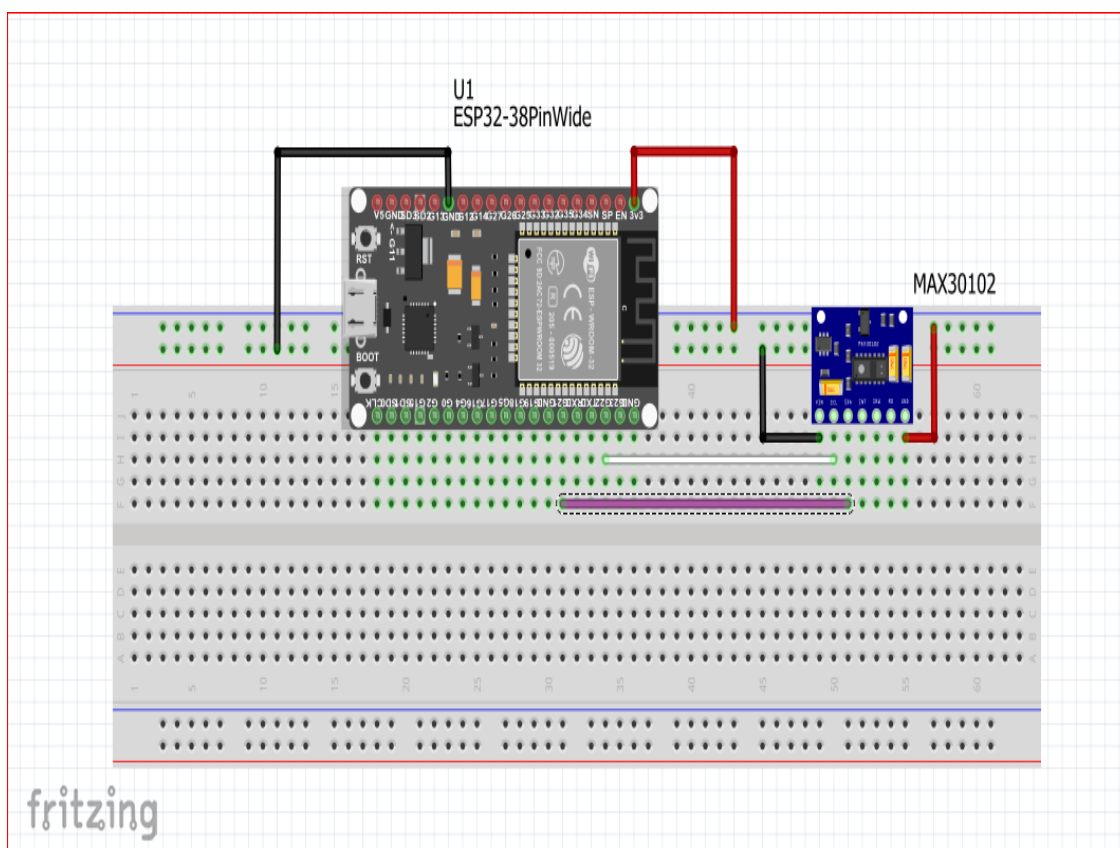


Figure II.2 Schéma de MAX30102 connecté à ESP32.

II.2.2 Capteur de température DS18B20

À propos du capteur de température à 1 fil DS18B20 :

Le DS18B20 est un capteur de température numérique largement adopté, conçu par Maxim Integrated (anciennement Dallas Semiconductor). Réputé pour sa précision élevée avec une tolérance de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sur une plage de mesure étendue de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$, il est compatible avec une alimentation de 3,0 à 5,5 V. Cette caractéristique permet son intégration facile avec divers microcontrôleurs tels que Arduino (fonctionnant à 5 V) et des dispositifs avec des broches GPIO de 3,3 V comme l'ESP32 et le Raspberry Pi [27].



Figure II.3 Sonde de Température DS18B20 [28].

II.2.2.1 Caractéristiques [27].

- Plage de mesure de la température : -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$
- Précision de la mesure : $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (typiquement dans la plage de -10°C à $+85^{\circ}\text{C}$)
- Résolution de mesure : Configurable de 9 à 12 bits
- Protocole de communication : Utilise le protocole 1-Wire
- Mode de fonctionnement : Peut fonctionner en mode parasite, tirant son alimentation à partir de la ligne de données 1-Wire
- Alimentation : 3V à 5V

Avantages

L'un des principaux avantages de ce capteur est qu'il n'a besoin que d'une seule broche numérique d'ESP32 pour communiquer. Les capteurs communiquent à l'aide du protocole Dallas Semiconductor (fil unique). Le protocole fonctionne comme I2C, mais avec un débit de données inférieur et une plage plus large.

Un autre avantage est que chaque capteur DS18B20 possède un code série 64 bits unique, ce qui permet à plusieurs capteurs de fonctionner sur le même bus 1-Wire. Ainsi, vous pouvez lire les données de plusieurs capteurs connectés via une seule broche ESP32.

Connexions du capteur de température numérique DS18B20

❖ Brochage de DS18B20 avec esp32

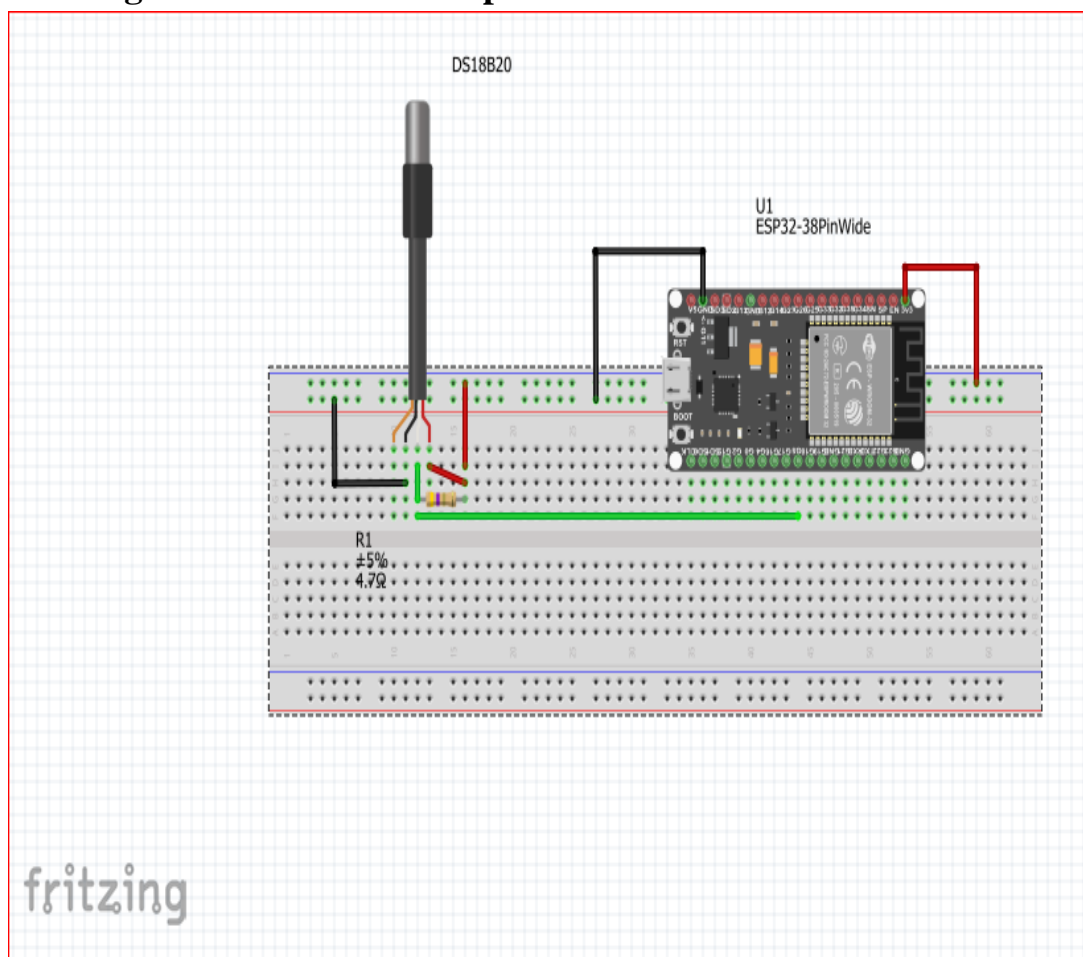


Figure II.4 Schéma de DS18B20 connecté à ESP32

II.2.3 Résistance

Pour utiliser le capteur de température DS18B20, une résistance pull-up (généralement 4,7 k Ω) est nécessaire entre la ligne de données et l'alimentation.

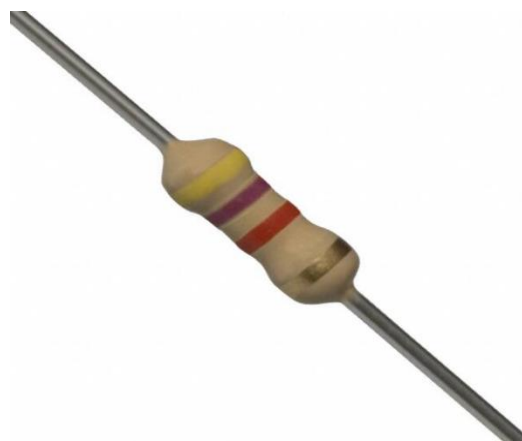


Figure II.5 Résistance

II.2.3.1 Les Principaux Aspects de l'Utilisation d'une Résistance Pull-up avec le DS18B20

1. Stabilisation de la Ligne de Données :

La résistance pull-up maintient la ligne de données (DQ) du DS18B20 à un état logique haut lorsqu'aucun signal n'est transmis, empêchant les interférences électriques et les erreurs de communication.

2. Communication Fiable :

En maintenant la ligne de données à un niveau haut par défaut, la résistance pull-up assure des transitions nettes entre les états hauts et bas, garantissant une communication fiable entre le capteur et le microcontrôleur.

Pourquoi la Résistance Pull-up est Cruciale :

Dans les systèmes 1-Wire, comme celui utilisé par le DS18B20, la ligne de données est partagée pour la communication et l'alimentation (en mode parasite). Sans une résistance pull-up, la ligne de données pourrait flotter, entraînant des niveaux de tension indéterminés qui peuvent provoquer des erreurs de lecture. La pull-up stabilise la ligne de données, assurant que les signaux sont clairs et interprétables par le microcontrôleur.

II.2.4 Capteur de température et d'humidité DHT11

Le DHT11 est un capteur de température et d'humidité fiable et stable. Il utilise une sortie de signal numérique calibrée et intègre deux capteurs analogiques principaux : un thermistor de type NTC pour mesurer la température et un capteur résistif pour l'humidité relative. Ce capteur est apprécié pour sa facilité d'intégration et son coût abordable. Il peut être alimenté par une tension de 3V à 5V [29].

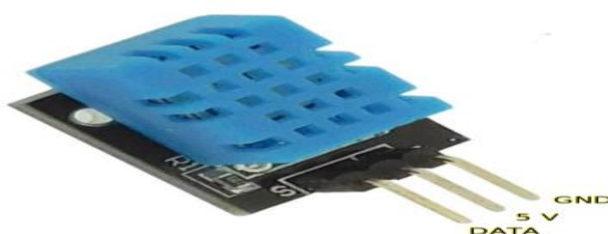


Figure II.6 Capteur de température et d'humidité DHT11 [30].

La calibration du DHT11 est réalisée en usine, avec les paramètres sauvegardés dans une mémoire OTP (One Time Programming), similaire à celle utilisée pour programmer les diodes. La communication avec le DHT11 se fait via une seule ligne d'entrée/sortie série, où un échange de 40 bits est normalement accompli en 4ms. Ce capteur est compatible avec des microcontrôleurs 8 bits comme l'ESP32, assurant une acquisition rapide et précise des données environnementales [29].

II.2.4.1 Caractéristiques [29].

- **Plage de mesure** : Il peut mesurer l'humidité relative de 20% à 90% et la température de 0°C à 50°C.
- **Précision** : Il offre une précision de $\pm 5\%$ RH pour l'humidité et de $\pm 2^\circ\text{C}$ pour la température, assurant des mesures fiables malgré de légères variations.
- **Résolution** : La résolution est de 1 unité pour les mesures, ce qui permet des lectures précises des données.
- **Stabilité à long terme** : Il maintient une stabilité à long terme avec une variation de $\pm 1\%$ RH par an, assurant une fiabilité continue des mesures au fil du temps.
- **Alimentation électrique** : Il fonctionne avec une alimentation de 3V à 5,5V CC, adaptée à une large gamme de dispositifs électroniques.
- **Courant** : Le courant de fonctionnement varie entre 0,5mA et 2,5mA, ce qui le rend économe en énergie pour une utilisation prolongée.

Pins de DHT11

- VCC
- GND
- DATA

II.2.4.2 Brochage de DHT11 avec esp32

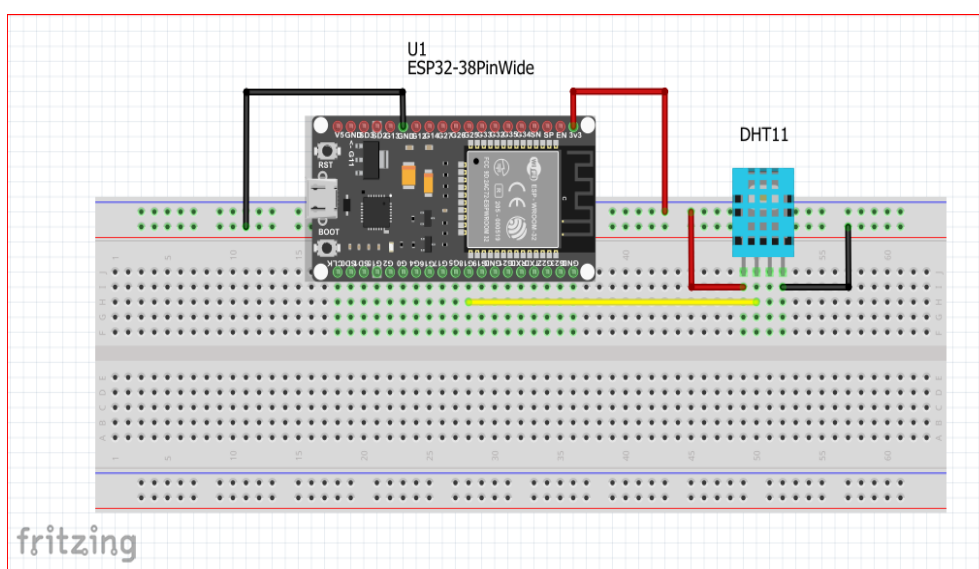


Figure II.7 Brochage de DHT11 avec esp32

II.2.5 Breadboard (plaque d'essai)

La plaque d'essai est une plaque en plastique isolant et pleine de trous. Elle sert à tester des montages avant de souder les composants. La plaque est répartie en deux parties, partie extérieure où les trous sont reliés de façon horizontale, et la partie intérieure où les trous sont reliés de façon verticale.

