

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE  
Département : ELECTRONIQUE  
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
Filière : TELECOMMUNICATIONS  
Spécialité : RESEAUX ET TELCOMMUNICATION

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Thème :

Application de l'IOT dans le domaine biomédical

Présenté par : *BENDEKHIL ABDERAZAK*

Encadrant : *HAFS TOUFIK*

Grade MCA

Université BADJI

MOKHTAR- ANNABA

### Jury de Soutenance :

NEILI ZAKARIA	MCB	Université BADJI MOKHTAR- ANNABA	Président
HAFS TOUFIK	MCA	Université BADJI MOKHTAR- ANNABA	Encadrant
MESSADEG DJAMIL	Prof	Université BADJI MOKHTAR- ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

## *Remerciements*

Je tiens à exprimer ma grande gratitude à mon créateur pour m'avoir donné la capacité, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, Monsieur **Hafs Toufik** pour sa confiance, son soutien, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de ce projet.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury monsieur **Neili Zakaria** et monsieur **Messadeg Djamil** de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury et d'examiner notre travail.

Je tiens à remercier Monsieur **Zenoun Adlene** de m'avoir accueilli et soutenu. Ses conseils m'ont permis d'acquérir de précieuses compétences dans le domaine.

Nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à développer ce travail.

## Dédicaces

Je souhaite dédier ce travail à :

Mes parents **Abdel Hafid** et **Fatiha** pour leurs sacrifices et leur soutien inconditionnel tout au long de ma vie. Que Dieu leur accorde bonne santé et longue vie.

Mon cher frère **Lyes** et mes sœurs **Sara** et **Maria**.

A mes grands-pères et grandes mères.

A mes oncles **Djamel**, **Fateh**, **Mohammed** et **Samir** et leurs petites familles.

A mes tantes **Karima**, **Samira**, **Hakima**, **Nabila** et leurs petites familles.

A mes cousins et mes cousines Abde Djalil, Djamel dine, Anis, Mouad, chouaib et  
Khadija.

A mes meilleur amis **Djemil Taki eddine**, **Brichni Feriel** et ses familles.

A toute la promotion de Télécommunication.

Et enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

## Résumé

L'internet des objets est un ensemble d'appareils physiques reliés entre eux par Internet. Cette technologie moderne est considérée comme une bonne option pour appliquer dans le domaine de la biomédicale, notamment en ce qui concerne les soins de santé pour les patients, et c'est ce qui a été proposé dans cette mémoire afin de fournir un suivi médical à distance pour les patients souffrant d'anomalies et de troubles dans le cœur, et permet la détection précoce des anomalies cardiaques à partir de l'envoi de données vers le Cloud, et de celui-ci alertant les médecins d'une intervention urgente pour sauver le patient. Les applications IoT liées au Cloud nous offrent plusieurs options d'alerte, dont les plus importantes sont : par e-mail ou SMS, en plus de la possibilité de visualiser les données envoyées au Cloud, afin de se forger une vision médicale sur anomalies et prendre rapidement des mesures médicales pour éviter que la vie du patient ne soit en danger. Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de ce système pour offrir une totale liberté aux patients dans leurs activités quotidiennes tout en assurant une surveillance médicale sécurisée.

**Mots clés:** internet des objets, anomalies, Cloud, données, surveillance médicale, alerte.

## ملخص

إنترنت الأشياء عبارة عن مجموعة من الأجهزة المادية المرتبطة ببعضها البعض عن طريق الإنترنت. تعتبر هذه التقنية الحديثة خياراً جيداً للتطبيق في مجال الطب الحيوي وخاصة فيما يتعلق بالرعاية الصحية للمرضى، وهذا ما تم اقتراحه في هذه الرسالة لتوفير المراقبة الطبية عن بعد للمرضى الذين يعانون من تشوهات واضطرابات في القلب، ويتيح الكشف المبكر عن الاضطرابات القلبية من إرسال البيانات إلى السحابة، ومن هناك تنبيه الأطباء للتدخل العاجل لإنقاذ المريض. تتيح لنا تطبيقات إنترنت الأشياء ذات الصلة بالسحابة العديد من خيارات التنبيه، أهمها: عن طريق البريد الإلكتروني أو الرسائل القصيرة، بالإضافة إلى إمكانية تصور البيانات المرسله إلى السحابة، من أجل تكوين رؤية طبية عن الحالات الشاذة وبسرعة اتخاذ الإجراءات الطبية لمنع تعرض حياة المريض للخطر. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية هذا النظام في توفير الحرية الكاملة للمرضى في أنشطتهم اليومية مع ضمان المراقبة الطبية الآمنة.

**الكلمات المفتاحية:** إنترنت الأشياء , الشدوذ , السحابة , البيانات , المراقبة الطبية, التنبيه

## **Abstract**

The Internet of Things (IoT) is a set of physical devices linked together via the Internet. This modern technology is seen as a good option for application in the biomedical field, particularly with regard to patient healthcare, and this is what has been proposed in this dissertation to provide remote medical monitoring for patients suffering from abnormalities and disorders in the heart, and enables early detection of cardiac abnormalities from the sending of data to the cloud, and from this alerting doctors to urgent intervention to save the patient. IoT applications linked to the cloud offer us several alerting options, the most important of which are: by e-mail or SMS, in addition to the possibility of visualizing the data sent to the cloud, in order to form a medical view of anomalies and quickly take medical action to prevent the patient's life from being endangered. The results obtained showed the effectiveness of this system in offering total freedom to patients in their daily activities while ensuring secure medical monitoring.

**Keywords:** Internet of Things, anomalies, Cloud, data, medical surveillance, alert.

## Sommaire

Liste des figures.....	VIII
Liste des équations .....	X
Abréviations.....	XI
Introduction général.....	1

### Chapitre I: Généralités sur les signaux ECG

I.1.Introduction.....	3
I.2. Définition du signal ECG.....	3
I.2.1 Acquisition d'un signal ECG .....	5
I.2.2 Les composants d'un signal électrocardiogramme.....	9
I.3. Détection des pathologies cardiaque.....	11
I.3.1 Tachycardies .....	11
I.3.2 Bradycardies .....	12
I.3.3 Les fibrillations .....	13
I.4. Les applications d'un ECG .....	15
I.5. Conclusion .....	16

### Chapitre II: Système proposé pour la surveillance du patient par ECG

II.1. Introduction .....	17
II.2. Acquisition de signal ECG .....	18
II.2.1 La base de données MIT-BIH .....	18
II.3. Traitement le signal ECG .....	19
II.3.1 Filtrage .....	19
II.3.2 Détection de complexe QRS .....	19
II.3.3 Fréquence cardiaque .....	20

II.3.4 Détection d'anomalie .....	20
II.4. Transmission signal ECG .....	21
II.5. ThingSpeak .....	21
II.5.1 Exploitation de la plateforme ThingSpeak.....	21
II.5.2 Configuration d'alerte .....	22
II.5.3 Les applications de ThingSpeak .....	23
II.6. Réception d'alerte .....	24
II.7. Conclusion .....	24

### **Chapitre III: Résultats et discussions**

III.1. Introduction .....	26
III.2. Acquisition de signal ECG .....	26
III.3. Traitement de signal ECG .....	27
III.4. Transmission de signal ECG .....	27
III.5. ThingSpeak .....	28
III.6. Configuration d'alerte .....	31
III.7. Réception d'alerte et accès aux informations .....	35
III.7.1 Réception d'alerte .....	35
III.7.2 Accès aux informations .....	36
III.8. Conclusion .....	40
Conclusion générale .....	41

## Liste des figures

Figure I.1 : ECG machine .....	3
Figure I.2 : Positionnement des électrodes pour obtenir ECG .....	4
Figure I.3 : Synoptique de la chaîne d'acquisition d'un ECG .....	5
Figure I.4 : Les dérivations bipolaires .....	6
Figure I.5 : Amplificateur opérationnel .....	7
Figure I.6 : Amplificateur d'instrumentation à 3 AOP .....	8
Figure I.7 : Schéma d'un électrocardiogramme normal .....	9
Figure I.8 : Tachycardie sinusale .....	11
Figure I.9 : Tachycardie Ventriculaire .....	12
Figure I.10 : fibrillation auriculaire .....	14
Figure I.11 : fibrillation ventriculaire .....	15
Figure II.1 : Schéma synoptique d'un système proposé pour la surveillance de patient par ECG	17
Figure II.2 : Diagramme des étapes de l'algorithme de Pan et Tompkins .....	19
Figure III.1 : les commandes pour l'installation de WFDB Toolbox .....	26
Figure III.2 : Signal ECG bruité .....	27
Figure III.3 : Signal ECG bruité et filtré .....	27
Figure III.4 : Détection complexes QRS du signal ECG .....	28
Figure III.5 : L'ESP 32 relie avec ordinateur par câble USP .....	29
Figure III.6 : Les bibliothèques utilisées pour la transmission du signal .....	29
Figure III.7 : Les identifiants du réseau Wi-Fi .....	29
Figure III.8 : Les identifiants de ThingSpeak .....	30
Figure III.9 : Les paramètres de canal .....	31

Figure III.10 : Canal avant transmission de données .....	32
Figure III.11 : Clé d'écriture .....	33
Figure III.12 : Clé de lecture .....	33
Figure III.13 : Définition de l'événement pour déclencher l'envoi de l'email .....	34
Figure III.14 : Documentation de webhooks .....	34
Figure III.15 : Configuration d'une demande ThingHTTP .....	35
Figure III.16 : Configuration du React .....	36
Figure III.17 : L'email reçu par le médecin .....	37
Figure III.18 : Contenu de fichier reçu dans l'email .....	38
Figure III.19 : Signal ECG de notre patient dans ThingSpeak .....	38
Figure III.20 : Signal ECG visualisé en 2D .....	39
Figure III.21 : La fréquence cardiaque de patient .....	39
Figure III.22 : Coordonnées GPS (Latitude) .....	40
Figure III.23 : Coordonnées GPS (Longitude) .....	40
Figure III.24 : Localisation de patient sur la carte .....	41
Figure III.25 : Les informations de patient sur Pocket IoT .....	42

## Liste des équations

Equation I.1 .....	5
Equation I.2 .....	6
Equation I.3 .....	6
Equation II.1 .....	20
Equation II.2 .....	20

## Abréviations

### A

AOP : Amplificateur opérationnel

API : Application programming Interface

Apps : Applications

### B

BAV : Bloc auriculo-ventriculaire

BPM : Battements par minute

### C

CAN : Convertisseur analogique- numérique

CMRR : common mode rejection ratio

### D

Ds : Durée séquence

### E

ECG : Electrocardiogramme

### F

Fc : Fréquence coupure

Fcard : Fréquence cardiaque

### G

GPS : Global Positioning System.

### H

HTTP : Hypertext Transfer Protocol

## I

ICU : intensive care unit

IDE : integrated development environment

ID : identifier

IFTTT : IF This Then That.

IoT : Internet of thing

## M

Max : Maximum

Min : Minimum

MIT-BIH : Massachusset Institue of Technology , Beth Israel Hospital

ms : milliseconde

mv : millivolt

## Q

QRS : Ondes Q, R et S.

## S

SSID : Service set identifier.

## U

URL : Uniform Resource Locator

## W

WFDB : Wave Form Data Base.

***Introduction***

***générale***

Le terrible développement technologique de ces dernières années, ainsi que l'utilisation croissante et rapide d'Internet dans divers domaines de la vie, ont conduit à la création d'une révolution technologique dans ce qu'on appelle : l'Internet des objets, qui est un monde de dispositifs physiques tels que : capteurs, moteurs, etc., connectés les uns aux autres via Internet. Et cela fonctionne pour collecter, analyser et traiter des données en plus d'échanger et d'envoyer ces données en temps réel et n'importe où.

Ces différents avantages de l'Internet des objets nous permettent de prendre des décisions automatisées afin d'augmenter la productivité et d'améliorer l'efficacité et la qualité de vie dans plusieurs secteurs tels que la santé, l'agriculture, l'industrie, les transports et autres.

Dans le domaine de la biomédecine, les applications de l'Internet des objets ont contribué de manière significative au développement du domaine des soins de santé et de la gestion des maladies chroniques, grâce à la capacité de contrôler et d'utiliser facilement ces applications afin de fournir des services de santé, notamment : le suivi médical dès le patient à distance en temps réel et cela se fait en utilisant des capteurs médicaux sur le corps du patient qui capturent les signes vitaux et les envoient sur le Cloud via une connexion sans fil telle que : Wi-Fi et Bluetooth afin de stocker ces données et de les analyser plus tard.

En fait, le cœur est un muscle essentiel à la survie et au bien-être humain en assurant un transport continu d'oxygène et de nutriments vers toutes les parties du corps humain. Ce qui nécessite de le maintenir en bonne santé, en particulier pour les personnes souffrant de maladies cardiaques chroniques. Cependant, l'apport des applications IoT dans cet aspect reste faible par rapport à ce qui a été développé dans l'aspect santé pour les diabétiques, les prothèses auditives pour les patients auriculaires, ainsi que les appareils de mesure de la pression artérielle.

Cela nous a amenés à réfléchir à travailler à la mise en place d'un système de surveillance efficace pour détecter la survenue d'infarctus ou d'anomalies nécessitant un traitement rapide et d'urgence.

Cela dépend de la fourniture au médecin de données de haute qualité et en peu de temps afin de former une vision médicale pour le patient et de prendre des mesures médicales urgentes.

Afin de mettre en œuvre ce projet, nous nous sommes concentrés sur quatre éléments principaux :

- Traitement des anomalies (signal ECG).
- Envoyer une anomalie.

- Alerter le médecin de l'état du patient.
- Localisation du malade.

Où nous avons utilisé les données de signal ECG préparées sur la base de données Mit-Bih pour analyse et traitement par le logiciel Matlab. Et en coopération avec une plateforme académique telle que ThingSpeak, ces données sont envoyées via une connexion sans fil, et à partir de là, des applications sont créées pour alerter le médecin de la survenue d'anomalies, tout en lui permettant de les localiser sur une carte.

La mémoire est organisée comme suit :

Dans le premier chapitre, pour mieux comprendre le but de l'application que nous voulons atteindre, nous discuterons des éléments les plus élémentaires du principe de fonctionnement de la machine ECG (Electrocardiogramme), en plus de cela, nous discuterons des composants du signal ECG, ainsi que les types de maladies et de troubles cardiaques possibles.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé et expliqué l'aspect théorique des principales étapes du principe de notre application basée sur les éléments suivants : l'acquisition et le traitement du signal, l'envoi des données vers le Cloud pour y être stockées et à partir de celui-ci la création d'applications pour alerter le médecin et consulter les informations vitales du patient.

