

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études de Master Académique

Domaine : **Sciences et Technologie**

Filière : **Génie Electrique**

Spécialité : **Electronique des Systèmes Embarqués**

Présenté par

Fadhma INOUDJAL

Katia AIT ISSAD

Thème

**Conception et réalisation d'un oxymètre
intelligent avec la reconnaissance biométrique par
empreinte intégrée**

Encadré par

Mr Massine GANA

Mémoire soutenu publiquement le 29/06/2024

Promotion : 2023/2024



Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le tout puissant, pour nous avoir guidé et donné le courage et la volonté de réaliser ce travail.

*Nos remerciements vont aussi à notre encadrant **Mr GANA** pour sa disponibilité, sa rigueur et son dévouement total à notre égard, au-delà de ce travail qui nous lie nous avons découvert en vous une magnifique personne et un excellent conseiller.*

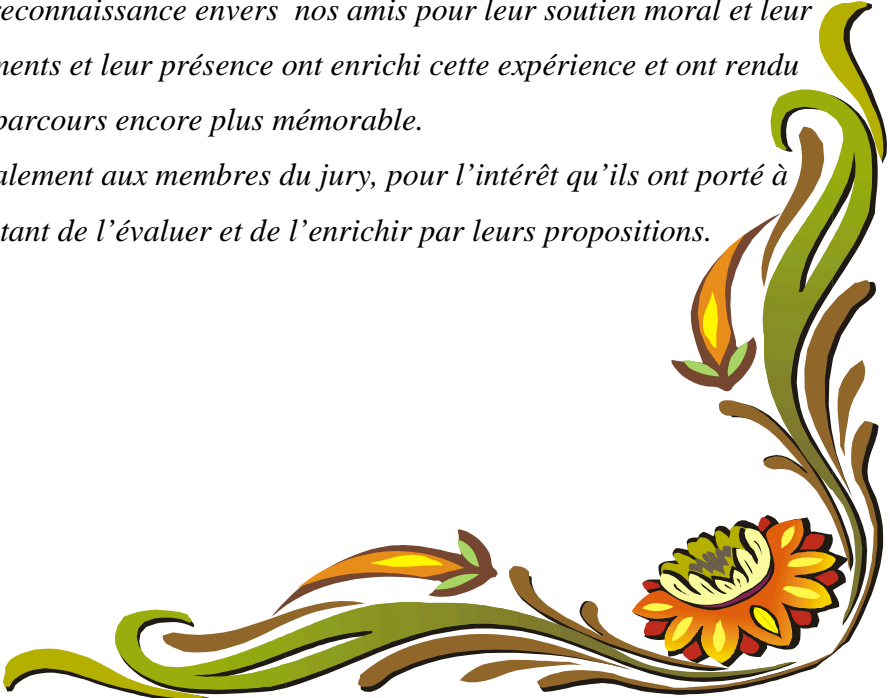
*Nous tenons à remercier personnellement **Mme DJOUAHER, Mr TRIKI et Mr CHEBBAH**, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué à cette recherche et à travers lesquelles nous avons alimenté notre réflexion et puisé notre inspiration.*

*Nous sommes profondément reconnaissantes envers **M. ACHOUR**, notre chef de département, pour ses précieux conseils et son soutien tout au long de notre parcours universitaire. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers nos autres professeurs pour leur enseignement et leur accompagnement précieux.*

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien indéfectible tout au long de ce projet. Leur encouragement constant et leur compréhension ont été essentiels à chaque étape de cette aventure. Leur amour inconditionnel nous a donné la force et la motivation nécessaires pour persévérer et atteindre nos objectifs.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers nos amis pour leur soutien moral et leur enthousiasme. Leurs encouragements et leur présence ont enrichi cette expérience et ont rendu ce parcours encore plus mémorable.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant de l'évaluer et de l'enrichir par leurs propositions.





Je dédie ce travail :

*À mes chers parents. Ma chère Maman **DJOHRA** et mon cher papa **AMKRANE**.*

Ce travail est le vôtre, vous trouverez ici toute mon affection et ma profonde gratitude pour toutes ces années de sacrifice pour moi.

*À mes chers frères **ALI, OUALID***

*À mes chères sœurs **ALICIA, DHRIFA***

Qui n'ont pas cessé de m'encourager et de me soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance, la santé et le bonheur.

Grand-père et grand-mère, je vous exprime toute ma reconnaissance et mon profond respect pour tout ce que vous avez fait pour moi au fil des années.

*À ma chère binôme **KATIA**.*

*À ma meilleure copine **SHOUSHOU**, j'ai pas les mots pour exprimer mes pensées. Je te souhaite une réussite extraordinaire.*

*À toi **ADEL**, qui as partagé chaque étape avec moi avec tant de détermination et de soutien. Merci d'être là je te souhaite tout le bonheur du monde.*

À tous ceux ou celles que j'aime, que je n'ai pas mentionné mais que je n'ai pas oublié...Merci d'avoir été toujours à mes côtés.

FADHMA♥

Ce projet traite le développement d'un oxymètre de pouls intégrant une reconnaissance biométrique, basé sur une carte Seeeduino Femto M0+. L'objectif principal est de mesurer la saturation en oxygène (SpO2) et le rythme cardiaque de manière fiable tout en assurant la sécurité et l'authenticité de l'utilisateur grâce à un module de reconnaissance d'empreintes digitales DY50. Pour le faire, nous avons utilisé le capteur TSL235R pour la détection de la lumière et deux LED pour illuminer le doigt de l'utilisateur, permettant ainsi de mesurer les variations de la lumière transmise à travers le tissu sanguin. Le signal optique obtenu est ensuite traité pour en extraire les valeurs de SpO2 et de fréquence cardiaque. La reconnaissance biométrique est assurée par le module DY50, qui stocke et vérifie les empreintes digitales des utilisateurs autorisés. Cette combinaison de mesures biométriques et de reconnaissance d'identité garantit non seulement la précision des mesures mais aussi la sécurité des données personnelles. Le développement du système a été réalisé en utilisant le langage de programmation Arduino, permettant une intégration fluide des capteurs et des modules avec la carte Seeeduino Femto M0+.

Mots clé :

Oxymètre de pouls, carte Seeeduino Femto m0+, capteur TSL235R, taux de saturation en oxygène(SPO2), capteur d'empreinte digitale (DY50),

This project focuses on developing a pulse oximeter integrating biometric recognition, based on a Seeeduno Femto M0+ board. The main objective is to reliably measure oxygen saturation (SpO₂) and heart rate while ensuring user security and authenticity through a DY50 fingerprint recognition module. To achieve this, we utilized the TSL235R sensor for light detection and two LEDs to illuminate the user's finger, allowing measurement of light variations transmitted through the blood tissue. The optical signal obtained is then processed to extract SpO₂ and heart rate values. Biometric recognition is handled by the DY50 module, which stores and verifies authorized users fingerprints. This combination of biometric measurements and identity recognition ensures not only measurement accuracy but also the security of personal data. The system development was carried out using the Arduino programming language, enabling seamless integration of sensors and modules with the Seeeduno Femto M0+ board.

Keywords:

Pulse oximeter, Seeeduno Femto M0+ board, TSL235R sensor, oxygen saturation (SpO₂), fingerprint sensor (DY50)

Liste des abréviations

ECG : Electrocardiogramme.

SPO2 : Saturation pulsée en oxygène.

SaO2 : Saturation artérielle en oxygène.

BPM : Battements par minute.

HB : Hémoglobine.

HBO2 : Hémoglobine oxygéné.

SYS : La pression systolique.

DIA : La pression diastolique.

IRM : Imagerie par résonance magnétique.

TDM : Tomodensitométrie.

PCR : REaction polymérase en Chaîne.

BPCO : Bronchopneumopathie chronique obstructive.

Liste des figures

Chapitre I : État de l'art sur les dispositifs biomédicaux

Figure 1: Scanner.	9
Figure 2: Échographie.	11
Figure 3: Image d'un tensiomètre électronique.	13
Figure 4: Fonctionnement d'un glucomètre.	15
Figure 5: Oxymètre de pouls.	16

Chapitre II : Étude générale d'un oxymètre

Figure 1: Système cardiorespiratoire.	18
Figure 2: Structure d'une molécule d'hémoglobine.	19
Figure 3: Oxymètre de pouls par Réflectance.	22
Figure 4: Exemple d'un réseau <i>Body Area Network</i> (BAN).	23
Figure 5: Un capteur d'oxymètre de pouls à très faible consommation d'énergie.	24
Figure 6: Oxymétrie de pouls intelligents intégrés dans un (SDU).	25
Figure 7: Un oxymètre avec un microcontrôleur ATMEGA 328.	25
Figure 8: Un oxymètre avec un microcontrôleur et l'IoT.	26
Figure 9: Diffusion d'un photon.	27
Figure 10: L'oxyhémoglobine.	28
Figure 11: Signal d'une forme d'onde PPG.	30
Figure 12: Principe de fonctionnement d'un oxymètre de pouls.	31
Figure 13: La relation entre l'oxyhémoglobine et l'hémoglobine.	31
Figure 14: Résultats de calcul du taux d'oxygène dans le sang.	32

Chapitre III : Conception et développement du dispositif d'oxymétrie intelligent

Figure 1: Schéma synoptique du système.	37
Figure 2: Capteur TSL235R.	38
Figure 3: Résultats du capteur TSL235R sous lumière normale.	39
Figure 4: Résultats du capteur TSL235R sous lumière.	39
Figure 5: Résultats du capteur TSL235R sous lumière de torche.	40
Figure 6: Écran OLED 0.96.	41
Figure 7: Communication I2C.	41
Figure 8: Branchement d'un OLED vers une carte Seeeduino.	42
Figure 9: Capteur d'empreinte digitale Gt511c3.	43
Figure 10: Diagramme d'une connexion UART.	44
Figure 11: Format de la trame UART	44
Figure 12: Branchement de capteur d'empreinte vers la carte Seeeduino.	45
Figure 13: Schéma synoptique du système.	45

Chapitre VI : Réalisation pratique du projet

Figure 1: Seeeduino femto m0+.	48
Figure IV.2: Schéma interne de la carte Seeeduino femto m0+.	48
Figure IV.3: Assemblage des LEDS	49
Figure IV.4: Branchement du capteur de lumière.	49
Figure VI.5: Circuit électrique du schéma global.	50
Figure VI.6: Organigramme de mesure de spO2 et battements de cœur.	50
Figure VI.7: Résultats des tests du premier cas.	51
Figure VI.8: Résultats des tests du deuxième cas.	51

Liste des tableaux

Chapitre I : État de l'art sur les dispositifs biomédicaux

Tableau I.1: Niveau d tension artérielle définie par l'organisation mondiale de la santé..... 13

Tableau I.2: Les niveaux de glycémie 15

Chapitre II : Étude générale d'un oxymètre

Tableau II.1: Comparaison entre les méthodes existantes..... 33

Chapitre III : Conception et développement du dispositif d'oxymétrie intelligent

Tableau III.1: Spécifications du dispositif d'oxymétrie intelligent..... 36

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre I : État de l'art sur les dispositifs biomédicaux

I.1. Préambule2

I.2. Introduction aux dispositifs biomédicaux2

I.2.1. Définition2

I.2.2. Classification des dispositifs biomédicaux2

I.3. Importance des dispositifs biomédicaux dans la gestion des catastrophes biologiques7

I.3.1. Détection Précoce et Surveillance Approfondie7

I.3.2. Défis et obstacles à l'utilisation efficace des technologies biomédicales dans la gestion des catastrophes biologiques8

I.4. Exemples de dispositifs biomédicaux et leurs applications9

I.4.1. Les dispositifs fixes9

I.4.1.1. Scanner9

I.4.1.2. Échographie.....11

I.4.2. Les dispositifs portables12

I.4.2.1. Tensiomètre12

I.4.2.2. Glucomètre14

I.4.2.3. Oxymètres16

I.5. Discussion17

Chapitre II : Étude générale d'un oxymètre

II.1. Préambule18

II.2. Généralités sur le système cardiorespiratoire18

II.2.1. Définition du système cardiorespiratoire18

II.2.2. Hémoglobine.....	19
II.2.3. Structure de l'hémoglobine.....	19
II.3. Oxymétrie.....	20
II.3.1. Définition de l'oxymétrie.....	20
II.3.2. Importance de l'oxymètre dans la prévention et le suivi de la santé.....	20
II.4. Méthodes existantes pour la réalisation d'un oxymètre.....	22
II.5. Principes de fonctionnement d'un oxymètre.....	26
II.6. Évaluation des performances des oxymètres disponibles.....	33
II.7. Discussion.....	34

Chapitre III : Conception et développement du dispositif d'oxymétrie intelligent

III.1. Préambule.....	35
III.2. Cahier de charge.....	35
III.3. Introduction à la conception du dispositif.....	36
III.4. Architecture système du dispositif.....	37
III.5. Choix des composants électroniques et matériel.....	37
III.5.1. LED rouge.....	37
III.5.2. LED infrarouge.....	37
III.5.3. Résistance.....	38
III.5.4. Photo capteur TSL235R.....	38
III.5.5. Un écran OLED 0.96" (SSD 1315).....	40
III.5.6. Capteur d'empreinte digitale Gt511c3.....	42
III.6. Architecture système du dispositif.....	45
III.7. Discussion.....	46

Chapitre VI : Réalisation pratique du projet

VI.1. Préambule.....	47
VI.2. Présentation de la carte Seeduino Femto M0+ et de ses fonctionnalités.....	47

VI.2.1. Introduction	47
VI.2.2. Spécifications de la carte.....	47
VI.3. Assemblage des composants et circuit nécessaires.....	49
VI.3.1. Assemblage des composants	49
VI.3.2. Circuit électrique.....	50
VI.4. Organigramme	50
VI.5. Tests	51
VI.5.1. Premier cas	51
VI.5.2. Deuxième cas	51
VI.6. Discussion	52
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	

Rapport de stage

1. Introduction	1
2. Présentation de l'Établissement EHS Sbihi Tassadit à Tizi Ouzou, Algérie	1
2.1. Spécialisations et Services	1
2.2. Services principaux	1
2.3. Équipe Médicale et Infrastructure	2
3. Maintenance des Dispositifs Biomédicaux	2
3.1. Principales responsabilités	2
3.2. Équipe de Maintenance	2
3.3. Compétences clés de l'équipe	2
3.4. Processus de Maintenance	3
3.5. Importance de la Maintenance pour l'EHS Sbihi Tassadit	3
4. Objectif du stage	4
5. Les missions effectuées pendant le stage	4
6. Conclusion	7

Introduction générale

L'oxygène, élément essentiel à la vie, joue un rôle important dans le fonctionnement de l'organisme humain. Il est indispensable à la production d'énergie cellulaire, au maintien des fonctions vitales et au bon fonctionnement des organes. Une oxygénation adéquate des tissus est primordiale pour assurer une santé optimale et prévenir les complications liées à une carence en oxygène, ou hypoxie [1].

La saturation en oxygène, qui représente la quantité d'oxygène transportée par l'hémoglobine dans le sang, est un indicateur clé de l'état respiratoire et cardiovasculaire d'un individu. Une baisse de la saturation en oxygène peut avoir des conséquences graves sur la santé, allant de la fatigue et l'essoufflement à des complications plus sévères telles que des lésions cérébrales ou des défaillances organiques. Il est donc primordial de surveiller régulièrement ce paramètre vital, en particulier chez les personnes souffrant de maladies respiratoires chroniques, de problèmes cardiaques ou d'autres affections susceptibles d'altérer l'oxygénation [2].

Traditionnellement, la surveillance de la saturation en oxygène est réalisée à l'aide d'oxymètres de pouls, des dispositifs non invasifs qui mesurent la quantité d'oxygène dans le sang à travers la peau. Cependant, ces appareils présentent certaines limites, notamment en termes de connectivité et de capacités de suivi continu. Avec l'essor des technologies de l'Internet des objets (IoT) et de l'intelligence artificielle, il est désormais possible de concevoir des oxymètres intelligents offrant des fonctionnalités avancées de mesure, d'analyse et de transmission des données [3].

Au cours de notre mémoire nous allons développer un oxymètre de pouls intelligent basé sur une carte Seeeduino Femto M0+. L'objectif est de créer un dispositif portable et précis, capable de surveiller en continu la saturation en oxygène et d'intégrer une fonctionnalité de reconnaissance biométrique par empreintes intégrée pour garantir la sécurité et la confidentialité des données. Les mesures seront automatiquement sauvegardées, permettant un suivi à long terme de l'état de santé du patient.

Nous allons explorer les différentes étapes de conception et de développement de cet oxymètre de pouls intelligent. Notre démarche débutera par une étude approfondie des besoins des utilisateurs et des professionnels de santé. Ensuite, nous nous concentrerons sur la conception matérielle, en intégrant la carte Seeeduino Femto M0+, les capteurs de saturation en oxygène et de rythme cardiaque, ainsi que le module d'empreinte numérique. Pour la programmation, nous utilisons le langage Arduino.

Chapitre I

Etat de l'art sur les dispositifs biomédicaux

I.1. Préambule

Dans ce chapitre, nous allons aborder les divers instruments et dispositifs employés en médecine afin d'assister dans le traitement, le diagnostic et la surveillance des maladies. Nous allons voir comment ces instruments sont classés en fonction de leur nature et de leur utilisation à l'extérieur ou à l'intérieur du corps.

I.2. Introduction aux dispositifs biomédicaux**I.2.1. Définition**

En se référant à la loi N° 18-11 du 2 juillet 2018 Relative à la santé publiée dans le journal officiel N°64 du 29 Juillet 2018, dans le Titre V: PRODUITS PHARMACEUTIQUES ET DISPOSITIFS MÉDICAUX, les Dispositifs médicaux sont définis comme suit: On entend par dispositif médical, au sens de la présente loi, tout appareil, instrument, équipement, matière ou produit, à l'exception des produits d'origine humaine, ou autre article utilisé seul ou en association, y compris les accessoires et logiciels intervenant dans son fonctionnement, destiné à être utilisé chez l'homme à des fins médicales.

