

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique

Département d'Electronique

**Mémoire de Fin d'Etudes**

**De MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences et Technologie**

Filière : **Electronique**

Spécialité : **électronique des systèmes embarque**

Présenté par :

➤ **CHAKER THANINA**

➤ **FALI YASMINE**

***Thème***

***Systeme embarque communicant pour la surveillance des  
personnes***

**Membre de jury :**

Mme NEMMAR FARIDA

Mme SALEM DALILA

**Encadré par :**

Mme BOUDIA OUERDIA

**2023/2024**

## **Résumé**

Le Projet de Fin d'Études (PFE) se focalise sur la conception et la mise en œuvre d'un système embarqué à base d'Arduino dédié à la surveillance des patients souffrant de maladies cardiovasculaires. Ce système vise à assurer une surveillance continue et précise des paramètres vitaux, avec l'affichage des résultats directement sur un environnement de développement intégré (IDE) Arduino. En utilisant des capteurs spécialisés comme le MAX30102(oxymètre), et ECG(électrocardiogramme) et capteur de fréquence cardiaque, le projet se concentre sur la collecte de données fiables permettant une détection rapide des anomalies et une intervention médicale appropriée. La conception comprend l'intégration des composants matériels, la programmation adaptée aux exigences médicales et l'optimisation de l'interface utilisateur pour une utilisation intuitive. Les résultats des tests ont validé la performance du système en termes de précision et de réactivité. Ce projet démontre le potentiel des technologies embarquées dans l'amélioration des soins de santé, en offrant des solutions innovantes pour la gestion efficace des maladies chroniques.

## **Remerciement**

Tout d'abord, nous voulons exprimer notre sincère reconnaissance envers le Bon Dieu, dont la miséricorde et la bienveillance ont favorisé la réalisation de cette tâche.

Le travail actuel a pu être réalisé grâce au soutien et aux conseils de plusieurs individus que nous souhaitons exprimer notre gratitude ici. Nous exprimons notre profonde gratitude envers Madame BOUDIA OUERDIA pour sa disponibilité exceptionnelle, ses conseils précieux et ses remarques pertinentes. Son soutien qu'elle nous a apportées à chaque étape de ce travail ont été particulièrement appréciés.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers tous les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail. Nous exprimons notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont apporté leur contribution de différentes façons à l'aboutissement de ce travail.

De tout cœur, nous exprimons nos profondes gratitudeux aux membres de nos familles, nos parents, nos frères et sœurs, pour leur soutien tout au long de notre parcours.

## Dédicace

<< A vous mes parents, je dis merci d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Aucune dédicace ne pourra exprimer mes respects, mes considérations, et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail vous témoigner mon affection et mon profond amour.>>

A ma mère, dont l'amour inconditionnel, le soutien indéfectible et les sacrifices incessants ont été la pierre angulaire de mon parcours. Tes encouragements et ta foi en moi ont été la lumière qui a guidé chacun de mes pas, même dans les moments les plus sombres.

A mon père Merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'avoir guidé et encouragé à devenir la personne que je suis aujourd'hui. Je te dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance.

A mes frères [Nour & Walid] qui sont bien plus que de simples liens du sang. Vous êtes mes meilleurs amis, mes confidents et mes complices depuis toujours. Votre présence rassurante, vos conseils avisés et vos rires partagés ont été le carburant qui a alimenté mon ambition et adouci les moments difficiles.

Pour finir à tout ceux que j'aime et qui m'aiment, à mes ami(e) à mes proches je dédie ce mémoire.

THANINA

## Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents bien-aimés, qui n'ont jamais cessé de me soutenir, de m'aimer et de m'encourager tout au long de mon parcours académique. À eux, j'offre cet accomplissement en signe de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

À ma mère chérie, symbole d'amour, de tendresse et de dévouement, qui a toujours été mon pilier à chaque étape.

À mon père adoré, source de force et d'inspiration, qui n'a jamais hésité à me fournir tout ce dont j'avais besoin pour réaliser mes ambitions.

À mes deux sœurs, [KENZA] et [THIZIRI], et à mon frère [AMAYAS], qui ont toujours été à mes côtés avec leurs encouragements et leur soutien inconditionnel. Votre présence a été une source constante de motivation et de réconfort.

À tous mes amis, dont le soutien indéfectible et l'amitié sincère ont rendu ce parcours bien plus agréable et enrichissant. Merci pour votre aide, votre compréhension et vos encouragements constants.

YASMINE

# LA LISTE DES FIGURES

# Liste des figures

## Chapitre I

<b>Figure1.1</b> applications des systèmes embarqués.....	3
<b>Figure1.2</b> Architecture technique d'un système embarqué.....	6
<b>Figure 1.3</b> technologie de communication sans fil.....	8

## Chapitre II

<b>Figure2.1</b> les différents types de carte Arduino.....	16
<b>Figure 2.2</b> carte Arduino Leonardo.....	16
<b>Figure 2.3</b> carte Arduino Mega.....	17
<b>Figure 2.4</b> Carte Arduino Yun.....	18
<b>Figure 2.5</b> Carte Arduino Nano.....	19
<b>Figure2.6</b> la carte arduino uno.....	20
<b>Figure2.7</b> architecture générale du logiciel .....	25

## Chapitre III

<b>Figure 3.1</b> fonctionnement d'un capteur.....	33
<b>Figure3.2</b> Capteurs biomédicaux et leurs utilisations.....	36
<b>Figure 3.3</b> les pins du pulse sensor.....	37
<b>Figure 3.4</b> broche du pulse sensor.....	38
<b>Figure3.5</b> fonctionnements de capteur de pouls.....	39
<b>Figure 3.6</b> Présentation du matériel du module MAX30102.....	40
<b>Figure3.7</b> Fonctionnement du capteur MAX30102.....	41
<b>Figure 3.8</b> Capteur de fréquence cardiaque ECG (module AD8232).....	43
<b>Figure 3.9</b> placement des électrodes de capteur AD8232.....	43

## Chapitre IV

<b>Figure IV.1</b> Organigramme général.....	45
--	----

## Liste des figures

<b>Figure IV.2</b> branchements de capteur HW827.....	46
<b>Figure IV.3</b> : Organigramme de capteur HW827.....	46
<b>Figure IV.4</b> : les battements de cœur pour une personne asymptomatique.....	47
<b>Figure IV.5</b> : les battements de cœur pour une personne malade.....	47
<b>Figure IV.6</b> : traceurs série de battement de cœur pour une personne asymptomatique.....	48
<b>Figure IV.7</b> : traceurs série de battement de cœur pour une personne malade.....	48
<b>Figure IV.8</b> : branchements du capteur max30102.....	49
<b>Figure IV.9</b> : organigramme de capteur MAX30102.....	50
<b>Figure IV.10</b> : Traceur série Taux d'oxygène dans le sang pour une personne asymptomatique.....	51
<b>Figure IV.11</b> : Traceur série Taux d'oxygène dans le sang une personne malade.....	51
<b>Figure IV.12</b> : moniteur série de taux d'oxygène dans le sang pour une personne asymptomatique.....	52
<b>Figure4.13</b> : moniteur série de taux d'oxygène dans le sang pour une personne malade.....	52
<b>Figure IV.14</b> : brochage d'un ECG.....	54
<b>Figure IV.15</b> : Organigramme de capteur AD8232 .....	54
<b>Figure IV.16</b> : traceur série de Rythme cardiaque pour une personne asymptomatique.....	55
<b>Figure IV.17</b> : traceur série de Rythme cardiaque pour une personne malade.....	55
<b>Figure IV.18</b> : moniteur série de Rythme cardiaque pour une personne asymptomatique.....	56
<b>Figure IV.19</b> : moniteur série de Rythme cardiaque pour une personne malade.....	57
<b>Figure IV.20</b> : les composants de notre Système.....	58

# SOMMAIRE

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## CHAPITRE I : système embarque pour application médicales

<b>I.1. Introduction .....</b>	<b>2</b>
I.1.1. Historique.....	2
I.1.2. Définition .....	2
I.1.3. Cas d'application.....	3
I.1.4. Architecture d'un système embarque.....	4
I.1.4.a. Architecture matérielle.....	4
I.1.4.b. Architecture logicielle.....	5
I.1.5. Les caractéristiques principales d'un système embarqué.....	6
<b>I.2. Importance des systèmes embarqués dans le domaine médical .....</b>	<b>7</b>
I.2.1. La technologie de communication sans fil .....	8
I.2.2. Exemples de systèmes embarqués existant pour la surveillance médicale .....	9
I.2.3. Analyses et détection des anomalies.....	9
I.2.3.1. Les signes vitaux .....	9
I.2.3.2. Intégration de l'analyse dans le système embarqué.....	10
I.2.3.3. Alerte et intervention médicale .....	10
<b>I.3. L'intégration d'applications médicales dans un système embarqué.....</b>	<b>11</b>
I.3.1. La sécurité et la confidentialité des données médicales.....	11
I.3.2. Avantages et limites de la technologie actuelle.....	12
<b>I.4. Conclusion .....</b>	<b>13</b>

# SOMMAIRE

## Chapitre II : Carte Arduino

<b>II.1. Introduction .....</b>	<b>14</b>
<b>II.2. Présentations de l'Arduino .....</b>	<b>14</b>
II.2.1. Historique de l'Arduino .....	14
II.2.2. Définition .....	14
II.2.3. Exemples d'applications courantes d'Arduino.....	15
<b>II.3. Présentation de la carte Arduino UNO .....</b>	<b>19</b>
II.3.1. Description de la carte ARDUINO UNO .....	22
II.3.2. Protocole de communication sans fil .....	23
II.3.3. Logiciel l'IDE Arduino .....	24
II.3.3.1. Introduction à l'IDE Arduino .....,,,.....	24
II.3.3.2. Langage de programmation Arduino.....	25
<b>II.4. Interfaçage de capteurs médicaux avec Arduino .....</b>	<b>26</b>
II.4.1. Introduction a interfaçage de capteurs médicaux :.....	26
II.4.2. Principe de fonctionnement des capteurs médicaux .....	26
II.4.3. L'intégration de la carte Arduino dans le domaine médicale .....	27
II.4.4. L'intégration de la carte Arduino dans un système embarqué.....	29
II.4.5. L'importance d'Arduino dans le domaine médical et la surveillance à domicile.....	30
<b>II.5. Conclusion.....</b>	<b>31</b>

# SOMMAIRE

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>32</b>
III.1.1. Définition .....	32
III.1.2. Principe de fonctionnement.....	32
<b>III.2. Les capteurs médicaux .....</b>	<b>33</b>
III.2.1. Définition .....	33
III.2.2. Type de capteurs médicaux .....	34
III.2.2.1. Capteur de mesure des signes vitaux .....	34
III.2.2.2. Les capteurs de surveillance de l'environnement du corps humain .....	36
<b>III.3. Les capteurs de maladies cardiovasculaires.....</b>	<b>37</b>
III.3.1. Capteur de fréquence Cardiaque .....	37
III.3.1.1. Définition .....	37
III.3.1.2. Principe de fonctionnement .....	38
III.3.2. Capteur MAX30102 .....	39
III.3.2.1. Définition .....	39
III.3.2.2. Fonctionnement du capteur MAX30102.....	40
III.3.3. L'électrocardiogramme (ECG).....	41
III.3.3.1. Définition .....	41
III.3.3.2. Caractéristiques de capteur ECG .....	42
III.3.3.3 Principe de fonctionnement .....	42
<b>III.4. Conclusion.....</b>	<b>43</b>

# **SOMMAIRE**

## **Chapitre IV : résultats et réalisations**

<b>IV. 1. Introduction.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.2. Fonctionnement de notre système et les résultats .....</b>	<b>44</b>
IV.2.1. Bronchement des capteurs utilisés dans notre système .....	45
IV.2.1.1. Capteur de fréquence cardiaque .....	45
IV.2.1.2. Capteur Max30102 .....	47
IV.2.1.3. L'électrocardiogramme (ECG).....	49
<b>IV.4. Conclusion.....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion et perspective.....</b>	<b>61</b>

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# Introduction générale

Aujourd'hui, les avancées en technologie des systèmes embarqués et des réseaux sans fil transforment les systèmes de santé, facilitant la communication entre patients, médecins et professionnels de santé. Les appareils embarqués, devenus omniprésents dans notre quotidien, s'intègrent de manière transparente dans les soins de santé. Ce mémoire présente un système intelligent embarqué dédié aux applications biomédicales. Face aux exigences croissantes du domaine médical pour des techniques et technologies innovantes, ce système offre une évaluation objective des données médicales, bénéficiant notamment aux personnes âgées et aux patients atteints de maladies chroniques. Il intègre des dispositifs intelligents embarqués permettant une collecte continue des signes vitaux.

Les maladies cardiovasculaires demeurent une cause majeure de mortalité mondiale, incitant les chercheurs à développer de nouvelles méthodes de prévention, de détection et de traitement. Bien que divers dispositifs de surveillance des patients aient été développés, offrant des capacités variées pour aider les professionnels de santé à prendre en charge les personnes âgées ou handicapées, ils se limitent souvent à des mesures intermittentes par le personnel médical. Cette approche peut entraîner des lacunes dans la surveillance, notamment en cas de pertes de données pendant la nuit. Il est donc essentiel de se concentrer sur les techniques de surveillance continue, capables de fournir des informations fiables en temps réel et de détecter rapidement tout changement significatif dans l'état de santé du patient.

Pour répondre à cette problématique, nous allons présenter dans ce mémoire une étude et réalisation d'un système embarqué communicant à base d'Arduino, dédié à la surveillance des personnes atteintes de maladies cardiovasculaires.

Ce mémoire est reparti en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré pour des généralités sur les Systèmes Embarqués en Applications Médicales

Dans le deuxième chapitre, nous avons présentés les différents aspects de la carte Arduino.

Le chapitre trois est dédié aux différents capteurs médicaux notamment les capteurs utilisés dans les maladies cardiovasculaires.

# **Introduction générale**

Dans le chapitre 4 nous exposons les différents résultats de la réalisations ainsi les tests effectués pour les capteurs utilisés dans la réalisation

Et nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Le choix de la plateforme Arduino comme cœur du système repose sur sa flexibilité, son coût abordable et sa large communauté de développeurs, ce qui facilite l'intégration de divers capteurs et modules de communication. En complément, l'utilisation de capteurs de fréquence cardiaque, comme le MAX30102, permet de collecter des données précises et fiables, essentielles pour une surveillance efficace.

Ce projet ambitionne de démontrer la faisabilité et l'efficacité d'un système embarqué à base d'Arduino pour la surveillance des patients cardiovasculaires, en mettant en avant les avantages d'une telle approche en termes de prévention, de réactivité et d'amélioration de la qualité des soins. La mise en œuvre de ce système représente une avancée significative vers des solutions de santé plus accessibles, personnalisées et connectées, répondant aux besoins croissants de la population en matière de soins médicaux.

# CHAPITRE I

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

## **I.1. Introduction :**

Les progrès des systèmes embarqués ont révolutionné notre quotidien, allant bien au-delà des simples gadgets électroniques. Ces dispositifs, omniprésents dans nos smartphones, nos véhicules et même nos électroménagers, agissent en coulisses pour rendre nos vies plus simples et plus efficaces. Leur rôle est bien plus que technique, il est crucial dans la gestion et l'automatisation de nombreuses tâches. Cependant, l'impact le plus significatif des systèmes embarqués se fait sentir dans le domaine médical. Grâce à leur conception spécifique, compacte et hautement spécialisée, ces systèmes ont révolutionné les soins de santé en offrant des solutions innovantes pour le diagnostic, le traitement et la surveillance des patients. En combinant précision et efficacité, ils contribuent à améliorer la qualité de vie des patients et à ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine médical.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'univers des systèmes embarqués et leur application dans le domaine médical.

### **I.1.1. Historique**

En 1960, Charles Stark Draper du MIT a utilisé pour la première fois un système embarqué pour développer le système de guidage Apollo. En 1965, Autonetics a créé le D-17B, l'ordinateur du système de guidage du missile Minuteman. En 1968, le premier système embarqué pour un véhicule a été lancé. En 1971, Texas Instruments a développé le premier microcontrôleur. En 1987, Wind River a lancé le premier système d'exploitation embarqué, VxWorks. En 1996, Microsoft a introduit Windows CE intégré, et à la fin des années 1990, le premier système Linux embarqué est apparu [2].

### **I.1.2. Définition**

Un système embarqué est un système informatique et électronique autonome, spécialisé et intégré dans un dispositif ou un équipement pour fournir des fonctionnalités spécifiques dédiées à une tâche particulière. Il est conçu pour fonctionner dans un environnement restreint et pour

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

interagir avec des composants matériels et logiciels spécifiques.

Le logiciel embarqué, quant à lui, est spécialement conçu pour fonctionner sur le matériel embarqué et exécuter des tâches spécifiques. Ce logiciel est souvent optimisé pour des performances temps réel, ce qui signifie qu'il doit répondre à des contraintes de temps strictes pour garantir un fonctionnement fiable et prévisible du système. Contrairement aux logiciels traditionnels, les logiciels embarqués sont souvent écrits dans des langages de programmation bas niveau tels que le langage C ou même l'assembleur, afin d'optimiser l'utilisation des ressources matérielles limitées [3].

Un système embarqué est généralement basé sur des puces électroniques, telles que des microcontrôleurs ou des microprocesseurs, qui sont sélectionnées en fonction des besoins de l'application. Ces puces intègrent souvent des composants supplémentaires tels que des mémoires, des interfaces de communication, des capteurs, des actionneurs, etc., pour permettre au système de communiquer avec son environnement et de répondre aux besoins de l'application [4].

## **I.1.3. Cas d'application**

Les systèmes embarqués sont souvent utilisés dans des applications industrielles, grand public, médicales, automobiles et aérospatiales (**figure 1.1**), où ils offrent des fonctionnalités avancées et des performances optimisées.

# Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales

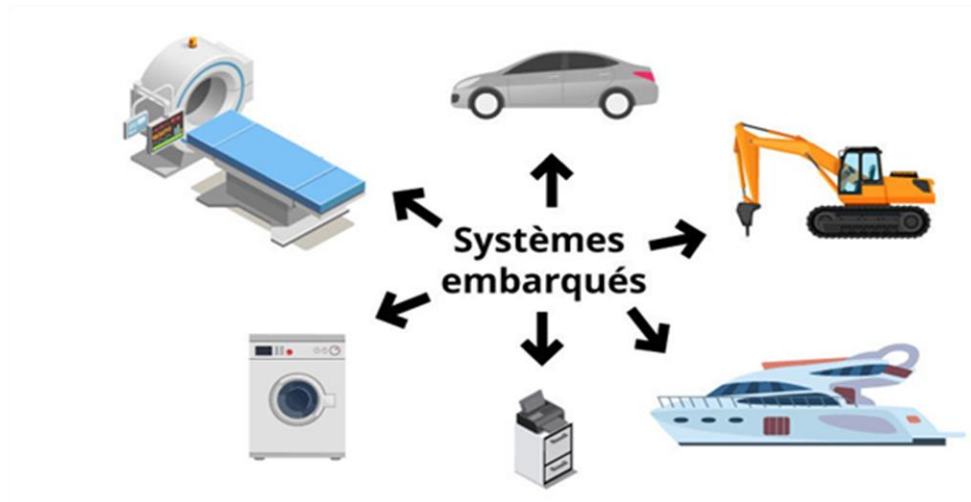


Figure1.1 : Applications des systèmes embarqués [4].