Dans le troisième chapitre, nous avons expliqué l'aspect pratique de l'application que nous aimerions réaliser, en présentant les résultats obtenus et en les expliquant du début du processus à sa fin, et la possibilité de visualiser les informations vitales du patient, que ce soit depuis l'ordinateur ou depuis le téléphone portable.

# **Chapitre *I* :**

## **Généralités sur les signaux ECG**

## *1.1 Introduction*

Le cœur représente un muscle puissant qui fournit au corps de l'oxygène et des nutriments par le sang afin que le corps puisse remplir ses fonctions vitales.

Cependant, le cœur peut être exposé à plusieurs problèmes de santé qui affectent ses performances et sa fonction de base. Ce qui nous amène à faire plusieurs tests pour découvrir le défaut, dont un électrocardiogramme ECG.

Dans ce chapitre, nous abordons plusieurs concepts sur le fonctionnement de l'ECG, ses caractéristiques, les changements les plus importants qui lui sont apportés dans des pathologies, ainsi que ses domaines d'utilisation.

## *1.2 Définition du signal ECG*

L'obtention d'un électrocardiogramme nécessite un dispositif médical composé d'un moniteur et d'électrodes connectées, qui permet d'évaluer l'état de santé du cœur humain.

Ces électrodes sont placées à des endroits précis sur la poitrine, les mains et les pieds. Ils captent les battements cardiaques et les convertissent en signaux électriques.

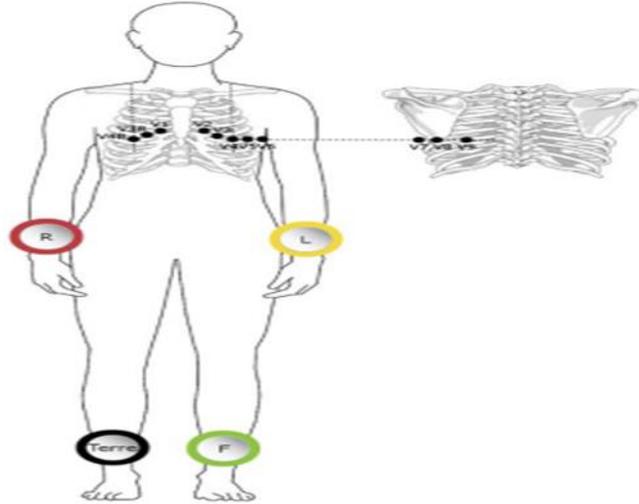
La **figure** ci-dessous présente une machine d'ECG (électrocardiographe) utilisé pour enregistrer et mesurer l'activité électrique du cœur.



**Figure I.1 :** ECG machine [1].

## ➤ Réalisation d'un ECG :

La **figure I.2** montre le placement des électrodes sur le corps du patient pour obtenir le signal ECG.



**Figure I.2** : Positionnement des électrodes pour obtenir ECG [2].

## ➤ Les dérivations périphériques :

Ces électrodes sont placées dans quatre parties du corps, qui sont :

- **Jaune** : sur le poignet gauche.
- **Vert** : sur la cheville gauche.
- **Rouge** : sur le poignet droite.
- **Noire** : sur la cheville droite.

## ➤ Les dérivations précordiales :

Les dérivations précordiales unipolaires sont composées de six dérivations (V1 à V6) qui permettent de visualiser l'activité électrique du cœur à différents angles et niveaux horizontaux. Les capteurs sont positionnés autour de la région cardiaque, débutant par V1 à droite et se terminant à l'extrême gauche par V6. Ainsi, les électrodes précordiales sont placées dans cette séquence [2].

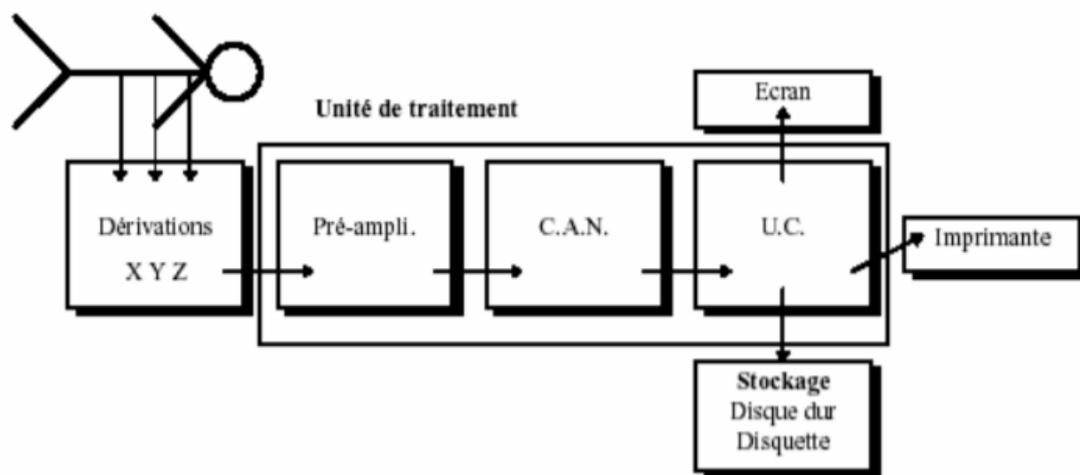
- **V1** : 4ème espace intercostal, bord droit du sternum.
- **V2** : 4ème espace intercostal, bord gauche du sternum.
- **V3** : à mi-distance entre V2 et V4.

- **V4** : 5ème espace intercostal, ligne médio-claviculaire gauche.
- **V5** : à mi-distance entre V4 et V6.
- **V6** : sur la même horizontale que V4 et V5, ligne axillaire moyenne.

## I.2.1 Acquisition d'un signal ECG

Pour obtenir le signal électrique du cœur (ECG), il faut des capteurs spécifiques pour convertir les mesures physiques en signaux électriques. De notre côté, nous avons utilisé des électrodes et après cela, le signal analogique traversait la chaîne du système d'acquisition de signal jusqu'à ce qu'il soit affiché à l'écran et que les données de mesure soient stockées.

La **figure** suivante montre un schéma synoptique de la chaîne d'acquisition d'un signal ECG.



**Figure I.3** : Synoptique de la chaîne d'acquisition d'un ECG [3].

### a. Dérivations

Les électrodes sont placées à des endroits précis sur les extrémités du corps et reliées à l'appareil électrique (X, Y, Z), qui représente les électrodes (Jaune, Vert, Rouge). À l'exception de la quatrième électrode fixée au pied droit (Noire), qui est généralement mise à la masse, elle n'enregistre aucun signal et sert de référence.

Les dérivations D1, D2, D3 mesurent la différence de potentiel entre deux électrodes, voir la **figure I.2**.

$$\bullet D1 = VL - VR \quad (I.1)$$

—> Mesure la différence de potentiel entre le bras gauche (borne positive électrode Jaune) et bras droit (borne négative de l'électrode Rouge).

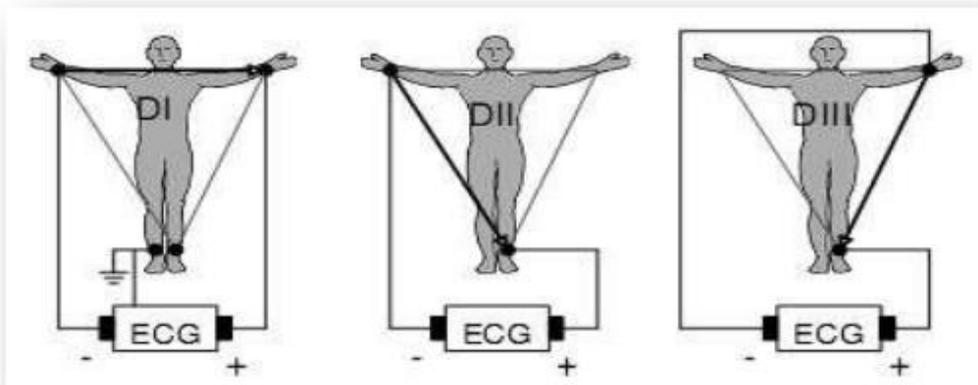
$$\bullet D2 = VF - VR \quad (I.2)$$

—> Mesure la différence de potentiel entre le bras droit (borne négative de l'électrode Rouge) et la jambe gauche (borne positive de l'électrode Jaune).

$$\bullet D3 = VF - VL \quad (I.3)$$

—> Mesure la différence de potentiel entre la jambe gauche (borne positive électrode Vert) et le bras gauche (la borne négative de l'électrode Jaune).

La **figure** ci-dessous montre les dérivations bipolaires.



**Figure I.4** : Les dérivations bipolaires [4].

## b. Amplificateur

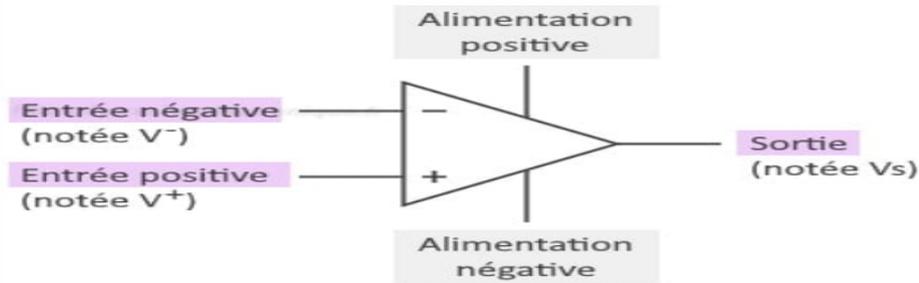
L'amplificateur est utilisé pour augmenter l'amplitude des signaux électriques capturés par les électrodes du patient, afin que ces signaux puissent être facilement mesurés et enregistrés.

Les signaux électro physiologiques sont des signaux de faible amplitude, généralement de l'ordre de quelques millivolts .ils nécessitent un amplificateur d'instrumentation qui ne maintient que le signal utile. Cet amplificateur a une forte réjection en mode commun (CMRR).

Les amplificateurs de signal ECG modernes sont conçus pour être très précis et avoir une faible consommation d'énergie .ils utilisent des amplificateurs de signal avec séparation galvanique. Dans ces systèmes, le signal est amplifié plusieurs fois, typiquement 3 à 10 fois .Il existe deux types d'amplificateurs :

## ❖ Amplificateur opérationnel

Un amplificateur opérationnel ou AOP dans la **figure I.5** est un appareil électronique utilisé pour amplifier une différence de tension.



**Figure I.5 :** Amplificateur opérationnel [5].

On remarque qu'il y a 2 entrées et une sortie.

- L'entrée  $V^+$  est appelée « entrée non inverses ».
- L'entrée  $V^-$  est appelée « entrée inverses ».
- Si  $V^+ = V^-$ , la tension de sortie  $V_s$  est égale à 0.

## ❖ Amplificateur d'instrumentation

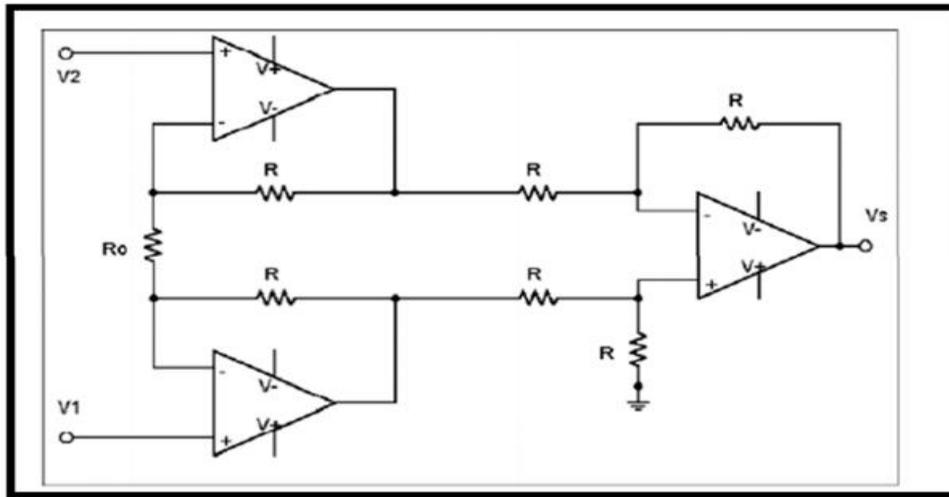
Un amplificateur d'instrumentation est un type spécial d'amplificateur qui est souvent utilisé dans la chaîne d'acquisition de signaux ECG. L'amplificateur d'instrumentation est conçu pour amplifier les signaux différentiels à faible niveau de bruit et avec une haute précision. Les signaux ECG étant de nature différentielle, les amplificateurs d'instruments sont particulièrement bien adaptés à cette application. Les amplificateurs d'instruments intègrent divers amplificateurs opérationnels et d'autres composants électroniques : résistances, condensateurs de compensation, etc.

Les amplificateurs d'instrumentation présentent plusieurs avantages par rapport aux amplificateurs opérationnels :

- 1- Haute précision :** Fournit des mesures précises des signaux électriques du cœur.
- 2- Faible bruit :** les signaux ECG ont une faible amplitude, ce qui nécessite un faible bruit.
- 3- Impédance d'entrée élevée :** les amplificateurs d'instrumentation ont une impédance d'entrée élevée, ce qui aide à réduire la charge sur les électrodes du patient et réduit le risque de bruit et d'interférences.

**4- Rejet en mode commun :** les amplificateurs matériels sont capables de rejeter les signaux en mode commun, ce qui est important pour éliminer les interférences électromagnétiques et le bruit de fond.

La **figure I.6** montre un schéma électrique d'un amplificateur d'instrumentation.



**Figure I.6 :** Amplificateur d'instrumentation à 3 AOP [3].

### c. Filtrage

Le filtrage des signaux ECG (électrocardiogramme) est une étape importante dans l'amélioration de la qualité et de l'interprétation des données ECG. Les signaux ECG sont souvent affectés par du bruit et des artefacts qui peuvent affecter la précision de l'analyse. Le filtrage permet de supprimer ces perturbations et de mettre en évidence les signaux d'intérêt.

