



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance de l'Automatisme et de l'Instrumentation

Thème

Conception d'un système automatique pour la prévention des crises de gêne respiratoire chez un sujet asthmatique

Présenté et soutenu publiquement par :

TOUMI TAOUS
GRID IMENE

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
DJELGHOUM Farida	MAA	IMSI-Univ. D'Oran2	Président
BELKHODJA Leila	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadreur
REGUIG YSSAAD Sadek	MAA	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur

Année 2024/2025

Résumé

L'asthme est une maladie chronique des voies respiratoires, dont les crises peuvent survenir soudainement et mettre en danger la vie du patient si elles ne sont pas détectées à temps. Face à la difficulté de prévoir ces crises, il devient nécessaire de développer un moyen de détection précoce.

Notre projet consiste à concevoir un dispositif intelligent portable capable de mesurer la fréquence cardiaque et le taux d'oxygène dans le sang, puis d'analyser ces données pour détecter les signes annonciateurs d'une crise d'asthme. L'appareil envoie une alerte instantanée à l'utilisateur via une application mobile, lui permettant ainsi d'agir rapidement et d'éviter les complications.

ملخص

يعدُّ الربو مرضاً مزمناً يصيب الجهاز التنفسي، وتكمن خطورته في أن نوباته قد تظهر بشكل مفاجئ وتعرض حياة المريض للخطر إذا لم تُكتشف في الوقت المناسب. ونظراً لصعوبة توقع موعد حدوث الأزمة، برزت الحاجة إلى تطوير وسيلة تمكن من الكشف المبكر عنها

مشروعنا يتمثل في تصميم جهاز ذكي محمول قادر على قياس معدل ضربات القلب ونسبة الأوكسجين في الدم، وتحليل هذه المعطيات لاكتشاف العلامات التي تسبق نوبة الربو. ويقوم الجهاز بإرسال تنبيه فوري للمستخدم عبر تطبيق موبايل، مما يسمح له بالتدخل بسرعة وتفادي المضاعفات

Abstract

Asthma is a chronic respiratory disease, and its danger lies in the sudden onset of attacks, which can be life-threatening if not detected in time. Given the difficulty in predicting when an attack might occur, there's a clear need for a method that enables early detection.

Our project focuses on designing a portable, smart device capable of measuring heart rate and blood oxygen saturation. This device will analyze these vital signs to identify the early indicators that precede an asthma attack. Upon detection, the device will immediately send an alert to the user via a mobile application, allowing for prompt intervention and prevention of severe complications.

Keywords : Asthma , early detection , mobile application

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Allah, Le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Dr. BELKHODJA Leila, notre encadrante, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury, M. DJELGHOU M Farida et Mr. REGUIG YSSAAD Sadek pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi que pour leurs remarques constructives qui enrichiront notre réflexion.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du corps enseignant et administratif de l'IMSI-Oran, et tout particulièrement à l'équipe pédagogique du département de Maintenance en Instrumentation, pour la qualité de la formation et l'encadrement qu'ils nous ont apportés tout au long de notre parcours académique.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire, fruit de nombreuses années d'étude, de persévérance et de travail, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce projet.

Plus particulièrement :

À mon père bien-aimé, pour son soutien indéfectible, ses sacrifices, sa patience et ses efforts constants pour m'ouvrir les portes de la réussite. Que Dieu te protège et te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.

À ma précieuse mère, source de tendresse, de force et de conseils avisés. Merci pour ton amour inconditionnel, ton accompagnement dans chaque étape de ma vie, et pour tes prières silencieuses qui m'ont porté tout au long de ce parcours.

*À mes deux chères sœurs, **Houda** et **Rina**, pour leur présence rassurante, leur soutien affectueux et leurs encouragements permanents.*

*À ma petite princesse **Osline**, source de joie et de lumière dans ma vie. Que ce travail soit aussi un message d'amour et d'espoir pour ton avenir.*

*À ma chère cousine **Chaza**, ainsi qu'à mes amies fidèles : **Kholoude**, **Safaa**, **Razika**, **Asma** pour leur amitié sincère et leur présence réconfortante.*

*À ma binôme et amie de toujours, **Imene**, avec qui j'ai partagé cette belle aventure universitaire, les défis comme les réussites.*

À tous mes camarades, pour les moments de complicité et d'entraide que nous avons vécus ensemble.

Et enfin, à une personne chère à mon cœur. Ton soutien, ta confiance et ta bienveillance m'ont profondément touchée et motivée. Merci d'avoir cru en moi.

*À vous tous, je dis **merci** du fond du cœur.*

Et en cette période difficile, j'exprime aussi tout mon soutien au peuple palestinien, en espérant la paix, la justice et la liberté pour toutes les victimes de l'oppression.

Toumi Taous

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire qui est le fruit de nombreuses années d'étude et de Travail, tout en exprimant ma profonde gratitude et sympathie à toutes les personnes qui ont participé de près et de loin pour mener à bien ce projet et plus particulièrement :

A mon père « IBRAHIM » qui m'a toujours épaulé, qui peut être fier de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A ma mère « DALILA », qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A ma petite Princesse « INSAF » raison de ma vie

A mes adorables frères « ISLEM » et « IHSEN ET SOFI » Qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité, qu'Allah vous protège

A ma meilleure amie « HABIBA » que j'aime sans limites,

A Mon cher mari « AMINE » qui m'a soutenue tout au long de cette période et m'a apporté un soutien moral merci d'être dans ma vie

A Mon amie « ADNANE » Qui a joué un rôle important dans l'accomplissement de ce mémoire merci pour tout

A ma chère binôme « TOUAS », ma meilleure amie avec laquelle que j'ai partagé tous mes années d'étude.

A tous mes ami(e)s avec lesquels que j'ai partagé les bons moments.

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près.

Grid Imene

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Rock-Tenn Usin.....	2
Figure I.2 : Usin	3
Figure I.3 : industries manufacturières.....	4
Figure I.4 : Industries lourdes	4
Figure I.5 : Industrie chimique	5
Figure I.6 Industrie énergétique.....	5
Figure I.7 : Industrie logistique	5
Figure I.8 : effets des produit chimiques sur la santé.....	7
Figure I.9 : Application	11
Figure I.10 : description application	11
Figure I.11 : Spiromètre	12
Figure I.12 : inhalateur connecté.....	12
Figure I.13 : appareille de mesure NO.....	13

Chapitre II

Figure II.1 : Carte ESP32.....	16
Figure II.2 : Structure d'un capteur	21
Figure II.3 : Capteur MAX30102	22
Figure II.4 : Branchement électrique du Max 30102 avec ESP32.....	24
Figure II.5 : Capteur GPS NEO-6M	24
Figure II.6 : Branchement électrique du GPS avec ESP32	26
Figure II.7 : Intérieur d'un buzzer actif	27
Figure II.8 : : Branchement électrique du BUZZER avec ESP32	28
Figure II.9 : Batterie Li-ion 18650	28
Figure II.10: Branchement électrique d'alimentation avec ESP 32	29
Figure II.11 : Logiciel de programmation Arduino IDE	32
Figure II.12 : Logiciel de programmation Android Studio	33