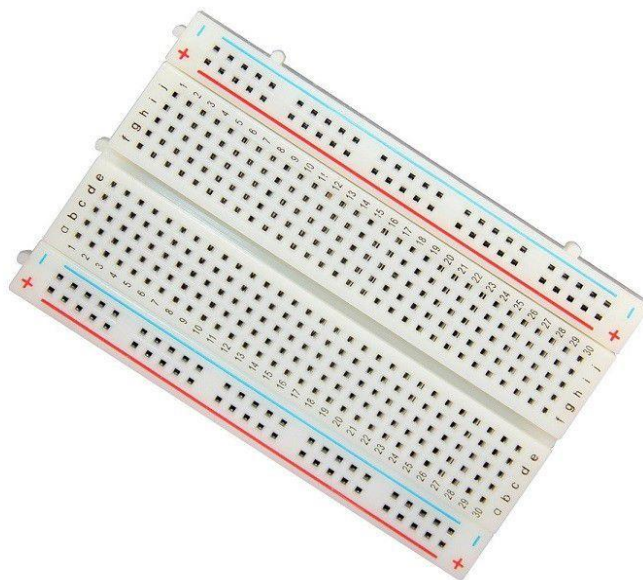


Figure II.8 Breadboard [31].

II.2.6 Câble d'alimentation ESP32

Le câble d'alimentation pour l'ESP 32 est généralement un câble micro USB. Ce type de câble est couramment utilisé pour alimenter l'ESP 32, permettant de le connecter à une source d'alimentation comme un chargeur USB ou un ordinateur. Il est important de s'assurer que le câble utilisé peut fournir une alimentation adéquate pour l'ESP 32, généralement autour de 0.5 A. Un câble micro USB est pratique et largement disponible pour alimenter et recharger un ESP32.



Figure II.9 Câble d'alimentation ESP32.

II.2.7 Fils de liaison

Les fils de liaison pour l'ESP32 sont des fils électriques utilisés pour connecter des périphériques tels que capteurs, actionneurs et autres composants. Ils sont essentiels pour établir des connexions dans un circuit. Les principaux types de fils de liaison sont : les fils Dupont mâle-mâle pour connecter des broches de composants entre eux, les fils mâle-femelle pour connecter des broches de composants à des connecteurs femelles, et les fils femelle-femelle pour connecter des connecteurs mâles entre eux.

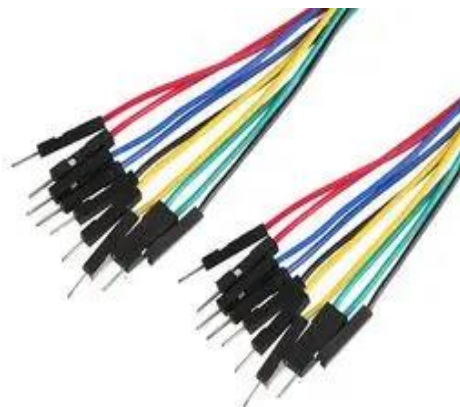


Figure II.10 Fils de liaison [32]

II.3 Partie logicielle

II.3.1 Carte à microcontrôleur ESP32

II.3.1.1 Présentation de la carte ESP32

L'ESP32 est une carte électronique programmable à microcontrôleur, elle est utilisée pour des conceptions électroniques simples ou complexes.

Cette carte est équipée d'un module wifi ainsi que d'un module Bluetooth, ce qui la rend avantageuse aux cartes de ce genre, car ça lui permet d'avoir une aisance à manipuler les objets IoT qui sont très répandus de nos jours [33].



Figure II.11 Carte ESP32 [34].

Description

Le circuit ESP32 est un outil de développement à moindre coût et à très grandes performances. Il peut servir à la création de projets finis et définitifs ainsi qu'à des projets permanents.

La carte ESP32 est essentiellement composée d'un microcontrôleur ESP-Wroom-32, d'une antenne wifi, d'un régulateur de tension, d'un bouton Enstable qui permet d'initialiser la carte, un bouton boot qui permet de charger le micro logiciel, un connecteur micro USB qui permet de téléverser le programme ainsi que d'alimenter la carte, une led indiquant que l'alimentation a bien été établie, ainsi qu'un bon nombre d'entrée sorties qui accomplissent des tâches différentes qu'on va indiquer ultérieurement [33].

II.3.1.2 Caractéristiques techniques [33]

Les ESP32 comprennent notamment les caractéristiques technique suivantes :

Tension d'alimentation (USB)	5 V CC
Tension d'entrée/sortie	3,3 V CC
Processeur	Dual-Core Tensilica Xtensa LX6 (32 bits)
Fréquence d'horloge	jusqu'à 240 Mhz
Performances	Permet d'effectuer des opérations de base en mode ultra-basse consommation.
Mémoire	448 Ko ROM 520 Ko SRAM 16 Ko SRAM en RTC QSPI Flash/SRAM, 4 M
Épingles	38
Broches numériques GPIO	24 (certaines broches en entrée uniquement)
Broches PWM	16
Broches ADC analogiques	18 (3,3 V, 12 bits : 4095, type SAR, gain programmable)

Tableau II.1 Caractéristiques techniques.

II.3.1.3 ESP32 38 PINS

Le module ESP32 dispose d'un total de 36 E/S, dont 26 numériques et 18 analogiques.

L'écran tactile peut également être utilisé pour créer une interface homme-machine basée sur ESP32 [35].



Figure II.12 Repérage des broches des modules ESP 32 [36].

II.3.1.4 Connexion wifi et Bluetooth

Le module ESP32 intègre des modules Wifi/Bluetooth tout-en-un, ce qui fournit non seulement une connexion sans fil, mais également un processeur embarqué doté d'interfaces pour permettre la connexion à divers périphériques [35].

II.3.1.5 Alimentation

Pour alimenter un circuit ESP32, on peut utiliser trois options :

- Utiliser une tension non régulée entre 5V et 12V et la connecter à la broche Vin et GND. Cette tension est régulée à bord.
- Utiliser une tension régulée de 3,3V et la connecter aux broches 3,3V et GND.

- Via le port USB [35].

II.3.1.6 Périphériques de l'ESP32

Les principaux périphériques de l'ESP 32 38 broches incluent :

- 3 interfaces UART.
- 2 interfaces I2C.
- 3 interfaces SPI.
- 16 sorties PWM 3.
- 10 capteurs capacitifs (touche).
- 18 entrées analogiques.
- Capteur à effet Hall.
- Connexion Ethernet MAC.
- Interface SD/MMC.
- Interface CAN.
- Interface I2S.

L'ESP32 est donc un microcontrôleur très polyvalent, offrant de nombreuses interfaces de communication et de capteurs intégrés pour une large gamme d'applications IoT et embarquée [35].

II.3.1.7 Broches de l'ESP32

II.3.1.7.1 Broches d'entrée analogique (ADC)

Les broches d'entrée analogique (ADC) de l'ESP 32 avec 38 broches sont réparties comme suit :

Pour l'ADC1	GPIO36, GPIO37, GPIO38, GPIO 39, GPIO 32, GPIO 33, GPIO 34, GPIO 35.
Pour l'ADC 2	GPIO 4, GPIO 0, GPIO 2, GPIO 15, GPIO 13, GPIO 12, GPIO 14, GPIO 27, GPIO 26, GPIO25

Tableau II.2 Broches d'entrée analogique (ADC).

Note

Généralement, les broches GPIO 37 et GPIO 38 ne sont pas disponibles si votre carte dispose d'un module WROOM ou WROVER. Ces modules n'exposent pas ces broches. Seules les cartes qui utilisent directement la carte ESP32 (sans module) peuvent les exposer.

II.3.1.7.2 Broches Convertisseur numérique-analogique (DAC)

L'ESP 32 avec 38 broches dispose de deux convertisseurs numérique-analogique (DAC) :

- Le DAC1 est connecté à la broche GPIO 25.
- Le DAC 2 est connecté à la broche GPIO 26.

Donc les deux broches DAC de l'ESP 32 à 38 broche sont GPIO 25 (DAC1) et GPIO 26 (DAC2) [35].

II.3.1.7.3 Broches UART [35]

Les broches UART de l'ESP 32 à 38 broches:

L'ESP32 dispose de 3 ports UART : UART0, UART1 et UART2.

UART0	GPIO1 (TX0) et GPIO3 (RX0).Ces broches sont utilisées pour communiquer avec l'ordinateur via le port USB.
UART1	UART1 peut être utilisé mais nécessite de réassigner les broches car les broches par défaut GPIO 9 (TX1) et GPIO 10 (RX1) sont utilisées pour la mémoire flash.
UART2	GPIO 16 (TX2) et GPIO17 (RX2).

Tableau II.3 Broches UART.

Broches réservées

- Les broches GPIO 6 à 11 sont réservées pour la mémoire flash et ne doivent pas être utilisées.

II.3.1.8 Brochage de la carte de développement ESP32

Pour la carte de développement ESP32 avec 38 broches, voici un aperçu du brochage typique

- **Broches d'alimentation** : Vous trouverez généralement des broches pour l'alimentation 3.3V et GND pour alimenter votre ESP32 ainsi que vos périphériques.
- **Broches GPIO** : Ces broches sont essentielles pour la communication avec d'autres périphériques comme les capteurs, les actionneurs, etc. Elles sont souvent utilisées pour lire des données ou envoyer des signaux.

- **Broches de communication** : Les broches dédiées aux protocoles de communication tels que UART, SPI, I2C sont utilisées pour établir des liaisons avec d'autres appareils ou modules.
- **Broches spéciales** : Certaines broches peuvent être réservées à des fonctions spécifiques telles que la mise à la terre, le contrôle du mode de veille
- **Capteur à effet Hall**

La carte de développement ESP 32 à 38 broches dispose d'un capteur à effet Hall intégré :

L'ESP 32 comprend un capteur à effet Hall interne qui peut être utilisé pour détecter la présence de champs magnétiques à proximité, il peut être utilisé pour des applications de détection de mouvement ou de proximité, par exemple pour détecter la présence d'un aimant à proximité du module ESP3217.

- **Capteur Capacitif**

La carte ESP32 à 38 broches dispose des capteurs capacitifs internes qui peuvent être utilisés comme des boutons tactiles. Ces capteurs capacitifs sont connectés aux broches GPIO suivantes : [35]

TOUCH 0	GPIO 4
TOUCH 1	GPIO 0
TOUCH 2	GPIO 2
TOUCH 3	GPIO 15
TOUCH 4	GPIO 13
TOUCH 5	GPIO 12
TOUCH 6	GPIO 14
TOUCH 7	GPIO 27
TOUCH 8	GPIO 33
TOUCH 9	GPIO 32

Tableau II.4 Les broches GPIO de Capteur Capacitif.

Ces capteurs capacitifs peuvent être utilisés pour détecter des interactions tactiles ou pour réveiller l'ESP 32 du mode Deep Sleep, contribuant ainsi à la gestion de l'énergie dans les projets électroniques utilisant cette carte de développement.

II.3.1.9 Les bus de communication

Des bus de communication disponibles sur la carte ESP 32 à 38 broches.

1 / L'ESP 32 dispose de 2 bus I2C :

- I2C : Utilisé par défaut par les bibliothèques arduino, connectées aux broches GPIO22 (SCL) et GPIO 21 (SDA).

- I2C1 : Peut être utilisé sur n'importe quelles broches, par exemple GPIO 14 (SCL) et GPIO 12 (SDA).

2 / L'ESP 32 dispose de 3 ports UART.

3 /Autres bus

- L'ESP 32 dispose également de 2 broches DAC (GPIO 25 et GPIO 26) pour la conversion numérique-analogique.
- Il intègre aussi un capteur à effet Hall qui peut être lu via la fonction Hall Read ().

Les principaux bus de communication disponibles sur l'ESP 32 à 38 broches sont les bus I2C (I2C0 et I2C1) et les ports UART (UART0, UART1 et UART2).

Les convertisseurs (ADC et DAC)

Les principales informations sur les convertisseurs ADC et DAC de la carte ESP32 38 pins :

L'ESP 32 possède 2 ADC séparés : l'ADC1 avec 8 canaux et l'ADC 2 avec 10 canaux, pour un total de 18 entrées analogiques. Cependant, l'ADC 2 ne peut pas être utilisé lorsque le Wi-Fi est activé, car il est utilisé par le Wi-Fi.

En ce qui concerne les sorties DAC, l'ESP 32 possède 2 sorties DAC de 8 bits pour convertir un signal numérique en un signal analogique. Cependant, la résolution de seulement 8 bits du DAC est insuffisante pour des applications audio sans détérioration, il est donc préférable d'utiliser un DAC externe avec une meilleure résolution (12-24 bits) et d'utiliser le bus I2S de l'ESP 32.

Donc, la carte ESP 32 38 pins dispose de :

- 18 entrées analogiques (ADC1 avec 8 canaux, ADC2 avec 10 canaux)
- 2 sorties DAC de 8 bits

Bien que les fonctionnalités ADC et DAC soient présentes, leurs résolutions limitées les rendent plus adaptés à des applications simples de mesure et de génération de signaux analogiques.

II.3.2 Outils de développements

Pour programmer le microcontrôleur ESP32, il existe plusieurs options de logiciels de l'environnement de développement intégré (IDE) qui peuvent être utilisés tels que :

Arduino IDE, Micro python, Logiciel mu, Chacun de ces logiciels offre des fonctionnalités spécifiques et des avantages pour les développeurs.

Dans ce projet on va utiliser le logiciel arduino IDE est un logiciel électronique multiplateforme qui permet de programmer des cartes arduino et ESP32, en utilisant un langage plus simplifié dérivé du langage C et C++. Servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au microcontrôleur à travers des liaisons série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module).

L'environnement de programmation open-source pour arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

Structure générale du programme (Arduino IDE)

Le logiciel de programmation Arduino IDE est connu par son interface simple.