Il existe plusieurs types de filtres qui peuvent être utilisés pour filtrer les signaux ECG, notamment :

#### ❖ Filtre passe-bas :

Ce filtre est utilisé pour atténuer les hautes fréquences du signal ECG qui peuvent être causées par des mouvements musculaires ou des perturbations électriques externes.

#### ❖ Filtre passe-haut :

Ce filtre est utilisé pour atténuer les basses fréquences du signal ECG qui peuvent être causées par des mouvements respiratoires ou des interférences électriques externes.

## ❖ Filtre passe-bande :

Ce filtre est utilisé pour une bande passante  $[F_{c1}, F_{c2}]$  spécifique du signal ECG. Il est souvent utilisé pour supprimer les interférences électriques externes qui se situent en dehors de la plage de fréquences des signaux cardiaques.

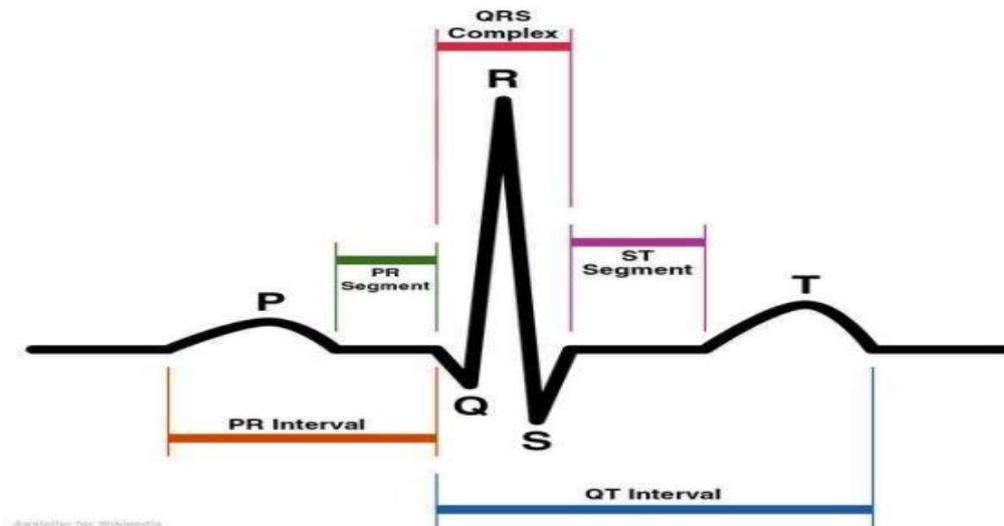
### d. Convertisseur (CAN)

Les convertisseurs analogique-numérique (CAN) jouent un rôle important dans le chaîne d'acquisition des signaux ECG. Il convertit Les signaux ECG (des signaux analogiques) en signaux numériques, pour pouvoir traiter ces signaux sur un ordinateur ou un autre dispositif numérique.

## I.2.2 Les composant d'un signal électrocardiogramme

Un signal électrocardiogramme (ECG) est une représentation graphique d'un phénomène électrique du cœur. Il est composé de plusieurs ondes et segments qui reflètent les différents événements électriques qui se produisent pendant le cycle cardiaque.

La **figure I.7** montre Les composants d'un signal ECG normal.



**Figure I.7 :** Schéma d'un électrocardiogramme normal [6].

## a. Les ondes sur un ECG normal

**Onde P :** Cette onde représente la dépolarisation dans les oreillettes. C'est une onde positive située dans l'intervalle PR. Il a une amplitude inférieure à 0,2 mv et une durée d'environ 120 ms.

**Le complexe QRS :** ce complexe formé par trois ondes Q et R et S qui représente la dépolarisation des ventricules.

- **Onde Q :** C'est une onde négative qui représente la première déviation négative dans le complexe QRS, en dessous de la ligne équipotentielle. Cette onde se caractérise par une faible amplitude et sa durée peut atteindre 0.2 sec [7].
- **Onde R :** C'est une onde positive et grande. Son amplitude est inférieure ou égale 1 mv et sa durée peut atteindre 0.2 sec.
- **Onde S :** Elle représente l'onde de polarisation du reste des ventricules. C'est une déflexion située au-dessous de la ligne de base de faible amplitude et est la deuxième composante négative dans le complexe QRS [7].

**Onde T :** cette onde représente la repolarisation des ventricules, c'est-à-dire leur relaxation. Son amplitude est généralement inférieure de 2 mv [8].

## b. Les segments et les intervalles d'un signal ECG

**L'intervalle PR :** représente la conduction de l'influx électrique de l'oreillette vers le ventricule via le nœud auriculo-ventriculaire. Cet intervalle débute à partir du début de l'onde P jusqu'au début du complexe QRS. La durée normale de l'intervalle PR est de 0,12 à 0,20 secondes [9].

**Le segment PR :** Cette partie s'étend de la fin de l'onde P au début du complexe QRS avec une durée de 0.07 ms.

**Le segment ST :** Cette partie s'étend de la fin du complexe QRS au début de l'onde T. Il a une durée de 0.14 ms. représente la période de temps pendant laquelle les ventricules sont dépolarisés.

**L'intervalle QT :** représente la durée totale du complexe QRS et de l'onde T. Il est mesuré depuis le début du complexe QRS jusqu'à la fin de l'onde T et reflète le temps nécessaire pour la dépolarisation et la repolarisation ventriculaire. La durée normale de l'intervalle QT est de moins de 0,44 secondes chez les hommes et de moins de 0,46 secondes chez les femmes [8].

## I.3 Détection des pathologies cardiaques

Un électrocardiogramme est le meilleur test possible pour les maladies cardiaques. Ces maladies ou les anomalies sont identifiées et catégorisées en fonction de leur écart par rapport au rythme sinusal, qui est considéré comme le rythme idéal.

### I.3.1 Tachycardies

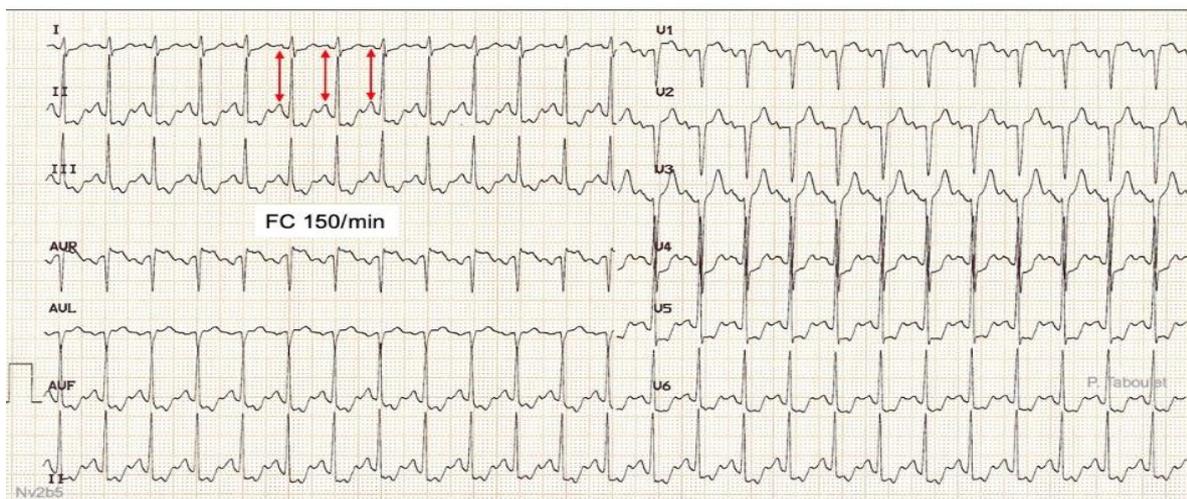
La tachycardie ou une augmentation du rythme cardiaque, c'est un terme médical qui désigne une accélération du rythme cardiaque qui dépasse la plage de fréquence normale. Si la fréquence cardiaque au repos dépasse les 100 battements par minute, cela peut être considéré comme tachycardie. Il existe plusieurs types de tachycardies, notamment :

#### a. Tachycardie sinusale :

La tachycardie sinusale est un rythme cardiaque rapide qui est généré par le nœud sinusal, elle se caractérise par les changements suivants :

- Rythme régulier
- Le complexe QRS normale
- L'onde P normale
- Absence de pause

Il convient de souligner que la présence de tachycardie sinusale dans la **figure I.8** peut être considérée comme normale chez certaines personnes, notamment durant une activité physique ou face à une situation stressante.



**Figure I.8 :** Tachycardie sinusale [10].

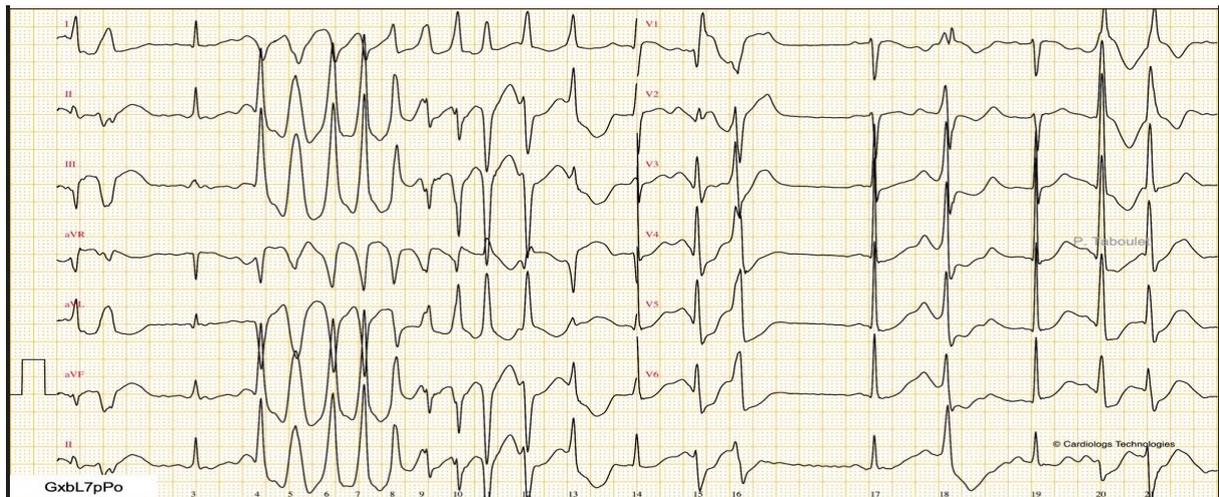
## b. Tachycardie ventriculaire

La tachycardie ventriculaire est une anomalie du rythme cardiaque où la fréquence est rapide et régulière, et elle se produit lorsque le signal électrique provient des ventricules plutôt que des oreillettes. Lorsqu'elle est détectée par un électrocardiogramme (ECG), la tachycardie ventriculaire est identifiable par plusieurs caractéristiques spécifiques :

- Rythme régulier
- Le complexe QRS larges et bizarres
- Absence d'ondes P
- Durée prolongée

La tachycardie ventriculaire peut être une arythmie potentiellement grave qui nécessite un traitement immédiat.

La **figure** ci-dessous montre un exemple d'un signal ECG contient une tachycardie ventriculaire.



**Figure I.9 :** Tachycardie Ventriculaire [11].

## I.3.2 Bradycardies

Les bradycardies ou diminution du rythme cardiaque, est généralement inférieure à 60 battements par minute. Il existe plusieurs types de bradycardie, chacun avec ses propres caractéristiques. Voici quelques exemples :

## a. Bradycardie sinusale :

Bradycardie sinusale est un type de bradycardie qui se produit lorsque le nœud sinusal, qui génère normalement le rythme cardiaque, ralentit son activité. Bien que cette condition soit généralement sans danger, elle peut parfois causer des symptômes tels que des étourdissements ou des évanouissements. Dans certains cas, un traitement médical peut être nécessaire pour gérer les symptômes.

## b. bloc sino-auriculaire :

Le bloc sino-auriculaire est une anomalie de la conduction cardiaque dans laquelle le signal électrique n'est pas transmis de manière normale entre le nœud sinusal et les oreillettes. Cette anomalie peut provoquer une bradycardie et des symptômes associés tels que des vertiges, une faiblesse ou une perte de conscience.

## c. bloc auriculo-ventriculaire (BAV) :

Le bloc auriculo-ventriculaire est une anomalie de la conduction cardiaque où l'activité électrique ne se transmet pas correctement de l'oreillette au ventricule. Cette anomalie peut causer une bradycardie et des symptômes tels que des étourdissements, une faiblesse ou une perte de conscience. Le BAV est classé en trois types selon la sévérité de la conduction altérée.

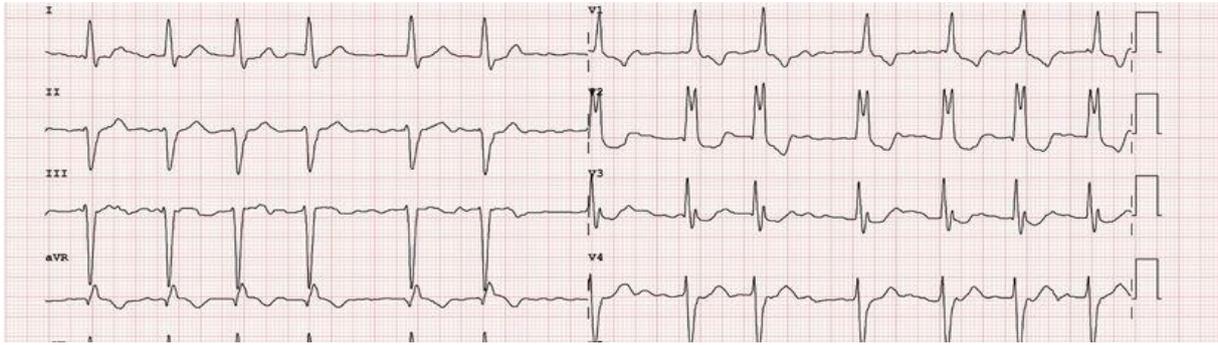
### 1.3.3 Les fibrillations

#### a. Fibrillation auriculaire :

La fibrillation auriculaire est une anomalie du rythme cardiaque qui se caractérise par une activité chaotique et irrégulière des oreillettes du cœur, augmentant ainsi le risque de complications telles que la formation de caillots sanguins et l'insuffisance cardiaque. Sur un électrocardiogramme (ECG), la fibrillation auriculaire se caractérise par les changements suivants :

- Rythme irrégulier
- Ondes fibrillaires
- Absence de complexes d'ondes QRS et onde P
- Intervalles RR irréguliers

La **figure** ci-dessous montre un exemple d'un signal ECG contient une fibrillation auriculaire.



