

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



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes
De MASTER ACADEMIQUE

Filière : **Electronique**
Spécialité : **Instrumentation**

Thème :

Conception et réalisation d'un prototype
d'incubateur intelligent destiné aux
nouveau-nés prématurés

Réaliser par :

M^{lle}. BELAID DEHBIA

Présidente : Mme BOUZEBODJA.

Examineur : Mr HAMEG.

Promoteur :

Mr. LAZRI.

CO-Promotrice :

Mme DJOUAHER.

Promotion : 2023/2024

Remerciement

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné ce privilège, l'opportunité d'apprendre, la force, le courage et la patience pour faire cette recherche.

Je m'adresse également mes sincères remerciements à ma famille, qui m'ont suivi tout au long de ma vie.

Je suis particulièrement reconnaissante à mon promoteur monsieur Mr. Lazri et Mme Djouaher pour leur confiance et leur encadrements précieux.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble du personnel médical du service néonatalogie au niveau de l'hôpital de Tizi-Ouzou, pour leur accueil chaleureux. Un merci tout particulier à monsieur CHELLAH qui m'a toujours aidé et soutenu avec ses conseils précieux .

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

Je tiens également à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de participer à l'évaluation de mon humble mémoire.

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

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

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, source de tendresse, De noblesse et d'affection, qui se sont sacrifiés pour nous prendre en charge tout au long de notre formation et qui sont à l'origine de notre réussite que dieu les garde et les protèges.

A mes très chères sœurs « Lynda, Amel, Djidjega, Hakima ».

A mes très chers frères « Lyes, Mourad ».

A mes très chères nièce « Dassine, Léa, Elsa, Ourdia, Emma ».

A mes très chers neveu « Ilyane, Said ».

A ma meilleure amie « Imane ».

A mes camarades et mes amies 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.

Résumé

Aujourd'hui, grâce aux avancées technologiques, il est possible de surveiller et contrôler des Objets physiques via Internet. L'Internet des Objets (IoT) joue un rôle crucial en transformant divers secteurs comme l'industrie, les services et l'économie, tout en réinventant nos modes de vie. Ce projet exploite le potentiel de l'IoT en développant un système innovant de surveillance médicale des prématurés en temps réel, connecté directement à Internet.

Nous avons mis au point un dispositif utilisant une carte ESP32 et des capteurs spécialisés pour surveiller à distance les paramètres vitaux des nouveau-nés prématurés, tels que la température corporelle, la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène et la température et l'humidité à l'intérieure de l'incubateur. Grâce à la connexion Internet via l'ESP32, ce système permet un suivi médical continu et en temps réel, assurant ainsi une surveillance efficace et fiable des prématurés à distance.

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

Abstract:

Today, thanks to technological advances, it is possible to monitor and control physical objects via the Internet. The Internet of Things (IoT) plays a crucial role in transforming various sectors such as industry, services and the economy, while reinventing our lifestyles. This project exploits the potential of IoT by developing an innovative real-time medical monitoring system for premature babies, connected directly to the Internet.

We have developed a device using an ESP32 board and specialized sensors to remotely monitor the vital parameters of premature newborns, such as body temperature, heart rate and oxygen saturation and temperature and humidity at inside the incubator. Thanks to the Internet connection via the ESP32, this system allows continuous medical monitoring in real time, thus ensuring effective and reliable monitoring of premature babies remotely.

Keywords: Premature, incubator, Esp32, Medical sensors, Internet of Things.

Glossaire

Immature : né avant terme.

L'hypothermie : diminution de la température en dessous de la normale.

Membrane hyaline : insuffisance respiratoire et coloration bleu de la peau.

Alvéole : c'est là où se déroulent les échanges gazeux dans les poumons.

Tachypnée : tachy (rapide) pnée (respiration) : augmentation de la fréquence respiratoire.

Syndrome : une situation jugée mauvaise.

Œsophagien : partie du tube digestif.

Anémie : appauvrissement du sang.

Rétinopathie : affection de la rétine.

Liste des abréviations

ECG : Électrocardiogramme.

SNA : système nerveux autonome

T : Température.

BPM : Battements par minute.

SPO2 : Saturation pulsée en oxygène.

C° : Celsius.

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.

LED : Diode Émettant de la Lumière.

Wifi : Réseau local hertzien (sans fil).

I2C : Inter Integrated Circuit Bus.

UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Résumé	
Glossaire	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : généralités sur la prématurité

I.1. Préambule	3
I.2. PREMATURITE	3
I.2.1. Définition	3
I.2.2. Degrés de prématurités.....	4
I.2.2.1. La prématurité modérée	4
I.2.2.2. La grande prématurité	4
I.2.2.3. L'extrême prématurité.....	4
I.2.3. Les types de prématurité	5
I.2.3.1. La prématurité induite	5
I.2.3.2. La prématurité spontanée	5
I.2.4. Les causes de prématurité	5
I.2.5. Les complications éventuelles de la prématurité	5
I.2.5.1. Pulmonaires.....	5
I.2.5.2. Cérébrales	6
I.2.5.3. Cardiaques.....	7

I.2.5.4. Digestives.....	7
I.2.5.5. Rénales.....	7
I.2.5.6. Oculaires.....	7
I.2.5.7. Auditives.....	7
I.2.5.8. Autres.....	7
I.2.6. Aspect clinique de la prématurée.....	8
I.2.7. Les conditions climatiques pour le développement d'un prématuré.....	8
I.2.7.1. La température.....	8
I.2.7.2. L'hypothermie d'un prématuré (le refroidissement).....	9
I.2.7.3. Le taux d'humidité dans l'air.....	9
I.2.7.4. Le taux d'oxygène dans l'air.....	9
I.2.7.5. Circulations pulmonaires.....	10
I.2.7.6. Le rythme cardiaque.....	10
I.2.8. Généralités sur la fonctionnalité de moniteur de surveillance.....	10
I.2.8.1. Taux d'oxygène.....	10
I.2.8.2. Electrocardiogramme.....	11
I.2.8.3. Température corporelle.....	11
I.2.9. La prise en charge d'un prématuré.....	11
I.3. Discussion.....	12

Chapitre II : Description de l'incubateur

II.1. Préambule.....	13
II.2. Présentation du modèle Giraffe Incubator Carestation.....	13
II.3. Caractéristiques de l'appareil.....	14
II.3.1. Mécanique.....	14
II.3.2. Electrique.....	14

II.3.3. Alimentation	14
II.3.4. Environnement de fonctionnement	15
II.3.5. Conditions de stockage	15
II.3.6. Paramètre de contrôle de l'utilisateur	15
II.3.7. Performances du système	16
II.3.8. Performances de la balance	17
II.3.9. Oxygène servo-contrôlé.....	17
II.3.10. Humidité	17
II.3.11. Limites de charge des options.....	18
II.4. Description du système	18
II.4.1. Vue de face	19
II.4.2. Vue latérale.....	20
II.4.3. Vue arrière	21
II.4.4. Panneau de sondes	22
II.5. Sonde cutanée	22
II.5.1. Définition.....	22
II.5.2. Placement sur le bébé	23
II.5.3. Emplacement sur l'appareil	24
II.6. Balance	25
II.6.1. Définition.....	25
II.6.2. Installation de la balance	25
II.6.3. Emplacement sur l'appareil	26
II.7. Oxymètre	27
II.7.1. Définition.....	27
II.7.2. Rôle.....	27
II.7.3. Utilité pour les prématurés.....	28
II.7.4. Paramètres cibles	28
II.8. Schéma de fonctionnement	28
II.9. Discussion	29

Chapitre III : Description des parties matérielle et logicielle du projet

III.1. Préambule	30
III.2. Description des composants utilisés	30
III.3. La partie matérielle.....	30
III.3.1. Carte à microcontrôleur ESP32	30
III.3.1.1. Définition	30
III.3.1.2. Caractéristiques	31
III.3.1.3. ESP32 PINS	33
III.3.1.4. UART SUR ESP32	34
III.3.1.5. Les bus de communication.....	34
III.3.1.6. Broches d'entrée analogique (ADC).....	34
III.3.1.7. Convertisseurs numériques-analogique (DAC).....	35
III.3.1.8. Capteur Capacitif	36
III.3.1.9. Capteur à effet hall.....	37
III.3.1.10. Brochage de la carte de développement ESP32	37
III.3.2. Capteur de température corporelle (Ds18b20)	38
III.3.2.1. Définition	38
III.3.2.2. Caractéristiques	39
III.3.3.1. Définition	39
III.3.3.2. Caractéristiques	40
III.3.3.3. Connexion du capteur Oxymètre MAX30102	41
III.3.4. Capteur de température et d'humidité DHT11	41
III.3.4.1. Définition	41
III.3.4.2. Caractéristiques	42

III.3.4.3. Pins de DHT11	42
III.3.4.4. Câblage du DHT11 avec esp32	42
III.3.5. L’afficheur LCD	43
III.3.5.1. Définition	43
III.3.5.2. Caractéristiques	43
III.4. La partie logicielle.....	43
III.4.1. Outils de développement.....	44
III.4.2. Structure générale du programme (Arduino IDE)	45
III.4.3. Etapes d’installation de la carte ESP 32	46
III.5. Internet des objets (IOT)	47
III.6. Principe de fonctionnement d’un objet connecté	48
III.7. Caractéristiques d’un objet connecté	49
III.8. Objets connectés avantages et inconvénients	49
III.8.1. Avantage des objets connectés	49
III.8.2. Inconvénient des objets connectés	49
III.9. Discussion	5

Chapitre IV : Réalisation d’un prototype d’un incubateur

IV.1. Préambule	51
IV.2. Fonctionnement du système	51
IV.3. Développement d’un système de surveillance	51
IV.4. Présentation de l’application REMOTE XY	57
IV.3.1. Fonctionnalité principale de l’application	60
IV.3.2. Fonctionnement de l’application.....	60
IV.3.3. Les avantages	61
IV.3.4. Utilisation de l’application REMOTE XY.....	61

IV.4. Surveillance à distance	63
IV.5. Transmission à distance.....	63
IV.6. Tests et résultats	65
IV.7. Discussion	67
Conclusions et perspectives.....	68

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Bébé prématuré	4
Figure I.2 : Etapes de développement d'un fœtus	5
Figure I.3 : Température corporelle d'un nouveau-né	8
Figure I.4 : Refroidissement d'un nouveau-né	9
Figure I.5 : Signal électrocardiogramme	11
Figure I.6 : Prise en charge d'un bébé prématuré	12
Figure II.1 : Giraffe Incubator Carestation CS1	13
Figure II.2 : Sonde cutanée réutilisable	23
Figure II.3 : Sonde cutanée jetable.	23
Figure II.4 : Placement de la sonde cutanée sur le bébé	24
Figure II.5 : Emplacement de la sonde cutanée	24
Figure II.7 : Emplacement de la balance	26
Figure II.8 : Câble de connexion de la balance.....	26
Figure II.9 : Oxymètre.	27
Figure II.10 : Emplacement de l'oxymètre sur le bébé.	27
Figure II.11 : Schéma fonctionnel de l'incubateur	28
Figure III.1 : Schéma fonctionnel du système.....	30
Figure III.2 : Carte ESP 32	31
Figure III.3 : Composition de la carte ESP 32	34
Figure III.4 : Présentation des broches des modules ESP 32	34
Figure III.5 : Sonde de température DS18B20	39
Figure III.6 : Schéma de connexion du DS18B20 à l'ESP 32.....	39
Figure III.7 : Oxymètre MAX30102	40
Figure III.8 : Schéma de connexion du MAX30102 à l'ESP32	41
Figure III.9 : Capteur de température et d'humidité DHT11	42
Figure III.10 : Pins du DHT11	43
Figure III.11 : Schéma de connexion du DHT11 à ESP32	43
Figure III.12 : Afficheur LCD 20X4 avec I2C	43

Figure III.13 : interface programmation Arduino	45
Figure III.14: Rôle des boutons de la barre des actions	46
Figure III.15 : Présentation des préférences de l'IDE Arduino	46
Figure III.16 : Gestionnaire de cartes supplémentaires Arduino IDE	46
Figure III.17 : Installation de la bibliothèque ESP32	47
Figure III.18 : Gestionnaire de sélection de la carte et du port.	47
Figure III.19: Internet des objets IOT	48
Figure III.20 : Fonctionnement des objets IOT	48
Figure IV.1 : Schéma synoptique globale du système de la surveillance à distance	52.
Figure IV.2 : Schéma synoptique spécifique du système de la surveillance à distance	53
Figure IV.3 : Schéma de réalisation du système	54
Figure IV.4 : Organigramme d'acquisition des valeurs	58
Figure IV.5 : L'interface graphique de REMOTE XY	59
Figure IV.6 : L'onglet « configuration »	59
Figure IV.7 : Le code source.....	60
Figure IV.8: Configuration réseau de l'application REMOTE XY sur Smartphone.....	60
Figure IV.9 : Interface sur PC	61
Figure IV.10 : la configuration de mes paramètres.....	62
Figure IV.11 : Interface sur smartphone.	62
Figure IV.12 : Affichage des résultats des tests sur le smartphone	63
Figure IV.13 : Organigramme de la transmission à distance	64
Figure IV.14: Température corporelle en état conforme	65
Figure IV.15 : Température corporelle en état d'alerte	65
Figure IV.16: Humidité et température en état alerte	66
Figure IV.17 : Humidité et température en état normal.....	66
Figure IV.18 : Fréquence cardiaque et taux d'oxygène en état confort.....	66
Figure IV.19 : La fréquence cardiaque et le taux d'oxygène en état d'alerte	67

Liste des tableaux

Tableaux II.1 : Caractéristiques mécanique.	14
Tableaux II.2 : Caractéristiques électrique.	14
Tableaux II.3 : Caractéristiques d'alimentation	14
Tableaux II.4 : Caractéristiques d'environnement de fonctionnement	15
Tableaux II.5 : Caractéristiques de conditions de stockage	15
Tableaux II.6 : Caractéristiques du paramètre de contrôle de l'utilisateur.....	15
Tableau II.7 : Caractéristiques de performances du système	16
Tableau II.8 : Caractéristiques de performances de la balance	17
Tableau II.9 : Caractéristiques d'oxygène servo-contrôlé.....	17
Tableau II.10 : Caractéristiques d'humidité	18
Tableau II.11 : Caractéristiques des limites de charge des options.....	18
Tableau II.12 : Noms des éléments de l'incubateur vu de face.....	19
Tableau II.13 : Noms des éléments de l'incubateur vu latérale.....	20
Tableau II.14 : Noms des éléments de l'incubateur vu arrière.....	22
Tableau II.15 : Noms des éléments du panneau de sonde.....	22
Tableau II.16 : Noms des éléments de la balance.....	25
Tableau III.1 : les caractéristiques de la carte ESP32	32
Tableau III.2 : Les broches d'entrée Analogique (8 canaux)	35
Tableau III.3 : Les broches d'entrée Analogique (10canaux)	35
Tableau III.4 : Les broches de sorties de convertisseur numérique- analogique	36
Tableau III.5 : Les broches GPIO de capteur capacitif.....	36

Introduction

Aujourd'hui, le progrès scientifique et surtout dans le domaine médical a atteint son apogée et a conduit à une explosion des équipements médicaux dont les hôpitaux ne peuvent se passer. Par conséquent, ces dispositifs médicaux sont devenus indispensables à toutes les étapes du service hospitalier. L'objectif principal de tous ses équipements est de sauver la vie et de garantir la santé des individus. On a décidé de vous présenter l'incubateur néonatal (couveuse) parmi ces équipements.

La couveuse, également connue sous le nom d'incubateur, joue un rôle crucial dans les services de réanimation néonatale et de néonatalogie des établissements hospitaliers. Ce cadre fermé et supervisé permet d'accueillir et de prendre soin des bébés prématurés de faible poids ou fragilisés, dans le but de leur offrir les meilleures conditions pour terminer leur croissance. Les systèmes de contrôle modernes des couveuses permettent de surveiller en temps réel l'évolution du nourrisson, en mesurant son poids, sa fréquence cardiaque et son activité cérébrale.

Apparue à la fin du XIXe siècle, cette invention révolutionnaire a été lancée par le médecin français Etienne Stéphane Tarnier (1828-1897). En s'inspirant des incubateurs à poussins, il a élaboré en 1878 la première couveuse simple en bois, chauffée par une lampe à alcool et un réservoir d'eau chaude. Malgré l'incertitude quant à la stabilité de la température, cette innovation a contribué à une diminution importante de la mortalité des prématurés.

Ces dispositifs ont été améliorés par Pierre Constant Budin, qui a ajouté un thermostat et des plaques de verre, puis par Alexandre Lion, qui a breveté en 1889 la première couveuse humaine à chauffage automatique. Malgré les premières réticences des hôpitaux, des actions telles que l'œuvre maternelle des couveuses d'enfants de Lion ont contribué à faire connaître leur utilisation.

Les incubateurs ont été popularisés par Martin Couney en 1896, lors de l'exposition de Berlin, puis en 1903, avec la création d'une exposition permanente de bébés prématurés dans des couveuses au Luna Park à New York, qui a sauvé de nombreuses vies. L'hôpital de l'université Cornell à New York a créé un centre de recherche pour les enfants prématurés en 1939, sous l'influence des campagnes de propagande pour faire connaître les couveuses.

Les couveuses contemporaines, qui ont vu le jour en 1950, sont basées sur les recherches du Dr Tarnier, Budin et Lion, ce qui représente une avancée significative dans les soins aux bébés prématurés. De nos jours, il est impossible de concevoir un bébé avant terme sans passer par une couveuse, qui représente à elle seule la prématurité. Dans ce contexte, le travail développé

dans ce mémoire consiste à concevoir un système de contrôle de surveillance à distance des paramètres vitaux des prématurés.

Pour mener à bien notre travail, nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres :

- Le 1er chapitre est consacré aux généralités sur la prématurité.
- Le 2ème chapitre contient la description de l'incubateur.
- Le 3ème chapitre est consacré à la description du matériel et logiciels utilisé.
- Le quatrième chapitre traite des différentes étapes de développement du système de surveillance des paramètres vitaux des prématurés à distance, ainsi que des tests et des résultats.

La conclusion récapitule le travail réalisé et présente quelques perspectives qui restent à réaliser, ainsi que les références bibliographiques utilisées[1].

Chapitre I

Généralités sur la prématurité

I.1. Préambule

La prématurité représente 7% de grossesse dans le monde. De nos jours les progrès de la médecine et des structures hospitalières permettent de sauver des bébés de plus en plus prématurés. Cependant, même s'ils sont nés plus tôt, ces petits êtres fragiles restent vulnérables et nécessitent une attention particulière pour réduire les risques de complications et de la mortalité.

I.2. PREMATURITE

I.2.1. Définition

La prématurité est définie par une naissance d'âge gestationnel inférieure à 37 semaines d'aménorrhée. La durée de la grossesse à terme est de 41 semaines. Lorsqu'un bébé arrive au monde avant la 37^{ème} semaine de grossesse est considérablement un prématuré. Son corps est certes entièrement formé, mais certains organes ne sont pas prêts à fonctionner de manière autonome, en particulier ses poumons, le système digestif, le cerveau. C'est un bébé qui présente de nombreuses différences physiologiques par rapport à un bébé né à terme.

Parmi ces différences on peut citer :

- Un poids plus faible.
- Une taille plus petite.
- Une peau très lisse et fine (rouge, recouverte de lanugo).
- Cartilage des oreilles doux.
- Membres fins.
- Abdomen protubérant.
- Pouls et respirations plus rapides.
- Etroitesse de la cage thoracique [2].



Figure I.1 : Bébé prématuré [3].

I.2.2. Degrés de prématurités

Il est classé en 3 niveaux de prématurité, en fonction de l'âge gestationnel :

I.2.2.1. La prématurité modérée

Âge gestationnel compris entre 32 et 36 SA, les bébés nés à ce stade ont un risque modéré de complications, ils peuvent avoir besoin d'une assistance respiratoire et d'une surveillance médicale.

I.2.2.2. La grande prématurité

Âge gestationnel compris entre 28 et 32 SA, les bébés nés à ce stade peuvent présenter des complications, telles que des problèmes respiratoires et des retards de développement.

I.2.2.3. L'extrême prématurité

Âge gestationnel inférieure à 28 SA, les bébés nés à ce stade ont le plus grand risque de complications grave et de handicaps .

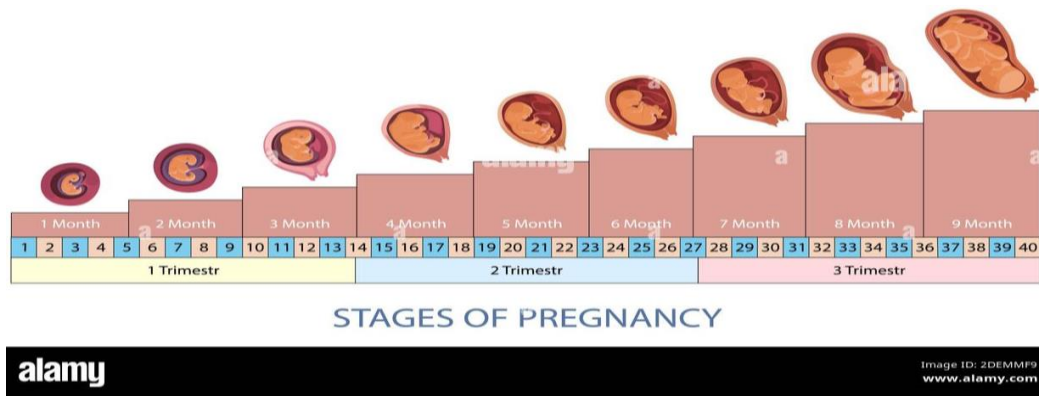


Figure I.2 : Etapes de développement d'un fœtus [4].

I.2.3. Les types de prématurité

On peut subdiviser l'accouchement prématuré en deux situations :

I.2.3.1. La prématurité induite : c'est une décision médicale basée sur des indications maternelles et fœtales. Cet accouchement est induit par un déclenchement médical du travail.

I.2.3.2. La prématurité spontanée : c'est le processus naturel aboutissant à la naissance entre les limites de la viabilité sans intervention médicale pour déclencher le travail.