Ils sont utilisés dans le domaine de la santé pour :

- Le diagnostic, la prévention, le contrôle, le traitement d'une maladie ;
- L'étude ou le remplacement ou modification de l'anatomie ou d'un processus physiologique ;
- La maîtrise de la conception [4].

I.2.2. Classification des dispositifs biomédicaux

On peut classer les dispositifs biomédicaux selon plusieurs critères :

I.2.2.1. Classification par risque

Les dispositifs biomédicaux sont classés en différentes catégories en fonction de leur potentiel de risque pour les patients [5].

➤ Classe I (classe de risque la plus faible)

Elle englobe des produits tels que les compresses, les lunettes, les béquilles, les seringues sans aiguille, les électrodes pour ECG et les gants d'examen. Ces dispositifs sont décrits comme ayant un faible risque pour les patients et sont soumis à des exigences réglementaires moins strictes que celles des classes de risque.

➤ **Classe IIa (risque potentiel modéré/mesuré)**

Les dispositifs médicaux de classe IIa présentent un risque potentiel modéré ou mesuré. Parmi ces dispositifs, on trouve les lentilles de contact, les agrafes cutanées et les pansements adhésifs. Ces dispositifs requièrent une surveillance et des exigences réglementaires plus strictes.

➤ **Classe IIb (risque potentiel élevé/important)**

Parmi les dispositifs médicaux de classe IIb, on trouve les produits de nettoyage pour lentilles, les pompes à perfusion, les sutures non résorbables. Ces dispositifs sont soumis à une surveillance et à des exigences réglementaires plus strictes que celles des classes de risque inférieur.

➤ **Classe III (classe de risque la plus élevée)**

La classe III des dispositifs biomédicaux est caractérisée par le risque le plus élevé parmi les différentes classes. Parmi les exemples de dispositifs médicaux de classe III, on trouve les stimulateurs cardiaques, les prothèses vasculaires, les valves cardiaques [6].

I.2.2.2. Classification en fonction de leur invasivité

➤ **Dispositifs invasifs**

Un dispositif est considéré comme invasif s'il entre en contact avec la surface de l'œil ou s'il pénètre à l'intérieur du corps, que ce soit par un orifice corporel naturel ou artificiel. Lorsqu'un dispositif est introduit dans le corps par une ouverture créée artificiellement, comme une incision chirurgicale ou une piqûre d'aiguille, il est désigné comme chirurgicalement invasif. Ainsi, les gants chirurgicaux et les aiguilles utilisés avec les seringues sont des exemples de dispositifs chirurgicalement invasifs, car ils sont utilisés pour des interventions médicales qui nécessitent un contact direct avec le corps [7].

➤ **Orifice corporel**

Un orifice du corps est une ouverture naturelle présente dans le corps humain, permettant le passage des fluides, de l'air ou d'autres substances à l'intérieur ou à l'extérieur du corps.

➤ **Dispositifs non invasifs**

Les dispositifs biomédicaux non invasifs sont des appareils ou instruments médicaux qui n'entrent pas dans le corps humain et ne provoquent aucune lésion tissulaire ou modification anatomique. Contrairement aux dispositifs médicaux invasifs, qui nécessitent une incision ou une pénétration dans le corps, les dispositifs non invasifs fonctionnent en interagissant avec le corps de manière externe. Ces dispositifs peuvent être utilisés pour un large éventail d'applications médicales, telles que le diagnostic, la surveillance, la thérapie et la réadaptation. Parmi les exemples de dispositifs biomédicaux non invasifs, on trouve les échographes, les appareils de radiographie, les tensiomètres, les thermomètres, les glucomètres, les stimulateurs électriques transcutanés et les appareils de thérapie par ultrasons [8].

I.2.2.3. Classification par mode d'action

➤ **Dispositifs actifs**

Les dispositifs biomédicaux actifs sont des appareils qui dépendent d'une source d'énergie autre que celle générée par le corps humain ou la gravité pour fonctionner. Ils sont conçus pour effectuer une action médicale spécifique.

Voici quelques exemples de dispositifs biomédicaux actifs :

- **Stimulateurs cardiaques** : Ils sont utilisés pour aider à réguler les battements du cœur et pour traiter des conditions médicales chroniques.
- **Respirateurs** : ces dispositifs sont vitaux pour assister la respiration en cas de défaillance pulmonaire.
- **Équipements de thérapie respiratoire** : Ils sont souvent utilisés pour traiter des conditions respiratoires chroniques telles que l'apnée du sommeil [9].

➤ **Dispositifs passifs**

Les dispositifs biomédicaux passifs sont des dispositifs qui n'ont pas besoin d'une source d'énergie externe pour fonctionner. Ils sont conçus pour des applications spécifiques qui ne nécessitent pas d'alimentation électrique ou d'autres sources d'énergie [10].

Voici quelques exemples de dispositifs biomédicaux passifs :

Les bandages sont des dispositifs utilisés pour fournir un soutien et une compression à des zones spécifiques du corps, tels que des bandages élastiques, cohésives et de compression. Ils visent à réduire le gonflement, soutenir les articulations et assurer la stabilité.

Les orthèses sont des dispositifs conçus pour soutenir, aligner, prévenir ou corriger les déformations ou blessures des membres et de la colonne vertébrale. Souvent personnalisées, elles peuvent être fabriquées à partir de divers matériaux comme le plastique, le métal et la mousse.

Les prothèses sont des dispositifs artificiels qui remplacent une partie manquante du corps, imitant son fonctionnement et son apparence autant que possible.

I.2.2.4. Classement en fonction de la nature de l'implantation

➤ Dispositifs médicaux implantables

Les dispositifs médicaux implantables sont des dispositifs médicaux conçus pour être placés à l'intérieur du corps à diverses fins, telles que le diagnostic, la surveillance ou le traitement de conditions médicales. Ces dispositifs peuvent être permanents ou temporaires et peuvent être placés dans diverses parties du corps, comme le cœur, le cerveau ou les articulations [11].

Les dispositifs médicaux implantables sont généralement fabriqués à partir de matériaux biocompatibles conçus pour être sûrs et non réactifs dans le corps. Ils peuvent être alimentés par une batterie ou une source d'alimentation externe, ou ils peuvent agir comme des dispositifs passifs qui ne nécessitent pas d'alimentation. Les dispositifs médicaux implantables peuvent être utilisés pour un large éventail d'applications médicales, notamment les maladies cardiovasculaires, les troubles neurologiques et les affections orthopédiques.

➤ Dispositifs médicaux non implantables

Les dispositifs biomédicaux non implantables sont des équipements ou systèmes utilisés à des fins médicales sans être insérés dans le corps du patient. Leur utilisation englobe un large éventail d'applications, allant du diagnostic et du traitement des maladies à la surveillance des signes vitaux et à la réadaptation [12].

Voici quelques exemples des dispositifs implantables :

- **Appareils de surveillance** : Ces dispositifs comprennent les moniteurs de fréquence cardiaque, les oxymètres de pouls et les tensiomètres, utilisés pour surveiller les signes vitaux des patients. Ils permettent de détecter rapidement les changements dans l'état de santé d'un individu.
- **Appareils de thérapie** : Englobent des dispositifs tels que les appareils de dialyse, les pompes à insuline et les appareils de ventilation mécanique, ces équipements fournissent des traitements et des interventions médicales nécessaires.
- **Appareils de réadaptation** : Ce groupe comprend des dispositifs tels que les fauteuils roulants, les déambulateurs et les béquilles, qui assistent les patients dans leurs déplacements et leur fonctionnement après des blessures ou des interventions médicales.

I.2.2.5. Dispositifs médicaux de diagnostic

Les dispositifs médicaux de diagnostic in vitro sont essentiels pour la prise en charge des patients lors d'examens de biologie médicale. Ils sont utilisés pour analyser les fluides corporels et les tissus afin d'identifier des maladies et des conditions de santé, et sont indispensables pour initier une thérapie basée sur des résultats de tests fiables. Ces dispositifs sont utilisés dans une variété de méthodes de diagnostic, tant invasives que non invasives, ainsi que dans les processus de médecine de laboratoire [13].

I.2.2.6. Dispositifs médicaux thérapeutiques

Les dispositifs médicaux thérapeutiques, englobent divers appareils comme les électro stimulateurs musculaires, les nébuliseurs et les stimulateurs cardiaques. Ils sont conçus pour traiter des conditions médicales variées, allant des problèmes musculo-squelettiques aux affections respiratoires et cardiaques, ainsi qu'à la gestion de la douleur chronique. Ces dispositifs, prescrits par des professionnels de la santé, visent à améliorer la mobilité, la fonction pulmonaire, et à réguler le rythme cardiaque [14].

I.2.2.7. Classement en fonction de la durée d'utilisation

➤ Dispositifs à utilisation temporaire

Les dispositifs médicaux à utilisation temporaire sont des produits de santé qui sont conçus pour être utilisés pendant une période limitée, généralement inférieure à un an. Ils peuvent être implantés partiellement ou entièrement et sont destinés à rester en place pendant une période définie avant d'être retirés ou remplacés.

➤ **Dispositifs à utilisation permanente**

Les dispositifs médicaux à utilisation permanente sont des produits de santé qui sont conçus pour rester en place dans le corps humain ou dans un orifice naturel après une intervention chirurgicale ou médicale.

I.2.2.8. Classement en fonction de la nature du dispositif

➤ **Dispositifs à base de matériaux biologiques**

Les prothèses osseuses biocompatibles sont des avancées médicales facilitant une intégration naturelle dans le corps grâce à l'utilisation de matériaux bien tolérés.

Ces dispositifs imitent la structure des os naturels, minimisent les risques de rejet et améliorent la récupération post-opératoire, bénéficiant ainsi aux patients après des interventions orthopédiques.

➤ **Dispositifs à base de matériaux synthétiques**

Les stents en alliage métallique résistant à la corrosion sont des dispositifs synthétiques qui prolongent la durabilité des interventions médicales. Fabriqués à partir d'alliages spécifiques, ces stents résistent à la corrosion, assurant une longévité accrue dans les vaisseaux sanguins. Cette caractéristique favorise le maintien à long terme de l'ouverture des vaisseaux, contribuant à une gestion efficace des conditions telles que les sténoses artérielles [15].

I.3. Importance des dispositifs biomédicaux dans la gestion des catastrophes biologiques

I.3.1. Détection Précoce et Surveillance Approfondie

➤ **Tests de diagnostic rapides et précis**

- **Tests antigéniques et PCR :** Ces tests permettent une détection rapide des infections virales, ce qui est crucial pour identifier et isoler les cas positifs dès que possible. Cela permet de limiter la transmission du virus et de mieux gérer les cas asymptomatiques [16].
- **Biocapteurs :** Les biocapteurs détectent des biomarqueurs spécifiques indiquant une infection ou une réponse immunitaire. Cela permet de surveiller en temps réel la progression de la maladie et l'efficacité du traitement, ce qui est essentiel pour une prise en charge optimale des patients [17].

- **Séquençage génomique :** Le séquençage génomique permet de suivre les mutations virales et d'identifier les variants plus transmissibles ou résistants aux traitements. Cette information est capitale pour la conception de vaccins et de thérapies plus efficaces, et pour anticiper l'évolution de la pandémie.

➤ **Suivi de la santé à distance**

- **Montres connectées et capteurs portables :** Ces technologies permettent de surveiller continuellement les signes vitaux et les symptômes des patients. Cela permet de détecter précocement les signes de détérioration et d'alerter les patients et les professionnels de santé, ce qui peut sauver des vies.
- **Applications de suivi des contacts :** Ces applications permettent de retracer numériquement les interactions entre individus. Cela permet d'identifier les personnes à risque d'exposition au virus et de les mettre en quarantaine si nécessaire, ce qui est crucial pour limiter la propagation de la maladie.

➤ **Surveillance environnementale**

- **Biosenseurs :** Les biosenseurs peuvent détecter la présence de virus dans l'air ou l'eau. Cela permet d'identifier les zones à risque et de prendre des mesures préventives pour protéger la population.

Ces dispositifs biomédicaux contribuent à une détection précoce et à une gestion efficace des pandémies, en permettant une surveillance continue des patients, des contacts et de l'environnement. Ils sont essentiels pour limiter la propagation du virus et assurer une prise en charge optimale des patients.

I.3.2. Défis et obstacles à l'utilisation efficace des technologies biomédicales dans la gestion des catastrophes biologiques

Malgré les avantages évidents des technologies biomédicales dans la gestion des catastrophes biologiques, il existe également des défis et des obstacles à leur utilisation efficace.

Voici quelques exemples :

- **Manque de personnel qualifié :** Les technologies biomédicales nécessitent une formation et une expertise spécifiques pour être utilisées correctement.

- **Infrastructure insuffisante** : Les technologies biomédicales doivent avoir une infrastructure adéquate pour fonctionner correctement, y compris une connectivité réseau fiable et une alimentation électrique stable.
- **Réglementation et normes** : Les technologies biomédicales doivent être réglementées et respecter des normes spécifiques pour garantir leur sécurité et leur efficacité.
- **Confidentialité et sécurité des données** : Les technologies biomédicales peuvent collecter et stocker des données sensibles sur la santé des patients [18].

I.4. Exemples de dispositifs biomédicaux et leurs applications

Les dispositifs biomédicaux se déclinent en deux catégories distinctes: les dispositifs fixes, tels que les scanners et l'imagerie par résonance magnétique (IRM) en établissements médicaux, offrant des capacités diagnostiques avancées et les dispositifs biomédicaux portables, tels que les tensiomètres, glucomètres, oxymètres, permettent des mesures et des interventions médicales directement sur le terrain, offrant ainsi une flexibilité accrue et un suivi personnalisé des patients.

I.4.1. Les dispositifs fixes

I.4.1.1. Scanner

➤ **Définition**

Un scanner, ou plus scientifiquement une « tomodensitométrie » ou TDM est un appareil émettant de faibles doses de rayons X en direction de la partie du corps à analyser. Cette technique est basée sur l'absorption de ces rayons par les tissus. Il permet d'obtenir de manière ciblée des images en coupes fines du corps. Les images obtenues sont ensuite traitées par ordinateur pour effectuer une reconstitution en deux ou trois dimensions [19].



Figure I.1: Scanner [20].

➤ **Fonctionnement**

Le fonctionnement d'un scanner repose sur l'utilisation des rayons X et des principes de la radiographie. Voici une explication simplifiée de son fonctionnement :

- **Émission des rayons X** : Le scanner émet des rayons X à travers le corps du patient à partir d'une source rotative. Ces rayons X traversent les tissus du corps et sont détectés par un récepteur de l'autre côté.
- **Atténuation des rayons X** : Lorsque les rayons X traversent le corps, ils sont plus ou moins absorbés par les différents tissus en fonction de leur densité. Par exemple, les os absorbent davantage les rayons X que les tissus mous.
- **Capture des données** : Les détecteurs du scanner mesurent l'intensité des rayons X qui les atteignent après avoir traversé le corps. Ces données sont collectées sous forme de profils d'absorption.
- **Rotation de la source et des détecteurs** : Pendant que le patient reste immobile sur une table, la source de rayons X et les détecteurs tournent autour de lui. Cela permet de collecter des données sous différents angles.
- **Traitement des données** : Les détecteurs collectent des données envoyées à un ordinateur, qui utilise des algorithmes pour reconstruire une image tridimensionnelle du corps à partir des profils d'atténuation des rayons X. Cette image, affichée sur un écran, résulte du passage des rayons X à travers le corps, avec un niveau d'atténuation variant selon la densité des structures corporelles. Les os apparaissent en blanc, les tissus mous en teintes grises et l'air dans les poumons en noir. L'appareil produit une succession d'images, assemblées par un ordinateur pour créer des images en 2 ou 3 dimensions interprétées par un radiologue [21].

➤ **Applications**

Les scanners sont largement utilisés pour diagnostiquer et évaluer diverses conditions médicales tels que :

- Les tumeurs.
- Les infections.
- Les malformations.

I.4.1.2. Échographie

➤ Définition

L'échographie est une méthode d'exploration médicale du corps par réflexion d'ultrasons sur les organes. Elle est une forme d'imagerie médicale qui repose sur l'utilisation des ultrasons et sur la réception de leur écho, à travers la peau ou la muqueuse [22].



Figure I.2: Échographie

➤ Fonctionnement

L'échographie repose sur l'utilisation d'ondes sonores à haute fréquence pour produire des images en temps réel des organes internes. Ces ondes sonores, inaudibles pour l'oreille humaine, sont émises par une sonde placée sur la peau du patient. Lorsque ces ondes rencontrent des structures internes, tels que les organes ou les vaisseaux sanguins, elles rebondissent vers la sonde. En analysant les modèles de ces échos, l'échographe crée des images détaillées de l'intérieur du corps.

- **Réception des Échos** : Ces ondes rebondissent sur les structures internes et sont détectées par la sonde.
- **Conversion en Signaux Électriques** : Le transducteur convertit ces échos en signaux électriques.
- **Traitement des Signaux** : L'unité de traitement analyse ces signaux pour créer des images en temps réel.
- **Affichage sur l'Écran** : Les images ainsi obtenues sont affichées sur l'écran de l'échographe, permettant aux professionnels de la santé d'interpréter les résultats [23].

➤ **Application**

- Diagnostic prénatal.
- Imagerie abdominale.

I.4.2. Les dispositifs portables

I.4.2.1. Tensiomètre

➤ **Définition**

Un tensiomètre est un dispositif médical utilisé pour mesurer la pression artérielle d'une personne. Il existe différents types de tensiomètres, notamment les tensiomètres électroniques, les tensiomètres manuels et les tensiomètres automatiques. Le tensiomètre électronique, en particulier, est souvent utilisé à domicile pour permettre aux individus de surveiller leur pression artérielle de manière pratique [24].