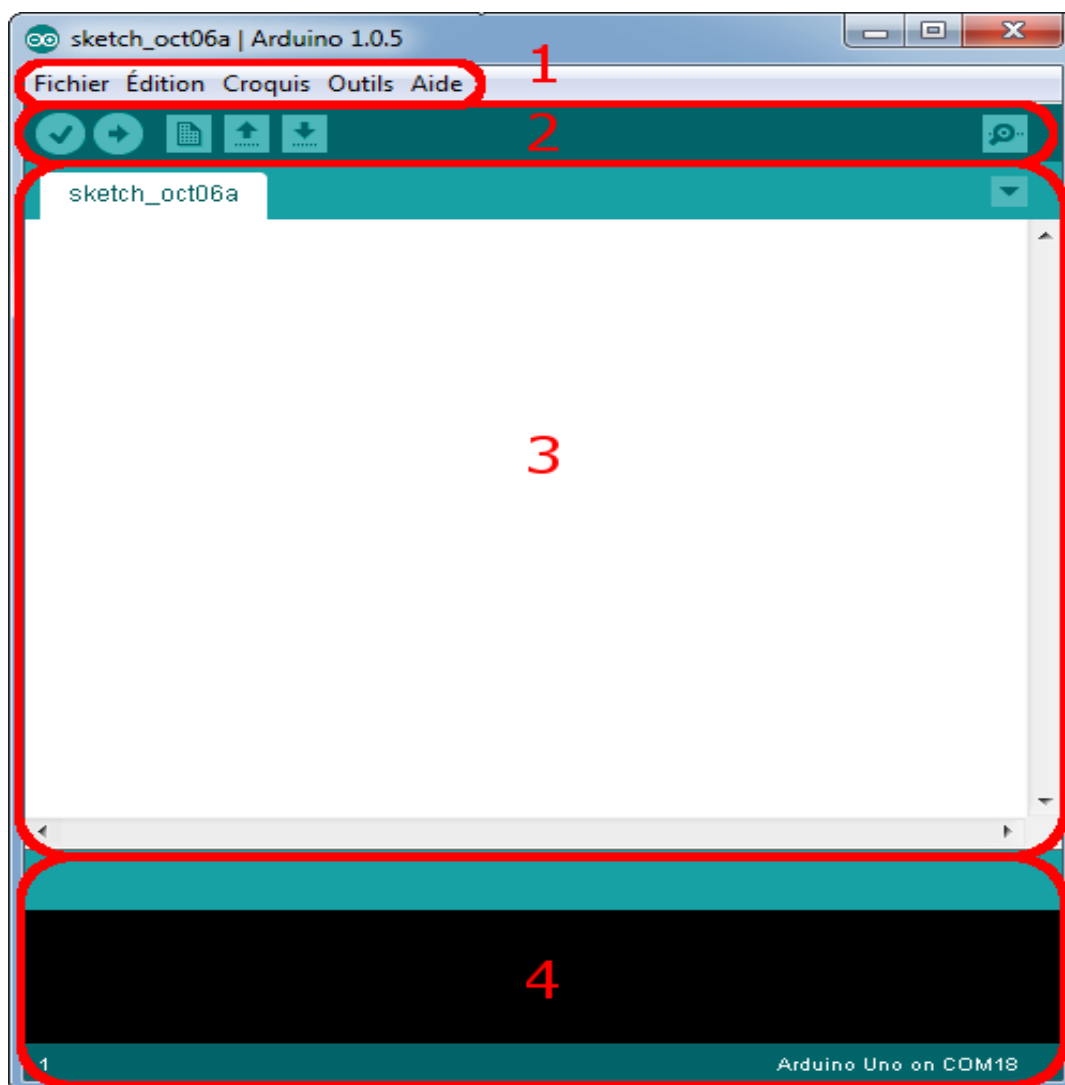


Figure II.13 Interface de programmation d'Arduino.

1. Options de configuration du logiciel.
2. Barre d'action.
3. Ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
4. Débogueur (il va nous aider à corriger les erreurs de programmation).

La barre d'action est illustrée comme suite :

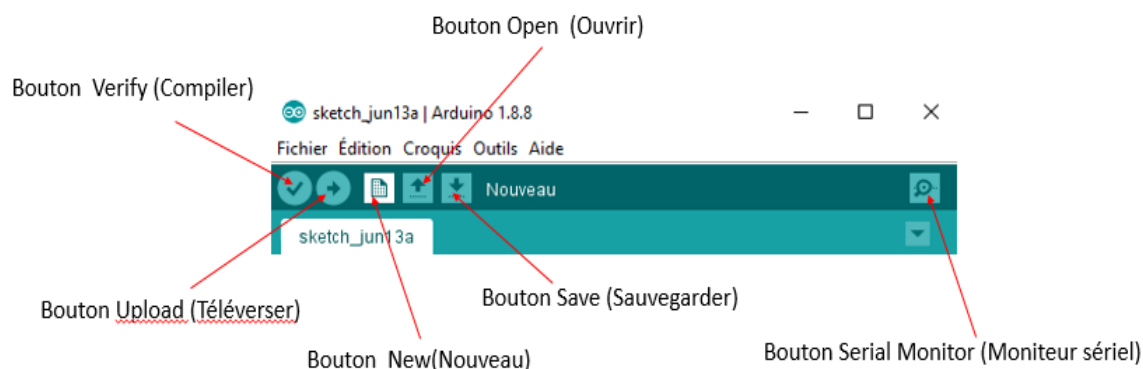


Figure II.14 La barre d'action.

Injection du programme

Donc pour programmer l'ESP 32 avec l'Arduino IDE, vous devrez suivre les étapes suivantes :

1. Installer les outils nécessaires : Vous devrez installer les outils spécifiques pour l'ESP 32 dans l'Arduino IDE.
2. Ajouter le support ESP32 : Dans le menu Préférences de l'Arduino IDE, vous devrez ajouter l'URL pour gérer les cartes supplémentaires. Pour cela, vous devrez rentrer l'URL : http://arduino.esp32.com/stable/package_esp32com_index.json .

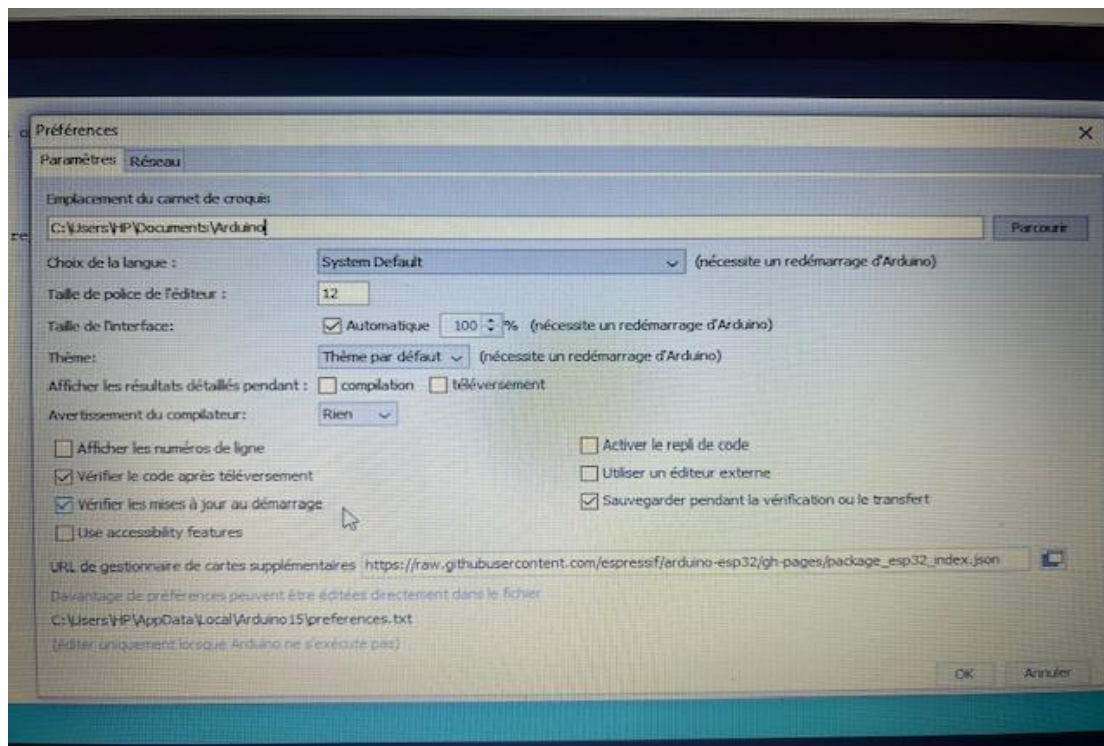


Figure II.15 : Présentation des préférences d'IDE Arduino

3. Sélectionner le Gestionnaire de cartes : Dans le gestionnaire, vous devrez sélectionner le paquet esp 32.

4. Choisir la cible : Vous pouvez maintenant choisir la cible Generic ESP32 Module 2.
5. Compiler et téléverser le programme : Une fois que vous avez tapé ou copié le code d'exemple et enregistré le code, il faudra compiler le programme. La première compilation est assez longue car tous les fichiers sources pour l'ESP 32, même ceux qui ne sont pas directement utilisés par le programme, sont compilés. Heureusement, seuls les fichiers modifiés seront compilés à la prochaine compilation. Pour cela, il suffit d'appuyer sur le bouton "Vérifier". Il faudra ensuite cliquer sur la flèche à côté pour téléverser le programme sur l'ESP 32.
6. Vérifier le téléversement : Une fois que le téléversement est fini, vous devriez voir la LED bleue clignoter plus vite qu'avant (sur les cartes uPeasy ESP32).
7. Exécuter le programme : Une fois que le téléversement est terminé, l'ESP 32 exécute directement le programme. C'est donc normal de ne pas voir le message "Mon premier programme" quand vous allez dans le moniteur série. Contrairement à l'Arduino, l'ESP32 ne redémarre pas lorsque l'on appuie sur la loupe pour aller dans le moniteur série.

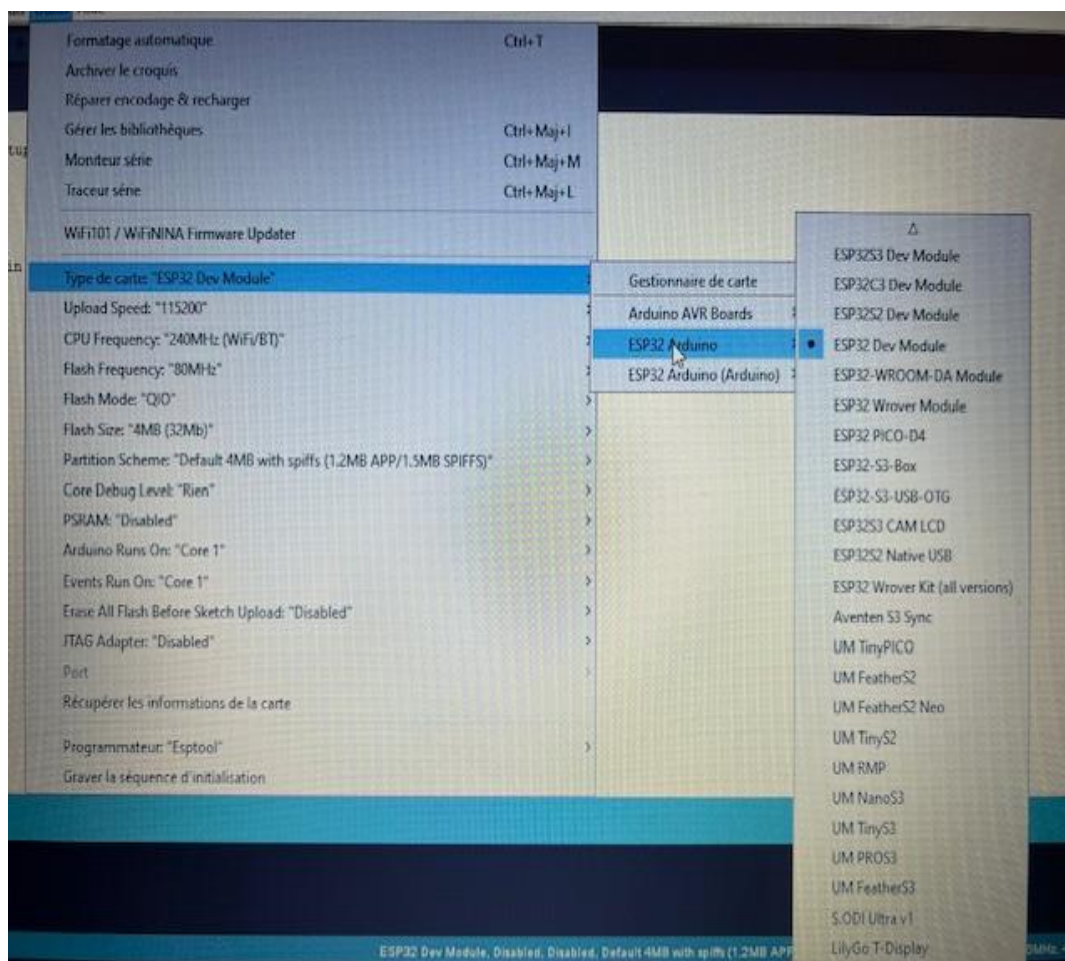


Figure II.16 Sélection de gestionnaire de carte.

- L'interactivité d'un objet connecté varie selon son besoin et sa fonctionnalité. Il peut être connecté à un réseau en permanence ou seulement lorsqu'il a besoin de communiquer des informations à travers le réseau.
- La représentation virtuelle d'un objet connecté est un programme résidant dans le Cloud qui peut agir au nom de l'objet physique connecté.
- Autonomie.

Enfin, un objet connecté doit fonctionner indépendamment d'un contrôle à distance et être autonome pour fonctionner correctement.

II.4.2 Fonctionnement d'un objet connecté

Pour communiquer, les objets connectés utilisent différentes technologies de communication spécialisées comme le (Machine-to-Machine). Ils sont généralement équipés de capteurs qui collectent régulièrement des données. Mais cela ne suffit pas.

Une fois les données collectées, l'objet doit pouvoir envoyer les données à une infrastructure dédiée où ces données peuvent être stockées. Celles-ci peuvent ensuite être analysées par des algorithmes informatiques intelligents afin de fournir aux utilisateurs des informations à valeur ajoutée.

II.5 Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les parties matérielles et logicielles de notre projet qui consistent en la carte à microcontrôleur ESP 32, l'ensemble des capteurs et l'internet des objets connectés l'IoT.

Chapitre III

Réalisation du circuit avec tests et

Résultats

III.1 Préambule

Avec l'avènement des nouvelles technologies dans le domaine de la santé, l'IoT a révolutionné le Secteur de la santé. Garder une trace de l'état de santé de votre patient à domicile est une tâche difficile en raison des horaires chargés du travail quotidien. Les patients particulièrement âgés doivent être surveillés périodiquement. Nous proposons donc un système innovant qui automatise cette tâche en toute simplicité. A cet effet un système intelligent de suivi de la santé des patients utilisant l'application REMOTE XY afin que les paramètres de santé des patients tels que la fréquence cardiaque et le niveau d'oxygène dans le sang ainsi que la température corporelle puissent être surveillés.

Dans ce chapitre nous allons connecter nos capteurs avec la carte ESP32, ensuite nous transmettons nos données vers l'application REMOTE XY et nous allons présenter à la fin de ce chapitre les résultats obtenus après la réalisation de ce système. Dans les paragraphes suivants, nous allons détailler les étapes d'élaboration du système.

III.2 Description du système de surveillance

Dans ce projet, nous apprendrons comment réaliser un projet de système de surveillance de la santé des patients basé sur l'IoT . Nous utiliserons le capteur d'oxymètre de pouls MAX 30102 pour mesurer la fréquence cardiaque/le pouls (BPM) ainsi que le niveau d'oxygène dans le sang (SpO2). Nous utiliserons un capteur de température DS18B20 pour mesurer la température du corps. De même, le patient doit être placé dans une pièce avec une certaine température et un certain niveau d'humidité afin qu'il ne se sente pas mal à l'aise. Pour ce faire, nous devons également surveiller la température et l'humidité de la pièce. Nous utiliserons donc le capteur d'humidité et de température DHT11.

III.3 Elaboration du système de mesure

La partie acquisition et la partie transmission constituent principalement le système de surveillance. Le système de mesure est élaboré en deux étapes principales : la première étape consiste à connecter les différents capteurs à la carte ESP32, puis à intégrer le programme dans le microcontrôleur afin d'obtenir les différentes mesures. La deuxième étape consiste à transmettre les mesures obtenues à distance à un téléphone portable distant connecté à Internet. Le module Wifi intégré dans la carte ESP32 est connecté à Internet pour assurer la transmission.