## I.1.4. Architecture d'un système embarqué

Les systèmes embarqués se composent généralement de trois parties principales : le matériel, le logiciel et les interfaces. Le matériel comprend les composants physiques, tels que le processeur, la mémoire, les entrées/sorties et les capteurs. Le logiciel comprend les systèmes d'exploitation, les pilotes, les bibliothèques et les applications. Les interfaces permettent aux systèmes embarqués de communiquer avec d'autres systèmes et dispositifs, tels que les réseaux, les écrans et les capteurs [7].

Un système embarqué traite des données d'entrée, afin de produire des actions en sortie ; une fois que les données sont recueillies et traitées, Le logiciel prend une décision, et le système l'exécute.

### I.1.4.a. Architecture matérielle

- **Microcontrôleur ou microprocesseur**

Un microcontrôleur ou un microprocesseur est utilisé pour contrôler les capteurs, collecter les données et les traiter localement si nécessaire. Il peut également être responsable de la communication avec les autres composants du système et de la gestion de l'alimentation.

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

- **Module de communication sans fil**

Ce module permet la transmission des données collectées vers un dispositif externe, tel qu'un Smartphone, une passerelle Internet ou un concentrateur de données dans le Cloud. Les technologies de communication sans fil telles que le Bluetooth, le Wi-Fi, la 3G/4G/5G ou les réseaux basse consommation (comme LoRaWAN) peuvent être utilisées en fonction des besoins de portée, de débit de données et de consommation d'énergie.

- **Batterie ou source d'alimentation :**

Pour assurer la portabilité du système, une batterie ou une autre source d'alimentation portable est nécessaire pour alimenter l'ensemble du dispositif.

- **Boîtier**

Un boîtier robuste et ergonomique est nécessaire pour abriter les composants électroniques et assurer la protection du système contre les dommages physiques et environnementaux.

## **I.1.4.b. Architecture logicielle**

- **Firmware embarqué :**

Le firmware embarqué est le logiciel intégré dans le microcontrôleur ou le microprocesseur. Il est responsable de la gestion des capteurs, de l'acquisition des données, du traitement des données (filtrage, conversion, etc.) et de la communication avec le module sans fil.

- **Protocoles de communication**

Des protocoles de communication appropriés sont nécessaires pour permettre la transmission des données entre le dispositif embarqué et les dispositifs externes. Cela peut inclure des protocoles standards tels que : Bluetooth Low Energy (BLE), TCP/IP, MQTT, etc.

- **Interface utilisateur**

Une interface utilisateur simple et conviviale peut être développée sur le dispositif externe (par exemple, une application mobile ou un tableau de bord Web) pour permettre aux utilisateurs

# Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales

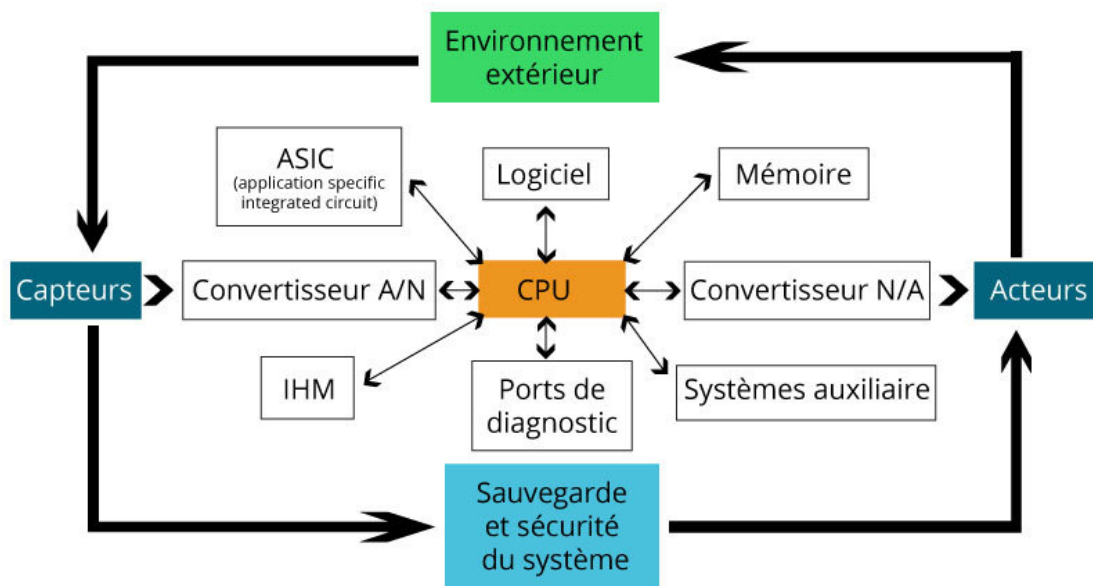
(patients ou professionnels de la santé) de visualiser les données de surveillance, de recevoir des alertes et de contrôler le système.

- **Plateforme Cloud**

Les données collectées peuvent être transmises à une plateforme Cloud sécurisée pour un stockage centralisé, une analyse ultérieure et un accès à distance. Cette plateforme peut également fournir des fonctionnalités avancées telles que l'apprentissage automatique pour la détection des anomalies ou la génération de rapports personnalisés.

- **Sécurité et confidentialité**

Des mesures de sécurité robustes doivent être mises en place à la fois au niveau matériel et logiciel pour protéger les données médicales sensibles contre les accès non autorisés, les altérations et les fuites. Cela peut inclure le cryptage des données, l'authentification des utilisateurs, la gestion des droits d'accès, etc.



**Figure1.2:** Architecture technique d'un système embarqué [4].

Cette architecture offre une base solide pour la conception et le développement d'un système

# Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales

embarqué communicant pour la surveillance médicale à distance, en tenant compte à la fois des aspects matériels et logiciels nécessaires pour un fonctionnement fiable, sécurisé et convivial.

## **I.1.5. Les caractéristiques principales d'un système embarqué**

Les systèmes embarqués sont des systèmes informatiques spécialisés, autonomes et intégrés dans des dispositifs et des équipements pour offrir des fonctionnalités avancées et dédiées à des tâches particulières. Ils sont conçus pour fonctionner dans des environnements restreints et pour interagir avec d'autres composants matériels et logiciels [5]. Ces caractéristiques sont :

- **Autonomie** : Les systèmes embarqués sont conçus pour fonctionner de manière autonome, sans intervention humaine. Ils peuvent être configurés pour prendre des décisions en fonction de règles prédéfinies et pour interagir avec d'autres systèmes et dispositifs.
- **Spécialisation** : Les systèmes embarqués sont conçus pour fournir des fonctionnalités spécifiques et dédiées à une tâche particulière. Ils sont optimisés pour exécuter des tâches spécifiques et ne disposent pas de ressources inutiles.
- **Intégration** : Les systèmes embarqués sont intégrés dans des dispositifs et des équipements pour offrir des fonctionnalités avancées. Ils sont conçus pour fonctionner en harmonie avec d'autres composants matériels et logiciels et pour interagir avec eux.
- **Environnement restreint** : Les systèmes embarqués sont conçus pour fonctionner dans des environnements restreints, où les ressources sont limitées. Ils doivent être optimisés pour fonctionner avec des ressources limitées, telles que la mémoire, l'énergie et la puissance de calcul.
- **Interactivité** : Les systèmes embarqués peuvent interagir avec d'autres systèmes et dispositifs, tels que des capteurs, des actionneurs, des écrans et des réseaux. Ils peuvent collecter des données, les analyser et prendre des décisions en fonction de ces données [6].
- **Fiabilité** : Les systèmes embarqués doivent être fiables et robustes, car ils sont souvent utilisés dans des applications critiques où la sécurité et la sûreté sont primordiales. Ils

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

doivent être conçus pour fonctionner dans des conditions difficiles et pour résister aux pannes et aux défaillances.

- **Performances** : Les systèmes embarqués doivent offrir des performances optimales pour exécuter des tâches spécifiques et dédiées. Ils doivent être conçus pour fonctionner rapidement et efficacement, en utilisant des algorithmes et des techniques optimisés.

## **I.2. Importance des systèmes embarqués dans le domaine médical**

Les systèmes embarqués jouent un rôle crucial dans le domaine médical, leur importance s'étendant sur divers aspects. La surveillance médicale en temps réel repose en grande partie sur des systèmes intégrés, largement utilisés dans divers appareils tels que les moniteurs de signes vitaux, les stimulateurs cardiaques et les appareils de surveillance de la glycémie. Ces appareils collectent et évaluent en permanence les données physiologiques des patients, permettant aux professionnels de la santé de suivre de près leur état de santé et d'effectuer rapidement les interventions médicales nécessaires [8].

L'utilisation des systèmes embarqués facilite également la création de dispositifs médicaux connectés et de solutions de télémédecine, permettant ainsi une assistance médicale à distance.

Ces appareils innovants permettent aux patients de suivre facilement leur état de santé dans le confort de leur foyer et de transmettre des données aux prestataires de soins et de santé, rationalisant ainsi le processus de surveillance pour les personnes atteintes de maladies chroniques.

# Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales

## I.2.1. La technologie de communication sans fil



**Figure I.3: La technologie de communication sans fil.**

### - Le Wi-Fi :

Soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), offre une bande passante plus élevée et une portée plus étendue par rapport à BLE, ce qui le rend adapté aux applications de surveillance médicale à domicile où une connexion Internet haut débit est disponible. Cependant, il consomme généralement plus d'énergie que BLE.

### - Le réseau personnel sans fil (WPAN) :

Qui concerne des réseaux sans fil de courte portée, généralement de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ces réseaux sont principalement utilisés pour connecter des périphériques tels que des imprimantes, des appareils domestiques, des téléphones portables ou des assistants personnels à un ordinateur sans nécessiter de liaison filaire. Plusieurs technologies sont employées pour les WPAN, dont la principale est la technologie reformulée.

### - Le Bluetooth :

Introduit par Ericsson en 1994 et également connu sous le nom IEEE 802.15.1, offre un débit théorique de 1 Mbps avec une portée maximale d'environ trente mètres. IL est largement utilisé pour les applications de santé connectée en raison de sa faible consommation d'énergie et de sa compatibilité avec la plupart des smartphones et des appareils portables. Son avantage réside dans sa faible consommation d'énergie, ce qui le rend particulièrement adapté aux petits périphériques.

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

## **- Les réseaux cellulaires(3G/4G/5G) :**

tels que le GSM (Global System for Mobile Communications), le GPRS (General Packet Radio Service) et l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), ils sont principalement conçus pour la transmission de données vocales. Bien qu'ils offrent Les réseaux cellulaires offrent une couverture étendue, permettant une surveillance médicale à distance même dans des zones éloignées. Cependant, ils nécessitent une carte SIM et un abonnement data, et leur consommation d'énergie peut être relativement élevée.

## **I.2.2. Exemples de systèmes embarqués existant pour la surveillance médicale**

### **- Moniteurs de santé à domicile :**

Ces dispositifs sont conçus pour surveiller les signes vitaux des patients à domicile, tels que la pression artérielle, la fréquence cardiaque, la saturation en oxygène, etc. Les données peuvent être transmises automatiquement aux professionnels de la santé pour évaluation.

### **- Applications mobiles de surveillance de la santé :**

Il existe une multitude d'applications mobiles conçues pour surveiller différents aspects de la santé, allant de la gestion du diabète à la surveillance de la santé mentale. Ces applications peuvent collecter des données telles que l'activité physique, le sommeil, l'alimentation, etc., et fournir des conseils ou des alertes en fonction de ces données [9].

### **- La Télémédecine :**

Les plates-formes de télémédecine permettent aux patients de consulter des professionnels de la santé à distance. Ces systèmes peuvent inclure des fonctionnalités telles que la vidéoconférence, le partage de données médicales et la surveillance à distance des signes vitaux.

## **I.2.3. Analyses et détection des anomalies**

### **I.2.3.1. Les signes vitaux**

Les signes vitaux sont des indicateurs clés de l'état de santé général d'une personne. Ils mesurent les fonctions corporelles de base telles que la fréquence cardiaque, la tension artérielle,

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

la température corporelle et la respiration. Les signes vitaux peuvent varier en fonction de divers facteurs, notamment l'âge, le sexe, la maladie et les conditions environnementales, et sont souvent utilisés par les professionnels de la santé pour évaluer l'état de santé d'une personne et diagnostiquer des problèmes potentiels [10].

Les moniteurs de paramètres vitaux, tels que les moniteurs multiparamétriques, permettent de mesurer, de consulter en temps réel et d'enregistrer ces paramètres vitaux, ce qui facilite le protocole de soins adaptés et permet au personnel soignant de prendre en compte l'intégralité de l'image clinique du patient [11]

L'analyse et la détection des anomalies sont des éléments cruciaux de la télésurveillance médicale, visant à identifier rapidement les changements pathologiques, les fluctuations anormales des paramètres de santé et les situations d'urgence nécessitant une intervention médicale immédiate. Voici une explication détaillée de ces processus.

## **I.2.3.2. Intégration de l'analyse dans le système embarqué**

L'analyse et la détection des anomalies peuvent être intégrées directement dans le système embarqué, permettant ainsi une surveillance continue et en temps réel des signes vitaux des patients. Les résultats de l'analyse peuvent déclencher des alertes automatiques pour informer les professionnels de santé et les patients en cas d'anomalie détectée [12].

## **I.2.3.3. Alerte et intervention médicale**

Le système d'alerte et d'intervention médicale est un élément central de la télésurveillance médicale, visant à assurer une réactivité optimale face aux situations anormales détectées, garantissant ainsi la sécurité et le bien-être des patients.

### **a. Système d'alerte médicale :**

Lorsqu'une anomalie est détectée par le système embarqué, une alerte est générée pour informer les professionnels de santé et/ou les patients. Cette alerte peut être déclenchée par divers

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

facteurs, tels qu'une fréquence cardiaque anormale, une hypertension artérielle, une arythmie cardiaque, etc.

**-Génération d'alertes** : Les alertes peuvent être envoyées via divers canaux de communication, tels que des notifications sur des applications mobiles, des messages textes, des appels téléphoniques, des e-mails ou des alertes visuelles sur des dispositifs connectés.

**-Communication sécurisée (Plateformes sécurisées)** : Utilisation de systèmes de communication sécurisés pour garantir la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des informations médicales partagées entre les différents acteurs impliqués dans le processus de soins [13].

## **b. Intervention médicale :**

L'intervention médicale suite à une alerte peut prendre plusieurs formes, selon la nature de l'anomalie détectée et les besoins du patient :

**-Consultation médicale à distance** : Les professionnels de santé peuvent être alertés en temps réel et contacter le patient pour évaluer sa condition médicale, fournir des conseils médicaux et recommander des mesures à prendre [14, 15].

**-Révision des médicaments et ajustement du traitement** : Si l'anomalie est liée à la gestion de médicaments, les professionnels de santé peuvent revoir la prescription médicamenteuse du patient et ajuster le traitement en conséquence pour optimiser son efficacité et minimiser les effets secondaires [16].

**-Suivi et évaluation** : Après l'alerte et l'intervention médicale initiale, un suivi régulier du patient peut être effectué pour surveiller sa réponse au traitement, évaluer l'évolution de son état de santé et ajuster les interventions en fonction des besoins. Cela peut inclure des consultations médicales régulières, des examens de suivi et des modifications de traitement [16].

## **I.3. L'intégration d'applications médicales dans un système embarqué :**

L'intégration d'applications médicales dans un système embarqué permet de combiner les avantages des technologies de télésurveillance médicale avec les capacités des systèmes embarqués pour offrir des solutions de soins de santé plus efficaces, flexibles et accessibles.

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

- **Collecte de données** : Le système embarqué devrait être capable de collecter une variété de données médicales pertinentes pour la surveillance des maladies cardiovasculaires, telles que la pression artérielle, la fréquence cardiaque, et éventuellement des données sur l'activité physique et les habitudes de sommeil.
- **Transmission des données** : Développez des protocoles de communication sécurisés pour transférer les données collectées depuis le système embarqué vers une plateforme de surveillance à distance. Les technologies sans fil telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et la 4G peuvent être utilisées en fonction des besoins de connectivité et de la portée [17, 18].

## **I.3.1. La sécurité et la confidentialité des données médicales**

La sécurité et la confidentialité des données médicales sont des préoccupations majeures dans le domaine de la santé, en raison de la sensibilité et de la confidentialité des informations personnelles et médicales des patients, La protection des données de santé est essentielle pour garantir la confiance des patients.

- **Protection des données** :

**Cryptage des données** : Utilisation de techniques de cryptage avancées pour sécuriser les données médicales lors de leur transmission, de leur stockage et de leur accès, en garantissant leur confidentialité, leur intégrité et leur protection contre les accès non autorisés.

**Authentification et autorisation** : Mise en place des mécanismes d'authentification forte pour vérifier l'identité des utilisateurs autorisés à accéder au système embarqué et aux données médicales. Définir des niveaux d'autorisation appropriés pour limiter l'accès aux données en fonction du rôle de chaque utilisateur [19].

## **I.3.2. Avantages et limites de la technologie actuelle**

- a. **Les avantages** :

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

**Surveillance à distance :** Les systèmes embarqués communicants permettent une surveillance continue des patients à distance, ce qui peut être particulièrement utile pour les patients chroniques ou ceux nécessitant un suivi régulier.

**Détection précoce des problèmes de santé :** En surveillant en temps réel les signes vitaux, ces systèmes peuvent détecter les anomalies ou les changements dans l'état de santé d'un patient et alerter rapidement les professionnels de la santé.

**Réduction des coûts de santé :** En permettant un suivi à distance, ces systèmes peuvent réduire les visites médicales et les hospitalisations inutiles, ce qui peut potentiellement économiser des coûts pour les systèmes de santé et améliorer l'efficacité des soins.

## **b. Les limites:**

**Fiabilité des données :** La précision des données collectées par les dispositifs embarqués peut parfois être remise en question en raison de facteurs tels que les interférences électromagnétiques ou les erreurs de capteurs, ce qui peut affecter la confiance des professionnels de la santé dans les informations recueillies.

**Confidentialité et sécurité des données :** La transmission et le stockage des données médicales à distance posent des défis en termes de confidentialité et de sécurité, car ces informations sensibles doivent être protégées contre les accès non autorisés ou le cyber attaque.

**Limitations techniques :** Les dispositifs embarqués peuvent avoir des limitations en termes de durée de vie de la batterie, de connectivité réseau ou de capacité de stockage, ce qui peut limiter leur utilité dans certains cas d'utilisation [20].

