

Rapport Technique

PROJET : Conception et réalisation d'un dispositif
ECG Holter intégrant L'IA

Groupe 11 : Pape Diere BODIAN
Mame Diara FAYE
Djiby LOUM
Cheikh SECK
Khady NDOUR(SSi)
Abdoulaye Wade MANE

Professeur : Pr Idy DIOP

I. Contexte	3
I. Problématique	4
III. Objectif	5
IV. Besoins Fonctionnels	5
1. Expression des besoins	5
1.1. Fonctionnalités pour le patient :	5
a. Réception d'alertes d'anomalie:	6
b. Réception d'alertes de dysfonctionnement des électrodes:	6
c. Notification sur téléphone:	6
1.2. Fonctionnalités pour le médecin :	6
a. Visualisation des données enregistrées en temps réel:	7
b. Visualisation des prédictions du modèle d'IA:	7
c. Impression des analyses pertinentes:	7
2. Diagramme de comportement	8
2.1. Diagramme de cas d'utilisation	8
2.1.1 Fiches Textuelles	9
2.2. Diagramme de séquence	11
V. Besoins non Fonctionnels	13
1. Performance	13
2. Sécurité	13
3. Fiabilité	14
4. Efficacité	14
VI. Technologies utilisées	14
VII. Conception	17
1. Diagramme de définition de blocs	17
2. Les composants de ECG HOLTER	18
2.1 Enregistreur Holter:	19
2.2 Électrodes :	19
2.3. Logiciel d'analyse :	19
2.4. Batterie ou alimentation :	19
3. Proposition de solution	20
● Capteur ECG AD8232	20
● L'ESP32	21
● Schéma de circuit : interface du capteur ECG AD8232 avec ESP32	22
● Placement du capteur ECG AD8232 sur le corps	23
4. Simulation du Prototype (Sous Proteus)	23
5. Plateforme de Visualisation	25
Conclusion	26

Introduction

L'électrocardiographie Holter, souvent abrégée en Holter, est une technique de surveillance de l'activité électrique du cœur sur une période prolongée. Contrairement aux

électrocardiogrammes (ECG) conventionnels, qui enregistrent l'activité cardiaque pendant de courtes périodes lors de visites médicales, l'Holter permet un suivi continu sur 24 ou 48 heures, voire plus. Cette approche offre une vue plus complète du rythme cardiaque du patient dans des conditions réelles, tout en lui permettant de mener ses activités quotidiennes normales.

I. Contexte

Dans un contexte où l'accessibilité aux soins de santé est cruciale et où les coûts des dispositifs médicaux peuvent être prohibitifs, il est essentiel de rechercher des solutions innovantes pour rendre la surveillance cardiaque plus abordable, pratique et efficace. Dans cette optique, nous envisageons la conception et la réalisation d'un dispositif équivalent à un ECG Holter, mais à moindre coût, intégrant l'intelligence artificielle (IA) pour une précision de mesure accrue, et permettant l'accès à distance aux données, éliminant ainsi le besoin d'une présence physique pour l'interprétation des résultats

I. Problématique

Dans un monde où les ressources médicales sont souvent limitées et où l'accès à des soins de santé de qualité est un défi, comment pouvons-nous concevoir et mettre en œuvre une solution innovante, abordable et accessible à distance pour la surveillance continue de l'activité cardiaque, tout en intégrant l'intelligence artificielle pour une interprétation précise des données et une détection proactive des anomalies cardiaques ?

Cette problématique soulève plusieurs questions clés :

1. Comment pouvons-nous rendre la surveillance cardiaque continue plus accessible financièrement, notamment pour les populations à faible revenu ou dans les régions éloignées ?
2. Quels capteurs et technologies devraient être utilisés pour enregistrer de manière fiable l'activité électrique du cœur sur une période prolongée tout en minimisant les coûts ?
3. Comment pouvons-nous intégrer efficacement l'intelligence artificielle dans le processus d'analyse des données pour garantir une interprétation précise et une détection proactive des anomalies cardiaques ?

4. Quelles sont les considérations liées à la sécurité et à la confidentialité des données lors de la transmission et du stockage des informations médicales sensibles à distance ?
5. Comment assurer la convivialité et l'acceptabilité du dispositif auprès des utilisateurs, en tenant compte de facteurs tels que le confort, la portabilité et la facilité d'utilisation ?

III. Objectif

L'objectif de ce projet est de concevoir, développer et mettre en œuvre un dispositif ECG Holter intégrant l'intelligence artificielle, afin de permettre une surveillance continue de l'activité cardiaque à distance, avec une précision de mesure élevée et à un coût abordable.

Cet objectif se décompose en plusieurs sous-objectifs :

1. Conception du Dispositif : Développer un dispositif compact, portable et confortable pour l'enregistrement continu de l'activité électrique du cœur sur une période prolongée.
2. Intégration de l'IA : Mettre en place des algorithmes d'intelligence artificielle avancés pour l'analyse automatique des données ECG, permettant la détection précoce et précise des anomalies cardiaques.
3. Accessibilité à Distance : Développer une plateforme en ligne sécurisée permettant aux utilisateurs et aux professionnels de la santé d'accéder aux données enregistrées, de visualiser des rapports d'analyse et de recevoir des alertes en temps réel en cas de détection d'anomalies.
4. Réduction des coûts : Identifier et intégrer des composants et des technologies abordables pour rendre le dispositif accessible à un large éventail de patients, y compris ceux à faible revenu ou dans des régions éloignées.
5. Validation clinique : Effectuer des tests cliniques pour évaluer l'efficacité et la précision du dispositif par rapport aux normes médicales et aux dispositifs traditionnels d'ECG Holter.

IV. Besoins Fonctionnels

1. Expression des besoins

Nous avons deux acteurs principaux : le patient et le médecin

1.1. Fonctionnalités pour le patient :

a. Réception d'alertes d'anomalie:

- Le patient doit être immédiatement notifié en cas de détection d'anomalies cardiaques significatives telles que des arythmies, des bradycardies ou des tachycardies.
- Les alertes doivent être claires, concises et fournir des instructions sur les mesures à prendre, telles que la consultation d'un médecin ou la recherche d'une aide médicale d'urgence.
- Le patient doit avoir la possibilité de personnaliser les alertes en fonction de ses préférences et de ses besoins.

b. Réception d'alertes de dysfonctionnement des électrodes:

- Le patient doit être immédiatement averti chaque fois que les électrodes semblent se détacher du corps.
- L'alerte doit inclure des instructions sur la façon de fixer les électrodes correctement.
- Le système peut également fournir des conseils pour éviter que les électrodes ne se détachent à l'avenir.

c. Notification sur téléphone :

- Le patient doit recevoir des notifications push sur son téléphone pour être informé à chaque fois de son état de santé et obtenir des conseils en fonction des analyses.

- Les notifications doivent être personnalisables pour inclure uniquement les informations pertinentes pour le patient.
- Le patient doit avoir la possibilité de désactiver les notifications s'il le souhaite.