**Figure I.10** : fibrillation auriculaire [12].

## b. Fibrillation ventriculaire :

La fibrillation ventriculaire est un trouble grave du rythme cardiaque dans lequel les ventricules cardiaques battent de manière chaotique et incontrôlable, empêchant ainsi la circulation sanguine normale. Sur un électrocardiogramme, la fibrillation ventriculaire est caractérisée par :

- l'absence de complexes QRS identifiables
- des oscillations rapides et irrégulières

Si elle n'est pas traitée rapidement, la fibrillation ventriculaire peut entraîner une perte de conscience, un arrêt cardiaque et la mort.

La **figure** ci-dessous montre un exemple d'un signal ECG contient une fibrillation ventriculaire.



**Figure I.11** : fibrillation ventriculaire [13].

## I.4 Les applications d'un ECG

### a. Cardiologie :

On a recours à l'ECG afin d'identifier les troubles du rythme cardiaque, les maladies coronariennes, les anomalies congénitales, les maladies valvulaires ainsi que les cardiomyopathies. À cet égard, nous mentionnons deux exemples :

- **Surveillance en soins intensifs** : Les patients ayant subi une chirurgie cardiaque sont placés dans l'unité de soins intensifs (ICU), dans le but d'une surveillance continue en temps réel de l'électrocardiogramme, et ce, dans le cas où un événement grave mettant la vie en danger, tel qu'un arrêt cardiaque, est détecté et les médecins peuvent être alertés pour commencer les procédures de sauvetage [14].
- **Surveillance de la santé cardiaque** : Les patients présentant des symptômes tels que palpitations cardiaques, syncope, diabète et hypertension artérielle qui présentent un risque de mort subite sont surveillés pour la santé cardiaque via une surveillance ECG ambulatoire (également appelée surveillance Holter d'après son inventeur Norman Holter) et une surveillance quotidienne de 24 heures de activité. Cet appareil enregistre et stocke un ECG. Une fois que le patient retourne l'appareil à l'hôpital, l'ECG enregistré est analysé par un ordinateur et les résultats sont ensuite évalués par un médecin. Cet appareil nous permet de prédire précocement les problèmes de santé cardiaque [14].

### b. Anesthésiologie :

Un électrocardiogramme (ECG) est utilisé en anesthésie pour surveiller l'activité cardiaque du patient anesthésié pendant l'intervention chirurgicale. Ceci dans le but d'être au courant d'éventuelles arythmies lors d'interventions chirurgicales et d'interventions anesthésiques. Évaluation périopératoire de la fonction cardiaque.

Dans une étude publiée en 2019, les auteurs ont évalué l'utilisation de l'ECG en temps réel pour surveiller la fonction cardiaque chez les patients subissant une chirurgie cardiaque. Ils ont constaté que l'ECG en temps réel était efficace pour identifier les changements de rythme cardiaque et les anomalies électriques, permettant ainsi une intervention rapide pour minimiser les complications postopératoires [15].

Une autre étude publiée en 2021 a évalué l'utilisation de l'ECG pendant les procédures d'anesthésie générale chez les enfants. Les auteurs ont constaté que l'ECG était utile pour

détecter les arythmies cardiaques et les changements de rythme, permettant ainsi une intervention rapide pour prévenir les complications cardiaques chez les enfants [16].

### **c. Pédiatrie :**

En pédiatrie, l'ECG est employé pour détecter les anomalies cardiaques congénitales et les troubles du rythme cardiaque chez les enfants, permettant ainsi aux médecins d'identifier les anomalies cardiaques chez les nouveau-nés, d'agir précocement et de prodiguer les traitements adaptés [17].

### **d. Médecine sportive :**

Dans le domaine de la médecine sportive, l'ECG est utilisé pour évaluer la santé cardiaque des athlètes et détecter tout signe de maladie cardiaque qui pourrait être exacerbé par l'exercice. Il permet également d'évaluer les effets de l'entraînement sur le cœur et d'aider à déterminer les niveaux d'activité sûrs pour les athlètes atteints de maladies cardiaques. Les athlètes de haut niveau sont particulièrement vulnérables aux anomalies cardiaques en raison de l'entraînement intensif et de l'utilisation de substances dopantes, ce qui rend l'ECG encore plus important pour surveiller leur santé cardiaque tout au long de leur carrière et prévenir les accidents cardiaques soudains.

## **1.5 Conclusion**

En conclusion, l'ECG est un outil important dans le domaine médical. Ce test simple nous permet de diagnostiquer de nombreux troubles et maladies cardiaques. Dans ce premier chapitre, nous avons présenté le processus de conduction électrique du cœur ainsi que la compréhension de la nature et le changement du signal électrique enregistré par ECG. Nous avons également présenté certaines des maladies cardiaques découvertes grâce à l'enregistrement, ainsi que les domaines de son utilisation.

# **Chapitre II :**

**Systeme proposé pour  
la surveillance du  
patient par ECG**

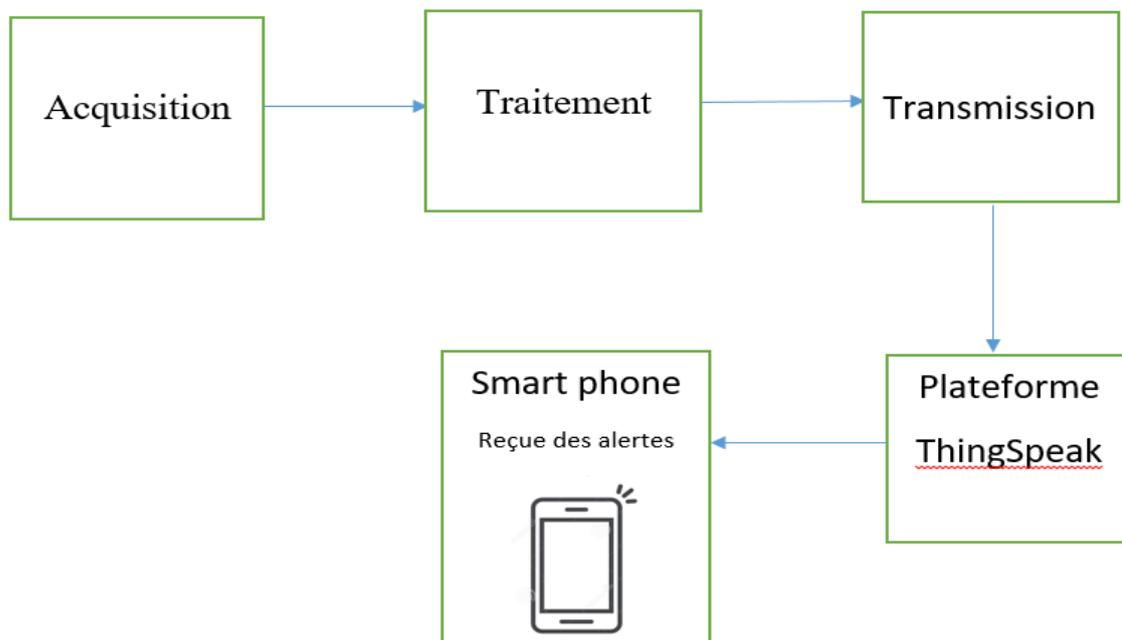
# SYSTEME PROPOSE POUR LA SURVEILLANCE DU PATIENT PAR ECG

## II.1. Introduction

Le développement technologique dans le domaine médical a contribué au développement d'un système de surveillance du patient dans l'électrocardiogramme (ECG) en temps réel afin de suivre les signes vitaux du patient, notamment la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. Ce système vise à collecter les signaux ECG du patient à l'aide de capteurs électroniques et à les envoyer en temps réel vers une plateforme Cloud pour une surveillance à distance par le personnel médical. Dans ce chapitre, nous décrivons le développement d'un tel système utilisant des signaux électriques enregistrés, un logiciel de traitement comme Matlab pour traiter des données, un ESP32 pour transmettre les données sans fils, et la plateforme ThingSpeak pour stocker des données et envoyer des alertes à un smartphone.

- Système proposé pour la surveillance des patients :

La **figure** suivante démontre les étapes de notre système de surveillance de patient. Notre système est composé de 5 étapes. Dans la suite de ce chapitre, nous allons décrire les détails de chaque phase de notre système.



**Figure II.12 :** Schéma synoptique d'un système proposé pour la surveillance de patient par ECG.

## II.2 Acquisition de signal ECG

Généralement, dans un système de surveillance de patient ECG, des capteurs ECG placés sur la poitrine du patient sont utilisés pour détecter et transmettre les signaux électriques du cœur au système de surveillance. Dans notre système de surveillance de patient par ECG, nous avons utilisé la base de données MIT-BIH comme une source de données pour obtenir des signaux ECG.

### II.2.1. La base de données MIT-BIH

Dans notre travail, nous utilisons des signaux préenregistrés pour une utilisation dans la recherche ECG et le développement de systèmes de surveillance à distance des patients. La base de données MIT-BIH est une collection de signaux ECG (électrocardiogrammes) enregistrés à partir de patients atteints de troubles cardiaques. L'avantage majeur de cette base est qu'elle contient un grand nombre de pathologies cardiaques, ce qui permet de valider les algorithmes sur un grand nombre de cas de signaux ECG. [18]

#### *Description des données :*

La base de données MIT-BIH Arrhythmia Database contient 48 extraits d'une demi-heure d'enregistrements ECG ambulatoires à deux canaux, obtenus à partir de 47 sujets étudiés par le BIH Arrhythmia Laboratory entre 1975 et 1979. Vingt-trois enregistrements ont été choisis au hasard parmi un ensemble de 4000 24- enregistrements ECG ambulatoires d'une heure collectés auprès d'une population mixte de patients hospitalisés (environ 60 %) et de patients externes (environ 40 %) à l'hôpital Beth Israel de Boston ; les 25 enregistrements restants ont été sélectionnés dans le même ensemble pour inclure des arythmies moins courantes mais cliniquement significatives qui ne seraient pas bien représentées dans un petit échantillon aléatoire.

Les enregistrements ont été numérisés à 360 échantillons par seconde par canal avec une résolution de 11 bits sur une plage de 10 mV. Deux cardiologues ou plus ont annoté indépendamment chaque enregistrement ; les désaccords ont été résolus pour obtenir les annotations de référence lisibles par ordinateur pour chaque battement (environ 110 000 annotations au total) incluses dans la base de données [19].

## II.3. Traitement le signal ECG

Le traitement de signal ECG est un processus important dans notre système de surveillance de patient. Notre processus compose de 4 étapes (filtrage, détection des complexes QRS, fréquence cardiaque, détection d'anomalie). Dans la suite de cet élément, nous allons décrire les détails de chaque étape de notre processus.

### II.3.1 Filtrage

Dans cette partie, nous passons à l'étape de filtration qui est une étape importante dans le traitement du signal. Il existe plusieurs techniques de filtrage telles que : le filtre passe-bas, le filtre passe-bande et le filtre passe-haut. On utilise le filtre passe-bas dans notre travail car cette technique permet de supprimer les fréquences élevées du signal, éliminant ainsi le bruit élevé et les artefacts du signal.

Pour appliquer cette technique, il doit définir les paramètres de filtre tel que : fréquence de coupure et le type de filtre.

### II.3.2. Détection des complexes QRS

Le complexe QRS est la partie la plus importante du signal ECG, car il fournit des informations précieuses sur le comportement cardiaque. Et pour détecter cette partie, on utilise l'algorithme de PAN & Tompkins qui est basé sur la détection des pics R et détermination des intervalles RR [20].

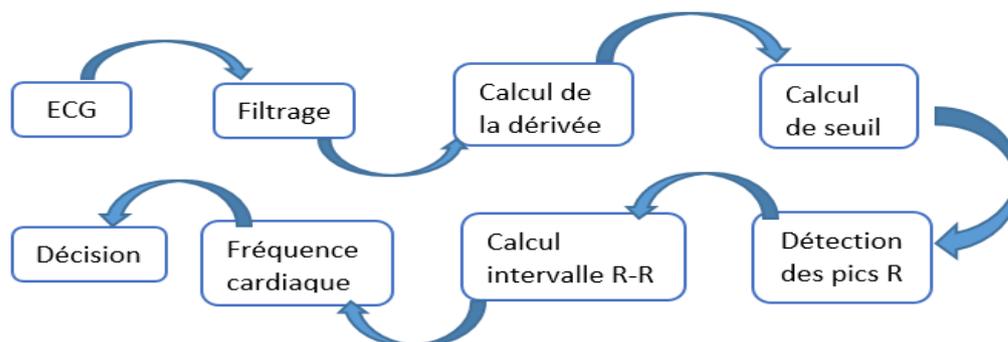


Figure II.13 : Diagramme des étapes de l'algorithme de Pan et Tompkins.

# SYSTEME PROPOSE POUR LA SURVEILLANCE DU PATIENT A DISTANCE

Cet algorithme comprend six étapes qui se décomposent de la manière suivante :

- Filtrage
- Dérivation
- Calcul de seuil
- Détection des pics R
- Calcul intervalle R-R
- Fréquence cardiaque

### ***II.3.3. Fréquence cardiaque***

La fréquence cardiaque est le nombre de battements cardiaques par minute. Cette mesure est importante pour détecter les anomalies cardiaques. Elle est mesurée en utilisant l'intervalle R-R  $[R_n, R_{n+1}]$ . On utilise la formule (1) ci-dessous pour calculer la fréquence cardiaque :

$$F_{card} = (R_r \times 60) / D_s \quad (II.1)$$

D'où  $D_s$  représente la durée d'une séquence du signal ECG, et  $R_r$  est le nombre d'onde (pics) R dans la séquence  $D_s$  [21].

### ***II.3.4. Détection d'anomalie***

La détection d'anomalies cardiaques repose sur l'analyse de la variation de la fréquence cardiaque à partir des complexes QRS détectés. La fréquence cardiaque est considérée comme anormale si elle dépasse la fourchette normale qui est située entre 60 et 100 bpm pour les adultes au repos.