✓ **Pression artérielle**

La pression artérielle fait référence à la force exercée par le sang contre les parois des artères lorsque le cœur le pompe dans le corps. Il s'agit d'une mesure cruciale pour évaluer la force et la quantité de sang pompé par le cœur, ainsi que l'état général des artères.

✓ **Trois mesures sont fournies par les tensiomètres :**

- **La pression systolique(SYS):** Calculée lors de la contraction du cœur pour pousser le sang dans les vaisseaux.
- La pression diastolique(DIA): Déterminée lorsque le cœur se relâche et se remplit.
- **Les pressions systolique et diastolique :** Sont exprimées en millimètres de mercure (mmHg) sur les tensiomètres, mais souvent communiquées en centimètres de mercure par les médecins. L'interprétation des résultats doit être effectuée par un professionnel de santé en tenant compte des caractéristiques médicales du patient.
- **Le pouls:** Indiquant le nombre de battements cardiaques par minute [25].

L'organisation mondiale de la santé a établi des normes.

Tableau I.1: Niveaux de tension artérielle définie par l'organisation mondiale de la santé [26].

	Normale	Préhypertension	Élevée
Pression systolique	Inférieure à 120 mmHg	Entre 120 et 139 mmHg	Egale ou supérieure à 140 mmHg
Pression diastolique	Inférieure à 80 mmHg	Entre 80 et 89 mmHg	Egale ou supérieure à 90 mmHg

➤ Fonctionnement

Le brassard va se contracter pour serrer le poignet/bras afin de capter la pression artérielle qui s'y exerce. Pour cela, le brassard va comprimer l'artère afin d'empêcher le sang de circuler. Puis, en utilisant la soupape, décompressée petit à petit pour entendre le pouls. La pression enregistrée correspond à la tension systolique. C'est la pression maximale qui propulse le sang des cavités cardiaques vers les artères. Et quand on n'entend plus rien car le rythme cardiaque s'est relâché, alors la pression enregistrée est la tension diastolique ou la pression minimale lors du relâchement du cœur. La tension artérielle a pour unité le millimètre de mercure mmHg. Et on lit la tension systolique avant la tension diastolique, par exemple 12/7 signifie que la tension systolique fait 12 mmHg et la pression diastolique 7 mmHg [27].

**Figure I.3:** Image d'un tensiomètre électronique [28].

I.4.2.2. Glucomètre

➤ Définition

Un glucomètre ou lecteur de glycémie est un appareil permettant de mesurer rapidement le taux de glucose dans le sang (la glycémie), le plus souvent sur du sang capillaire. Ce type d'appareil est utilisé à l'hôpital par les soignants ou à domicile par les patients, notamment en cas de diabète sucré [29].

Les glucomètres se présentent comme des petits boîtiers portables qui tiennent dans la poche ou le sac à main. Depuis leur invention, ils ont largement évolué. On peut aujourd'hui en citer trois types

➤ Le glucomètre à bandelettes

Un modèle classique, se compose d'un autopiqueur, de bandelettes réactives et d'un lecteur affichant la concentration de glucose dans le sang. L'autopiqueur est utilisé pour prélever une goutte de sang, déposée sur une bandelette insérée dans le lecteur. La réaction entre le glucose et une enzyme sur la bandelette génère un courant électrique proportionnel à la quantité de glucose, donnant ainsi la concentration en milligrammes par décilitre [30].

➤ Le glucomètre à électrodes

Un modèle automatique sans bandelette analyse directement la goutte de sang sur la zone de prélèvement à l'aide d'électrodes. Cette méthode déclenche la même réaction chimique qu'avec les bandelettes, fournissant des résultats plus précis et rapides, avec une moindre quantité de sang nécessaire [31].

➤ Le glucomètre à capteur

Élimine le besoin de sang et d'auto-piqûre. Un capteur, placé sur le bras ou le bas ventre, mesure en continu la concentration de glucose dans les liquides interstitiels, équivalente à celle du sang. Cette surveillance continue permet de réagir rapidement aux variations et de réduire les épisodes d'hypoglycémie. Certains modèles sont connectés à des pompes à insuline, offrant ainsi une gestion plus intégrée du diabète [32].

➤ **Fonctionnement**

La mesure du glucose dans le sang est couramment effectuée à l'aide d'un glucomètre portable invasif qui analyse une petite goutte de sang. Cette goutte de sang est obtenue par une piqûre capillaire au doigt. Avant cette procédure, la personne stimule la circulation sanguine en lavant ses mains à l'eau chaude. Ensuite, elle utilise un dispositif de prélèvement, appelé «Autopiqueur», pour effectuer une petite piqûre sur le côté du doigt. La goutte de sang est déposée sur la zone de lecture de la bandelette du glucomètre, fournissant le résultat en quelques secondes. Le taux de glucose sanguin est habituellement indiqué en milligrammes par décilitre [33].



Figure I.4: Fonctionnement d'un glucomètre [34].

La glycémie, qui correspond au taux de glucose dans le sang, fluctue selon le moment de la journée et les activités de l'organisme. Par exemple, elle varie entre les périodes de jeûne et après les repas. Être à jeun signifie ne pas avoir mangé ni bu autre chose que de l'eau depuis au moins 8 heures avant le prélèvement sanguin.

Les niveaux de glycémie sont évalués en fonction de normes chiffrées :

Tableau I.2: Les niveaux de glycémie [35].

	Taux de glycémie à jeun (en g/l)
Glycémie trop faible	Moins de 0.60 g/l
Glycémie normale	De 0.70 à 1.10 g/l
Glycémie trop élevée	Plus de 1.10 g/l
Diabète	Plus de 1.26 g/l

I.4.2.3. Oxymètres

➤ Définition

Un oxymètre de pouls est un dispositif médical qui surveille indirectement la saturation en oxygène du sang d'un patient (par opposition à la mesure de la saturation en oxygène directement à travers un échantillon de sang) et les modifications du volume sanguin dans la peau, produisant un photopléthysmographie qui peut être transformé en d'autres mesures. L'oxymètre de pouls peut être intégré à un moniteur patient multiparamétrique. La plupart des moniteurs affichent également la fréquence du pouls. Des oxymètres de pouls portables fonctionnant sur batterie sont également disponibles pour le transport ou la surveillance de l'oxygène dans le sang à domicile [36].

➤ Fonctionnement

Un oxymètre de pouls fonctionne en mesurant la quantité d'oxygène présente dans le sang, ce qui permet de surveiller l'état des patients souffrant de troubles respiratoires ou d'affections pulmonaires. Le principe repose sur l'absorption de la lumière rouge et infrarouge par le sang en fonction de sa saturation en oxygène. Le calcul du taux de saturation sanguin en oxygène (SpO₂) se base sur le rapport entre la concentration en oxyhémoglobine et la concentration totale d'hémoglobine dans le sang. L'oxymètre émet des lumières rouge et infrarouge à travers la peau, les capte avec un récepteur, puis détermine la saturation en oxygène en analysant la quantité de lumière absorbée. Cet appareil est utilisé pour surveiller la saturation en oxygène, qui doit normalement se situer entre 90% et 100%, ainsi que pour mesurer la fréquence cardiaque.[33]



Figure I.5: Oxymètre de pouls [37].

I.5. Discussion

Au cours de ce chapitre, nous avons classé les appareils biomédicaux et évoqué plusieurs exemples de systèmes déjà en place. Dans le deuxième chapitre, nous examinerons en détail l'oxymètre.

Chapitre II

Étude générale d'un oxymètre

II.1. Préambule

Dans ce chapitre, nous allons examiner le système cardiorespiratoire et aborder l'hémoglobine, qui joue un rôle essentiel dans l'oxymètre de pouls. Nous exposerons également les différentes techniques de conception des oxymètres. Enfin, nous conclurons ce chapitre en exposant en détail le principe de fonctionnement de l'oxymètre.

II.2. Généralités sur le système cardiorespiratoire

II.2.1. Définition du système cardiorespiratoire

Le système cardiorespiratoire englobe le cœur et les poumons, ainsi que les vaisseaux sanguins et les voies respiratoires. Il permet la circulation du sang et la respiration dans tout le corps.

❖ Le cœur

Le cœur joue un rôle central dans le système circulatoire en agissant comme une pompe qui propulse le sang vers les organes. Les artères transportent le sang loin du cœur en se subdivisant en capillaires. Ces derniers facilitent les échanges entre les nutriments présents dans le sang et les déchets cellulaires à travers leurs parois. Ensuite, le sang enrichi en nutriments est récupéré par les veines, ramenant ainsi le sang vers le cœur.

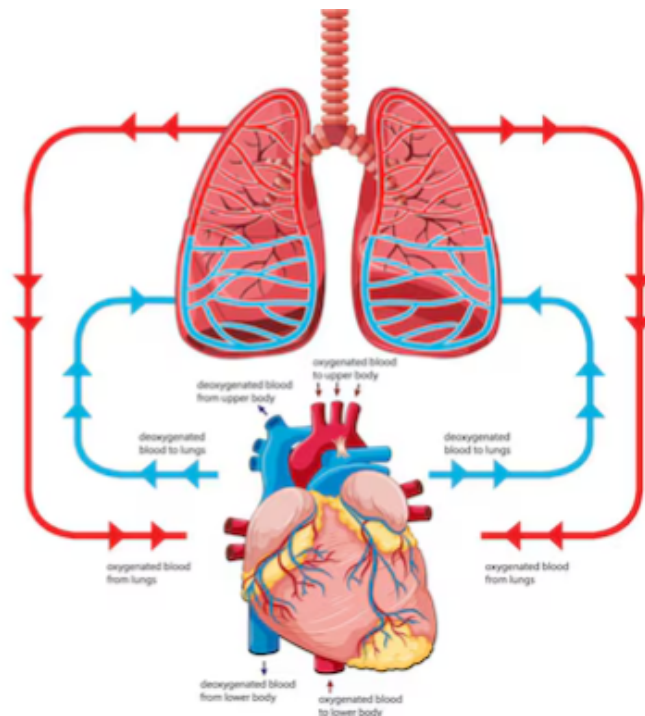


Figure II.1: Système cardiorespiratoire [38].

❖ Les vaisseaux sanguins

Les vaisseaux sanguins sont des conduits tubulaires qui transportent le sang à travers le corps. Les artères sont les vaisseaux sanguins qui dirigent le sang du cœur vers les organes ils constituent le **réseau artériel**. Les veines sont les vaisseaux sanguins qui dirigent le sang des organes vers le cœur elles forment le **réseau veineux**.

II.2.2. Hémoglobine

L'hémoglobine est une protéine présente dans les globules rouges. Elle est indispensable à la vie car elle assure deux fonctions vitales :

- **Transport de l'oxygène** : Elle capte l'oxygène des poumons et le distribue ensuite à tous les tissus de l'organisme.
- **Élimination du dioxyde de carbone** : Elle collecte le dioxyde de carbone, un déchet produit par les cellules, et le transporte vers les poumons où il est expiré.

❖ Structure de l'hémoglobine

L'hémoglobine humaine est constituée de quatre chaînes polypeptidiques identiques deux à deux: deux chaînes α de 141 acides aminés chacune et de deux chaînes β de 146 acides aminés chacune (Ce qui donne un total de 574 acides aminés pour l'hémoglobine). Chacune de ces chaînes est associée à un groupement prosthétique (partie non protéique).

L'hémoglobine est une protéine dont la principale fonction est le transport du dioxygène dans l'organisme humain et chez les autres vertébrés. Elle se trouve essentiellement à l'intérieur des globules rouges (13.5 à 17.5 g/dl chez l'homme et 12.5 à 15.5 g/dl chez la femme de sang d'hémoglobine) ce qui leur donne une couleur rouge[39].

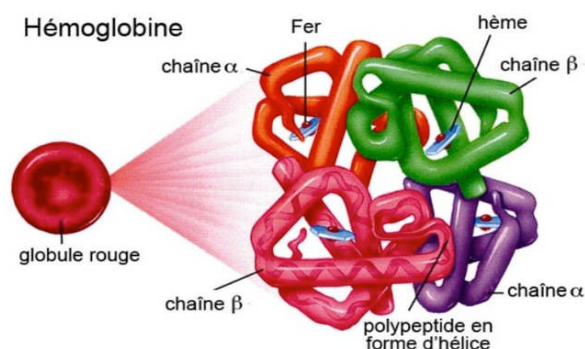


Figure II.2: Structure d'une molécule d'hémoglobine.

II.3. Oxymétrie**II.3.1. Définition de l'oxymétrie**

Un oxymètre est un dispositif médical non invasif qui permet de mesurer la saturation en oxygène dans le sang d'un patient.

Il est utilisé dans les hôpitaux, mais aussi à domicile pour les patients en ambulatoire. Il permet de détecter rapidement les anomalies et de définir une prise en charge adaptée au patient.

Il est particulièrement utile dans le cadre de maladies respiratoires chroniques ou comme dans le cas de la pandémie du Covid-19 pour permettre aux patients de rester chez eux.

En d'autres termes, l'oxymètre est un outil qui surveille le niveau d'oxygène dans le sang et qui est utilisé dans un contexte médical, que ce soit à l'hôpital ou à domicile[40].

II.3.2. Importance de l'oxymètre dans la prévention et le suivi de la santé

La fonction principale d'un oxymètre de pouls est de mesurer la quantité d'oxygène présente dans le sang.

Cette technologie joue un rôle dans la détection rapide d'anomalies, permettant ainsi une orientation rapide vers des soins appropriés ou, dans certains cas, le maintien du patient à domicile.

Elle est particulièrement utile dans le contexte des maladies respiratoires, qui sont responsables de 12% des décès mondiaux.

La surveillance de la saturation en oxygène est essentielle pour évaluer l'oxygénation des tissus corporels et constitue un indicateur clé de la santé respiratoire.

Des affections telles que l'asthme, la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), la pneumonie et d'autres infections respiratoires nécessitent une surveillance étroite de la saturation en oxygène.

En effet, une baisse de cette dernière peut avoir des conséquences néfastes sur les organes vitaux comme le cerveau, le cœur et les reins.

Ainsi, la surveillance continue de la saturation en oxygène grâce à l'oxymètre s'avère être une pratique essentielle dans la gestion des maladies respiratoires.

Cette technologie offre une ligne de défense vitale, permettant aux professionnels de la santé d'intervenir rapidement en cas de besoin, et contribuant ainsi à améliorer la qualité des soins dispensés aux patients[41].

Son importance réside dans plusieurs domaines :

- **Détection précoce des affections respiratoires**

L'hypoxémie, un manque d'oxygène dans le sang, est un symptôme commun de nombreuses affections respiratoires.

L'oxymétrie permet une détection précoce de l'hypoxémie, avant l'apparition de symptômes graves, et incite à une intervention médicale rapide.

- **Surveillance des patients à risque**

L'oxymétrie est utilisée pour surveiller les patients à risque de complications respiratoires, tels que les nouveau-nés, les personnes âgées, les patients cardiaques et les personnes souffrant d'apnée du sommeil. La surveillance continue de la saturation pulsée en oxygène (SpO₂) permet d'identifier les épisodes de désaturation et de prendre les mesures nécessaires pour prévenir des complications graves.

- **Suivi de l'efficacité des traitements**

L'oxymétrie permet de suivre l'efficacité des traitements pour les affections respiratoires. En mesurant la SpO₂ avant et après le traitement, il est possible d'évaluer l'impact du traitement sur l'oxygénation du sang et d'effectuer un ajustement posologique si nécessaire.

- **Applications dans le sport et la médecine d'altitude**

L'oxymétrie est utilisée pour mesurer l'impact de l'exercice physique sur l'oxygénation du sang et pour aider les athlètes à optimiser leur performance. En médecine d'altitude, l'oxymétrie permet de surveiller les risques liés à l'altitude et de prévenir le mal aigu des montagnes.

- **Dépistage et suivi des maladies chroniques**

L'oxymétrie peut être utilisée pour le dépistage et le suivi de maladies chroniques telles que l'anémie, les maladies cardiaques et les maladies vasculaires cérébrales. La SpO₂ peut être un indicateur précoce de complications liées à ces maladies[42].

II.4. Méthodes existantes pour la réalisation d'un oxymètre

II.4.1. Conception d'un Oxymètre de Pouls par Réflectance utilisant le MSP300F149

En 2007, *Guowei Di et al.*, ont développé un oxymètre de pouls optique non invasif en utilisant le microcontrôleur MSP430F149.

Cet oxymètre est composé d'un capteur qui est utilisé pour la détection de l'onde de pouls, et d'un microcontrôleur qui est conçu pour analyser l'onde de pouls afin de calculer la saturation en oxygène (SaO₂) et la fréquence cardiaque. Les résultats sont affichés sur un écran LCD ou transmis à un PC.

Le capteur utilise deux diodes électroluminescentes (LED), une dans le spectre rouge visible (660 nm) et l'autre dans le spectre infrarouge (890 nm), pour calculer la saturation en oxygène en fonction de l'intensité de chaque fréquence de lumière après réflexion à travers les tissus corporels.

La conclusion souligne l'utilisation efficace du microcontrôleur, la compacité du système et ses caractéristiques attrayantes pour la mesure de la saturation en oxygène et de la fréquence cardiaque [43].

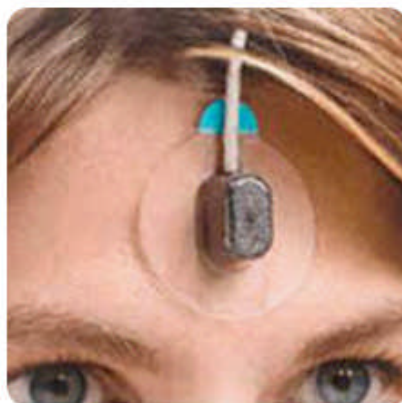


Figure II.3: Oxymètre de pouls par Réflectance.