1.2. Fonctionnalités pour le médecin :

a. Visualisation des données enregistrées en temps réel:

- Le médecin doit avoir la possibilité de visualiser les données ECG sous forme de diagrammes clairs et faciles à comprendre.
- Les diagrammes doivent inclure des informations telles que la fréquence cardiaque, la pression artérielle et la saturation en oxygène.
- Le médecin doit pouvoir zoomer et dézoomer sur les données et naviguer facilement dans l'enregistrement.

b. Visualisation des prédictions du modèle d'IA:

- Le médecin doit être en mesure de voir les prédictions du modèle d'IA et les interprétations.
- Les prédictions doivent être affichées clairement et de manière concise, avec des explications sur la confiance du modèle dans ses prédictions.
- Le médecin doit pouvoir comparer les prédictions du modèle d'IA à son propre jugement clinique.

c. Impression des analyses pertinentes :

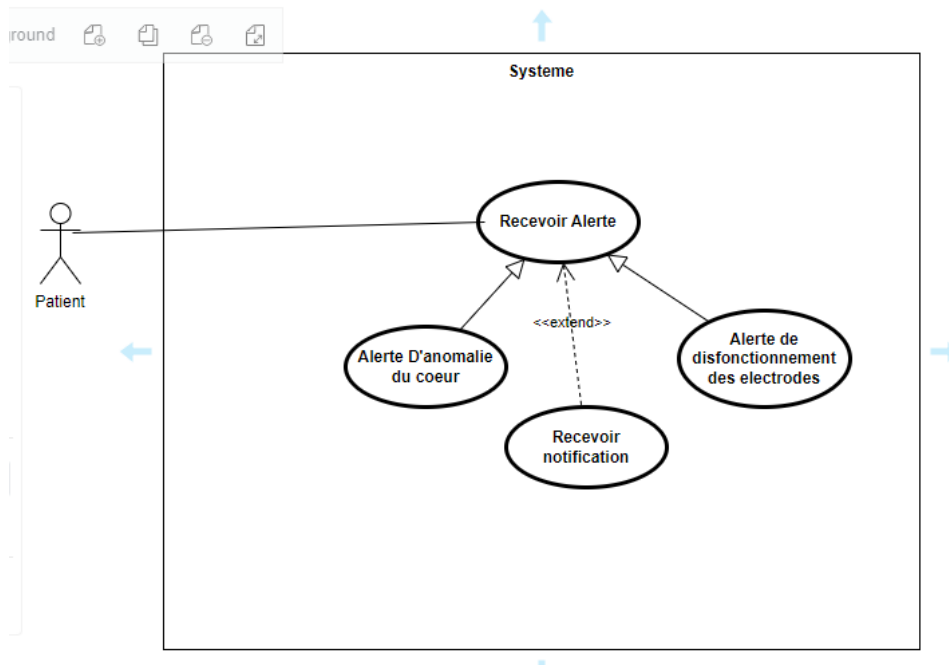
- Le rapport imprimé doit inclure les tracés ECG annotés avec les événements significatifs, les statistiques descriptives telles que la fréquence cardiaque moyenne, les intervalles cardiaques, etc.

- Les analyses doivent également inclure les résultats des prédictions du modèle d'IA dans le rapport imprimé, avec des explications sur les différentes anomalies détectées.
- Le rapport doit être clair, concis et facile à comprendre par les médecins et les autres professionnels de la santé.

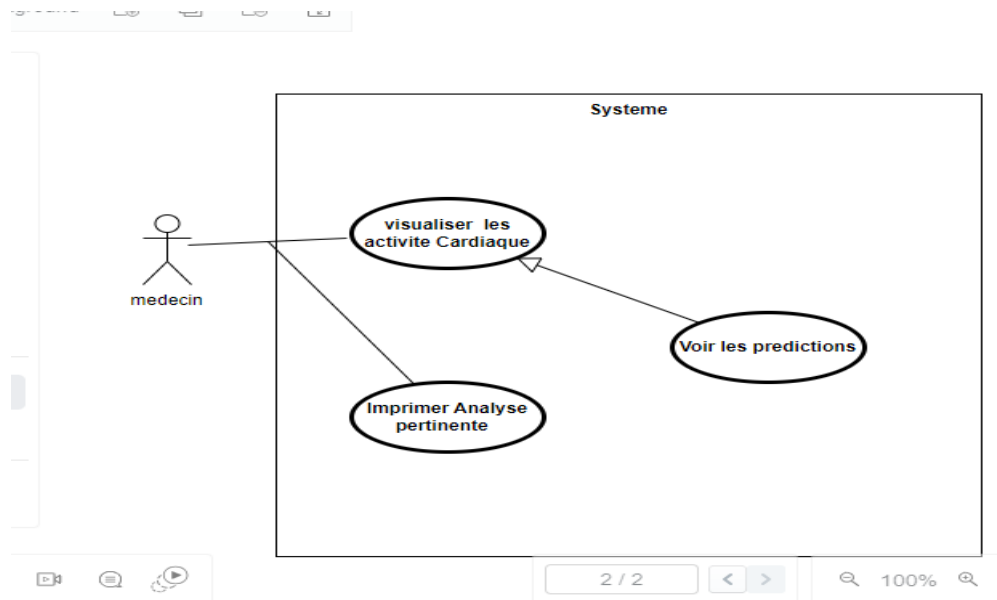
2. Diagramme de comportement

2.1. Diagramme de cas d'utilisation

- Cas du patient



- Cas du Médecin



2.1.1 Fiches Textuelles

- cas : recevoir notification

Titre	Recevoir notification
Description	Le système envoie des notifications à chaque fois qu'il détecte une anomalie
Acteurs	Patient
Précondition	Le patient doit avoir le dispositif ECG Holter en fonctionnement et connecté. Une anomalie ou un événement significatif est détecté par le système d'IA.

Scénario nominal	<p>Le système compile les informations pertinentes à inclure dans la notification (ex. type d'anomalie, conseils à suivre).</p> <p>Le système envoie une notification push au téléphone du patient via l'application mobile</p> <p>Le patient reçoit la notification sur son téléphone.</p> <p>Le patient consulte la notification et suit les conseils fournis.</p>
Scénario alternatif	
Postcondition	Le patient reçoit des notifications sur son état de santé.

- Cas : Recevoir alerte

Cas d'utilisation	Réception d'Alertes par le Patient
Acteurs	patient
Objectifs	Informer immédiatement le patient en cas de détection d'anomalies
Pré condition	Le patient porte le dispositif ECG Holter correctement
Post condition	Le patient est informé des anomalies détectées et des actions à entreprendre
Scénario nominal	<div> <div> 1.Le dispositif détecte une anomalie cardiaque significative.</div> <div>2.Une alerte est générée par le dispositif.</div> <div>3.L'alerte est envoyée immédiatement au patient.</div> <div>4.Le patient reçoit l'alerte via le dispositif .</div> <div>5.L'alerte.</div> </div>