I.2.4. Les causes de prématurité

Il existe plusieurs facteurs connus et complexes, contribuant à la naissance d'un prématuré. Ils peuvent être liés à la santé de la mère ou celle du fœtus.

Parmi les facteurs maternels on retrouve :

- Une infection.
- L'hypertension artérielle.
- Le diabète gestationnel.
- Un traumatisme.
- Consommation d'alcool ou de drogues.
- Tabagisme.

Certaines complications liées à l'utérus ou au placenta peuvent également causer une naissance prématurée, par exemple :

- Malformations utérines.
- Une bécance cervico-isthmique, ou une ouverture trop tôt du col de l'utérus.
- Malformations ou décollement du placenta.

- Fibromes.

Certaines caractéristiques du fœtus peuvent également être à l'origine d'une naissance prématurée. On peut citer :

- Des anomalies chromosomiques.
- Une infection fœtale.
- Une malformation fœtale.
- Retard de croissance intra-utérin.

La naissance prématurée est associée à des facteurs identifiables, certaines femmes savent qu'elles risquent d'accoucher prématurément et peuvent s'y préparer. Mais pour la plupart la naissance prématurée arrive d'une manière inattendue [5].

I.2.5. Les complications éventuelles de la prématurité

I.2.5.1. Pulmonaires

Les complications pulmonaires comprennent :

- **Pneumothorax** : ruptures des alvéoles pulmonaires, provoquant une fuite d'air dans la cavité pleurale.
- **Syndrome de détresse respiratoire d'un nouveau-né (maladie des membranes hyalines)** : les alvéoles pulmonaires sont immatures pour produire leur surfactant.
- **La tachypnée transitoire du nouveau-né** : mauvaise absorption de liquide pulmonaire présent à la naissance.

I.2.5.2. Cérébrales

Les complications cérébrales comprennent :

- Manque d'oxygène.
- Hémorragies (fragilité des vaisseaux sanguins cérébraux chez le nouveau née).
- Episodes d'apnées/bradycardies.
- Convulsion : peuvent être causées par un certain nombre de facteurs, notamment :
 - Hémorragies cérébrales.
 - Hypoglycémie.
 - Hypocalcémie.
 - Anomalies congénitales.

I.2.5.3. Cardiaques

L'incidence globale des malformations congénitales structurelles soit rare chez les prématurées. La complication la plus fréquente est : le souffle au cœur par persistance du canal artériel.

I.2.5.4. Digestives

Les complications digestives comprennent :

- Reflux gastro-œsophagien (mauvaise fermeture du cardia due à l'immaturation du système digestif).
- Jaunisse due à l'immaturation du foie.
- Hernies.

I.2.5.5. Rénales

Les complications rénales comprennent :

- Immaturation des reins (peut provoquer une rétention d'eau ou une déshydratation).

I.2.5.6. Oculaires

Les complications oculaires comprennent :

- Immaturation du système visuel.
- Rétinopathie du prématuré.

I.2.5.7. Auditives

Les complications auditives comprennent :

- Immaturation du système auditif.
- Surdité.

I.2.5.8. Autres

- Immaturation de la peau.
- Anémie du prématuré.
- Immaturation du système immunitaire [6].

I.2.6. Aspect clinique de la prématurée

Le prématuré est un petit enfant bien proportionné, gracile, fin. Au visage menu et gracieux, il est recouvert de vernix caseosa. Sa peau est translucide. Elle est douce et de consistance gélatineuse, et recouverte de lanugo au niveau de ses épaules et son dos. Il peut y avoir un gonflement au niveau des extrémités (œdème). Ses oreilles sont pliables, peu et non cartilagineuses, ses cheveux sont laineux. L'aspect des organes génitaux externes sont des critères importants de prématurité. Ils sont à comparer aux critères de maturations neurologiques (tonus passif, les mouvements spontanées, les réflexes archaïques et les réflexes oculaires) [7].

I.2.7. Les conditions climatiques pour le développement d'un prématuré

I.2.7.1. La température

Elle est contrôlée plusieurs fois le premier jour après la naissance, puis au moins une fois par jour les jours suivants. La température corporelle idéale se situe entre 36,5 - 37,5°C pour les nouveau-nés à terme et de 36,8 - 37,8°C pour les nouveau-nés prématurés. Les nouveau-nés ont besoin d'un environnement plus chaud pour maintenir leur température corporelle optimale.

La thermorégulation est un mécanisme qui permet à l'organisme de maintenir la température corporelle stable en produisant ou éliminant de la chaleur.

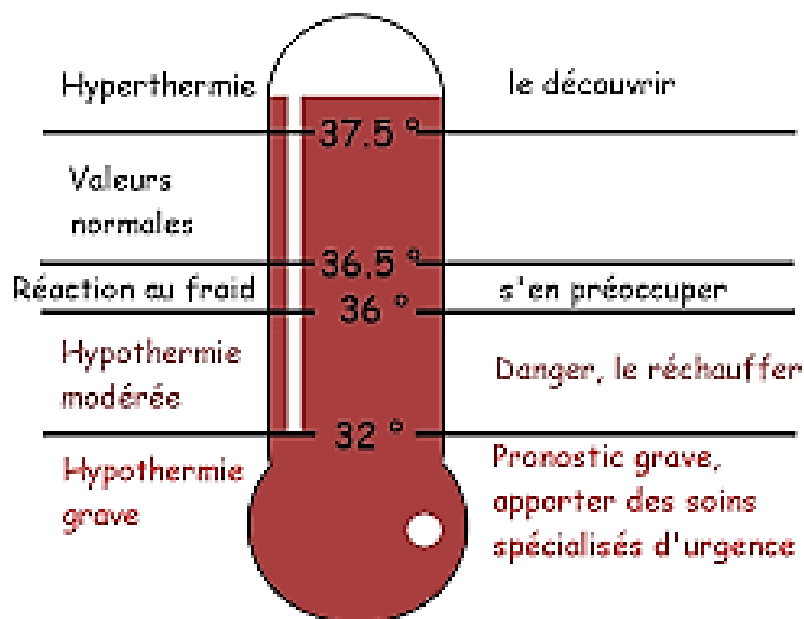


Figure I.3 : Température corporelle d'un nouveau-né [8].

I.2.7.2. L'hypothermie d'un prématuré (le refroidissement)

Dès sa naissance un bébé prématuré est particulièrement vulnérable au froid. En température ambiante 23°C, il subit des pertes thermiques comparable à celle d'un adulte nu à 0°C, et ses pertes de chaleur se font par :

- Evaporation.
- Conduction.
- Radiation.
- Convection [9].

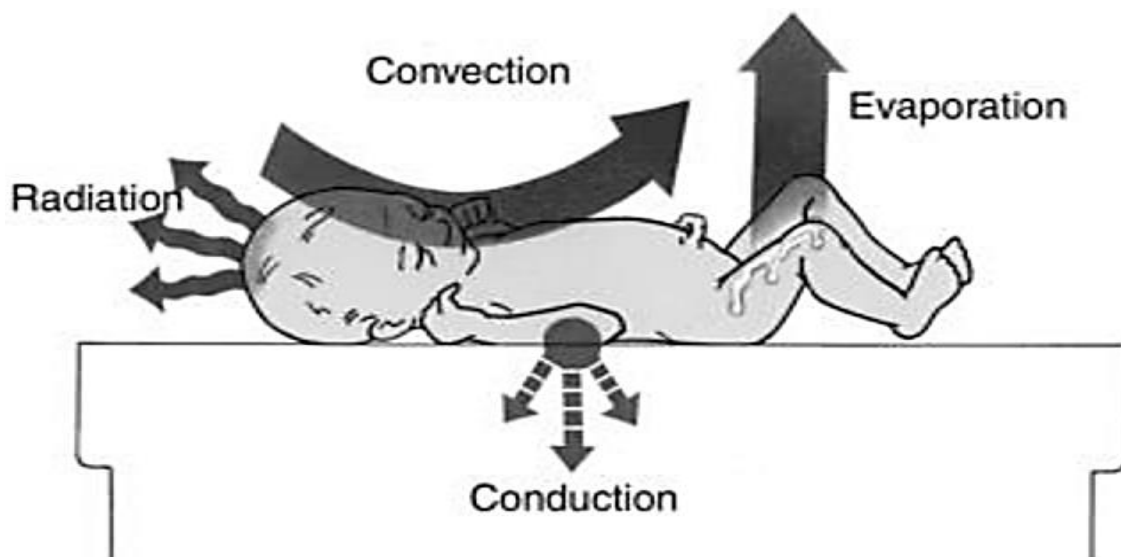


Figure I.4 : Refroidissement d'un nouveau-né [10].

I.2.7.3. Le taux d'humidité dans l'air

Les variations de température et l'apport de l'oxygène peuvent faire varier considérablement le taux d'humidité dans l'air. Or un bébé et plus particulièrement un prématuré est sensible à l'hydratation. Le maintien du taux d'humidité au-delà d'une certaine valeur extrêmement importante [11].

I.2.7.4. Le taux d'oxygène dans l'air

Il peut être nécessaire, dans certains cas, d'augmenter le taux d'oxygène dans l'air ambiant d'un bébé. Dans un incubateur, il existe une fonctionnalité permettant de moduler le taux d'oxygène.

I.2.7.5. Circulations pulmonaires

Avant la naissance, le bébé reçoit son oxygène du placenta via le **canal artériel**. Ce vaisseau sanguin relie l'artère pulmonaire (qui transporte le sang vers les poumons) à l'aorte (qui transporte le sang dans le reste du corps).

Chez un bébé né à terme le canal artériel se ferme naturellement peu de temps après la naissance, lorsque ses poumons misent en action et respire par lui-même.

Chez un prématuré le canal artériel peut rester ouvert plus longtemps, ce qui entraîne des problèmes de circulations pulmonaires [12].

I.2.7.6. Le rythme cardiaque

Le rythme cardiaque est un indicateur de la santé. Les prématurés peuvent présenter une fréquence cardiaque plus élevée que les bébés nés à terme, en raison de leur immaturité du système nerveux autonome (SNA). La fréquence cardiaque normale d'un prématuré se situe entre 100 et 160 battements par minute (BPM).

Le rythme cardiaque et les contractions spontanées d'un prématuré sont surveillés de près par l'équipe médicale à l'aide d'un électrocardiogramme (ECG).

I.2.8. Généralités sur la fonctionnalité de moniteur de surveillance

I.2.8.1. Taux d'oxygène

Elle mesure la quantité d'hémoglobine porteuse d'oxygène dans le sang. Un taux d'oxygène adéquat est essentiel pour le bon fonctionnement des organes vitaux du bébé, en particulier le cerveau. Il existe deux façons pour mesurer le taux d'oxygène d'un prématuré :

- **Une méthode invasive** : qui nécessite de prélever du sang dans une artère. Ce qu'on appelle la saturation artérielle en oxygène ou SaO₂. C'est la seule technologie qui permet des mesures réellement fiables.
- **Une méthode non invasive** : qui utilise un petit appareil appelé saturateur situé au bout du doigt. Il s'agit d'une mesure percutané appelée oxymétrie de pouls et est utilisée pour mesurer la saturation du pouls ou SpO₂.

Les valeurs de saturation en oxygène chez les prématurées peuvent varier en fonction de la méthode de mesure utilisée. Prenons exemple de la SpO₂ qui se situe entre 85% et 95% et qu'est insuffisante au-dessous de 85% [13].

I.2.8.2. Electrocardiogramme

Un électrocardiogramme (ECG) est un examen qui évalue la fonction cardiaque, il permet de mesurer l'activité électrique du cœur. A chaque battement du cœur correspond à une onde électrique, cette onde provoque la contraction du muscle cardiaque ce qui expulse le sang du cœur.

Chez les prématurées, l'ECG peut identifier des anomalies spécifiques à leur âge, telles que des différences avec l'ECG d'un adulte [14].

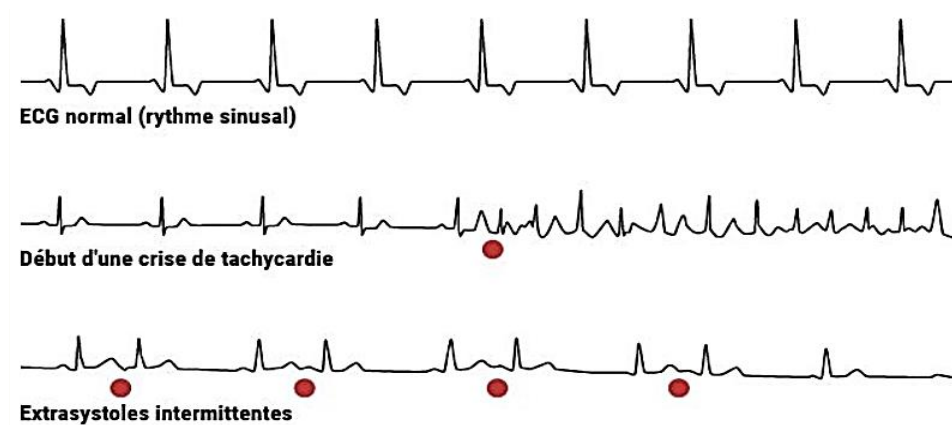


Figure I.5 : Signal électrocardiogramme [15].

I.2.8.3. Température corporelle

Chez un prématuré, la température corporelle est constante quelle que soit la température extérieure (environs de 37°C). Mais, elle peut varier légèrement entre 36.8°C et 37.8°C selon les journées.

Elle est contrôlée par la thermorégulation, qui intervient pour maintenir la température constante. S'il fait trop chaud, le corps transpire pour dissiper la chaleur. S'il fait trop froid le corps produit de la chaleur.

I.2.9. La prise en charge d'un prématuré

Dès leurs premiers souffles, les nouveau-nés sont accueillis par une équipe soignante. Cela dans le but de les mettre en confort et de mettre en place l'équipement nécessaire à leur survie.

Ils ont besoin d'un environnement spécialement conçu pour eux, donc ils seront placés dans un incubateur afin de les aider à maintenir leur température corporelle. Ils peuvent recevoir une assistance respiratoire si le besoin s'en fait sentir et ils seront équipés d'un moniteur afin de suivre les fonctions vitales.

Le petit sera placé dans ce milieu chaud mais également humide pour assurer une hydrométrie optimale semblable à celui de l'utérus maternelle. Alors le bébé sera placé dans une couveuse ou ce qu'on appelle incubateur, qui sera équipé d'un système de réanimation respiratoire et un système d'alimentation (sonde gastrique) etc....

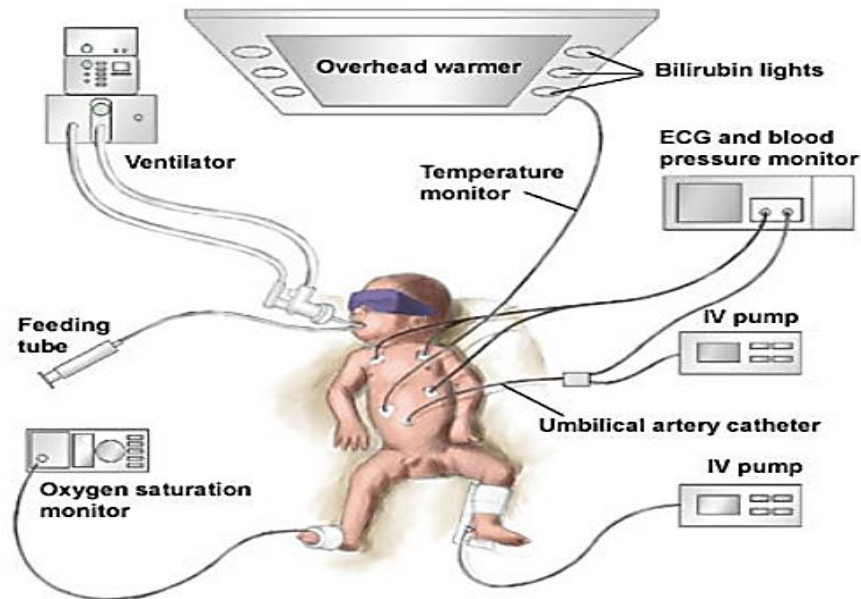


Figure I.6 : Prise en charge d'un bébé prématuré [16].

I.3. Discussion

Dans ce chapitre, nous avons défini ce que c'est la prématurité et les causes qui la provoque, ainsi nous avons vu les maladies qui caractérisent chaque type de prématurité et les solutions nécessaires pour la prise en charge des prématurés.

Chapitre II

Description De L'incubateur

II.1. Préambule

De nos jours, aucun bébé né avant terme ; dit prématuré, ne pourrait voir le jour son passer par une couveuse, cette dernière symbolise la prématurité. Apparue à la fin du XIXe siècle, elle a révolutionné les soins néonataux, ainsi que c'est l'un des grands progrès de la néonatalogie. Avant que la couveuse ne voie le jour, le refroidissement était l'une des principales causes de mortalité des bébés prématurés. A cette époque-là, simplement entourés de coton et réchauffés par des bouillottes ; les bébés nés avant terme étaient la plupart du temps condamnés.

Dans ce chapitre, on va présenter le modèle utilisé dans le service de néonatalogie au niveau de l'hôpital de Tizi-Ouzou, qui est le modèle « Giraffe Incubator Carestation » [17].

II.2. Présentation du modèle Giraffe Incubator Carestation

L'appareil Giraffe Incubator Carestation est une couveuse pour nouveau-né, qui permet de produire une chaleur contrôlée pour les nouveau-nés dont la thermorégulation est déficiente, du fait de leur physiologie. Pour ce faire, elles procurent au nouveau-né un environnement fermé à température contrôlée. Ce dispositif peut incorporer un système de distribution d'oxygène servo-contrôlé. Ce dernier est indiqué pour assurer la stabilité de la concentration en oxygène dans le compartiment du nouveau-né, en fonction de la valeur définie par l'utilisateur (de 21 à 65%).



Figure II.1: Giraffe Incubator Carestation CS1.

II.3. Caractéristiques de l'appareil

L'incubateur Giraffe Incubator Carestation CS1 possède plusieurs caractéristiques qu'on peut résumer dans les tableaux suivants :

II.3.1. Mécanique

Poids	138 kg
Hauteur	Lit abaissé à 152 cm Lit soulevé à 178 cm
Largeur	66 cm
Profondeur	114 cm
Taille du matelas	48,8 cm × 64,8 cm
Inclinaison du lit	Inclinaison continue de ± 12 degrés
Poids maximal du patient	40 kg

Tableaux II.1 : Caractéristiques mécanique.

II.3.2. Electrique

Fonctionnement	Continu
Type de dispositif	Classe 1
Partie appliquée	Type B

Tableaux II.2 : Caractéristiques électrique.

II.3.3. Alimentation : Appel pour un courant d'un ½ cycle < 80

11,5 A à 100 V ~, 50/60 Hz	2 A à 100 V ~, 50/60 Hz (prise d'accessoires)
9,5 A à 115 V ~, 50/60 Hz	2 A à 115 V ~, 50/60 Hz (prise d'accessoires)
5,5 A à 220 V ~, 50/60 Hz	1 A à 220 V ~, 50/60 Hz (prise d'accessoires)
5,5 A à 230 V ~, 50/60 Hz	1 A à 230 V ~, 50/60 Hz (prise d'accessoires)
5,5 A à 240 V ~, 50/60 Hz	1 A à 240 V ~, 50/60 Hz (prise d'accessoires)

Tableaux II.3 : Caractéristiques d'alimentation.

II.3.4. Environnement de fonctionnement

Température	De 20 à 30 °C
Humidité	De 5 à 85 % d'humidité relative non condensée
Vitesse de l'air	Jusqu'à 0,3 m/s
Entrée de l'eau	IPXO

Tableaux II.4 : Caractéristiques d'environnement de fonctionnement.

II.3.5. Conditions de stockage

Température	De -25 à 60°C
Humidité	≤ 85 % d'humidité relative non condensée (supérieure à 0 °C)
Pression	De 50 à 106 kPa

Tableaux II.5 : Caractéristiques de conditions de stockage.

II.3.6. Paramètre de contrôle de l'utilisateur

Contrôle de la température du patient	De 35 à 37,5 °C par pas de 0,1 °C
Contrôle de la température de l'air	De 20 à 39 °C par pas de 0,1 °C
Humidité	De 30 à 95 % d'humidité relative par pas de 5 %

Tableaux II.6 : Caractéristiques du paramètre de contrôle de l'utilisateur.

II.3.7. Performances du système

Durée de vie prévue	Environ 7 ans	L'appareil est conçu pour durer au moins 7 ans dans des conditions d'utilisation classiques, s'il est utilisé, entretenu et réparé conformément aux instructions des manuels fournis. Toutefois, grâce à une maintenance et des réparations correctes, cette durée de vie peut être prolongée tant que des pièces de rechange sont disponibles
---------------------	---------------	--

Précision des mesures de température du patient	$\pm 0,3$ °C à une température comprise entre 30 °C et 42 °C	Précision du système de mesure de la température du patient dans la plage de mesures de la température
Précision du contrôle de la température	± 1 °C	Température de contrôle par rapport à la température moyenne de la couveuse avec un lit à l'horizontale en mode normale
Variabilité	$\pm 0,5$ °C	Température de la couveuse par rapport à la température moyenne de la couveuse
Durée de réchauffement	< 50 min < 30 min	Durée nécessaire pour atteindre la température de contrôle de 39 °C à partir d'un démarrage à froid dans une pièce chauffée à 25 °C avec 50 % d'humidité relative Mesurée conformément à la norme CEI 60601-2-19
Vitesse de l'air	≤ 10 cm/s	En mode Whisper Quiet™, vitesse mesurée à 10 cm au-dessus du centre du matelas, lit fermé
Niveau de CO2	0,3 %	Niveau maximum de CO2 mesuré conformément à la norme CEI 60601-2-19
Niveau sonore dans le compartiment du patient	≤ 41 dBA	En mode Whisper Quiet™, niveau sonore lorsque le lit est fermé mesuré à 10 cm au-dessus du centre du matelas
Niveau sonore pour les alarmes	63 dBA (Priorité haute) 60 dBA (Priorité moyenne)	Le niveau de pression sonore est mesuré dans un champ libre sur un plan réfléchissant conformément à la norme CEI 60601-2-19
Sortie du port USB	0,5 A, 5 VCC	

Tableau II.7 : Caractéristiques de performances du système.