II.4.2. Un capteur d'oxymètre de pouls à très faible consommation d'énergie basé sur détection comprimée

Les oxymètres de pouls traditionnels présentent une consommation énergétique élevée, principalement due à l'éclairage permanent des diodes électroluminescentes (LED) rouges et infrarouges utilisées pour la mesure photopléthysmographique.

Cette contrainte limite leur utilisation dans des applications portables et de surveillance à long terme sur des réseaux de capteurs corporels.

Pour pallier cette limitation, *Garudadri et Baheti* ont proposé en 2009 une nouvelle approche d'oxymétrie de pouls à très faible consommation d'énergie, basée sur la technique de détection comprimée (*compressed sensing*). L'objectif était de permettre une surveillance non invasive et prolongée de la saturation pulsée en oxygène du sang (SpO₂) et de la fréquence cardiaque sur des réseaux *Body Area Network* (BAN).



Figure II.4: Exemple d'un réseau *Body Area Network* (BAN).

Leur méthode consiste à sous-échantillonner de manière aléatoire les signaux photopléthysmographique (PPG) issus du photodétecteur, avec un taux de sous-échantillonnage pouvant aller jusqu'à 40 fois inférieur au taux de Nyquist. Cela permet d'éteindre les LEDs pendant de plus longues périodes et ainsi de réduire la consommation énergétique du capteur.

Les chercheurs ont démontré l'application des principes de détection compacte à l'acquisition des signaux PPG, ainsi que la possibilité d'examiner la pression artérielle à partir des signaux PPG et ECG sous-échantillonnés. En utilisant la base de données *Medical Information Mart for Intensive Care* (MIMIC), ils ont montré que la précision des estimations de SpO₂, fréquence cardiaque et pression artérielle n'était pas compromise par rapport à l'échantillonnage classique. L'étude aborde également les considérations de puissance, de précision et les travaux futurs envisageables pour améliorer l'estimation de la SpO₂ en fonction du taux de sous-échantillonnage utilisé [44].

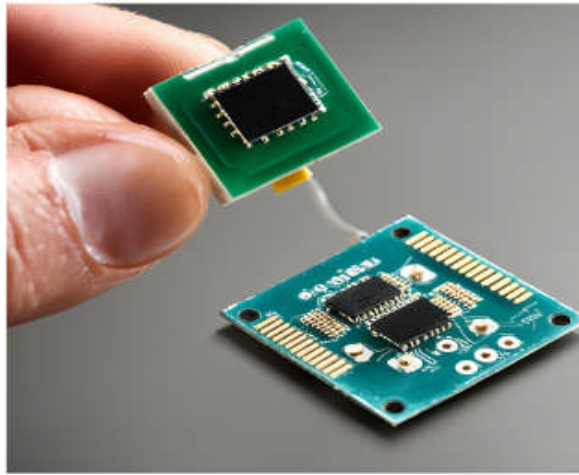


Figure II.5: Un capteur d'oxymètre de pouls à très faible consommation d'énergie.

II.4.3. Surveillance de la santé en ligne par des systèmes d'oxymétrie de pouls intelligents intégrés dans l'Unité D'affichage de Siège (SDU)

En 2019, *Raluca Maria Aileniet all* ont présenté une architecture logicielle et matérielle pour un système d'oxymètre intelligent intégré dans l'unité d'affichage de siège (SDU), destiné à surveiller les passagers en vol. Ce système vise à contrôler les niveaux d'oxygène dans le sang et la fréquence cardiaque des passagers pendant le vol, en raison des risques liés aux conditions de cabine telles que la pression réduite, le manque d'oxygène et la faible humidité, qui peuvent affecter les personnes souffrant de problèmes respiratoires. L'oxymétrie de pouls est utilisée pour surveiller la saturation en oxygène du sang et la fréquence cardiaque, fournissant des informations précieuses sur la santé des passagers. Le système intègre un oxymètre intelligent utilisant la spectrophotométrie d'absorption pour mesurer la saturation en oxygène du sang. Il répond aux normes de sécurité des compagnies aériennes en utilisant uniquement le Wi-Fi intranet pour les dispositifs électroniques interactifs à bord de l'avion. En surveillant les niveaux d'oxygène et de pouls des passagers, ce système offre des données utiles pour les recommandations médicales aux passagers souffrant de maladies spécifiques qui voyagent en avion [45].



Figure II.6: Oxymétrie de pouls intelligents intégrés dans un (SDU).

II.4.4. Conception d'un oxymètre de pouls intelligent utilisant le microcontrôleur ATMEGA 328

En 2020, *Deivasigamani et all* ont développé un oxymètre de pouls intelligent en utilisant le microcontrôleur ATMEGA328, alimenté par l'énergie solaire et équipé d'un système de surveillance à distance. L'objectif principal était de mettre en place une méthode novatrice pour alimenter un dispositif médical tout en assurant sa durabilité. L'oxymètre utilisé dans ce projet était le modèle MAX 30102, caractérisé par son efficacité en termes de programmation et de câblage. Les résultats ont démontré que le dispositif opérait comme prévu, affichant les données sur un écran LCD et permettant un suivi précis de la saturation en oxygène dans le sang. Il a été conçu dans une optique d'accessibilité et de convivialité, fournissant ainsi un moyen efficace de surveillance pour les patients à domicile [46].



Figure II.7: Un oxymètre avec un microcontrôleur ATMEGA 328.

II.4.5. Conception, implémentation et test d'un dispositif de l'oxymètre de pouls basé sur un microcontrôleur et l'IoT

En 2021, *Muhibul Haque Bhuyana* développé un oxymètre de pouls basé sur un microcontrôleur Arduino et l'Internet des objets (IoT).

L'objectif principal du dispositif est de mesurer avec précision le taux de saturation pulsée en oxygène dans le sang (SpO₂) et la fréquence cardiaque, tout en permettant la transmission des données via l'IoT pour un suivi à distance [47].



Figure II.8: Un oxymètre avec un microcontrôleur et l'IoT.

II.5. Principes de fonctionnement d'un oxymètre

II.5.1. Principe physique de base

II.5.1.1. Spectrophotométrie d'absorption (Loi de Beer-Lambert)

La loi de Beer-Lambert est un principe de la spectroscopie. Elle fournit une méthode précise pour évaluer la concentration d'une substance dans une solution en mesurant l'absorption de la lumière. Développée initialement par *August Beer* en 1852 puis étendue par *Johann Lambert*, cette loi établit une relation directe entre l'absorbance, la concentration de la solution et la longueur du trajet optique. En chimie, elle est couramment utilisée pour déterminer la concentration des produits en solution, mais elle s'applique aussi à l'absorption de divers rayonnements. Cette loi est applicable à un milieu homogène et isotrope exposé à une lumière monochromatique [48].

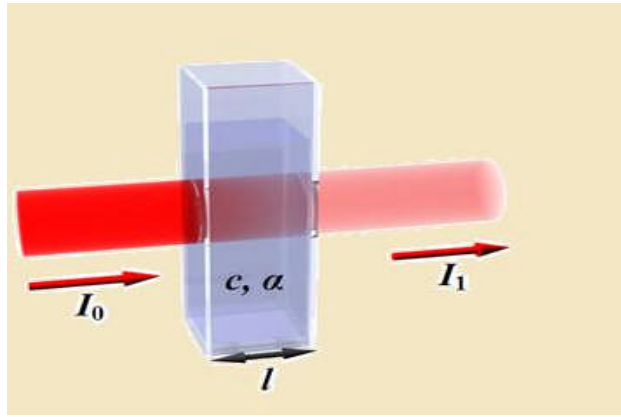


Figure II.9: Diffusion d'un photon [49].

L'équation de Beer-Lambert est généralement exprimée par la relation suivante :

$$A = E L C$$

A : L'absorbance

E : Le coefficient d'absorption en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$

L : L'épaisseur de la solution en cm

C : Concentration en $mol \cdot L^{-1}$

II.5.1.2. Propriétés d'absorption des hémoglobines

L'oxyhémoglobine (HbO_2) est la forme de l'hémoglobine qui transporte l'oxygène dans le sang artériel. Lorsque l'hémoglobine est liée à l'oxygène, sa structure moléculaire subit des changements conformationnels qui modifient ses propriétés d'absorption optique. L'oxyhémoglobine absorbe ainsi fortement la lumière infrarouge, autour de 950 nanomètres, car cette longueur d'onde correspond à une transition électronique particulière au sein de la molécule. En revanche, l'oxyhémoglobine a un coefficient d'absorption molaire plus faible pour la lumière rouge, aux alentours de 660 nanomètres. Cette différence d'absorption entre le rouge et l'infrarouge est quantifiable et constitue la base de la mesure de la saturation en oxygène par l'oxymètre [50].

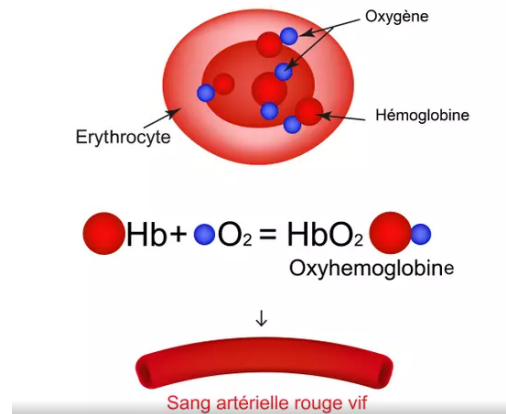


Figure II.10: L'oxyhémoglobine.

À l'inverse, la désoxyhémoglobine (Hb) est la forme de l'hémoglobine qui n'est pas liée à l'oxygène, comme dans le sang veineux. Sans l'oxygène, la structure moléculaire de l'hémoglobine subit d'autres changements conformationnels. La désoxyhémoglobine absorbe alors davantage la lumière rouge, que la lumière infrarouge. Le coefficient d'absorption molaire de la désoxyhémoglobine est en effet plus élevé pour rouge que pour infrarouge. Cette propriété d'absorption différentielle entre les deux longueurs d'onde est complémentaire à celle de l'oxyhémoglobine et permet une mesure précise du taux de saturation en oxygène. La combinaison des propriétés d'absorption distinctes de l'oxyhémoglobine et de la désoxyhémoglobine aux longueurs d'onde rouge et infrarouge forme la base du principe de fonctionnement de l'oxymètre de pouls. C'est ce qui permet la mesure non invasive et continue de la saturation en oxygène du sang [51].

II.5.2. Description de l'oxymètre

II.5.2.1. Structure et composants de base de l'oxymètre

A/ Capteur de lumière

C'est l'élément clé de l'oxymètre. Il émet généralement deux longueurs d'onde de lumière, souvent une rouge et une infrarouge, à travers le tissu du doigt (ou parfois d'autres parties du corps comme l'oreille ou le front). Ce capteur détecte ensuite la lumière transmise à travers le tissu et mesure l'absorption de ces longueurs d'onde par l'hémoglobine oxygénée et non oxygénée dans les vaisseaux sanguins.

B/ Écran d'affichage

Il affiche généralement les valeurs de saturation pulsée en oxygène (SpO₂) et le pouls en battements par minute (BPM). Ces valeurs sont calculées à partir des données fournies par le capteur de lumière.

C/ Boîtier électronique

C'est là que se trouvent les circuits électroniques qui traitent les signaux provenant du capteur de lumière et calculent les valeurs de SpO₂ et de pouls.

4/ Batterie

La plupart des oxymètres fonctionnent sur batterie, ce qui les rend portables et pratiques pour une utilisation à domicile ou en déplacement.

II.5.2.2. Principes de fonctionnement des capteurs de lumière**❖ Émission de lumière**

Le capteur de lumière émet généralement deux longueurs d'onde de lumière à travers le tissu du doigt. Ces longueurs d'onde sont soigneusement sélectionnées pour être absorbées différemment par l'hémoglobine oxygénée et non oxygénée dans le sang.

❖ Absorption de lumière

Lorsque la lumière traverse le tissu du doigt, une partie est absorbée par l'hémoglobine présente dans les vaisseaux sanguins. L'hémoglobine oxygénée absorbe la lumière différemment de l'hémoglobine non oxygénée.

❖ Détection de la lumière transmise

Le capteur de lumière détecte la quantité de lumière transmise à travers le tissu du doigt. En mesurant cette transmission de lumière à différentes longueurs d'onde, le capteur peut déterminer la proportion d'hémoglobine oxygénée et non oxygénée dans le sang à partir des données de transmission de lumière les circuits électroniques de l'oxymètre calculent la saturation pulsée en oxygène (SpO₂) en pourcentage, qui représente la proportion d'hémoglobine oxygénée dans le sang. Ce calcul est basé sur des algorithmes qui prennent en compte les caractéristiques d'absorption de la lumière par l'hémoglobine [52].

❖ Calcul de la saturation en oxygène

L'oxymètre mesure les variations d'absorption de la lumière par le sang pulsatile (la composante AC) et non pulsatile (la composante DC).

- Avec ces données, il calcule le rapport R des absorptions relatives pour les deux longueurs d'onde.
- En utilisant la formule empirique :

$$SpO_2 = 110 - 25 \times R$$

Avec $R = (AC_{\text{rouge}} / DC_{\text{rouge}}) / (AC_{\text{IR}} / DC_{\text{IR}})$ [53].

❖ Calcul des battements de cœur

La fréquence cardiaque (BPM) est calculée en mesurant le temps entre ces pics successifs. Voici une formule simple pour calculer la BPM à partir du signal de l'oxymètre :

$$BPM = 60 / \text{période} \quad [54].$$

Où la période est la durée (en secondes) entre deux pics successifs du signal AC.

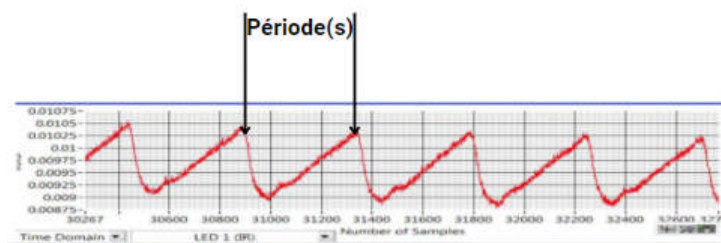


Figure II.11: Signal d'une forme d'onde PPG.

II.5.3. Fonctionnement de l'oxymètre

❖ Émission de lumière et traversée des tissus

- L'oxymètre de pouls contient deux diodes électroluminescentes (LED) - une LED rouge émettant à 660 nm et une LED infrarouge émettant à 940 nm.
- Ces deux longueurs d'onde ont des propriétés d'absorption différentes par l'oxyhémoglobine (HbO₂) et la désoxyhémoglobine (Hb) présentes dans le sang.

- La lumière émise traverse séquentiellement l'épiderme, le derme riche en capillaires sanguins, le tissu sous-cutané, les tendons, les os et les muscles, jusqu'à atteindre le volume de sang artériel pulsatile.

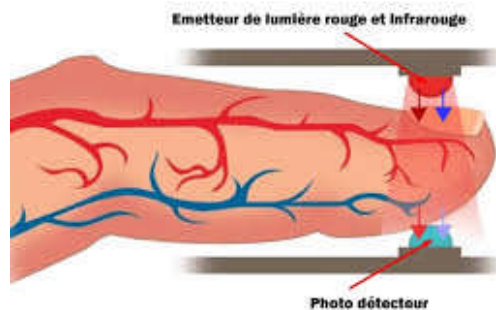


Figure II.12: Principe de fonctionnement d'un oxymètre de pouls.

❖ Absorption de la lumière par l'hémoglobine

- L'oxyhémoglobine (HbO_2) possède une structure moléculaire qui absorbe davantage la lumière rouge, tandis que la désoxyhémoglobine (Hb) absorbe plus fortement la lumière infrarouge.
- Cette différence d'absorption est due à la présence ou non d'un atome d'oxygène lié à la molécule d'hémoglobine.
- Le ratio entre l'absorption de la lumière rouge et infrarouge par le sang artériel pulsatile permet donc de déterminer le taux de saturation en oxygène (SpO_2).

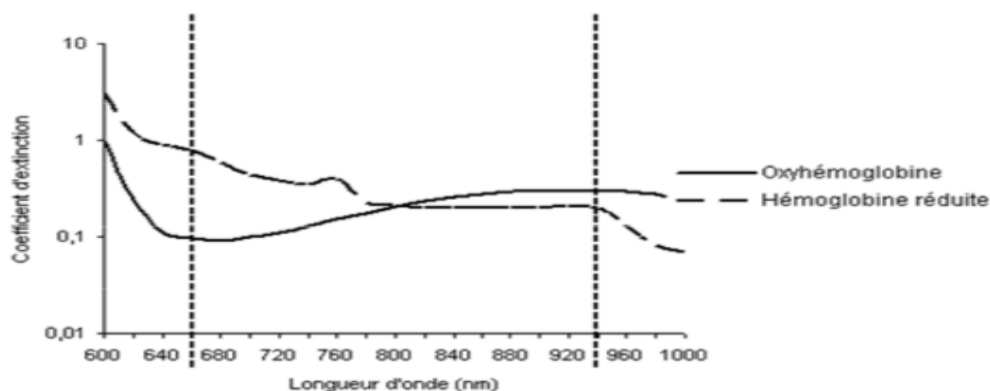


Figure II.13: La relation entre l'oxyhémoglobine et l'hémoglobine [55].

❖ Détection et mesure du signal lumineux transmis

- Des photodiodes placées en face des diodes LED détectent la lumière qui a traversé les différentes couches de tissus.
- Le signal lumineux détecté varie au cours du cycle cardiaque en raison des changements de volume sanguin artériel pulsatile.
- L'oxymètre mesure ces variations pulsatiles du signal lumineux transmis pour les longueurs d'onde rouge et infrarouge.
- Un microprocesseur numérise et analyse ces signaux pulsatiles pour calculer les ratios d'absorption entre les deux longueurs d'onde [56].