La condition de détection d'anomalie cardiaque est formulée comme suit [21]:

$$\text{Max} \{F_{card}\} - \text{Min} \{F_{card}\} > \Psi \quad (II.2)$$

Tel que,  $\Psi$  est une valeur empirique proposée par les spécialistes du domaine biomédical et qui est égale à 0,16. [22]

## ***II.4. Transmission Signal ECG***

Pour envoyer les données ECG à la plateforme ThingSpeak, nous devons connecter l'ESP 32 à notre ordinateur via un câble USP. Nous utilisons des outils de développement tels que l'IDE Arduino pour écrire notre code de transmission et envoyer ces données via une connexion sans fil (Wi-Fi). Vous devez préciser les identifiants de notre réseau Wi-Fi ou de notre point d'accès mobile tels que : nom Wi-Fi « SSID » et mot de passe. La même pour nos identifiants de plateforme utilisés pour recevoir ces données tels que : identifiant de canal « ID » et clé d'écriture d'API.

## ***II.5. ThingSpeak***

Cloud ou nuage est souvent utilisé dans le domaine de l'informatique pour un ensemble de ressources informatiques qui sont mises à via Internet. Ces ressources peuvent inclure des serveurs, des réseaux, des bases de données, etc. Dans notre cas, nous avons utilisé la plateforme ThingSpeak comme serveur pour lire nos données et les stocker dans le Cloud.

ThingSpeak est une plateforme IoT permettant de collecter, analyser et visualiser des données en temps réel provenant de capteurs et autres sources de nombreuses <<Application IoT>>. Elle met à disposition une API de collecte de données ainsi qu'une interface graphique pour visualiser et analyser ces données. En utilisant ThingSpeak, les utilisateurs ont la possibilité de déclencher des actions en fonction des données collectées, tels que l'envoi d'alertes par e-mail ou l'activation de dispositifs d'actionnement. Au-delà de stocker et récupérer les données, ThingSpeak est interactif avec le logiciel de programmation Matlab étant en étroite collaboration avec MathWorks [23].

### ***II.5.1. Exploitation de la plateforme ThingSpeak***

L'accès à la plateforme ThinkSpeak nécessite un compte utilisateur avec une adresse e-mail et un mot de passe. Et pour stocker des informations sur cette plateforme, il est nécessaire d'ouvrir un canal pour chaque patient qui inclut ses propres informations vitales. Un canal doit avoir un identifiant numérique unique et deux clés de cryptage (cryptographiques) uniques, donc deux clés seront générées automatiquement après la création d'un canal, une pour écrire des données sur le canal et une pour pouvoir les lire.

# SYSTEME PROPOSE POUR LA SURVEILLANCE DU PATIENT A DISTANCE

## A. Création d'un canal :

Pour créer une chaîne sur ThingSpeak, nous devons suivre ces étapes :

- Name (Nom du canal) : On doit choisir un nom unique pour le canal ThingSpeak pour le patient 1.
- Field (Champ) : On coche la case de chaque champ, avant de pouvoir saisir son nom.

Chaque canal peut avoir jusqu'à 8 champs. Nous avons besoins de 4 champs, un pour le visualiser signal ECG, le deuxième pour le rythme cardiaque, et deux champs pour la localisation du patient à savoir la latitude et la longitude.

Après la sauvegarde, nous pouvons obtenir des données dans un canal à partir d'un appareil, d'un site Web ou d'un autre canal ThingSpeak. Nous pouvons ensuite visualiser les données et les transformer à l'aide des applications ThingSpeak.

## B. Les clés de chiffrement :

### B.1 Write API keys :

Cette clé nous permet de transférer et d'écrire des données sur le canal. Il est unique et crypté, nous pouvons le régénérer sans risque d'intrusion.

### B.2 Read API key :

La clé de lecture permet uniquement d'accéder aux données pour la visualisation des flux et des graphiques sur un canal privé. Dans notre cas, le médecin est le seul à posséder cette clé pour des raisons de confidentialité. De même, la clé d'écriture est également unique et cryptée, et peut être régénérée en cas d'effraction ou d'usurpation d'identité.

## II.5.2. Configuration d'alertes

IFTTT est un service Web en ligne gratuit qui permet de créer des connexions entre différents appareils et services Internet. . Les applets IFTTT sont des programmes qui définissent une condition à remplir, et une action à effectuer si cette condition est remplie [24].

# SYSTEME PROPOSE POUR LA SURVEILLANCE DU PATIENT A DISTANCE

On utilise le service « Webhooks» qui est un outil efficace pour recevoir des notifications sans vérifier constamment. Ce dernier nous permet d'envoyer des alertes d'événements ou des actions via des requêtes. C'est une option de rappelle HTTP définies par l'utilisateur, qui récupère et stocke les données issues d'un événement qui peut être externe à l'application.

Nous suivons les étapes suivantes pour déclencher une alerte au système de surveillance des patients ECG :

- On accède à la page officiel de IFTTT, et on sélectionne "Recevoir une demande web" comme service de déclenchement.
- On définit le nom de l'événement : "alerte ECG".
- Dans "Alors que", on sélectionne "Envoyer un e-mail" et on choisit l'adresse e-mail du médecin traitant du patient.
- On écrit l'objet de l'email et le message d'alerte dans le corps de l'email.
- On enregistre la recette.

## ***II.5.3. Les applications de ThingSpeak***

ThingSpeak propose des applications qui facilitent l'intégration de notre système avec des services web, des réseaux sociaux et d'autres API. Parmi ces applications, nous utiliserons React et ThingHTTP.

### ***a- ThingHTTP :***

ThingHTTP permet la communication entre les périphériques, la connexion à des sites et des services web et supporte des méthodes GET, PUT, POST, et DELETE de http sans avoir à mettre en œuvre le protocole au niveau de l'appareil [25].

Pour créer une application ThingHTTP dans ThingSpeak, nous suivons les étapes suivantes :

- On crée « new ThingHTTP » en cliquant « Apps » dans le menu principale de ThingSpeak.
- On définit un nom et une description pour notre application ThingHTTP.
- On définit les champs « URL », « Method » et « Content type ».
- On clique sur "Save ThingHTTP" pour enregistrer notre application ThingHTTP.

# SYSTEME PROPOSE POUR LA SURVEILLANCE DU PATIENT A DISTANCE

## *b- React :*

React permet de définir des règles qui spécifient comment réagir à certains événements, comme la réception de données sur un canal ThingSpeak. Par exemple, on peut définir une règle pour envoyer un e-mail si la fréquence cardiaque mesurée dépasse une certaine valeur seuil.

Ainsi, on peut combiner React et ThingHTTP pour créer des systèmes de surveillance et de notification automatisés en utilisant les données de ThingSpeak.

Pour créer une application React dans ThingSpeak, nous devons suivre les étapes suivantes :

- On sélectionne "React" comme choix dans la liste des applications disponibles dans le menu principale.
- On définit les déclencheurs, les conditions et les actions souhaitées dans notre application.
- On enregistre notre application.

Une fois que nous avons créé notre application React, on peut la tester en publiant des données sur un canal ThingSpeak qui correspond à nos déclencheurs et conditions.

## *II.6. Réception d'alerte*

Une fois que la configuration de React, ThingHTTP et de l'applet IFTTT est terminée et l'anomalie détectée. Elle déclenchera automatiquement l'événement et enverra des données sur le canal. Le médecin ou l'assistant médical reçoit une notification d'un e-mail quelques secondes après le déclenchement de l'alerte.

Après avoir reçu l'email, le médecin aura accès au canal pour avoir un aperçu particulier de l'état de santé du patient. Pour accéder aux données de l'ECG du patient, il faut utiliser sa "Clé API de lecture" unique. Cette clé peut être utilisée via l'application Pocket IoT, disponible sur le Play store, qui permet de visualiser les canaux ThingSpeak. Une fois l'accès au canal est établi, le médecin pourra visualiser l'ECG en utilisant l'application de visualisation MATLAB. En plus de l'ECG, le médecin aura également accès à d'autres données telles que la position du patient et son rythme cardiaque.

## II.7. Conclusion

En conclusion, le développement d'un système de surveillance de patients par ECG en utilisant ESP32 avec la plateforme ThingSpeak pour la collecte d'alertes sur smartphone peut avoir un impact significatif sur le suivi des signes vitaux des patients. Ce système permet de collecter, transmettre et stocker les données ECG en temps réel, ce qui permet aux médecins et aux infirmiers de suivre l'état des patients à distance et de prendre des décisions rapides et éclairées en cas d'urgence. En outre, la plateforme ThingSpeak offre aux utilisateurs un accès facile aux données collectées, ce qui facilite leur suivi et leur interprétation. Toutefois, il est important de souligner que ce système ne remplace pas les consultations médicales régulières, mais plutôt les complète en fournissant un suivi continu et en alertant les professionnels de santé en cas de besoin.

# Chapitre *III* :

*Résultats*

*Et*

*Discussion*

## III.1 Introduction

L'objectif de notre application de surveillance à distance est de fournir une solution efficace pour alerter l'assistant médical en cas de dysfonctionnement du rythme cardiaque chez le patient. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de comprendre les différentes étapes techniques que le signal d'électrocardiogramme (ECG) traverse, ainsi que la technologie Internet des objets (IoT), afin de pouvoir envoyer et recevoir les données.

Dans ce chapitre, on présente les résultats obtenus lors de chaque étape de l'étude du signal ECG. Nous mettrons également en évidence le processus de transmission et de stockage des données. En plus de créer des applications dans le but d'alerter l'assistant médical tout en permettant l'accès à information.

## III.2 Acquisition de signal ECG

On accède à la base de données MIT-BIH (PhysioNet), et on télécharge le fichier signal ECG qui contient plusieurs d'enregistrements ECG. On utilise le code suivant dans la **figure III.1** sur la fenêtre « command Windows » qui ajoute les fonctions de boîte à outils WFDB pour Matlab.

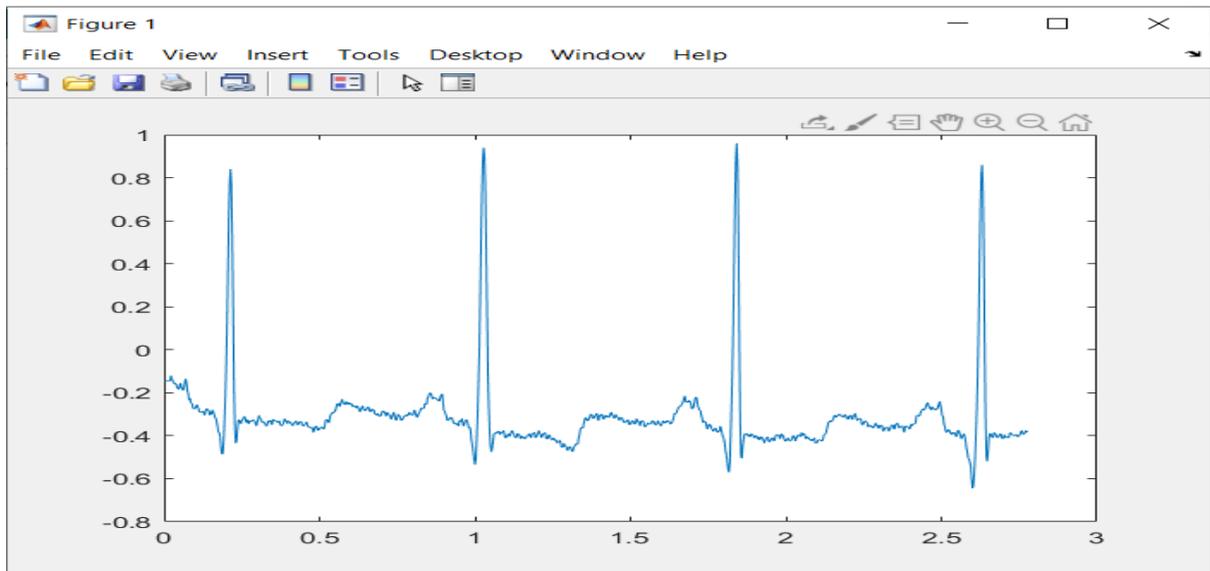
La boîte à outils WFDB pour MATLAB est un ensemble de fonctions permettant de lire, d'écrire et de traiter des signaux physiologiques et des séries temporelles dans les formats utilisés par les bases de données PhysioBank (entre autres). La Toolbox est compatible avec MATLAB 64 bits et GNU Octave sous GNU/Linux, Mac OS X et MS-Windows [26].

La **figure III.1** ci-dessous montre les commandes utilisées pour installer la boîte à outils WFDB.

```
[old_path]=which('rdsamp'); if(~isempty(old_path)) rmpath(old_path(1:end-8)); end
wfdb_url='https://physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/wfdb-app-toolbox-0-10-0.zip';
[filestr,status] = urlwrite(wfdb_url,'wfdb-app-toolbox-0-10-0.zip');
unzip('wfdb-app-toolbox-0-10-0.zip');
cd mcode
addpath(pwd)
savepath
```

**Figure III.1** : les commandes pour l'installation de WFDB Toolbox

Ces commandes permettent de lire et de tracer le signal ECG dans la **figure III.2** à l'aide du code Matlab de l'un des ensembles de données PhysioBank.

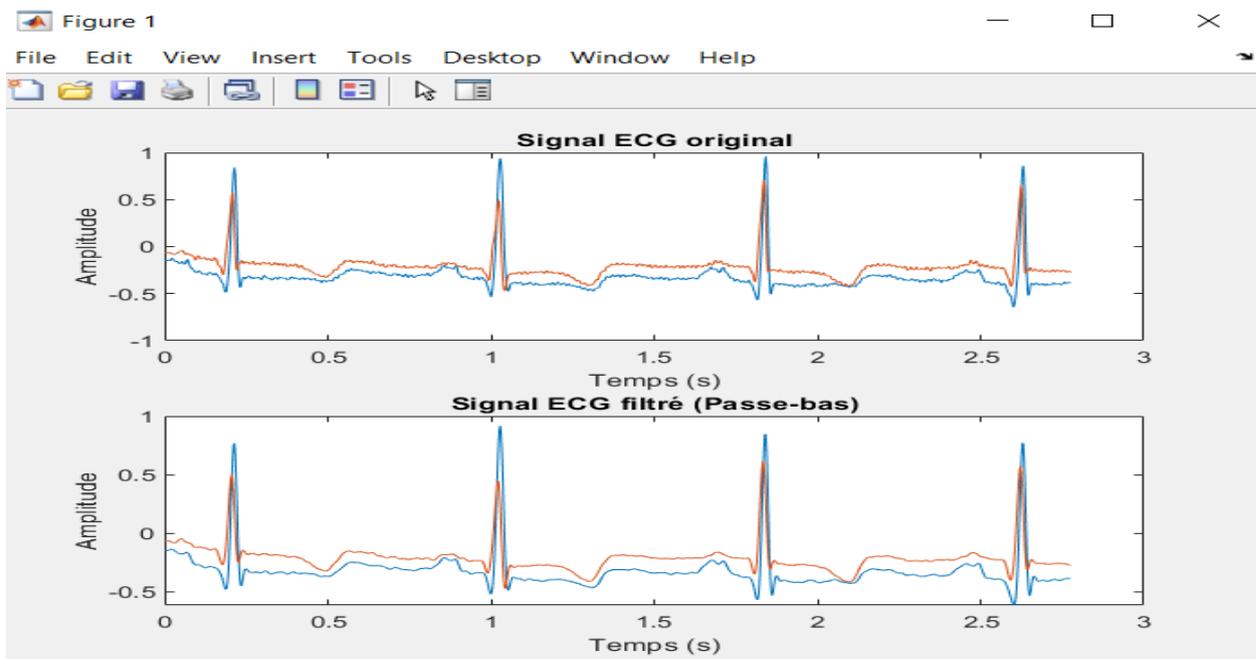


**Figure III.2 :** Signal ECG bruité

### *III.3 Traitement de signal ECG*

Nous avons utilisé le code ci-dessous pour filtrer le signal ECG bruyant, afin de l'utiliser pour la détection complexe QRS. Ce dernier permet de calculer la fréquence cardiaque, puis de détecter des anomalies cardiaques.