II.3.8. Performances de la balance

Plage de fonctionnement	300 g – 8 kg
Précision	± 10 g
Résolution	10 g (réglage d'usine par défaut) 5g (sélectionnable par l'utilisateur sur les balances de type non européen)

Tableau II.8 : Caractéristiques de performances de la balance.**II.3.9. Oxygène servo-contrôlé**

Plage de contrôle	De 21 % à 65 %
Résolution	1 %
Précision	5 % (dérive < 0,02 % sur 24 h)
Durée d'augmentation	≤ 10 min de 21 % à 5 % sous la valeur programmé (en mode Whisper Quiet™)
Récupération suite à l'ouverture d'un hublot	≤ 5 min à partir de la fermeture du hublot à 5 % en dessous de la valeur programmé (en mode Whisper Quiet™)
Pression d'entrée	310 kPa (45 psi) – 620 kPa (90 psi)

Tableau II.9 : Caractéristiques d'oxygène servo-contrôlé.**II.3.10. Humidité**

Précision du paramètre servo-contrôlé	± 10 % pour les réglages jusqu'à 85 % ; minimum 75 % pour les réglages supérieures à 85 %	Réglage de contrôle d'humidité par rapport à l'humidité moyenne à 10 cm au-dessus du centre du lit
Durée d'accélération	≤ 50 min	Durée nécessaire pour atteindre un taux d'humidité relative de 75 % avec une température de contrôle de 39 °C à partir d'un

		démarrage à froid dans une pièce chauffée à 25 °C avec 50 % d'humidité relative
Durée de fonctionnement sans recharger	> 12 h	Durée de fonctionnement avec un réglage de contrôle de 65 % d'humidité relative et un remplissage de réservoir dans une pièce chauffée à 25 °C avec 50 % d'humidité relative

Tableau II.10 : Caractéristiques d'humidité.

II.3.11. Limites de charge des options

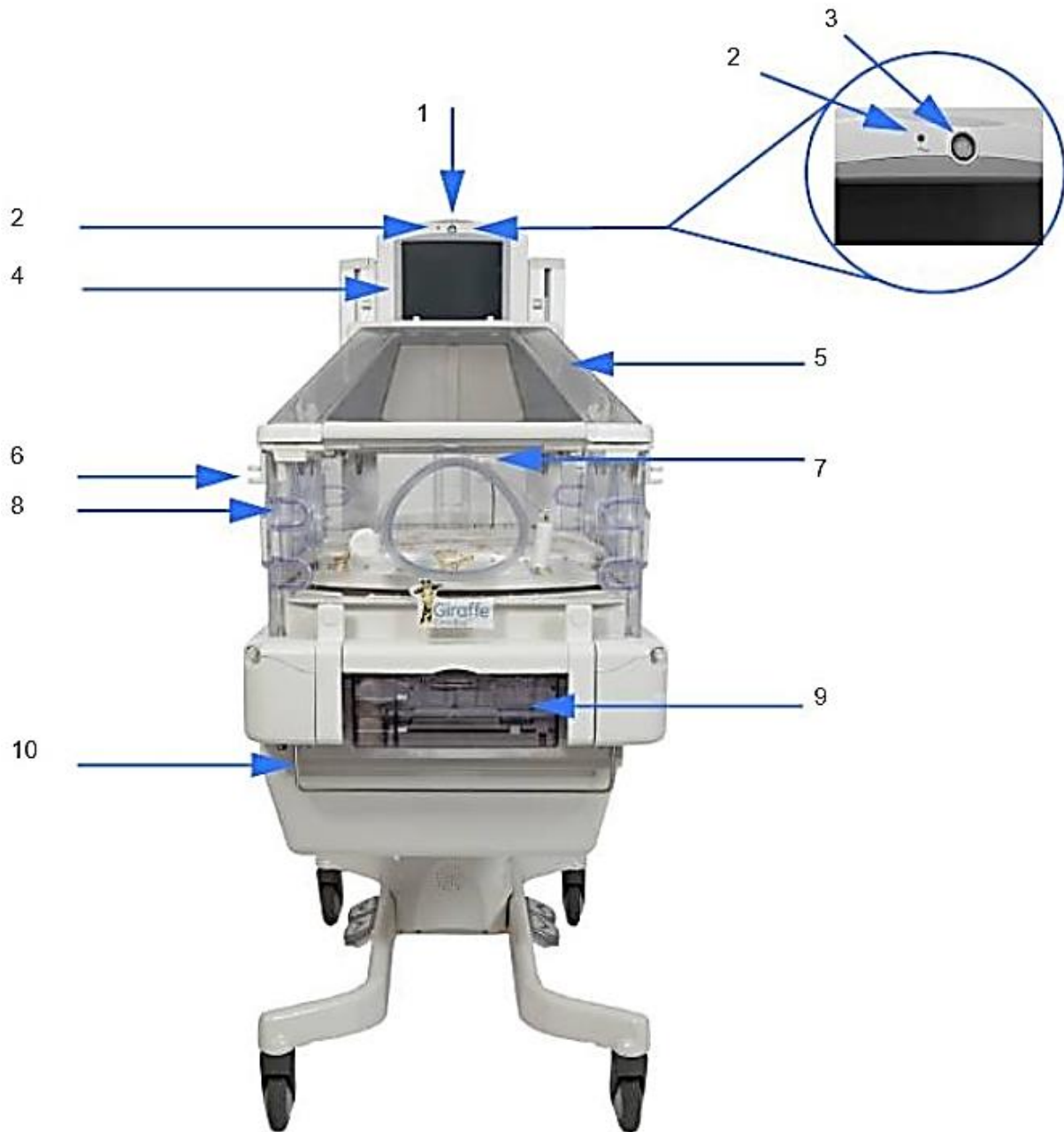
Bloc tiroirs de rangement	7 kg
Etagère des instruments	9 kg
Etagère de l'écran de contrôle	22 kg
Potence à intraveineuse rotative	9 kg
Poids total sur chaque rail de fixation	22 kg

Tableau II.11 : Caractéristiques des limites de charge des options.

II.4. Description du système

La couveuse Giraffe Incubator allie des commandes contrôlées par un microprocesseur dernier cri à des performances thermiques optimisées. Parmi celles-ci citons, les panneaux de lit qui permettent l'accès de chaque côté, les écrans à la visibilité optimale, les commandes auxquelles on peut accéder des deux côtés de la couveuse et une surface de lit beaucoup plus grande avec une option matelas rotatif.

II.4.1. Vue de face

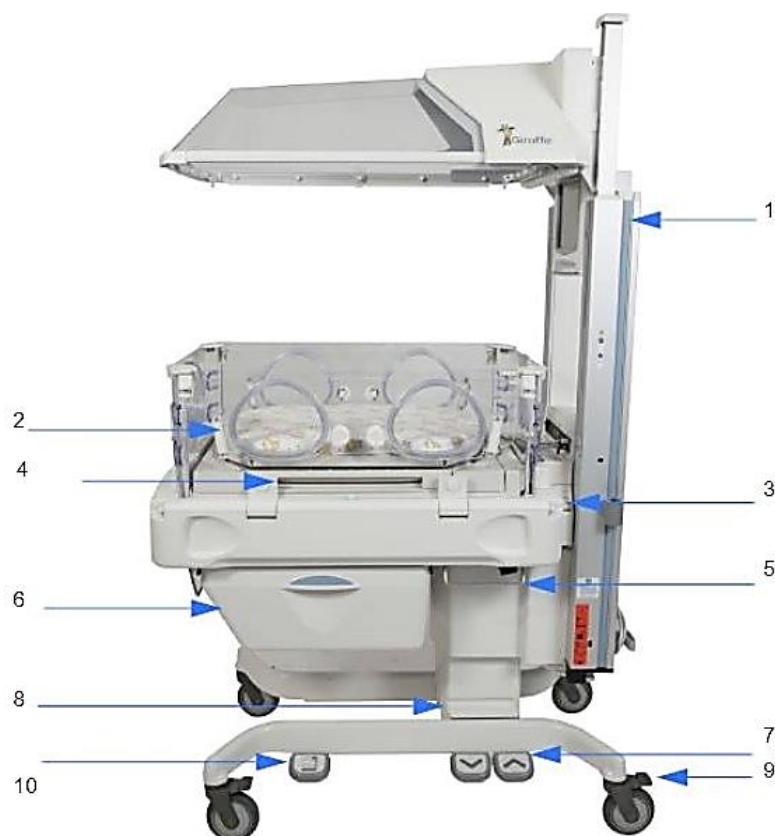


Numéro d'élément	Description
1	Voyant
2	Voyant de panne d'alimentation
3	Capteur d'alarme muette mains libres
4	Panneau de commande

5	Capot
6	Loquets des panneaux latéraux du lit
7	Capteur de température de l'air et d'humidité du compartiment (situé sur le panneau du lit arrière à l'extrémité du panneau de commande)
8	Œillet de gestion de la tubulure
9	Réservoir d'eau de l'humidificateur (filtre à air situé derrière l'humidificateur)
10	Support du drainage pleural

Tableau II.12 : Noms des éléments de l'incubateur vu de face.

II.4.2. Vue latérale

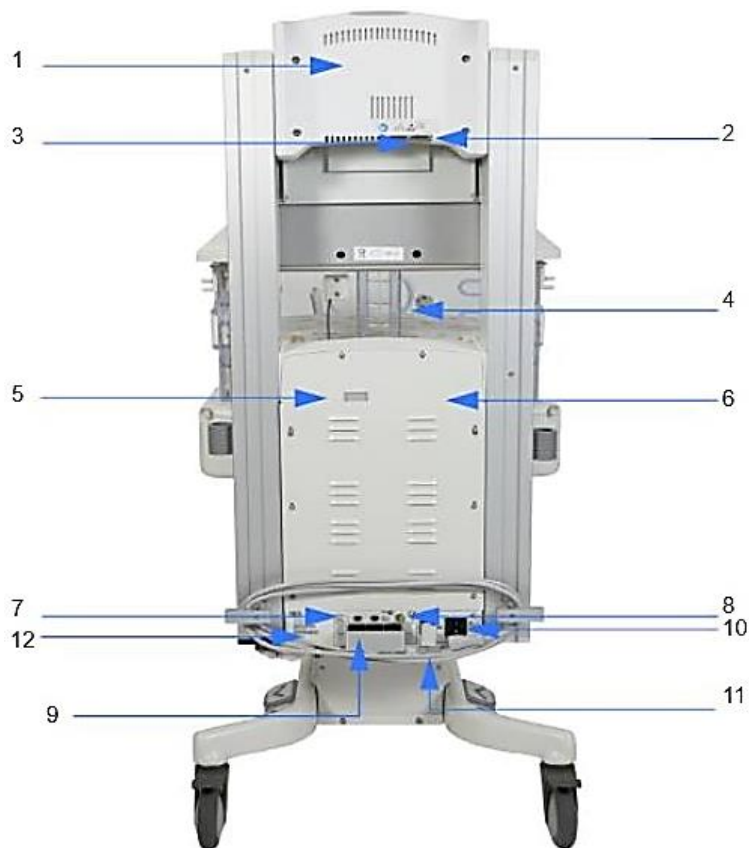


Numéro d'élément	Description
1	Rail de fixation
2	Hublots
3	Loquet d'inclinaison du capot

4	Plateau de radiographie
5	Support du drainage pleural
6	Tiroir de rangement
7	Pédale de réglage de la hauteur du lit
8	Socle élévateur
9	Freins des roulettes
10	Lever la pédale de la verrière

Tableau II.13 : Noms des éléments de l'incubateur vu latérale.

II.4.3. Vue arrière

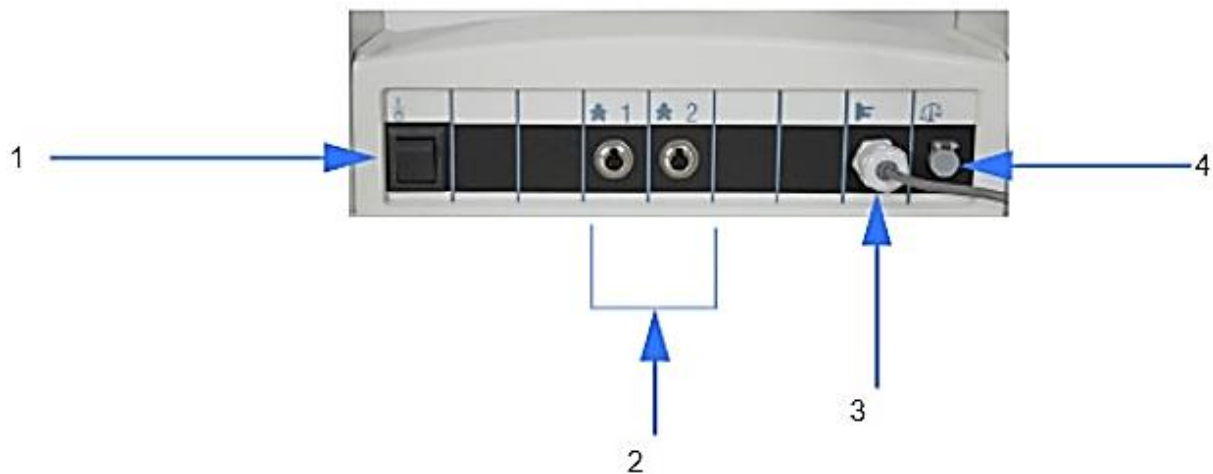


Numéro d'élément	Description
1	Cache du panneau de commande
2	Port USB
3	Port Ethernet (non utilisé. N'effectuer aucun branchement sur ce port)

4	Accès au ventilateur
5	Connecteur RS-232 pour l'option DataLink
6	Cache du panneau arrière
7	Disjoncteurs pour les prises d'accessoires
8	Borne de mise à la terre
9	Connecteurs des prises d'accessoires
10	Interrupteur de l'alimentation secteur
11	Connecteur du cordon d'alimentation
12	Numéro de série

Tableau II.14 : Noms des éléments de l'incubateur vu arrière.

II.4.4. Panneau de sondes



Numéro d'élément	Description
1	Interrupteur marche/arrêt (I/O)
2	Connecteurs de la sonde de température cutanée
3	Connecteur du capteur de température de l'air dans le compartiment
4	Connecteur de la balance

Tableau II.15 : Noms des éléments du panneau de sonde.

II.5. Sonde cutanée

II.5.1. Définition

Est un dispositif médical utilisé pour mesurer la température de la surface de la peau. Cette sonde est non invasive et couramment utilisées dans les établissements de soins de santé pour surveiller les changements de température cutanée à diverses fins, telles que l'évaluation de la progression de la cicatrisation des plaies et la détection d'anomalies. Les sondes de température cutanée jouent un rôle crucial dans les soins aux patients, en particulier dans les scénarios où la surveillance de la température cutanée est essentielle pour un traitement et une intervention appropriée.



Figure II.2 : Sonde cutanée réutilisable [18].



Figure II.3 : Sonde cutanée jetable.

II.5.2. Placement sur le bébé

Pour fixer la sonde de température cutanée, assurez-vous que la peau du patient est sèche et propre ; et que l'extrémité de la sonde est propre et sans corps étrangers (particulièrement les adhésifs), puis préparez la sonde pour la positionner.

Sonde de température cutanée jetable à usage unique : enlevez la pellicule de protection de la face adhésive du patch à réflexion thermique et préparez-vous à l'application de la sonde en évitant tout contact entre la feuille réfléchissante et la peau du patient.

Sonde de température réutilisable : placez la face métallique de la sonde contre la peau du patient, puis enlevez la pellicule de protection de la face adhésive du patch à réflexion thermique. Placez le patch à réflexion thermique sur la sonde de température cutanée en évitant tout contact entre la feuille réfléchissante et la peau du patient.

Placez la sonde au centre du patch à réflexion thermique, ensuite sur la peau du patient. Si le patient est couché sur le ventre, placez la sonde sur son dos en choisissant une zone douce et non osseuse. S'il est couché sur le dos, placez le côté métallique de la sonde sur son abdomen (ou à un emplacement conforme aux normes et aux procédures de l'établissement). Ne placez pas la sonde sous le patient. Attendez que la sonde de température cutanée s'équilibre.

N'utilisez aucune lotion et n'appliquez pas de pansement entre la peau du bébé et l'extrémité de la sonde. Lorsque vous enlever la sonde, commencez par retirer le patch à réflexion thermique. Ensuite, retirez doucement la sonde de la peau du patient. Branchez la sonde de température cutanée au panneau de sondes.



Figure II.4 : Placement de la sonde cutanée sur le bébé [19].

II.5.3. Emplacement sur l'appareil

Pour mettre le capteur de la température cutanée en marche, on doit brancher le câble de connexion de la sonde de température cutanée sur le connecteur 1 du panneau de sondes, situé sur la face avant de la couveuse derrière la cabine du bébé.



Figure II.5 : Emplacement de la sonde cutanée.

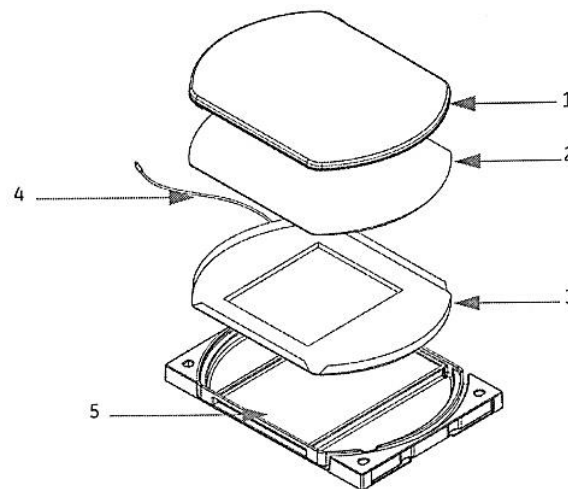
II.6. Balance

II.6.1. Définition

Est un instrument utilisé pour peser. Pour les bébés prématurés, il est essentiel de choisir une balance pour bébé spécialement conçue pour répondre aux besoins de ces nouveau-nés. Ces balances fournissent des mesures précises et douces pour suivre l'évolution du poids et surveiller la croissance des bébés prématurés.

II.6.2. Installation de la balance

Pour installer la balance, on retire le matelas et la plaque transparente du lit, puis on place la plateforme de pesée de la balance dans les encastrements du lit. Ensuite, on va acheminer le câble de la balance à travers le couvercle d'accès à la tubulure ou la fente du respirateur et on branchera le connecteur sur le panneau de connexion. Enfin, on installe le matelas et la plaque transparente sur la plateforme de pesée, ainsi on doit assurer qu'ils sont correctement fixés sur la plateforme.



Numéro d'élément	Description
1	Matelas
2	Plaque transparente
3	Plateforme de pesée
4	Câble de la balance
5	Encastrements du lit

Tableau II.16 : Noms des éléments de la balance.

II.6.3. Emplacement sur l'appareil

Pour mettre la balance sous tension, on place le câble de connexion de la balance sur le connecteur réservé pour la balance.



Figure II.7 : Emplacement de la balance.



Figure II.8 : Câble de connexion de la balance.

II.7. Oxymètre

II.7.1. Définition

Un oxymètre est un appareil permettant de mesurer la concentration en oxygène dans un mélange gazeux ou un liquide, comme le sang.

Pour les bébés prématurés, l'oxymètre de pouls est un outil essentiel pour surveiller leur saturation en oxygène.



Figure II.9 : Oxymètre [20].

II.7.2. Rôle

L'oxymètre de pouls, aussi appelé saturomètre, mesure de façon non invasive la saturation en oxygène de l'hémoglobine dans le sang (SpO_2) au niveau des capillaires. Il émet deux longueurs d'onde de lumière rouge et infrarouge à travers la peau (souvent au niveau d'un doigt ou d'un orteil) et analyse la lumière résultante pour déterminer la saturation en oxygène.



Figure II.10 : Emplacement de l'oxymètre sur le bébé [21].

II.7.3. Utilité pour les prématurés

Les bébés prématurés ont souvent besoin d'une supplémentation en oxygène. L'oxymètre permet de surveiller en continu leur oxygénation et d'ajuster précisément l'apport en oxygène. Une baisse de la saturation en oxygène mesurée par l'oxymètre est appelée désaturation.

II.7.4. Paramètres cibles

La saturation en oxygène doit être maintenue dans des valeurs cibles, généralement entre 90 et 95%. L'hyperoxie (saturation > 95%) doit être évitée car elle peut être délétère pour le développement des poumons et de la rétine.