❖ Conversion du signal en lecture de saturation en oxygène (SpO₂)

- Les ratios d'absorption de la lumière rouge et infrarouge sont utilisés par un algorithme complexe implémenté dans le microprocesseur de l'oxymètre.
- Cet algorithme prend en compte de nombreux facteurs pour estimer la SpO₂ de manière précise : Pigmentation de la peau, épaisseur des tissus.
- La valeur de SpO₂ est enfin affichée sur l'écran de l'oxymètre, fournissant une indication non invasive de l'oxygénation du sang [57].



Figure II.14: Résultats de calcul du taux d'oxygène dans le sang.

II.6. Évaluation des performances des oxymètres disponibles

L'évaluation des performances des oxymètres disponibles sur le marché repose sur une analyse détaillée de plusieurs critères essentiels tels que la précision, l'application, la consommation d'énergie, les fonctionnalités intelligentes et la complexité de conception. Le tableau II-1 permet de mettre en lumière les caractéristiques de chaque modèle, offrant ainsi une vue d'ensemble complète et informative.

Tableau II.1: Comparaison entre les méthodes existantes.

Critère	MSP300F14 9 (Réflectance)	Détection Comprimée	SDU (Unité de siège)	ATMEGA32 8	Microcontrôleur & IoT
Consommation d'énergie	Très faible	Très faible	Variable	Modérée	Variable (souvent plus élevée)
Précision	Modérée	Dépend des algorithmes	Variable	Dépend du capteur utilisé	Dépend du capteur et de l'IoT
Fonctionnalités intelligentes	Limitée	Algorithmes avancés	Confort et intégration	Flexibilité de programmation	Surveillance et analyse à distance
Complexité de conception	Moyenne	Elevée	Elevée (intégration)	Moyenne	Elevée (IoT et connectivité)
Applications	Dispositif portable	Dispositif portable	Sièges (avion, véhicule)	Projets DIY, éducatifs ...	Surveillance de la santé à distance

II.7. Discussion

Dans ce chapitre nous avons détaillé le principe de fonctionnement des oxymètres, soulignant les mécanismes par lesquels ces appareils mesurent la saturation en oxygène du sang et la fréquence cardiaque.

Ce chapitre offre une vue d'ensemble complète des éléments constitutifs et des principes de fonctionnement des oxymètres de pouls, démontrant leur rôle dans la surveillance non invasive des paramètres vitaux et leur contribution significative à la pratique médicale moderne.

Dans le chapitre suivant, nous allons concevoir et développer notre propre oxymètre de pouls intelligent, qui sera doté de fonctionnalités avancées, qui est la reconnaissance d'empreintes digitales. Cette intégration permettra non seulement de mesurer les paramètres vitaux mais aussi de garantir une identification sécurisée et personnalisée des utilisateurs.

Chapitre III

**Conception et développement du
dispositif d'oxymétrie intelligent**

III.1. Préambule

Ce chapitre détaille la conception et le développement du dispositif d'oxymétrie intelligent. Nous commencerons par les spécifications du dispositif, suivies du choix des composants électroniques et matériels. Ensuite, nous décrirons l'architecture système du dispositif et enfin, nous aborderons l'intégration de la reconnaissance d'empreinte pour le stockage sécurisé des données.

III.2. Cahier de charge

Ce projet vise à concevoir et réaliser un oxymètre de pouls intégrant la reconnaissance d'empreintes digitales pour le stockage sécurisé des données et l'affichage des résultats sur un écran OLED. L'oxymètre mesurera la saturation en oxygène (SpO₂) et la fréquence cardiaque (BPM). Pour la mesure de la SpO₂, l'oxymètre offrira une précision de $\pm 2\%$ sur une plage de 70-100%. Pour la fréquence cardiaque (BPM), la précision sera de ± 3 BPM sur une plage de 30-250 BPM. Le capteur d'empreintes digitales, de type optique, permettra un accès sécurisé aux données avec un temps de reconnaissance inférieur à 1 seconde, un taux de faux rejet (FRR) inférieur à 1% et un taux de fausse acceptation (FAR) inférieur à 0.001%. Les résultats seront affichés sur un écran OLED de 0.96 pouces avec une résolution de 128x64 pixels, utilisant une interface I2C. Le microcontrôleur choisi, le Seeeduno Femto M0+, disposera de la mémoire appropriée et des interfaces de communication comme I2C et UART.

L'objectif final est de fournir un appareil portable, précis et sécurisé pour le suivi des mesures de santé, avec des résultats accessibles uniquement par reconnaissance d'empreinte digitale.

III.3. Spécifications du dispositif d'oxymétrie intelligent

Tableau III.1: Spécifications du dispositif d'oxymétrie intelligent.

	DETAILS
MESURE DE LA SATURATION EN OXYGENE (SPO2)	PLAGE DE MESURE : 70% A 100% PRECISION : $\pm 2\%$ DANS LA PLAGE DE 80% A 100% TEMPS DE REPONSE : 20 SECONDES
MESURE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE	PLAGE DE MESURE : 30 A 250 BATTEMENTS PAR MINUTE (BPM) PRECISION : ± 3 BPM TEMPS DE REPONSE : 30 SECONDES
AFFICHAGE DES DONNEES	TYPE D'ECRAN : ÉCRAN OLED 0.96 POUCES INFORMATIONS AFFICHEES : NOM, PRENOM, SPO2, FREQUENCE CARDIAQUE.
PORTABILITE	DIMENSIONS : 60MM X 35MM X 20MM POIDS : 50 GRAMMES
RESISTANCE ET DURABILITE	RESISTANCE AUX CHOCS : CAPABLE DE RESISTER A DES CHUTES DE 1 METRE
SPECIFICATIONS TECHNIQUES	CAPTEUR : TSL235R SECURITE DES DONNEES : AUTHENTIFICATION : RECONNAISSANCE D'EMPREINTES DIGITALES VIA UN CAPTEUR OPTIQUE GT-511C3

III.4. Architecture système du dispositif

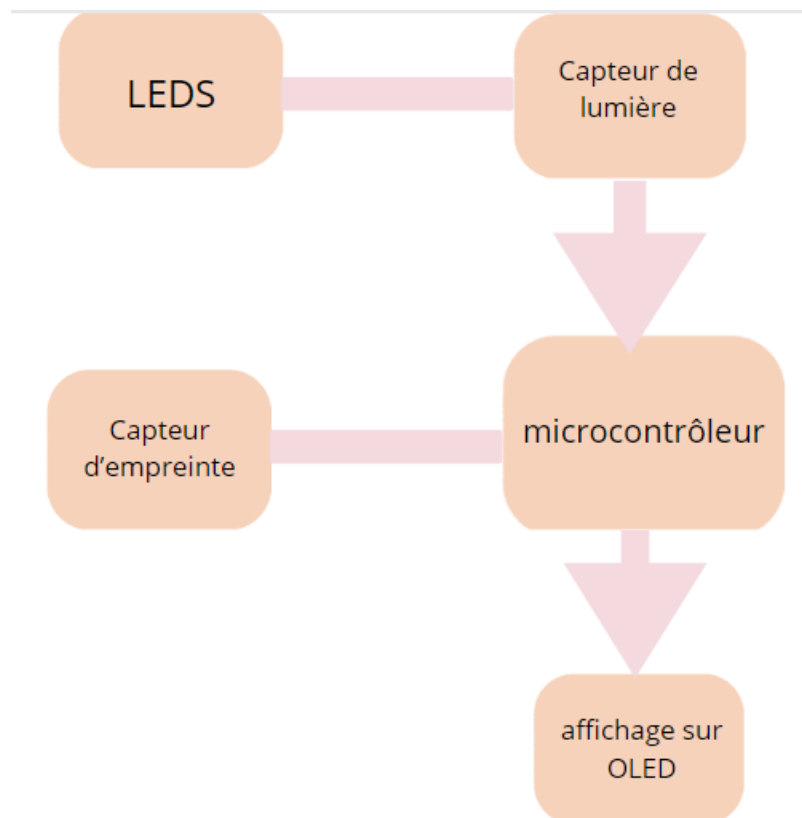


Figure III.1: Schéma bloc du système.

III.5. Choix des composants électroniques et matériel

III.5.1. Microcontrôleur

Nous avons opté pour le microcontrôleur Seeeduno Femto M0+ pour notre projet en raison de sa taille compacte et de sa puissance de calcul. Sa petite taille est idéale pour les projets où l'espace est restreint, tout en offrant suffisamment de puissance grâce à son processeur ARM Cortex-M0+. Cela nous permet d'exécuter efficacement les fonctions nécessaires tout en optimisant la consommation d'énergie. De plus, sa facilité d'intégration avec d'autres composants et sa compatibilité avec l'IDE Arduino rendent la programmation et l'expérimentation accessibles [57].

III.5.2. LEDs

Nous avons choisi la LED rouge pour son rôle dans la spectroscopie de l'hémoglobine. Elle est utilisée pour mesurer la désoxyhémoglobine, une forme d'hémoglobine qui indique le niveau d'oxygène dans le sang. Sa longueur d'onde spécifique permet une absorption différentielle par la désoxyhémoglobine, facilitant ainsi la mesure précise de l'oxygénation tissulaire.

Pour l'oxyhémoglobine, nous avons opté pour la LED infrarouge. Cette LED émet à une longueur d'onde qui correspond à l'absorption maximale de l'oxyhémoglobine, permettant une mesure sensible et spécifique de cette forme d'hémoglobine dans le sang. Ensemble, ces deux LEDs offrent une méthode robuste et précise pour évaluer la saturation en oxygène dans les tissus, essentielle dans de nombreuses applications médicales et de recherche.

III.5.4. Photo capteur TSL235R :

Nous avons pour le TSL 235R en raison de ses capacités combinées de capteur de lumière et de convertisseur lumière-fréquence. Ce capteur non seulement mesure avec précision les niveaux de lumière ambiante, mais il convertit également ces données en signaux de fréquence. Cette double fonctionnalité permet une intégration simplifiée dans notre projet, tout en assurant une précision et une fiabilité dans la mesure de la lumière environnante [58].

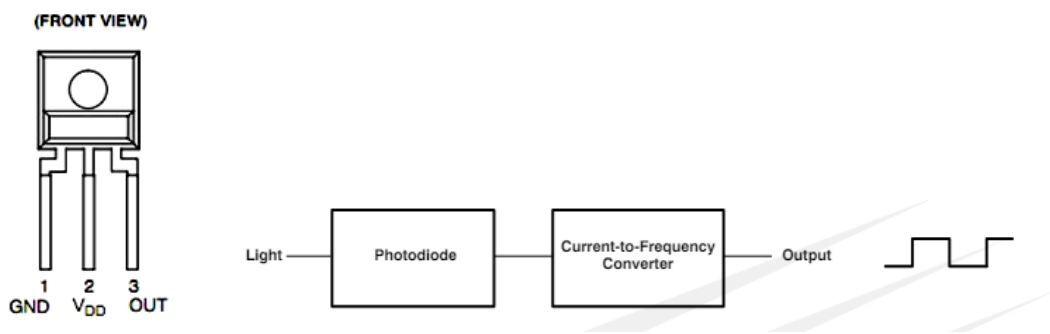


Figure III.2: Capteur TSL235R

❖ Description de fonctionnement du TSL235R

➤ Composants Internes du TSL235R

- Photodiode en Silicium : Capte la lumière incidente.
- Convertisseur Courant-Fréquence : Convertit le courant généré par la photodiode en un signal de fréquence proportionnelle.

❖ Principe de Base

1. La photodiode en silicium génère un courant proportionnel à l'intensité lumineuse reçue.
2. Ce courant est ensuite converti en une fréquence de sortie par le convertisseur intégré.
3. La fréquence de sortie est directement proportionnelle à l'intensité lumineuse incidente.

Ces trois figures montrent le changement de fréquence en fonction de la lumière.

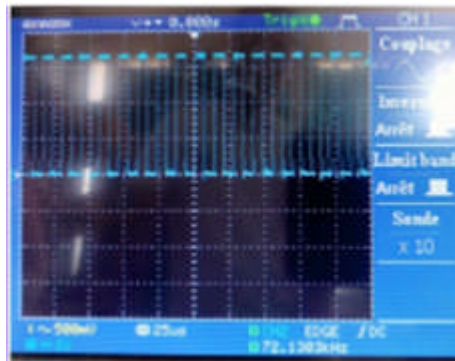


Figure III.3: Résultats du capteur TSL235R sous lumière ambiante.

▪ **Figure III.3:** "Capteur TSL235R sous Lumière Ambiante"

Cette figure montre la réponse du capteur TSL235R lorsqu'il est exposé à la lumière ambiante.

Le capteur reçoit un signal de sortie avec une fréquence modérée, indiquant une intensité lumineuse ambiante moyenne.

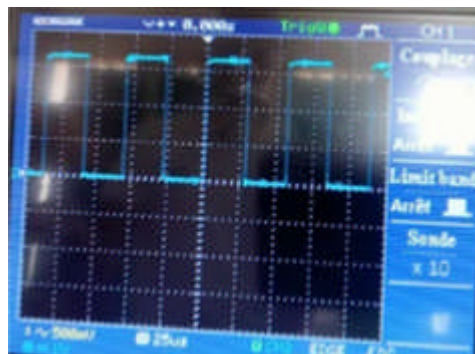


Figure III.4: Résultats du capteur TSL235R à l'obscurité.

▪ **Figure III.4 :** "Capteur TSL235R caché (sans lumière)"

Cette figure illustre la réponse du capteur lorsque celui-ci est caché, c'est-à-dire sans exposition à la lumière. Cela permet de voir comment le capteur réagit en l'absence totale de lumière.

Le capteur détecte un signal de sortie avec une fréquence faible (longue période).

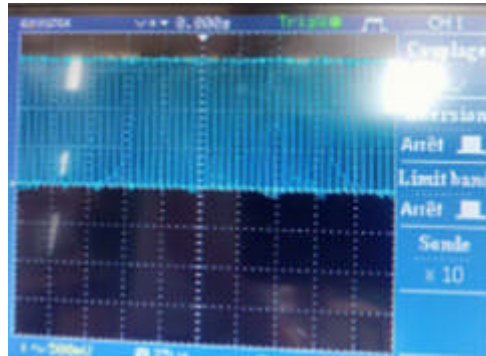


Figure III.5: Résultats du capteur TSL235R sous lumière de torche.

▪ **Figure III.5:** "Capteur TSL235R sous Lumière de Torche"

Cette figure montre la réponse du capteur lorsqu'il est exposé à la lumière d'une torche.

Le capteur détecte un signal de sortie avec une fréquence élevée (courte période).

En analysant les trois figures, on peut conclure que le capteur TSL235R présente une relation proportionnelle entre l'intensité lumineuse et les caractéristiques de son signal de sortie.

Caractéristiques Techniques d'un capteur TSL235R

Tension d'Alimentation : Fonctionne entre 2,7 V et 5,5 V.

Sortie : Produit un signal carré.

Réponse spectrale : Sensibilité maximale à une longueur d'onde de 635 nm (lumière rouge).

Plage de Température : Opère typiquement entre -25°C et +70°C.

III.5.5. Un écran OLED 0.96" (SSD 1315)

Les écrans OLED 0.96" sont des afficheurs graphiques monochromes (blanc/bleu ou blanc/jaune) avec une résolution de 128x64 pixels, contrôlés par le chipset SSD1306 et connectés à un microcontrôleur via une interface I2C ou SPI. Ils peuvent être utilisés avec un Arduino, nécessitant une alimentation de 5V et des connexions I2C (SDA et SCL). Pour les utiliser, il est nécessaire de brancher l'alimentation et de connecter les lignes de contrôle, puis d'utiliser une bibliothèque logicielle comme SSD1306 Ascii. Ces écrans permettent d'afficher du texte, des graphiques et des images [59].



Figure III.6: Ecran OLED 0.96.

❖ Description de l'afficheur

- Alimentation: 3.3 - 5V
- Interface I2C: SCL / SDA
- Contrôleur: SSD 1315
- Dimensions: 26 x 26 mm

❖ Fonctionnement d'I2C

L'I2C (Inter-Integrated Circuit) est un bus de communication série développé par Philips Semiconductor (aujourd'hui NXP Semiconductors) qui permet à des composants électroniques de communiquer entre eux sur une même carte. Il utilise deux lignes de signal : SDA (données série) et SCL (horloge série). Le fonctionnement de l'I2C repose sur une architecture maître-esclave, où un dispositif maître contrôle la communication et les dispositifs esclaves répondent aux requêtes du maître. Chaque dispositif sur le bus possède une adresse unique. La communication commence par une condition de départ générée par le maître, suivie par l'envoi de l'adresse de l'esclave et une opération de lecture ou d'écriture. Les données sont transférées en paquets de 8 bits, suivis d'un bit d'acquittement. Une condition d'arrêt générée par le maître termine la communication.

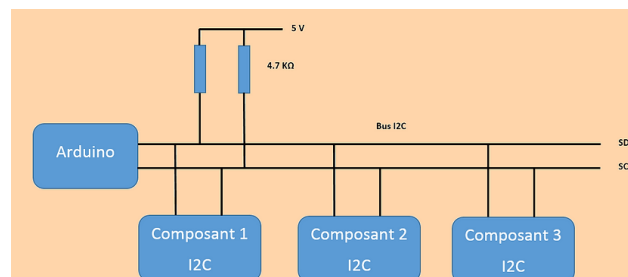


Figure III.7: Communication I2C.