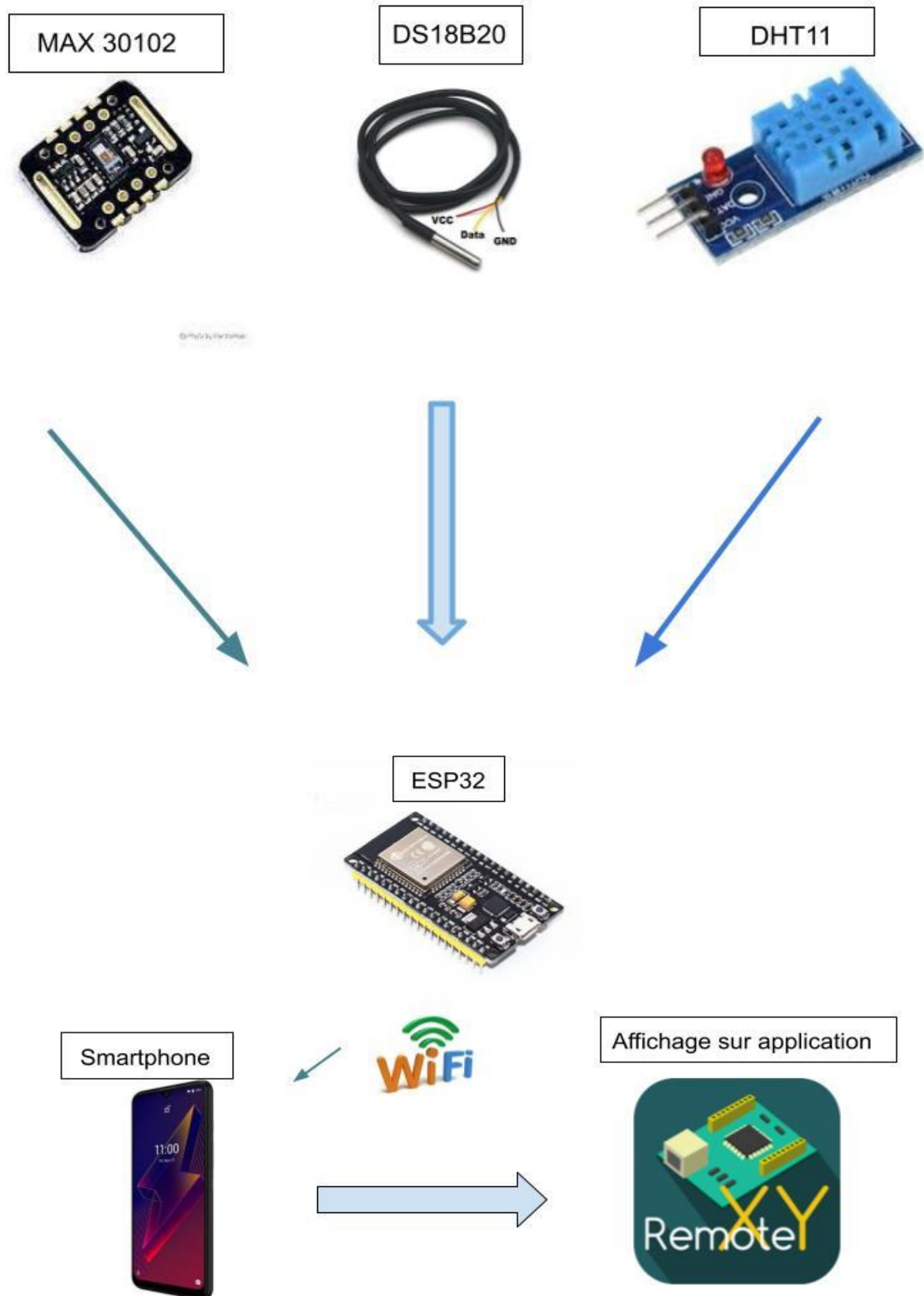


Figure III.1 Schéma synoptique du système de surveillance.

III.4 Schéma d'interconnexions des composants

La réalisation et la mise en œuvre de ce système consiste à établir les différentes liaisons et connexions entre les capteurs avec la carte ESP 32. Afin d'assurer une bonne acquisition des données faut veiller à ce que le branchement soit réalisé d'une manière juste et fiable tout en respectant les normes de chaque capteur et pour éviter les endommagements et toutes formes de grabuges.

Pour réaliser notre projet de système de surveillance, nous avons utilisé le logiciel Fritzing.

❖ Logiciel Fritzing

Fritzing est un logiciel open source développé par l'université de Postdam aux Pays-Bas et destiné aux designers, artistes ou chercheurs pour créer des circuits électroniques, comme le permet SPICE. Plusieurs vues sont disponibles, il permet notamment de réaliser des schémas de câblage sur platine d'essai, construire des schémas structurels que nous utilisons avec arduino ou encore dessiner et créer des typons.

Le schéma ci-dessous présente le schéma de réalisation du système avec le logiciel Fritzing :

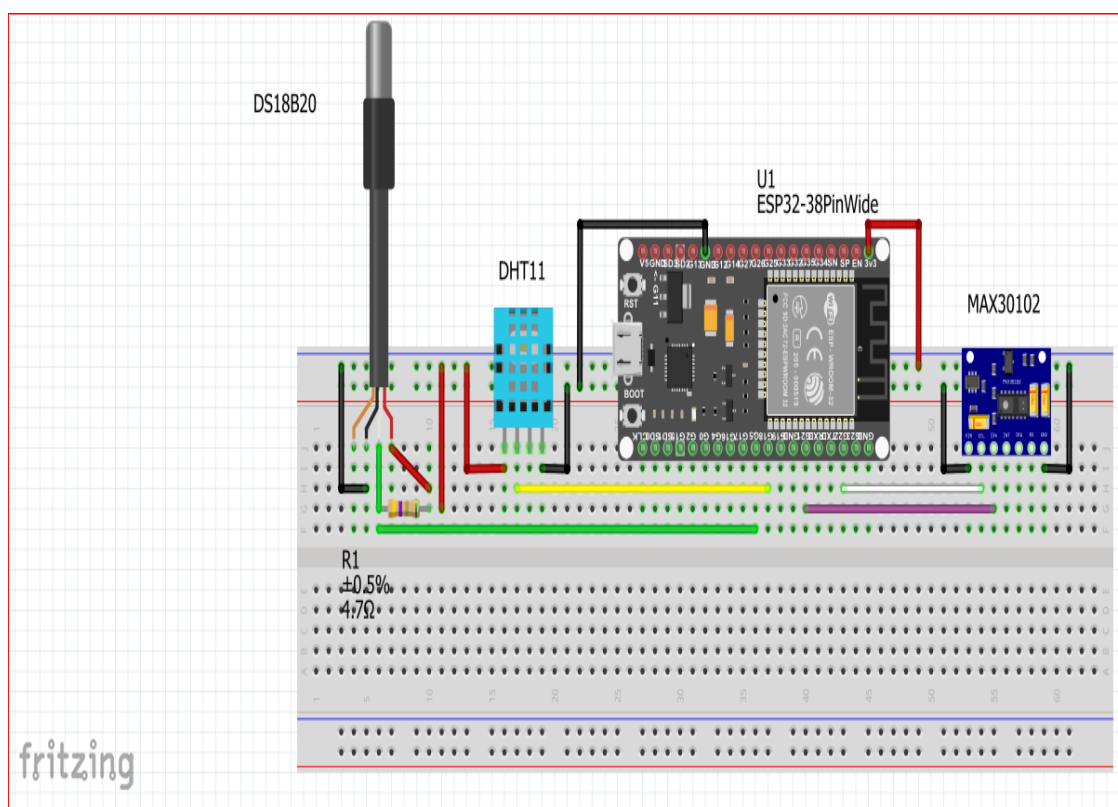


Figure III.2 Schéma d'interconnexions des composants.

Comme le montre le schéma, le système est composé essentiellement de trois capteurs connectés avec la carte ESP 32.

- MAX 30102 alimenté avec une tension 3.3v et SCL relié avec la pin 22 pour SDA connecté

au pin 21.

➤ Capteur DHT11 alimenté avec une tension 3.3V, la branche (-) est reliée à la masse GND et la sortie (S) est connectée au pin 18 de la carte ESP 32.

➤ Pour le capteur DS18B20, nous avons connectée :

La broche DATA à la broche 5 de la carte ESP32.

La broche VCC à la broche 3.3V de la carte ESP32.

La broche GND à la broche GND de la carte ESP32.

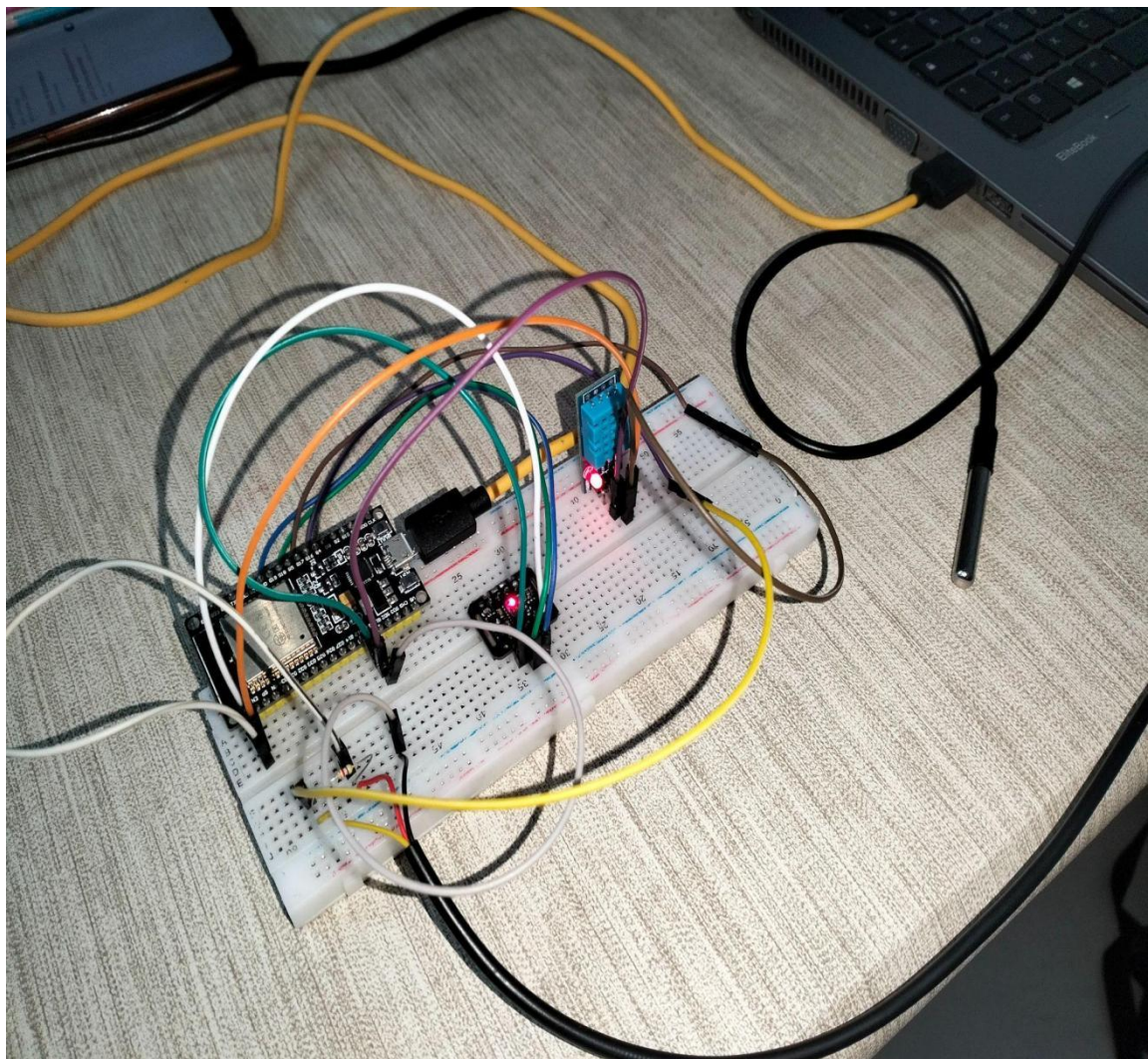


Figure III.3 Photo réelle de système de surveillance de la santé des patients.

Une fois notre branchement réalisé, l'étape suivante concerne la programmation de notre carte.

Un programme d'acquisition est injecté dans la carte via le port série (COM 5), et nous obtenons les résultats sur le moniteur série :

```

COM5
Température DS18B20: 27.56 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=71, heartRateValid=1; SPO2=69, SPO2Valid=1
Température DHT11: 26.00 °C Humidité: 43.80 %
Température DS18B20: 27.50 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=150, heartRateValid=1; SPO2=97, SPO2Valid=1
Température DHT11: 26.00 °C Humidité: 43.90 %
Température DS18B20: 27.44 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=78, heartRateValid=1; SPO2=94, SPO2Valid=1
Température DHT11: 26.00 °C Humidité: 43.80 %
Température DS18B20: 27.44 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=-999, heartRateValid=0; SPO2=-999, SPO2Valid=0
 Défilement automatique  Afficher l'horodatage
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Creation de l'objet DallasTemperature
// Variables pour MAX30102

```

Figure III.4 Affichages des paramètres BPM /SpO2/ la température / l'humidité et la température du corps lues sur le moniteur série.

III.5 Programmation de la carte ESP 32

La programmation de la carte ESP32 doit passer par les étapes suivantes :

- Créer un projet.
- Écrire le programme puis l'enregistrer.
- Vérifier la syntaxe et corriger les éventuelles erreurs.
- Téléverser vers le microcontrôleur.

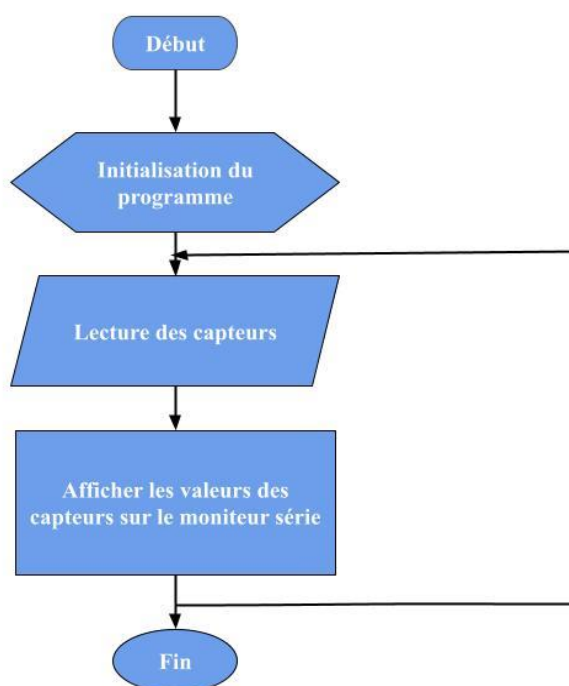


Figure III.5 Organigramme d'acquisition des valeurs.

III.6 Test et résultats des capteurs

Pour commencer la partie réalisation, nous avons décidé de tester chaque composant, avant de tout regrouper dans une seule maquette. Premièrement pour tester le fonctionnement des capteurs utilisés le capteur d'oxymètre de pouls MAX 30102 pour mesurer la fréquence cardiaque/le pouls (BPM) ainsi que le niveau d'oxygène dans le sang (SpO2), un capteur de température DS18B20 pour mesurer la température du corps et le capteur d'humidité et de température DHT11).