II.8. Schéma de fonctionnement

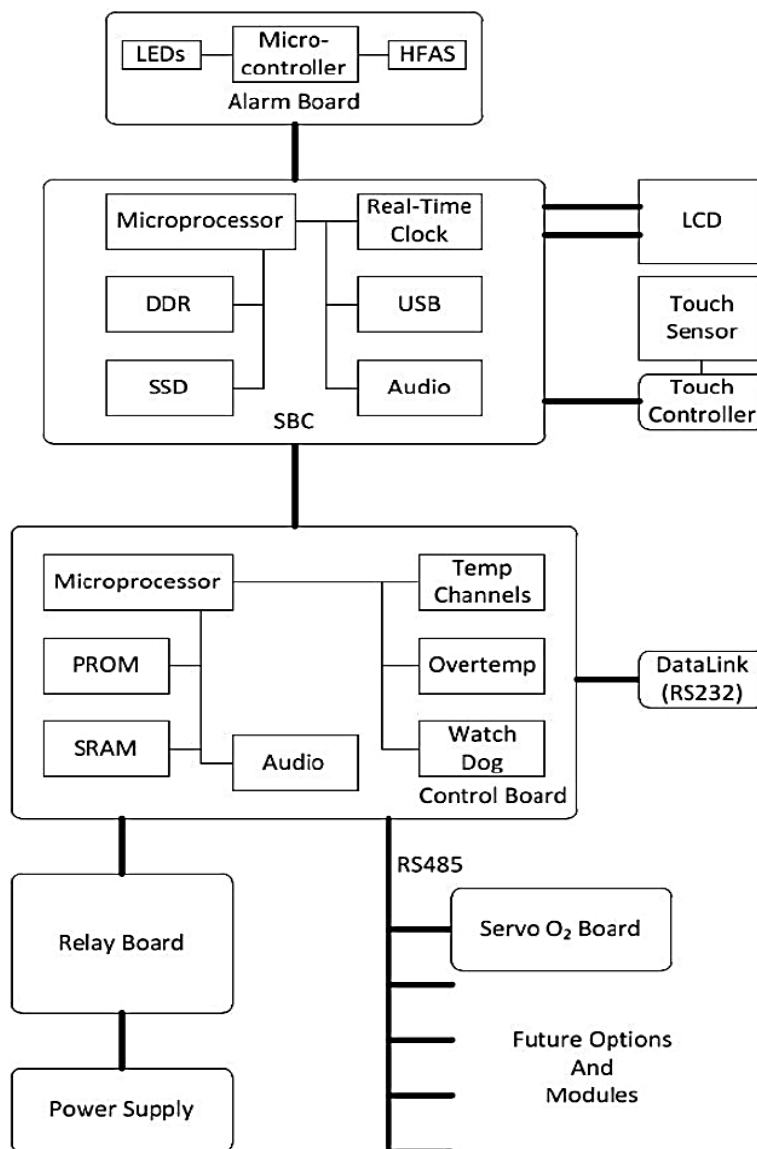


Figure II.11 : Schéma fonctionnel de l'incubateur.

II.9. Discussion

Dans ce chapitre, nous avons présente l'incubateur (couveuse), en particulier le modèle Giraffe Incubator Carestation CS1 utilisé au service néonatal au niveau de l'hôpital de Tizi-Ouzou, ainsi nous avons décrie chaque élément nécessaire pour la surveillance d'un prématuré et son rôle pour leur survie. Le chapitre suivant introduira un système de surveillance conçu pour les prématurés. Ce système intégrera des composants matériels et logiciels de pointe pour surveiller en continu l'état des nouveau-nés et alerter le personnel médical en cas de complications.

Chapitre III

Description des parties matérielle et logicielle du projet

III.1. Préambule

Ce chapitre se concentre sur les capteurs essentiels de l'application IoT ESP32 et leur mode de fonctionnement dans le cadre de l'Internet des objets (IoT). L'objectif est de présenter une description détaillée de chaque capteur, en mettant en évidence ses caractéristiques.

III.2. Description des composants utilisés

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents composants de notre application qui consistent en les différents capteurs, la carte ESP32 ainsi leur mode de fonctionnement.

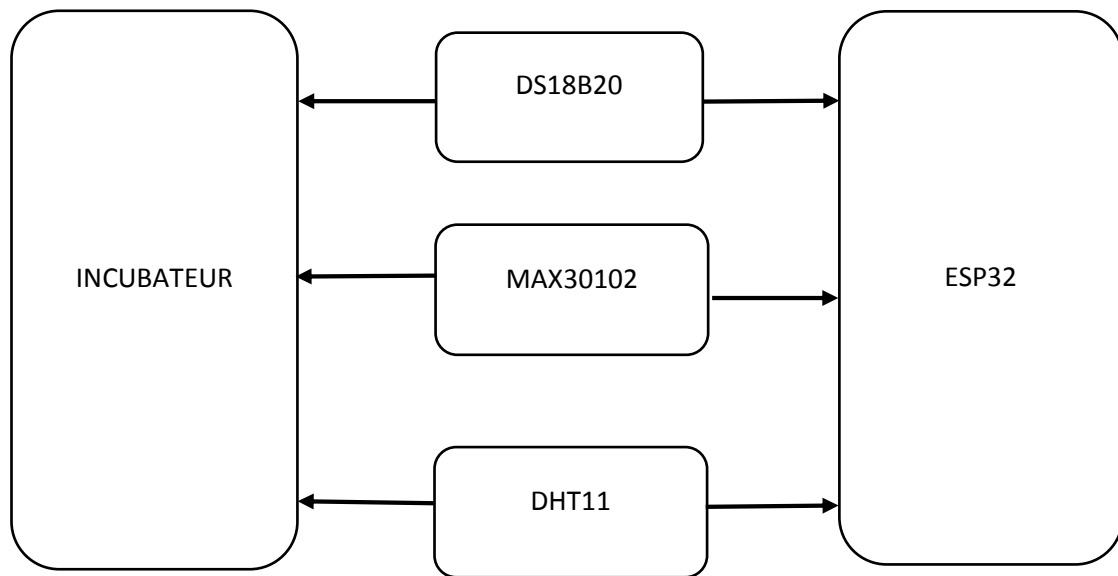


Figure III.1 : Schéma fonctionnel du système.

III.3. La partie matérielle

III.3.1. Carte à microcontrôleur ESP32

III.3.1.1. Définition

La carte ESP32 est une carte de développement électronique puissante et polyvalente basée sur un microcontrôleur de très basse consommation fabriqué par la multinationale chinoise Expressif system créée en 2008, elle est particulièrement populaire dans les projets de IOT (internet des objets). Équipée de connectivité WIFI et Bluetooth intégrée [22].



Figure III.2 : Carte ESP 32 [23].

III.3.1.2. Caractéristiques

L'ESP32 dispose de nombreuses fonctionnalités tels que :

Spécifiques/carte	ESP32
UART	2
ARCHITECTURE	32bits
Microcontrôleur	ESP32 DEVKIT V1
Tension d'alimentation (USB)	5V CC
Tension d'entrée/sortie	3.3V CC
Mémoire	448 KO RAM 520 KO SRAM 16 KO SRAM en RTC
Fréquence d'horloge	240 MHz
Flash	4 MO

Wifi	Intégré
Bluetooth	Intégré
Performance	Jusqu'à 600 MDIPS
GPIO PINS	38
Broches numérique	24
Broche ADC analogique	18(3.3 V, 12bit, 4095, type SAR, gain programmable)
Broches PWM	16
Convertisseur numérique analogique ADC	2(8bit)
Puce USB Sérié	CP2102

Tableau III.1 : les caractéristiques de la carte ESP32.

La carte ESP32 se compose de deux choses principales :

- La partie matérielle il s'agit d'une carte ESP32 est composée d'un module ESP32, qui est un système intégrant un ou plusieurs processeurs, de la mémoire, et d'autres composants nécessaires à son fonctionnement. Offrent une variété de fonctionnalités et de configurations pour répondre aux besoins des projets de développement.
- La partie logicielle permet de programmer la carte. Il offre une multitude de fonctionnalités pour programmer la partie matérielle.

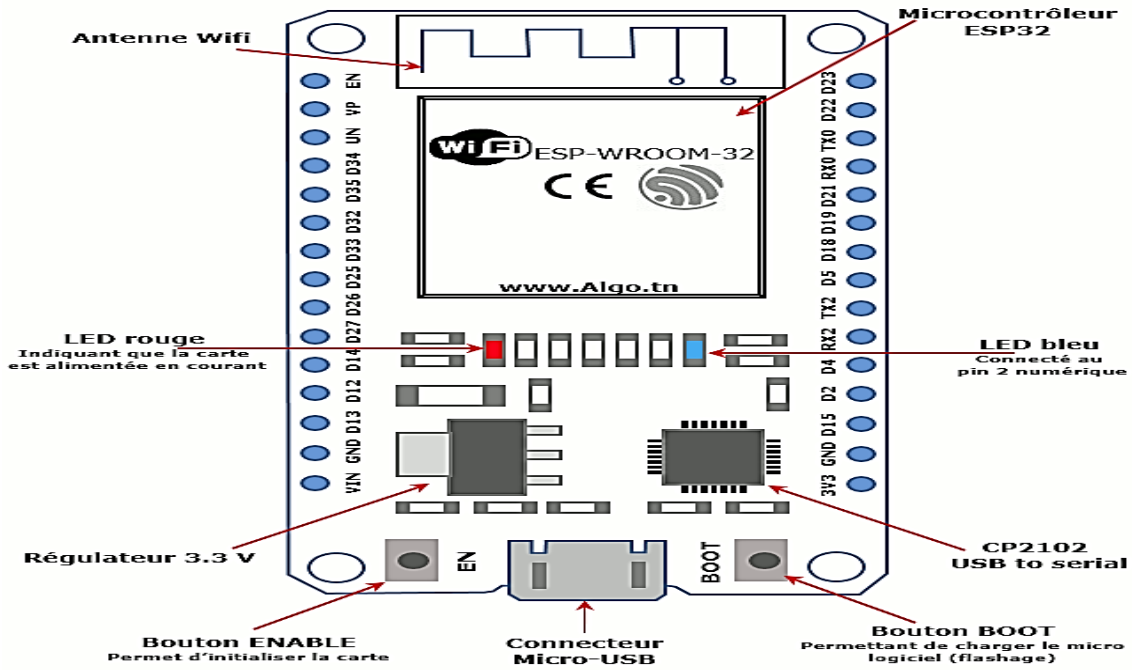


Figure III.3 : Composition de la carte ESP 32 [24].

III.3.1.3. ESP32 PINS

Le module ESP32 WROOM dispose d'un total de 38E/S, dont 24 numériques et 16 analogiques. L'écran tactile peut être utilisé pour créer une interface homme-machine basée sur ESP32.

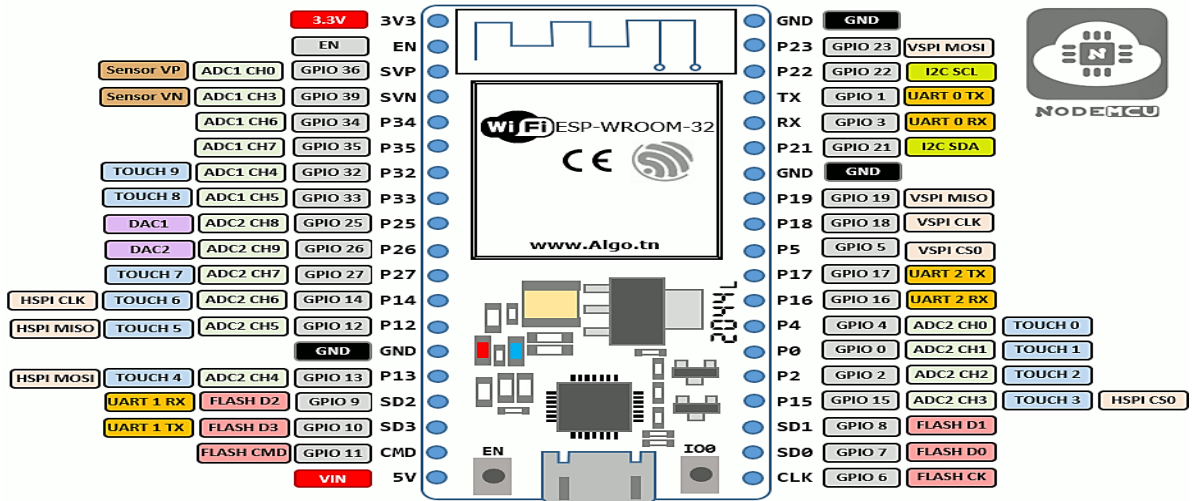


Figure III.4 : Présentation des broches des modules ESP 32 [25].

La carte ESP32 comme tout microcontrôleur, dispose d'une multitude de périphériques. Tel que :

- 3 interfaces UART.

- 2 interfaces I2C.
- 3 interfaces SPI.
- 18 canaux analogiques.
- 16 sorties PMW.
- 10 capteurs capacitifs.
- Capteur a effet hall.
- Interface CAN.

III.3.1.4. UART SUR ESP32

L’UART est un protocole série qui permet un échange facile de données entre deux appareils. L’ESP32 dispose 3 bus UART :

- L’UART0 est par défaut sur les broches GPIO1(TX0) et GPIO3(RX0), il est utilisé pour communiquer avec l’ordinateur via le port USB.
- L’UART1 est par défaut sur les broches utilisées par le flash ESP32.
- L’UART2 pour l’utiliser, il suffit d’ajouter Serial2. Begin () dans la fonction setup () et d’utiliser la fonction Serial2.println () pour envoyer des messages. Par défaut, le bus UART2 est sur les pins GPIO16(RX2) et GPIO17(TX2) mais on peut les changer (utile avec un module Wrover) lors du setup.

III.3.1.5. Les bus de communication

L’ESP32 dispose d’un bus I2C :

- Le bus I2C0 est celui utilisé par défaut. Il est connecté aux broches GPIO22 (SCL) et GPIO21 (SDA) de l’ESP32.
- Le bus I2C1 peut être utilisé sur n’importe quelle broche à part les broches limitées.

III.3.1.6. Broches d’entrée analogique (ADC)

L’ESP32 dispose de deux ADC séparés :

- **ADC1** : Avec huit canaux.

ADC1_CH0	ADC1_CH1	ADC1_CH2	ADC1_CH3
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

GPIO36	GPIO37	GPIO38	GPIO39
ADC1_CH4	ADC1_CH5	ADC1_CH6	ADC1_CH7
GPIO32	GPIO33	GPIO34	GPIO35

Tableau III.2 : Les broches d’entrée Analogique (8 canaux).

ADC2 : Avec dix canaux.

ADC2_CH0	ADC2_CH1	ADC2_CH2	ADC2_CH3	ADC2_CH4
GPIO4	GPIO0	GPIO2	GPIO15	GPIO13
ADC2_CH5	ADC2_CH6	ADC2_CH7	ADC2_CH8	ADC2_CH9
GPIO12	GPIO14	GPIO27	GPIO25	GPIO26

Tableau III.3 : Les broches d’entrée Analogique (10canaux).

III.3.1.7. Convertisseurs numériques-analogique (DAC)

L’ESP32 dispose de deux sorties DAC à 8 bits pour convertir un signal numérique en signal analogique.

Les broches utilisées sont :

DAC1	DAC2
GPIO 25	GPIO26

Tableau III.4 : Les broches de sorties de convertisseur numérique- analogique.**III.3.1.8. Capteur Capacitif**

L'ESP32 dispose de dix capteurs capacitifs Ils peuvent être utilisés comme boutons tactiles. Les capteurs capacitifs internes sont connectés aux broches GPIO suivantes :

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 III.5: Les broches GPIO de capteur capacitif.**III.3.1.9. Capteur à effet hall**

L'ESP32 possède un capteur Hall basée sur une résistance à porteuse N. Lorsque la puce est dans le champ magnétique, le capteur Hall développe une petite tension latéralement sur la résistance, qui peut être directement mesurée par l'ADC.

III.3.1.10. Brochage de la carte de développement ESP32

La carte de développement ESP32 possède 36 au total broches d'entrées/sorties, agit comme une passerelle entre le microcontrôleur et le monde extérieur. Ces broches offrent une connectivité flexible et variée.

Les connexions sont les suivantes :

- **Broches d'alimentation**

Deux broches d'alimentation sont disponibles à savoir : broche VIN et broche 3.3V. La broche VIN peut être utilisée pour alimenter directement l'ESP32 et ses périphériques, si vous avez une source de tension 5V régulée. La broche 3.3V est la sortie d'un régulateur de tension intégrée. Cette broche peut être utilisée pour alimenter les composants externes.

- **GND** : Est une broche de masse de la carte de développement de l'ESP32.
- **Broches Arduino** : Ne sont que des broches matérielles I2C et SPI d'ESP32 pour brancher toutes sortes de capteurs et de périphériques dans votre projet.
- **Broches GPIO** : Le DevKit ESP32 Wroom32 a un total de 25 GPIO, dont quelques broches ne sont que des broches d'entrée.

Broches d'entrée uniquement :

- GPIO 34
- GPIO 35
- GPIO 36
- GPIO 39

Toutes les broches n'ont pas de pull up d'entrée, un pull up externe est nécessaire sur ces broches lorsqu'elles sont utilisées comme pull up d'entrée.

Broches avec tirette interne INPUT_PULLUP :

- GPIO14
- GPIO16
- GPIO17
- GPIO18
- GPIO19
- GPIO21

- GPIO22
- GPIO23

Epingles sans lien interne :

- GPIO13
- GPIO25
- GPIO26
- GPIO27
- GPIO32
- GPIO33

III.3.2. Capteur de température corporelle (Ds18b20)

III.3.2.1. Définition

Le capteur ds18b20 du fabricant Maxim (anciennement dallas semiconducteur) est un capteur de température numérique. Est basé sur plusieurs technologies clés qui lui permettent de mesurer la température avec précision et fiabilité.

Le cœur de DS18B20 est un capteur de température à résistance thermo dépendante à base de silicium, il exploite le principe de la RTD plus que la température augmente, plus la résistance électrique du capteur diminue. Il intègre un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui transforme le signal analogique en valeur numérique lisible par le microcontrôleur. Cela permet d'assurer une précision et une stabilité accrues des mesures de température. Il communique via une interface 1-WIRE pour simplifier la connexion et la communication avec le microcontrôleur, ce qui permet de connecter plusieurs capteurs DS18B20 sur un seul bus de données, réduisant ainsi le nombre de broches requises pour la communication.

Il possède une résolution numérique de 9bits à 12bits (programmable, voir chapitre bonus) avec une plage de mesure -55°C à 125°C . La précision analogique du capteur est de $0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C et $+85^{\circ}\text{C}$. Ce qui rend ce capteur plus intéressant pour une utilisation normale [26].

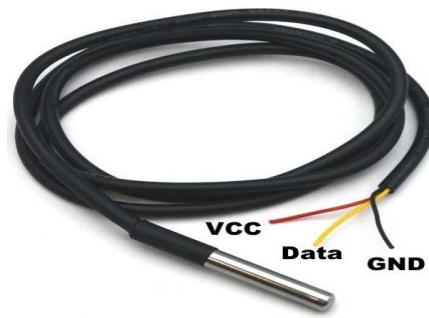


Figure III.5 : Sonde de température DS18B20 [27].

III.3.2.2. Caractéristiques

- Précision $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de -10°C à 85°C .
- 3,3V et 5V tension d'entrée.
- -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$ gamme de température.

III.3.2.3. Connexion du capteur DS18B20

Branchage de DS18B20 avec ESP32 :

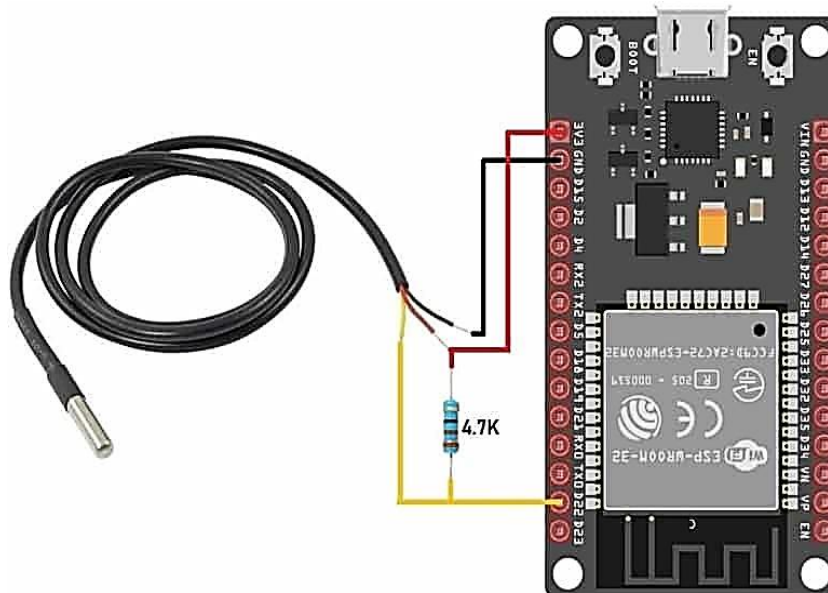


Figure III.6 : Schéma de connexion du DS18B20 à l'ESP 32 [28].

III.3.3. Oxymètre Max30102

III.3.3.1. Définition

Le Max30102 est un module biocapteur intégré conçu pour la mesure de la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène du sang avec précision et fiabilité. Il intègre des LED internes, des photodétecteurs. Pour mesurer la lumière absorbée par le sang. La lumière émise par les LED traverse un doigt de l'utilisateur et une partie est absorbée par l'hémoglobine dans le sang. La quantité de lumière absorbée dépend de la concentration d'oxygène dans le sang. Les photodétecteurs mesurent la lumière restante, et le capteur utilise ces mesures pour calculer la SPO2.

Des optiques et des composants électroniques à faible bruit avec suppression de la lumière ambiante. Le Max30102 fournit une solution système complète pour faciliter le processus de conception des appareils mobiles et portables.

Le Max30102 fonctionne sur une seule alimentation de 1,8V et une alimentation séparée de 3,3V ou 5,0V pour les LED internes. La communication se fait via une interface compatible I2C standard. Cette interface permet au capteur de partager des données de mesure avec le microcontrôleur pour une analyse et un traitement ultérieur. Le module peut être arrêté par logiciel avec un courant veille nul. Gardant les rails d'alimentation alimentés à tout moment [29].

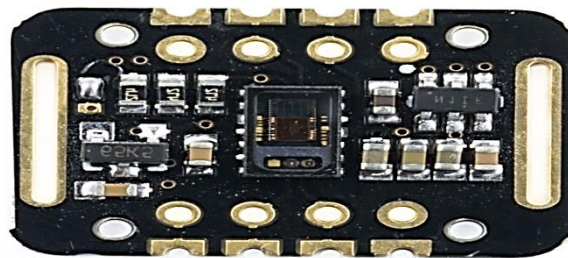


Figure III.7 : Oxymètre MAX30102 [30].

III.3.3.2. Caractéristiques

- Biocapteur de moniteur de fréquence cardiaque et d'oxymètre de pouls dans une solution réfléchissante à LED.
- Module optique 14 broches minuscule de 5,6mmx 3,3 mm x 1,55 mm
- Fonctionnement à très basse consommation pour les appareils mobiles.
- Moniteur de fréquence cardiaque à faible consommation.
- Lamelle intégrée pour des performances optimales et robustes.
- Fréquence d'échantillonnage programmable et courant DEL pour des économies d'énergie.