Chapitre III

Figure III.1.a : système de prévention proposé	36
Figure III.1.b : Organigramme.....	37
Figure III.2 : Schéma d'installation générale	38
Figure III.3 : Expression board	39
Figure III.4 : placement de l'esp32.....	39

	V
Figure III.5 : branchement de max30102.....	39
Figure III.6 : branchement de GPS-NEO-M6.....	40
Figure III.7 : Branchement de Buzzer	40
Figure III.8 : Branchement de la batterie	41
Figure III.9 : Branchement finale	41
Figure III.10 : programmation ARDUINO IDE	42
Figure III.11 : Extrait de la suite du code (GPS, WIFI)	43
Figure III.12 : L'interface d'accueil de VitalHealth	44
FigureIII .13 : Ecran d'inscription.....	44
Figure III.14 : Ecran de Connexion.....	45
FigureIII.15 : Ecran de surveillance	45
Figure III.16 : Programme Android Studio.....	47
Figure III.18 : Quelques jeux d'essais de l'application	49

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Différence entre ESP32 et Arduino	17
Tableau II.2 : Différent type d'outils.....	18

Tableau II. 3 : Les broches du carte	19
Tableau II. 4 : Types des capteurs.....	21
Tableau II.5 : Les caractéristique du MAX30102.....	23
Tableau II.6 : Le branchement du MAX30102 avec ESP32.....	23
Tableau II.7 : Les caractéristique du GPS NEO-6M.....	25
Tableau II.8 : Le branchement du GPS NEO-6M2avec ESP32.....	25
Tableau II.9 : Les caractéristique du Buzzer active.....	27
Tableau II.10 : Les caractéristique du Buzzer active.....	27
Tableau II.11: Les caractéristique du Batterie Li- ion 18650.....	29
Tableau II.12: Le branchement du Batterie avec ESP32.....	29
Tableau II.13 : Les caractéristique duESP32 extension board.....	30
Tableau II.14 : Le choix d’Arduino IDE.....	31
Tableau III.1 : Tableau des résultats expérimentaux.....	48

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	I
Remerciements	II

Dédicace	III
Listes des figures:	V
listes des tableaux ;.....	VI
Introduction générale:	1

Chapitre I : la surveillance respiratoire au milieu industriel .

I.1 Introduction	2
I.2 L'industrie.....	2
I.2.1 Définition.....	2
I.3 L'importance.....	3
I.4 Le milieu Industriel.....	4
I.5 La Toxicité dans un milieu industriel	5
..	
I.6 L'asthme dans le milieu industriel	6
I.6.1 Définition	6
I.6.2 Les Causes de l'asthme.....	7
I.7 Quels sont les signes de l'asthme	8
I.8 Prévention classique d'une crise d'asthme.....	8
I.9 Moyens de prévention.....	9
I.10 Prévention intelligente	10
I.10.1 Application mobil	10
I.10.2 Spiromètres Connectés.....	11
I.10.3 Inhalateurs Connectés.....	11
I.10.4 Appareils de mesure du NO expiré.....	12
I.11 Conclusion.....	12

Chapitre II : outils de conception du prototype

II.1 Introduction	15
-------------------------	----

II.2 Objectifs de l'intégration matérielle.....	15
II.3 Découvrir l'ESP 32	15
II.3.1 Historique de la carte ESP	15
II.3.1 Définition:.....	15
II.3.2 Pourquoi l'ESP 32 :.....	16
II.3.3 Le choix de l'ESP32	16
II.3.4 La différence entre l'ESP32 et carte Arduino.....	16
II.3.6 Outils de programmation du l'ESP3..	17
II.3.7 Les broches de l'ESP32	18
II.4 ESP-WROOM-32	19
II. 4.1Description technique.....	19
II.4.2 Caractéristique	20
II.5 Outils de conception.....	20
II.5.1 Les Capteurs	20
5.1.1 Le Capteur MAX30102.....	21
5.1.2 Le Capteur GPS NEO-6M.....	24
II.5.2 Le Buzzer.....	26
II.5.3 L'alimentation.....	28
5.3.1 Batterie 18650.....	28
II.5.4 ESP32 extension board.....	29
II.6 Outils de programmation.....	30
II.6.1 Arduino IDE.....	30
II.6.2 Android .Studio.....	32
6.2.1 Structure d'un projet dans Android studio.....	32
6.2.2 Structure d'un module d'application.....	33
II.7 Conclusion.....	33

Chapitre III : Conception et Réalisation du système de prévention

III.1	Introduction.....	35
III.2	Environnement et Risque.....	35
III.3	Problématique.....	36
III.4	Description de l'approche proposée	37
III.5	Installation de La partie élecrtique /électrique.....	38
III.5.1	ESP 32 30P expansion board.....	38
III.5.2	Capteurs.....	39
III.5.3	Actionneur.....	40
III.5.4	L'alimentation.....	40
III.5.5	Le branchement final du système	41
III.6	Partie programmation.....	41
III.7	Partie Application	43
III.7.1	Application et Logo.....	43
III.7.2	Conception de l'interface.....	44
III.8	Fonctionnalités Principales.....	46
III.9	Objectif de l'application.....	46
III.10	Partie Programmation.....	46
III.10.1	Structure du code.....	46
III.10.2	Technologies Utilisées	47
III.11.3	Analyse des signaux SPO2 et BPM pour la détection d'anomalies	48
III.11	Perspectives.....	49
III.11.1	Perspectives d'évolution	49
III.12.2	Gestion des alertes cotés medical.....	50
III.13	Conclusion.....	52

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'asthme est une maladie respiratoire chronique qui touche une part importante de la population mondiale. Ses répercussions sont notables, non seulement sur la santé des individus, mais également sur leur qualité de vie et leur sécurité, en particulier dans les milieux professionnels. Dans les environnements industriels, où les facteurs déclencheurs sont souvent présents (poussières, fumées, produits chimiques, etc.), il devient crucial de pouvoir anticiper l'apparition d'une crise d'asthme afin d'éviter toute complication grave.

La capacité à détecter précocement une crise est donc essentielle, notamment pour protéger les travailleurs exposés à des risques respiratoires. Pour cela, il est nécessaire de mettre en place des solutions innovantes, capables d'assurer une surveillance continue de l'état de santé respiratoire et de déclencher une alerte rapide en cas de danger.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent les objectifs de notre projet de fin d'études, qui visent à :

- Développer un système de surveillance respiratoire intelligent pour les environnements industriels à risque, en utilisant un microcontrôleur ESP32 et des capteurs biomédicaux (fréquence cardiaque, SpO₂, GPS).
- Apporter une solution innovante, portable et connectée pour prévenir les crises respiratoires, notamment chez les personnes asthmatiques, et renforcer la sécurité en milieu professionnel.

Ce système a été conçu pour répondre aux exigences particulières du milieu industriel, en alliant fiabilité, précision et facilité d'utilisation. Le dispositif repose sur l'intégration de capteurs biométriques, capables de mesurer en temps réel des paramètres physiologiques comme la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène. À cela s'ajoutent des outils de traitement de données et des modules de communication sans fil permettant d'envoyer des alertes en cas de situation critique.