La **figure III.3** ci-dessous montre l'amélioration obtenue après le filtrage.



**Figure III.3 :** Signal ECG bruité et filtré

La **figure III.4** ci-dessous montre les différents ondes R détectées par notre algorithme Pan-Tompkin dont le complexe QRS du signal ECG.



**Figure III.4** : Détection complexes QRS du signal ECG

Ces mesures peuvent être extraites pour calculer la fréquence cardiaque en déterminant le nombre de pics R dans la durée de la séquence de signaux ECG en 1 minute. Nous pouvons mesurer la fréquence cardiaque en surveillant les changements de fréquence cardiaque au repos, pendant l'exercice ou pendant d'autres activités.

La détection d'anomalies à partir des résultats de détection QRS nécessite une analyse et une comparaison des résultats obtenus avec des normes de référence spécifiques pour identifier les signes d'anomalies.

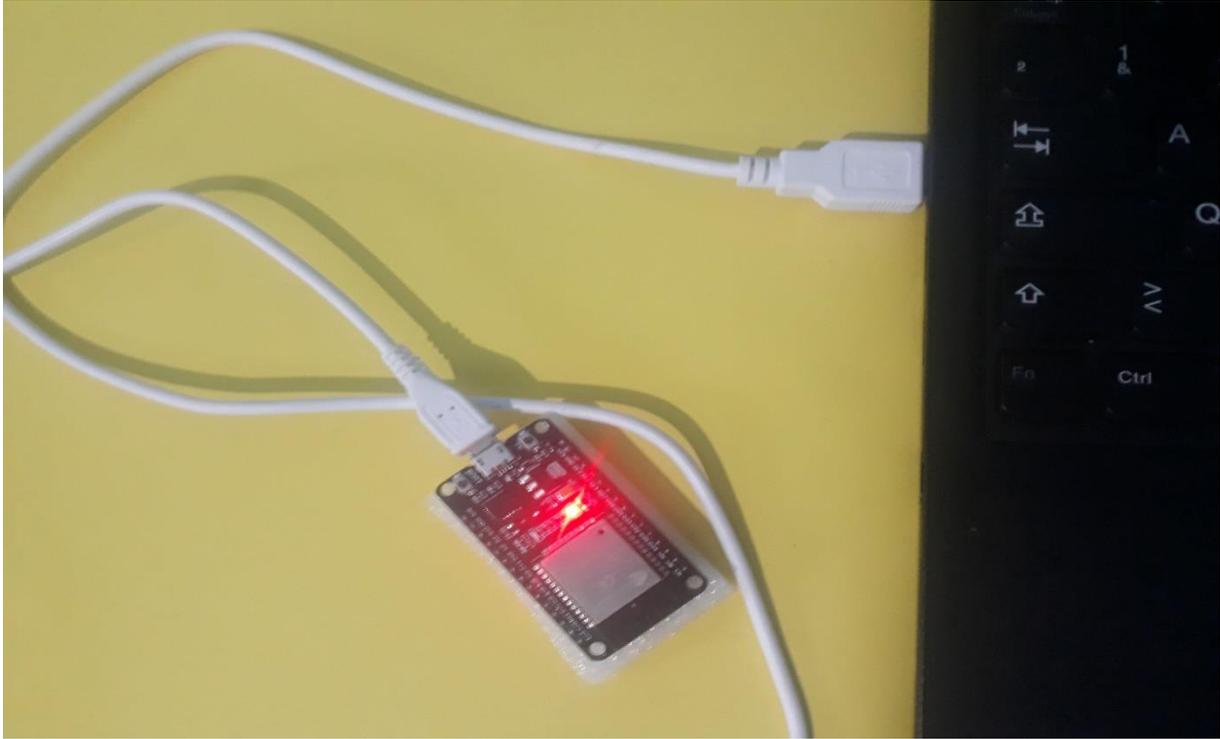
Ces résultats nous aident à extraire des informations précieuses sur la santé cardiaque et à détecter les problèmes potentiels.

### ***III.4 Transmission de signal ECG***

La surveillance à distance du signal ECG d'un patient nécessite la transmission des données ECG à la plateforme ThingSpeak pour une visualisation ultérieure par les médecins. Pour cela, nous avons utilisé ESP32 pour envoyer ces données via une connexion sans fil, telle que le WiFi.

Nous avons relié l'ESP 32 avec notre pc par un câble USP pour une communication en série, nous avons utilisé l'IDE arduino pour réaliser notre opération de transmission. D'abord, il doit de sélectionner le port connecté avec ESP 32 (COM4). On installe les bibliothèques que on doit utiliser pour transmit le signal ECG, telle que : ESP 32, ThingSpeak, Wi-Fi.

La **figure** ci-dessous montre l'ESP 32 relié avec le pc par câble USP.



**Figure III.5** : L'ESP 32 relie avec ordinateur par câble USP

La **figure** ci-dessous, montre les bibliothèques utilisées pour réaliser notre code de transmission.

```
1 #include <WiFi.h> // bibliothèque gérer la communication Wi-Fi
2 #include <ThingSpeak.h> // bibliothèque spécifique à ThingSpeak
```

**Figure III.6** : Les bibliothèques utilisées pour la transmission du signal

La **figure** suivante, montre les instructions utilisées pour connecter l'ESP 32 à un réseau local ou à point d'accès pour transmettre les données par internet.

```
4 // Identifiants du réseau Wi-Fi
5 const char* ssid = "*****"; // Nom du réseau Wi-Fi
6 const char* password = "*****"; // Mot de passe du réseau Wi-Fi
```

**Figure III.7** : Les identifiants du réseau Wi-Fi

La **figure** ci-dessous montre nos identifiants de canal dans ThingSpeak pour permettre à ESP 32 d'envoyer des données à ce canal.

```

8 // Identifiants ThingSpeak
9 const char* apiKey = "*****"; // Clé API ThingSpeak
10 unsigned long channelID = *****; // ID du canal

```

**Figure III.8** : Les identifiants de ThingSpeak

### *III.5 ThingSpeak*

Pour afficher les données ECG envoyées par l'ESP 32 à ThingSpeak, un canal doit être créé dans cette plateforme à cet effet. Nous devons accéder à notre compte ThingSpeak, dans l'option "Channels", nous trouvons l'option "New Channel" pour créer une nouvelle chaîne. Nous avons la possibilité de créer jusqu'à 8 champs sur notre chaîne.

La **figure** ci-dessous, montre les paramètres de notre canal qui nous avons créé pour visualiser les données ECG, telle que le nom de canal et les noms des champs.

## Channel Settings

Percentage complete 70%

Channel ID 2136762

Name Canal de surveillance ECG

Description Canal pour stocker et visualiser les données de surveillance ECG du patient.

Field 1 signal ECG

Field 2 rythme cardiaque

Field 3 latitude

Field 4 longitude

Field 5

Field 6

Field 7

Field 8

Metadata

Tags #ecg #iot  
(Tags are comma separated)

Link to External Site http://

Link to GitHub https://github.com/

Elevation

Show Channel Location

Latitude 36.8974

Longitude 7.75

Show Video   
 YouTube  
 Vimeo

Video URL http://

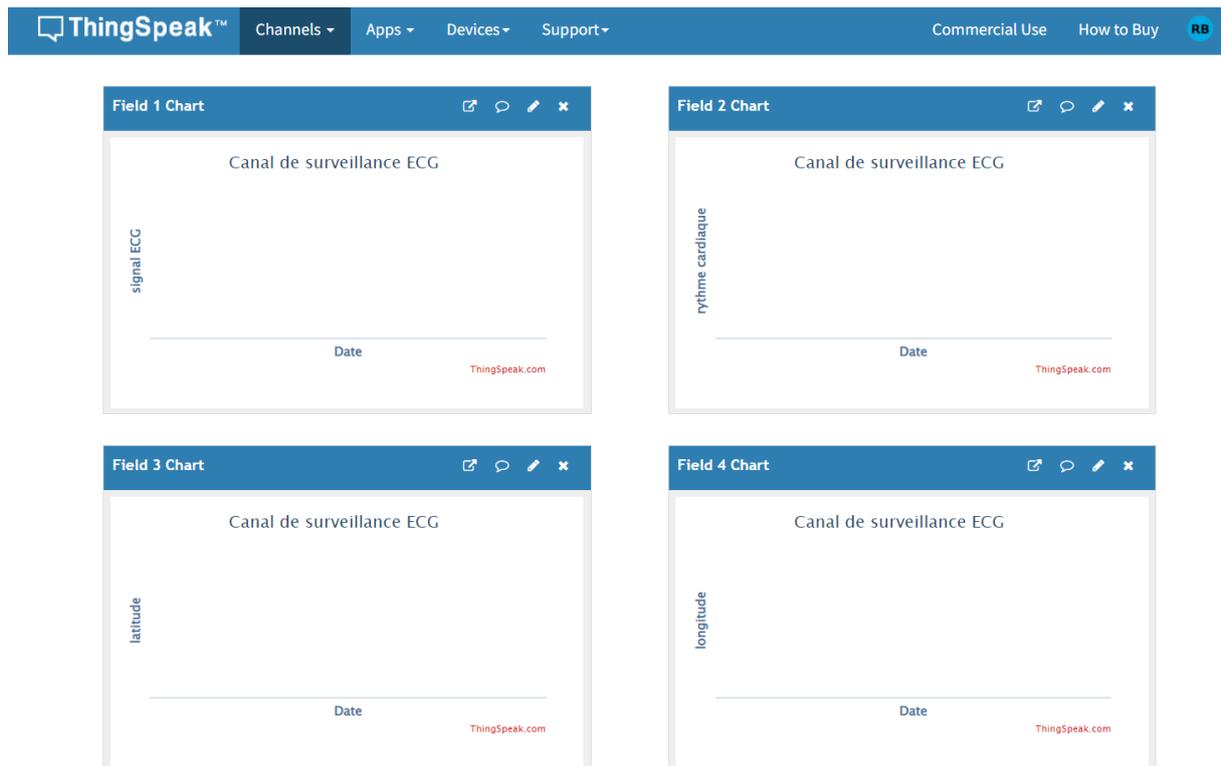
Show Status

Save Channel

Figure III.9 : Les paramètres de canal

Après la sauvegarde, ThingSpeak permet d'obtenir des données provenant de diverses sources telles que des appareils ou des sites web, et de les stocker dans des canaux dédiés. Une fois les données collectées, ThingSpeak offre des fonctionnalités de visualisation et de traitement des données à travers ses applications intégrées. Ces applications permettent d'afficher les données de manière conviviale et de les manipuler selon nos besoins.

La **figure** ci-dessous, nous montre les champs à visualiser avant la réception des données sur le canal. Notez que les champs sont vides.



**Figure III.10** : Canal avant transmission de données.

ThingSpeak utilise des clés API pour sécuriser l'accès aux canaux et aux données. Il existe deux types de clés API dans ThingSpeak : la clé d'écriture (Write API Key) et la clé de lecture (Read API Key).

La **figure** ci-dessous présente une clé d'écriture qui est utilisée pour envoyer des données à un canal ThingSpeak.

## Write API Key

Key

[Generate New Write API Key](#)

**Figure III.11** : Clé d'écriture

La **figure** ci-dessous, présente une clé de lecture qui est utilisé pour récupérer les données à partir d'un canal ThingSpeak.

## Read API Keys

Key

Note

[Save Note](#) [Delete API Key](#)

---

[Add New Read API Key](#)

**Figure III.12** : Clé de lecture

### *III.6 Configuration d'alerte*

Pour Informer le médecin par e-mail. Nous allons utiliser un service Web gratuit appelé IFTTT. Nous avons plusieurs choix d'applications appelées <Applets> que nous pouvons utiliser pour gérer nos événements et déclencher des actions qui s'adaptent à nos besoins spécifiques.

IFTTT propose un service appelé "Webhooks" qui utilise des requêtes web pour déclencher des actions. Lorsqu'un événement prédéfini se produit, une requête HTTP est envoyée à IFTTT, fournissant des informations sur cet événement. IFTTT reçoit cette requête et peut alors exécuter une action spécifique en réponse. Dans le cas des Webhooks, l'action généralement effectuée est l'envoi d'un message texte. Ainsi, vous pouvez automatiser des actions en utilisant des requêtes web et configurer IFTTT pour réagir aux événements spécifiques en envoyant des messages texte.

Afin de configurer nos alertes, nous avons défini un nom pour l'événement qui est « Alerte ECG », comme illustré à la **Figure III.13**.