- Courant d'arrêt à très basse consommation ($0,7\mu\text{A}$, type).
- Capacité de sortie rapide des données.
- Taux d'échantillonnage élevés.
- Résilience des artefacts de mouvement robuste.
- SNR élevée.
- $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ Température de fonctionnement.

III.3.3.3. Connexion du capteur Oxymètre MAX30102

Brochage de MAX30102 avec ESP32 :

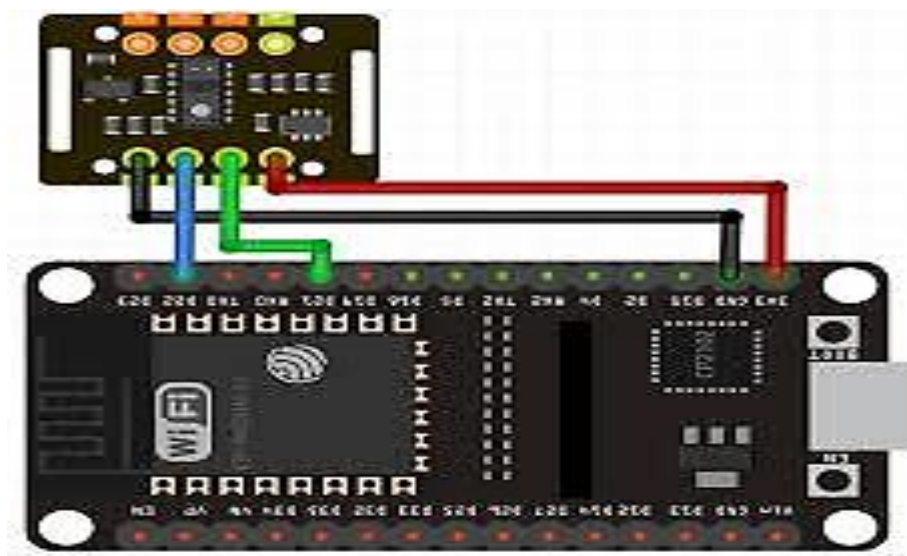


Figure III.8 : Schéma de connexion du MAX30102 à l'ESP32 [31].

III.3.4. Capteur de température et d'humidité DHT11

III.3.4.1. Définition

Capteur DHT11 est un capteur numérique basique de température et d'humidité à fil unique, il assure une grande fiabilité et une excellente stabilité. Le capteur comprend un ensemble de mesure de température NTC et un ensemble de mesure d'humidité résistif.

Le DHT11 utilise un capteur d'humidité relative capacitif pour mesurer la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Ce capteur est composé de deux électrodes recouvertes d'un matériau diélectrique sensible à l'humidité. Lorsque l'humidité ambiante augmente, la conductivité du matériau diélectrique augmente également, ce qui modifie la capacité entre les électrodes. Le capteur mesure ce changement de capacité et le convertit en une valeur d'humidité relative.

Il intègre également une thermistance, qui est une résistance sensible aux variations de température. La résistance se diminue lorsque la température augmente. Le capteur mesure cette variation de résistance et la convertit en une valeur de température [32].

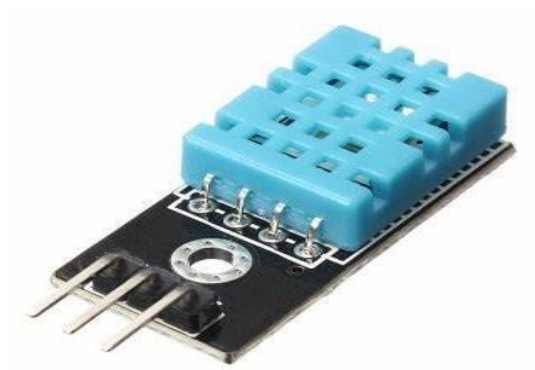


Figure III.9 : Capteur de température et d'humidité DHT11 [33].

III.3.4.2. Caractéristiques

- Plage de mesure : 20 à 90% d'humidité relative ,0 à 50 °C.
- Précision de température : $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Précision d'humidité : $\pm 5\%$ HR.
- L'alimentation électrique du DHT11 : 3,3v à 5V DC.
- Résolution : 1.
- Stabilité à long terme.
- Courant : 0,5mA 2,5mA.
- Dimension : 15 mm x 12 mm x 5,5 mm
- Distance de transmission des données : 20 à 30m.

III.3.4.3. Pins de DHT11

- VCC.
- GND.
- DATA.

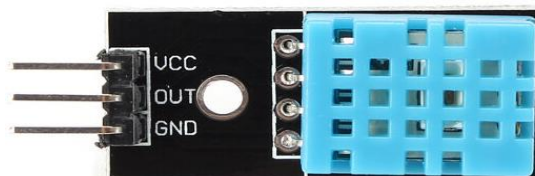


Figure III.10 : Pins du DHT11 [34].

III.3.4.4. Câblage du DHT11 avec esp32

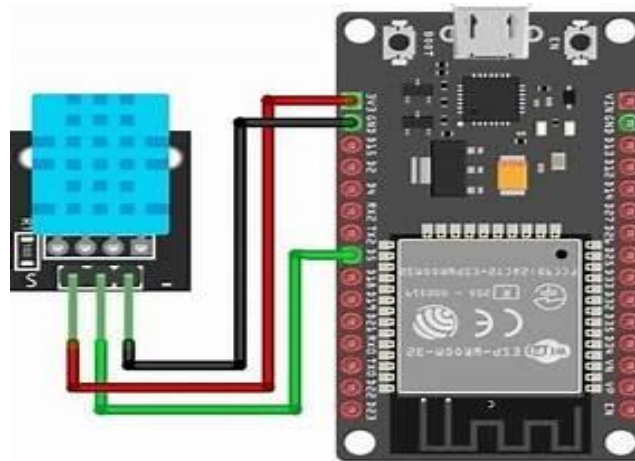


Figure III.11 : Schéma de connexion du DHT11 à ESP32 [35].

III.3.5. L'afficheur LCD

III.3.5.1. Définition

L'écran LCD 20X4 est un écran d'affichage qui permet d'afficher sur 20 caractères sur 4 lignes. La couleur des caractères est blanche et l'écran a un fond bleu, il se connecte à un microcontrôleur via une interface I2C qui simplifie le câblage et réduit le nombre de broches nécessaire par rapport aux interfaces LCD traditionnelles [33].



Figure III.12 : Afficheur LCD 20X4 avec I2C.

III.3.5.2. Caractéristiques

- Alimentation : 5V.
- Dimension : Environ 98 x 60 x 16 mm.
- Interface I2C incluse.
- Ajustement du contraste possible

- Ajustement du rétroéclairage possible.
- Adresse 0x20 ou 0x24 ou 0x27.
- Rétro éclairage bleu.
- Caractères blancs.
- Pin Définition : GND, VCC, SDA, SCL.

III.4. La partie logicielle

III.4.1. Outils de développement

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

- Arduino IDE avec le module ESP32 Arduino Core.
- FAUST, langage de programmation de traitement de données audio, utilisant son DSP.
- Micro python.
- Lua RTOS pour ESP32.
- Mruby une variante pour l'embarquer du langage Ruby.
- Espruino.
- Node MCU.
- Esprissif IDF.

Chacun de ces logiciels offre des fonctionnalités spécifiques et des avantages pour les développeurs.

Dans ce projet nous utiliserons l'outil Arduino IDE est un logiciel électronique multiplateforme, qui permet de programmer les cartes Arduino et ESP32. En utilisant un langage plus simplifiée dérivé du langage C et C++. Notamment installer la carte ESP32 en elle-même. ++. Servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au microcontrôleur à travers des liaisons sérié (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) [36].

III.4.2. Structure générale du programme (Arduino IDE) :

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

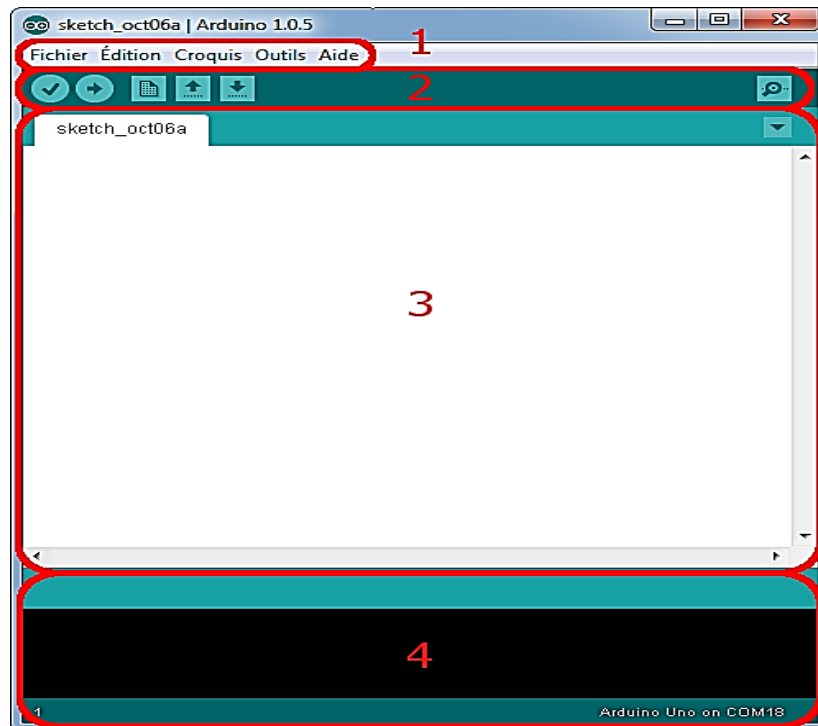


Figure III.13 : interface programmation Arduino [37].

- a. Option de configuration du logiciel.
- b. Barre d'action.
- c. Ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
- d. Déboguer (il va nous aider à corriger les erreurs de programmation).

La barre est illustrée comme suite :

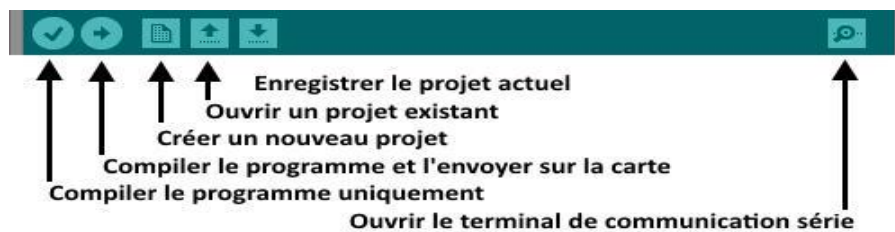


Figure III.14: Rôle des boutons de la barre des actions [38].

III.4.3. Etapes d'installation de la carte ESP 32

La première étape consiste à installer le module complémentaire ESP32 pour ajouter le paquet ESP32. Dans l'IDE Arduino, ouvrez le menu des préférences. Et ajouter l'URL dans gestionnaires de cartes supplémentaires.

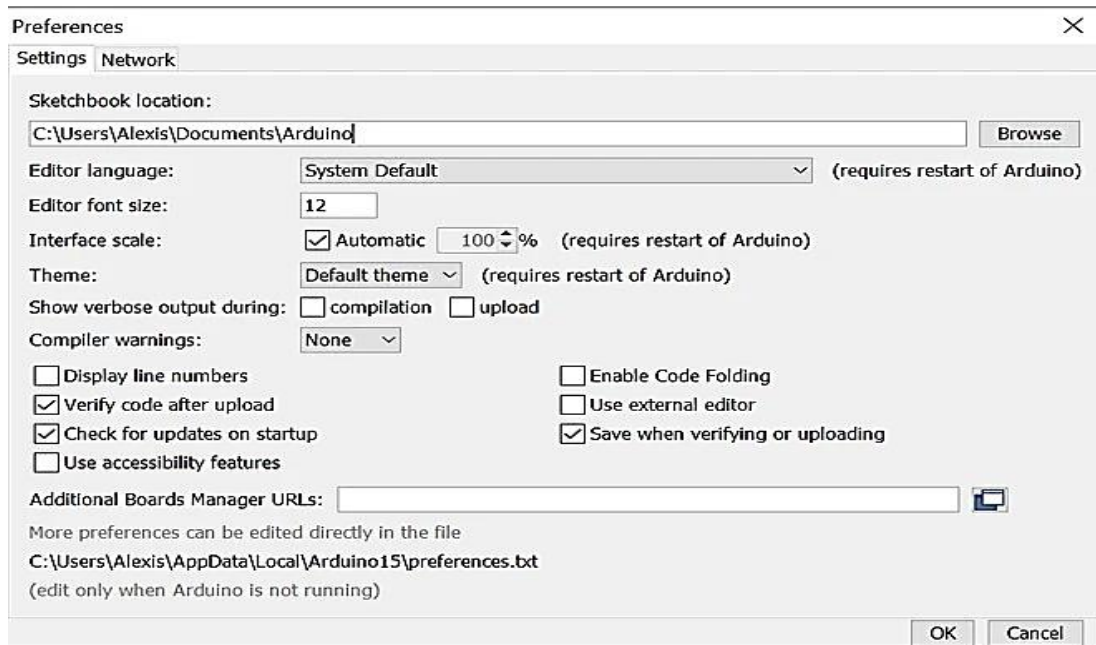


Figure III.15 : Présentation des préférences de l'IDE Arduino.



Figure III.16 : Gestionnaire de cartes supplémentaires Arduino IDE.

La deuxième étape consiste à sélectionner gestionnaire de cartes. Dans le gestionnaire, vous devrez sélectionner ESP32 et installer le paquet.



Figure III.17 : Installation de la bibliothèque ESP32 [39].

La 3^{ème} étape ESP32 devraient être disponible dans la liste des cartes, ouvrez le menu de sélection des cartes et vous sélectionnez votre carte et le port associé.

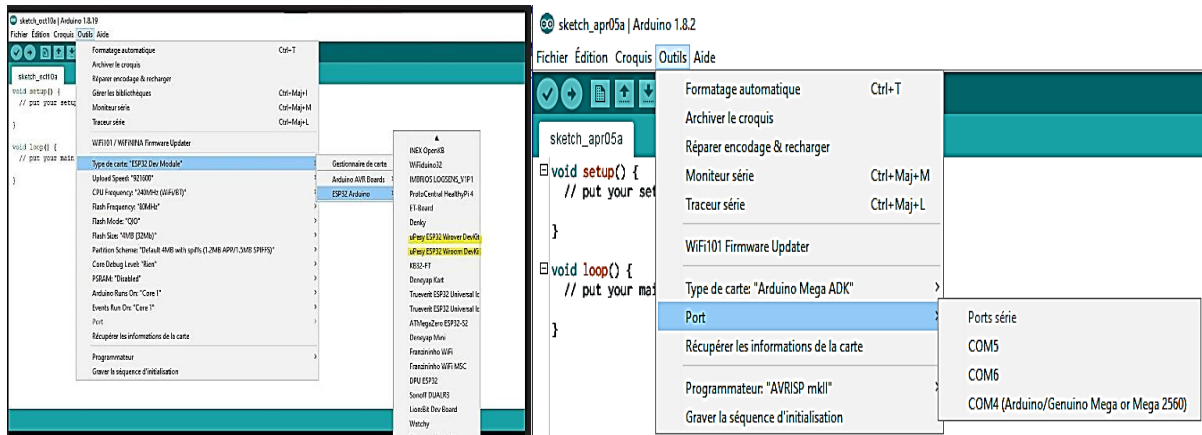


Figure III.18 : Gestionnaire de sélection de la carte et du port.

La 4^{ème} étape c’est de compiler et téléverser le code. Servent d’éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au microcontrôleur à travers des liaisons sériel (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module).

III.5. Internet des objets (IOT)

L’internet des objets (IOT) est un réseau des terminaux physiques (objets) qui intègrent des capteurs, des logiciels et d’autres technologies dans le but de se connecter et d’échanger des données avec d’autres dispositifs et système sur internet.

Les objets connectés peuvent être des appareils domotique, des outils industriels et des véhicules, des thermostats. Ils sont équipés des capteurs et d’appareils capables de collecter les données sur leur environnement tel que la température, l’humidité, la lumière, la vitesse... [40].



Figure III.19: Internet des objets IOT [41].

III.6. Principe de fonctionnement d'un objet connecté

Les objets connectés utilisent des technologies de communication dédiées de type M2M (Machine to Machine) pour communiquer entre eux. Le M2M est un système qui permet aux machines de communiquer entre elles sans l'intervention d'un être humain. Ils sont équipés de capteurs et d'appareils capables de collecter des données sur leur environnement. Ces données sont ensuite envoyées vers un serveur central (Cloud services) pour être analysées et utilisées [42].

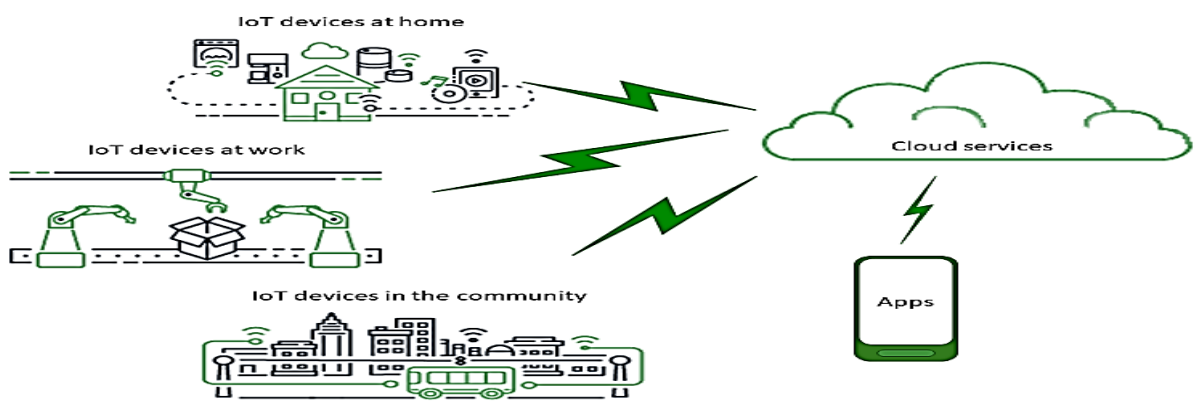


Figure III.20 : Fonctionnement des objets IOT [43].

III.7. Caractéristiques d'un objet connecté

Un objet connecté est un système informatique embarqué doté d'une capacité à se communiquer. Il possède les caractéristiques suivantes :

- Identification : est un code qui lui permet d'identifier parmi d'autres objets connectés.
- Sensibilité à son environnement : un objet connecté peut avoir la capacité à analyser son environnement et effectuer des tâches plus avancées.
- Interactivité : la connexion en permanence d'un objet connectée à son réseau n'est pas nécessaire, sauf si l'objet a besoin de communiquer des informations à travers le réseau.

- Représentation virtuelle : est un programme résident dans le cloud pouvant agir au nom d'un objet connectée. Cette représentation est nommée parfois cyber-objet au agent Virtuel.
- Autonomie : un objet connecté doit se fonctionner indépendamment d'un contrôle à distance.

III.8. Objets connectés avantages et inconvénients

III.8.1. Avantage des objets connectés

Les objets connectés offrent une variété et de nombreux avantages pour l'utilisateur. Tels que :

- Taille réduite, ils ne nécessitent pas d'embarquer de composants pour la visualisation autonome.
- La réduction du cout des équipements de production.
- Les objets connectés permettent du surveiller et de Controller à distance.

III.8.2. Inconvénient des objets connectés :

Si de nombreux avantages sont liés à la nature de l'objet connecté, il convient de considérer la situation dans son ensemble, en tenant compte des inconvénients et des limites inhérentes au concept :

- Les données des capteurs sont transmises sur internet et stockées sur les serveurs du fabricant (plus ou moins sécurisés).
- Certaines fonctions initialement promises ne sont jamais mises en place pour diverses raisons stratégiques et il est parfois nécessite un réinvestissement dans le modèle de 2^{ème} génération.
- En cas d'arrêt de service, l'objet devient inutile : le service peut être abonnée si non rentable, en cas liquidation ou un changement de positionnement ou si un nouvel investissement du fabricant [44].

III.9. Discussion

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les composants matériels et logiciels de notre projet de système de surveillance d'un prématuré, comprenant la carte microcontrôleur ESP32, divers capteurs et l'intégration à l'Internet des Objets (IoT).

Dans le chapitre suivant nous allons exploiter ces modules afin de concrétiser notre système de la surveillance à distance.

Chapitre IV

Réalisation d'un prototype d'un incubateur

IV.1. Préambule

Le développement des nouvelles technologies dans le domaine de la santé, notamment internet des objets (IOT). Ouvert des nouvelles possibilités pour améliorer les soins aux patients en particulier les nouveau-nés prématurés qui nécessitent une surveillance et des soins intensifs. La surveillance traditionnelle des nouveau-nés prématurés dans les unités néonatales peut être exigeante pour le personnel médical, en raison de la nécessité d'une surveillance constante. Nous proposons de développer ce prototype d'incubateur intelligent qui est destiné aux nouveau-nés prématurés pour automatiser la surveillance des paramètres vitaux et fournir des informations en temps réel.

IV.2. Fonctionnement du système

Dans le cadre de la conception et la réalisation d'un prototype d'incubateur intelligent destiné aux nouveau-nés prématurés, nous proposons un système de la surveillance médicale à distance. Il s'agit d'un système embarquée compact est basé sur une carte dédiée aux applications des internet des objets (IOT). Le système utilise des capteurs médicaux de haute précision pour mesurer des paramètres vitaux cruciaux chez les prématurés. Les données recueillies par les capteurs sont traitées par le programme embarqué du système et transmises en temps réel via un serveur Web. Cette transmission permet aux médecins et au personnel médical d'accéder aux données vitales du bébé à distance.

IV.3. Développement d'un système de surveillance

Le système de surveillance d'un prématuré se compose de deux modules principaux : l'acquisition et la transmission des données. La partie acquisition regroupe l'ensemble des capteurs mesurant divers paramètres tels que la fréquence cardiaque et la température corporelle, l'humidité. Ces données sont ensuite traitées par une unité centrale ESP32 qui assure leur organisation. La partie transmission consiste de prendre en charge l'envoi des données traitées vers un smartphone. Elle utilise le module wifi intégré à la carte ESP32 pour établir une connexion sans fil avec l'application, ce système permet de surveiller à distance en temps réel.