Ce projet adopte une approche multidisciplinaire, combinant des compétences en électronique, en traitement du signal, en informatique embarquée et en ingénierie biomédicale. L'objectif est de proposer un outil robuste et adaptable, qui pourrait s'intégrer efficacement aux systèmes de gestion de la sécurité dans les entreprises.

En somme, la réalisation de ce dispositif représente une avancée importante dans la prévention des risques liés à l'asthme en milieu professionnel. Elle contribue non seulement à renforcer la sécurité des travailleurs, mais également à promouvoir l'innovation technologique dans le domaine de la santé au travail.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons structuré notre mémoire comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à la surveillance respiratoire en milieu industriel, en mettant en évidence les risques environnementaux, les pathologies respiratoires et la nécessité d'une détection précoce.
- Le deuxième chapitre présente les outils et langages de programmation utilisés pour la conception du système, notamment les technologies embarquées et les plateformes logicielles.
- Le troisième chapitre détaille la réalisation du prototype, en abordant l'assemblage du dispositif, l'intégration des capteurs, ainsi que le développement de l'application mobile dédiée à la surveillance et à l'alerte en temps réel.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale résumant les résultats obtenus et les perspectives d'amélioration.

Chapitre I

La surveillance respiratoire industrielle

I.1 Introduction

Dans un monde où l'industrialisation est le moteur de notre économie et le pilier de notre société moderne, il est impératif de se pencher sur les environnements de travail qu'elle engendre. Si l'industrie est synonyme de progrès et de prospérité, certains de ses milieux peuvent malheureusement se révéler toxiques, exposant les travailleurs à des risques sanitaires significatifs. Parmi les affections les plus préoccupantes, l'asthme professionnel se distingue par sa prévalence et son impact dévastateur sur la qualité de vie et l'économie. Face à cette réalité, les méthodes de prévention classiques montrent leurs limites, soulignant l'urgence d'adopter des solutions novatrices.

Ce chapitre explore la problématique de l'asthme en milieu industriel et met en lumière l'intérêt capital d'un système automatique de prévention des crises asthmatiques. Nous y détaillerons comment l'intelligence artificielle et les technologies de pointe peuvent révolutionner la détection précoce des crises, offrant ainsi une protection sans précédent aux individus exposés et ouvrant la voie à des environnements de travail plus sûrs et plus sains.

I.2 L'industrie

I.2.1 Définition L'industrie provient du terme latin *industria*, composé d'*indo*, « dans », et *striure*, « bâtir », soit « celui qui construit par lui-même ». Il a longtemps signifié « habileté à faire quelque chose, invention, savoir-faire » et, par extension, métier que l'on exerce pour vivre. C'est un terme qui a d'abord fait référence aux travaux manuels, puis très vite à la production de biens grâce à la transformation des matières premières ou des matières qui ont déjà fait l'objet de transformations mais aussi l'exploitation des sources d'énergie.



Figure I.1: Rock-Tenn Usine L'industrie est ainsi au cœur de notre société, elle reste omniprésente et constitue plus que jamais la base de notre vie et des relations que nous entretenons avec le monde. En effet, elle permet d'exploiter les sources d'énergies disponibles pour fabriquer des objets de notre quotidien comme par exemple les vêtements qui nous habillent, des objets qui nous sont utiles dans notre quotidien. Définir l'industrie comme ce qu'il advient d'un phénomène technique lorsque sa croissance quantitative entraîne sa transformation qualitative permet de souligner que les enjeux de l'industrialisation ne sont pas ceux d'un secteur en particulier (comme la production manufacturière), d'un rapport socio-économique déterminé (comme le salariat ouvrier) ou

même d'une configuration politique unique (la division capitaliste du travail), mais que toutes ces dimensions peuvent se trouver imbriquées dans le passage à l'échelle d'une activité technique, quelle qu'elle soit, et que ce changement d'échelle, en retour, concerne le vivre ensemble planétaire, c'est-à-dire tout le monde. [1]

I.3 L'importance

Pendant longtemps, de nombreux économistes ont minimisé l'importance de l'industrie dans l'économie moderne. Pourtant, cette vision s'est révélée erronée. Au cours de la dernière décennie, un nombre croissant d'experts reconnaissent désormais que l'industrie joue un rôle fondamental dans l'innovation, le dynamisme économique et la sécurité nationale. Aux États-Unis, elle constitue un moteur essentiel de progrès technologique. L'industrie permet de transformer la recherche scientifique en produits et procédés concrets, créateurs de valeur et porteurs d'un avenir meilleur. Elle est à l'origine de secteurs stratégiques tels que l'informatique, les réseaux sans fil, la biotechnologie ou encore l'énergie solaire.

En développant de nouvelles technologies, ingénieurs et industriels ouvrent la voie à d'autres avancées, renforçant ainsi la compétitivité sur des marchés mondiaux de plus en plus concurrentiels.

Outre l'innovation, l'industrie génère des emplois qualifiés et bien rémunérés. Elle soutient également l'économie en amont et en aval, en stimulant l'activité des fournisseurs et des services associés. Les usines modernes ne se limitent plus à l'assemblage : elles intègrent des procédés complexes, hautement automatisés et reposant sur des connaissances pointues plutôt que sur la simple main-d'œuvre.

Dans des domaines de pointe comme les matériaux avancés ou les biotechnologies, l'industrie est intimement liée à la recherche et au développement, dès les premières étapes de production. Produire localement favorise ainsi l'innovation sur le long terme. À l'inverse, renoncer à la fabrication affaiblit la capacité à développer les savoirs.



Figure I.2 : Usine

I.4 Le milieu Industriel

Un milieu industriel désigne un espace dédié à la production, la transformation ou la fabrication de biens, de produits ou de matériaux. Ces environnements comprennent des Usines, des ateliers, des zones de maintenance, des chantiers ou des installations logistiques.

Le milieu industriel est caractérisé par des infrastructures spécialisées, des équipements techniques, et des protocoles de sécurité stricts. Il couvre une grande variété de secteurs, tels que :

- Industries manufacturières : Usines de production d'automobiles, appareils électroniques, textiles, etc. Lines d'assemblage pour produire en masse des biens de consommation.



Figure I.3 : industries manufacturières

- Industries lourdes : Sidérurgie, métallurgie, cimenteries, mines. Production de matériaux de base utilisés dans d'autres industries.



Figures I.4 : Industries lourdes

- Industries chimiques et pharmaceutiques : Fabrication de produits chimiques, engrais, médicaments. Milieux nécessitant des protocoles de sécurité stricte pour manipuler des substances dangereuses.



Figure I.5 : Industrie chimique

- Industrie énergétique : Production et distribution d'énergie (centrales électriques, éoliennes, réseaux pétroliers et gaziers). Interventions dans des environnements à risque élevé (nucléaire, plateforme offshore).



Figure I.6 : Industrie énergétique

- Industrie logistique : Entrepôts et hubs de distribution utilisant des systèmes automatisés pour le stockage et la gestion des flux.