# **Chapitre I : systèmes embarqués pour application médicales**

## **I.4. Conclusion**

Les systèmes embarqués dans les applications médicales représentent une avancée technologique majeure, offrant des solutions innovantes, personnalisées et intégrées pour répondre aux défis complexes de la gestion des maladies chroniques, de la transformation numérique de la santé et du suivi médical à distance. Ces systèmes combinent les capacités des technologies embarquées, des dispositifs connectés, de l'intelligence artificielle, de l'apprentissage automatique et des solutions logicielles avancées pour créer des environnements de soins de santé intelligents, sécurisés et accessibles. Ils permettent une prise en charge proactive, réactive et personnalisée des patients dans le confort de leur domicile, garantissant une continuité des soins et une meilleure qualité de vie.

# CHAPITRE II

### **II.1. Introduction**

L'Arduino est aujourd'hui une plateforme incontournable dans le domaine de l'électronique et de la programmation pour la réalisation de projets embarqués. Sa popularité repose sur sa simplicité d'utilisation, sa flexibilité et sa communauté active qui encourage l'innovation à travers le monde. Ce chapitre se concentre sur l'Arduino en tant qu'outil central pour la conception de systèmes embarqués, en explorant ses caractéristiques techniques, ses capacités de programmation, ainsi que ses applications pratiques dans le domaine de la surveillance médicale.

### **II.2. Présentations de l'Arduino**

#### **II.2.1. Historique de l'Arduino**

En hiver 2005, Massimo Banzi, enseignant en design à Ivrea en Italie, constate que ses étudiants se heurtent à des limitations financières pour leurs projets de robotique. En collaboration avec l'ingénieur espagnol David Cuartielles, spécialisé dans les microcontrôleurs, ils décident de remédier à cette situation. Ils s'associent à David Mellis, l'un des étudiants de Banzi, chargé de développer un langage de programmation adapté à leur carte. En un temps record de deux jours, Mellis écrit le code nécessaire, et en trois jours supplémentaires, la carte Arduino voit le jour. Accessible à tous, même sans connaissances avancées en électronique ou en informatique, la carte permet de répondre à des capteurs, de contrôler des LED, des moteurs, et bien plus encore. Pour rendre leur création accessible au plus grand nombre, ils publient les schémas et investissent 3000 euros pour produire les premiers lots de cartes [14].

#### **II.2.2. Définition**

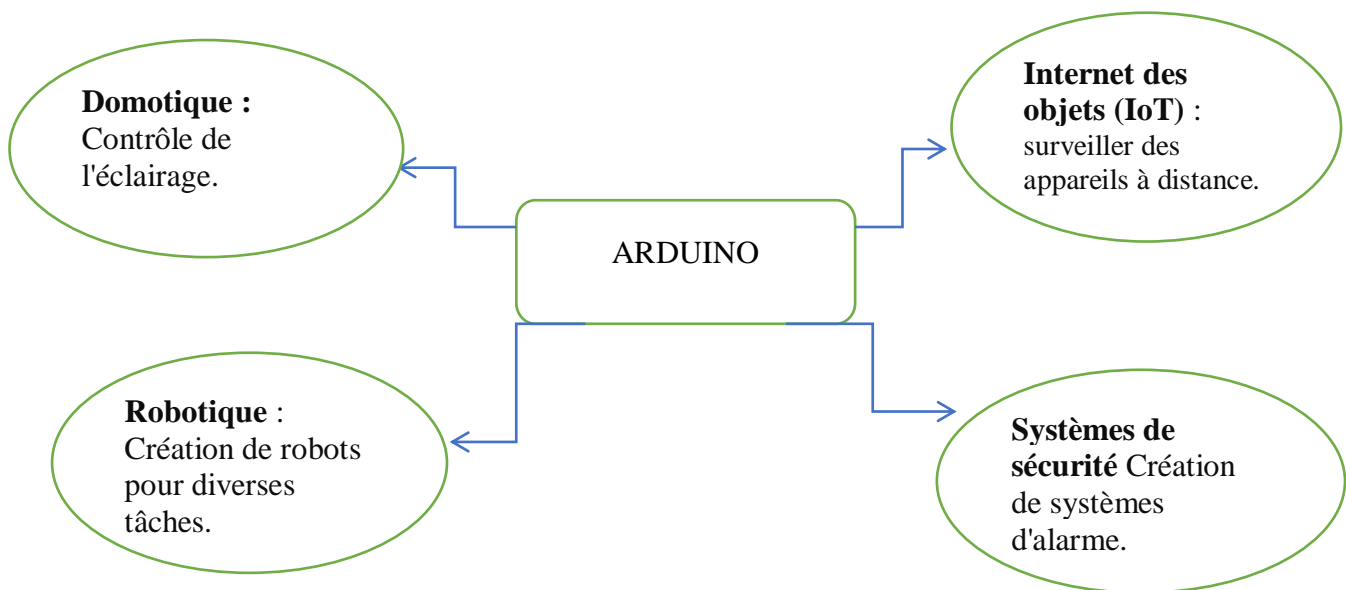
Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte comme le microcontrôleur, par contre les composants complémentaires ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications

## Chapitre II : La carte Arduino

comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.

### II.2.3. Exemples d'applications courantes d'Arduino :

Le système Arduino est composé de deux ensembles : un ensemble matériel (**Hardware**) et un ensemble logiciel (**Software**) :



#### II.2.3.1. Ensemble matériel (Hardware)

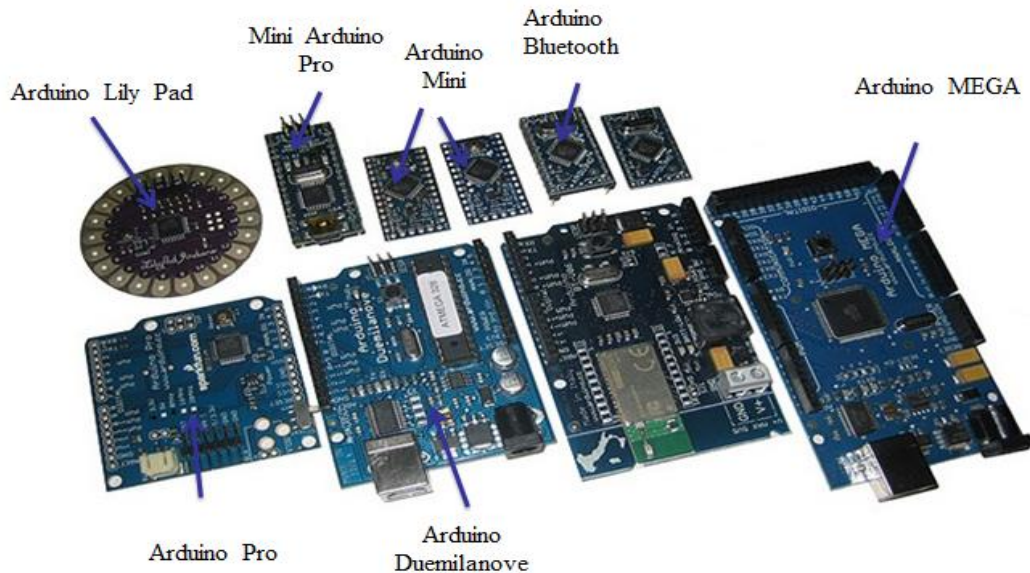
C'est une carte électronique programmable qui repose sur un microcontrôleur **AT MEGA** a de la marque ATMel, pouvant être connectée à des capteurs.

## Chapitre II : La carte Arduino

### ➤ Type de carte Arduino :

Il y a trois types de cartes :

- **Les officielles** : sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel « Smart Projects ».
- **Les compatibles** : ne sont pas fabriquées par « Smart Projects », mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.
- **Les autres** : sont fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous des noms différents.



**Figure II.1** : Les différents types de carte Arduino[15].

#### a. La carte Arduino Leonardo :

C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino **Uno** en présentant des caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.

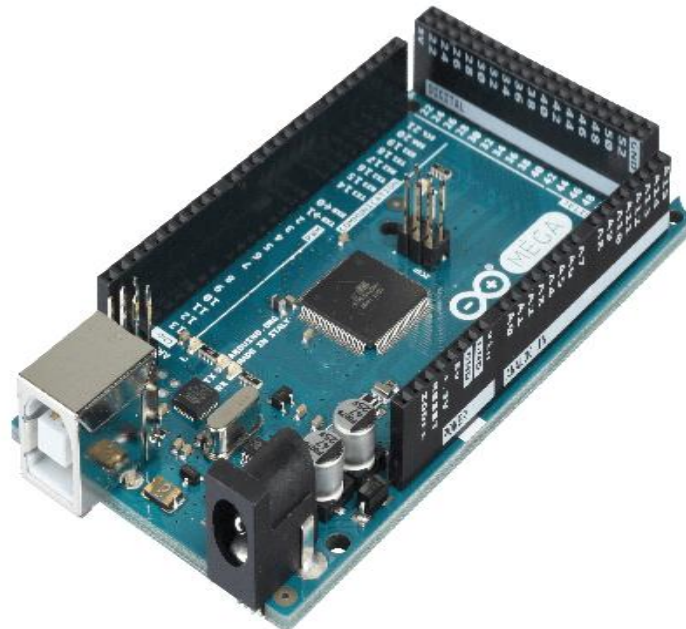
## Chapitre II : La carte Arduino



**Figure II.2** : La carte Arduino Leonardo [15]

### b. **La carte Méga :**

La carte Arduino Méga est la carte la plus diffusée après la carte Arduino Uno. Elle offre toutes les fonctionnalités de cette dernière et 54 d'entrées/sorties beaucoup plus important, parmi lesquels 14 PWM, 16 analogiques et 4 UARTs). Elle est équipée d'un ATmega1280 de type CMS pour avoir des entrées/Sorties supplémentaires et de la mémoire (128 ko de flash, 8 ko SRAM et 4ko EEPROM).



**Figure II.3** : La carte Arduino Méga[15].

## Chapitre II : La carte Arduino

### c. La carte Arduino Yun :

La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages de la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour objectif de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première carte Arduino à être dotée nativement d'un wifi intégré etc.



**Figure II.4** : La carte Arduino Yun [15].

### d. La carte UNO :

C'est la carte la plus couramment employée, elle est équipée d'un microcontrôleur ATMe-ga328 programmable qui permet de faire fonctionner des éléments tels que le moteur, la LED et l'affichage. Elle dispose des ports, par exemple pour se connecter à un ordinateur ou s'alimenter. Le produit le plus apprécié parmi les cartes Arduino est la carte Arduino UNO. Elle est idéale pour commencer la programmation Arduino, car elle comprend tous les éléments essentiels pour créer des objets de complexité relativement faible.

## Chapitre II : La carte Arduino

### e. **La carte Nano :**

La carte Arduino Nano est une carte de développement électronique compacte et abordable, basée sur la plateforme Arduino. Elle est équipée d'un microcontrôleur ATmega328P et offre des broches d'entrée/sortie numériques et analogiques pour la connexion de composants électroniques. Elle est souvent utilisée pour la création de projets DIY (Do It Yourself) et l'apprentissage de la programmation et de l'électronique.



**Figure II.5:** Carte Arduino Nano [15].

Parmi toutes les cartes de la famille Arduino, nous avons choisi la carte Arduino UNO pour la réalisation de notre projet.

### **II.3. Présentation de la carte Arduino UNO**

Arduino UNO est une carte comme toutes les cartes à microcontrôleur, permet de piloter un système de manière interactive à partir du programme que l'on aura défini et mis dans sa mémoire. Par exemple gérer automatiquement l'ouverture d'une porte de garage, envoyer un SMS quand le jardin est trop sec et gérer le système d'arrosage à distance, piloter un nouveau robot. Il faut pour cela associer à la carte Arduino des capteurs comme : le capteur de lumière, de température ou de position, et des actionneurs comme le moteurs et la pompe, ainsi que des organes de sortie comme : une lampe, un chauffage...etc. On peut associe aussi des circuits de puissance, une alimentation (piles, panneaux solaire, ...), des interfaces de dialogue (boutons, leds,écran,... ), des interfaces de communication (réseau filaire, réseau sans fil, ...) [16].



## Chapitre II : La carte Arduino

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur ; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

Microcontrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	6-20V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 mA
Courant max sur sortie 3,3 V	50mA
Mémoire Flash	32 KB
Mémoire SRAM	2 KB
Mémoire EEPROM	1 KB

**Tableau II.1** : Les caractéristiques de la carte Arduino UNO.

### **Pourquoi l'Arduino UNO ?**

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits) :**

Les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).

- **Multi plateforme :**

Le logiciel Arduino, écrit en C, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

## Chapitre II : La carte Arduino

- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).
- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.

### **II.3.1. Description de la carte ARDUINO UNO**

La carte Arduino UNO fait partie de la famille des cartes électroniques à microcontrôleur open-source, créée en Italie en 2005. Ces cartes sont caractérisées par une interface entrée/sortie simple et un environnement de développement proche du langage C.

L'Arduino UNO représente la première version stable de la carte Arduino. Elle combine toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique avec une facilité d'utilisation remarquable. Elle est équipée d'une puce ATmega328P cadencée à 16 MHz et dispose de 32 ko de mémoire flash pour le programme, 2 ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte pour les données).

## Chapitre II : La carte Arduino

Cette carte offre 14 broches d'entrée/sortie numériques, où les données sont transmises sous forme de 0 ou de 1, dont 6 peuvent générer des signaux PWM (modulation de largeur d'impulsion). Elle permet également de mesurer des grandeurs analogiques grâce à ses 6 entrées analogiques. Chaque broche est capable de fournir un courant de 40 mA pour une tension de 5V. La carte Arduino UNO peut être alimentée et communiquer avec un ordinateur via son port USB, ou bien être alimentée par une source externe de 7V à 12V via son connecteur Power Jack.[17]

### **II.3.2. Protocole de communication sans fil**

#### ➤ **Le Bluetooth :**

Est couramment utilisé avec Arduino pour transmettre des données à distance. Le Bluetooth est une technologie sans fil qui permet la communication entre des dispositifs électroniques sur de courtes distances, généralement jusqu'à une dizaine de mètres.

Avec Arduino, utiliser des modules Bluetooth tels que le HC-05 ou le HC-06, qui peuvent être connectés à votre carte Arduino via des broches TX (transmission) et RX (réception). Ces modules Bluetooth sont relativement simples à utiliser et offrent une communication fiable pour transférer des données médicales vers un appareil distant tel qu'un smartphone, une tablette ou un ordinateur.

#### ➤ **Le processus de communication :**

La configuration de l'Arduino pour communiquer avec le module Bluetooth s'effectue en établissant une connexion série entre les broches TX et RX de l'Arduino et du module Bluetooth.

- **Acquisition de données :** Les capteurs médicaux connectés à l'Arduino acquièrent les données médicales telles que la fréquence cardiaque, la température corporelle, la pression artérielle, etc.
- **Traitement des données :** L'Arduino traite les données médicales selon les besoins, les formate et les prépare à être transmises via Bluetooth.

## Chapitre II : La carte Arduino

- **Transmission** : Les données médicales sont envoyées via la connexion Bluetooth vers l'appareil distant, où elles peuvent être affichées, enregistrées ou analysées à l'aide d'une application ou d'un logiciel approprié.
- **Réception et traitement côté récepteur** : L'appareil récepteur (tel qu'un smartphone) reçoit les données Bluetooth et les affiche ou les traite selon les besoins de l'application.

L'utilisation du Bluetooth pour la transmission de données médicales à distance offre une solution pratique, sans fil et relativement peu coûteuse pour surveiller et suivre les paramètres médicaux des patients à distance, ce qui peut être particulièrement utile dans les situations où une surveillance régulière est nécessaire mais où la présence physique du patient n'est pas toujours possible. Cependant, il est important de prendre en compte les aspects de sécurité et de confidentialité des données lors de la mise en place d'un tel système.

### **II.3.3. Logiciel l'IDE Arduino**

#### **II.3.3.1. Introduction à l'IDE Arduino**

L'IDE Arduino (environnement de développement intégré Arduino) est un logiciel utilisé pour écrire, compiler et télécharger du code sur les cartes Arduino. C'est un outil essentiel pour les développeurs, les amateurs et les créateurs qui souhaitent créer des projets électroniques avec des cartes Arduino. L'IDE Arduino offre une interface conviviale et intuitive, ce qui le rend accessible même aux débutants en programmation. Il est disponible gratuitement sur plusieurs plateformes, y compris Windows, Mac OS X et Linux, ce qui le rend largement accessible à différents utilisateurs.

L'IDE Arduino est équipée de fonctionnalités telles que la coloration syntaxique, l'achèvement automatique du code et la vérification de la syntaxe, qui aident les utilisateurs à écrire du code propre et sans erreur. De plus, il prend en charge une variété de langages de

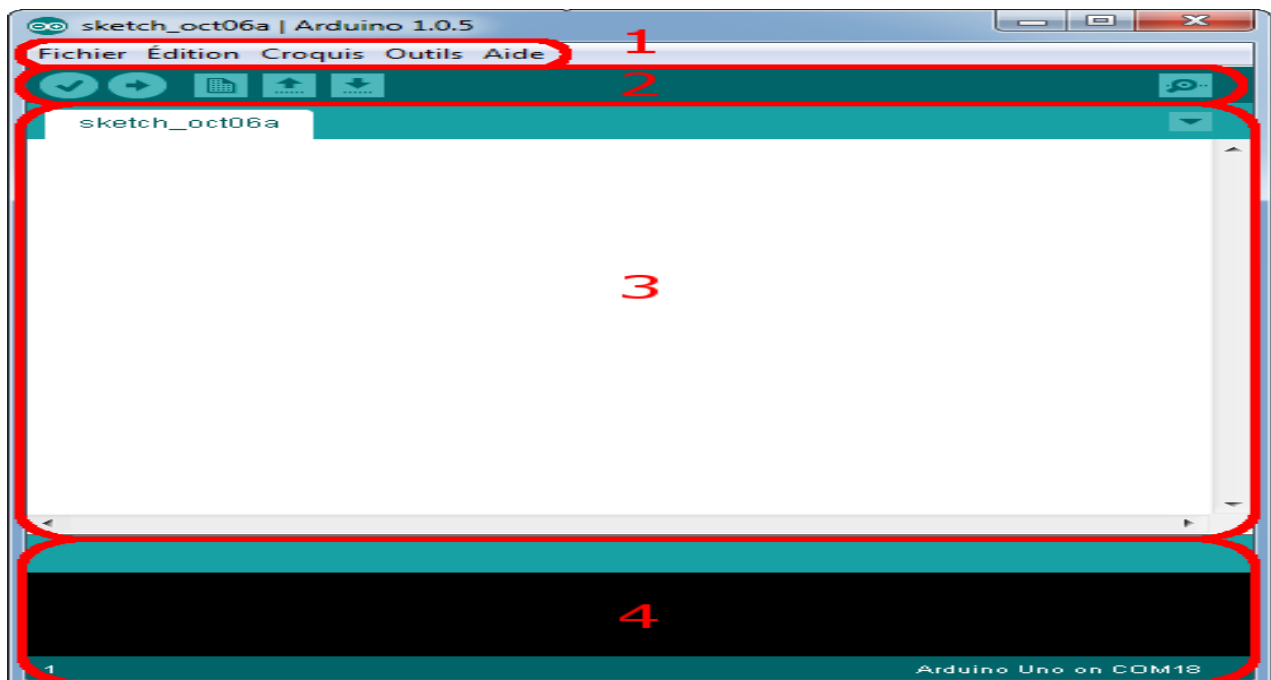
## Chapitre II : La carte Arduino

programmation, principalement basés sur le langage de programmation Wiring, une version simplifiée de C/C++.