❖ Caractéristiques de l'OLED

- Contraste élevé
- Couleurs vives
- Temps de réponse rapide
- Fines et flexibilité
- Efficacité énergétique

❖ Branchement d'un écran OLED vers le microcontrôleur

- Broche VCC : 5V
- Broche GND : GND
- Broche SCL: PIN 5
- Broche SDA : PIN 4

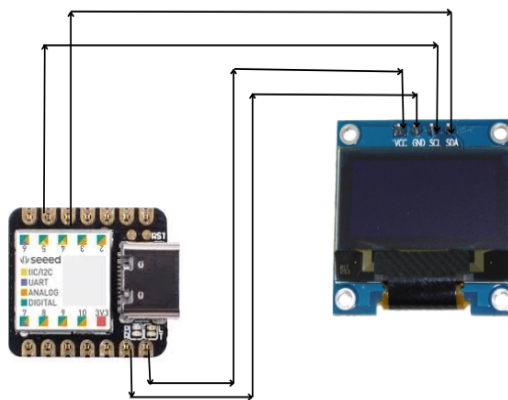


Figure III.8: Branchement d'un OLED vers une carte Seeeduino.

III.5.6. Capteur d'empreinte digitale Gt511c3

Le GT-511C3 est un module compact intégrant un capteur optique avancé et un microcontrôleur ARM sur un circuit imprimé minimaliste. Ce capteur capture les empreintes digitales avec une résolution de 500 DPI, assurant une haute précision dans l'identification biométrique. Ce module est largement utilisé dans des applications comme le contrôle d'accès physique, les systèmes de sécurité résidentiels et commerciaux, ainsi que dans des applications

nécessitant une authentification personnelle sécurisée. Sa capacité à stocker jusqu'à 200 empreintes numériques directement sur le module en fait une solution. En plus de sa fonction principale d'identification biométrique, le GT-511C3 est conçu pour une intégration facile dans des projets électroniques grâce à son interface standard UART. Cette interface simplifie la communication avec divers microcontrôleurs et systèmes embarqués.

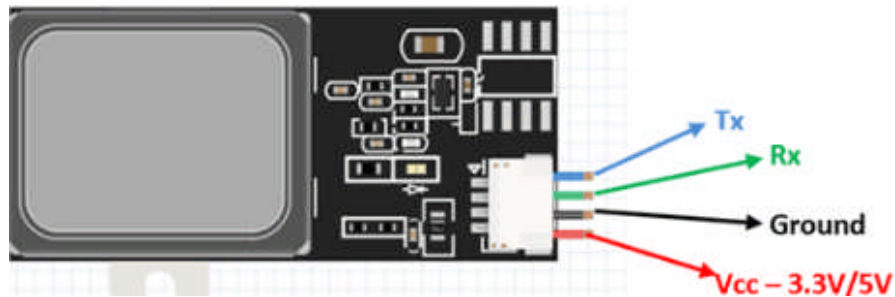


Figure III.9: Capteur d'empreinte digitale Gt511c3.

❖ Description de l'empreinte

- **Alimentation** : 3.3 - 6V
- **Interface** : UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) .
- **Technologie de capteur** : Capteur optique.
- **Dimensions** : Compact, adapté à des intégrations diverses.

❖ Caractéristiques de l'empreinte

- Haute précision dans la capture d'empreintes numériques.
- Résolution de 500 DPI pour des analyses détaillées.
- Stockage local des empreintes numériques (jusqu'à 200 empreintes).
- Compatible avec une variété de microcontrôleurs et de systèmes.
- Communication sécurisée grâce à l'interface UART (Les broches TX et RX sont pour la communication série UART, permettant l'envoi et la réception de données entre dispositifs).

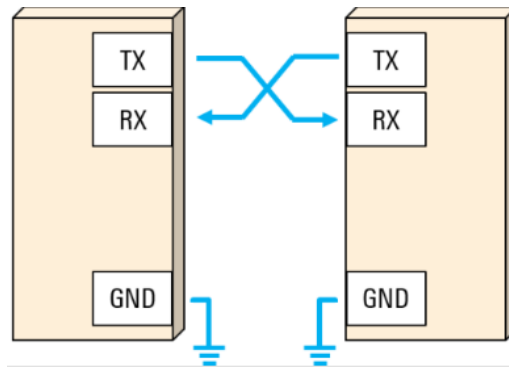


Figure III.10: Diagramme d'une connexion UART.

❖ Fonctionnement de l'UART

L'UART est un protocole de communication série asynchrone, ce qui signifie que les appareils communiquent sans avoir besoin d'une horloge commune. Les données sont transmises bit par bit à une vitesse (baud rate) prédéfinie, déterminée par les deux appareils communicants. Chaque appareil doit être configuré pour utiliser la même vitesse de transmission pour assurer une communication correcte. La transmission asynchrone implique que chaque appareil utilise son propre générateur d'horloge interne, mais les bits de start et de stop fournissent à synchroniser les flux de données, assurant ainsi que les données sont correctement codées et décodées pendant.

Les trames de données transmises via UART sont composées d'un bit de start, de plusieurs bits de données (généralement 8 bits), d'un bit de parité optionnel pour la détection d'erreurs, et d'un ou deux bits de stop. Le bit de start indique le début de la transmission, les bits de données contiennent l'information à transmettre, le bit de parité (si utilisé) permet de vérifier l'intégrité des données, et les bits de signal d'arrêt.

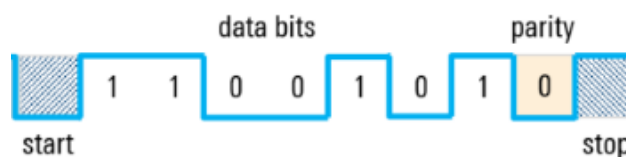


Figure III.11: Format de la trame UART.

❖ Branchement de l'empreinte vers un microcontrôleur

- Broche VCC : 5V
- Broche GND : GND
- Broche TX: PIN 6
- Broche RX: PIN 7

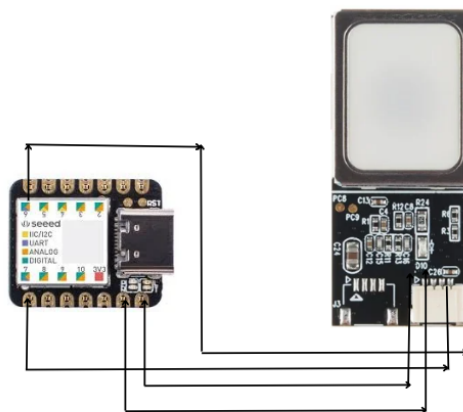


Figure III.12: Branchement de capteur d'empreinte vers la carte Seeeduino.

III.6. Architecture système du dispositif

Voici le schéma synoptique de notre travail :

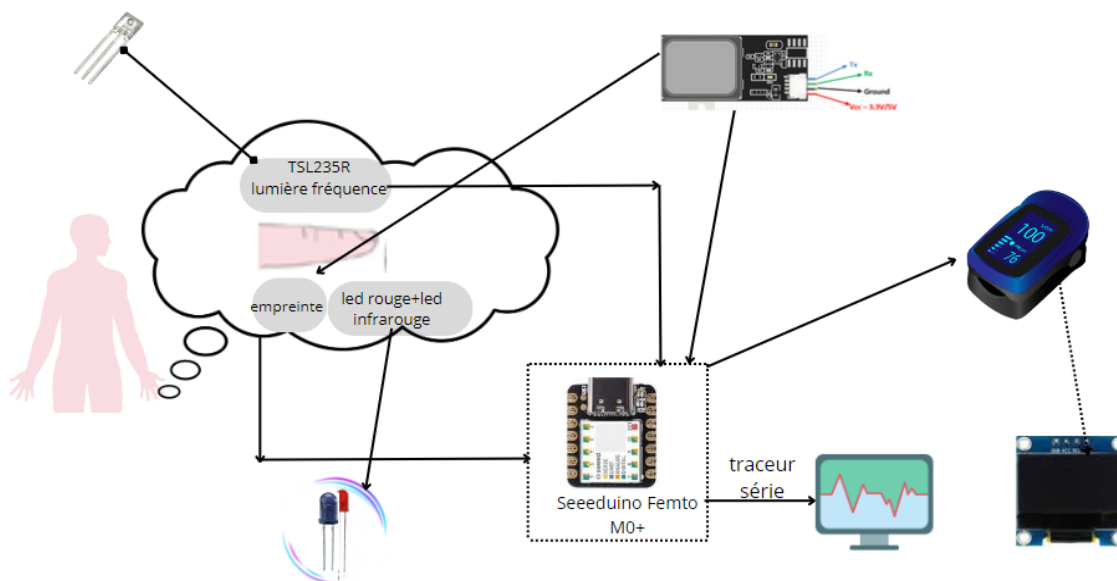


Figure III.13: Schéma synoptique du système.

Le capteur optique (TSL235R) émet de la lumière rouge et infrarouge sur le doigt du patient.

La lumière est absorbée par l'hémoglobine dans le sang. La quantité de lumière absorbée par chaque type d'hémoglobine (oxygénée et désoxygénée) est mesurée par le capteur optique.

Le capteur d'empreinte digitale capture l'empreinte digitale du patient.

Le microcontrôleur calcule le niveau d'oxygène dans le sang en fonction des signaux reçus et traite également les données de l'empreinte digitale.

Les données traitées par le microcontrôleur (niveau d'oxygène dans le sang et empreinte digitale) sont envoyées au traceur série.

Le traceur série convertit les données en format série et les transmet à l'ordinateur via le connecteur USB (MO+).

L'ordinateur affiche: Le nom, prénom, niveau d'oxygène dans le sang et la fréquence cardiaque sur un afficheur OLED.

III.7. Discussion

En conclusion, ce chapitre met en lumière l'importance de la conception et de l'intégration technologique avancée dans le développement d'un dispositif d'oxymétrie intelligent. Il illustre comment les innovations en matière de capteurs, d'électronique, et de sécurité des données peuvent se combiner pour offrir un outil médical performant et fiable, améliorant ainsi la qualité des soins de santé et la gestion des patients.

Chapitre IV

Réalisation pratique du projet

VI.1. Préambule

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes étapes de notre réalisation on commencera par une présentation de la carte utilisée ensuite nous allons montrer les différentes étapes de la réalisation d'un oxymètre de pouls en ajoutant par la suite un capteur d'empreinte digitale.

VI.2. Présentation de la carte Seeeduino Femto M0+ et de ses fonctionnalités**VI.2.1. Introduction**

La Seeeduino Femto M0+ est une carte de développement compacte et puissante, adaptée à une large gamme de projets électroniques embarqués. Elle fait partie de la famille des microcontrôleurs Seeeduino de Seeed Studio, elle offre une solution efficace en termes de taille et de consommation d'énergie.

VI.2.2. Spécifications de la carte**Microcontrôleur**

- La carte est équipée d'un microcontrôleur ARM Cortex-M0+ 32 bits, le Microchip ATSAM21G18A, cadencé jusqu'à 48 MHz. Ce microcontrôleur est connu pour son efficacité énergétique et sa puissance de traitement.

Mémoire

- Flash : 256 KB de mémoire Flash pour stocker le code du programme.
- SRAM : 32 KB de mémoire SRAM pour l'exécution des programmes.

Interfaces série

- 1 Interface I2C.
- 1 Interface UART.
- 1 Interface SPI.

Entrées/Sorties (E/S) :

- Plusieurs interfaces de développement : 11 broches numériques/analogiques, 10 broches PWM, 1 sortie DAC.

Connectivité

- 1 port USB (type c) pour l'alimentation et la programmation.

LEDS

- 1 LED utilisateur.
- 1 LED d'alimentation.
- 2 LED pour le téléchargement via le port série.

Bouton de réinitialisation

- Deux boutons de réinitialisation pour une réparation rapide de la carte.

Compatibilité logicielle

- Compatible avec l'environnement de développement Arduino IDE

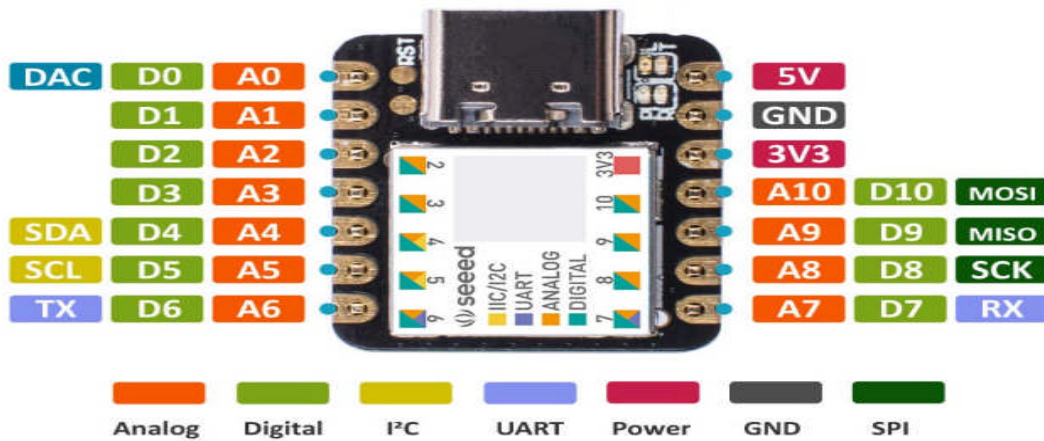


Figure IV.1: Seedeino femto m0+.

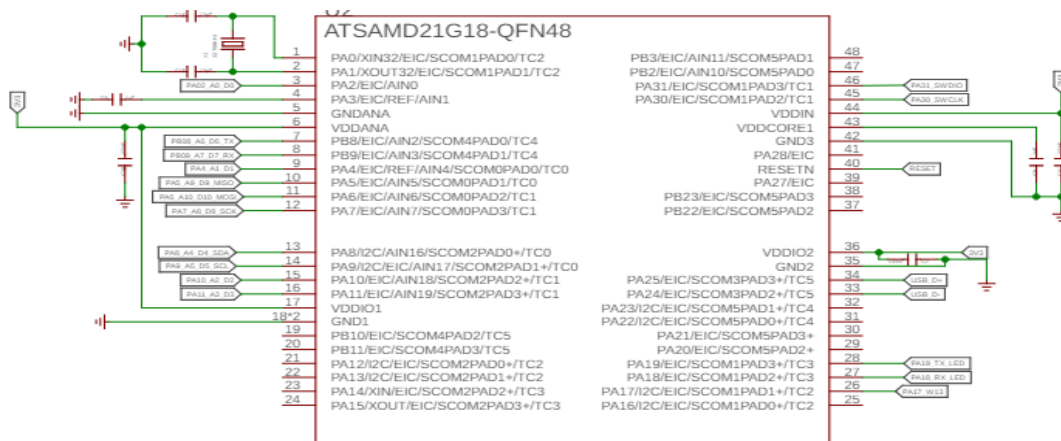


Figure IV.2 : Schéma interne de la carte Seedeino femto m0+.

VI.3. Assemblage des composants et circuits nécessaires

VI.3.1. Assemblage des composants

a) LEDES (rouge et infrarouge)

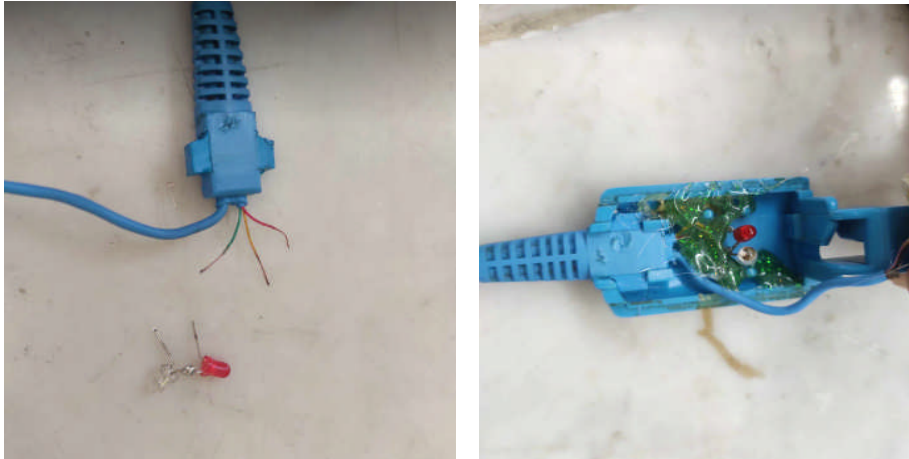


Figure IV.3: Assemblage des LEDES.

b) Capteur de lumière TSL235R

Le TSL235R a trois broches donc on les a reliés comme suit :

La broche 1 vers GND.

La broche 2 vers 5V.

La broche 3 vers la broche A2 de la carte seeeduino femto M0+.



Figure IV.4: Branchement du capteur de lumière.

VI.3.2. Circuit électrique

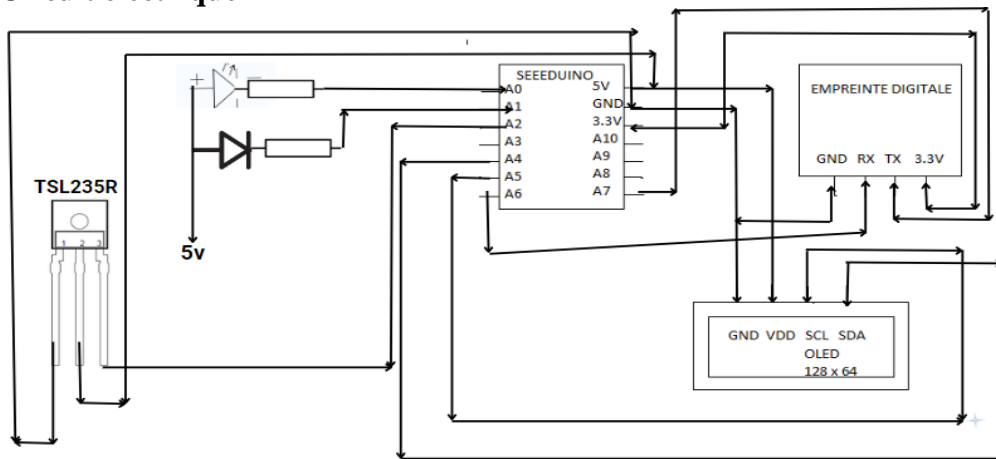


Figure VI.5: Circuit électrique du schéma global.