Figure I.7 : Industrie logistique

- En résumé, le milieu industriel est un espace complexe, nécessitant des compétences spécifiques, des outils avancés, et une gestion rigoureuse pour répondre aux exigences de sécurité, de productivité et de durabilité.

I.5 La Toxicité dans un milieu industriel

La toxicologie professionnelle (ou industrielle) décrit les effets biologiques des différents agents chimiques industriels utilisés sur les lieux de travail, définit les niveaux permmissibles d'exposition et les moyens de mesurer la concentration de ces substances dans l'air ambiant ou sur les surfaces des postes de travail, définit la surveillance et le dépistage biologiques des effets toxiques chez les travailleurs.

L'utilisation de produits chimiques sans cesse plus nombreux dans tous les secteurs industriels, artisanaux, agricoles, expose la plupart des travailleurs à des risques de toxicité aiguë ou chronique, par voie respiratoire, cutanée ou digestive.

Qu'ils s'agissent de solides, de poussières, liquides, gaz, vapeurs ou fumées, beaucoup de ces produits sont corrosifs, irritants, allergisants, asphyxiants, fibrogènes, cancérigènes, reprotoxiques ... et parfois à des doses et des durées d'exposition faibles.

C'est une discipline essentielle au service à la fois de la prévention primaire afin d'éviter la survenue d'un risque chimique et de la prévention secondaire afin d'éviter d'aggraver les dommages en détectant au plus tôt les maladies professionnelles.

La toxicologie professionnelle doit être développée dans le cadre d'une maîtrise du risque chimique pluridisciplinaire : les nuisances des produits chimiques, sur le plan de la santé au travail mais aussi sur le plan de l'environnement, nécessitent de poursuivre intensément des études épidémiologiques et toxicologiques dans la mesure où on utilise près de 100 000 produits chimiques sur les lieux de travail, que ce nombre croît sans cesse et qu'un nombre très réduit d'entre eux a fait l'objet de tests complets pour détecter leurs risques, notamment cancérigènes.

Les conséquences d'un milieu toxique sur l'être humain sont résumées dans la figure 1.8.

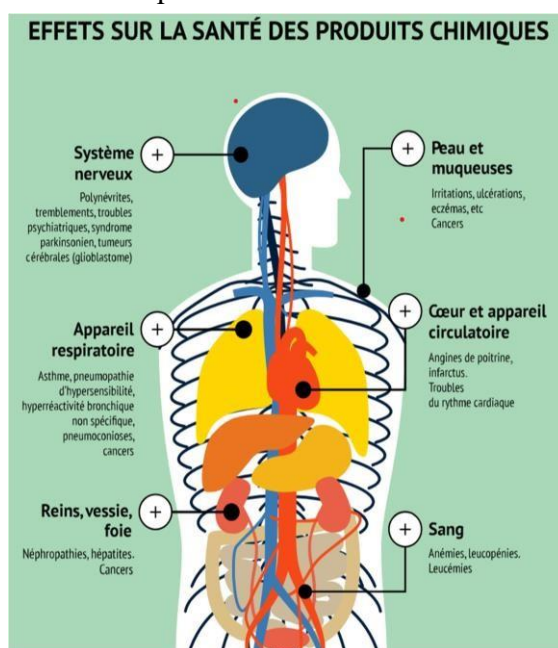


Figure I.8 : Effets des produits chimiques sur la santé

I.6 L'asthme dans le milieu industriel

I.6.1 Définition L'asthme est une pathologie chronique fréquente caractérisée par une inflammation des bronches dont les causes sont diverses. Un patient asthmatique présente une muqueuse bronchique irritée et épaisse, qui rend les bronches sensibles et sujettes à des réactions excessives en cas de contact avec des facteurs favorisants. Une crise d'asthme peut ainsi se déclencher : le passage de l'air devient difficile du fait de la contraction des muscles bronchiques et de la sécrétion importante de mucus au contact d'un facteur déclenchant associé à l'inflammation chronique.

I.6.2 Les Causes de l'asthme

Les facteurs favorisant de l'asthme sont nombreux et peuvent être différents d'un patient à l'autre. Pour certains patients, la cause est allergique, on parle alors d'asthme allergique ou asthme Atopique. Cette forme d'asthme apparaît volontiers un contexte Atopique familial (antécédents familiaux d'allergies). Pour d'autres patients, aucune origine allergique n'est retrouvée, mais l'inflammation des bronches est provoquée par des produits irritants (tabac, polluants de l'air, agents chimiques comme les peintures, colles, encens, aérosols, produits d'entretien, etc.).

Parmi les asthmes liés au travail, on distingue celui qui est dit professionnel, qui correspond à l'asthme induit par des agents présents dans un environnement professionnel particulier. Aggravé par le travail, qui correspond à un asthme préexistant ou apparu récemment dont les symptômes sont exacerbés.

Nous résumons les facteurs principaux dans ce qui suit :

a) Facteurs environnementaux

- Poussières industrielles : particules de bois, de ciment, de métal, de textiles.
- Fumées et vapeurs chimiques : solvants, peintures, colles, produits de nettoyage.
- Gaz irritants : ammoniac, dioxyde de soufre (SO_2), ozone (O_3), oxydes d'azote (NO_x), chlore.
- Aérosols et microparticules : particules fines PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$.

b) Allergènes spécifiques

- Poussières biologiques : moisissures, bactéries, spores.
- Protéines animales ou végétales : farine (boulangerie), latex (santé), enzymes (lessives, industries chimiques).
- Déchets organiques : excréments d'insectes, débris de végétaux.

c) Conditions de travail aggravantes

- Mauvaise ventilation : accumulation des polluants et gaz irritants.
- Températures extrêmes : air froid ou chaud qui irrite les voies respiratoires.
- Effort physique intense : augmentation de la fréquence respiratoire, favorisant l'inhalation de substances irritantes.
- Stress et fatigue : pouvant aggraver la sensibilité bronchique.

d) Exposition à des agents sensibilisants

Certaines industries exposent les travailleurs à des substances pouvant induire un asthme professionnel :

- Iso cyanates (peintures, colles, mousses plastiques).

- Poussières de farine (industrie agroalimentaire).
- Formaldéhyde (industries du bois, textile, chimie).
- Métaux lourds (plomb, nickel, chrome dans la métallurgie).

e) Tabagisme et pollution intérieure

- Tabac actif ou passif : augmente la sensibilité des voies respiratoires.
- Émissions de moteurs (diesel dans les entrepôts, garages, sites logistiques).
- Matériaux de construction (peintures, colles, solvants contenant des Composés Organiques Volatils - COV).

I.7 Quels sont les signes de l'asthme ?

L'asthme est caractérisé par une alternance entre des phases où la respiration est normale et des crises d'asthme, provoquées par des facteurs favorisants. L'inflammation provoquée est une réaction d'hypersensibilité immédiate, qui entraîne différents symptômes caractéristiques :

- Une gêne respiratoire, un essoufflement ;
- Une toux sèche, qui peut parfois être le seul symptôme ;
- Une respiration sifflante ;
- Une sensation d'oppression thoracique ;
- Chez les enfants, une augmentation de la fréquence respiratoire et chez les adultes une diminution de la fréquence respiratoire.