Nous avons essayé de faire un câblage entre ces capteurs et la carte ESP32. Une image réelle est présentée pour chaque câblage.

III.6.1 Mesure d'humidité et de température DHT11

La figure ci-dessous représente l'image réelle du teste du capteur DHT11.

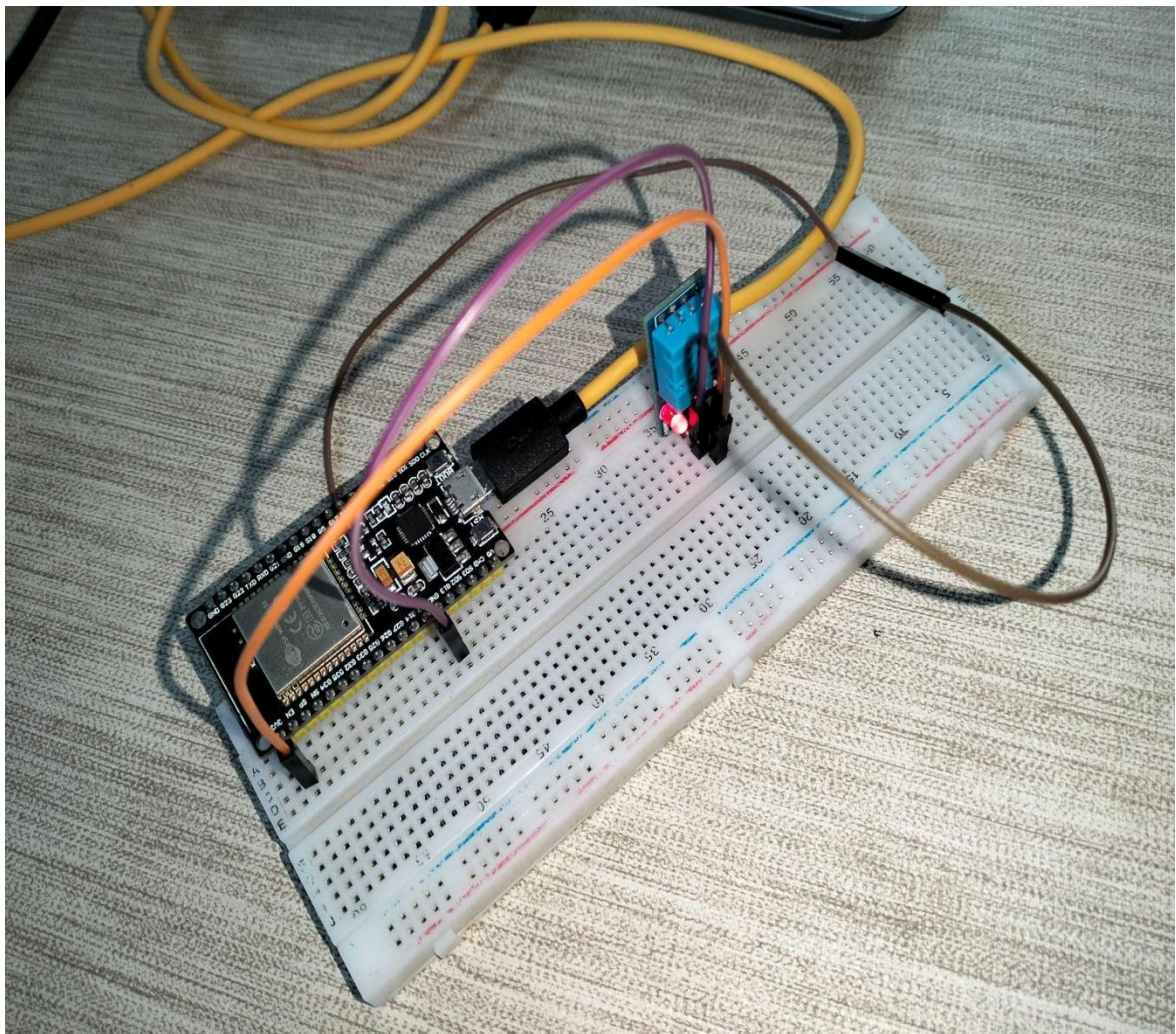


Figure III.6 Photo réelle du capteur DHT11.

Un programme d'acquisition est injecté dans la carte via le port série (com 5), et nous obtenons les résultats sur le moniteur série :

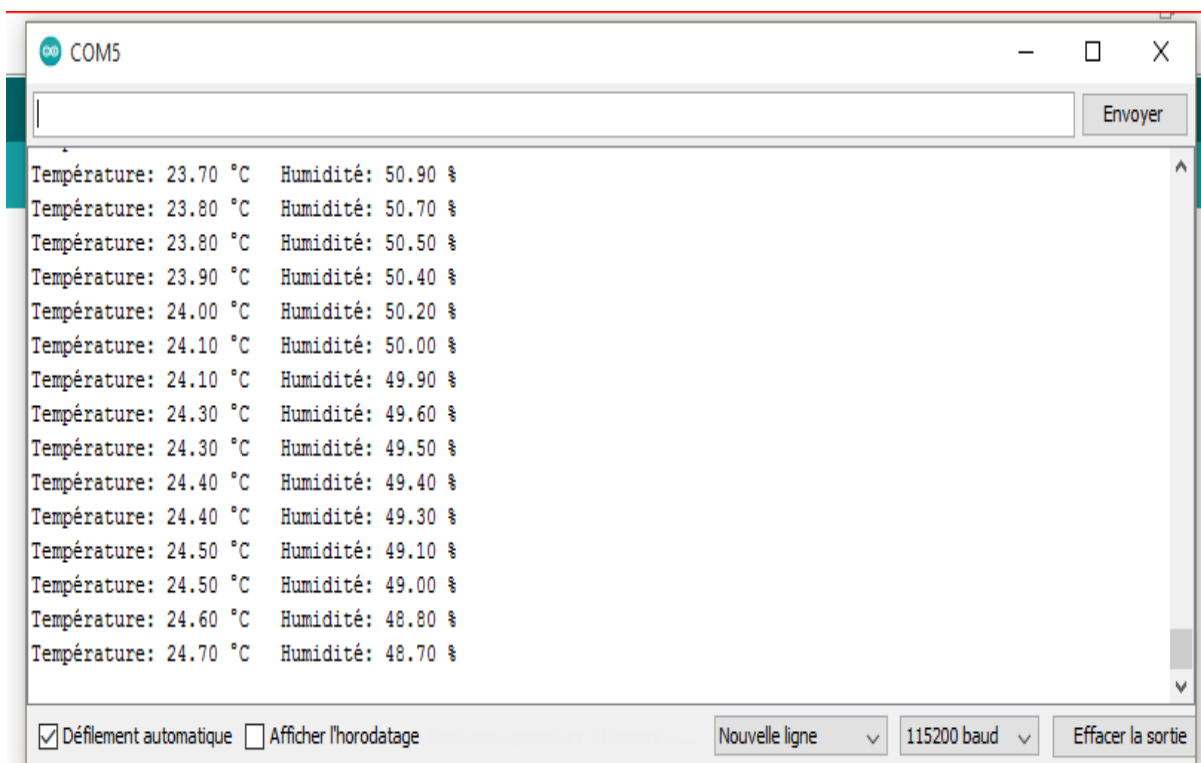


Figure III.7 Humidité et température lue sur le moniteur série.

La lecture des mesures de température se fait selon l'organigramme suivant :

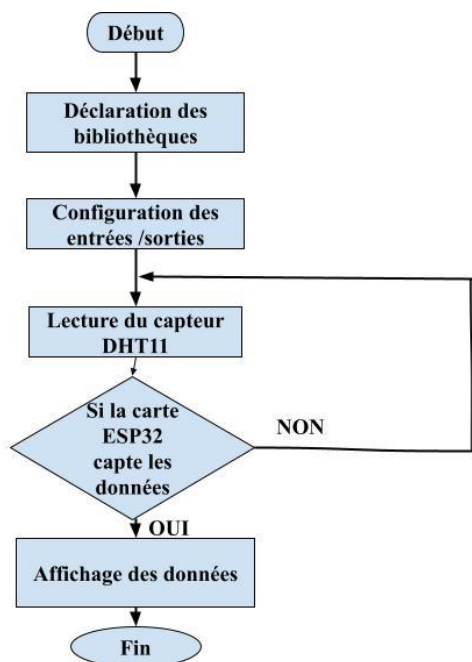


Figure III.8 L'organigramme du capteur de température DHT11.

III.6.2 Mesure de température corporel DS18B20

La figure ci-dessous représente l'image réelle du teste du capteur DS18B20.

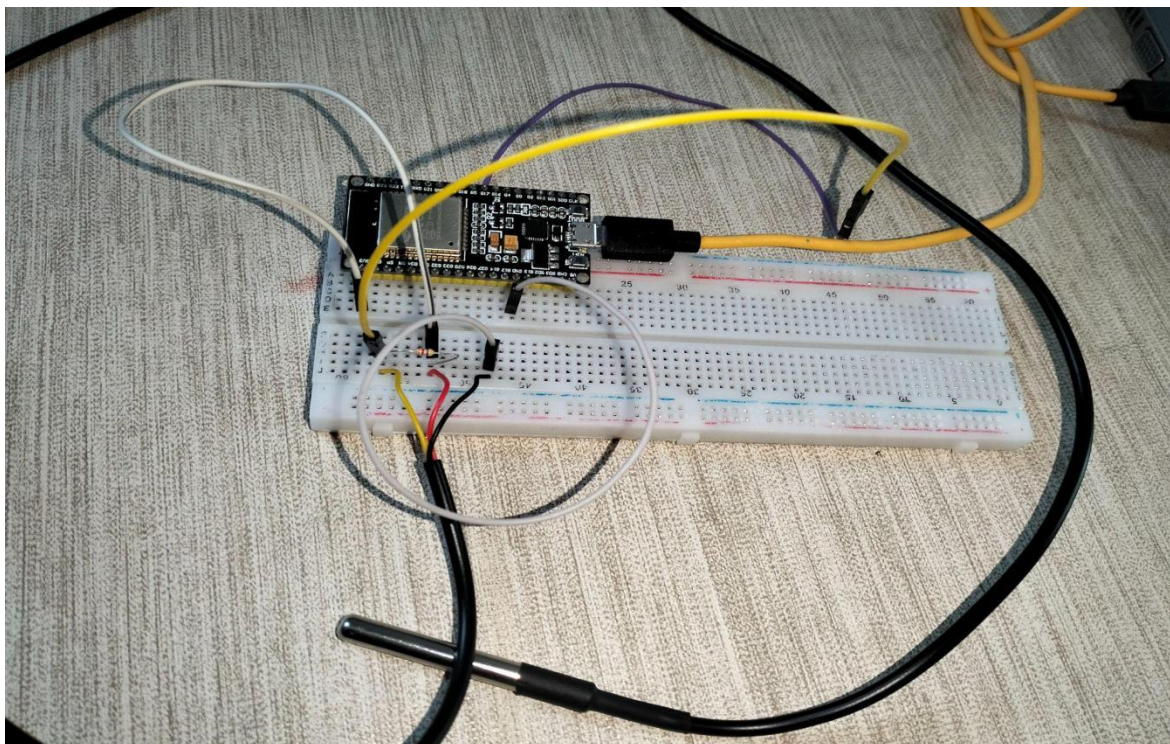


Figure III.9 Photos réelle de capteur DS18B20.

Un programme d'acquisition est injecté dans la carte via le port série (com5), et nous obtenons les résultats sur le moniteur série :

```
COM5
Température : 36.50 °C
Température : 36.50 °C
Température : 36.50 °C
Température : 36.50 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.50 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.56 °C
Température : 36.50 °C
 Défilement automatique  Afficher l'horodatage
float temperature = sensors.getTempCByIndex(0);
```

Figure III. 10 La température corporelle lue sur le moniteur série.

La lecture des mesures de température se fait selon l'organigramme suivant :

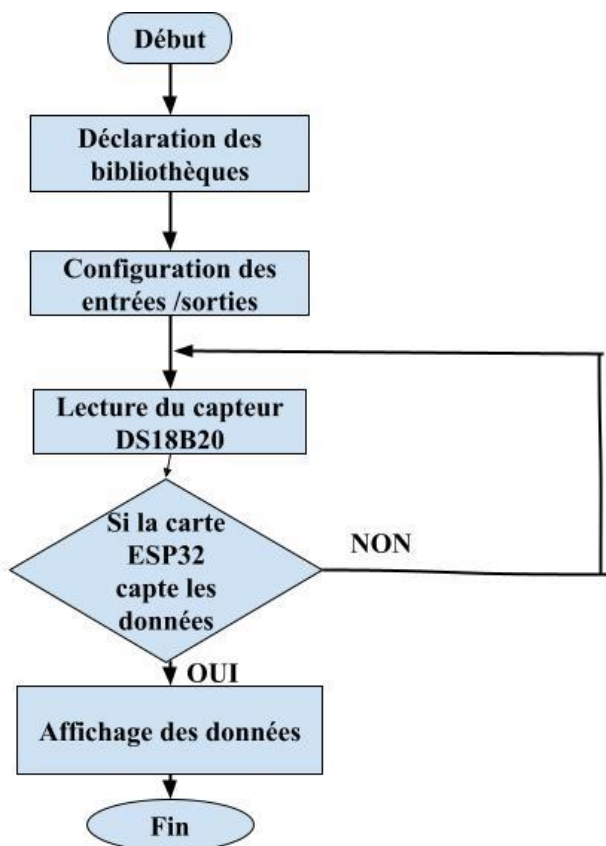


Figure III. 11 L'organigramme du capteur DS18B20.

III.6.3 Mesure de fréquence cardiaque ainsi que le niveau d'oxygène dans le sang avec capteur MAX 30102 :

La figure ci-dessous représente l'image réelle du teste du capteur MAX30102.

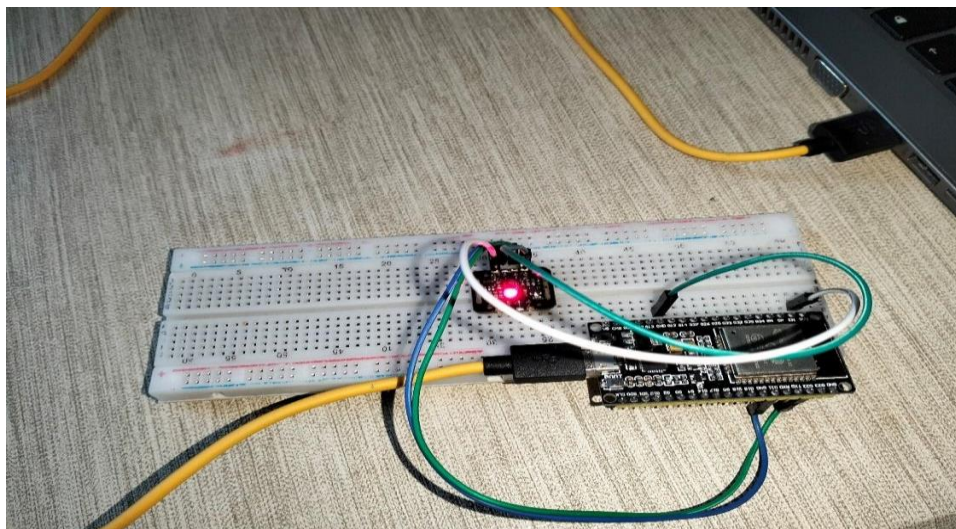


Figure III. 12 Photos réelle de capteur MAX 30102.