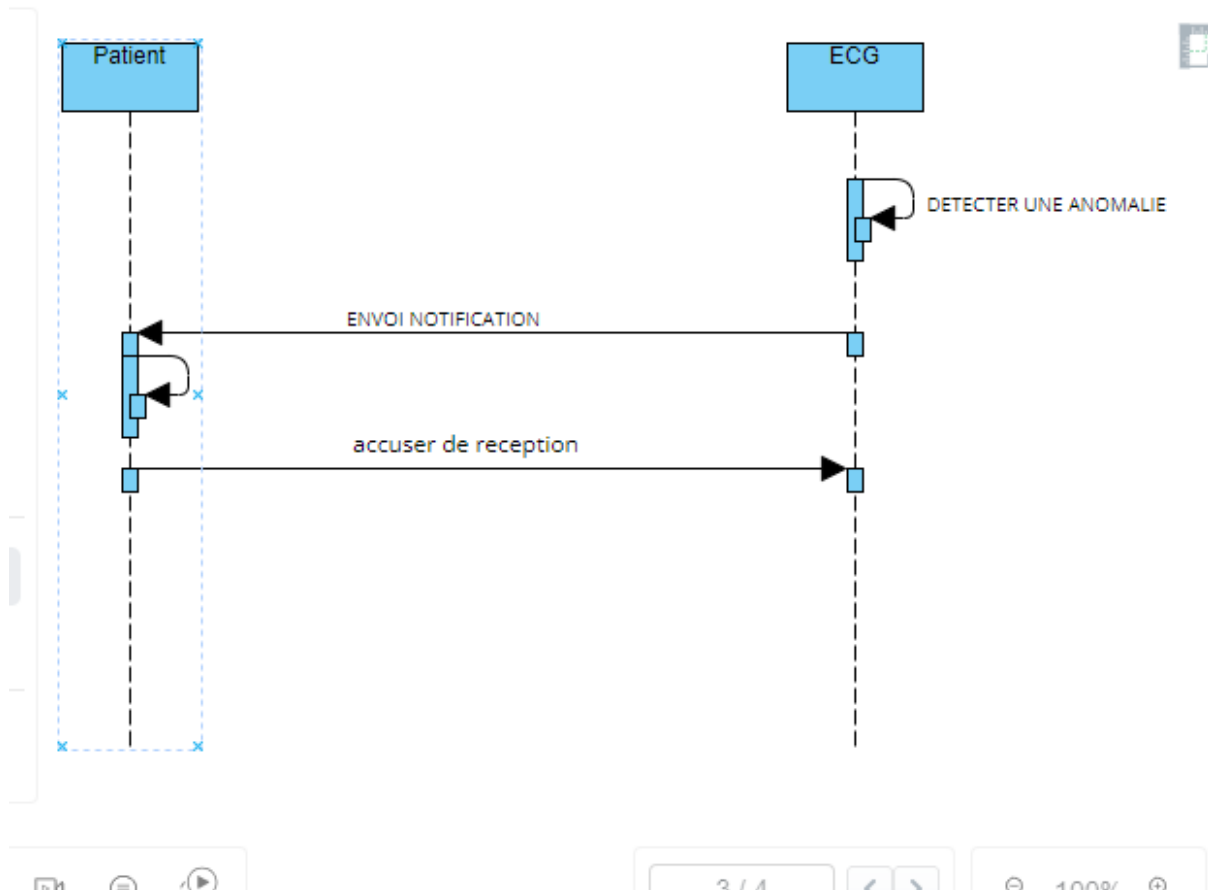
--	--

- Cas: Visualiser prédictions
-

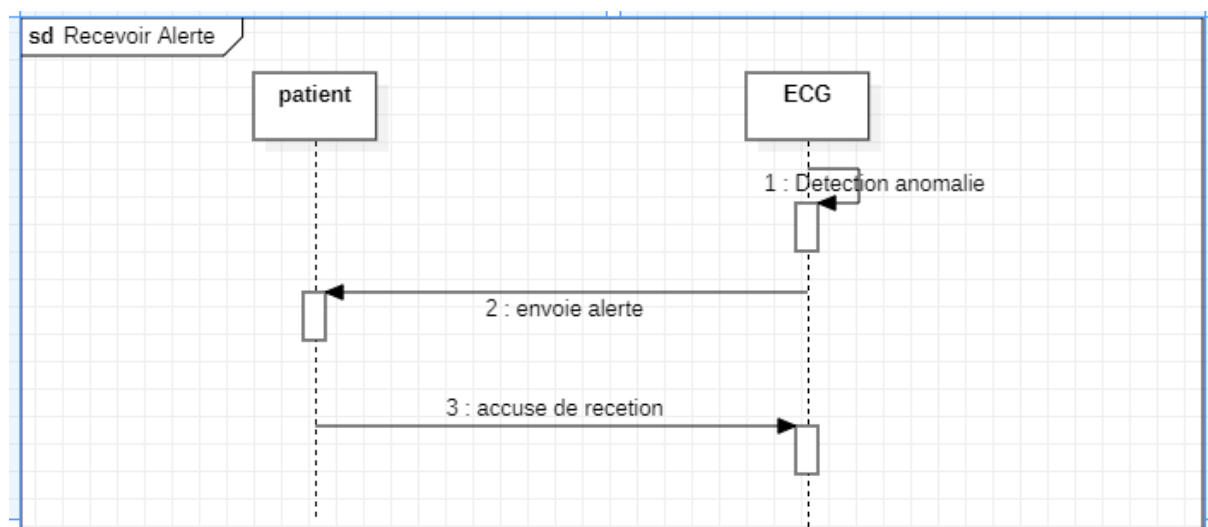
Titre	Visualiser prédictions
Description	Ce cas d'utilisation permet de visualiser les prédictions faites par l'IA
Acteurs	Médecin
Pré-condition	<ul style="list-style-type: none"> • L'IA doit formuler des prédictions suivants les données collectées et les différents apprentissages effectués • Le médecin dispose de l'ECG
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> -Le médecin allume l'écran de l'ECG Holter -Le système affiche le contenu des enregistrements -Le médecin sélectionne la visualisation des prédictions -Le système affiche les prédictions suivantes: les enregistrements effectués.
Scénario alternatif	
Post-condition	Les prédictions sont visualisées.