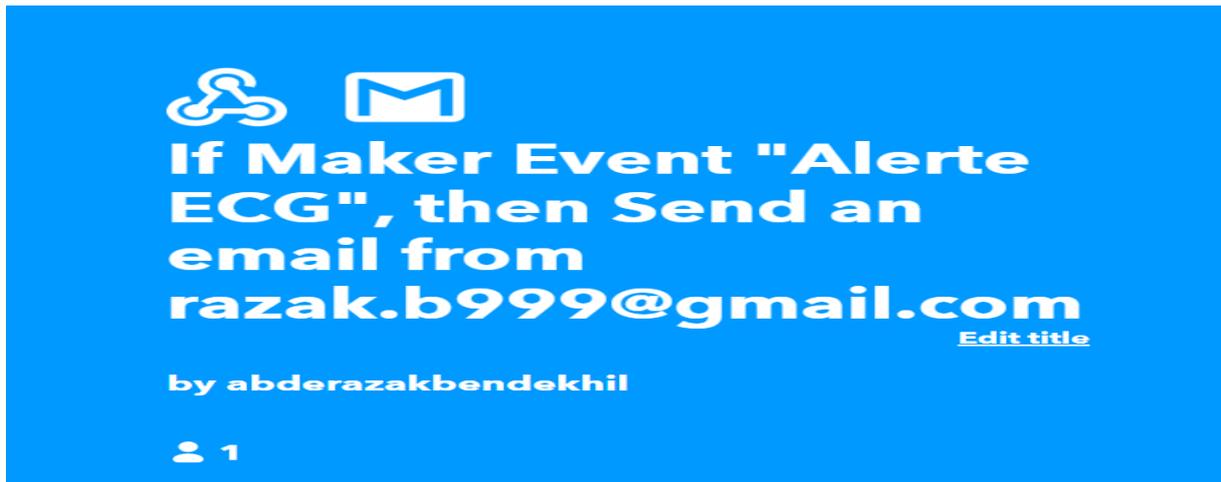


Figure III.13 : Définition de l'événement pour déclencher l'envoi de l'email.



Figure III.14 : Documentation de webhooks

Nous avons créé une requête ThingHTTP, choisi le même nom que l'événement IFTTT "Alerte ECG" et utilisé l'URL que nous avons obtenue de la documentation des Webhooks. Nous avons également choisi la méthode de type GET.

La **figure** ci-dessous, montre la configuration d'une requête ThingHTTP.

Edit ThingHTTP

---

Name:	Alerte ECG
API Key:	LX84A7H9N3MU0QKY
	<span style="background-color: #f39c12; color: white; padding: 5px 15px; border-radius: 3px;">Regenerate API Key</span>
URL:	https://maker.ifttt.com/trigger/AlerteECG/with/key/oKe_8ir6TBCnhTD7hNBhKe2BKul4sxVTKf0JOxGriuo
HTTP Auth Username:	
HTTP Auth Password:	
Method:	GET
Content Type:	
HTTP Version:	1.1
Host:	
Headers:	
Body:	
Parse String:	
Created:	2023-05-25 10:54 am

**Figure III.15** : Configuration d'une demande ThingHTTP.

Pour configurer « React » qui fonctionne avec les applications 'ThingHTTP', nous avons défini le nom 'Patient 1', défini le type de condition 'String' et la fréquence de test sur 'ON data insertion'. Nous définissons également le nom de notre chaîne et la condition d'alerte. Nous avons sélectionné 'ThingHTTP' comme action et entré le nom 'ThingHTTP' que nous avons spécifié précédemment. Nous avons choisi de cocher l'action "Exécuter chaque fois que la condition est remplie" avant d'enregistrer React, voir la **figure III.16**.

Apps / React / Patient 1

Edit React

Name:	Patient 1
Condition Type:	String
Test Frequency:	On data insertion
Last Ran:	
Channel:	Canal de surveillance ECG
Condition:	Field 1 (signal ECG) contains "Anomalie"
ThingHTTP:	Alerte ECG
Run:	Each time the condition is met
Created:	2023-05-25 5:35 pm

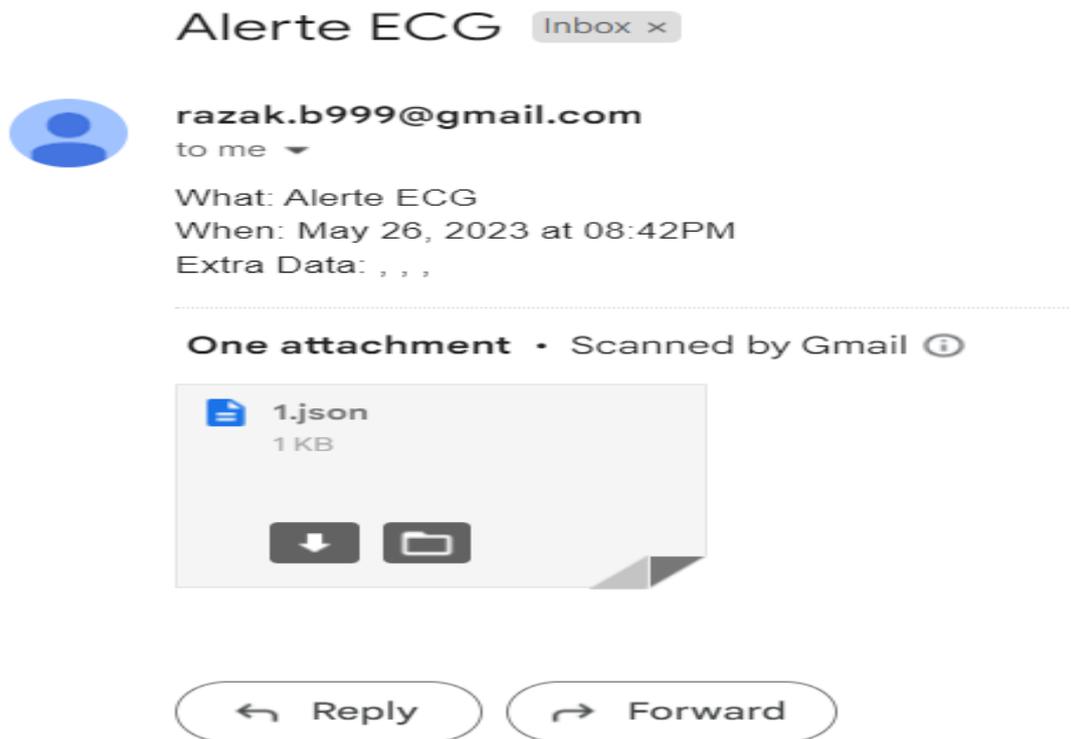
**Figure III.16** : Configuration du React

### *III.7. Réception de l'alerte et accès aux informations*

#### *III.7.1 Réception de l'alerte*

Après avoir configuré l'applet React, ThingHTTP et IFFT. Une fois l'anomalie détectée et les données transmises sur le canal, un événement se déclenchera automatiquement. Le médecin ou l'assistant médical reçoit un alerte email « Alerte ECG » en quelques secondes via l'email du patient configuré dans l'applet IFTTT.

La **figure III.17** représente le mail reçu par le médecin ou l'assistant médical lorsque l'anomalie a été détectée chez le patient inscrit.



**Figure III.17 :** L’email reçu par le médecin

La **figure III.18** représente le contenu de l'email du destinataire, qui contient un fichier au format (.json) Lorsqu'un médecin ou un assistant médical ouvre le fichier reçu, il retrouve les informations clés de son patient, telles que (channel ID, channel name, Coordonnées GPS, temps de détection d'anomalie).

```
{
  "channel": {
    "id": "2136762",
    "name": "Canal de surveillance ECG",
    "description": "Canal pour stocker et visualiser les données de surveillance ECG du patient.",
    "latitude": "36.8974",
    "longitude": "7.75",
    "field1": "signal ECG",
    "field2": "rythme cardiaque",
    "field3": "latitude",
    "field4": "longitude",
    "created_at": "2023-05-07T18:30:13Z",
    "updated_at": "2023-05-26T20:38:26Z",
    "last_entry_id": 4345,
    "feeds": [
      {
        "created_at": "2023-05-26T20:38:35Z",
        "entry_id": 4344,
        "field1": "10",
        "created_at": "2023-05-26T20:38:56Z",
        "entry_id": 4345,
        "field1": null
      }
    ]
  }
}
```

**Figure III.18 :** Contenne de fichier reçu dans l’email

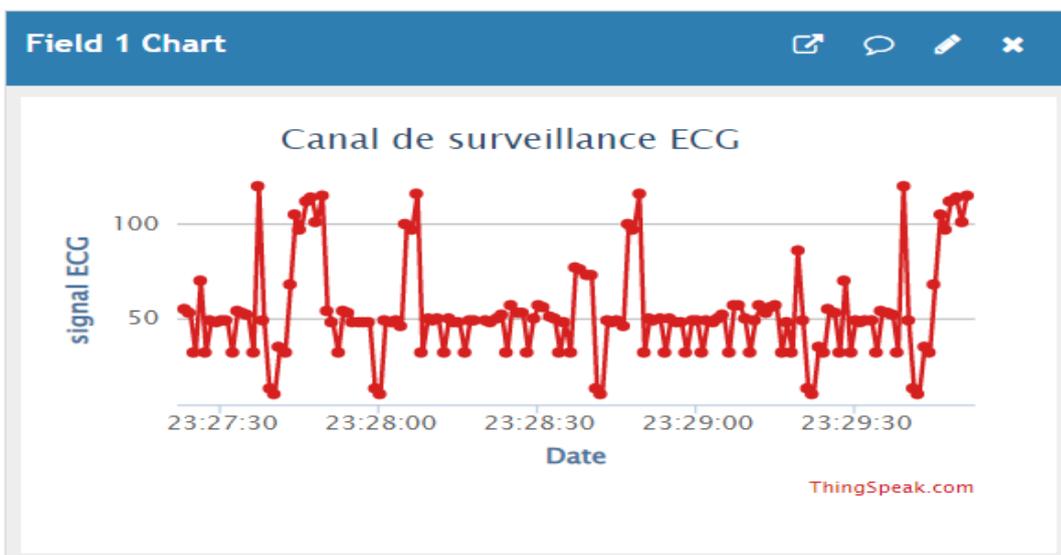
## III.7.2 Accès aux informations

Lorsque le médecin recevra l'e-mail, il pourra accéder au canal à l'aide d'une clé unique pour chaque patient appelée clé API de lecture. Il peut y accéder soit depuis son ordinateur, soit depuis son téléphone portable grâce à l'application Pocket IoT disponible dans le Playstore.

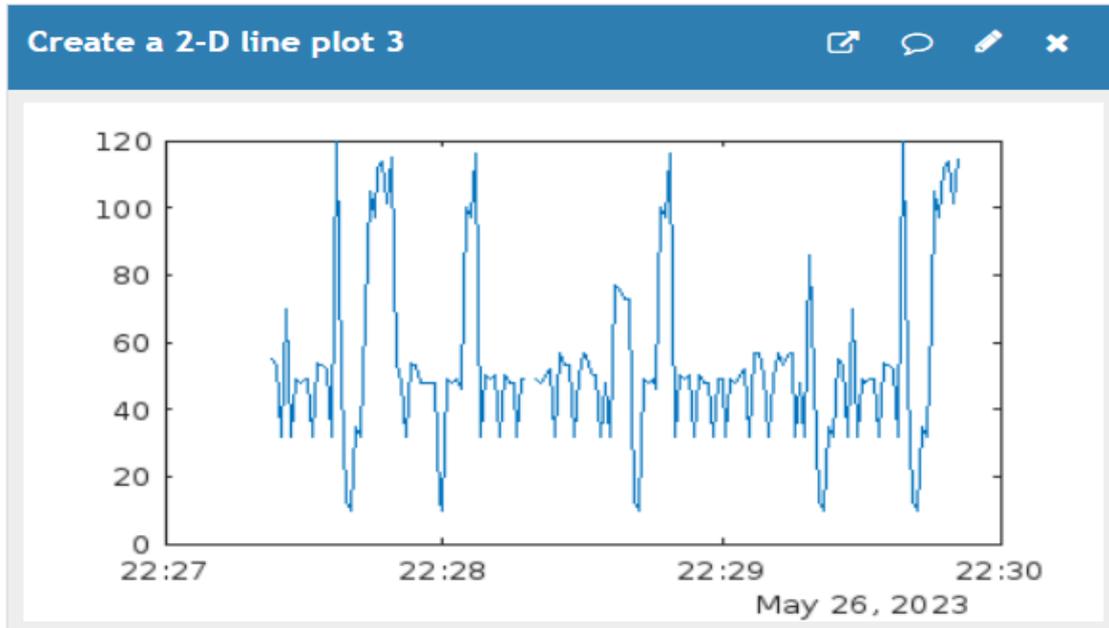
Une fois que le médecin entre dans le canal, il aura la possibilité de visualiser les informations sur l'état de santé du patient telles que la fréquence cardiaque, en plus de visualiser l'ECG à l'aide de l'application "Matlab Visualization" qui permet de voir le signal ECG en 2D.

### 1. Accès au signal ECG

Les **figures III.19 et III.20** montrent les signaux ECG de notre patient, le deuxième signal ECG est tracé par 'Matlab Visualization' en 2D.



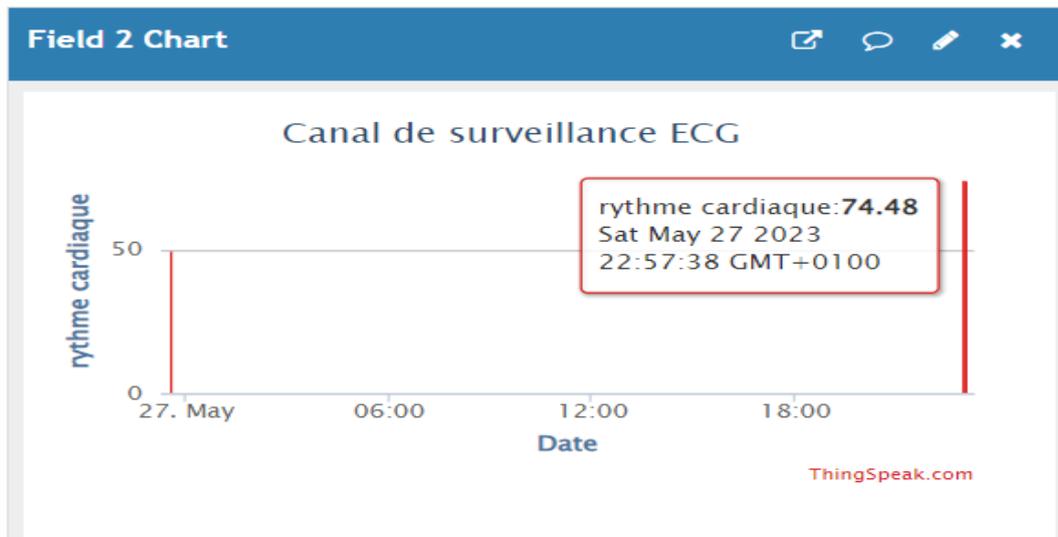
**Figure III.19** : Signal ECG de notre patient dans ThingSpeak



**Figure III.20** : Signal ECG visualisé en 2D

## 2. Accès au Fréquence cardiaque

La **figure III.21** présente la fréquence cardiaque de notre patient, ce qui est important car il fournit des informations précieuses pour évaluer la santé cardiaque d'un individu et prendre des décisions médicales.