Un programme d'acquisition est injecté dans la carte via le port série (com5), et nous obtenons les résultats sur le moniteur série :

```

COM5
|
|
|
heartRate=100, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=100, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=88, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=93, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=93, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=93, heartRateValid=1; SPO2=100, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=107, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=93, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=100, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
heartRate=93, heartRateValid=1; SPO2=99, SPO2Valid=1
Wait about four seconds
particlesensor:heartRateAndOxygenSaturation() // SPO2= // $SPO2, // SPO2Valid= // $SPO2Valid, //
    
```

Figure III. 13 SPO2/ BPM lue sur le moniteur série.

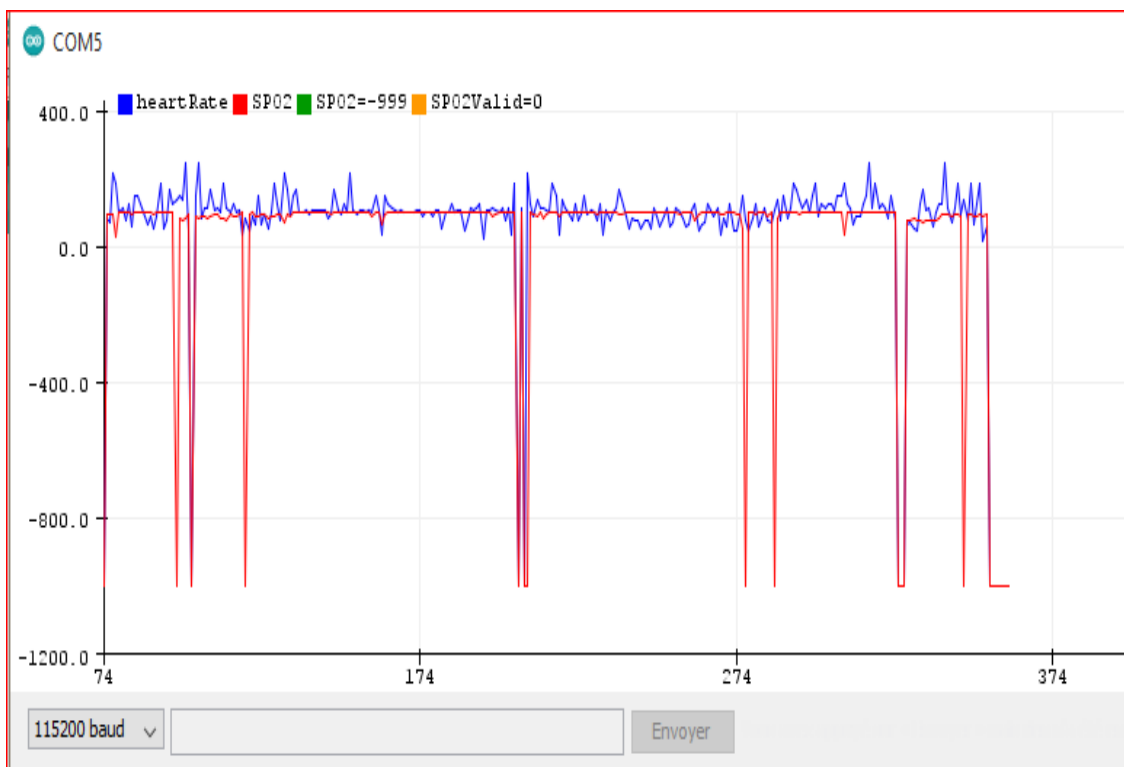


Figure III. 14 SPO2/ BPM lue sur le traceur série.

La lecture des mesures de fréquence cardiaque ainsi que le niveau d'oxygène dans le sang se fait selon l'organigramme suivant :

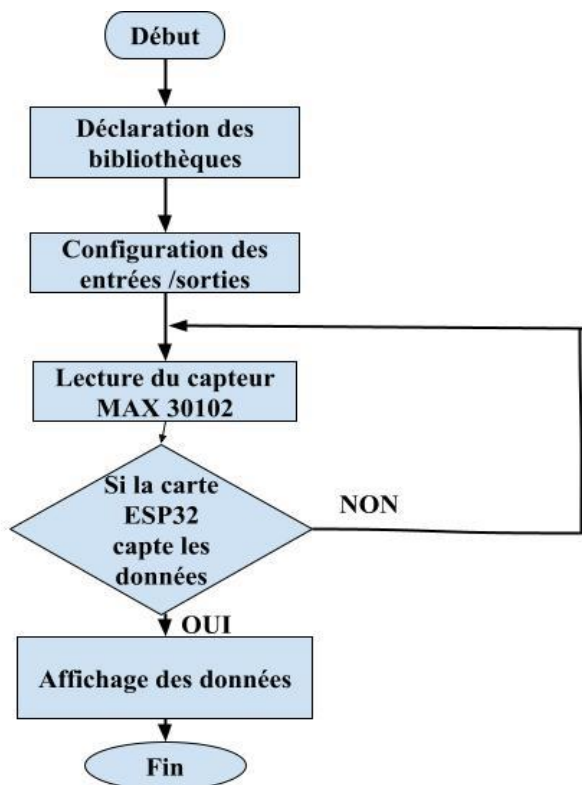


Figure III.15 L'organigramme du capteur MAX 30102.

III.7 Intégration et Utilisation de l'Application REMOTE XY

Nous explorerons l'intégration et l'utilisation de l'application REMOTE XY dans notre projet de système de surveillance.

III.7.1 Définition de REMOTE XY

REMOTE XY est une plateforme logicielle qui simplifie la conception d'interfaces utilisateur graphiques pour les projets IOT. Elle permet aux développeurs de créer des interfaces personnalisées sans nécessiter de compétences avancées en programmation pour l'interface utilisateur.

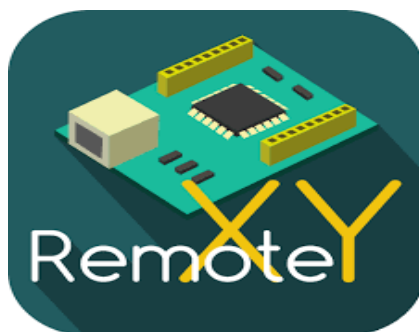


Figure III.16 L'application REMOTE XY

III.7.2 Les principales caractéristiques de REMOTEXY

- La possibilité de créer facilement des interfaces utilisateur graphiques pour les projets IOT, sans nécessiter de compétences avancées en programmation.
- Cette plateforme offre une interface intuitive pour concevoir des interfaces personnalisées et prend en charge une variété de composants d'interface, tels que les boutons, les sliders et les indicateurs.
- REMOTE XY permet une connexion sans fil avec les appareils IOT, offrant ainsi une flexibilité pour contrôler et surveiller les appareils à distance.

III.7.3 Création d'application REMOTE XY [39]

III.7.3.1 Fonctionnalités Principales de REMOTE XY

Pour la configurer il faut passer par quatre étapes essentielles.

- a. Création d'interface graphique.
- b. Configuration du projet.
- c. Téléchargement de code source.
- d. Installation d'application mobile.

On commence par :

Etape1 : Création d'interface graphique.

La première étape dans l'utilisation de REMOTEXY consiste à créer une interface graphique personnalisée. Pour cela :

1. Lancez l'application REMOTE XY sur votre ordinateur ou utilisez l'interface en ligne sur le site web de REMOTE XY.
2. Sélectionnez les composants d'interface graphique nécessaires à votre projet, tels que les boutons, les sliders, les jauges, les champs de texte, etc.
3. Personnalisez les propriétés des composants, comme leur couleur, leur taille, leur police, et leurs interactions. Cette personnalisation vous permet d'adapter l'interface graphique à vos besoins spécifiques.

Voici l'interface que on à créer pour notre projet :



Figure III.17 L'interface graphique

Etape 2 : Configuration du projet

La deuxième étape consiste la configuration des paramètres, REMOTE XY établit une connexion sans fil entre l'application mobile et la carte microcontrôleur permettant un contrôle à distance et cette configuration vous permet de spécifier les options de la carte et protocole de communication. Dans notre projet nous avons sélectionnez les paramètres suivants :

- Connexion : Points d'accès WIFI.
- Carte : ESP32.
- Module : WIFI intégré.
- IDE : Arduino IDE.

Et en suite en cliquant sur le bouton appliquer.

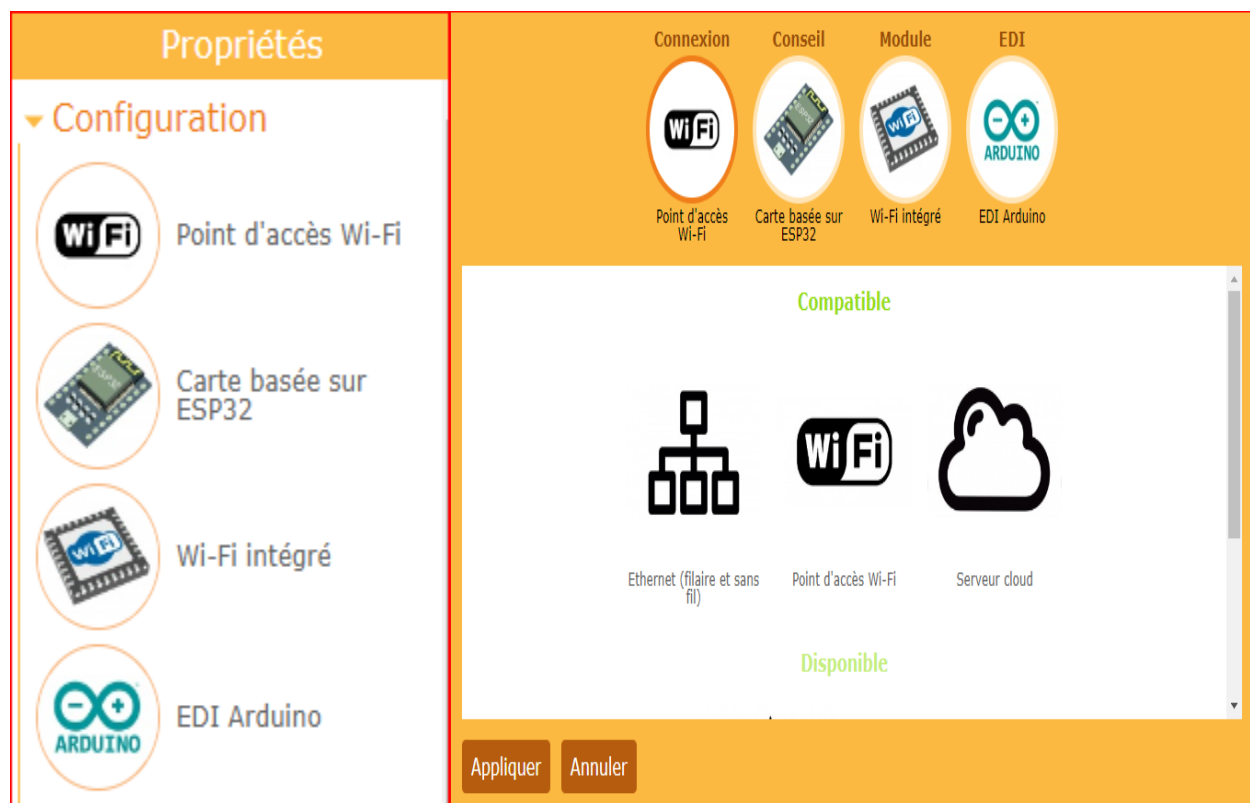


Figure III.18 La configuration des paramètres

On ouvre l'onglet interface module et on définit les valeurs des paramètres suivantes :

- Interface de connexion : série matérielle.
- Port série : série, broches0(RX) et1(TX).
- Vitesse : 115200 (bauds).
- Nom(SSID) : nom de réseau Wi-Fi.
- Mot de passe : mot de passe de votre réseau Wi-Fi

Etape 3: Téléchargement de code source.

Après avoir conçu votre interface graphique dans REMOTE XY selon vos préférences, vous devez générer le code source. Une fois que le code est prêt, téléchargez-le sur votre ordinateur. Ensuite, lancez votre environnement de développement arduino ou ESP32. Collez le code source que vous avez téléchargé depuis REMOTE XY dans un nouveau projet, enregistrez-le et compilez-le. Si la compilation réussit sans erreur, vous pouvez téléverser le code sur votre carte arduino ou ESP32.

Une fois cette étape terminée, votre projet sera chargé sur votre carte et prêt à être utilisé avec REMOTE XY pour créer une interface utilisateur graphique.



Figure III.19 Le code source

Etape 4 : Installation d'application mobile.

On installe l'application mobile REMOTE XY sur le téléphone en suite on lance l'application et en cliquant sur le bouton plus (+) une fenêtre s'ouvrira qui permet de sélectionner type de connexion dans ce projet nous avons utilisé une connexion points d'accès wifi.

Ensuite on appuis sur le bouton connecter, une interface graphique s'ouvrira.

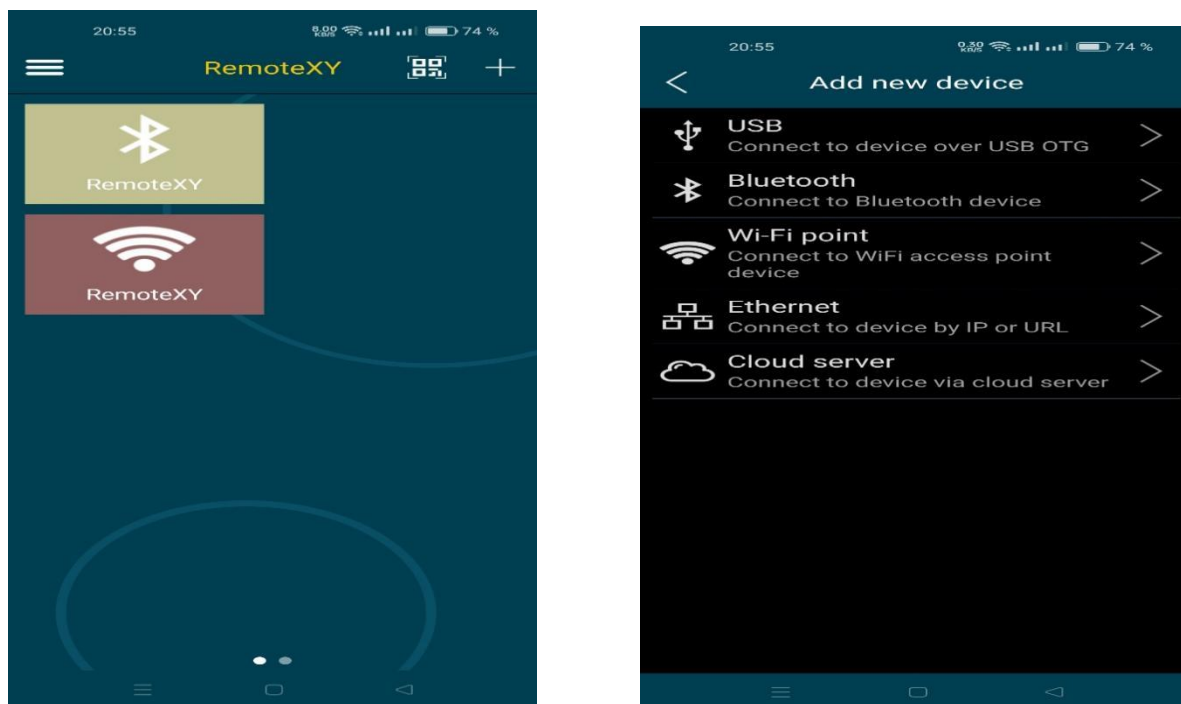


Figure III.20 L'application mobile

III.7.4 Fonctionnement de l'application

REMOTE XY fournit un moyen simple et efficace et pour se communiquer avec ESP32 utilise un protocole de communication spécifique définie. L'ESP32 doté d'un module WIFI joue le rôle d'un serveur web et points d'accès lit les données des capteurs connectés et stocke ces données dans sa mémoire flash. Ensuite elle formate les données des capteurs dans format approprié pour la transmission via HTTP et les envoie à la plateforme REMOTE XY via des requêtes HTTP.