2.2. Diagramme de séquence

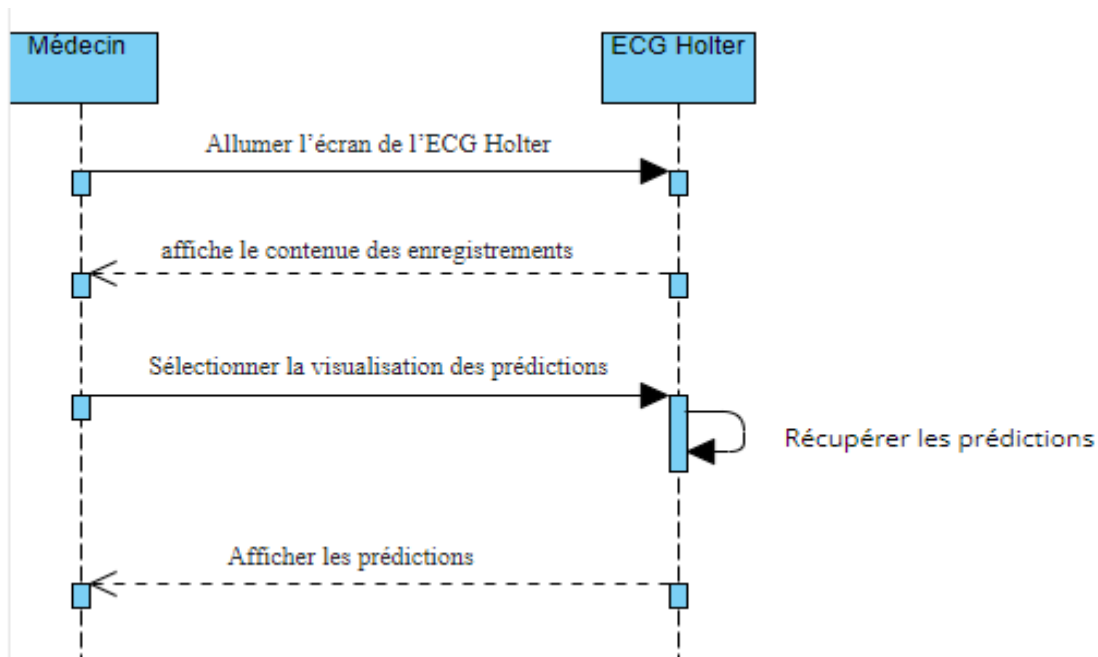
- Cas : recevoir notification



- Cas : recevoir Alerte



- Cas : Visualisation des prédictions



V. Besoins non Fonctionnels

1. Performance

- Précision et Fiabilité : Le dispositif doit fournir des mesures ECG continues avec une précision de $\geq 95\%$, comparable à celle des dispositifs Holter traditionnels.
- Temps Réel : Les données doivent être transmises et analysées en temps réel pour permettre une détection précoce des anomalies.
- Autonomie : Le dispositif doit avoir une autonomie minimale de 24 heures pour un enregistrement continu sans interruption.

2. Sécurité

- Confidentialité des Données : Les informations médicales doivent être cryptées lors de la transmission et du stockage pour garantir la confidentialité des données des patients.

- Sécurité du Dispositif : Le dispositif doit être conforme aux normes de sécurité médicale (ISO 13485, CE médical) pour éviter tout risque pour la santé des utilisateurs.
- Authentification : Un système d'authentification robuste doit être mis en place pour les utilisateurs et les professionnels de la santé accédant aux données.

3. **Fiabilité**

- Résilience : Le système doit être capable de gérer les interruptions de connexion et de stocker les données localement jusqu'à la reprise de la connexion.
- Durabilité : Les composants du dispositif doivent être durables et capables de fonctionner dans diverses conditions environnementales sans dégradation des performances.

4. **Efficacité**

- Analyse Automatique : Les algorithmes d'IA doivent être capables d'analyser rapidement les données ECG et de générer des rapports détaillés sans intervention humaine.
- Alertes : Le système doit pouvoir envoyer des notifications en temps réel aux utilisateurs et aux professionnels de la santé en cas de détection d'anomalies critiques.

VI. Technologies utilisées

1. **Proteus**



Proteus est un logiciel de conception de circuits électroniques utilisé principalement pour la simulation et la création de schémas électroniques et de circuits imprimés (PCB). Développé par Labcenter Electronics, Proteus offre un environnement intégré qui permet aux ingénieurs et aux étudiants de concevoir, simuler et tester des circuits avant de les implémenter physiquement.

2. **Arduino IDE**



Arduino IDE (Integrated Development Environment) est un logiciel open-source conçu pour la programmation des microcontrôleurs Arduino. Il permet aux utilisateurs de créer, de compiler et de téléverser des programmes, appelés sketches, sur les cartes Arduino.

3. **Visual Paradigme Online**



Visual Paradigm Online est un outil de modélisation et de diagrammation basé sur le web, conçu pour faciliter la création de diagrammes et la gestion de projets de manière collaborative. Il est particulièrement utile pour les équipes travaillant à distance ou dans des environnements qui nécessitent un accès en ligne à des outils de conception et de gestion de projets.

4. **Node-red**



Node-RED est un outil de programmation en flux développé par IBM pour connecter des périphériques matériels, des API et des services en ligne de manière nouvelle et intéressante. Il offre une interface de programmation visuelle qui permet de câbler ensemble des dispositifs matériels, des API et des services en ligne.

5. MQTT



MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) est un protocole de messagerie léger conçu pour les dispositifs contraints et les réseaux à faible bande passante. Il est particulièrement adapté pour l'Internet des objets (IoT) en raison de sa simplicité, de sa faible consommation de bande passante et de sa fiabilité.

6. PHP



PHP (Hypertext Preprocessor) est un langage de script côté serveur conçu principalement pour le développement web. Il est largement utilisé pour créer des pages web dynamiques et des applications web interactives. PHP est apprécié pour sa simplicité, sa flexibilité et sa vaste communauté de développeurs.

7. HTML ET CSS



HTML (HyperText Markup Language) et CSS (Cascading Style Sheets) sont les deux technologies fondamentales utilisées pour créer et styliser des pages web. HTML est le langage de balisage standard pour créer la structure d'une page web, tandis que CSS est utilisé pour contrôler la présentation et la mise en forme des éléments HTML.