L'IDE d'Arduino permet : [18]

- D'éditer un programme
- De compiler ce programme
- De téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino,
- De communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal

- **L'architecture générale du logiciel :**



**Figure II.7** : Architecture générale du logiciel [18].

- **Cadre numéro (1)** : ce sont les options de configuration du logiciel
- **Cadre numéro (2)** : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes, ils seront expliqués dans la partie programmation
- **Cadre numéro (3)** : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer

## **Chapitre II : La carte Arduino**

- **Cadre numéro (4)** : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur

### **II.3.3.2. Langage de programmation Arduino :**

Un langage de programmation est un langage permettant à un être humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine grâce à un compilateur (c'est la compilation). L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres. Voyons plus en détail la structure d'un programme écrit en Arduino [16].

## **II.4. Interfaçage de capteurs médicaux avec Arduino**

### **II.4.1. Introduction a interfaçage de capteurs médicaux :**

L'interfaçage des capteurs médicaux avec Arduino permet de collecter des données physiologiques à partir de capteurs spécialisés tels que des capteurs de fréquence cardiaque, des capteurs de température, des capteurs d'oxygénation du sang, des capteurs de pression artérielle, etc. Les données capturées peuvent être utilisées pour surveiller la santé, effectuer des diagnostics préliminaires, réaliser des études de recherche ou créer des dispositifs médicaux personnalisés.

### **II.4.2. Principe de fonctionnement des capteurs médicaux**

Les capteurs médicaux avec Arduino fonctionnent en se basant sur la capacité des capteurs à mesurer divers paramètres physiologiques ou biologiques, ainsi que sur la capacité de l'Arduino à traiter et à interpréter ces données. Voici les principales étapes du processus :

- **Acquisition des données :**

-Les capteurs médicaux captent les signaux physiologiques, tels que le pouls, la pression artérielle, la température corporelle, etc.

-Les capteurs peuvent être de différents types, tels que des capteurs de tension, de courant, de résistance, ou des capteurs optiques ou acoustiques.

## Chapitre II : La carte Arduino

- **Conversion des signaux :**

-Les signaux physiologiques captés par les capteurs sont généralement analogiques.

-L'Arduino utilise ses broches analogiques pour convertir ces signaux en valeurs numériques à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN).

- **Traitement des données :**

-Les valeurs numériques obtenues sont traitées par l'Arduino à l'aide de son code programmé.

-Le code peut implémenter différents algorithmes de traitement de signal pour filtrer, normaliser ou analyser les données captées.

- **Interprétation des données :**

-L'Arduino analyse les données traitées pour en extraire des informations utiles sur l'état de santé du patient.

- Par exemple, il peut détecter des anomalies dans les battements cardiaques, des variations de température corporelle, etc.

- **Affichage ou transmission des données :**

-Les données interprétées peuvent être affichées sur un écran LCD, un affichage LED ou transmises à un dispositif externe, comme un ordinateur ou un smartphone, via des interfaces de communication telles que le Bluetooth ou le Wi-Fi.

- **Actions ou alertes en fonction des données :**

-L'Arduino peut également être programmé pour déclencher des actions ou des alertes en fonction des données captées.

-Par exemple, il peut activer une alarme en cas de détection d'une arythmie cardiaque ou envoyer une alerte à un médecin en cas de valeurs anormales.

Les capteurs médicaux utilisant Arduino sont utilisés pour capturer, convertir, traiter, interpréter et transmettre des données physiologiques. De plus, ils permettent de mettre en place des

actions ou des alertes en fonction des informations obtenues, ce qui contribue à la surveillance médicale à domicile et au suivi des patients.

### **II.4.3. L'intégration de la carte Arduino dans le domaine médicale**

L'intégration de la carte Arduino dans le domaine médical offre de nombreuses possibilités pour la surveillance, le diagnostic, le traitement et la gestion des données de santé. Voici quelques exemples d'applications de l'Arduino dans le domaine médical [19] :

- **Surveillance médicale à domicile :**

En utilisant des capteurs de mesure de la fréquence cardiaque, de la température corporelle, de la pression artérielle, etc., connectés à une carte Arduino, il est possible de surveiller les paramètres vitaux des patients à distance. Les données peuvent être transmises sans fil à un dispositif de réception pour une surveillance continue.

- **Développement de dispositifs médicaux personnalisés :**

- **Dispositifs d'assistance :**

L'Arduino peut être utilisé pour développer des dispositifs d'assistance pour les personnes handicapées ou les patients en rééducation. Par exemple, des dispositifs de contrôle de prothèses, des systèmes de communication assistée, ou des aides à la mobilité peuvent être conçus en utilisant des capteurs et actionneurs contrôlés par Arduino.

- **Dispositifs de diagnostic :**

L'Arduino peut être utilisé pour développer des dispositifs de diagnostic médical abordables. Par exemple, des dispositifs de test sanguin, des lecteurs d'ECG (électrocardiogramme), des oxymètres de pouls, etc., peuvent être réalisés en utilisant des capteurs spécifiques et des algorithmes de traitement des données.

- **Recherche et innovation :**

## Chapitre II : La carte Arduino

L'Arduino peut être utilisé comme outil de recherche dans le domaine médical pour le développement de prototypes de dispositifs, la collecte de données, ou la réalisation d'expériences contrôlées.

- **Automatisation des soins de santé :**

L'Arduino peut être utilisé pour automatiser certains processus dans les établissements de santé, tels que la distribution de médicaments, la surveillance de l'environnement hospitalier, ou la gestion des dossiers médicaux électroniques.

- **Thérapies personnalisées :**

En utilisant des capteurs et des actionneurs contrôlés par Arduino, il est possible de développer des dispositifs pour la thérapie personnalisée, tels que des dispositifs de stimulation neuromusculaire ou des appareils de thérapie par vibration pour la réadaptation.

En intégrant l'Arduino dans le domaine médical, il est possible de développer des solutions innovantes, abordables et personnalisées pour répondre aux besoins spécifiques des patients, des médecins et des établissements de santé. Cependant, il est important de prendre en compte les réglementations et les normes de sécurité médicale lors de la conception et de l'utilisation de dispositifs médicaux basés sur l'Arduino.

### **II.4.4. L'intégration de la carte Arduino dans un système embarqué**

L'intégration de la carte Arduino dans un système embarqué offre de nombreuses possibilités pour ajouter des fonctionnalités interactives, de contrôle et de traitement des données à diverses applications. Voici quelques détails sur l'intégration de la carte Arduino dans un système embarqué :

- **Communication avec d'autres composants :** La carte Arduino peut être connectée à différents capteurs, actionneurs et modules de communication pour acquérir des données, contrôler des dispositifs et échanger des informations avec d'autres parties du système embarqué. Les interfaces couramment utilisées pour cela incluent les broches d'en-

## Chapitre II : La carte Arduino

trée/sortie numériques et analogiques, ainsi que les interfaces série, I2C, SPI, et les interfaces sans fil comme le Bluetooth ou le Wi-Fi.

- **Acquisition de données** : Les capteurs connectés à la carte Arduino peuvent être utilisés pour mesurer diverses grandeurs physiques telles que la température, l'humidité, la luminosité, la pression, etc. Les données acquises peuvent ensuite être traitées et utilisées pour prendre des décisions ou déclencher des actions dans le système embarqué.
- **Contrôle des dispositifs** : Les broches de sortie de la carte Arduino peuvent être utilisées pour contrôler des actionneurs tels que des moteurs, des relais, des LEDs, des servomoteurs, etc. Cela permet d'automatiser des tâches et d'interagir avec l'environnement physique.
- **Traitement des données** : La carte Arduino peut être programmée pour effectuer diverses opérations de traitement des données telles que la filtration, la fusion, la normalisation, ou l'analyse des données acquises à partir des capteurs. Cela peut être utile pour extraire des informations pertinentes, détecter des événements ou des anomalies, ou prendre des décisions en temps réel.
- **Interface utilisateur** : La carte Arduino peut être utilisée pour créer une interface utilisateur pour le système embarqué à l'aide de boutons, de potentiomètres, d'écrans LCD, de claviers, de pavés tactiles, ou même d'interfaces graphiques via un écran tactile ou une connexion à un ordinateur.
- **Fonctionnalités supplémentaires** : En intégrant la carte Arduino dans un système embarqué, il est possible d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires telles que la connectivité Internet, la géolocalisation, la reconnaissance vocale, la reconnaissance faciale, etc., en utilisant des modules supplémentaires ou des bibliothèques logicielles adaptées.

L'intégration de la carte Arduino dans un système embarqué permet d'ajouter des fonctionnalités interactives, de contrôle et de traitement des données, ce qui ouvre de nombreuses possibilités

pour le développement de systèmes intelligents et autonomes dans divers domaines tels que l'automatisation, l'Internet des objets, la robotique, la domotique, la santé, etc.

### **II.4.5. L'importance d'Arduino dans le domaine médical et la surveillance à domicile**

Arduino joue un rôle crucial dans le domaine médical et la surveillance à domicile en offrant une plateforme flexible, abordable et facile à utiliser pour la conception et le déploiement de solutions personnalisées, connectées et innovantes pour la surveillance et la gestion des soins de santé à domicile.

- **Accessibilité et coût** : Arduino offre une plateforme de développement open-source abordable et facile à utiliser, ce qui permet aux ingénieurs, aux chercheurs et aux amateurs de concevoir des dispositifs médicaux et des systèmes de surveillance à domicile à moindre coût.
- **Personnalisation des solutions** : Avec Arduino, il est possible de créer des solutions médicales et de surveillance à domicile personnalisées, adaptées aux besoins spécifiques des patients et des fournisseurs de soins de santé. Cela permet une meilleure prise en charge des patients et une surveillance plus précise des conditions médicales.
- **Intégration de capteurs** : Arduino facilite l'intégration de différents capteurs médicaux, tels que les capteurs d'ECG, les oxymètres de pouls, les thermomètres et les tensiomètres, permettant ainsi le suivi en temps réel des paramètres vitaux des patients.
- **Communication sans fil** : Grâce à la communication sans fil (comme le Wi-Fi, le Bluetooth et le GSM), Arduino permet la transmission des données médicales des patients à distance, ce qui permet aux professionnels de santé de surveiller les patients à domicile de manière efficace et réactive.
- **Éducation et sensibilisation** : Arduino est largement utilisé dans l'éducation et la formation des professionnels de santé, permettant ainsi de sensibiliser aux technologies

## **Chapitre II : La carte Arduino**

de surveillance médicale et de promouvoir l'autonomisation des patients dans la gestion de leur propre santé.

- **Innovation et développement rapide** : La nature open-source d'Arduino favorise l'innovation et le développement rapide de nouvelles applications et de nouveaux dispositifs médicaux, ce qui contribue à l'amélioration continue des soins de santé à domicile et de la surveillance médicale

### **II.5. Conclusion :**

La mise en place de la carte Arduino dans le domaine médical marque une avancée majeure dans notre approche. Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les multiples utilisations de l'Arduino dans le domaine de la santé, en soulignant son importance capitale dans la conception de dispositifs médicaux intelligents, la surveillance médicale à domicile et la recherche médicale.

L'Arduino propose une plateforme flexible et accessible pour concevoir de nombreuses solutions sur mesure qui répondent aux besoins particuliers des patients et des professionnels de santé.

# CHAPITRE III

# **Chapitre III : Les capteurs médicaux**

## **III.1. Introduction**

Les capteurs jouent un rôle essentiel dans le domaine médical moderne, où ils sont utilisés pour capturer, mesurer et transmettre une variété de données physiologiques et environnementales. Leur importance croissante dans les soins de santé est due à leur capacité à fournir des informations précises et en temps réel. Ces capteurs peuvent surveiller des paramètres vitaux tels que le rythme cardiaque, la pression artérielle, la température corporelle, ainsi que des indicateurs biochimiques comme le glucose dans le sang. Leur miniaturisation et leur intégration dans des dispositifs portables facilitent le suivi continu des patients à domicile, améliorant ainsi la gestion des maladies chroniques et permettant une intervention précoce en cas de complications. Ce chapitre est consacré à la description de certains capteurs médicaux.

### **III.1.1. Définition :**

Un capteur est un dispositif qui produit à partir d'une grandeur physique, une grandeur électrique utilisable à des fins de mesure ou de commande (**figure III.1**). Les capteurs sont utilisés dans une multitude de domaines, notamment en électronique, en automatisation industrielle, en médecine, en robotique et dans de nombreux autres secteurs [20].

### **III.1.2. Principe de fonctionnement**

Le fonctionnement d'un capteur s'établit en trois étapes :

#### **a. Détection :**

Le capteur détecte une grandeur physique telle que la température, la lumière ou la pression.

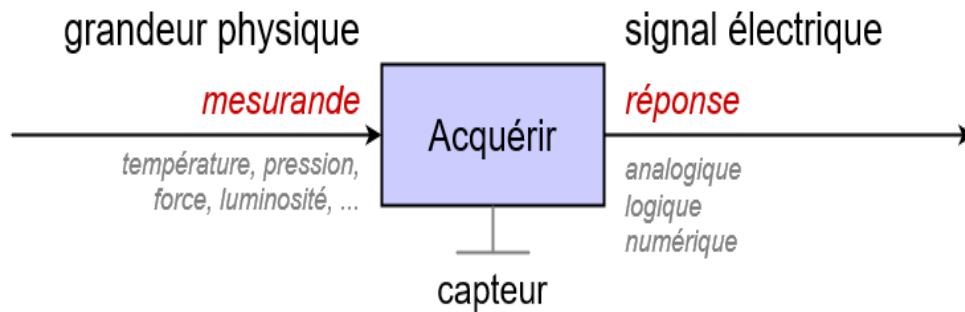
#### **b. Transduction :**

Cette grandeur physique est convertie en un signal électrique. Cette conversion est souvent réalisée via des phénomènes physiques comme la piézoélectricité, la photoélectricité ou la thermoélectricité.

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

### c. Conditionnement du Signal :

Le signal électrique brut est amplifié, filtré ou modulé pour être utilisable. Par exemple, un signal analogique peut être converti en un signal numérique pour être interprété par un micro-contrôleur [21].



**Figure 3.1.** Principe de fonctionnement d'un capteur [20].

## III.2. Les capteurs médicaux :

### III.2.1. Définition

Les capteurs médicaux sont des dispositifs technologiques conçus pour surveiller et mesurer divers paramètres physiologiques du corps humain. Utilisés dans le domaine médical, ces capteurs jouent un rôle crucial dans le diagnostic, le suivi et la gestion des maladies et des conditions de santé. Ils peuvent être intégrés dans des appareils portables, des équipements médicaux ou même implantés dans le corps [22].

- **L'intégration des capteurs dans ces applications médicales**

L'intégration des capteurs dans ces applications médicales connectées permet de réduire les coûts, d'améliorer les résultats et de gérer l'état de santé des patients grâce à des informations fondées sur des données, ce qui contribue à améliorer la qualité des soins prodigués aux patients. De plus, ces technologies de capteurs permettent non seulement de surveiller les équipements et les outils médicaux, mais aussi de contrôler physiquement les fonctions internes

## **Chapitre III : Les capteurs médicaux**

du patient pendant les procédures médicales. Par conséquent, ces capteurs doivent répondre à de nombreux critères pour pouvoir être intégrés dans une application médicale dans le contexte actuel des soins de santé. Le traitement numérique du signal pour améliorer la détection intelligente, de faibles besoins en énergie et l'intégration multi-capteurs afin d'effectuer différents types de mesures. Grâce à l'intégration de ces technologies dans les capteurs médicaux, ils sont de plus en plus souvent présents dans les différentes applications de notre vie quotidienne. Les données recueillies par les capteurs aident les professionnels de la santé à analyser plus rapidement et plus précisément les situations critiques et permettent aux patients d'être mieux informés de l'évolution de leur état de santé [23].

### **III.2.2. Type de capteurs médicaux**

#### **III.2.2.1. Capteur de mesure des signes vitaux**

##### **➤ Capteurs de fréquence cardiaque :**

Les capteurs de fréquence cardiaque sont des appareils qui mesurent le nombre de battements du cœur par minute. Ils fonctionnent en utilisant des techniques de détection du pouls. Ils sont utilisés dans diverses applications, notamment les montres de fitness, les applications médicales pour surveiller la condition physique des patients et détecter les anomalies cardiaques [24,25].

##### **➤ Les capteurs de pression artérielle**

Sont des dispositifs qui évaluent la pression sanguine dans les artères, ce qui est crucial pour détecter et gérer l'hypertension artérielle. On les utilise dans différentes situations, telles que le suivi médical en hôpital ou en cabinet médical, la surveillance à domicile des patients atteints d'hypertension [24].

##### **➤ Capteurs de température corporelle**

Les capteurs de température corporelle sont des appareils essentiels pour mesurer la température du corps humain. Ils jouent un rôle crucial dans la détection et la surveillance de conditions médicales telles que la fièvre. Ces capteurs fonctionnent généralement en utilisant des thermistances ou des thermocouples qui convertissent la chaleur en signaux électriques. Ils

## **Chapitre III : Les capteurs médicaux**

peuvent être placés dans l'oreille, sous la langue, sur la peau pour obtenir une mesure précise [25].

### ➤ **Oxymètres de pouls**

Les oxymètres de pouls sont des appareils médicaux essentiels pour mesurer le taux d'oxygène dans le sang (saturation en oxygène) ainsi que la fréquence cardiaque. Ils sont particulièrement utiles pour les patients souffrant de maladies respiratoires comme l'asthme [24,25].

### ➤ **Capteurs de Glycémie**

Les capteurs de glycémie sont des appareils médicaux qui mesurent la concentration de glucose dans le sang, un indicateur crucial pour les personnes atteintes de diabète. Ces capteurs fonctionnent en utilisant des techniques telles que l'analyse de la réaction enzymatique ou l'absorption de la lumière par le glucose [24,25].

### ➤ **Capteurs électrocardiogramme (ECG)**

La Figure III.2 montre Les capteurs ECG qui mesurent l'activité électrique du cœur. Ils sont utilisés pour surveiller le rythme cardiaque et détecter les anomalies. Ils se composent généralement d'électrodes placées sur la peau du patient qui captent les signaux électriques du cœur [24].