La plateforme REMOTE XY reçoit les données des capteurs envoyée par ESP32 et les stocker dans sa base de données. Elle fournit des interfaces graphiques intuitives pour visualise données des capteurs en temps réel.

III.7.5 Les avantages de cette application

REMOTE XY présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, son interface utilisateur conviviale rend la création d'interfaces graphiques pour les projets IOT accessible à tous, sans nécessiter de compétences avancées en programmation. De plus, la possibilité de personnaliser les interfaces en fonction des besoins spécifiques de chaque projet offre une grande flexibilité aux utilisateurs. En outre, REMOTE XY génère automatiquement le code source correspondant à l'interface créée, ce qui permet d'économiser du temps et de réduire les erreurs potentielles. Avec sa compatibilité multiplateformes, REMOTE XY s'adapte à une variété de cartes de développement, offrant ainsi une grande souplesse dans le choix de la plateforme adaptée à chaque projet.

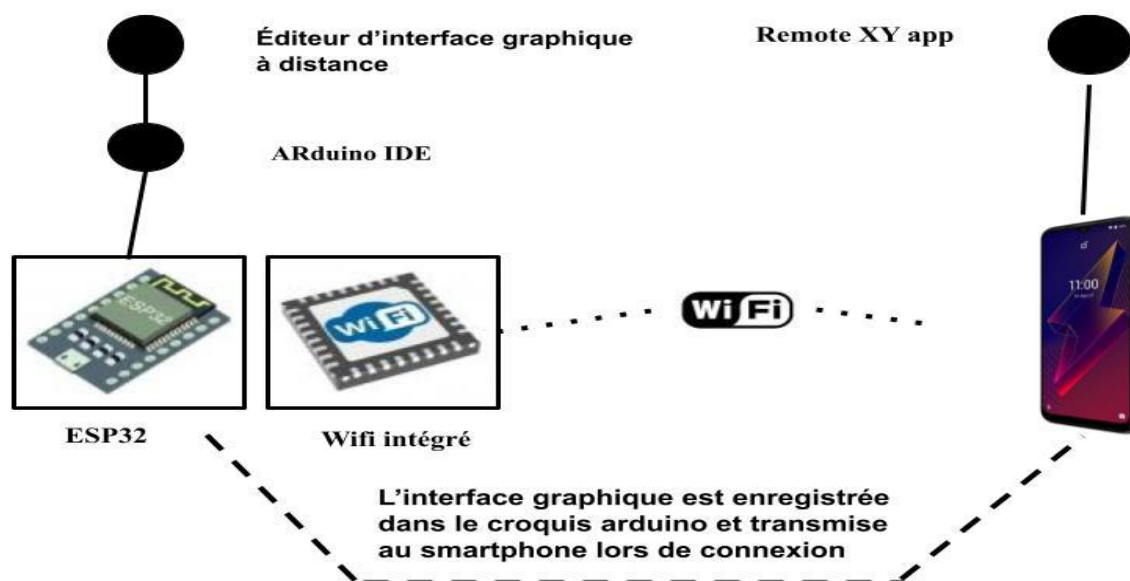


Figure III.21 Schéma synoptique de l'application REMOTE XY.

Après avoir créé l'interface et installé l'application, les paramètres suivants seront affichés sur l'application mobile en temps réel :

1. Température mesurée par le capteur DHT11.
2. Humidité mesurée par le capteur DHT11.
3. Température mesurée par le capteur DS18B20.
4. Taux d'oxygène dans le sang (SpO2) mesuré par le capteur MAX30102.
5. Fréquence cardiaque (battements par minute) mesurée par le capteur MAX30102.

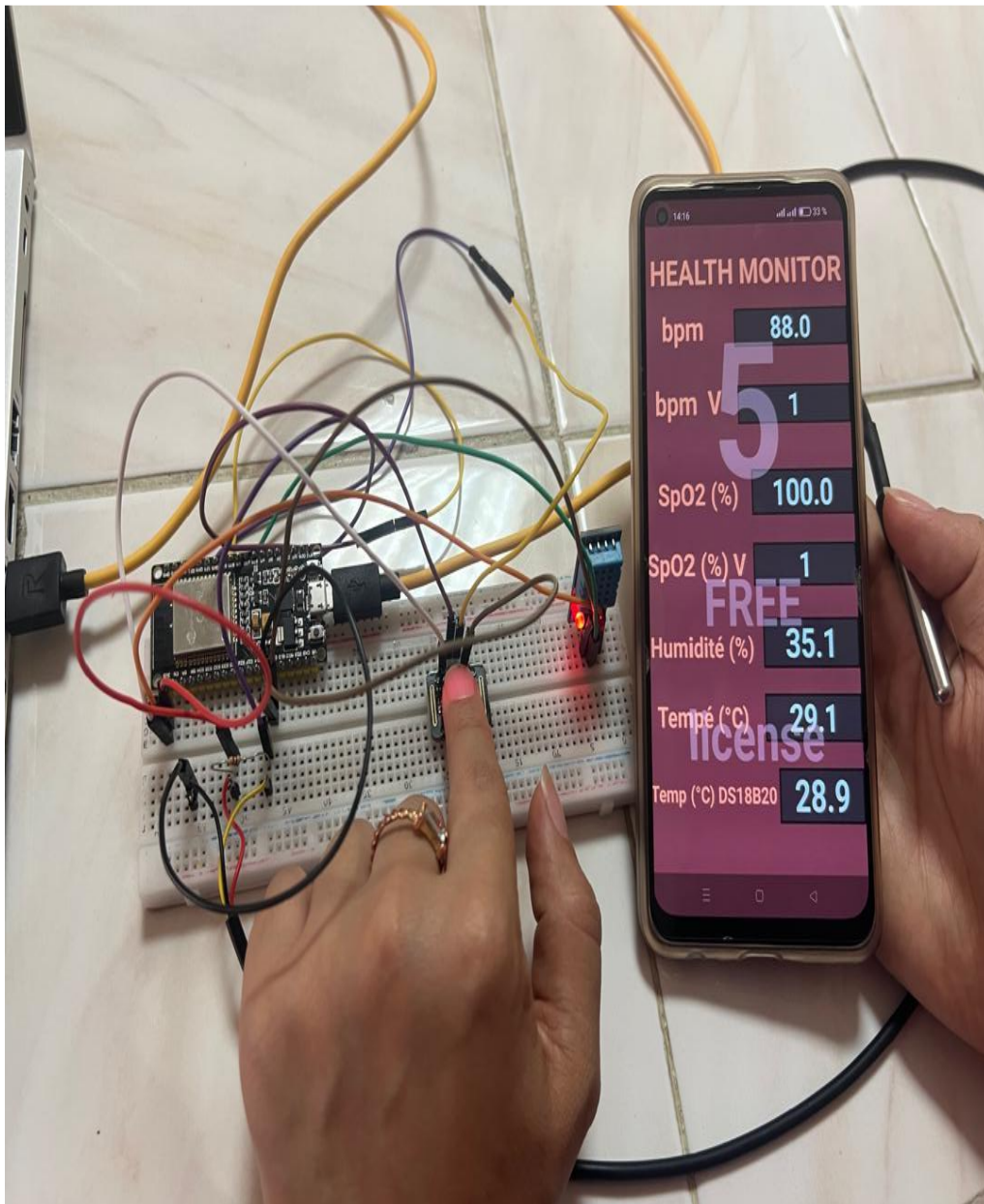


Figure III.22 Affichage des résultats sur l'application REMOTE XY.

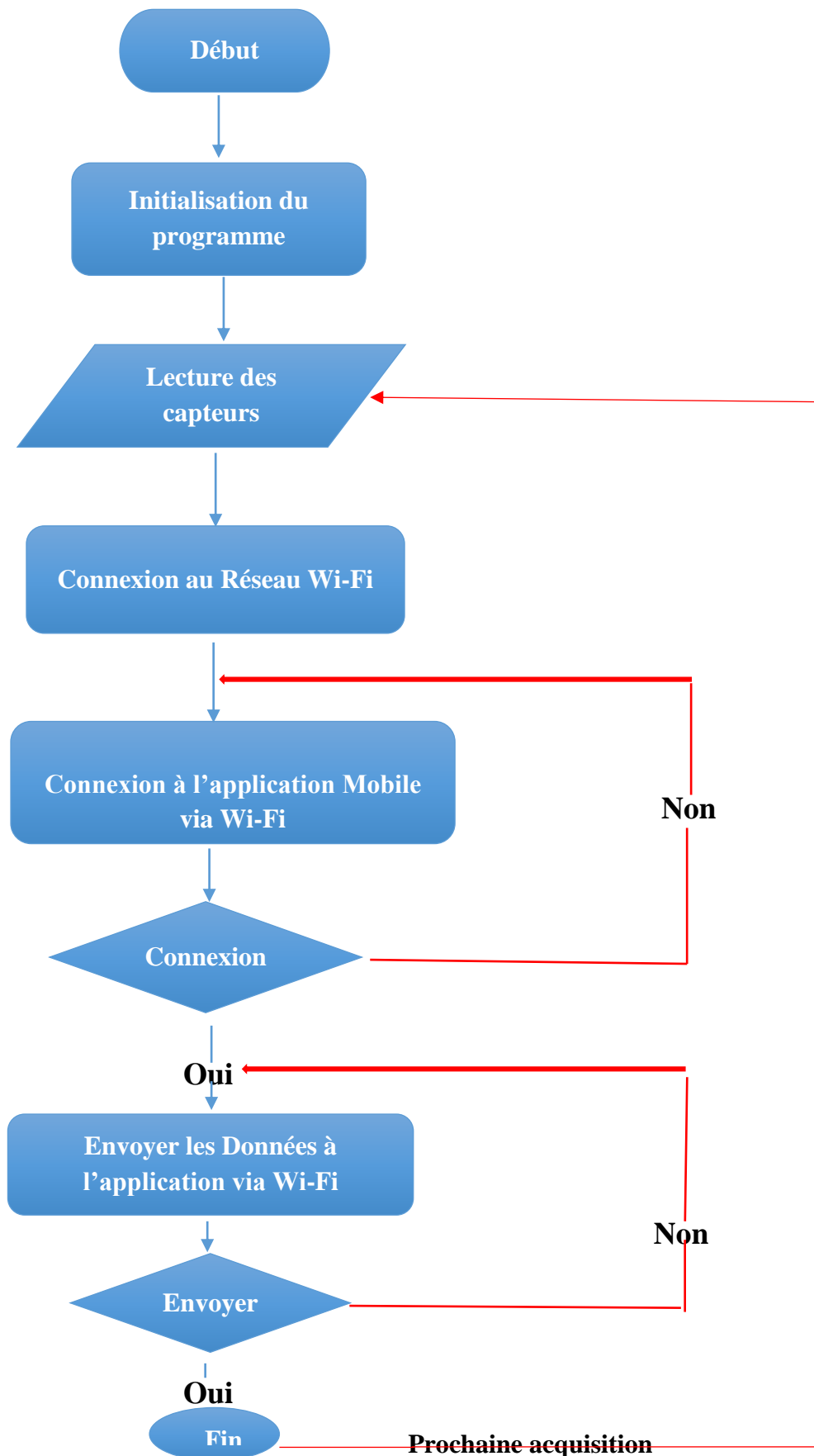


Figure III.23 Organigramme de transmission de données

III.8 Affichage des Résultats sur le Serveur Web

En complément de l'affichage des résultats sur l'application REMOTE XY, une seconde méthode de visualisation des données consiste à utiliser un serveur web intégré à l'ESP32. Cette méthode offre une alternative efficace pour accéder aux informations via un navigateur web.

III.8.1 Étapes pour Réaliser l'Affichage des Résultats

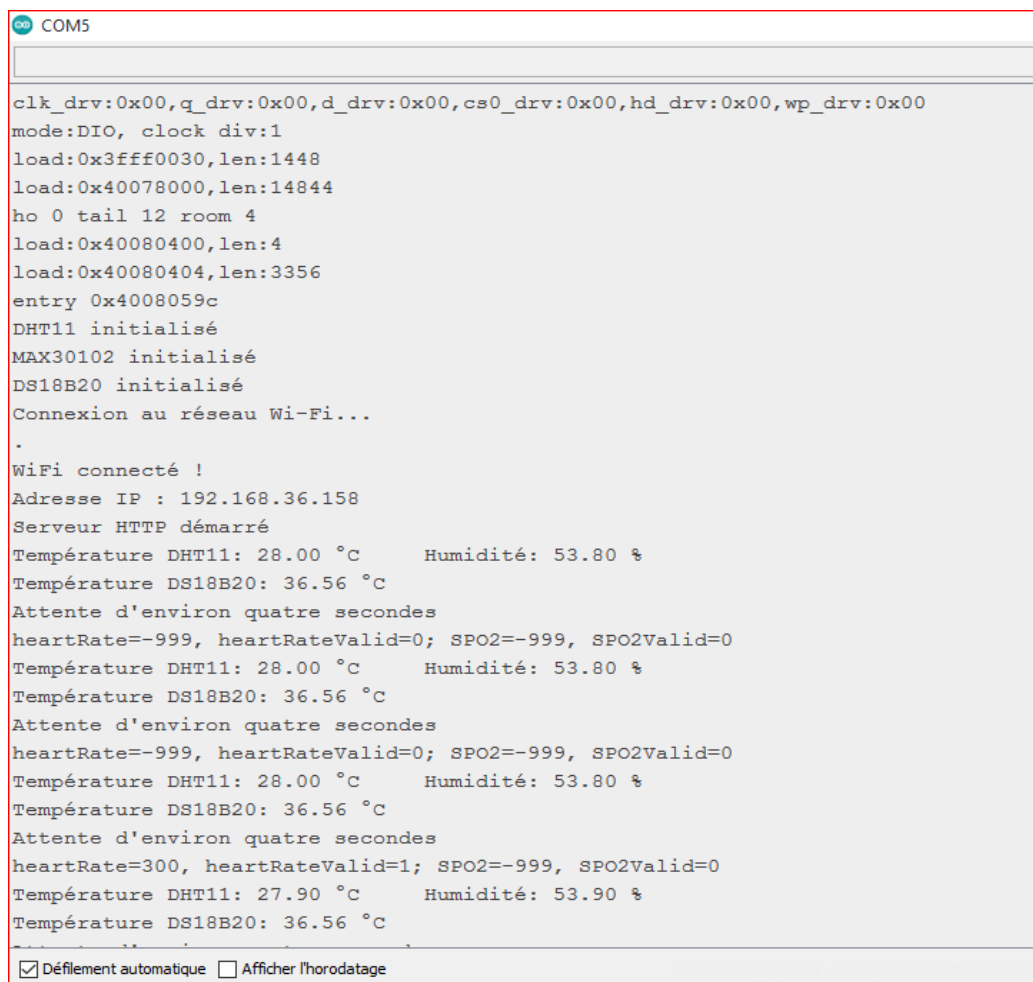
Connectez les capteurs DHT11, DS18B20, et MAX30102 à l'ESP32.