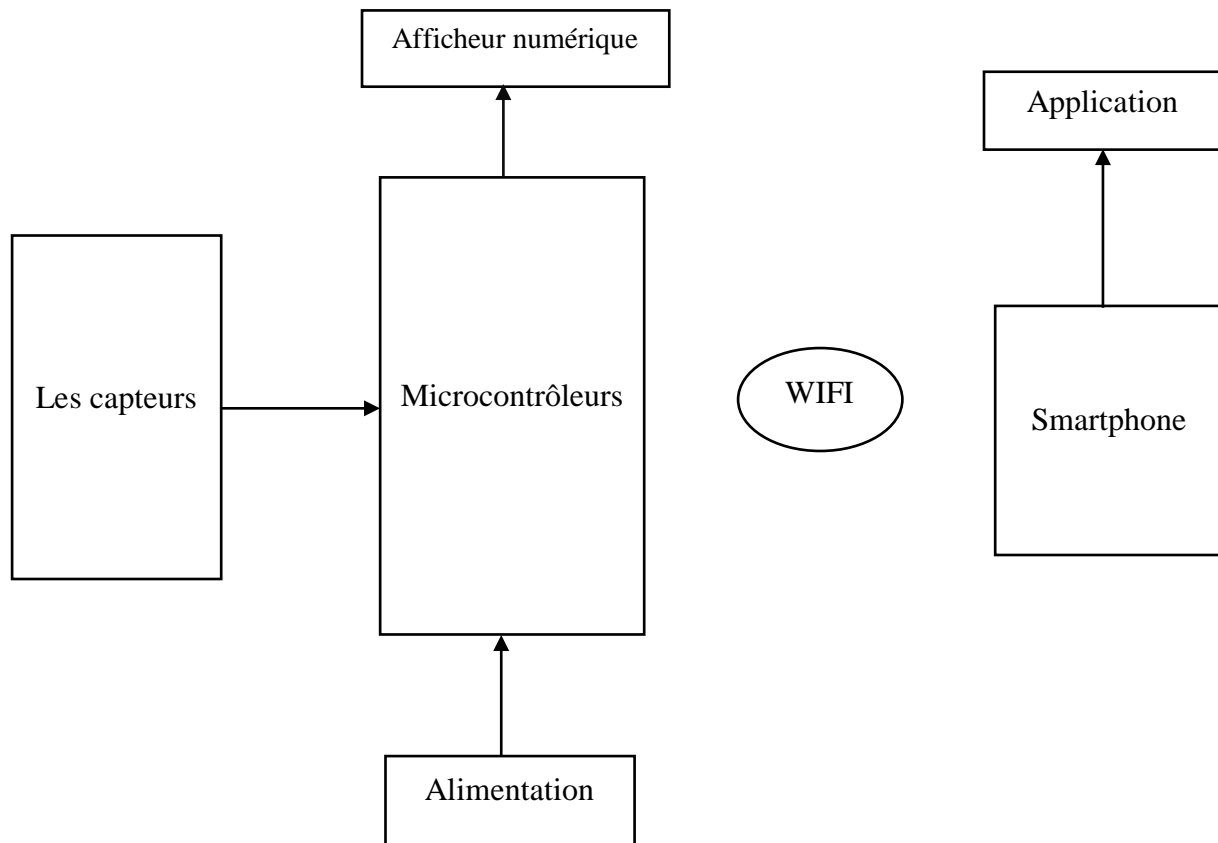


Figure IV.1 : Schéma synoptique globale du système de la surveillance à distance.

La mise en place d'un système de surveillance à distance comporte trois étapes principales :

La première étape consiste à connecter les différents capteurs à la carte microcontrôleur, puis la deuxième étape c'est d'introduire le programme sur le microcontrôleur à fin d'obtenir des résultats de mesure des différents capteurs. Et pour la 3ème étape consiste à transmettre les données mesurées à travers un bloc WIFI.

Le système réalisé se compose principalement de trois capteurs et un buzzer et 5 LEDS qui sont reliés à la carte ESP32.

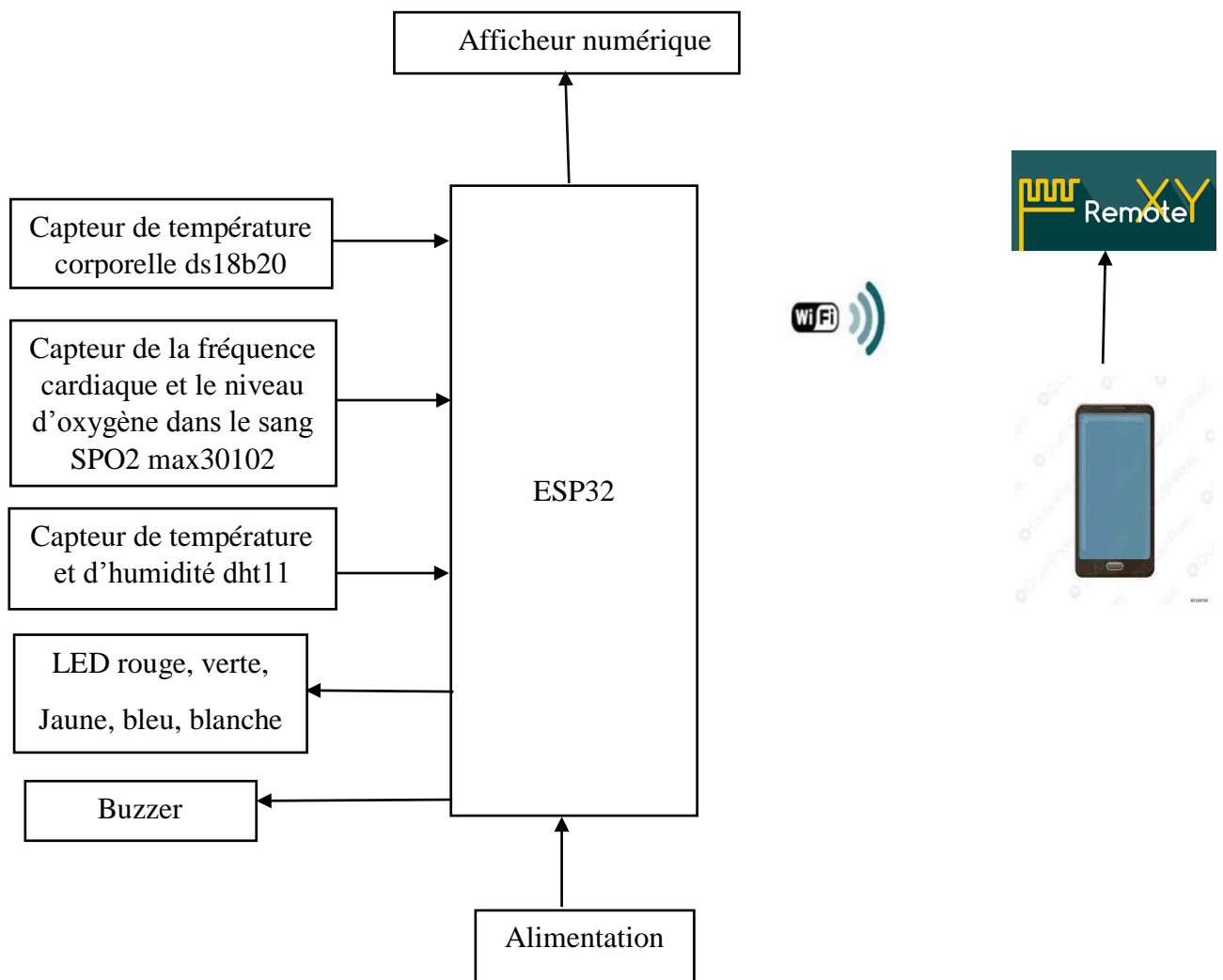


Figure IV.2 : Schéma synoptique spécifique du système de la surveillance à distance.

Le capteur de mesure de fréquence cardiaque et le niveau d'oxygène est alimenté avec une tension 5v et la broche (-) reliée à la masse GND et SCL (Serial Clock Line) est relié avec le pin 22 pour SDA (Serial Data Line) est connecté au pin 21 de microcontrôleur.

- ❖ Capteur de température et de d'humidité (DHT11) est alimenté avec une tension 5V et la broche (-) est reliée à la masse GND et la sortie (s) est connectée au pin 23 de microcontrôleur.
- ❖ Capteur de température corporelle (DS18B20) est alimenté avec une tension de 5V et broche (-) est reliée à la masse GND et la sortie (s) est connectée au pin 14 de microcontrôleur.
- ❖ Le buzzer sa broche (-) est relié à la masse GND et la sortie (s) est connectée au pin 5 de microcontrôleur.

- ❖ La LED rouge sa cathode est reliée à la masse GND et l'anode est reliée au pin 16 microcontrôleur.
- ❖ La LED jaune sa cathode est reliée à la masse GND et l'anode est reliée au pin 17 microcontrôleur.
- ❖ La LED verte sa cathode est reliée à la masse GND et l'anode est reliée au pin 2 microcontrôleur.
- ❖ La LED blanche sa cathode est reliée à la masse GND et l'anode est reliée au pin 19 microcontrôleur.
- ❖ La LED bleu sa cathode est reliée à la masse GND et l'anode est reliée au pin 18 microcontrôleur.
- ❖ Un afficheur LCD 20×4 reliée à un module I2C.

Après à voir effectué le branchement, nous passons à la programmation de la carte ESP32.

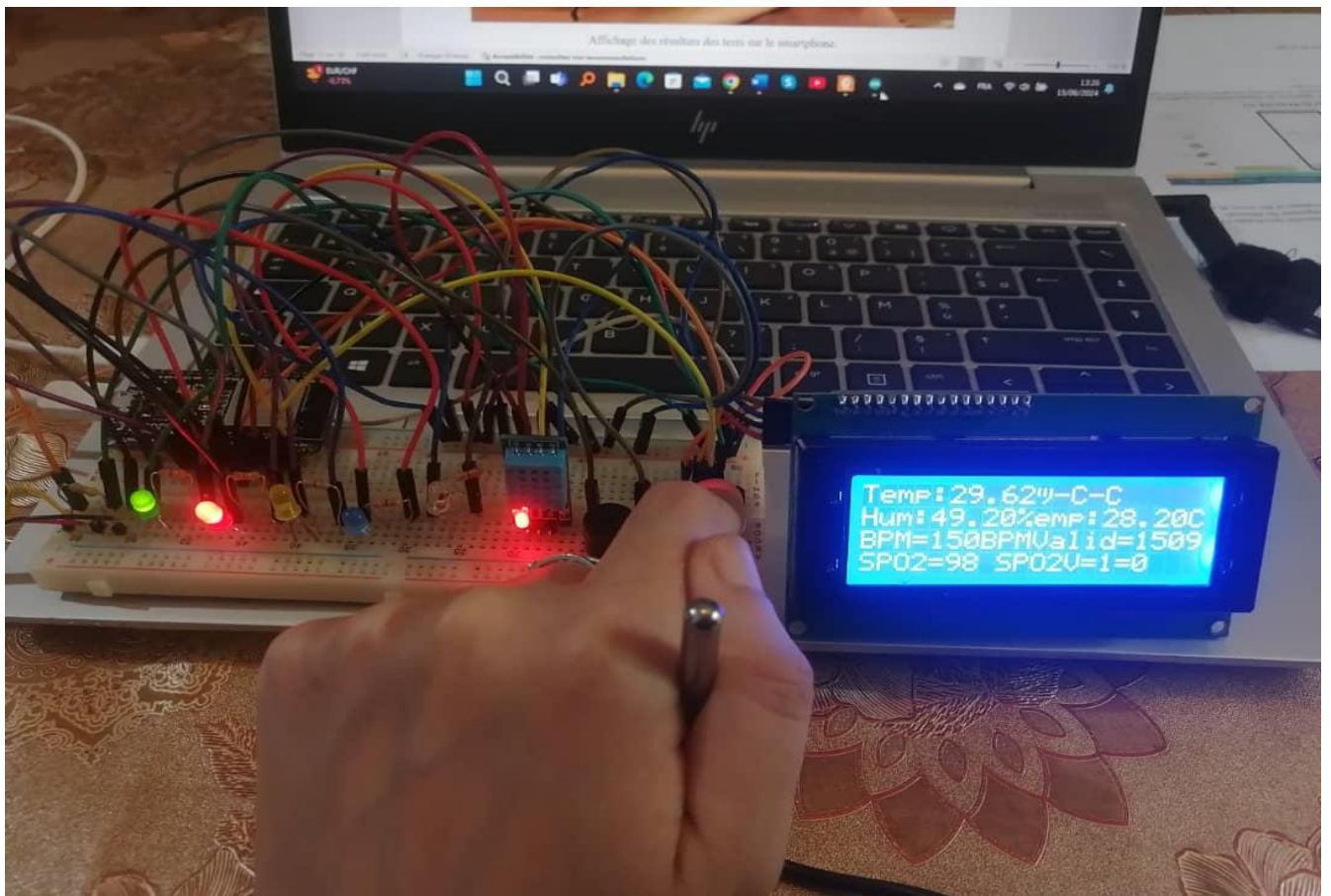


Figure IV.3 : Schéma de réalisation du système.

- **La partie programmation du système**

Pour obtenir les mesures de capteur de température corporelle (ds18b20) nous avons utilisées les instructions suivantes :

```
Sensor.requestTemperature () ;
```

```
Float température = sensors.getTempCByIndex (0) ;
```

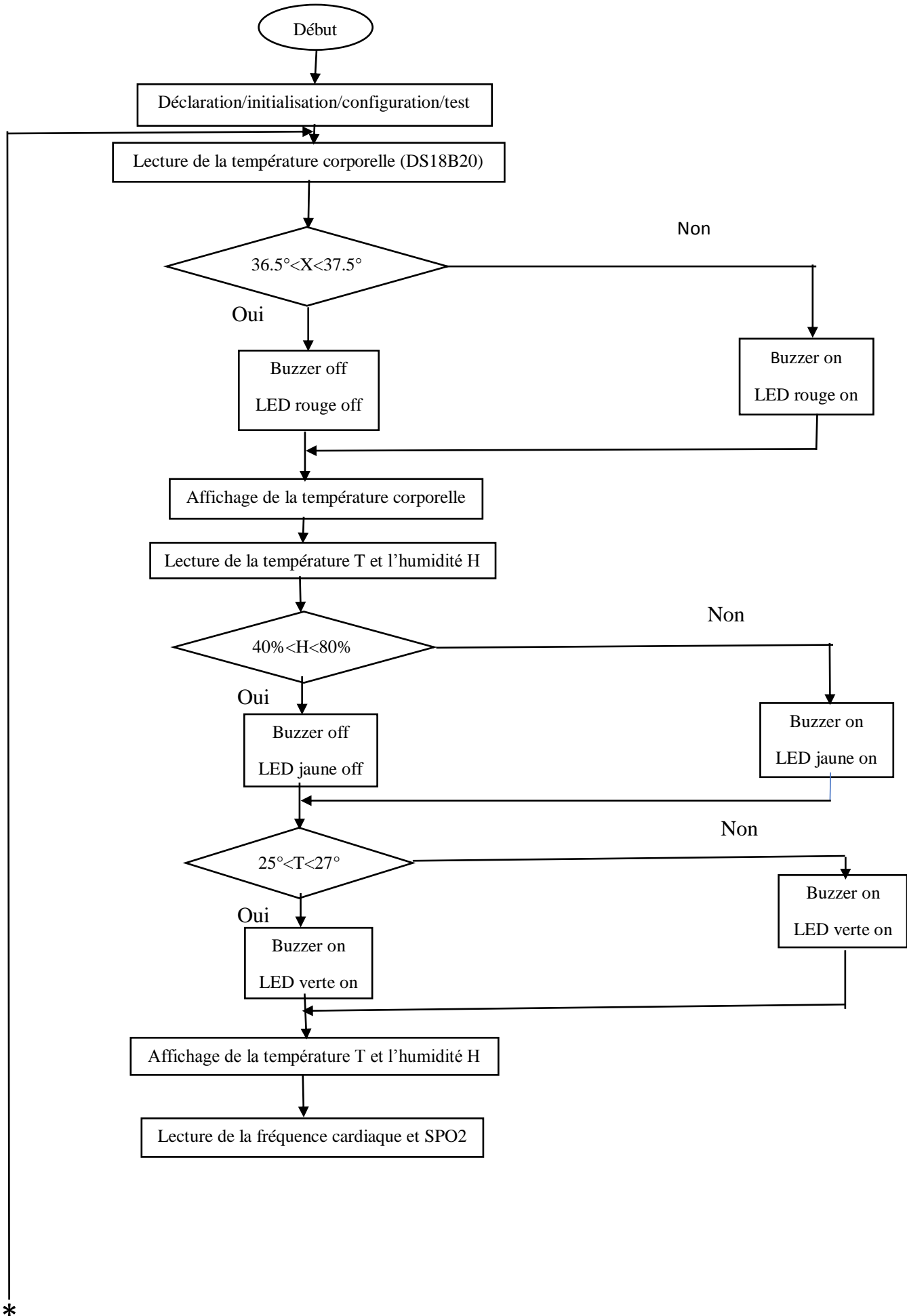
Pour obtenir les mesures de capteur de température et d'humidité (dht11) nous avons utilisées les instructions suivantes :

```
float tempC = dht.readTemperature () ;
```

```
float humidity = dht.readHumidity () ;
```

Pour obtenir les mesures de la fréquence cardiaque et SPO2 (max30102) nous avons utilisées les instructions suivantes :

```
particleSensor.heartrateAndOxygenSaturation (**SPO2=&SPO2,  
/**SPO2Valid=&SPO2Valid, /**heartRate=&heartRate,  
/**heartRateValid=&heartRateValid);
```



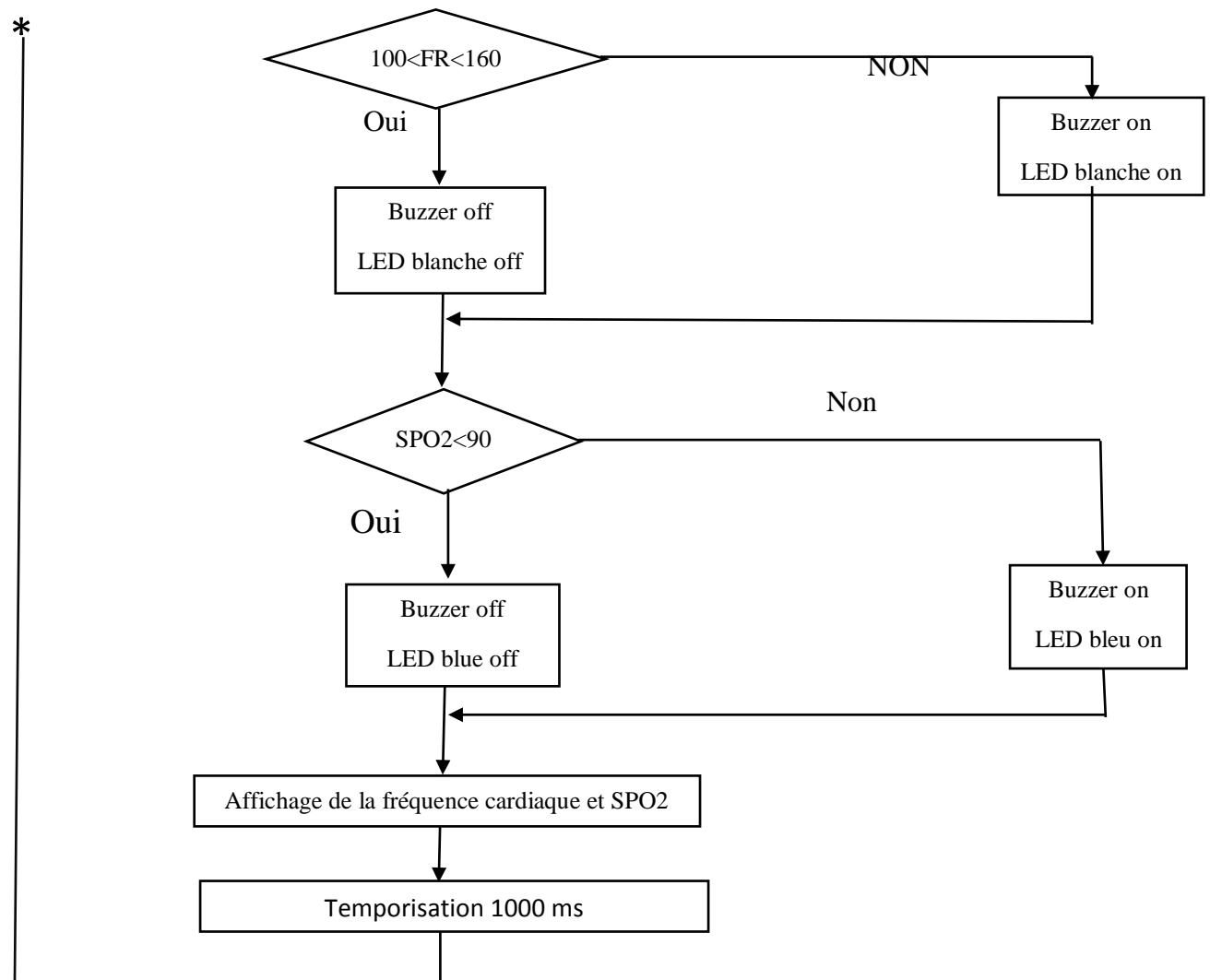


Figure IV.4 : Organigramme d'acquisition des valeurs.

IV.4. Présentation de l'application REMOTE XY

REMOTE XY est une application mobile qui permet de contrôler à distance des cartes de microcontrôleur telles qu'Arduino, ESP32, via une interface graphique personnalisable. Elle offre une solution intuitive et flexible pour la commande de systèmes électroniques, la domotique, l'acquisition de données et l'expérimentation.