VI.4. Organigramme du système

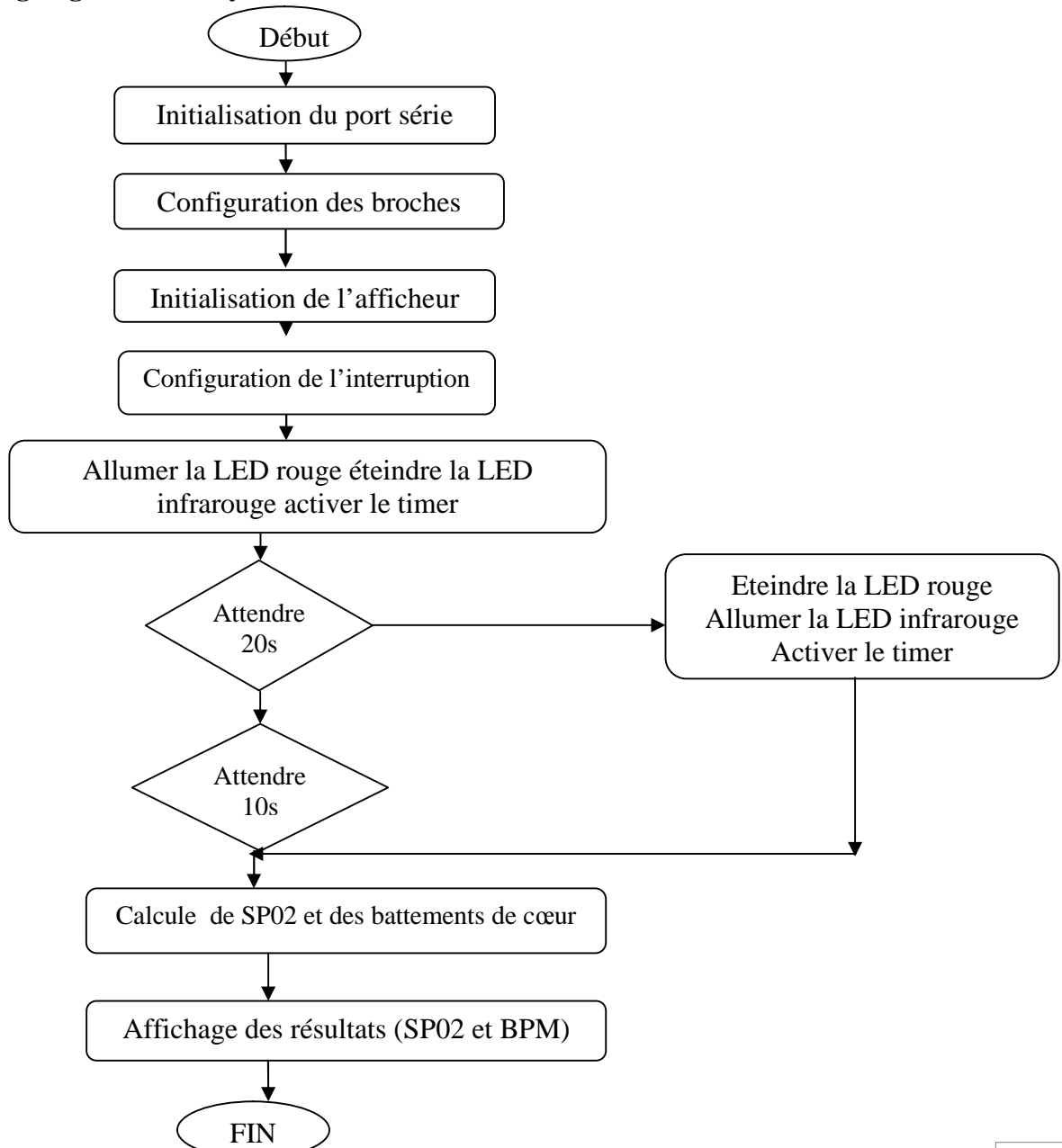


Figure VI.6: Organigramme de mesure de sp02 et battements de cœur.

VI.5. Tests

Pour évaluer le bon fonctionnement de notre système nous avons effectué des tests pour deux personnes différentes :

VI.5.1. Premier test

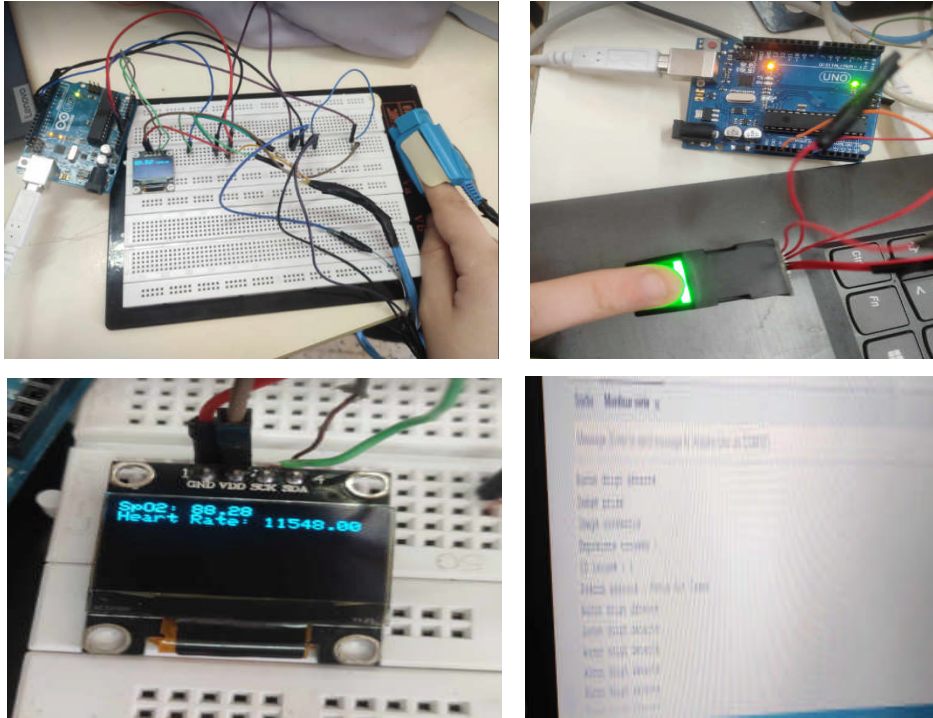
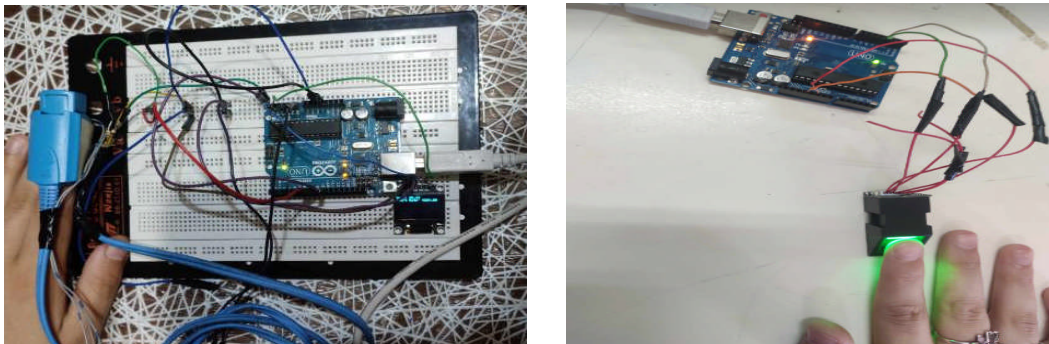


Figure VI.7: Résultats des tests du premier cas.

VI.5.2. Deuxième test



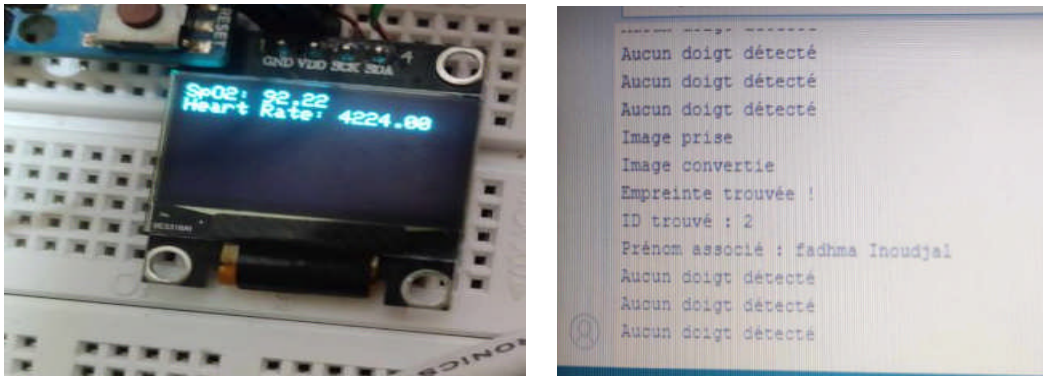


Figure VI.8: Résultats des tests du deuxième cas.

VI.6. Discussion

Dans ce chapitre nous avons fait la réalisation de notre propre oxymètre de pouls qui a été une étape importante qui nous a permis de comprendre les défis et les opportunités liés au développement de dispositifs biomédicaux portables. Nous avons intégré un capteur pour mesurer la saturation en oxygène et la fréquence cardiaque et nous avons aussi utilisé un capteur d’empreinte digitale pour la reconnaissance biométrique et les résultats ont été affichés sur un afficheur OLED.

Conclusion générale

Les progrès récents dans les technologies médicales mettent en évidence la nécessité de dispositifs de surveillance de la santé plus précis, sécurisés et personnalisés. Dans ce contexte, l'intégration de la reconnaissance biométrique dans les dispositifs médicaux, tels que les oxymètres de pouls, répond à des besoins croissants de sécurité des données et d'identification précise des patients.

La conception d'un oxymètre de pouls intégré avec une fonction de reconnaissance biométrique représente une avancée remarquable dans le domaine des dispositifs médicaux intelligents. Ce projet vise à combiner la mesure de la saturation en oxygène et du rythme cardiaque avec des capacités de sécurité améliorées grâce à la reconnaissance biométrique. Pendant le développement de ce dispositif, l'objectif était de concevoir un prototype capable de mesurer les paramètres physiologiques tout en authentifiant l'utilisateur de manière sécurisée. L'intégration de la biométrie a permis non seulement de protéger les données sensibles de l'utilisateur, mais aussi de garantir que les mesures sont bien attribuées à la bonne personne, ce qui est essentiel dans les contextes médicaux.

Pour la réalisation de ce projet, des composants clés ont été utilisés, tels que le Seeeduino Femto M0+ pour le contrôle et le traitement des données, un capteur pour le calcul de la saturation en oxygène et le rythme cardiaque, un module de reconnaissance d'empreintes digitales pour l'authentification biométrique, et un afficheur OLED pour l'affichage des mesures et des états du système.

Perspectives et améliorations futures :

- Miniaturisation des composants : Remplacer le capteur d'empreinte digitale actuel par un modèle plus miniature pour réduire la taille du dispositif et améliorer sa portabilité.
- Connectivité et interopérabilité : Développer une application mobile dédiée qui permettrait aux utilisateurs de consulter leurs mesures en temps réel et de suivre leurs historiques de données. L'application pourrait également envoyer des alertes en cas de détection de valeurs anormales.
- Permettre la synchronisation des données avec les dossiers médicaux électroniques des patients. Cela permettrait aux médecins de surveiller à distance les paramètres vitaux de leurs patients et de recevoir des mises à jour en temps réel.

Références bibliographiques

- [1] <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/oxygen>
- [2] Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L. et Rodgers, M. (2012). Un examen des capteurs et systèmes portables avec application en rééducation. *Journal de neuro-ingénierie et de réadaptation*, 9(1), 1-17.
- [3] https://www.doctissimo.fr/sante/maladies/virus-emergents/covid-19/prevention-covid/surveillance-de-la-saturation-en-oxygene-a-domicile-un-geste-a-adopter/a562b2_ar.html
- [4] «Loi n° 1.267 du 23 décembre 2002 relative aux dispositifs médicaux [Legimonaco] ». Consulté le: 27 Février 2024. Disponible sur: <https://legimonaco.mc/tnc/loi/2002/12-23-1.267/>
- [5] G. P. F. de Q. • E. dispositifs médicaux et gestion des risques • A. norme X. S99-223, « I, IIa, IIb, III: Les classes de dispositifs médicaux », Qualitiso. Consulté le: 4 mars 2024.. Disponible sur: <https://www.qualitiso.com/classification-europeenne-dispositifs-medicaux/>
- [6] « Qu'est-ce qu'un dispositif médical et quelles sont les classes ? | AFMPS ». Consulté le: 4 mars 2024. Disponible sur: <https://www.campagnesafmps.be/fr/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-les-dispositifs-medicaux/quest-ce-quun-dispositif-medical-et>
- [7] G. P. F. de Q. • E. dispositifs médicaux et gestion des risques • A. norme X. S99-223, « Les catégories de dispositifs médicaux en Europe », Qualitiso. Consulté le: 6 mars 2024.. Disponible sur: <https://www.qualitiso.com/dispositifs-medicaux-categories-europe/>
- [8] « 18/03/99 Dispositifs médicaux; 1 Dispositifs non invasifs ». Consulté le: 13 mars 2024. Disponible sur: <https://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/plainWettekstServlet?wettekstId=1322&lang=fr>
- [9] « Quelles sont les différents types de dispositifs médicaux ? », Quelles sont les différents types de dispositifs médicaux? Consulté le: 9 mars 2024. Disponible sur: <https://www.satisforn.com/dispositifs-medicaux.html>
- [10] V. DARTSMELIYA et B. GS, « DISPOSITIFS POUR LA REALISATION DE TESTS ORTHOSTATIQUES PASSIF ET ACTIF AU LABORATOIRE ET SUR LE TERRAIN », *Dispos. POUR REALISATION TESTS ORTHOSTATIQUES PASSIF Act. AU Lab. SUR TERRAIN*, 1983.

- [11] « Dispositifs implantables », Heart Failure Matters. Consulté le: 11 mars 2024. Disponible sur: <https://www.heartfailurematters.org/fr/ce-que-votre-medecin-ou-votre-infirmier-ere-peut-faire/dispositifs-implantables/>
- [12] L. Lu, X. Zhang, et X. Gao, « Non-implantable Artificial Hearing Technology », *Adv. Exp. Med. Biol.*, vol. 1130, p. 145- 163, 2019, doi: 10.1007/978-981-13-6123-4_9.
- [13] « Qu'est-ce qu'un dispositif médical ? | AFMPS ». Consulté le:11 mars 2024. Disponible sur: https://www.afmps.be/fr/public_information/dispositifs_medicaux/qu_est-ce_qu_un_dispositif_medical_
- [14] « Master sciences du médicament et des produits de santé - parcours dispositifs médicaux et biomatériaux : évaluation et conception (m2) ». Consulté le: 12 mars 2024. Disponible sur: <https://www.univ-lille.fr/formations/fr-00002333/>
- [15] « Matériaux organiques à base de matière synthétique ». Consulté le: 14 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/materiaux-organiques-a-base-matiere-synthetique>
- [16] « Test Covid : PCR, Antigénique, Sérologique - Tout comprendre ». Consulté le: 15 mars 2024. Disponible sur: <https://www.cerballiance.fr/fr/services/tous-les-tests-covid-19>
- [17] « Biocapteur : définition et explications », AquaPortail. Consulté le: 15 mars 2024. Disponible sur: <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/8394/biocapteur>
- [18] « Tout savoir sur le scanner ». Consulté le: 16 mars 2024. Disponible sur: https://www.medimagesa.ch/scanner-explications/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAAR3w9iwEtlEhQnFop_X2WBgr1l-jc8QqZ03BEXq1QEwBW0wuLIVK3QFEH5g_aem_ZmFrZWR1bW15MTZieXRlcw
- [19] admin, « Scanner », Cabinet de radiologie de Lesneven. Consulté le: 16 mars 2024. Disponible sur: <https://www.radiologie-lesneven.fr/les-examens/scanner/>
- [20] « Les fondamentaux - Chapitre 3 - Radiographie », CNP MN. Consulté le: 17 mars 2024. Disponible sur: <https://www.cnp-mn.fr/les-fondamentaux-chapitre-3-radiographie/>
- [21] « Echographie », Vulgaris-medical. Consulté le: 19 mars 2024. Disponible sur: <https://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/echographie/>