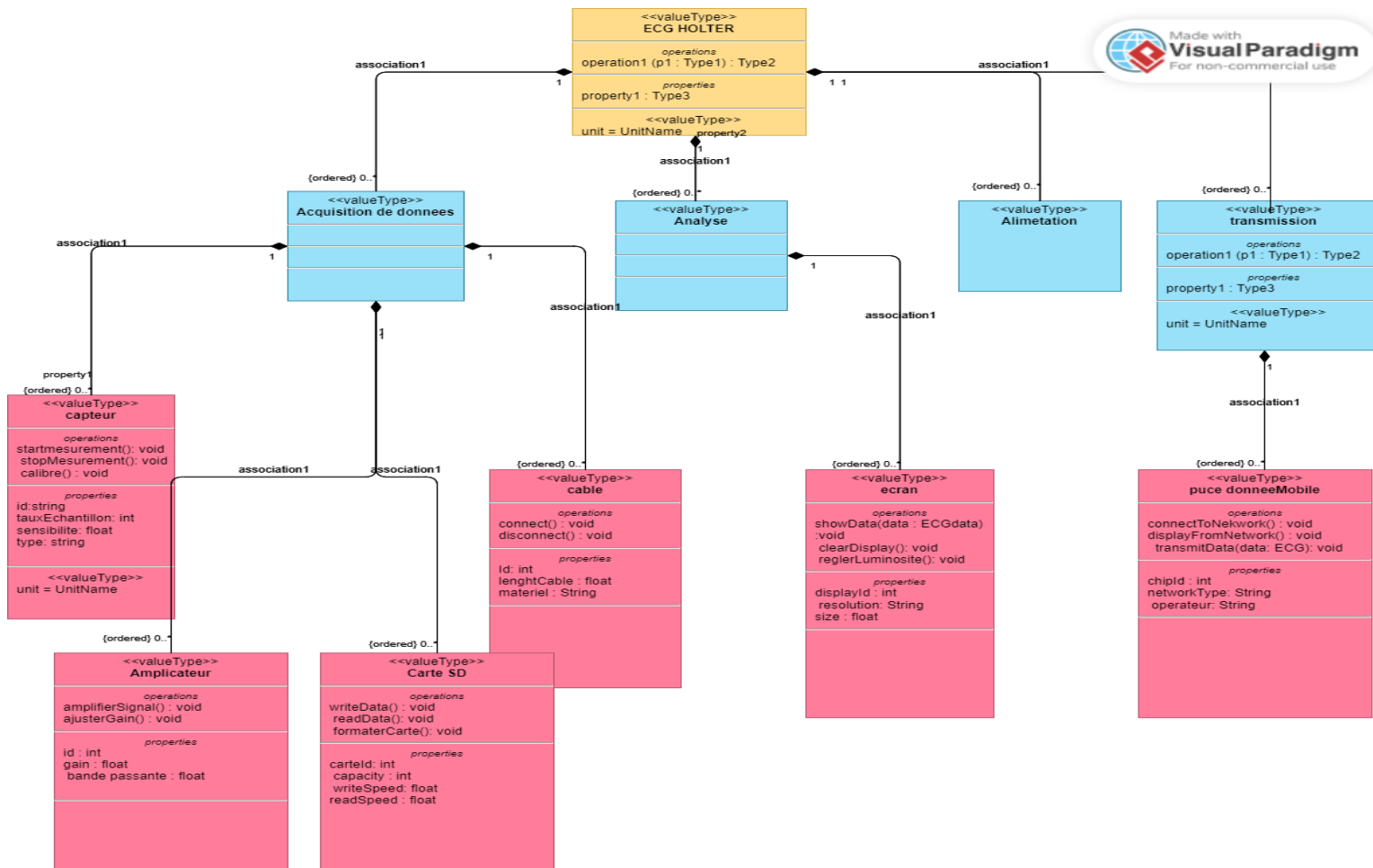
8 . Javascript



JavaScript est un langage de programmation polyvalent, principalement utilisé pour créer des interactions dynamiques sur les pages web. Il est un élément central des technologies web de base aux côtés de HTML et CSS. JavaScript permet aux développeurs de rendre les pages web interactives, d'ajouter des fonctionnalités complexes, et de créer des applications web robustes.

VII. Conception

1. Diagramme de définition de blocs



2. Les composants de ECG HOLTER

- **Enregistreur Holter** : C'est l'appareil principal qui enregistre les signaux électriques cardiaques. Il est généralement porté par le patient à l'aide d'une ceinture ou d'un harnais.
- **Électrodes** : Ces petits appareils adhésifs sont placés sur la poitrine du patient pour capturer les signaux électriques du cœur.
- **Câbles** : Ils connectent les électrodes à l'enregistreur Holter pour transmettre les données.
- **Logiciel d'analyse** : Une fois les données enregistrées, un logiciel est utilisé pour analyser l'activité électrique cardiaque sur une période donnée.
- **Batterie ou alimentation** : L'enregistreur Holter est alimenté par une batterie rechargeable ou des piles.

2.1 Enregistreur Holter:

- ▶ **Boîtier :** C'est l'unité principale qui contient l'électronique nécessaire pour enregistrer et stocker les données de l'ECG.
- ▶ **Écran :** Certains enregistreurs Holter sont dotés d'un écran pour afficher des informations telles que l'état de l'enregistrement et la batterie restante.
- ▶ **Batterie :** Une batterie rechargeable ou des piles alimentent l'enregistreur.

2.2 Électrodes :

- ▶ **Électrodes adhésives :** Ces petits appareils sont fixés sur la peau du patient. Ils sont généralement munis d'un gel conducteur pour garantir une bonne connexion électrique.
- ▶ **Câbles :** Les électrodes sont connectées à l'enregistreur à l'aide de câbles pour transmettre les signaux électriques.

2.3. Logiciel d'analyse :

- ▶ **Programme informatique :** Le logiciel est installé sur un ordinateur pour analyser les données enregistrées par l'enregistreur Holter.
- ▶ **Interface utilisateur :** Il fournit des outils pour visualiser et interpréter les résultats de l'ECG sur une période donnée.
- ▶ **Fonctions d'analyse :** Le logiciel peut comporter différentes fonctions pour analyser les signaux cardiaques, telles que la détection des arythmies et la mesure des intervalles cardiaques.

2.4. Batterie ou alimentation :

- **Batterie rechargeable ou piles :** Ces sources d'alimentation fournissent l'énergie nécessaire à l'enregistreur Holter pour fonctionner pendant la période d'enregistrement.

À l'intérieur du boîtier de l'enregistreur Holter, vous trouverez plusieurs composants électroniques qui travaillent ensemble pour enregistrer et stocker les données de l'ECG. Voici une liste des composants typiques que l'on pourrait trouver à l'intérieur : Carte électronique principale , Mémoire de stockage, Circuit d'amplification, Convertisseur analogique-numérique (CAN), Interface utilisateur, Circuit d'alimentation.

Selon le modèle spécifique de l'enregistreur Holter, il peut y avoir d'autres composants tels que des capteurs de température pour surveiller la température de l'appareil, des composants de communication pour transférer les données vers un ordinateur, etc.

Ces composants travaillent ensemble pour assurer le bon fonctionnement de l'enregistreur Holter, en capturant avec précision les signaux électriques cardiaques sur une période prolongée et en les stockant de manière sécurisée pour une analyse ultérieure.

- Carte électronique principale : Cette carte est le cœur de l'enregistreur Holter. Elle contient le microcontrôleur ou le processeur qui coordonne toutes les fonctions de l'appareil.
- Mémoire de stockage : Cette mémoire, souvent sous forme de mémoire flash ou de carte SD, enregistre les données de l'ECG pendant la période d'enregistrement.
- Circuit d'amplification : Ce circuit amplifie les signaux électriques faibles provenant des électrodes avant qu'ils ne soient numérisés pour être enregistrés.
- Convertisseur analogique-numérique (CAN) : Ce composant convertit les signaux électriques analogiques en données numériques pour être stockées dans la mémoire.
- Interface utilisateur : Cela peut inclure des boutons, un écran LCD et des indicateurs lumineux pour permettre au patient ou à l'utilisateur de contrôler et de visualiser l'état de l'enregistreur.
- Circuit d'alimentation : Ce circuit régule la tension fournie par la batterie ou les piles pour alimenter tous les composants électroniques de l'enregistreur.

3. Proposition de solution

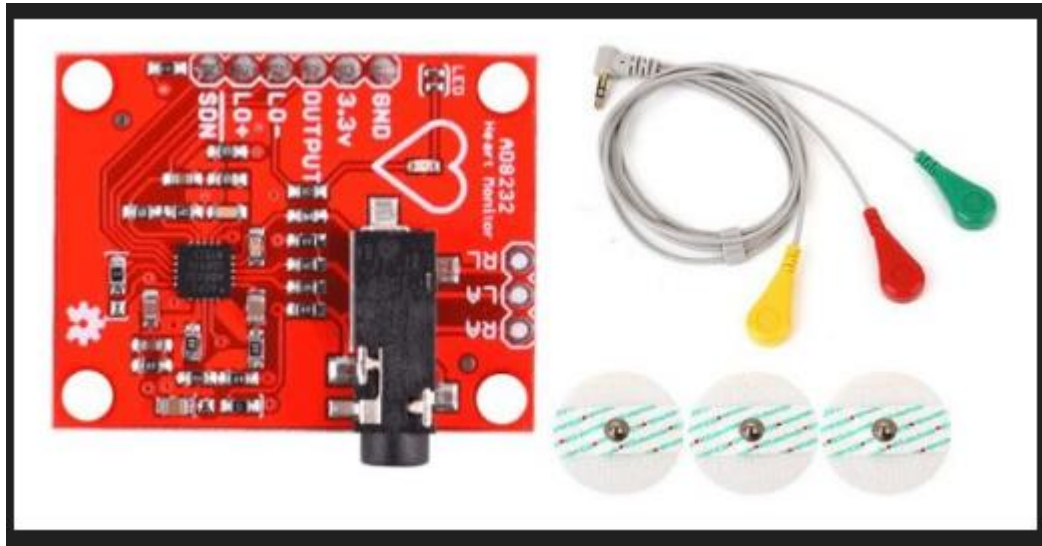
Pour notre solution, nous ferons la surveillance ECG basée sur l'IoT avec le capteur ECG AD8232 et l'ESP32 à l'aide d'une plate-forme IoT en ligne. Le signal ECG du cœur d'un patient peut être observé en ligne depuis n'importe quelle partie du monde.