### ➤ **Capteurs électroencéphalogramme (EEG)**

Les capteurs EEG mesurent l'activité électrique du cerveau. Ils sont utilisés pour surveiller les ondes cérébrales et détecter des troubles neurologiques comme l'épilepsie. Ils se composent d'électrodes placées sur le cuir chevelu du patient [25].

### ➤ **Le capteur EMG :**

Les capteurs EMG mesurent l'activité électrique des muscles. Ils sont utilisés pour évaluer la fonction neuromusculaire et détecter des troubles musculaires. Ils se composent d'électrodes placées sur la peau au-dessus des muscles à surveiller [24,25]

# Chapitre III : Les capteurs médicaux

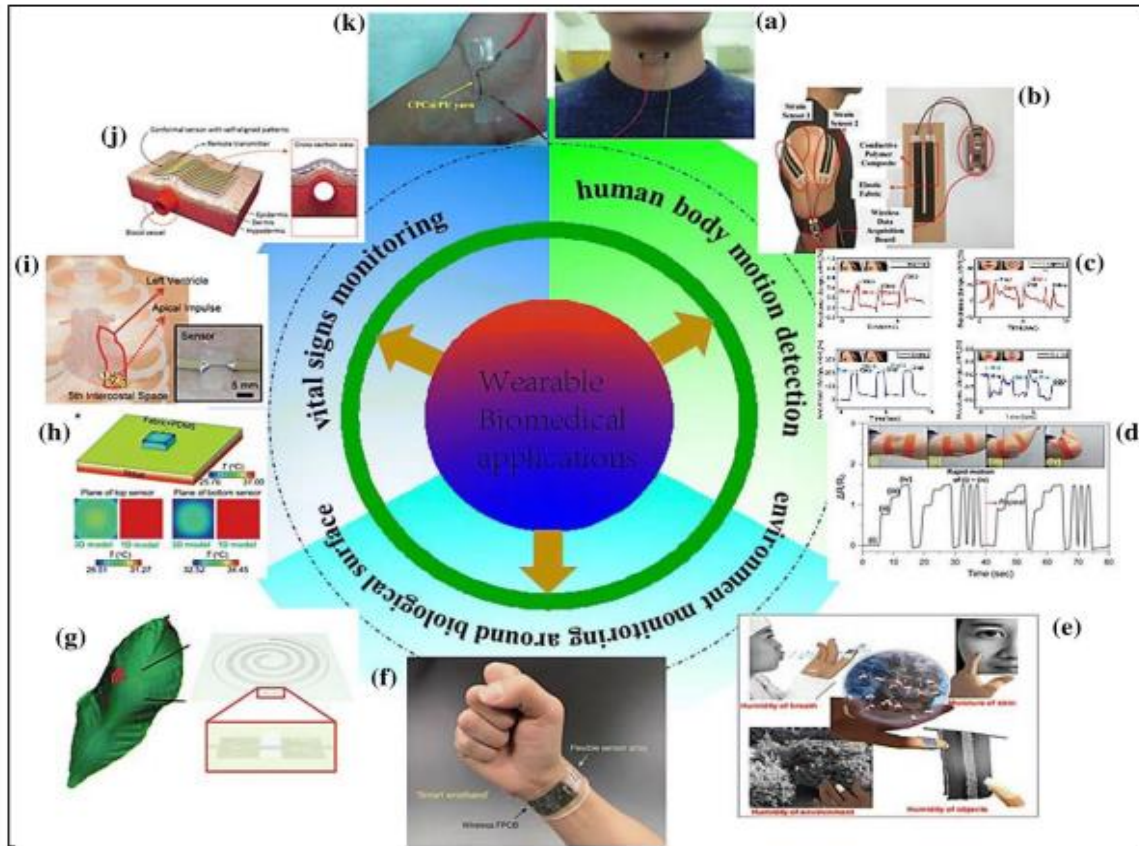


Figure III.2 : Capteurs biomédicaux et leurs utilisations [24].

## III.2.2.2. Les capteurs de surveillance de l'environnement du corps humain

### ➤ Capteurs de Transpiration

Les capteurs de transpiration sont utilisés pour mesurer la quantité de sueur produite par le corps. Cela est important pour surveiller les conditions de chaleur et d'humidité, ainsi que pour détecter des anomalies de la thermorégulation. Ces capteurs sont souvent utilisés dans les applications médicales pour surveiller les patients souffrant de problèmes de thermorégulation, comme la fièvre ou les syndromes de chaleur [25].

### ➤ Capteurs de Température et d'Humidité :

Les capteurs de température et d'humidité sont des outils couramment utilisés pour surveiller les conditions environnementales. Ils peuvent être implantés dans des vêtements intelligent ou portés comme des bijoux pour collecter des données sur la température et l'humidité du corps.

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

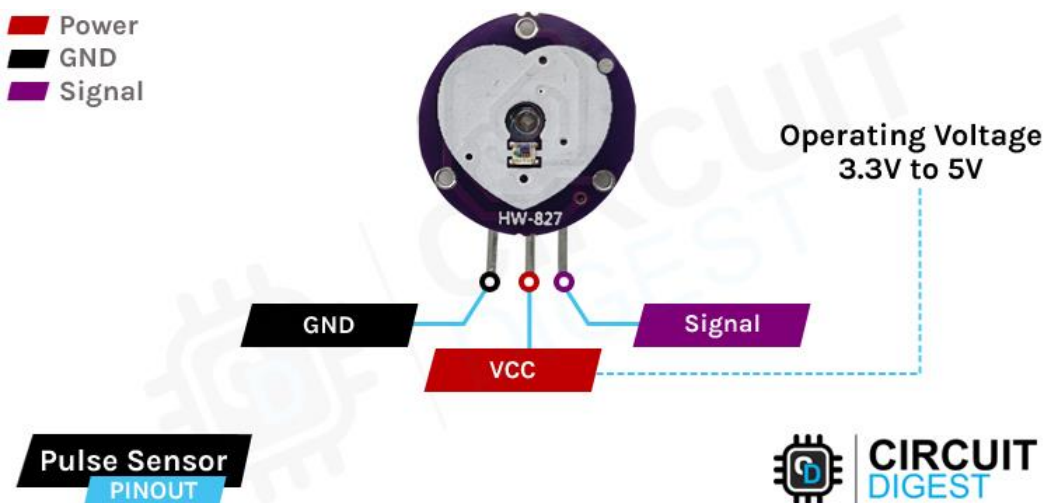
Ces capteurs sont utilisés pour surveiller les patients souffrant de problèmes de température, comme la fièvre, et pour détecter des anomalies de la thermorégulation [25].

### III.3. Les capteurs de maladies cardiovasculaires

#### III.3.1. Capteur de fréquence Cardiaque :

##### III.3.1.1. Définition :

Le capteur de fréquence cardiaque appelé aussi capteur de pouls est un dispositif matériel qui permet de mesurer la fréquence cardiaque en temps réel. Lorsqu'il est couplé à un microcontrôleur Arduino, il devient possible de concevoir un moniteur de fréquence cardiaque simple mais efficace. Ce capteur est remarquablement simple à utiliser : il suffit de placer votre doigt sur le capteur, qui détectera alors le rythme cardiaque en mesurant le changement de lumière résultant de l'expansion des vaisseaux sanguins capillaires [26].



**Figure III.3 :** Les pins du capteur pulse sensor [26].

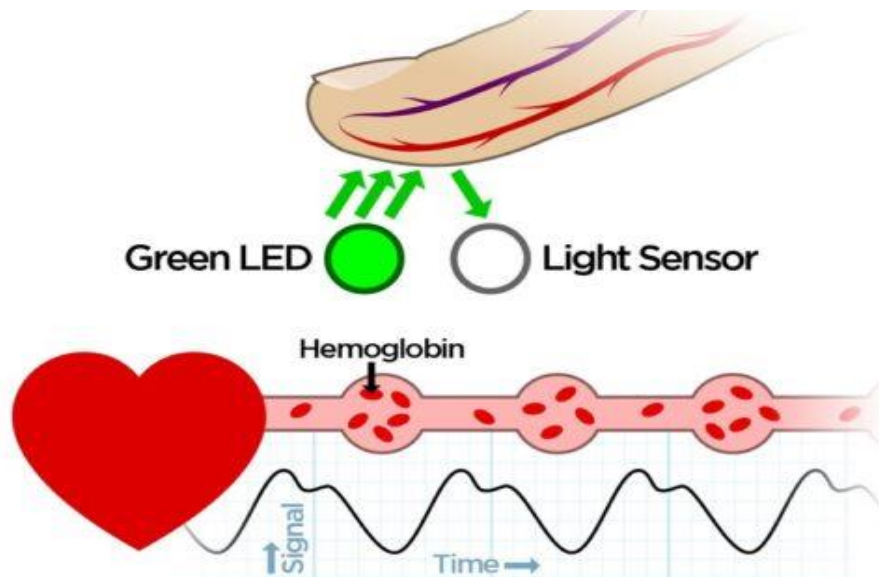
- VCC (Alimentation) : Cette broche doit être connectée à une source de tension comprise entre 3.3V et 5V. Pour un Arduino, elle est généralement connectée à la broche 5V.
- GND (Masse) : Cette broche doit être connectée à la masse (GND) de l'Arduino.

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

- S (Sortie Analogique) : Cette broche fournit un signal analogique qui correspond à la fréquence cardiaque mesurée. Elle doit être connectée à une entrée analogique de l'Arduino, par exemple, A0.

### III.3.1.2. Principe de fonctionnement

Le capteur de pouls fonctionne sur le principe de la photopléthysmographie (PPG), qui est une méthode non invasive pour mesurer les changements de volume sanguin sous la peau. Le capteur se compose essentiellement de deux composants principaux : une diode électroluminescente (LED) qui projette de la lumière dans la peau et un photodétecteur qui mesure la quantité de lumière réfléchi. Voici une explication détaillée de son fonctionnement [27].



**Figure III.4 :** Fonctionnements de capteur de pouls [27].

**Émission de lumière :** Une LED verte émet de la lumière dans la peau.

**Réflexion et détection :** La lumière interagit avec le sang et est partiellement réfléchi, capturée par un photodétecteur.

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

**Fréquence cardiaque :** Les changements de lumière réfléchiée créent une forme d'onde en corrélation avec les battements cardiaques.

**Niveau d'oxygène :** La quantité de lumière réfléchiée indique également les niveaux d'oxygène dans le sang, car le sang oxygéné absorbe plus de lumière verte.

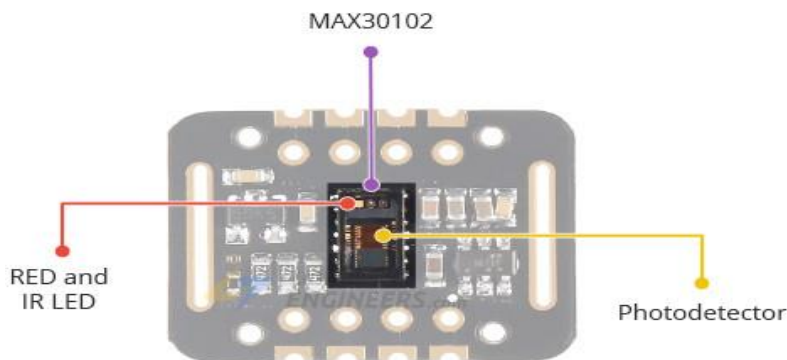
Lecture des données : Enfin, un Arduino lit le signal amplifié et des algorithmes logiciels le traduisent en fréquence cardiaque et potentiellement en niveaux d'oxygène dans le sang [27].

### III.3.2. Capteur MAX30102

#### III.3.2.1. Définition

Le circuit MAX30102 (Figure III.5) est un module intégré d'oxymétrie de pouls et de surveillance du rythme cardiaque (considéré comme le successeur du MAX30100). Il comprend également deux LED internes, un photodétecteur, des éléments optiques et une électronique à faible bruit avec rejet de la lumière ambiante. Ce circuit fournit une solution système complète pour faciliter le processus de conception des appareils mobiles et portables.

Le MAX30102 fonctionne avec une seule alimentation de 1.8 V et une alimentation séparée de 5.0 V pour les LED internes. La communication se fait par une interface standard compatible I2C. Le module peut être arrêté par logiciel avec un courant de veille nul, ce qui permet aux rails d'alimentation de rester sous tension à tout moment [28].



**Figure III.5 :** Présentation du module MAX30102 [28].

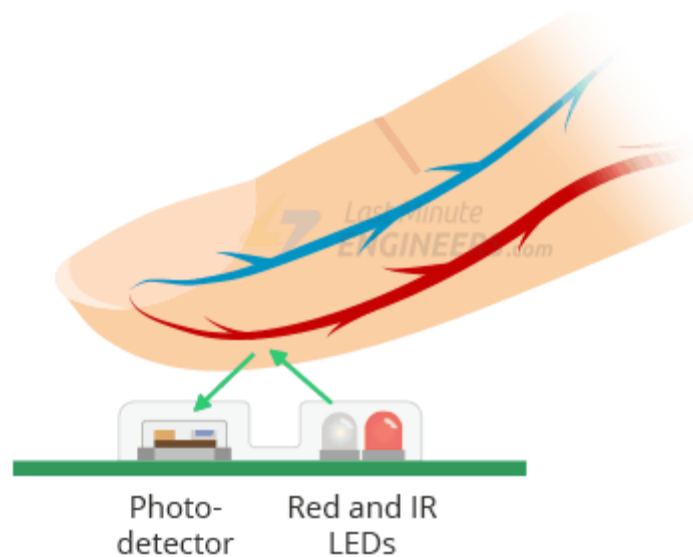
Les deux LED du MAX30102 sont une LED ROUGE et une LED IR. De part et d'autre, il y a un photodétecteur extrêmement sensible. La proposition consiste à allumer une seule LED

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

simultanément, captant la quantité de lumière qui s'écoule vers le détecteur. Ensuite, nous allons mesurer le taux d'oxygène dans le sang et la fréquence cardiaque.

### III.3.2.2. Fonctionnement du capteur MAX30102

Le capteur MAX30102 fonctionne en mesurant la quantité de lumière réfléchiée par le sang. Pour mesurer la fréquence cardiaque, il utilise l'absorption de la lumière infrarouge par l'hémoglobine oxygénée dans le sang artériel. Pour la SpO<sub>2</sub>, il mesure le rapport de la lumière infrarouge et rouge absorbée pour calculer le niveau d'oxygène dans le sang [29].



**Figure III.6 :** Fonctionnement du capteur MAX30102 [29].

Le MAX30102 fonctionne en projetant les deux lumières sur le doigt ou le lobe de l'oreille (ou essentiellement n'importe où la peau n'est pas trop épaisse, de sorte que les deux lumières peuvent facilement pénétrer dans les tissus) et en mesurant la quantité de lumière réfléchiée à l'aide d'un photodétecteur. Cette méthode de détection d'impulsions par la lumière est appelée photopléthysmogramme [29].

- **Mesure de la fréquence cardiaque**

L'hémoglobine oxygénée (HbO<sub>2</sub>) dans le sang artériel a la caractéristique d'absorber la lumière IR. Plus le sang est rouge (plus l'hémoglobine est élevée), plus la lumière infrarouge est

## Chapitre III : Les capteurs médicaux

absorbée. Lorsque le sang est pompé à travers le doigt à chaque battement cardiaque, la quantité de lumière réfléchie change, créant une forme d'onde changeante à la sortie du photodétecteur.

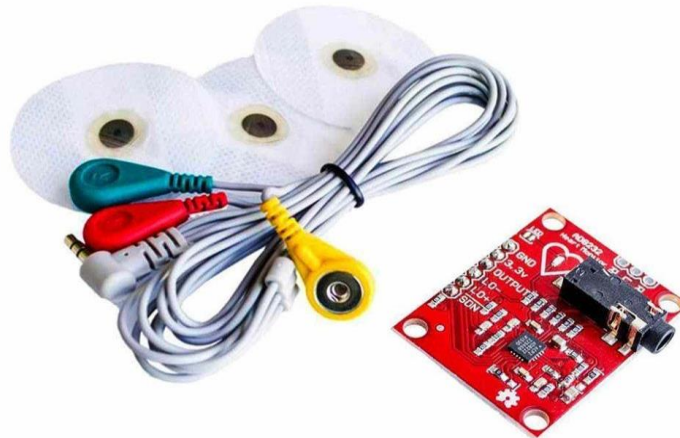
- **Oxymétrie**

L'oxymétrie de pouls est basée sur le principe que la quantité de lumière ROUGE et IR absorbée varie en fonction de la quantité d'oxygène dans le sang.

### III.3.3. L'électrocardiogramme (ECG)

#### III.3.3.1. Définition :

Le module AD8232 (moniteur de fréquence cardiaque) (Figure III.7) est une petite puce utilisée pour mesurer l'activité électrique du cœur. Cette activité électrique peut être représentée sous forme d'électrocardiogramme (ECG), et la sortie de ce module est lue sous forme analogique. L'électrocardiographie est utilisée pour aider à diagnostiquer diverses maladies cardiaques [30]. L'électrocardiogramme, également connu sous le nom d'ECG, est un outil de diagnostic clé en surveillance cardiaque. Il enregistre l'activité électrique du cœur en produisant un tracé graphique des impulsions électriques. ECG est largement utilisé pour détecter et diagnostiquer les problèmes cardiaques tels que les arythmies et les maladies coronariennes, fournissant ainsi des informations précieuses pour les professionnels de la santé.



**Figure III.7 :** Capteur de fréquence cardiaque ECG (module AD8232) [30].

## **Chapitre III : Les capteurs médicaux**

### **III.3.3.2. Caractéristiques de capteur ECG**

Parmi les caractéristiques les plus importantes de module AD8232 [31]:

AD8232 adopte un filtre passe-haut à deux pôles pour éliminer les Artefacts de mouvement et le potentiel de demi-cellule d'électrode.

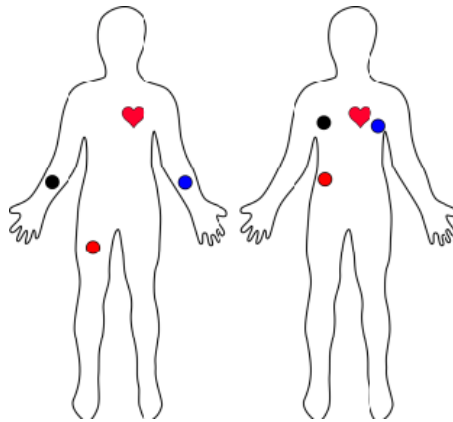
- AD8232 adopte un amplificateur opérationnel sans contrainte pour construire un filtre passe-bas à trois pôles, éliminant les bruits supplémentaires.
- Plage de température nominale :  $[0^{\circ} ; 70^{\circ}]$ .
- Plage de température de travail :  $[-40^{\circ} ; 85^{\circ}]$ .
- SDN, LO +, LO-, SORTIE, 3.3V, GND fournissent les broches essentielles au fonctionnement de ce moniteur avec une carte Arduino ou une autre carte de développement.
- Cette carte contient également des broches RA (bras droit), LA (bras gauche) et RL (jambe droite) pour fixer et utiliser nos propres capteurs personnalisés.
- De plus, il y a un voyant lumineux à LED qui pulsera au rythme d'un battement de Cœur.