**Figure III.21** : La fréquence cardiaque de patient

### 3. Accès au coordonnés GPS

Une intervention urgente et rapide en cas de danger pour la santé du patient et le manque d'assistance lui permet de sauver sa vie immédiatement et dans un délai nettement plus court. Pour elle, nous avons pensé à configurer le téléphone portable connecté au patient, pour envoyer des informations liées à l'état du patient en plus des coordonnées de localisation du patient à chaque fois qu'une anomalie est détectée.

Les **figures III.22 et III.23** Correspondent aux coordonnées de localisation GPS (latitude et longitude) du patient. Ainsi, ThingSpeak nous offre la possibilité de les localiser facilement sur la carte.

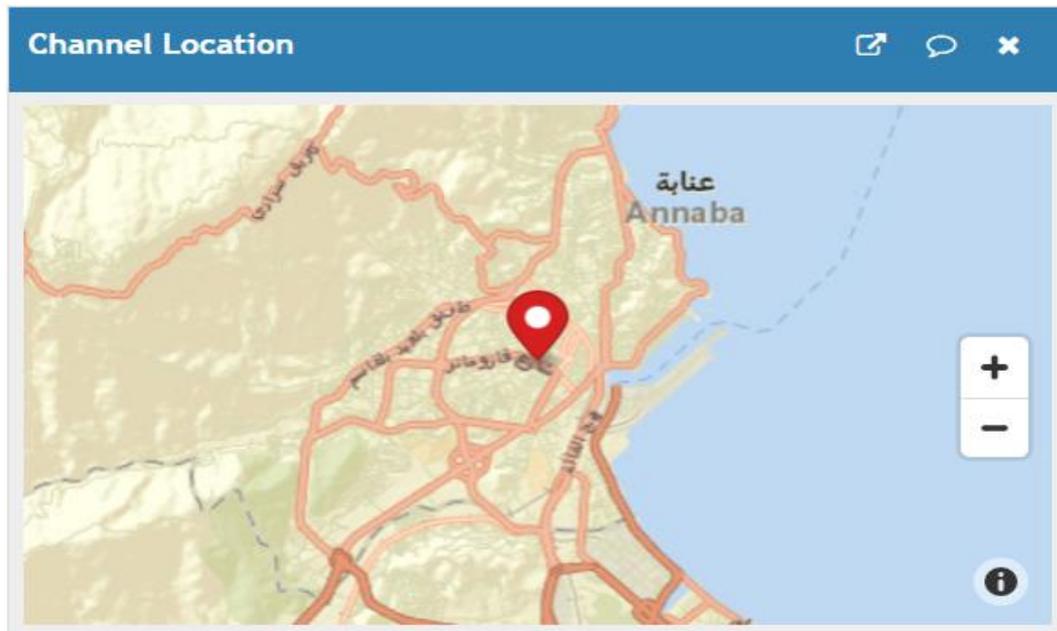


**Figure III.22 :** Coordonnées GPS (Latitude)



**Figure III.23 :** Coordonnées GPS (Longitude)

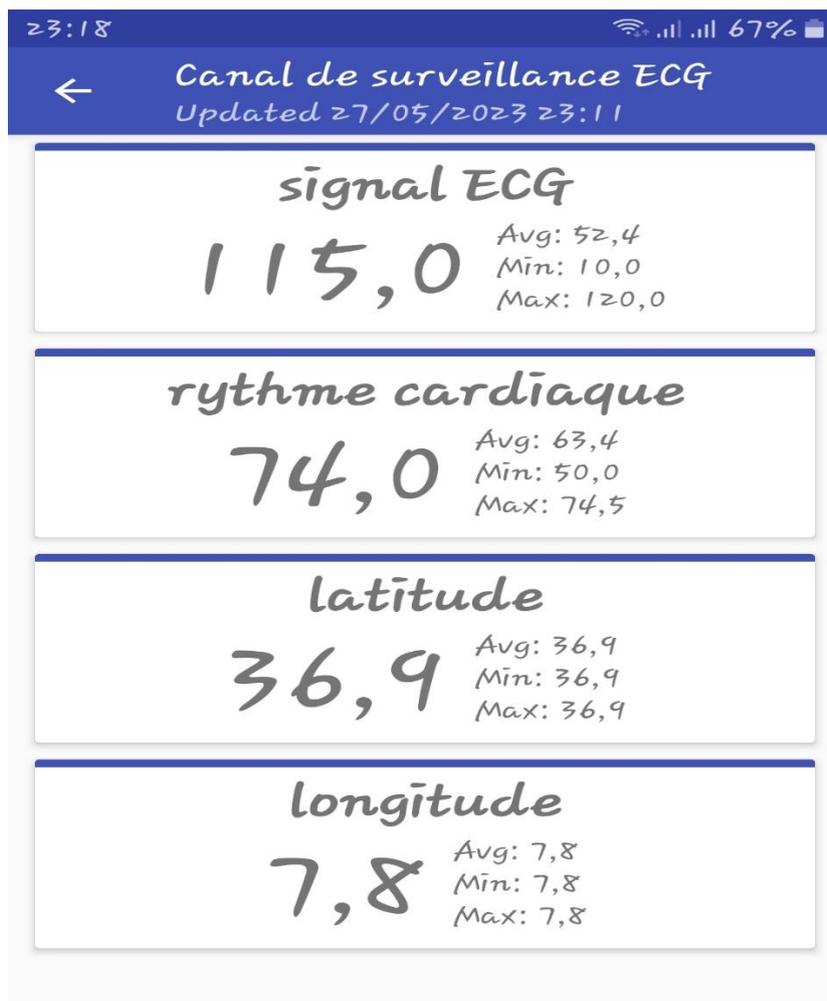
La **Figure** ci-dessous présente localisation de notre patient sur la carte. On remarque que l'endroit dans lequel le danger pour le patient a été détecté est situé dans le centre-ville d'Annaba.



**Figure III.24** : Localisation de patient sur la carte

#### 4. Pocket IoT

Le médecin peut accéder aux informations du patient présentées dans la **figure III.25** directement via le smartphone à l'aide d'une application Pocket IoT qui correspond aux mêmes informations visibles depuis un ordinateur.



**Figure III.25** : Les informations de patient sur Pocket IoT

### III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence toutes les étapes accomplies dans notre projet dans le but de protéger les patients cardiaques de tout danger possible et d'assurer une surveillance médicale à distance continue à l'aide d'applications IoT.

Nous avons traité le signal ECG et l'avons envoyé dans le Cloud, en plus de créer des applications pour alerter les médecins par e-mail avec la possibilité de visualiser les informations détaillées du patient. Cela facilite la visualisation de l'ECG et de la fréquence cardiaque et détermine l'emplacement du danger par des coordonnées GPS.

# **Conclusion**

## **Générale**

## *Conclusion générale*

En effet, malgré les nombreux avantages de l'Internet des Objets et la possibilité de l'intégrer dans de nombreux domaines de la vie, dont le plus prédominant est celui de la santé en raison des services qu'il apporte en termes de confort du patient, ainsi que de flexibilité de la gestion hospitalière.

Cependant, l'Internet des objets est toujours considéré comme un concept moderne dans notre monde, et il a besoin de plus de précision et de développement, en particulier dans le domaine de la biomédicale. Et comme il a été mentionné précédemment, les applications à réaliser en cardiologie n'ont pas connu un réel développement, ce qui nous n'avons pas permis de les incarner dans la réalité. Et ce domaine sensible qui nécessite une grande efficacité dans la surveillance, car toute petite erreur peut entraîner la mort du patient, en particulier ceux qui souffrent de troubles cardiaques chroniques, nous avons conduits à essayer de fournir des solutions qui leur offrent la liberté de mouvement et la réalisation des activités quotidiennes tout en assurant un suivi médical sécuritaire et continu.

De plus, afin d'atteindre l'objectif principal de notre projet, nous avons travaillé sur le développement d'un système de transfert des données vitales du patient vers une plate-forme pour un affichage et une analyse ultérieurs par le médecin qui reçoit un message d'alerte d'une anomalie du patient à l'aide d'applications Internet des objets.

De plus, nous avons utilisé la base de données Mit-Bih qui fournit des signaux ECG incluant des anomalies cardiaques, et après avoir sélectionné et traité l'un des signaux, nous l'avons envoyé dans le Cloud (ThingSpeak) avec les informations nécessaires, qui sont les suivantes : ECG signal, fréquence cardiaque, coordonnées GPS du patient afin de localiser le patient.

Ensuite, afin que le médecin soit au courant de la survenue de l'anomalie, nous avons utilisé des applications Internet des Objets pour alerter le médecin en envoyant un message via son e-mail au moment de la survenue de l'anomalie.

Ainsi, nous avons révélé les éléments les plus importants pour la concrétisation de notre projet, qui sont la détection d'anomalies, le transfert de données, la localisation du patient, l'alerte du médecin sur l'intervention et l'accès pour voir les données.

Le plus grand obstacle à la réalisation du projet sur le terrain reste la transmission en temps réel, qui est considérée comme l'un des plus grands défis du projet.

## CONCLUSION GENERALE

Enfin, la mise en place de ce projet nous a permis d'enrichir notre formation académique et de comprendre le côté pratique des différents éléments et critères de notre projet.

En tant que prospects, nous espérons que le projet sera amélioré en connectant l'appareil connecté au patient avec un capteur capable de capter le signal ECG et de l'envoyer via un appareil intelligent connecté à un serveur internet, avec la création d'une application pour alerter le médecin de intervenir et lui permettre d'accéder aux informations vitales du patient. Et tout cela dans le but d'offrir une vie meilleure et des soins de santé hautement qualifiés à ceux qui souffrent de malformations et de troubles cardiaques.

## Références bibliographiques :

- [1] Electrocardiographie - Matériel médical, article de blog, <https://blog.mediprostore.com/ecg/> [Consulté le 20-03-2023]
- [2] réalisation de ECG , <https://ecgcliv.fr/wp-content/uploads/2017/11/Realisation-ECG.pdf> [Consulté le 18-02-2023]
- [3] Ziad Hadjer , Tirouche Abdel Hakim , « acquisition et traitement du signal ECG par arduino », Mémoire fin d'étude , 2019
- [4] Sara Boukhmis – « la télémédecine en cardiologie », Mémoire fin d'étude, université Badji Moukhtar Annaba, 2017
- [5] « Introduction aux AOP », <https://passionelectronique.fr/amplificateurs-operationnels-aop/#quelles-sont-les-caracteristiques-dun-aop> [consulté le 11-03-2023]
- [6] Anthony Damiot. Effet d'une contremesure nutritionnelle sur l'inflexibilité métabolique induite par simulation d'impesanteur chez l'homme. Alimentation et Nutrition. Université de Strasbourg, 2018
- [7] GAMOURI Sabah, Analyse et Interprétation du Signal ECG, Thèse de Doctorat 3 ème cycle, université Badji Moukhtar Annaba, 2018
- [8] Katzung BG, Masters SB, Trevor AJ. Basic and Clinical Pharmacology. 14th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2018.
- [9] Goldberger AL, Goldberger ZD, Shvilkin A. Understanding the Electrocardiogram: A Guide for Physicians, Nurse Practitioners, and Other Health Care Professionals. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2017.
- [10] <<Tachycardie sinusale>>, <https://www.e-cardiogram.com/tachycardie-sinusale/> [Consultée le 17 mars 2023]
- [11] <<TV 1a. tachycardies ventriculaires>>, <https://www.e-cardiogram.com/tv-1a-generalites/> [Consultée le 17 mars 2023]
- [12] Fibrillation atriale (ou fibrillation auriculaire) Rédigé par Charline D. et publié le 11 octobre 2022 <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/cardiologie/fibrillation-atriale/>

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[Consulté le 18 mars 2023]

[13] Fibrillation ventriculaire [https://www.wikiwand.com/fr/Fibrillation\\_ventriculaire](https://www.wikiwand.com/fr/Fibrillation_ventriculaire)

[Consulté le 18 mars 2023]

[14] Nicolás Agustín Ribas Mercáu, << Characterization and Handling of Disturbances Within Electrocardiographic Recordings of Different Origin>>, projet final, Universitat Politècnica de Catalunya , 2014

[15] El-Banayosy A, Ruhparwar A, Popov AF, et al. Real-time electrocardiogram monitoring during cardiac surgery: single-center experience. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019

[16] Goudsouzian NG, Schwartz JM, Rotta AT, Thammasitboon S. Utilization of electrocardiography during general anesthesia in children. J Anesth, 2021

[17] Thacker D, Sharma S, Sardar P, et al. Electrocardiography in the Pediatric Population. Am J Med, 2017

[18] BOUCHRIT Lotfi,BOULKARIA Fouad «« Étude comparative des méthodes de Compression et Détection QRS des Signaux ECG Applications pour E-Santé »» , 2022

[19] Mark RG, Schluter PS, Moody GB, Devlin, PH, Chernoff, D. An annotated ECG database for evaluating arrhythmia detectors. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 29(8):600 (1982).

[20] Nadia KRICHANE «« Détection du complexe QRS d'un signal ECG»» ,2012

[21] HALLIL Hassiba ,BRAHIMI Kenza««Application de l'IoT dans le domaine Biomédical »» 2018

[22] Sedghamiz, H. Matlab Implementation of a simple real time Q R S and T wave detector.

2014,Availablefrom:

[https://www.researchgate.net/publication/316960619\\_Matlab\\_Implementation\\_of\\_a\\_simple\\_real\\_time\\_Q\\_R\\_S\\_and\\_T\\_wave\\_detector](https://www.researchgate.net/publication/316960619_Matlab_Implementation_of_a_simple_real_time_Q_R_S_and_T_wave_detector).

[23] AKROUR Sonia, AKROUR Kenza «« Application de l'IoT dans la détection d'anomalie Cardiaque. »»,2019

[24] <https://help.ifttt.com/hc/en-us/articles/115010158167-How-does-IFTTT-work-> [Consulté le 07 mai 2023]

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[25] Internet of Things- ThingSpeak service. Available from: < <https://thingspeak.com/> >

[26] <https://archive.physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/> [Consulté le 28/05/2023]