La crise d'asthme peut durer de quelques minutes à plusieurs heures, en l'absence de traitements. Elle peut apparaître à toute heure du jour ou de la nuit. La fréquence et la sévérité des crises varient d'un patient à l'autre. En cas d'asthme allergique, la période des pollens par exemple peut entraîner des crises plus fréquentes

I.8 Prévention classique d'une crise d'asthme

L'asthme lié au travail regroupe deux formes principales :

- L'asthme professionnel.
- L'asthme aggravé par le travail.

L'asthme professionnel correspond à un asthme qui se développe suite à une exposition à des substances allergènes ou irritantes présentes sur le lieu de travail. Il peut être induit soit par des sensibilisants, soit par des irritants. En revanche, l'asthme aggravé par le travail concerne des personnes souffrant déjà d'asthme, dont l'état se détériore en raison de certaines conditions professionnelles telles que l'exposition à la poussière, aux produits chimiques, aux températures extrêmes, à l'humidité ou à des allergènes environnementaux.

Une détection rapide de l'asthme lié au travail est essentielle pour prévenir l'apparition de nouveaux cas. Lorsqu'un cas d'asthme professionnel est diagnostiqué, le médecin doit également envisager le risque d'exposition pour d'autres employés. La collaboration avec les employeurs et les services de santé publique permet de mettre en place des mesures préventives plus larges et de protéger l'ensemble du personnel.

La prévention de l'asthme en milieu industriel repose sur plusieurs actions clés :

- Évaluation des risques : mesurer la concentration des substances polluantes dans l'air.
- Ventilation performante : assurer un bon renouvellement de l'air et l'extraction efficace des polluants.
- Utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) : port de masques filtrants adaptés aux agents en cause.
- Réduction des émissions polluantes : remplacement des substances toxiques, installation de capteurs pour surveiller la qualité de l'air.
- Surveillance médicale : dépistage précoce des sensibilisations et suivi régulier des travailleurs asthmatiques.

Ces mesures contribuent à limiter les expositions nocives et à garantir un environnement de travail plus sûr pour tous.

I.9 Moyens de prévention

Parmi les moyens de prévention nous citons :

a) Éviter les éléments déclencheurs:

- Allergènes : Poussière, pollen, acariens, moisissures, poils d'animaux.
- Irritants : Fumée de cigarette, pollution, produits chimiques (désodorisants, solvants).
- Air froid et sec : Porter un masque ou une écharpe en hiver.
- Exercice intense : Faire un échauffement progressif et respirer par le nez.
- Infections respiratoires : Se laver les mains régulièrement et éviter les lieux très fréquentés en période de grippe.

b) Suivi médical régulier

- Traitement de fond : Prendre les corticoïdes inhalés ou autres médicaments prescrits.
- Inhalateur de secours : Toujours avoir un bronchodilatateur sur soi en cas de crise.
- Bilan régulier : Vérifier le débit expiratoire de pointe (DEP) pour surveiller l'état des bronches.

c) Adopter un mode de vie sain

- Alimentation équilibrée : Éviter les aliments ultra-transformés qui peuvent favoriser l'inflammation.
- Hydratation : Boire suffisamment d'eau pour fluidifier les sécrétions bronchiques.
- Activité physique modérée : Natation, marche, yoga (après accord médical).
- Gestion du stress : Pratiquer la méditation, la respiration contrôlée, le sport doux.

d) Améliorer la qualité de l'air intérieur

- Aération quotidienne : Ouvrir les fenêtres 10-15 minutes par jour.
- Purificateur d'air : Filtre HEPA pour réduire les allergènes.
- Éviter les tapis et moquettes : Ils accumulent poussières et acariens.

e) Surveillance par objets connectés :

- Capteurs de qualité de l'air : Détecter les pics de pollution ou d'humidité.
- Oxymètre connecté : Suivre l'oxygénation du sang et la fréquence respiratoire.
- Alertes en cas de détérioration : Notification sur smartphone ou appel d'urgence si saturation en oxygène trop basse.

I.10 Prévention intelligente

Avec l'avènement des technologies de pointe la prévention des crises d'asthme est maintenant possible grâce à une reconnaissance intelligente plusieurs moyens sont disponibles actuellement dans le monde dans ce qui suit nous citons quelques-uns .

I.10.1 Application mobile

À l'échelle mondiale, il existe aujourd'hui plusieurs centaines d'applications mobiles dédiées à la gestion de l'asthme. Ces outils numériques proposent généralement une combinaison de fonctionnalités visant à améliorer la prise en charge et le suivi de la maladie.

Certaines applications se concentrent sur la télésurveillance médicale, en permettant aux utilisateurs :

- D'enregistrer leurs Symptômes Quotidiens,
- De mesurer leur débit expiratoire de pointe (DEP),
- Ou encore de rester en contact avec un professionnel de santé à distance.
- D'autres applications offrent des services complémentaires, comme :
- Des vidéos explicatives ou des jeux sérieux (serious games) à visée éducative et motivationnelle,
- Des rappels de traitement pour ne pas oublier la prise du traitement de fond, Un plan d'action numérique personnalisé en cas de crise

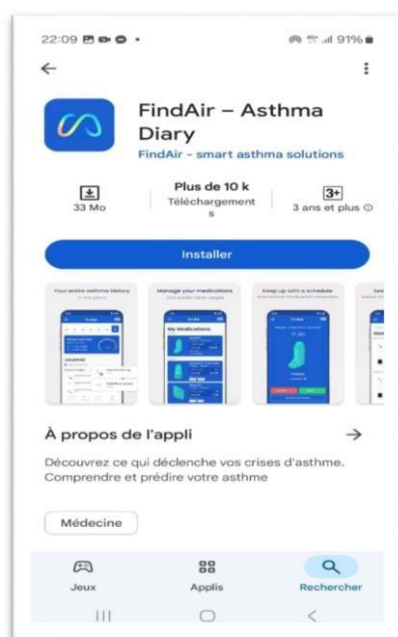


Figure I.10 : Description application

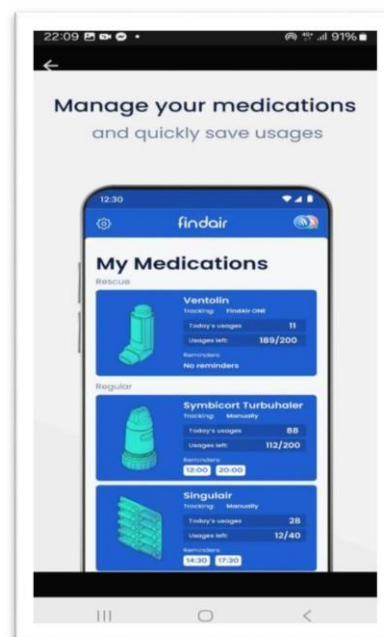


Figure I.9 : Exemple d'application

I.10.2 Spiromètres Connectés : Le degré d'obstruction bronchique représentant une donnée indispensable dans l'évaluation de l'asthme, plusieurs entreprises proposent des spiromètres ou des débitmètres de pointe connectés, utilisables par le patient à son domicile. Ces dispositifs permettent d'obtenir des données similaires à celles obtenues en cabinet ou en service d'explorations fonctionnelles respiratoires (VEMS, CVF, VEMS/CVF, DEM25-75, DEP, etc.), et intègrent souvent une évaluation automatisée de la qualité de réalisation de l'examen. Ils sont considérés comme des dispositifs médicaux et à ce titre ont dû obtenir le marquage CE pour être commercialisés en Europe, et/ou ont été approuvés par la Food and Drug Administration (FDA) pour avoir accès au marché américain.