### **III.3.3.3 Principe de fonctionnement**

Le capteur ECG obtient des signaux à partir des battements cardiaques car les signaux électriques sont transmis par des voies spécifiques dans le cœur, provoquant les battements cardiaques. Cette activité électrique peut être collectée grâce à des électrodes placées sur la peau, en particulier sur le devant de la poitrine, sur les bras et les jambes.

Le module de capteur AD8232 est intégré à des amplificateurs de signal spécialement calibrés et à des filtres de bruit pour les signaux ECG. La sortie du Le module AD8232 permet d'enregistrer l'activité électrique du cœur, Dans le programme, nous devons effectuer la conversion analogique-numérique, afin de pouvoir observer l'ECG sur le traceur Arduino IDE [32].

## Chapitre III : Les capteurs médicaux



**Figure III.8 :** Emplacement des électrodes de capteur AD8232 [33].

### **III.4. Conclusion**

Les capteurs médicaux cardiovasculaires représentent une avancée technologique cruciale dans le domaine de la santé, offrant des outils précieux pour la surveillance continue et la gestion des maladies cardiaques. Leur capacité à fournir des données en temps réel, à distance et avec une précision accrue ouvre la voie à des soins plus personnalisés et efficaces.

# CHAPITRE IV

# **Chapitre IV : résultats et réalisations**

## **IV. 1. Introduction**

Après avoir donné un aperçu général sur système embarqués en surveillance médicale et les différents instruments Utilisés dans notre projet. Dans ce chapitre nous allons tout d'abord présenter les différents Branchements ainsi que les organigrammes utilisés pour la conception de notre système. Ensuite, les résultats de la simulation obtenus pour vérifier le bon Fonctionnement de tous les capteurs. Nous avons consacré la dernière partie pour présenter les différentes étapes de la réalisation.

- **L'objectif du projet**

Le but de cette conception est de réaliser un système embarqué à base d'Arduino UNO pour assurer la surveillance médicale des personnes malades. Nous avons choisi pour notre projet les malades cardiovasculaires.

- **Le matériel utilisé**

1. Carte Arduino UNO
2. Le capteur HW-827
3. Le capteur AD8232
4. Le capteur Max30102
5. Les fils de connexion et une plaque d'essai.

## **IV.2. Fonctionnement de notre système**

Ce système embarqué nous permet une surveillance continue en temps réel des patients cardiovasculaires. Il améliore la qualité des soins en offrant une détection précoce des anomalies, une gestion personnalisée des maladies chroniques et une intervention rapide en cas d'urgence, Le système utilise divers capteurs pour surveiller les paramètres vitaux du patient Ces capteurs sont connectés à une carte Arduino, qui centralise les données collectées. La carte Arduino reçoit les signaux bruts des capteurs et les traite en temps réel (Filtrage des données...), puis en visualisant nos résultats sur le traceur et moniteur série.

# Chapitre IV : résultats et réalisations

## Organigramme général du système

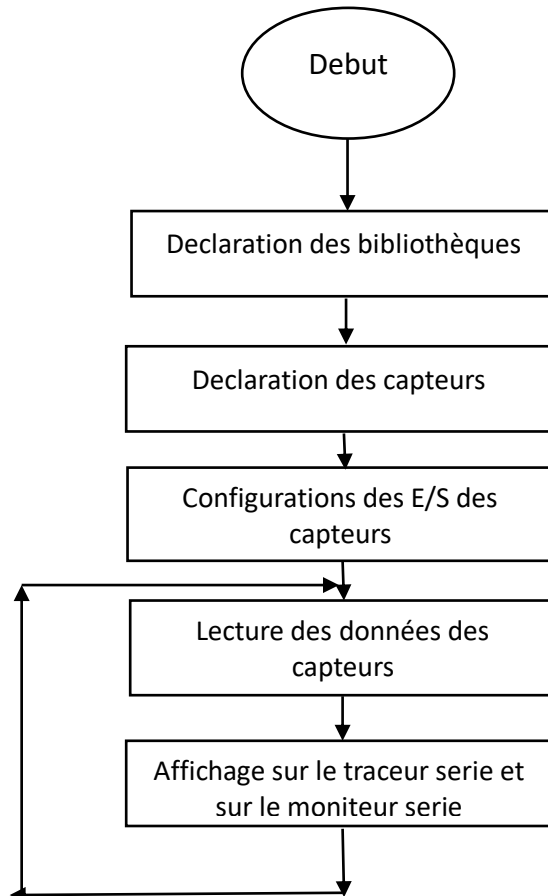


Figure IV.1 Organigramme général

### IV.2.1. Bronchement des capteurs utilisés dans notre système et leurs résultats

#### IV.2.1.1. Capteur de fréquence cardiaque :

Le capteur HW-827 est un capteur numérique, qui utilise une diode électroluminescente (LED) verte pour illuminer la peau et un photodétecteur pour mesurer la variation du volume sanguine.

## Chapitre IV : résultats et réalisations

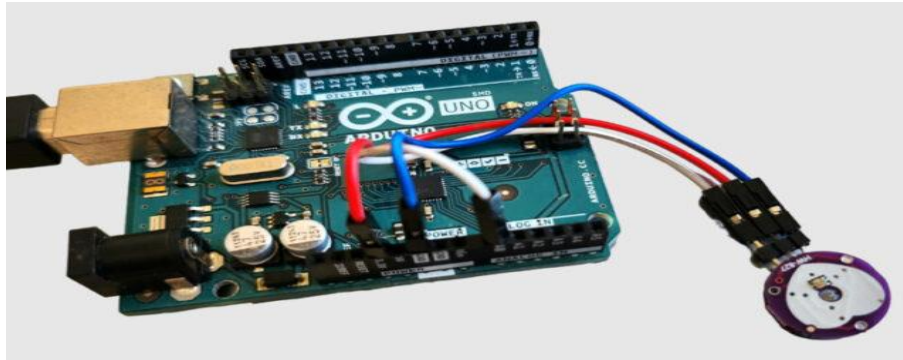


Figure IV.2 branchements de capteur HW827

- Organigramme de capteur HW827

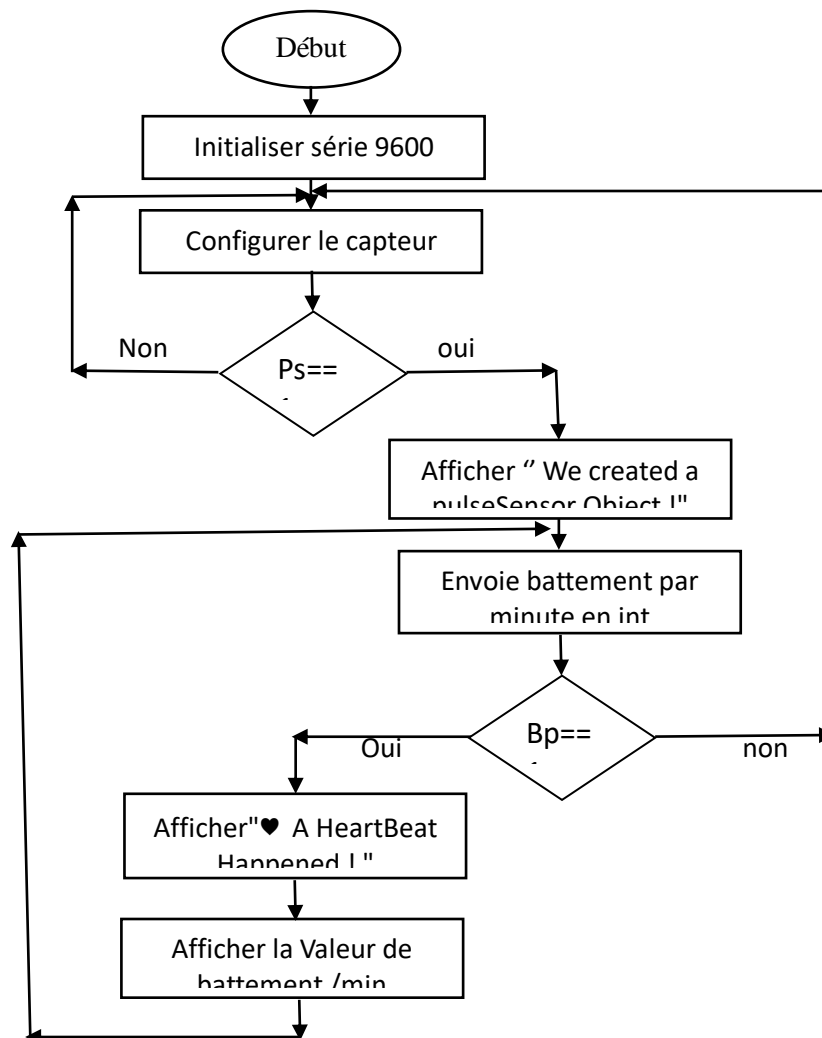


Figure IV.3 : Organigramme de capteur HW827

# Chapitre IV : résultats et réalisations

## IV.3.1. Capteur fréquence cardiaque :

- Résultats sur le moniteur série :

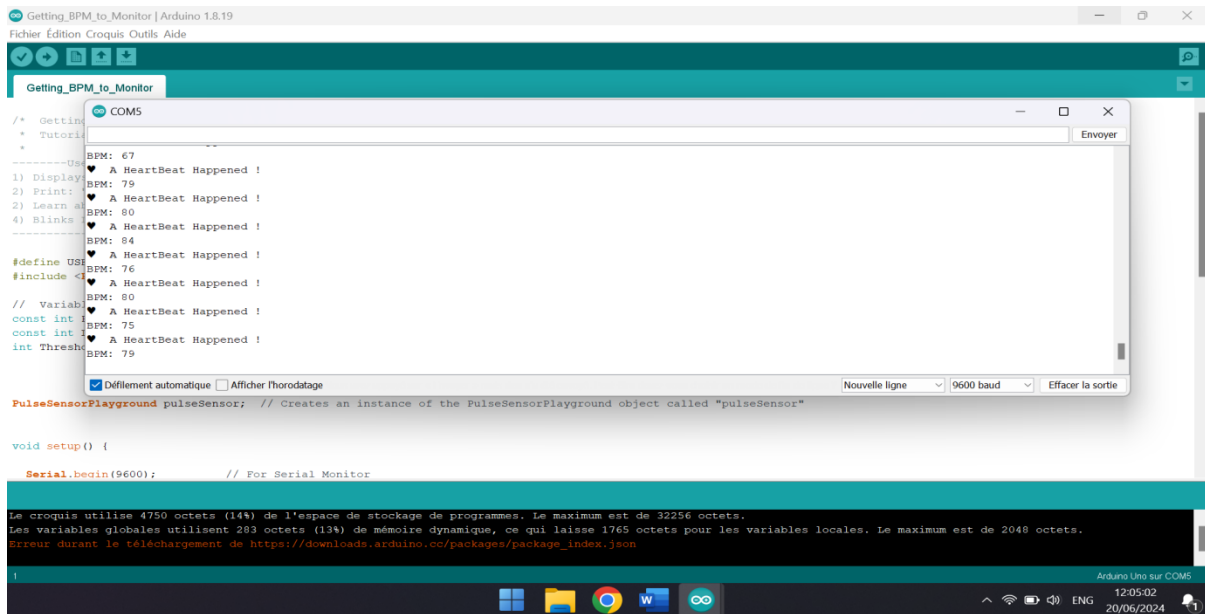


Figure IV.4 : les battements de cœur pour une personne asymptotique

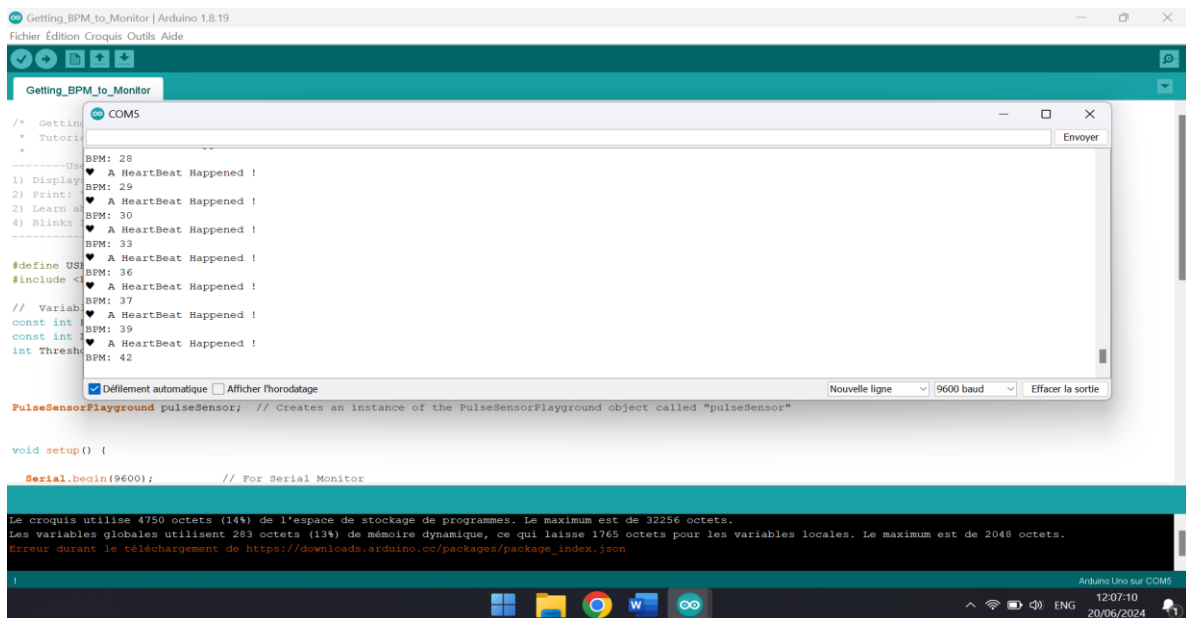


Figure IV.5 : les battements de cœur pour une personne malade

# Chapitre IV : résultats et réalisations

- Résultats sur le traceur série :

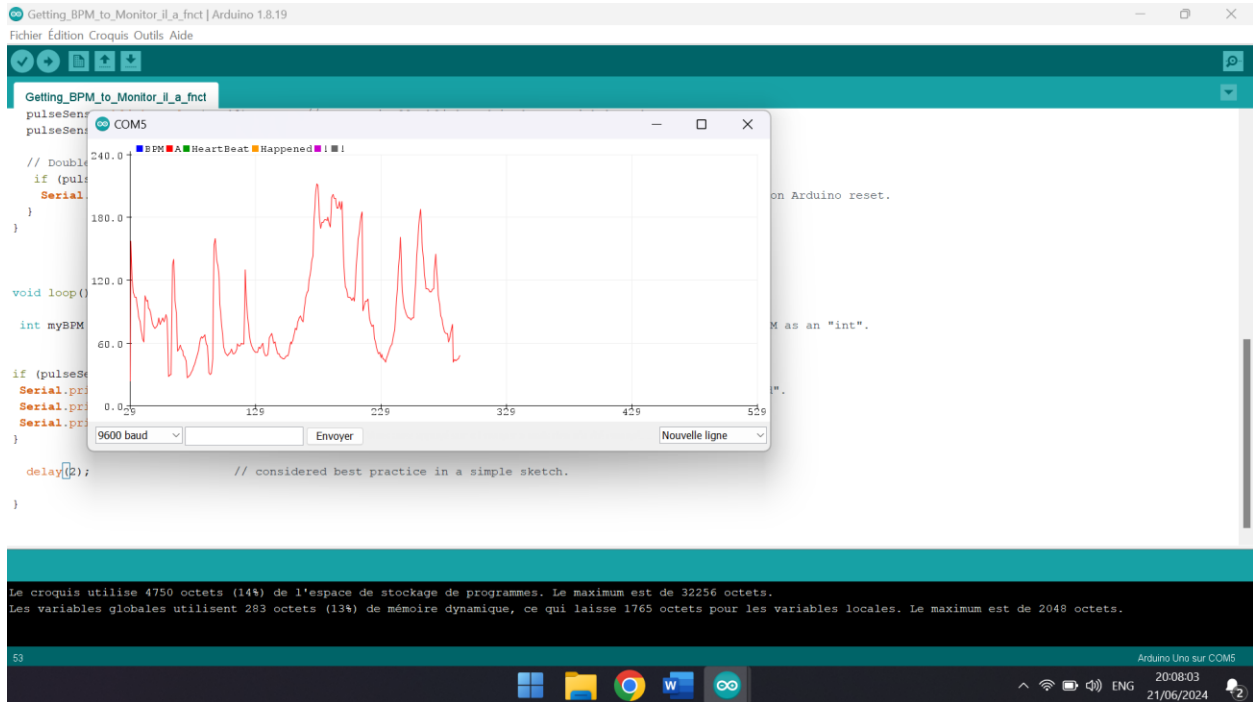


Figure IV.6 : traceurs série de battement de cœur pour une personne asymptotique

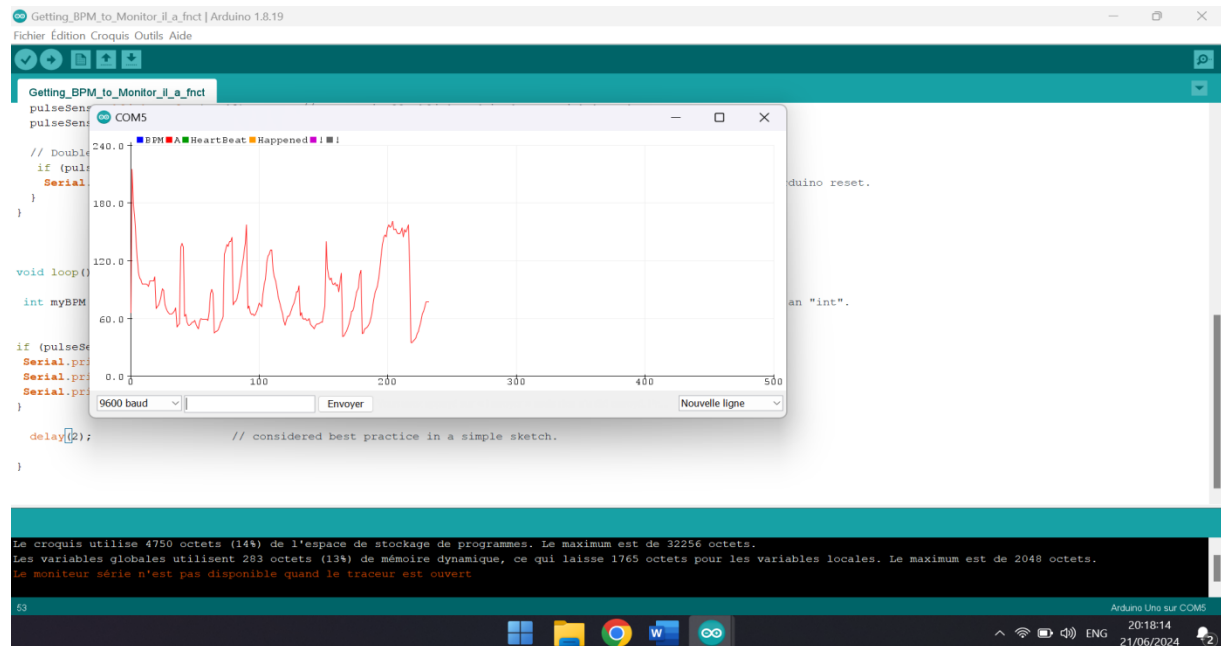


Figure IV.7 : traceurs série de battement de cœur pour une personne malade

## Chapitre IV : résultats et réalisations

### **Explication de la différence entre ces deux personnes :**

Les résultats obtenus à partir du moniteur série du capteur HW827 pour une personne asymptomatique et une personne malade peuvent être expliqués comme suit :

- **Pour une personne asymptomatique :**

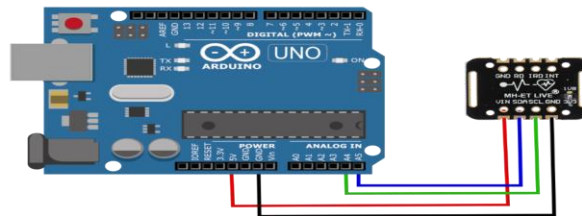
En utilisant le capteur HW827, le moniteur série affiche les battements par minute (Bp) de la personne. Lorsqu'un battement cardiaque est détecté, le moniteur affiche "♥ A HeartBeat Happened !".