Pour cela, nous utilisons le capteur ECG AD8232 avec ESP32. Et puis nous générons un signal ECG en connectant les dérivations ECG à la poitrine ou à la main. En utilisant les paramètres Node-Red tels que MQTT broker on est parvenu à faire du temps réel.

● Capteur ECG AD8232

Le capteur est une carte économique utilisée pour mesurer l'activité électrique du cœur. Cette activité électrique peut être tracée sous forme d'ECG ou d'électrocardiogramme et sortie sous forme de lecture analogique. Les ECG peuvent être extrêmement bruyants, le moniteur de fréquence cardiaque à

dérivation unique AD8232 agit comme un ampli opérationnel pour aider à obtenir facilement un signal clair des intervalles PR et QT.



L'AD8232 est un bloc de conditionnement de signal intégré pour l'ECG et d'autres applications de mesure de bipotentiel. Il est conçu pour extraire, amplifier et filtrer les petits signaux bipotentiels en présence de conditions bruyantes, telles que celles créées par le mouvement ou le placement d'électrodes à distance.

Le module AD8232 sépare neuf connexions du circuit intégré auxquelles vous pouvez souder des broches, des fils ou d'autres connecteurs. SDN, LO+, LO-, OUTPUT, 3.3V, GND fournissent des broches essentielles pour faire fonctionner ce moniteur avec un Arduino ou une autre carte de développement. Cette carte comprend également des broches RA (bras droit), LA (bras gauche) et RL (jambe droite) pour fixer et utiliser vos propres capteurs personnalisés. De plus, il y a un voyant LED qui palpite au rythme d'un battement de cœur.

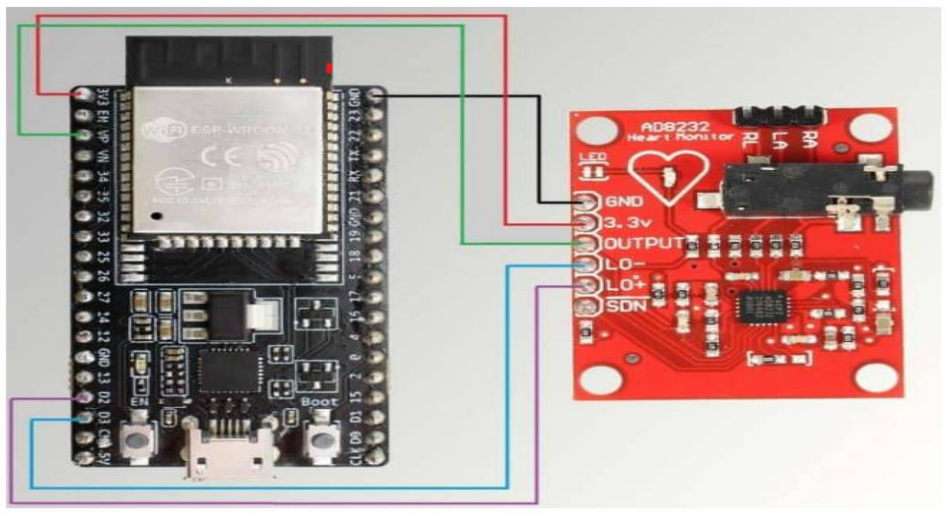
- **L'ESP32**

L'ESP 32 Wroom est le petit dernier de la famille des ESP de Espressif. C'est une gamme de cartes de développement particulièrement à la mode en ce moment car leur prix mini, leur faible consommation et leur petite taille en font un produit idéal pour la réalisation de petits projets IoT.

L'ESP32 est un système-sur-puce (SoC) qui combine un microcontrôleur 32 bits à faible consommation d'énergie avec une connectivité Wi-Fi et Bluetooth intégrée. Il est largement utilisé dans les projets IoT

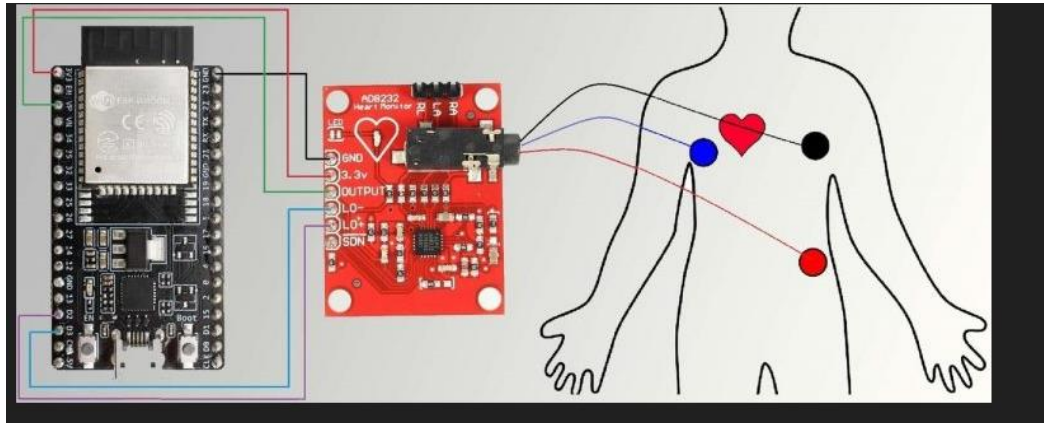
(Internet des objets), les applications embarquées et les prototypes rapides en raison de sa puissance de traitement, de sa connectivité sans fil intégrée et de sa flexibilité.

- **Schéma de circuit : interface du capteur ECG AD8232 avec ESP32**



Pour interfacer le capteur ECG AD8232 avec la puce ESP32 IOT, suivez le schéma de circuit ci-dessus. Alimentez l'AD8232 en 3,3 V depuis l'ESP32 et connectez GND à GND. La broche de sortie de l'AD8232 est un signal analogique et est connectée à la broche VP de l'ESP32. De même, LO+ et LO- de AD8232 sont connectés à D2 & D3 de ESP32.