Figures I.11 : Spiromètre

I.10.3 Inhalateurs Connectés

Les inhalateurs connectés correspondent à des dispositifs qui se fixent sur l'inhalateur du patient et enregistrent automatiquement la date et l'heure de chaque utilisation. De la même manière que les applications mobiles, ils peuvent associer plusieurs fonctionnalités : dans le cadre de la télésurveillance, ils permettent d'obtenir en continu des données objectives sur l'observance des patients grâce aux données d'utilisation des traitements de fond, et sur le contrôle de

l'asthme, grâce aux données d'utilisation des traitements d'urgence. Certains sont capables de collecter des données "

Partielles sur la technique d'inhalation. Hors du cadre de la télésurveillance, ils peuvent être associés à des rappels de prise du traitement de fond via des alertes visuelles, auditives, ou l'envoi de SMS ou de notifications sur application mobile.



Figure I.12 : inhalateur connecté

I.10.4 Appareils de mesure du NO expiré

La mesure du NO dans l'air expiré est une méthode non invasive permettant la détection et la quantification de l'inflammation des voies aériennes. Contrairement aux appareils utilisés dans les hôpitaux, qui recourent à la chimioluminescence pour mesurer le NO expiré, ce qui correspond au golden-standard, les appareils portables utilisables au domicile reposent sur l'électrochimie. Cette seconde méthode a l'avantage de ne pas nécessiter de calibration, mais l'inconvénient de donner des résultats légèrement différents de ceux obtenus via chimioluminescence.



Figure I.13 : Appareil de mesure NO

I.11 Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière la relation étroite et complexe entre l'environnement industriel et la santé respiratoire, en insistant sur la gravité de l'asthme professionnel et ses conséquences socio-économiques. Nous avons analysé les facteurs déclencheurs de la maladie ainsi que les limites des méthodes de prévention traditionnelles.

Face à ces constats, l'importance d'un système de prévention automatisé s'impose comme une évidence. Une telle approche, proactive et intelligente, permettrait d'anticiper les crises d'asthme avant qu'elles ne surviennent. L'intégration de technologies avancées et de l'intelligence artificielle ouvre la voie à une surveillance en temps réel et à une détection précoce des signaux d'alerte, représentant ainsi une avancée décisive dans le domaine de la santé au travail. La mise en œuvre d'un tel dispositif ne se limite pas à combler les failles des solutions actuelles ; elle marque un tournant vers une réelle transformation des conditions de travail, en plaçant la sécurité et le bien-être des travailleurs au cœur des priorités.

En définitive, l'objectif est de faire évoluer les environnements industriels vers des espaces où la performance ne se fait plus au détriment de la santé, mais en harmonie avec la protection de la vie humaine, assurant ainsi un avenir plus sûr et plus sain pour tous .

Chapitre II

Outils de conception du prototype

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons en détail les outils de conception dédiés à la réalisation du système embarqué de notre projet. L'objectif principal est de concevoir une solution matérielle compacte, autonome et fiable, capable de surveiller des données physiologiques et environnementales en temps réel, tout en assurant la connectivité et l'alerte en cas de besoin.

Ce chapitre détaille successivement chaque composant utilisé, leurs caractéristiques techniques, leur rôle au sein du système, ainsi que leur méthode d'intégration. Il présente également le schéma électronique global, les choix d'alimentation et les mesures de sécurité mises en place. Cette étape constitue ainsi la base matérielle indispensable avant la mise en œuvre logicielle et les essais sur le terrain.

II.2 Objectifs de l'intégration matérielle

1. Assurer la compatibilité entre les composants
 - Vérifier que les différents matériels (carte mère, processeur, mémoire, périphériques, etc.) sont compatibles entre eux.
2. Garantir la performance du système
 - Optimiser l'assemblage pour obtenir de bonnes performances selon les exigences (rapidité, capacité, fiabilité...).
3. Minimiser les risques de défaillance
 - Réduire les erreurs techniques ou les conflits matériels pour garantir la stabilité et la durabilité du système.
4. Assurer la connectivité et la communication
 - Veiller à ce que tous les composants puissent communiquer efficacement entre eux via les bons bus, ports, ou interfaces.
5. Respecter les contraintes physiques et thermiques
 - Optimiser la disposition des éléments pour éviter la surchauffe, favoriser la ventilation et respecter les contraintes d'espace
6. Faciliter la maintenance et l'évolution
 - Intégrer des composants de manière à permettre leur remplacement ou mise à jour future sans trop de complexité.
7. Respecter les normes et standards industriels
 - S'assurer que l'ensemble du système est conforme aux réglementations en vigueur (ex. : CE, RoHS, ISO...).

II.3 Découvrir l'ESP 32

II.3.1 Historique de la carte ESP

Espressif Systems a été fondée en 2008 à Shanghai par Teo Swee Ann, un ingénieur singapourien diplômé de l'Université nationale de Singapour. Initialement une entreprise de conseil, Espressif s'est rapidement orientée vers le développement de puces de communication sans fil pour l'Internet des objets (IoT). Après le succès de l'ESP8266, Espressif a lancé l'ESP32 en 2016, offrant des performances améliorées et une intégration plus poussée des fonctionnalités. [14]

II.3.2 Définition

La carte ESP32 est une carte de développement basée sur le système sur une puce ESP32, qui est un microcontrôleur à double cœur, doté de fonctionnalités Wi-Fi et Bluetooth intégrées. La carte ESP32 est largement utilisée dans le développement de projets IoT (Internet des objets), grâce à ses capacités de connectivité sans fil, sa faible consommation d'énergie et sa flexibilité. [15]



Figure II.1 : Carte ESP32

II.3.3 Pourquoi l'ESP 32

La carte ESP32 dispose de nombreux ports d'entrée/sortie (E/S) pour connecter différents capteurs, actionneurs et périphériques, tels que des capteurs de température, des capteurs de lumière, des afficheurs LED, des servomoteurs, etc. Elle est également compatible avec de nombreuses plates-formes de développement logiciel telles que Arduino, Micro python, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) et plus encore. La carte ESP32 dispose de fonctionnalités intégrées telles que le Wi-Fi et le Bluetooth, qui permettent une connectivité facile et rapide à un réseau sans fil. Cela rend la carte ESP32 idéale pour les projets IoT qui nécessitent une communication sans fil avec d'autres appareils ou des serveurs en nuage. [16]

II.3.4 Le choix de l'ESP32

La carte ESP32 est disponible dans une variété de formats et de configurations, allant des cartes de développement simples aux modules intégrés, en passant par les cartes de développement avec écran tactile et les cartes de développement de petite taille pour les projets embarqués. Elle est largement utilisée dans des projets tels que la domotique, la surveillance à distance, la robotique, la sécurité, le contrôle industriel et plus encore. [17]

II.3.5 La différence entre l'ESP32 et carte Arduino

La carte ESP32 et la carte Arduino sont deux plates-formes de développement populaires pour les projets électroniques et informatiques. Bien qu'elles présentent des similitudes, il existe également des différences significatives entre ces deux plates-formes.