Connectez l'ESP32 au réseau Wi-Fi et configurez les capteurs DHT11, DS18B20 et MAX30102 pour collecter les données.

Utilisez la bibliothèque Web Server pour configurer un serveur HTTP sur l'ESP32.

Écrivez une fonction qui crée une page HTML affichant les données des capteurs.

Une fois le code téléchargé, vous pouvez ouvrir le moniteur série. L'ESP32 tentera de se connecter à un réseau. Une fois connecté, il affichera l'adresse IP.



```
COM5
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0030,len:1448
load:0x40078000,len:14844
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:4
load:0x40080404,len:3356
entry 0x4008059c
DHT11 initialisé
MAX30102 initialisé
DS18B20 initialisé
Connexion au réseau Wi-Fi...
.
WiFi connecté !
Adresse IP : 192.168.36.158
Serveur HTTP démarré
Température DHT11: 28.00 °C Humidité: 53.80 %
Température DS18B20: 36.56 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=-999, heartRateValid=0; SPO2=-999, SPO2Valid=0
Température DHT11: 28.00 °C Humidité: 53.80 %
Température DS18B20: 36.56 °C
Attente d'environ quatre secondes
heartRate=300, heartRateValid=1; SPO2=-999, SPO2Valid=0
Température DHT11: 27.90 °C Humidité: 53.90 %
Température DS18B20: 36.56 °C
 Défilement automatique  Afficher l'horodatage
```

Figure III.24 Affichage de l'adresse IP sur le moniteur série.

Copiez l'adresse IP et collez-la sur n'importe quel navigateur Web et appuyez sur Entrée. Vous verrez la température ambiante, l'humidité ambiante, la fréquence cardiaque, le niveau d'oxygène dans le sang, la température corporelle, etc.

Configurez le serveur pour actualiser les données toutes 2 secondes.

Les résultats des mesures des capteurs sont affichés sur une interface web hébergée par le serveur HTTP de l'ESP32. Cette interface est accessible depuis n'importe quel appareil connecté au réseau Wi-Fi, tel qu'un smartphone, une tablette ou un ordinateur. La mise à jour des données se fait toutes les 2 secondes, garantissant une surveillance en temps réel.

La figure ci-dessous montre les résultats obtenus à différentes périodes, qui ont été transmis à distance et affichés sur le smartphone.

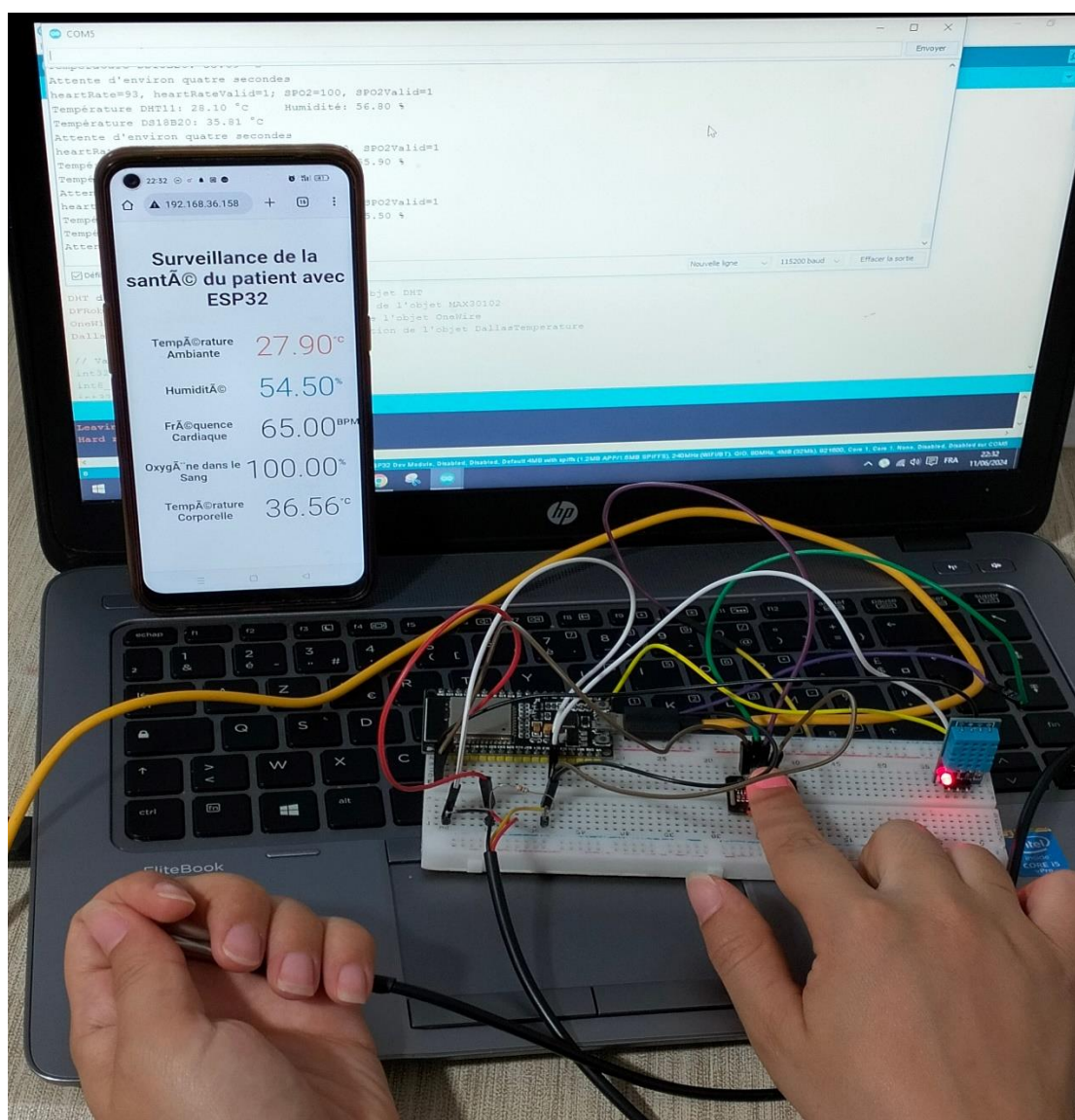


Figure III.25 Affichage des résultats sur le Smartphone.

III.9 Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les étapes d'élaboration du système de surveillance à distance pour la température et d'humidité et du rythme cardiaque nous avons fourni une explication détaillée sur les différentes étapes que nous avons suivies lors de la réalisation de notre système Ce système est composé du capteur de battement de cœur MAX 30102, du capteur DHT11 d'humidité et de température ambiantes et du capteur de température corporelle DS18B20, une carte à microcontrôleur ESP32 équipée d'un module de transmission Wifi vers un Smartphone . Après la réalisation du système, nous avons effectué plusieurs tests sur celui-ci, le système fonctionne et permet de surveiller à distance les différents paramètres du patient.

Conclusion et perspectives

Dans ce projet, nous avons conçu un système de surveillance médicale à distance. En combinant les capteurs MAX30102, DHT11 et DS18B20 avec la carte ESP32, nous avons pu collecter des données essentielles telles que le taux d'oxygène dans le sang, les battements cardiaques, la température ambiante et corporelle, ainsi que l'humidité environnante. Grâce à un processus de développement rigoureux, incluant l'acquisition, le traitement et la transmission des données via l'IoT, nous avons confirmé la fiabilité et l'efficacité de notre système lors de tests approfondis.

Pour l'avenir de ce travail, plusieurs axes d'amélioration prometteurs se profilent. L'intégration de la carte ESP32 CAM permettrait une visualisation en temps réel de l'état physique du patient, améliorant ainsi la réactivité et la prise en charge du système. De plus, l'exploration de capteurs médicaux plus avancés, tels qu'un tensiomètre, pourrait étendre les capacités de surveillance, offrant une solution plus complète pour le suivi médical à distance.

Cependant, il convient de noter que les capteurs actuellement utilisés ne sont pas toujours fiables à 100%. Par conséquent, nous aspirons à obtenir des capteurs plus précis pour garantir une collecte de données optimale et une prise de décision médicale plus sûre.

Enfin, l'intégration d'un module GPS offrirait une fonctionnalité supplémentaire pour le suivi de la localisation du patient, notamment dans les situations d'urgence.

En combinant ces améliorations, notre objectif est de créer un système de surveillance médicale à distance plus robuste et complet, répondant aux besoins croissants en matière de soins de santé à distance. Ces perspectives ouvrent la voie à de nouvelles avancées dans le domaine de la télémédecine, contribuant ainsi à améliorer les soins de santé et la qualité de vie des patients.

Références Bibliographique

[1]: Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). *Anatomie et physiologie humaines* (S. Dubé, P. Dubé, S. Chapleau, A. Desbiens, & S. Dupont, Trad.; J.-P. Regnault, Rév. ling.). Montréal, QC: Éditions du Renouveau Pédagogique Inc. (ERPI). Pages consultées : 318, 369, 437, 738, 772, 782, 848.

[2] Site de figure 1 : <https://www.istockphoto.com/fr/photos/syst%C3%A8me-cardiovasculaire>

[3] : <https://www.chu-rouen.fr/maladies-valves-cardiaques/fonctionnement-du-coeur/> consulté 19/03/2024 consulté le, 19/03/2024.

[4] Site de figure 2 : <https://www.chuv.ch/fr/cardiologie/car-home/patients-et-famille/fonctionnement-du-coeur>

[5] Site de figure 3 : Site de figure 3 : https://www.gastronomiac.com/cpt_produits_ingre/vaisseaux-sanguins/

[6] Site de figure 4 : <https://www.visiblebody.com/fr/learn/circulatory/circulatory-functions-of-the-blood>

[7]: <https://www.visiblebody.com/fr/learn/circulatory/circulatory-pulmonary-systemic-circulation> consulté le, 25/03/2024.

[8]: <https://www.tuasaude.com/fr/frequence-cardiaque/> consulté le, 04/04/2024 .

[9]: <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/sante-sciences-du-vivant/Essentiel-sur-le-cerveau.aspx>

[10] Site de figure 5: <https://www.visiblebody.com/fr/learn/nervous/brain>

[11]: <https://www.touturlasarcopenie.fr/muscle/> consulté le, 04/04/2024.

[12]: <https://www.visiblebody.com/fr/learn/muscular/muscle-types>

[13] Site de figure 6 : <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-anatomie-et-examens/2788161-muscle-squelettique- definition-schema/>

[14] Site de figure 7: https://www.researchgate.net/figure/Organisation-du-muscle-squelettique_fig2_322750535

[15]: <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/examens-medicaux-operations/Fiche.aspx?doc=electromyogramme> consulté le, 11/04/2024.

[16] Site de figure 8: <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-anatomie-et-examens/2584725-electromyogramme-emg-resultats-duree-maladie-tarif-douleur/>

- [17] Site de figure 9 : https://www.researchgate.net/figure/EMG-signal-process-recommended-Green-The-raw-signal-no-treatment-was-applied-until_fig2_258344784
- [18]: <https://www.altivie.fr/article/mesurer-taux-oxygene> consulté le, 11/04/2024 .
- [19] Site de figure 10 : <https://www.giroadmedical.com/blog/qu-est-ce-que-loxymetrie/>
- [20]: M. DOUDJEDID et B. BOURIAH << Elaboration d'un système de surveillance médicale basé sur ESP32 et IOT >> Mémoire de Master Mention Électronique à Université UMMTO 2020/2021.
- [21] Site de figure 11 : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-electrocardiogramme-3353/>
- [22]: <https://www.sante-sur-le-net.com/temperature-du-corps-humain-quand-sinquieter/>
- [23] Site de figure 12 : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14803/temperature-corporelle>
- [24] Site de figure 13 : <https://www.mediprostore.com/c/13-tension-arterielle-stethoscope>
- [25]: <https://letmeknow.fr/fr/autres-capteurs/2674-module-oxym%C3%A8tre-de-pouls-et-capteur-de-fr%C3%A9quence-cardiaque-%C3%A0-haute-sensibilit%C3%A9-max30102-652733719386.html> consulté le , 15/04/2024 .
- [26] Site de figure 1 : <https://www.dzduino.com/mh-et-live-max30102-module-de-capteur-de-frequence-cardiaque>
- [27]: <https://yadom.fr/capteur-de-capture-inox-ds18b20.html#:~:text=La%20sonde%20%C3%A0%20DS18B20%20communique,C%20%C3%A0%202B85%20%C2%B0%20C>
- [28] Site de figure 2 : <https://binarytech-dz.com/produit/capteurs-robotique/capteurs/capteurs-meteo/capteur-de-temperature-ds18b20-etanche/>
- [29]: <https://youpilab.com/components/product/capteur-dhumidite-et-de-temperature-dht-11#:~:text=Le%20capteur%20DHT11%20est%20capable,Ce%20module%20%C3%A0%203%20broches> consulté le, 04/05/2024.
- [30] Site de figure 3 : <https://tutoduino.fr/debuter/capteur-temperature/>
- [31] Site de figure 4 : <https://www.indiamart.com/proddetail/breadboard-400-tie-points-21680092912.html>

- [32] Site de figure 5 :<https://tikno.edutech.dz/products/Fils-de-liaison-pour-Arduino-connecteurs-Male-Male-longueur-200mm-p557718768>
- [33]:<https://powertech-dz.net/products/single/carte-de-developpement-esp32-esp-32-38pin-vente-composants-electronique-blida-algerie-50> consulté le, 20/04/2024.
- [34] Site de figure 6:<https://powertech-dz.net/products/single/carte-de-developpement-esp32-esp-32-38pin-vente-composants-electronique-blida-algerie-50>
- [35]:<https://smarthallroad.com/product/38-pin-nodemcu-esp32s-microcontroller-wifi-bluetooth-esp-wroom-32-development-board-module-in-pakistan>
- [36] Site de figure 7 : <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide?shpxid=ebaae7fd-b8a6-49d5-8157-943d63529938>
- [37] : T. TALEM ET S. ZEGGAOUI <<Système de surveillance de la santé des patients basé sur l'IOT en utilisant Arduino UNO et l'ESP8266 >>Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADÉMIQUE mention Électronique à Université UMMTO 2020/2021
- [38] Site de figure 8 : https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158/?source=post_page-----
- [39]<https://www.e-techno-tutos.com/2021/03/09/remote-xy-smartphone-controle/> consulté le, 25/05/2024.