IV.3.1. Fonctionnalité principale de l'application

Pour la configurer il faut passer par quatre étapes essentielles, qui sont les suivantes :

➤ **Etape1 : Création d'interface graphique.**

L'utilisateur peut concevoir une interface graphique adaptée à ses besoins spécifiques à l'aide d'un éditeur d'interface graphique intégré pour glisser-déposer et organiser les

éléments d'interface utilisateur tels que des boutons, des curseurs, des indicateurs et des zones de texte [45].

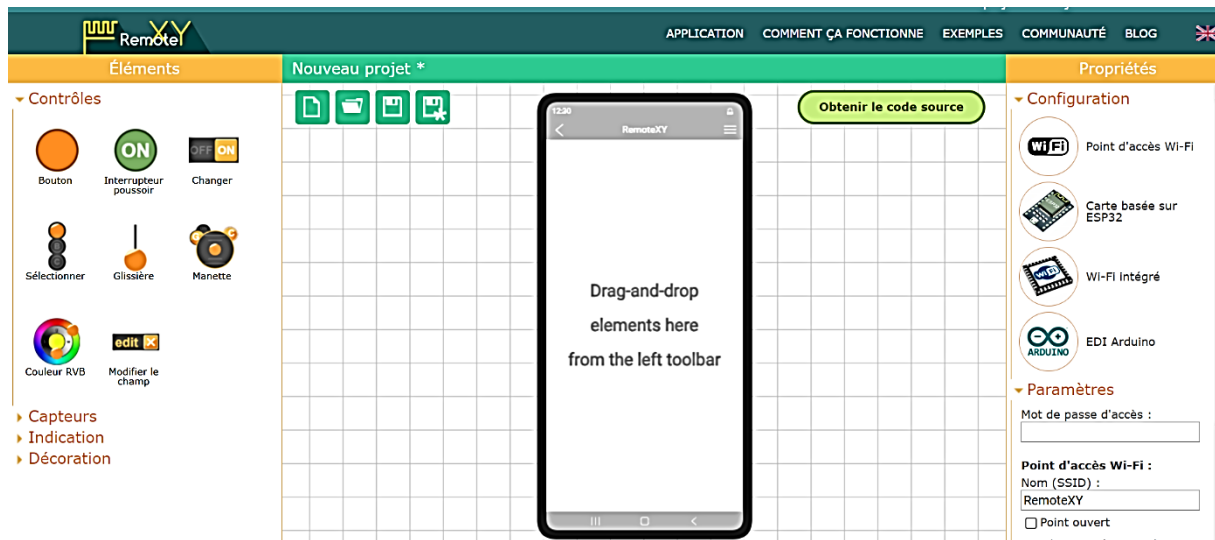


Figure IV.5 : L'interface graphique de REMOTE XY.

Il est aussi possible de personnaliser l'apparence de chaque élément en modifiant sa taille, sa couleur, sa police, et ses autres propriétés. L'utilisateur enregistre Enregistrez Son interface graphique en lui attribuant un nom unique.

➤ **Etape2 : 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 permet à l'utilisateur de spécifier les options de la carte et protocole de communication. IL va sélectionner les paramètres suivants selon l'utilisation :

- Type de connexion.
- Type de carte.
- Type de Module.
- Logiciel utilisé.

Et en suit il clique sur le bouton " obtenir le code source ".

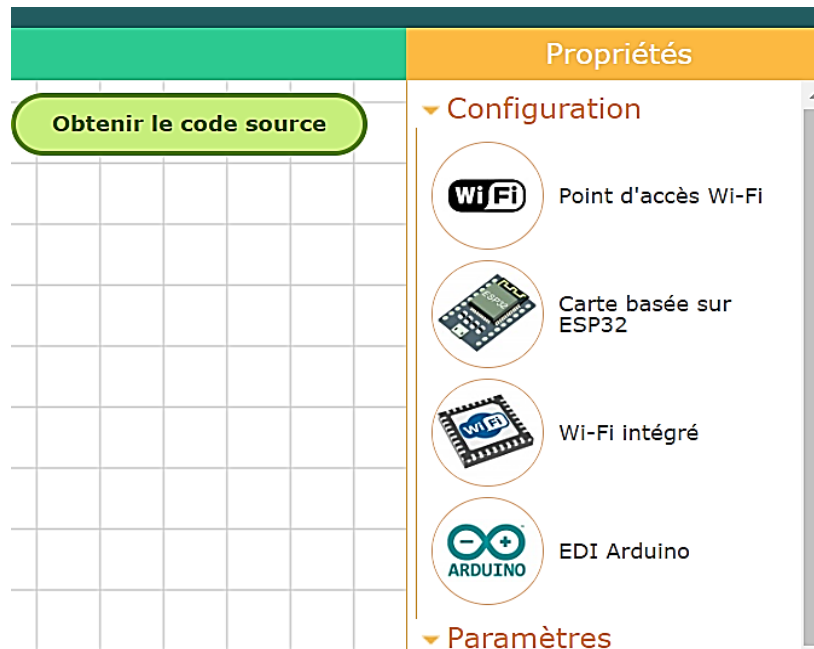


Figure IV.6 : L'onglet « configuration ».

L'utilisateur va définir les valeurs des paramètres suivants :

- NOM(SSID) : nom du réseau WI-FI domestique.
- Mot de Passe : mot de passe du réseau WI-FI domestique.

➤ **Etape3 : Téléchargement du code source.**

L'utilisateur après avoir conçu son interface graphique dans REMOTE XY selon son utilisation. Il clique sur le bouton 'obtenir le code source' une fenêtre s'ouvre contenant le code source généré par l'interface graphique. Une fois que le code est prêt l'utilisateur sélectionne tout le code et il va le coller dans Arduino IDE pour compiler et réorganiser pour améliorer sa lisibilité et sa structure, sans oublier de rajouter la bibliothèque REMOTE XY dans Arduino IDE. Une fois cette étape terminée, le projet sera chargé sur la carte microcontrôleur et prêt à être utilisé.

1. Download the **source code** for board, open it in the Arduino IDE.
2. Install the **RemoteXY library** for Arduino IDE.
3. Compile the source code and upload it to the board using the Arduino IDE.
4. Install the mobile app **RemoteXY** to your phone or tablet.
5. Connect to board using mobile app.

Figure IV.7 : Le code source.

➤ **Etape4 : Installation d'application mobile.**

L'utilisateur doit installer l'application mobile REMOTE XY sur le téléphone, en suite il lance l'application et il valide un simple clic sur le bouton de connexion plus (+) une fenêtre s'ouvre qui permet de Sélectionner type de connexion.

Ensuite il faut appuyer sur le bouton connecter, une interface graphique s'ouvre.

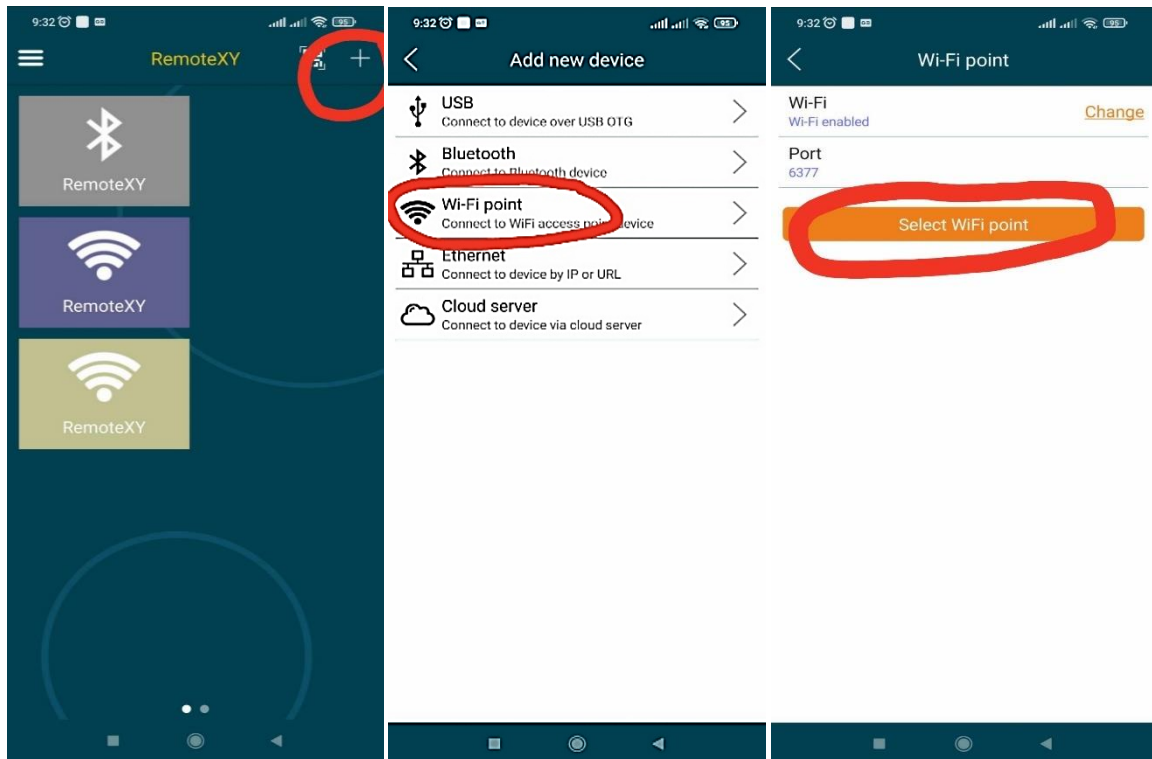


Figure IV.8 : Configuration réseau de l'application REMOTE XY sur Smartphone.

IV.3.2. Fonctionnement de l'application

REMOTE XY fournit un moyen simple et efficace et pour se communiquer avec ESP32 utilise un protocole de communication spécifique. 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. 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 esp 32 et les stocke dans sa base de données. Elle fournit des interfaces graphiques intuitives pour visualiser les données des capteurs en temps réel.

IV.3.3. Les avantages :

L'application REMOTE XY se distingue par sa simplicité d'utilisation, sa communication bidirectionnelle flexible et son interface personnalisable et son support multiforme sa communauté active en font un outil précieux pour les développeurs. Elle permet de génère plusieurs périphérique ESP32 et d'afficher des données en temps réel.

IV.3.4. Utilisation de l'application REMOTE XY

Nous avons créé une interface graphique adaptée à notre projet qui permet de surveiller les paramètres des prématurés à distance. Nous avons rajouté et organiser les éléments nécessaires.

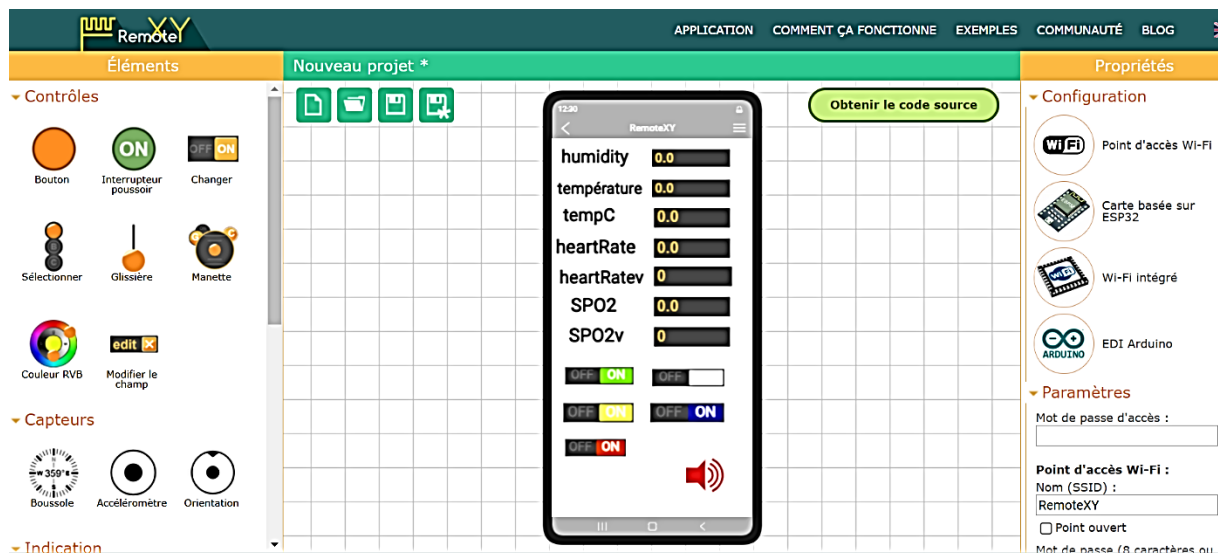


Figure IV.9 : Interface sur PC.

Ensuite nous avons configuré les paramètres, on sélectionne :

- Type de connexion : points d'accès Wifi.
- Type de carte : ESP32.
- Type de Module : Wifi intégré.
- Logiciel utilisé : Arduino IDE.

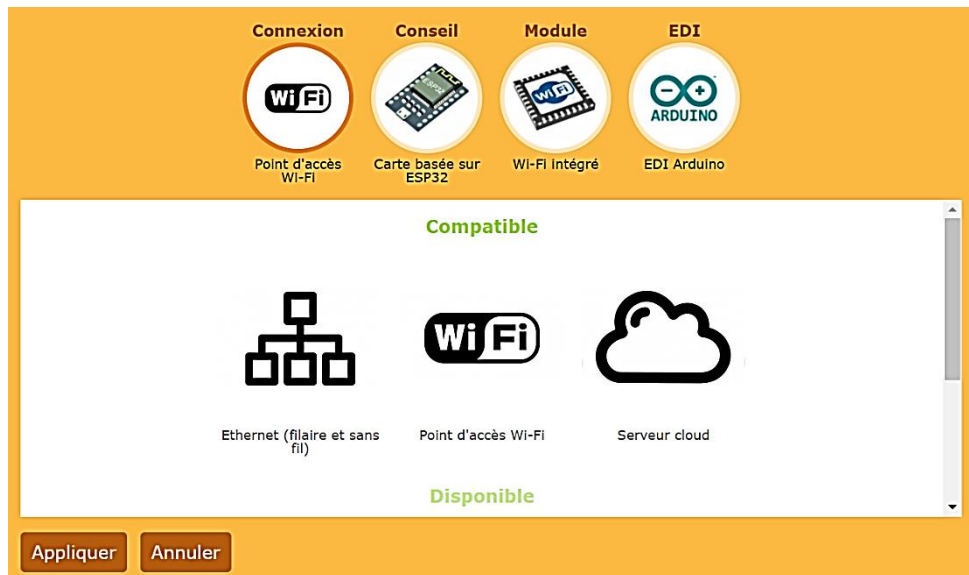


Figure IV.10 : la configuration de mes paramètres.

On valide un simple clic sur le bouton "obtenir le code source".

Une fenêtre s'ouvre contenant le code source généré par l'interface personnalisée, on sélectionne tout le code et on va le coller dans le logiciel Arduino IDE pour le compiler et réorganiser sa structure. Une fois cette étape terminée le projet sera introduit sur la carte ESP32.

L'application s'est installée sur le téléphone, on ouvre l'application et on sélectionne le type de connexion. Ensuite on obtient l'interface suivante sur smartphone.

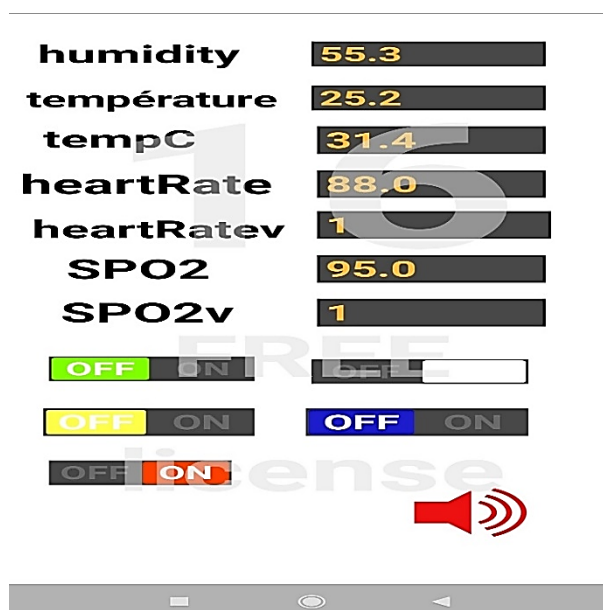


Figure IV.11 : Interface sur smartphone.

IV.4. Surveillance à distance

La surveillance à distance des prématurés est un domaine en pleine évolution qui utilise des technologies pour surveiller l'état de santé d'un bébé. Nous utiliserons un capteur MAX30102 pour mesurer la fréquence cardiaque (BPM) et le niveau d'oxygène dans le sang (SPO2). Capteur de température DS18B20 pour mesurer la température corporelle. Et le capteur DHT11 pour mesurer la température et l'humidité de l'incubateur.

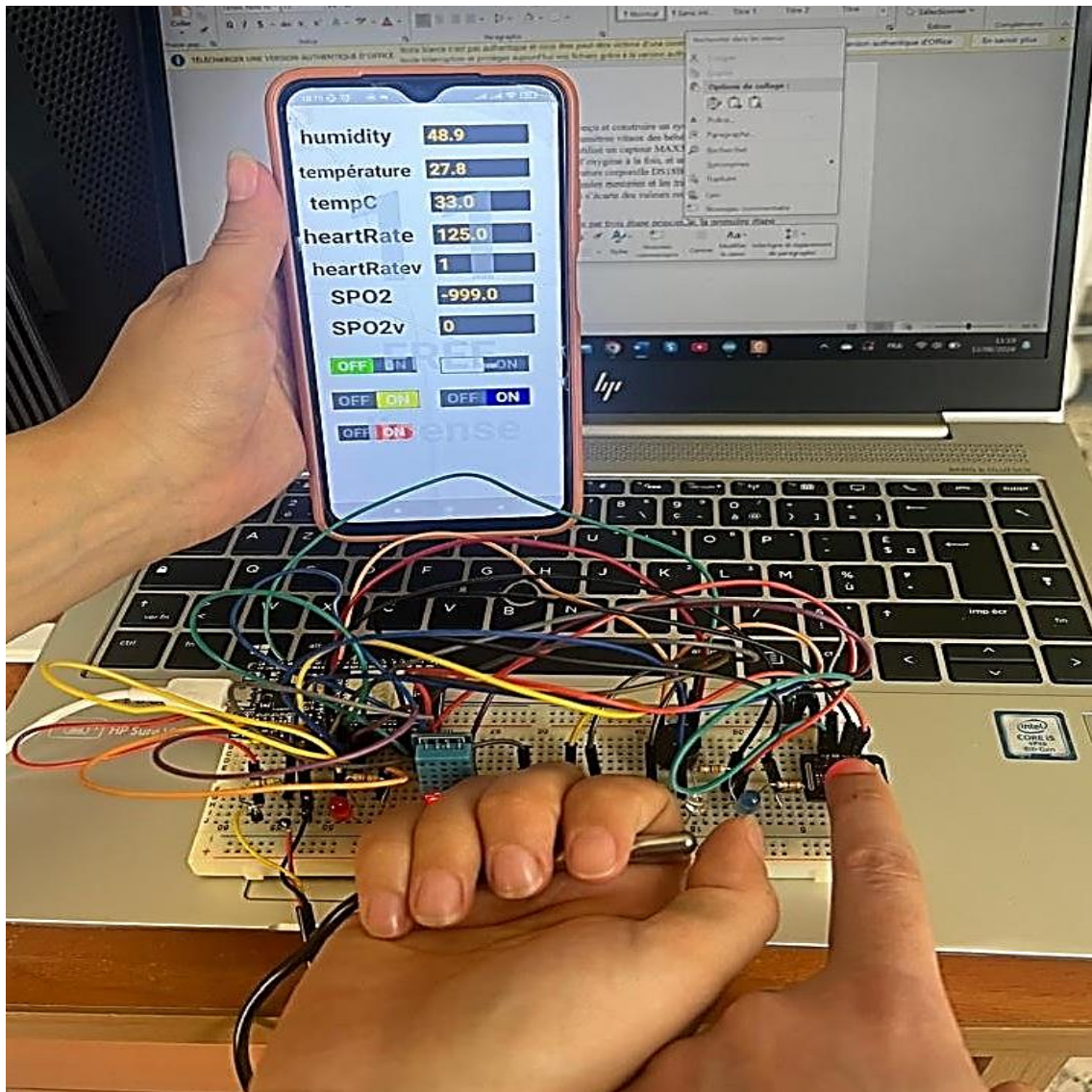


Figure IV.12 : Affichage des résultats des tests sur le smartphone.

IV.5. Transmission à distance

Suite à l'acquisitions et à l'affichage de mesure l'étape suivante consiste la transmission des données collectées via module WIFI.