- **Pour une personne malade :**

En utilisant le capteur HW827, le moniteur série affiche également les battements par minute (Bp) de la personne malade.

### **IV.2.1.2. Capteur Max30102**

Le capteur MAX30102 est un circuit intégré de pointe qui intègre deux LED (rouge et infrarouge) et un photodétecteur pour mesurer la fréquence cardiaque et la SpO2. Il utilise la technique de photopléthysmographie (PPG) pour détecter les changements d'absorption de lumière dans le sang.



**Figure IV.8 :** branchements du capteur max30102

## Chapitre IV : résultats et réalisations

- Organigramme de capteur MAX30102

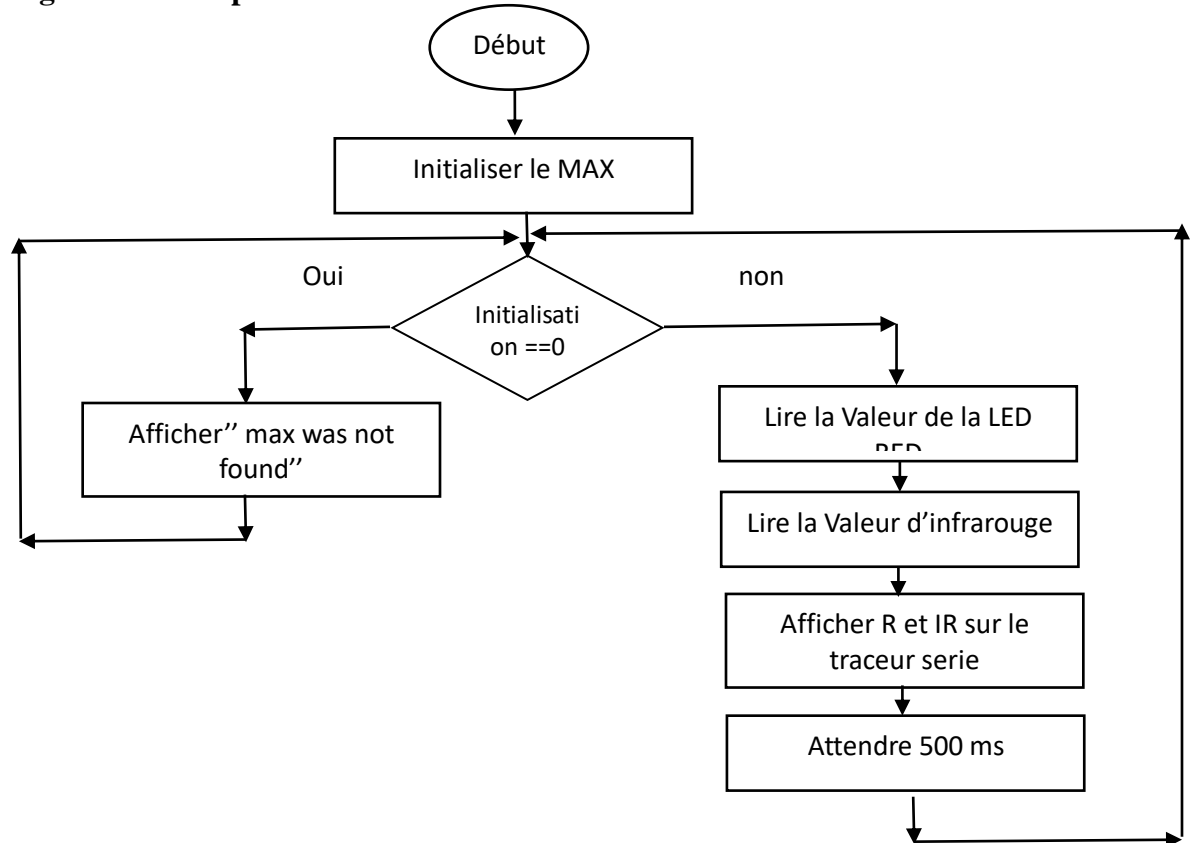


Figure IV.9 : organigramme de capteur MAX30102

- Résultats sur le traceur série

Voici les résultats qu'on a obtenu en le testant sur deux personnes une asymptomatique et l'autre malade :

# Chapitre IV : résultats et réalisations

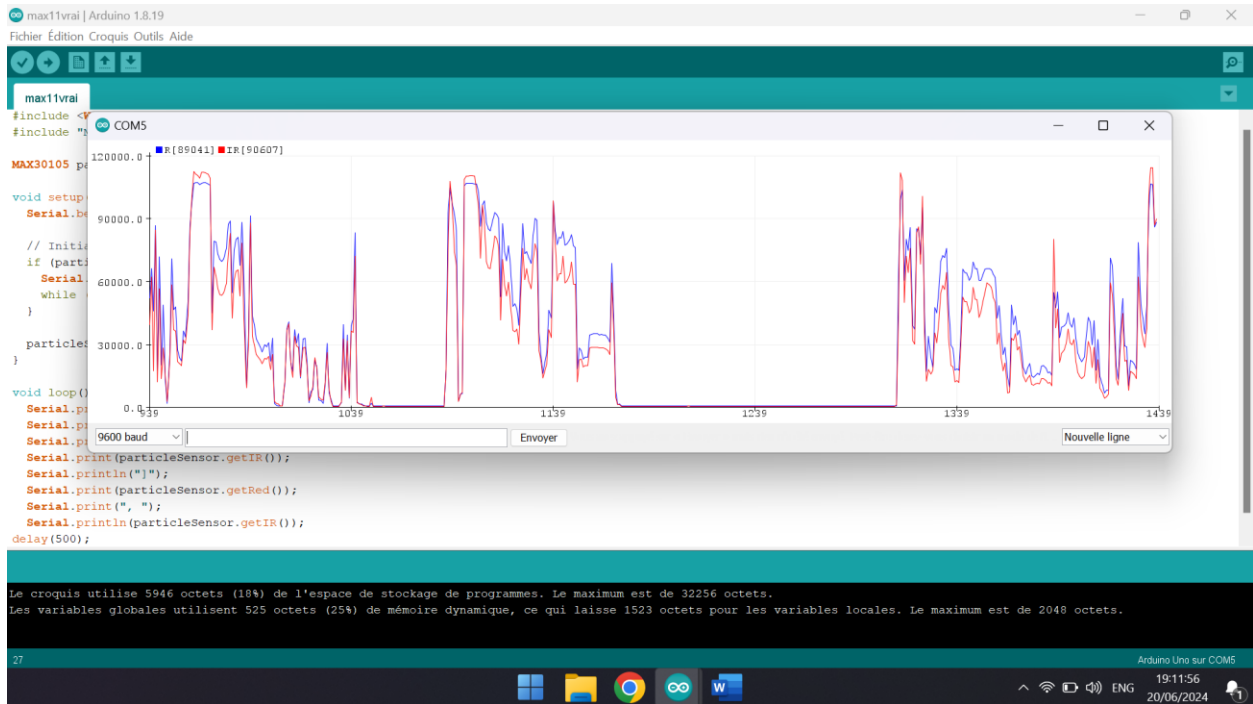


Figure IV.10 : Traceur série Taux d'oxygène dans le sang pour une personne asymptomatique

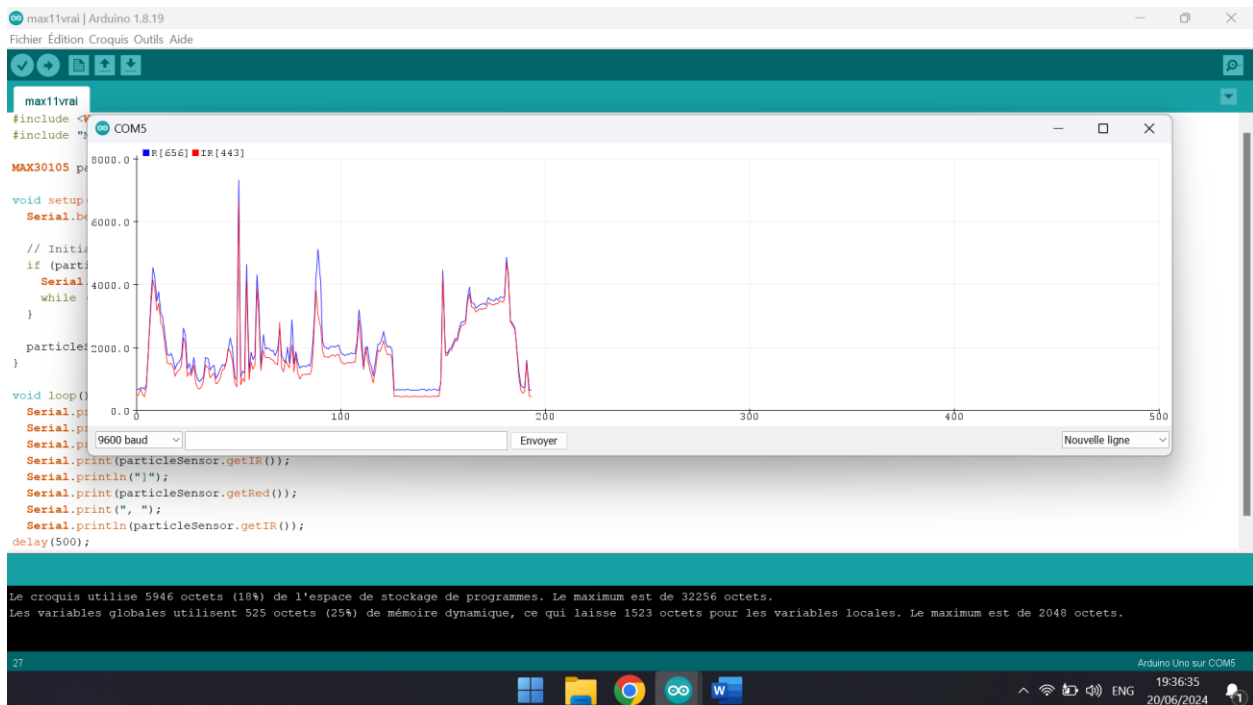


Figure IV.11 : Traceur série Taux d'oxygène dans le sang une personne malade



## **Chapitre IV : résultats et réalisations**

### **Explication de la différence entre ces deux personnes :**

Les résultats obtenus à partir du capteur MAX30102 pour une personne asymptomatique et une personne malade peuvent être expliqués comme suit, avec une comparaison des signaux obtenus :

- **Pour une personne asymptomatique :**

Le capteur MAX30102 mesure la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène de la personne asymptomatique.

Les résultats affichés montrent des signaux réguliers et stables, indiquant une fréquence cardiaque normale et une saturation en oxygène adéquate pour une personne en bonne santé.

- **Pour une personne malade :**

Lorsque le capteur MAX30102 est utilisé pour une personne malade, les signaux peuvent présenter des variations par rapport à ceux d'une personne asymptomatique. Les différences dans les signaux peuvent inclure des fluctuations anormales de la fréquence cardiaque, des variations de la saturation en oxygène, ou des schémas irréguliers qui pourraient indiquer des problèmes de santé.

### **IV.2.1.3. L'électrocardiogramme (ECG)**

L'AD8232 est une petite puce soignée utilisée pour mesurer l'activité électrique du cœur. Cette activité électrique peut être représentée sous forme d'ECG ou d'électrocardiogramme. L'électrocardiographie est utilisée pour aider à diagnostiquer diverses maladies cardiaques.

Ainsi, dans ce projet, nous interfacerons le capteur ECG AD8232 avec Arduino et observerons le signal ECG sur un traceur série ou sur le moniteur série.

## Chapitre IV : résultats et réalisations

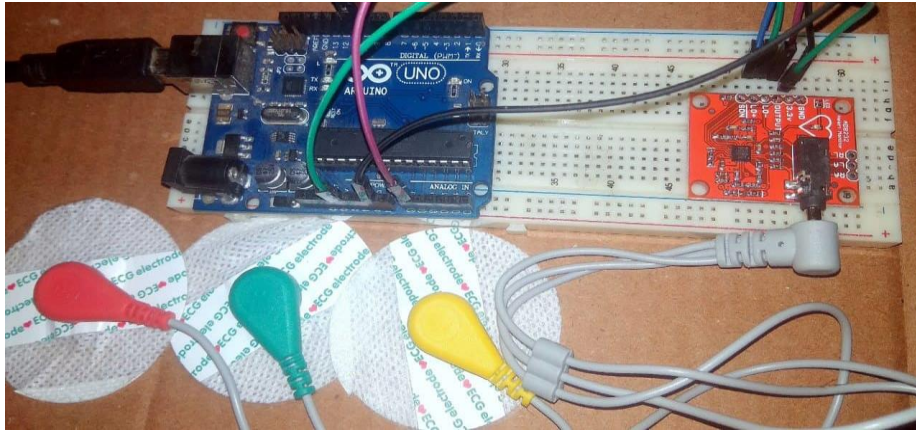


Figure IV.14 : brochage d'un ECG

- Organigramme de capteur AD8232 :

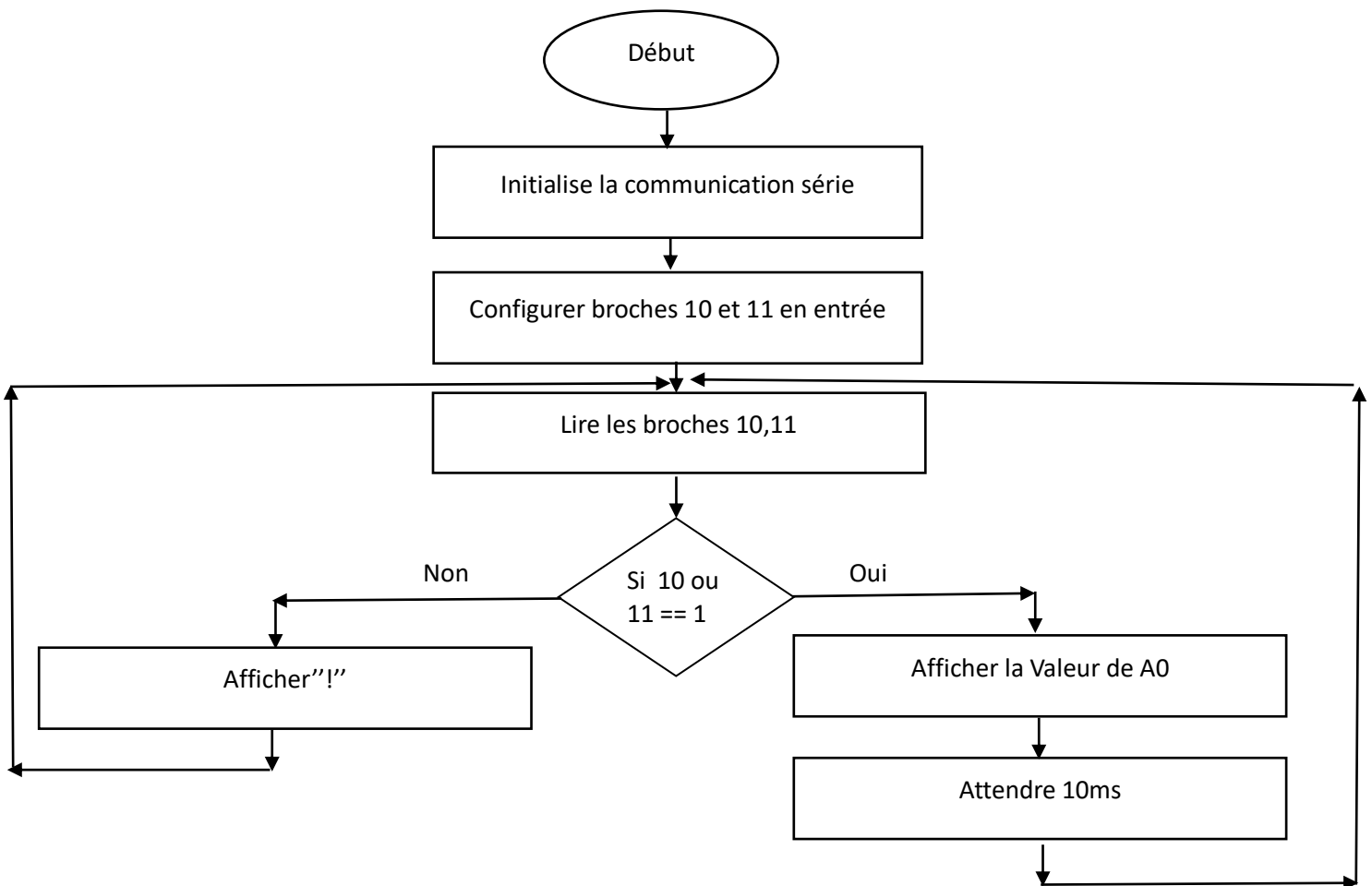


Figure IV.15 : Organigramme de capteur AD8232

# Chapitre IV : résultats et réalisations

- Les résultats sur le traceur série :