Références bibliographiques

- [22] « Centre d'échographie Comment l'échographie peut utiliser les ondes sonores pour créer des images du corps », FasterCapital. Consulté le: 19 mars 2024. Disponible sur: <https://fastercapital.com/fr/contenu/Centre-d-echographie---Comment-l-echographie-peut-utiliser-les-ondes-sonores-pour-creer-des-images-du-corps.html>
- [23] « Tensiomètres électroniques de bras », Cardiorestore. Consulté le: 19 mars 2024. Disponible sur: <https://www.cardiorestore.fr/www.cardiorestore.fr/929-tensiomètres-electroniques-de-bras>
- [24] « Comment lire un tensiomètre et bien mesurer sa tension ». Consulté le: 19 mars 2024. Disponible sur: <https://www.oplusmedical.fr/comment-lire-un-tensiometre/>
- [25] « Hypertension artérielle », *Wikipédia*. Consulté le: 22 mars 2024. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hypertension_art%C3%A9rielle&oldid=215740397
- [26] D. Pol, « Mesure de la pression artérielle », Planet-Vie. Consulté le: 22 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/mesure-de-la-pression-arterielle>
- [27] « Tensiomètre automatique au bras OMRON M3 V4 HEM-7154-E ». Consulté le: 27 mars 2024. Disponible sur: <https://www.realmefr.fr/969-tensiometre-omron-m3.html>
- [28] « Glucomètre », *Wikipédia*. 7 novembre 2023. Consulté le: 1 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Glucom%C3%A8tre&oldid=209411905>
- [29] « Bandelettes glycémie pour tests de glycémie en hôpital | Securimed ». Consulté le: 17 mars 2024. Disponible sur: <https://www.securimed.fr/materiel-diagnostic/glycemie/consommables-accessoires-glycemie>
- [30] Techni-Contact.com, « Electrode pour glucomètre: Commandez sur Techni-Contact - Electrode pour lecteur de glycémie ». Consulté le: 30 mars 2024. Disponible sur: <https://www.techni-contact.com/produits/4588-6505658-electrode-pour-glucometre.html>
- [31] « Capteur de Glucose | Appareils pour Mesurer la Glycémie en Continu ». Consulté le: 1 mars 2024. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/glycemie/mesure-du-glucose-en-continu>
- [32] « Glucomètre: quel est son rôle, comment l'utiliser? », <https://www.passeportsante.net/>. Consulté le: 1 mars 2024. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/materiel-medical?doc=glucometre-role-utiliser>

- [33] « Surveiller sa glycémie - contrôler l'hyperglycémie et d'éviter l'hypoglycémie ». Consulté le: 2 avril 2024. Disponible sur: <https://infos-diabete.com/glycemie-alimentation/surveiller-sa-glycemie/>
- [34] I. Montenon, « Taux dangereux de glycémie : comment réguler son taux de sucre ? », Qare. Consulté le: 2 avril 2024. Disponible sur: <https://www.qare.fr/sante/prise-de-sang/taux-dangereux-de-glycemie/>
- [35] « Comment utiliser un oxymètre de pouls ? Tout savoir - LD Médical ». Consulté le: 2 février. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ld-medical.fr/blog/post/62-comment-utiliser-un-oxymetre-de-pouls-tout-savoir>
- [36] « Comment fonctionne un oxymètre de pouls ? » Consulté le: 3 février 2024. Disponible sur: <https://www.medisafe.fr/blog/comment-fonctionne-un-oxymetre-de-pouls/>
- [37] « A quoi sert un oxymètre de pouls ? Rôle, fonctionnement », <https://www.passeportsante.net/>. Consulté le: 4 février 2024. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/materiel-medical?doc=oxymetre-pouls-ca-marche>.
- [38] « Schéma Coeur humain », 123RF. Consulté le: 7 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.123rf.com/photo_41057682_schéma-coeur-humain.html
- [39] « Bon sang, mais c'est bien sûr - C'est quoi l'hémoglobine ? · Inserm, La science pour la santé », Inserm. Consulté le: 7 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/c-est-quoi/bon-sang-mais-cest-bien-sur-cest-quoi-lhemoglobine/>
- [40] « Oxymètre de pouls saturomètre - Realme Médical ». Consulté le: 4 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.realme.fr/273-oxymetre-de-pouls>
- [41] « Meilleurs oxymètres de pouls 2024 - guide d'achat et comparatif », BFM. Consulté le: 22 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bfmtv.com/comparateur/meilleurs-oxymetres-de-pouls-test-comparatif/>
- [42] C. Summers, R. S. Todd, G. A. Vercruyse, et F. A. Moore, « Acute Respiratory Failure », *Perioper. Med.*, p. 576- 586, 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-56724-4.00039-3.
- [43] Guowei Di, Xiaoying Tang, Weifeng Liu, "Reflectance Pulse Oximeter Design Using the MSP430F149," Department of Biomedical Engineering, School of Life Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, China, 2007.

- [44] Baheti, P. K., & Garudadri, H. (2009). An ultra low power pulse oximeter sensor based on compressed sensing. *2009 Body Sensor Networks*. IEEE. DOI: 10.1109/BSN.2009.32
- [45] P. Mihai, D. Olaru, L. Vlădescu, "Monitoring System of Pulse and Oxygen Level in Blood for Aircraft Passengers," 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2019, pp. 1-6, doi:10.1109/ATEE.2019.8724865.
- [46] Deivasigamani S., Narmadha, G., Ramasamy, M., Harrindraprasad, & Nair, P. (2020). Design of Smart Pulse Oximeter using ATMEGA 328 Microcontroller. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(3), 696–700.
- [47] Bhuyan, M. H., Hasan, M. T., Sarder, M. R., Haque, M. M., & Rahman, M. M. (2021). Designing, Implementing, and Testing of a Microcontroller and IoT-based Pulse Oximeter Device. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 16(5), 38-48. <https://doi.org/10.9790/1676-1605023848>.
- [48] https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/v/wp-content/uploads/2020/07/beer-lambert_V2.pdf.
- [49] <http://physique.unice.fr/sem6/2008-2009/PagesWeb/Dicke/diff.html>.
- [50] World Health Organization. (2021). *Orientations provisoires à l'usage des États Membres sur l'utilisation de l'oxymètre de pouls pour le suivi des patients COVID-19 en isolement et pris en charge à domicile*. Geneva: WHO. Disponible à l'adresse suivante : https://www.who.int/patientsafety/safesurgery/pulse_oximetry/tr_material/en/
- [51] Mendelson, Y. (1992). Pulse oximetry: Theory and applications for noninvasive monitoring. *Clinical Chemistry*, 38(9), 1601-1607. doi:10.1093/clinchem/38.9.1601.
- [52] Texas Instruments Incorporated. (2015). *Estimation de la fréquence cardiaque par oxymétrie de pouls utilisant une LED rouge*.
- [53] Vergnaud, A.J. et Levailant, J.M. "Le rythme cardiaque fœtal anténatal informatisé". *Gynécologie Pratique*, n°165, mai 2004, p. 16-17.
- [54] Author(s). (2000). Title of the article. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 149(12), 621-630.
- [55] O'Driscoll, B. R., Howard, L. S., & Davison, A. G. (2008). BTS guideline for emergency oxygen use in adult patients. *Thorax*, 63(Suppl 6), vi1-vi68. doi:10.1136/thx.2008.102947.

Références bibliographiques

[56] Dyro, J. F. (Ed.). (2004). *Clinical Engineering Handbook* (2nd ed.). Academic Press.

[57] https://docs.platformio.org/en/latest/boards/atmelsam/seeed_femto.html

[58] <https://www.digikey.fr/fr/products/detail/ams-osram-usa-inc/TSL235R-LF/3095040>

[59] <https://www.gotronic.fr/art-capteur-d-empainte-digitale-101020057-20852.htm>

Rapport de stage

1. Introduction

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage au sein de l'EHS Sbihi Tassadit à Tizi Ouzou, une clinique spécialisée dans les soins aux femmes et aux enfants. Notre choix s'est naturellement orienté vers cet établissement en raison de la pertinence de notre sujet de recherche : l'oxymètre de pouls. Cet appareil médical est essentiel pour le suivi des patientes et des nouveau-nés, en permettant de surveiller de manière continue la saturation en oxygène du sang et la fréquence cardiaque.

L'oxymètre de pouls, en tant que dispositif non invasif, joue un rôle vital dans le dépistage et la gestion des affections cardiorespiratoires. Son utilisation au sein de la clinique Sbihi Tassadit s'inscrit dans une démarche d'amélioration de la qualité des soins, notamment dans le cadre des accouchements et des soins néonataux. Le suivi rigoureux des paramètres vitaux est indispensable pour détecter rapidement toute détresse respiratoire ou hypoxie, assurant ainsi une prise en charge rapide et efficace.

2. Présentation de l'Établissement EHS Sbihi Tassadit à Tizi Ouzou, Algérie

L'Établissement Hospitalier Spécialisé (EHS) Sbihi Tassadit, situé à Tizi Ouzou, en Algérie, est une institution médicale de renom dédiée principalement à la santé des femmes et à l'obstétrique. Nommé en l'honneur de Sbihi Tassadit, une figure emblématique de la région, cet établissement joue un rôle crucial dans la fourniture de soins de santé spécialisés à la communauté locale et environnante.

2.1. Spécialisations et Services

L'EHS Sbihi Tassadit se distingue par ses services spécialisés en obstétrique et gynécologie. Il offre une gamme complète de soins, allant de la maternité et de l'accouchement aux soins post-partum et à la gynécologie générale. L'établissement est équipé de technologies médicales avancées, assurant des diagnostics précis et des traitements efficaces.

2.2. Services principaux

- Maternité : Suivi de grossesse, accouchement, soins post-partum
- Gynécologie : Consultations, diagnostics, traitements
- Chirurgie gynécologique
- Urgences obstétricales

2.3. Équipe Médicale et Infrastructure

L'hôpital abrite une équipe médicale hautement qualifiée, composée de gynécologues, obstétriciens, sages-femmes, infirmières spécialisées et personnel de soutien. L'infrastructure moderne de l'établissement comprend des salles d'accouchement bien équipées, des blocs opératoires, des unités de soins intensifs néonataux et des services de consultation externes.

3. Maintenance des Dispositifs Biomédicaux

Un aspect essentiel du fonctionnement de l'EHS Sbihi Tassadit est la maintenance des dispositifs biomédicaux. Cette maintenance garantit la fiabilité et la sécurité des équipements médicaux utilisés dans les soins quotidiens. Notre stage au sein de cet établissement nous a offert l'opportunité de travailler directement avec l'équipe de maintenance, en participant à la réparation et à l'entretien des dispositifs, assurant ainsi le bon fonctionnement des services hospitaliers.

3.1. Principales responsabilités

- **Maintenance Préventive** : Inspections régulières et systématiques des équipements pour détecter et corriger les anomalies avant qu'elles ne provoquent des pannes.
- **Maintenance Corrective** : Interventions rapides et efficaces pour réparer les équipements en cas de défaillance, minimisant ainsi les interruptions de service.
- **Maintenance Prédictive** : Utilisation de techniques avancées de surveillance et d'analyse pour anticiper les pannes potentielles et planifier les interventions nécessaires.

3.2. Équipe de Maintenance

L'équipe de maintenance de l'EHS Sbihi Tassadit est composée de techniciens biomédicaux qualifiés, d'ingénieurs spécialisés et de personnel de soutien. Ces professionnels sont formés pour manipuler une variété d'équipements médicaux, allant des simples dispositifs de diagnostic aux systèmes complexes d'imagerie et de monitoring.

3.3. Compétences clés de l'équipe

- Expertise technique sur les équipements médicaux spécifiques à la gynécologie et l'obstétrique.
- Connaissance approfondie des protocoles de sécurité et des normes réglementaires.

- Capacité à diagnostiquer et résoudre rapidement les problèmes techniques.
- Compétences en gestion de la documentation et des historiques de maintenance.

3.4. Processus de Maintenance

Le service de maintenance suit des protocoles stricts pour garantir la qualité et la sécurité des interventions. Chaque processus de maintenance comprend plusieurs étapes, de la planification à l'exécution et à la documentation.

Étapes typiques

1. **Planification** : Établissement d'un calendrier de maintenance préventive basé sur les recommandations des fabricants et les historiques d'utilisation des équipements.
2. **Inspection et Test** : Réalisation de tests fonctionnels et de sécurité sur les équipements pour identifier les anomalies.
3. **Réparation et Remplacement** : Exécution des réparations nécessaires ou remplacement des pièces défectueuses.
4. **Validation** : Vérification du bon fonctionnement des équipements après maintenance, assurant qu'ils répondent aux normes de performance.
5. **Documentation** : Enregistrement détaillé des interventions de maintenance pour un suivi et une traçabilité efficaces.

3.5. Importance de la Maintenance pour l'EHS Sbihi Tassadit

La maintenance des dispositifs biomédicaux est essentielle pour :

- **Assurer la Sécurité des Patients** : Un équipement en bon état de fonctionnement réduit les risques d'accidents et d'erreurs médicales.
- **Garantir la Continuité des Soins** : Des interventions de maintenance efficaces minimisent les temps d'arrêt des équipements, assurant ainsi une disponibilité constante des services de soins.
- **Optimiser les Coûts** : Une bonne maintenance préventive réduit les coûts liés aux réparations majeures et aux remplacements prématurés d'équipements.

4. Objectif du stage

L'objectif principal de notre stage au sein de l'EHS Sbihi Tassadit à Tizi Ouzou était de développer une compréhension approfondie des dispositifs biomédicaux, avec un accent particulier sur les oxymètres de pouls. En tant qu'élément essentiel de mon mémoire, ce stage nous a permis d'explorer les aspects techniques et cliniques de ces appareils. Notre but était d'acquérir des compétences pratiques en maintenance et en réparation des équipements médicaux, afin de garantir leur bon fonctionnement et leur précision. Nous avons également visé à comprendre les protocoles de suivi des femmes et des enfants, en mettant l'accent sur l'utilisation des oxymètres de pouls pour surveiller les paramètres vitaux et assurer une prise en charge rapide et efficace. Ce stage a été une opportunité précieuse pour lier théorie et pratique, tout en contribuant à l'amélioration des soins au sein de la clinique.

5. Les missions effectuées pendant le stage

Durant notre stage au sein de l'EHS Sbihi Tassadit à Tizi Ouzou, nous avons été chargé de plusieurs missions essentielles comme :

a) Réparation d'une source de lumière :

✓ Diagnostic de la panne :

- **Identification du problème** : Nous avons commencé par analyser les symptômes de la panne, en observant les comportements anormaux de la source de lumière, tels que des variations d'intensité ou un éclairage intermittent.
- **Utilisation d'outils de diagnostic** : Nous avons utilisé des multimètres et des oscilloscopes pour mesurer les paramètres électriques et déterminer l'origine du dysfonctionnement.

✓ Démontage et inspection :

- **Ouverture du dispositif** : Nous avons soigneusement démonté le boîtier de la source de lumière pour accéder aux composants internes.
- **Inspection visuelle et physique** : Nous avons inspecté les composants pour détecter des signes visibles de dommages, tels que les connexions desserrées, les soudures défectueuses ou les composants brûlés.

✓ **Réparation ou remplacement des composants défectueux :**

- **Réparation des connexions :** Lorsque des connexions desserrées ont été trouvées, nous avons resserré ou ressoudé ces connexions pour assurer une bonne conductivité électrique.
- **Remplacement de composants :** Dans les cas où des composants étaient irréparables, nous avons remplacé les pièces défectueuses par des nouvelles, conformément aux spécifications du fabricant.

✓ **Tests de fonctionnement :**

- **Réassemblage du dispositif :** Une fois les réparations effectuées, nous avons réassemblé la source de lumière en veillant à ce que toutes les pièces soient correctement installées.
- **Tests de performance :** Nous avons allumé la source de lumière et effectué une série de tests pour m'assurer qu'elle fonctionnait correctement, avec une intensité lumineuse stable et conforme aux normes de l'hôpital.

Après avoir effectué tous les tests nécessaires pour diagnostiquer la panne, nous avons identifié que certains composants étaient dessoudés (4 capacités défectueuse), ce qui était à l'origine du dysfonctionnement de la source de lumière.

Pour remédier à cette situation, nous avons entrepris la tâche minutieuse de remplacer les composants défectueux. Ce processus a exigé une grande précision pour assurer des connexions solides et fiables, essentiellement pour restaurer le bon fonctionnement de la source de lumière.

Après la réparation, nous avons effectué des tests supplémentaires pour valider que la source de lumière fonctionnait correctement et émettait une lumière conforme aux normes requises.

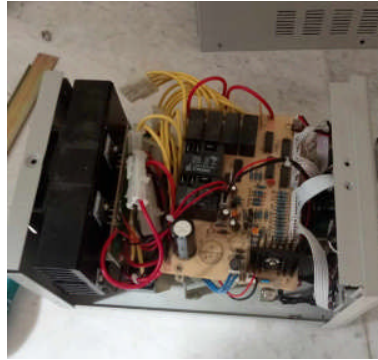


Figure 1: Source de lumière.

b) Réparation d'une sonde d'échographe

- **Diagnostic de la panne :** La première étape a consisté à identifier les problèmes spécifiques de la sonde. Cela impliquait l'analyse des symptômes rapportés par le personnel médical, tels que des lectures incorrectes, des signaux erratiques, ou des pertes de communication avec le dispositif principal.
- **Test et inspection :** Ensuite, nous avons procédé à des tests approfondis pour vérifier la précision et la fiabilité de la sonde. Cela comprenait des mesures de comparaison avec des équipements de référence pour déterminer l'ampleur des écarts de lecture.
- **Identification du problème :** Après avoir identifié le problème comme étant un câble endommagé, nous avons procédé à son nettoyage pour remédier à la situation.

c) Réparation d'un oxymètre de pouls

- **Identification de la Panne**

Tout d'abord, nous avons effectué une série de tests essentiels pour diagnostiquer la panne. Après une analyse approfondie, nous avons constaté que certains composants électroniques de l'oxymètre étaient défectueux, ce qui empêchait son bon fonctionnement.

Après avoir inspecté l'intérieur de l'oxymètre, nous avons constaté qu'il était divisé en deux parties : l'une comporte deux LEDs et l'autre contient un capteur de lumière.

Donc on a dû remplacer le capteur de lumière par un autre pour assurer de bon fonctionnement de l'oxymètre.



Figure 2: Oxymètre de pouls

6. Conclusion

Durant notre stage, nous avons pu nous familiariser avec les différents aspects de la maintenance et de la réparation des dispositifs biomédicaux, avec un focus particulier sur les oxymètres de pouls. Cette expérience nous a permis de comprendre les enjeux techniques et cliniques liés à l'utilisation de ces appareils, ainsi que les défis rencontrés dans leur maintenance pour garantir leur fiabilité et leur précision.