- **Placement du capteur ECG AD8232 sur le corps**



4. Simulation du Prototype (Sous Proteus)

Pour la simulation sous proteus , nous avons dû trouver des équivalents des différents composants dont on a besoin. le manque de matériels nous a conduit à l'utilisation des matériels ci dessous:

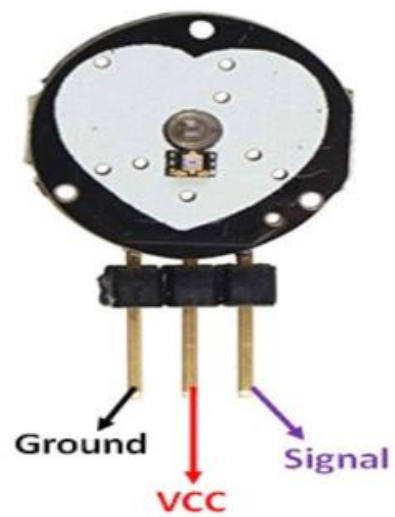
Module de capteur de rythme cardiaque :C'est un capteur de pouls très simple à utiliser avec Arduino. La figure 1 ci-dessous montre les faces avant et arrière de ce capteur.



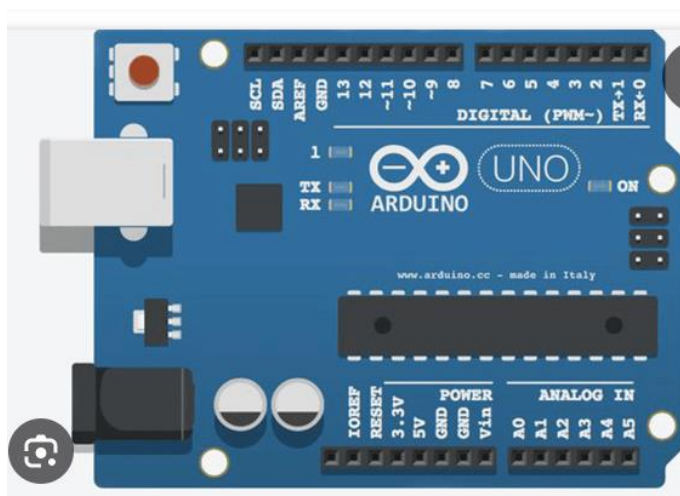
Il y a un logo en forme de cœur sur la face avant du capteur. La face avant est la face utilisée pour être placée sur le corps. Un petit ensemble circulaire est également présent en face avant où des LED vertes clignotent. Près de la LED, un photo capteur de lumière ambiante est utilisé pour régler la luminosité de la LED. Certaines résistances, condensateurs et circuits intégrés d'amplificateur opérationnel sont présents à l'arrière de ce capteur. Les filtres RC et les diodes pour la protection contre les inversions

de tension sont également utilisés pour protéger contre les dommages causés par l'inversion de puissance.