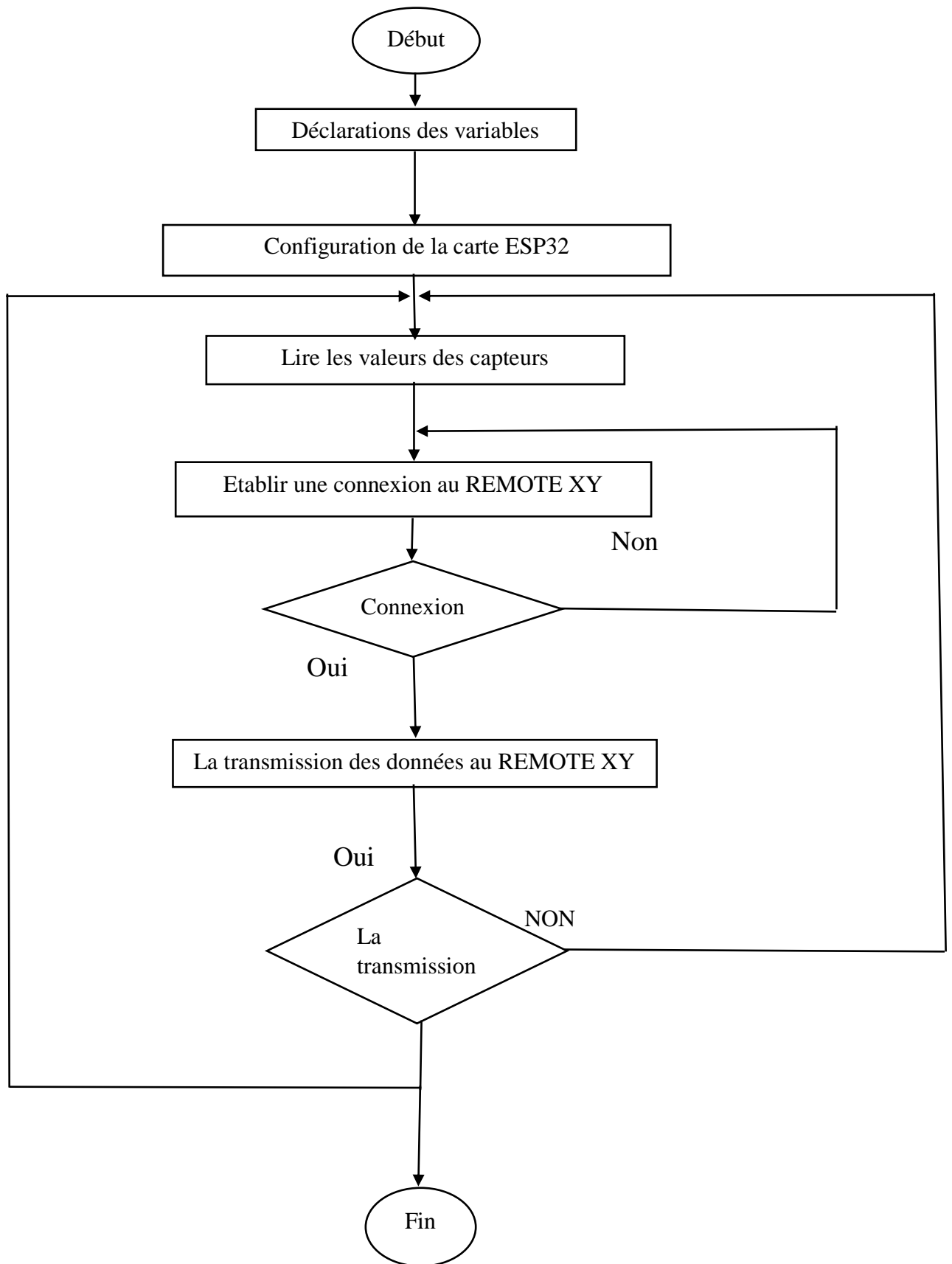


Figure IV.13 : Organigramme de la transmission à distance.

IV.6. Tests et résultats

Après avoir réalisé le système et programmer la carte, nous procédons une série de tests. Les résultats de ces tests étaient affichés sur le moniteur sériel du PC.

- ❖ Les figures suivantes illustre l'essai fait sur le capteur DS18B20 et le teste de son fonctionnement correct.

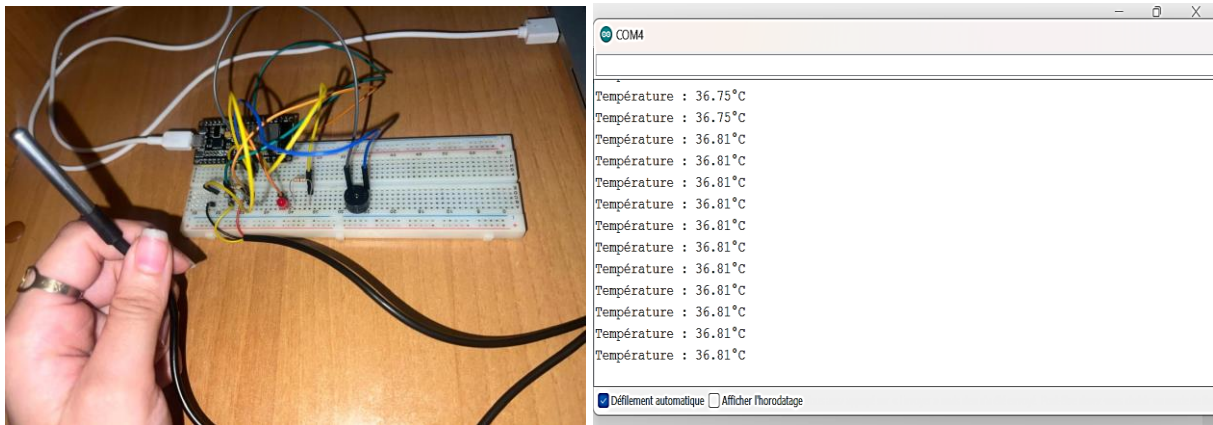


Figure IV.14 : Température corporelle en état conforme.

- ❖ Les valeurs obtenues du capteur DS18B20 indiquant que la température corporelle est entre 36.75° et 36.81°. Dans ce cas le buzzer reste inactif et la LED ne s'allume pas.

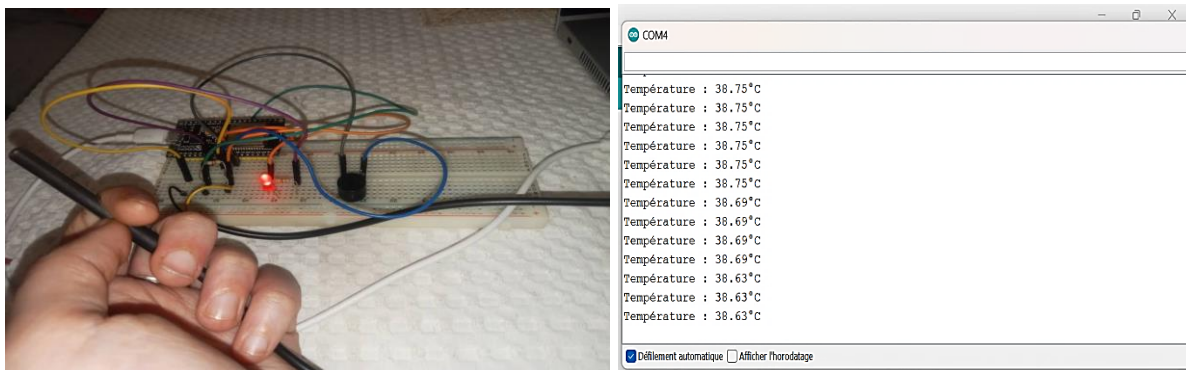


Figure IV.15 : Température corporelle en état d'alerte.

- ❖ Les valeurs obtenues sont entre 38.63° et 38.75°. Dans ce cas le buzzer s'active et la LED s'allume indiquant une anomalie.

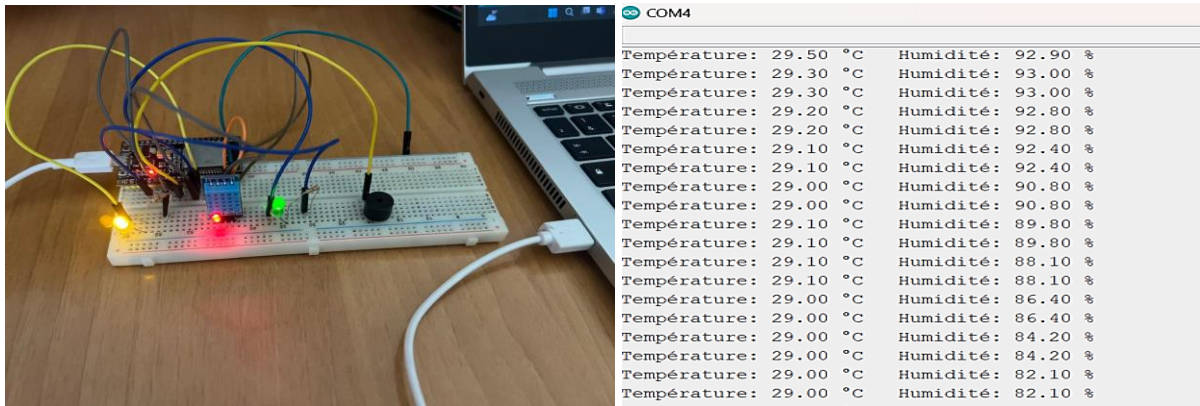


Figure IV.16 : Humidité et température en état alerte.

- ❖ Comme illustre l'essai fait sur le capteur DHT11, les valeurs de température et d'humidité sont autour de 29.50 ° et 93 %. Dans ce cas le buzzer s'active et les deux LEDs s'allument indiquant que les valeurs sont hors normes.

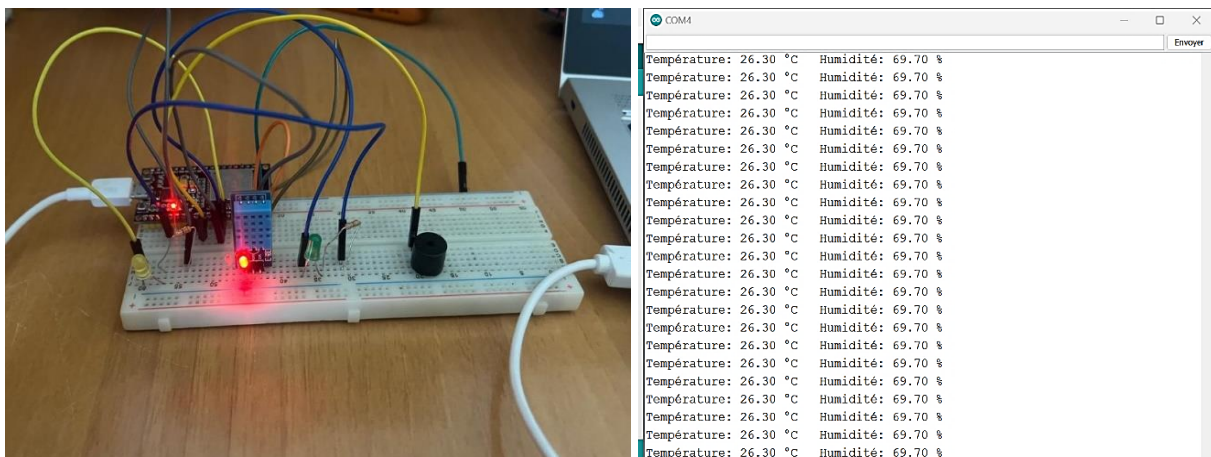


Figure IV.17 : Humidité et température en état normal.

- ❖ Dans ce cas les valeurs de la température et l'humidité sont entre 26.30°C et 69.70% donc le buzzer reste inactif et les deux LEDs s'allume pas.

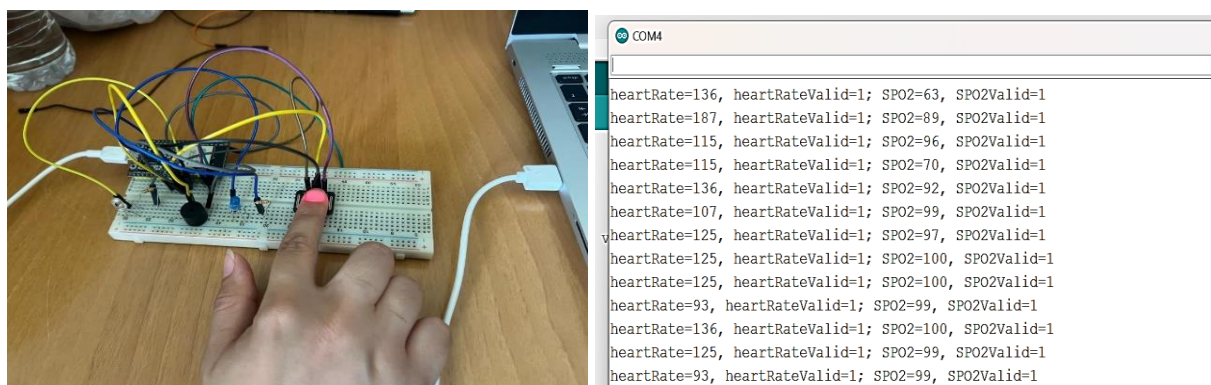


Figure IV.18 : Fréquence cardiaque et taux d'oxygène en état confort.

- ❖ Concernant les valeurs obtenues par le capteur MAX30102 indiquent que les battements sont entre 93 et 136 et le taux d'oxygène SPO2 est autour de 89 et 100. Dans ce cas le fonctionnement est normal donc le buzzer ne sonne pas et les LEDs restent éteintes.

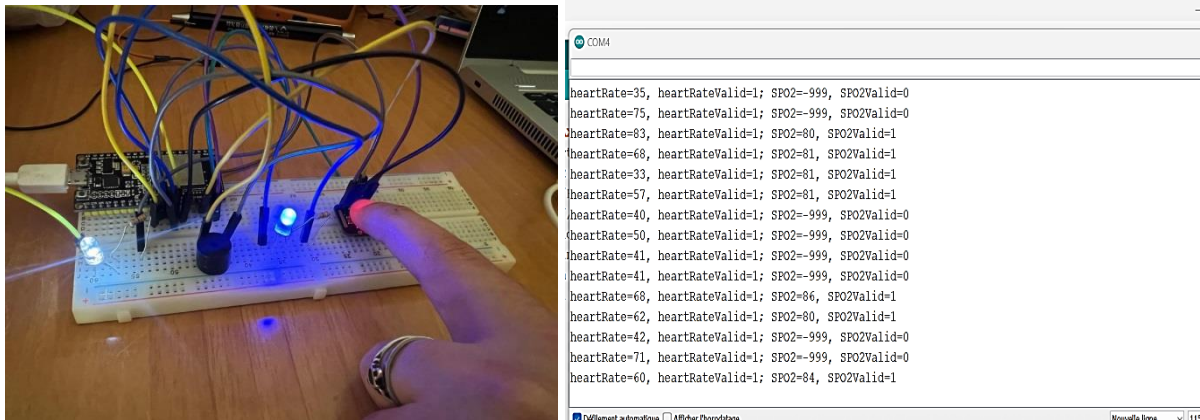


Figure IV.19 : La fréquence cardiaque et le taux d'oxygène en état d'alerte.

- ❖ Les valeurs des battements sont entre 33 et 83 et pour SPO2 sont autour du 80% et 84 %. Donc le buzzer va émettre du son et les deux LEDs s'allument indiquant une anomalie.

IV.7. Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté un système de surveillance conçu pour surveiller les paramètres vitaux critiques d'un prématuré à distance. Le système intègre des capteurs MAX30102 pour mesurer la fréquence cardiaque et niveau d'oxygène dans le sang (SPO2), et DHT11 (température et humidité ambiante) ainsi que DS18B20 pour la température corporelle tous connectés à une carte ESP32 dotée d'un module WIFI pour la transmission des données vers un smartphone. Après la réalisation du système nous avons effectué plusieurs tests, confirmant son bon fonctionnement et permet de surveiller à distance les paramètres des prématurés.

Conclusion et perspectives

Dans ce mémoire, nous avons développé une approche pour la réalisation d'un prototype d'un incubateur intelligent destiné aux nouveau-nés prématurés.

Afin d'implémenter notre système de surveillance à distance des prématurés, une étude systématique des fonctions et des composants concernés par le domaine de l'intelligence appliqué dans la santé a été élaboré.

Dans notre projet, on a essayé de mettre en œuvre une centrale embarqué qui répond à des fonctions principales à savoir surveiller l'état de l'humidité et la température à l'intérieur de l'incubateur et contrôler les paramètres vitaux des prématurés, notamment la fréquence cardiaque, la température corporelle et le taux d'oxygène dans le sang.

L'utilisation de module wifi nous a permis la communication entre la carte ESP32 et les différents organes du système à travers l'application Android.

Dans ce projet l'utilisation de la carte ESP32 nous a permis de faire un système de surveillance à distance d'une façon intelligente.

A travers ce projet nous avons acquis une meilleure expérience pour la création d'une application Android REMOTE XY. Cette application permet de surveiller l'état santé des prématurés à distance, ce qui contribue à améliorer leur prise en charge, nous avons aussi pu mettre en valeur les connaissances reçues en électronique et en informatique, également on a pu appliquer la programmation et la vision artificielle.

Pour des perspectives de l'amélioration de cette réalisation, nous souhaitons intégrer une caméra qui permettra une surveillance visuelle de l'état des prématurés et leurs mouvements, ainsi un capteur de luminosité qui permet de contrôler l'éclairage à l'intérieur de l'incubateur, nous envisageons de compléter par d'autre capteur afin de mesurer d'autre paramètre comme un Électroencéphalogramme (EEG) pour enregistrer l'activité électrique du cerveau.

Références bibliographiques

- [1] : fr.wikipedia.org .
- [2] : <https://www.inserm.fr/dossier/prematurite/> consulté le,18/03/2024.
- [3] : <https://www.magicmaman.com/,bebe-premature>.
- [4] : <https://www.alamyimages.fr/infographie-sur-les-stades-de-la-grossesse-et-le-developpement-du-foetus> .
- [5] : Sètonджи Géraud Roméo PADONOU,2014 : « Faible poids de naissance, prématurité et retard de croissance intra utérin : facteurs de risque et conséquences sur la croissance de la naissance à 18 mois de vie chez des nouveau-nés béninois ». THESE DE DOCTORAT DEL'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE.
- [6] : La prise en charge des prématurés à Genève – 2010
- [7] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Enfant_pr%C3%A9matur%C3%A9
- [8] : https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/maieutique/UE-puericulture/surveillance_nne/site/html/iconographie.html/ consulté le , 25/03/2024.
- [9] : Mesure de la température et thermorégulation du nouveau-né (NAT). « Fiche technique ».
- [10] : Mahrour Hassina et Khemri fatma zohra, 2018 : « Etude d'un incubateur (couveuse) et réalisation d'une carte de surveillance de la température et d'humidité ». Mémoire de fin d'étude, université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [11] : LAMRAOUI RABIHA et SID OTMANE ANIS,2017 : « Commande électronique pour une couveuse ». Mémoire de fin d'étude, université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [12] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Persistance_du_canal_art%C3%A9riel
- [13] : https://www.msmanuals.com/fr/professional/p%C3%A9diatrie/probl%C3%A8mes-respiratoires-chez-les-nouveaux-nés/apn%C3%A9e-du-pr%C3%A9matur%C3%A9#Pr%C3%A9vention_v1089569_fr
- [14] : <https://www.msmanuals.com/fr/professional/p%C3%A9diatrie/probl%C3%A8mes-respiratoires-chez-les-nouveaux-nés/apn%C3%A9e-du-pr%C3%A9matur%C3%A9>
- [15] : <https://www.centrecardiaval.com/2022/11/24/ecg-au-repos/>
- [16] : http://www.medecine.unige.ch/enseignement/apprentissage/module4/immersion/archives/2003_2004/travaux/04_r_prematurite.pdf.
- Prise en main d'une carte ESP32 (upesy.com) .
- [17] : <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiel-medical/article-la-couveuse---histoire-d-une-invention-9848.htm>
- [18] : <https://fr.pray-med.net/temperature/temperature-probe/3pin-reusable-skin-temperature-probe.html>
- [19] : <https://mediprema.com/fr/>
- [20] : <https://vitalemedicale.com.tn/appareils-medicaux/342-oxymetre-de-pouls-push.html>
- [21] : <https://oxymetredpouls.fr/informations-sur-les-oxymetres-pediatriques/>

- http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/infant_incubators/service_manuals/Datex-Ohmeda%20Giraffe%20Incubator%20-%20Service%20manual.pdf
- [22] : <https://mhtronic.com/produit/esp-wroom-32/> consulté le, 04/04/2024.
- [23] : <https://www.nitrathor.fr/fiches/esp32-nodemcu>
- [24] : <https://algo.tn/esp32/introduction/>
- [25] : <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide>
- [26] : <https://arduino-france.site/ds18b20-arduino/> consulté le, 11/04/2024.
- [27] : <https://mhtronic.com/produit/capteur-de-temperature-ds18b20/>
- [28] : <https://how2electronics.com/micropython-ds18b20-temperature-sensor-esp32/>
- [29] : [capteur de fréquence cardiaque oxymètre de pouls max30102 \(dzduino.com\)/](https://www.dzduino.com/capteur-de-frequence-cardiaque-oxymetre-de-pouls-max30102/) consulté le , 12/04.2024.
- [30] : <https://www.ebay.ca/itm/274664816156>
- [31] : <https://microcontrollerslab.com/esp32-heart-rate-pulse-oximeter-max30102/>
- [32] : [Guide du capteur DHT11 avec brochage, travail et programmation Arduino ... \(electronicwings.com\) /](https://www.electronicwings.com/guide-du-capteur-dht11-avec-brochage-travail-et-programmation-arduino-...) Consulté le 14/04/2024.
- [33] : http://m.jselectronics.com.my/index.php?ws=showproducts&products_id=1931575
- [34] : <https://www.smart-prototyping.com/DHT11-Humidity-and-Temperature-Sensor-Module>
- [35] : <https://robocraze.com/blogs/post/interfacing-the-dht11-sensor-with-the-esp32-board>
- [36] : <https://www.gotronic.fr/art-afficheur-lcd-4x20-caracteres-25649.htm>
- [37] : https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/742_decouverte-de-larduino/3416_le-logiciel/
- [38] : https://www.researchgate.net/figure/Barre-dAction-3-Fenetre-dedition-de-programme-est-lediteur-ou-secrit-le_fig4_351813888
- [39] : <https://arduino.blaise-pascal.fr/arduino-ide-installer-les-cartes-esp32-et-esp8266/>
- [40] : <https://www.ringcentral.com/fr/fr/blog/iot/> Consulté le , 20/04/2024.
- [41] : <https://www.lajauneetlarouge.com/de-linternet-des-objets-au-tout-connecte-quelle-regulation-en-2023/>
- [42] : [Objets connectés, les choses essentielles à savoir \(synox.io\)](https://synox.io/objets-connectes-les-choses-essentielles-a-savoir/) consulté le, 21/04/2024.
- [43] : <https://aws.amazon.com/fr/what-is/iot/>
- [44] : <https://izihome.fr/objets-connectes-avantage>
- [45] <https://www.e-techno-tutos.com/2021/03/09/remote-xy-smartphone-contrôle/> consulté le, 22/05/2024.