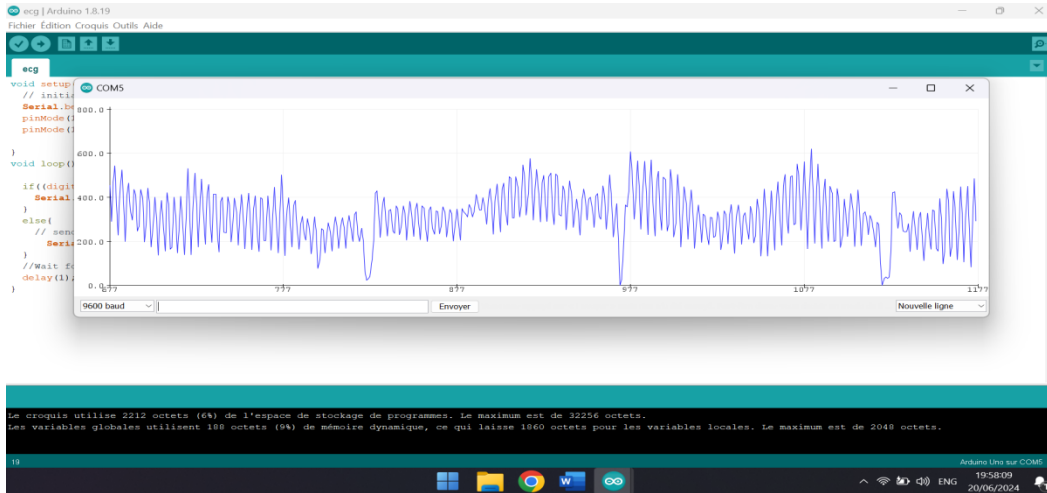


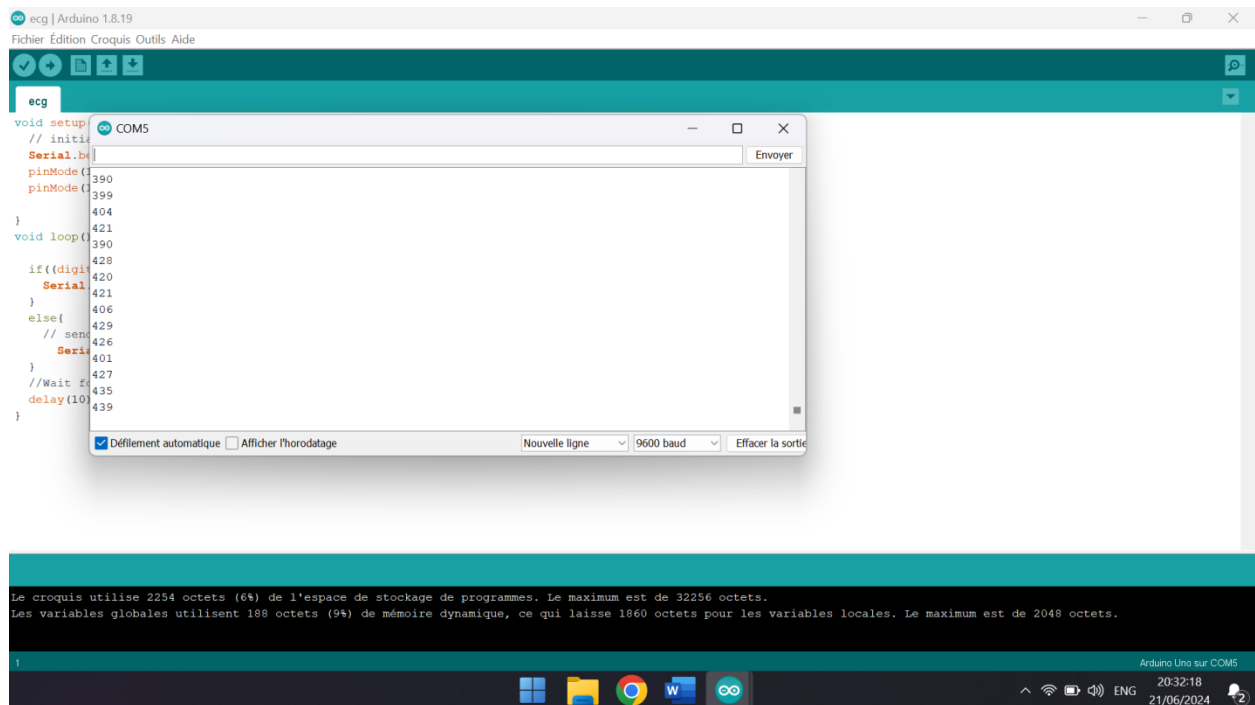
Figure IV.16 : traceur série de Rythme cardiaque pour une personne asymptotique



Figure IV.17: traceur série de Rythme cardiaque pour une personne malade

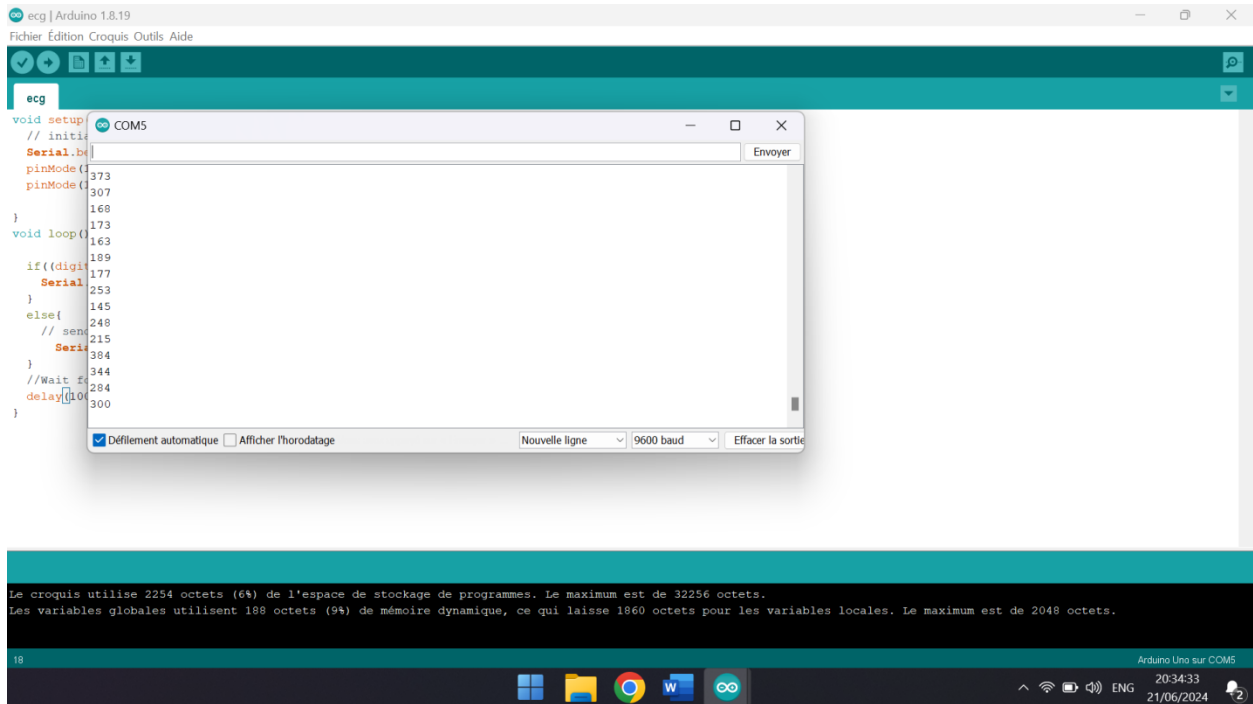
## Chapitre IV : résultats et réalisations

- **Résultats sur le moniteur série :**



**Figure IV.18 :** moniteur série de Rythme cardiaque pour une personne asymptotique

## Chapitre IV : résultats et réalisations



**Figure IV.19 :** moniteur série de Rythme cardiaque pour une personne malade

### **Explications de la différence entre une personne asymptomatique et une personne malade :**

Une personne asymptomatique présentera un ECG avec des ondes et des segments réguliers, indiquant un fonctionnement cardiaque normal.

En revanche, une personne malade peut présenter des anomalies sur son ECG, telles que des modifications dans la forme des ondes, des intervalles prolongés ou raccourcis, des segments anormaux, etc.

Circuits finals de notre projet :

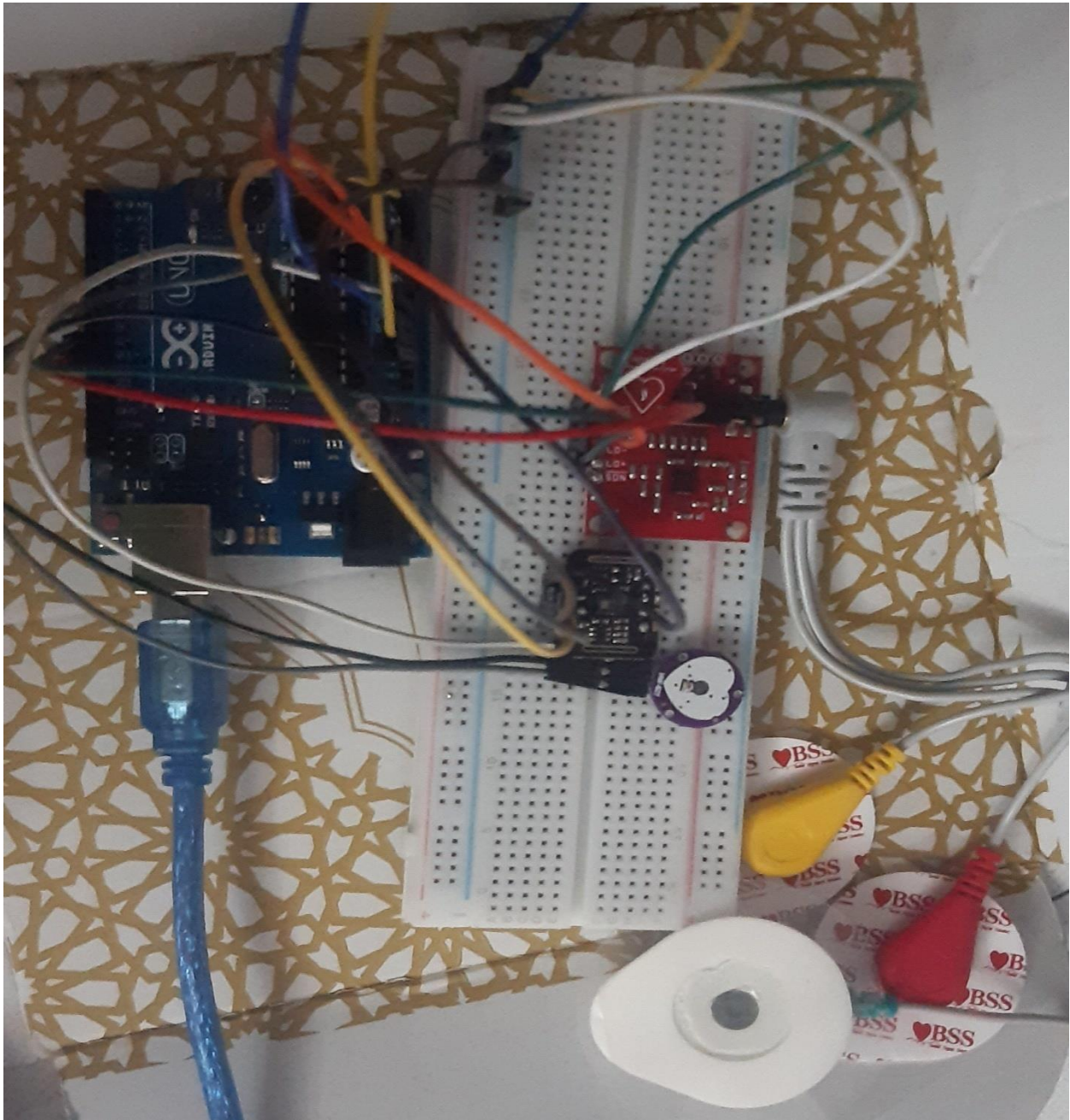


Figure IV.20 : les composants de notre Système

### IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par décrire en premier lieu, les étapes de réalisation de notre système ainsi que les différents organigrammes de fonctionnement des capteurs. Par la suite nous avons exposé les résultats de chaque capteur, et nous avons pu faire une étude comparative entre une personne malade et une autre asymptotique en utilisant ce système de surveillance médicale.

CONCLUSION

ET

PERSPECTIVE

# **Conclusion générale et perspectives**

## **Conclusion Générale**

Le développement d'un système embarqué communicant à base d'Arduino pour la surveillance des patients atteints de maladies cardiovasculaires représente une avancée significative dans le domaine de la santé connectée. Ce projet démontre comment les technologies modernes peuvent être appliquées pour améliorer la qualité de vie des patients, fournir des données en temps réel aux professionnels de santé, et potentiellement sauver des vies grâce à une surveillance continue et précise.

Tout au long de ce projet, nous avons exploré les divers aspects des systèmes embarqués, notamment leur application dans le domaine médical. Nous avons choisi des composants matériels adaptés, tels que la carte Arduino et les capteurs de fréquence cardiaque, pour créer un dispositif fiable et efficace. L'étude et la réalisation du système ont été détaillées, mettant en avant les défis techniques et les solutions adoptées pour intégrer les différents modules de communication et capteurs.

Les résultats obtenus ont été analysés pour évaluer la performance et l'acquisition des données du système dans un environnement réel. Les tests effectués ont montré que notre système peut collecter et transmettre des données vitales de manière fiable, offrant ainsi un outil précieux pour la surveillance médicale.

En conclusion, ce projet illustre le potentiel des systèmes embarqués pour révolutionner la surveillance médicale. La plateforme Arduino, avec ses nombreux avantages, a permis de développer un système à la fois flexible, abordable et efficace.

## **Perspectives**

Les perspectives d'amélioration et d'extension de ce projet sont nombreuses, incluant l'ajout de nouvelles fonctionnalités, citons par exemple :

- Agrandir la maquette de réalisation pour pouvoir ajouter davantage d'autres capteurs.
- L'optimisation de l'autonomie du dispositif et l'intégration avec d'autres plateformes de santé connectée.

## **Conclusion générale et perspectives**

Ce travail ouvre la voie à de nouvelles recherches et développements dans le domaine des systèmes de surveillance médicale, contribuant ainsi à une meilleure gestion des maladies cardiovasculaires et à l'amélioration globale des soins de santé. La mise en œuvre de telles solutions innovantes est essentielle pour répondre aux défis actuels et futurs de la médecine moderne, en plaçant les technologies au service de la santé et du bien-être des individus.

# BIBLIOGRAPHIE

# Bibliographies

## **Bibliographie :**

- [1]<https://fr.parasoft.com/blog/what-are-embedded-systems/>
- [2]<https://optimaje.com/blog/2019/01/lhistoire-des-systemes-embarques/>
- [3]<https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/systemes-embarques-un-defi-economique-dans-les-mains-de-la-recherche-11138/>
- [4]<https://www.catspowerdesign.fr/actualites/systeme-embarque>
- [5] Faked Djouher et Noui Rima <<Conception Et Réalisation D'un Système Embarqué Intelligent Pour Les Applications Biomédicales >> mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES,2022
- [6]<https://www.avf-biomedical.com/blog/conseils/comment-choisir-materiel-monitorage-signes-vitaux/>
- [7] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10341307/>
- [8] HASNA BOUDRA<< un prototype de système de télésurveillance médicale base sur les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil>> mémoire de fin d'étude, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL, FÉVRIER 2014
- [9]<https://fastercapital.com/fr/contenu/Systemes-d-alerte-medicale---comment-les-systemes-d-alerte-medicale-peuvent-aider-les-personnes-agees-et-handicapees-en-matiere-de-surveillance-et-d-urgence.html>
- [10][https://www.devicemed.fr/dossiers/composants-oem/electriques\\_electroniques/integration-de-systemes-informatiques-pour-le-medical/30386](https://www.devicemed.fr/dossiers/composants-oem/electriques_electroniques/integration-de-systemes-informatiques-pour-le-medical/30386)
- [11]<https://www.elsys-design.com/fr/offre/secteurs-activite/medical/>
- [12] Garti Chahrazad et Hales Dyhia <<Etude de l'implémentation de ARM Cortex M3 dans un système embarqué>> Mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2018
- [13][teleconsultation-medicale.fr](http://teleconsultation-medicale.fr)
- [14] <http://blog.ac-versailles.fr/technopeguy/public/Programmation/Arduino.pdf>
- [15]<https://www.locoduino.org/spip.php?article8>
- [16] Manamani Yassine << Amélioration des fonctionnalités de l'horloge géante de la FSSA>> mémoire de fin d'étude, université Akli Mohand oulhadj de bouira,2019
- [17] Erik Bartmann, LE GRAND LIVRE D'ARDUINO ;2 EME génération. 05/07/2020.
- [18] Karima CHEBLI Lilia LAOUFI <<Conception et réalisation d'un ECG à deux électrodes à base d'une carte Arduino UNO>> mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2016

## Bibliographies

- [19] SENOUS Farah Ibtissem et RAHOUI Zineb <<Etude et conception d'un système de surveillance médicale basé sur Arduino >> mémoire de fin d'étude, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2020
- [20] <https://si.blaise-pascal.fr/1t-les-capteurs/>
- [21] [http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les\\_capteurs.htm](http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les_capteurs.htm)
- [22] Smith, B., & Jones, M. (2020). "Advances in Medical Sensor Technology: Applications and Future Directions". *Journal of Medical Engineering & Technology*, 44(3), 123-145.
- [23] Society Byte. (2023, 8 septembre). Capteurs dans le domaine de la santé – Données de capteurs et algorithmes (2e partie).
- [24] Samir BOULDJADJ <<Sûreté de fonctionnement des Réseaux de Capteurs Médicaux2020>> thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas -Sétif 1, 2020
- [25] Q. Gao et al., "Highly stretchable sensors for wearable biomedical applications," *Journal of materials science*, vol. 54, no. 7, pp. 5187-5223, 2019.
- [26] [Moniteur de fréquence cardiaque \(BPM\) à l'aide d'Arduino et d'un capteur de pouls \(how2electronics.com\)](http://how2electronics.com)
- [27] Wan, J., A. A. H. Al-awlaqi, M., Li, M. et al. Wearable IoT enabled real-time health monitoring system. *J Wireless Com Network* 2018, 298 (2018).
- [28] PAPE SÉMOU DIOUF << Réalisation d'un système connecte pour le suivi en temp-réel du rythme cardiaque et de la saturation d'oxygène chez les patients atteints d'arythmie cardiaque>> mémoire de fin d'étude, université du Québec, Décembre 2022
- [29] <https://lastminuteengineers.com/max30102-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/>
- [30] Dr. Mamta C. Padole, Pratik Kanani. IoT based Eye Movement Guided Wheelchair driving control using AD8232 ECG Sensor. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2019,8(4):5013-5017
- [31] Hamad. Remote ECG signal monitoring and classification based on Arduino with AD8232 sensor. *Thi-Qar University Journal for Engineering Sciences*. April 2021. 11.2
- [32] <https://www.circuitschools.com/ecg-monitoring-system-using-ad8232-with-arduino-or-esp32-iot-based/>