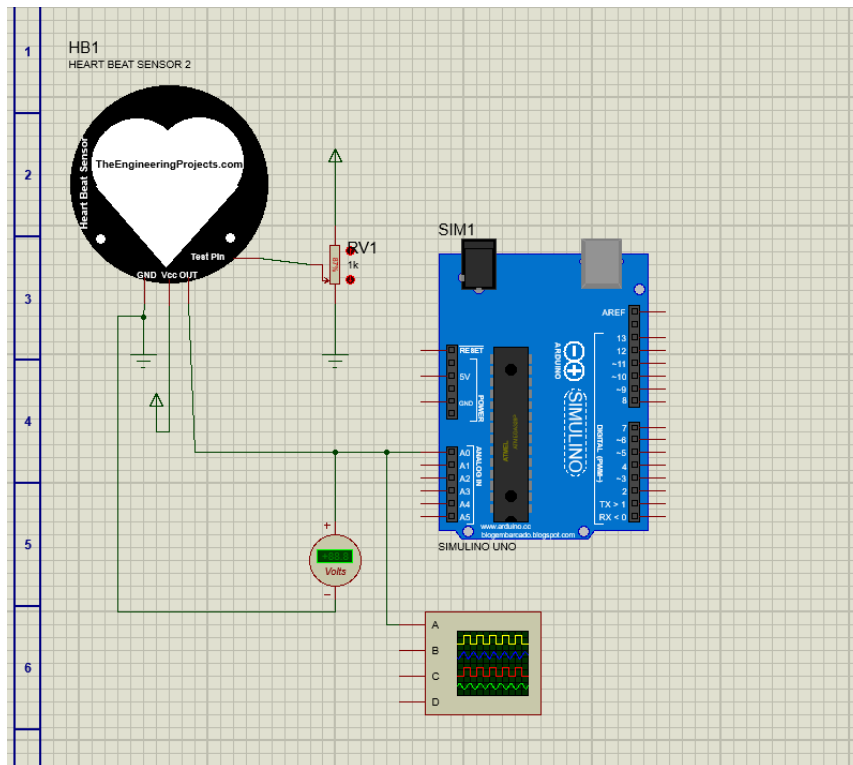
- Analog pin
- VCC pin
- GND pin



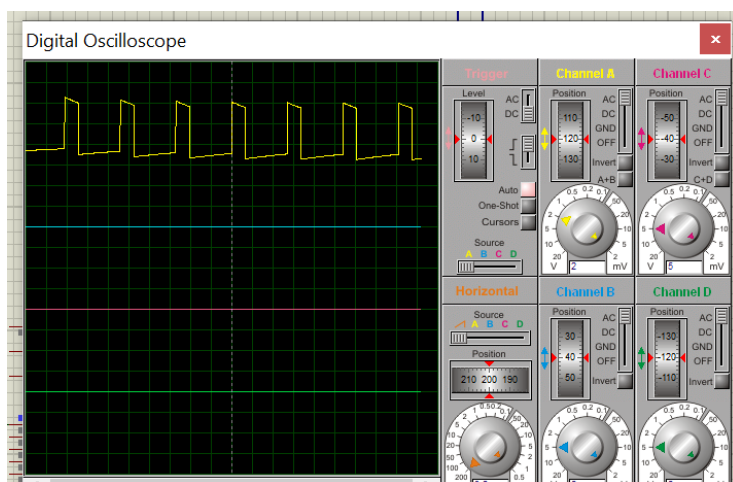
-La carte Arduino Uno



- Schéma de simulation



- Visualisation sur l'oscilloscope

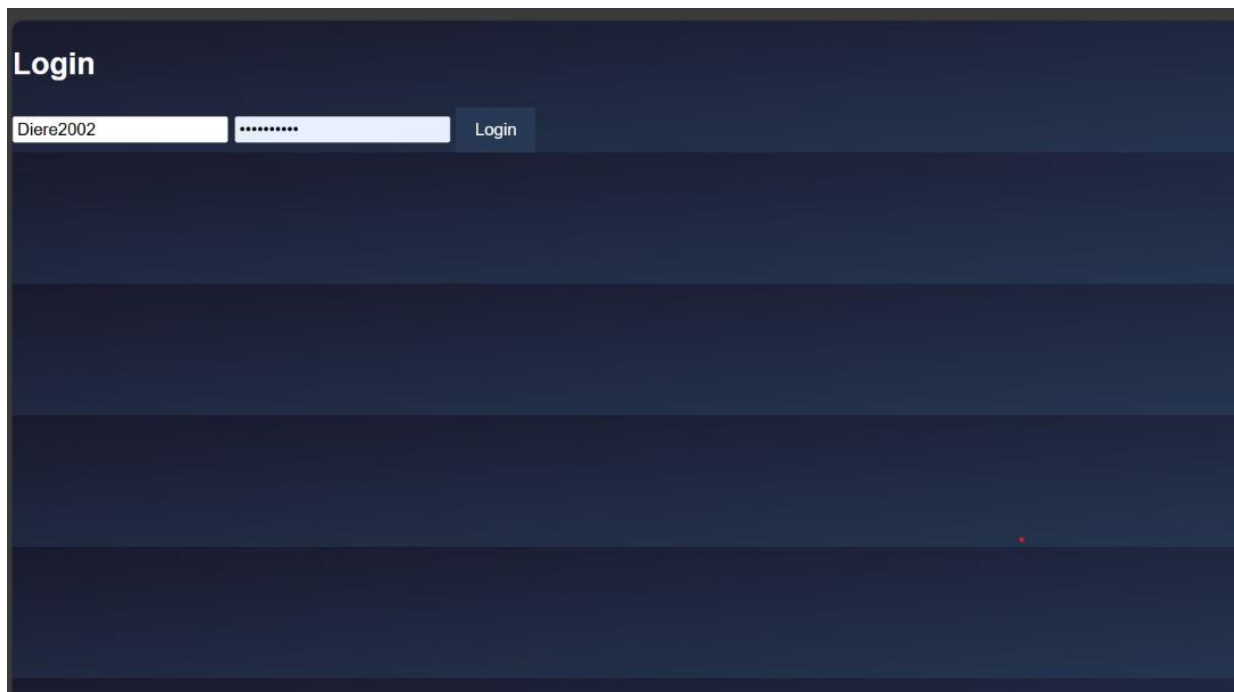


Dans l'oscilloscope numérique ci-dessous, un graphique numérique des battements cardiaques est affiché en fonction de la lecture du capteur de battement cardiaque.

5. Plateforme de Visualisation

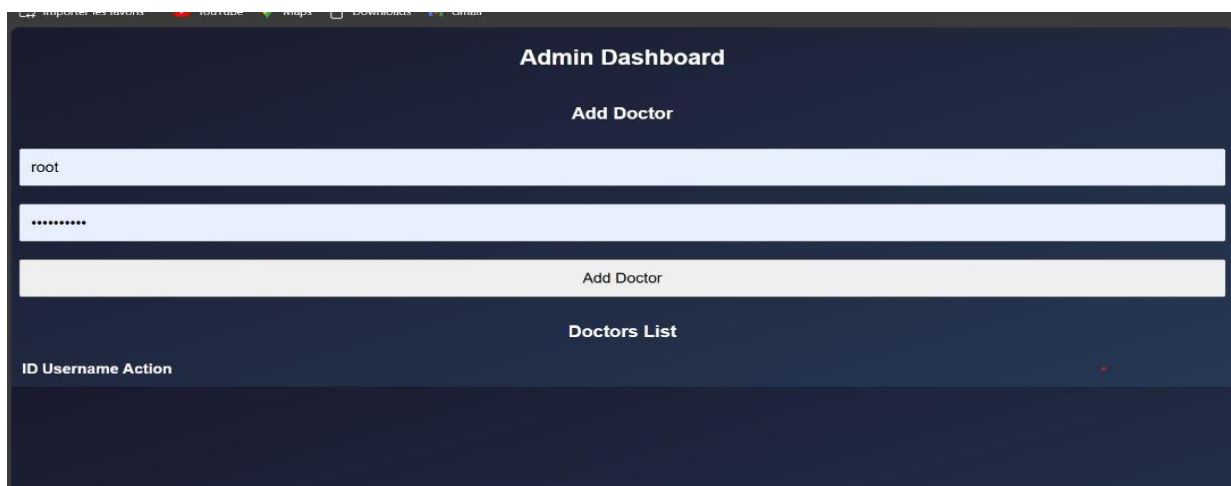
Au niveau de notre plateforme, on peut se connecter en tant qu' Administrateur pour créer les comptes des médecins ou en tant que médecin pour créer les patients et superviser leurs constantes.

- On se connecte en tant qu' Administrateur



Login

- L'administrateur crée les comptes des médecins



Admin Dashboard

Add Doctor

Doctors List

ID	Username	Action
----	----------	--------

- On se connecte en tant que médecin

Login

- On ajoute les informations du patient et on a aussi la possibilité de commencer l'enregistrement.

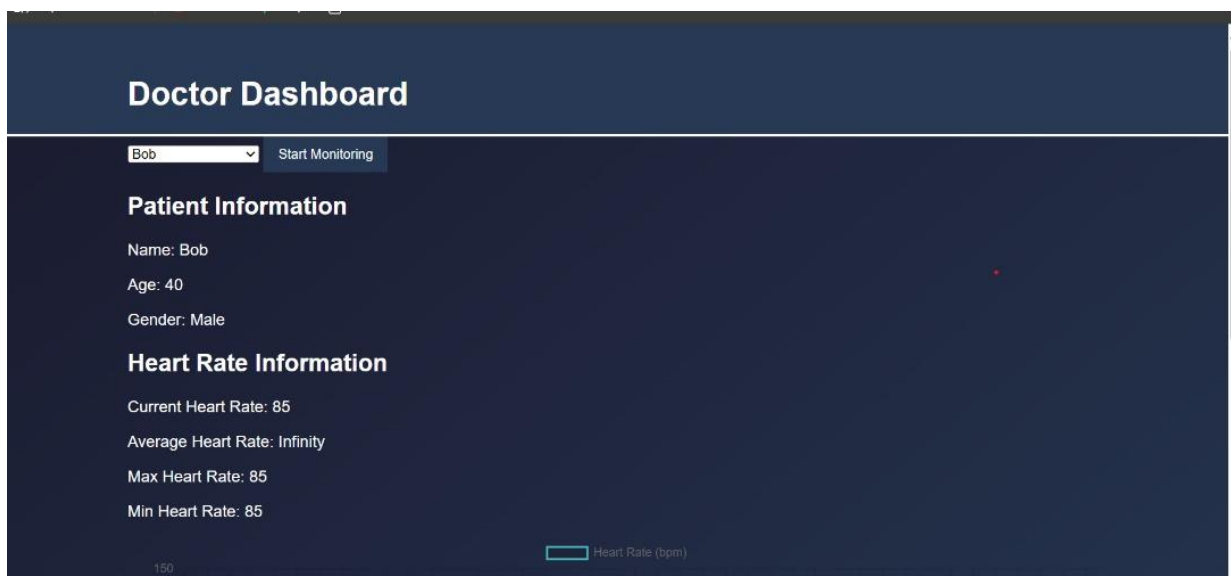
Doctor Dashboard

Add Patient

Patients List

ID	Name	Age	Gender	Action
----	------	-----	--------	--------

- On visualise les informations de chaque patient



Ce projet, avec ses objectifs de conception de dispositif portable, d'intégration de technologies abordables, et de validation clinique, représente une avancée significative vers une médecine plus inclusive et efficace. En assurant la sécurité, la convivialité et la confidentialité des données, il promet de révolutionner la manière dont les patients et les professionnels de la santé interagissent avec les informations médicales, offrant une meilleure qualité de soins et une surveillance cardiaque continue.