Tableau II.1 : Tableau de comparaison ESP32 Vs Arduino

Critère	Carte ESP32	Carte Arduino
Microcontrôleur	Microcontrôleur Espressif, dual-core, très puissant	Microcontrôleur Atmel, simple et moins performant
Puissance de calcul Haute	fréquence (jusqu'à 240 MHz), traitement multitâche	Faible fréquence (16 MHz pour Arduino UNO), pas de multitâche
Connectivité intégrée	Wi-Fi et Bluetooth intégrés (idéale pour l'IOT)	Pas de connectivité intégrée, nécessite des shields supplémentaires
Langage de programmation	Compatible avec Arduino IDE, Micro Python, ESPIDF	Programmée principalement en C/C++ via Arduino IDE
Polyvalence	Idéale pour projets IoT, objets connectés, applications avancées	Plus adaptée aux projets simples ou éducatifs.
Évolution des projets	Parfaite pour passer d'un prototype à une solution réelle et connectée	Limité à des prototypes de base ou des projets simples

En fin de compte, le choix entre la carte ESP32 et la carte Arduino dépendra des besoins projet et de niveau de compétence en programmation et en électronique et la carte ESP32 est nettement plus puissante et polyvalente que l'Arduino classique. Elle est le meilleur choix pour les projets modernes, notamment les systèmes connectés, intelligents ou nécessitant une grande capacité de calcul. [18]

II.3.6 Outils de programmation de l'ESP32

Il existe plusieurs options pour programmer la carte ESP32, en fonction de préférences et compétences en programmation.

Tableau II.2 : Outils de programmation de l'ESP32

Moyens	Caractéristique
Arduino IDE	La carte ESP32 peut être programmée à l'aide de l'IDE Arduino, qui est un environnement de développement logiciel populaire pour les microcontrôleurs. Vous devrez télécharger le support ESP32 pour l'IDE Arduino, ce qui vous permettra de sélectionner la carte ESP32 et de téléverser votre code à la carte.
Micro python	La carte ESP32 peut également être programmée en utilisant Micro python, qui est un langage de programmation Python léger et facile à utiliser pour les microcontrôleurs. Vous devrez télécharger le firmware Micro python pour la carte ESP32, qui vous permettra de taper du code Python sur la carte.
ESP-IDF	ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) est un ensemble d'outils de développement logiciel pour la carte ESP32, qui permet de programmer en langage C. Il s'agit d'une option plus avancée qui peut offrir plus de flexibilité et de contrôle sur le matériel.
Plateformes tierces	Il existe également des plateformes tierces telles que Platform IO, qui prend en charge la programmation de la carte ESP32 à l'aide de différents environnements de développement tels que l'IDE Arduino et ESP-IDF

Autrement dit, la carte ESP32 se distingue par sa grande polyvalence en matière de programmation. Selon le niveau de l'utilisateur et les besoins du projet, plusieurs options s'offrent à lui. L'Arduino IDE reste la solution la plus simple pour débiter rapidement, tandis que Micro Python permet une programmation intuitive grâce à la simplicité du langage Python. Pour des projets plus complexes et professionnels, ESP-IDF offre un contrôle total sur le matériel, au prix d'une courbe d'apprentissage plus élevée. Enfin, Platform IO représente une plateforme moderne et puissante, adaptée aux développeurs souhaitant centraliser plusieurs environnements dans un seul outil.

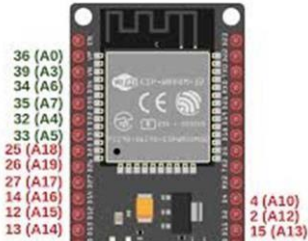
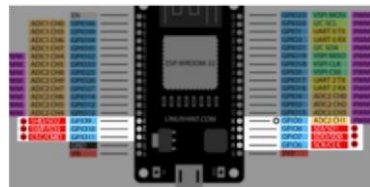
En résumé, l'ESP32 s'adapte aussi bien aux débutants qu'aux utilisateurs avancés, ce qui en fait une carte très complète et évolutive. [19]

II.3.7 Les broches de l'ESP32

La carte ESP32 dispose de nombreuses broches (pins) pour connecter différents périphériques et capteurs. Les broches sont généralement regroupées en deux rangées, avec

des noms de broches gravés sur le PCB de la carte. Voici une liste des broches couramment utilisées sur la carte ESP32 : [20]

Tableau II. 3 : Broches de l'ESP32

Broche	Fonctionnement	Illustration
Broches d'alimentation	Les broches 3V3 et GND sont utilisées pour l'alimentation de la carte et des périphériques connectés. Il y a aussi une broche VBAT qui peut être utilisée pour alimenter la carte avec une batterie.	
Broches d'E/S numériques	Les broches GPIO (General Purpose Input/Output) sont utilisées pour connecter des périphériques numériques, tels que des capteurs de température, des relais, des LED, etc.	
Broches d'E/S analogiques	Les broches ADC (Analog to Digital Converter) sont utilisées pour mesurer des signaux analogiques tels que la tension et le courant. La carte ESP32 dispose également d'une broche DAC (Digital to Analog Converter) pour générer des signaux analogiques.	
Broches de communication	La carte ESP32 dispose de plusieurs broches pour la communication série (UART), I2C, SPI et la communication sans fil Bluetooth et Wi-Fi.	
Broches spéciales	La carte ESP32 dispose également de broches spéciales pour le reset, la programmation, le boot et le contrôle de la puissance.	

II.4 ESP-Wroom-32

II.4.1 Description technique

ESP32-WROOM-32 est un module MCU (Microcontroller Unit) puissant, générique et polyvalent, intégrant les technologies Wi-Fi, Bluetooth® et Bluetooth Low Energy (BLE). Il est conçu pour une large gamme d'applications, allant des réseaux de capteurs basse consommation aux applications intensives, comme : [21]

- L'encodage de la voix,
- Le streaming musical,
- Le décodage de fichiers MP3,
- Le traitement de données embarquées en temps réel.

II.4.2 Caractéristiques

- Processeur: double cœur Tensilica Xtensa LX6, jusqu'à 240 MHz
- Mémoire RAM: 520 Ko SRAM interne
- Mémoire Flash: 4 Mo (standard), jusqu'à 16 Mo selon les modèles
- Wi-Fi: IEEE 802.11 b/g/n, support du mode station / soft-AP / mixte
- Bluetooth: Bluetooth 4.2 BR/EDR et BLE (Bluetooth Low Energy)
- Tension d'alimentation: 3.0V – 3.6V (3.3V recommandé)
- Consommation: 20 µA (deep sleep), jusqu'à 500 mA en pleine activité Wi-Fi
- Interfaces de communication: UART, SPI, I²C, I²S, CAN, PWM, ADC, DAC, SDIO, Touch, etc.
- GPIO: Jusqu'à 34 broches d'entrée/sortie numériques
- ADC (convertisseur analogique) : 12 bits, jusqu'à 18 canaux (selon la configuration des broches)
- DAC : 2 canaux (8 bits)

II.5 Outils de conception

II.5.1 Les capteurs

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs...), on a besoin de contrôler des paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité...). Le capteur est l'élément indispensable à la détection de ces grandeurs physiques.

Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (souvent électrique).

Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. [22]

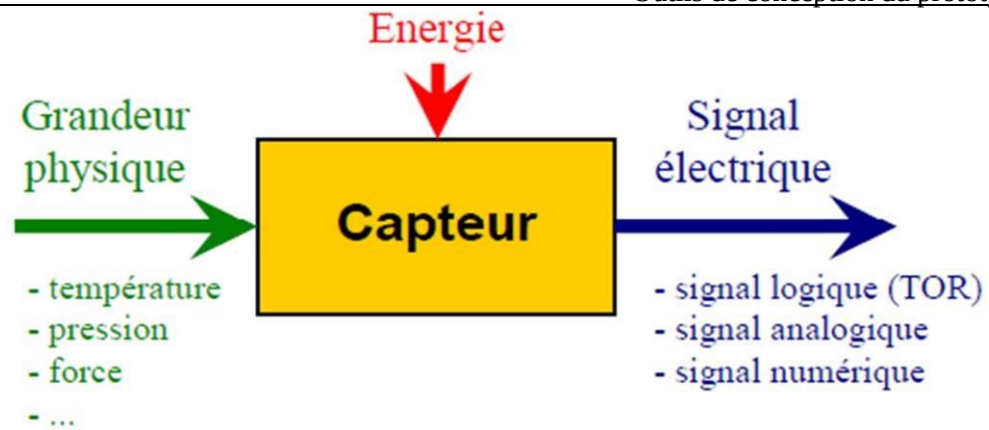


Figure II.2 : Structure d'un capteur

On peut classer les capteurs en 3 groupes en fonction de la nature de l'information délivrée en sortie :

Tableau II. 4 : Types des capteurs

Capteur	Type de signal	Graphique
Les capteurs analogiques	0 – 10V ou 4 – 20mA	
Les capteurs numériques (codeurs ou compteurs)	0011 ou 0001	
Les capteurs logiques ou Tout Ou Rien (TOR) (détecteurs)	0V ou 5V	

5.1.1 Le capteur MAX30102 :

Le MAX30102 est un capteur intégré conçu pour mesurer à la fois l'oxymétrie de pouls (SpO_2) et la fréquence cardiaque. Il intègre des LEDs, une photo détectrice, des éléments optiques et une électronique de traitement à faible bruit, avec un système efficace de réduction de la lumière ambiante.

Ce module propose une solution complète et compacte, idéale pour une intégration facile dans les dispositifs mobiles ou portables (wear ables). [23]

Le MAX30102 fonctionne avec deux alimentations :

- ☐ 1,8 V pour la partie logique, 3,3 V pour
- ☐ l'alimentation des LEDs internes.
- ☐ Il communique via une interface I2C standard, ce qui facilite sa connexion aux microcontrôleurs.
- ☐ De plus, il peut être mis en veille par commande logicielle, avec une consommation nulle en mode veille, permettant de laisser l'alimentation active en continu sans gaspillage d'énergie



Figure II.3 : Capteur MAX30102

Tableau II.5 : Caractéristique du MAX30102

Caractéristique	Valeur / Description
Nom du capteur	MAX30102
Fabricant	Maxim Integrated
Maxim Integrated	Détection de la fréquence cardiaque, mesure de la SpO ₂ (saturation en oxygène)
Méthode de détection	Photo pléthysmographie (PPG) LED intégrées LED rouge (660 nm) et LED infrarouge (880 nm) Photodiode Oui, intégrée
Tension d'alimentation	1.8 V (logique), 3.3 V (LEDs via régulateur intégré)
Courant de fonctionnement	Environ 600 µA en mode actif Courant en veille Moins de 1 µA
Interface de communication	I2C (jusqu'à 400 kHz)
Taille du boîtier	5.6 mm × 3.3 mm × 1.55 mm
Température de fonctionnement	De -40°C à +85°C
Applications typiques	Montres connectées, bracelets sportifs, patchs médicaux, suivi de patients
Avantages	Faible consommation, petite taille, bonne précision, intégration facile
Filtres	Filtres optiques et numériques intégrés pour réduire le bruit

Tableau II.6 : Branchement du MAX30102 avec ESP32

Broche du MAX30102	Connectée à (ESP32)	Fonction
VCC	3.3 V	Alimentation du capteur
GND	GND	Masse commune
SDA	GPIO 21	Données I ² C (communication série)
SCL	GPIO 22	Horloge I ² C (synchronisation de la communication)
INT	GPIO 19	Gestion des interruptions (optionnelle mais utile)

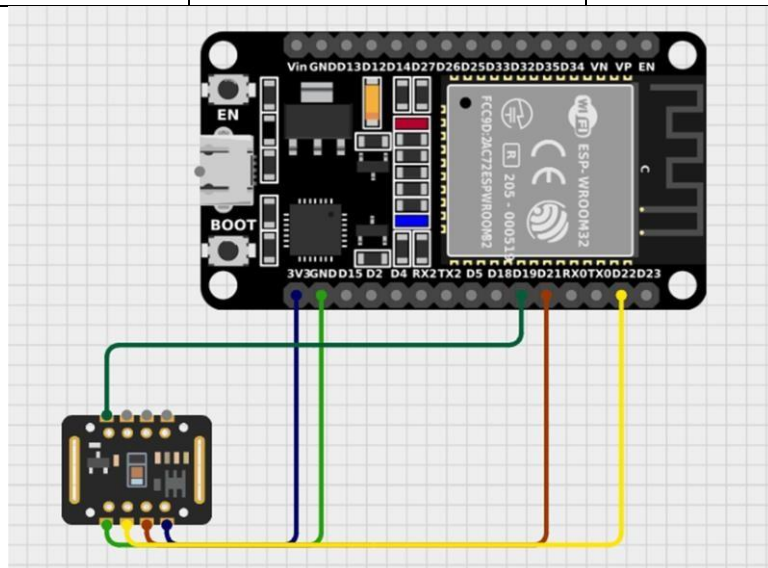


Figure II.4 : Branchement électrique du Max 30102 avec ESP32

5.1.2 Capteur GPS (NEO-6M) :

Le module NEO-6M est un module GPS populaire utilisé pour le suivi de localisation et la navigation. Il est fabriqué par la société suisse u-blox et est largement utilisé dans des applications telles que le suivi de véhicules, les dispositifs de navigation personnels et les drones.

Le module NEO-6M utilise le système de positionnement global (GPS) pour déterminer sa position. Il reçoit des signaux des satellites GPS et utilise ces informations pour calculer sa position à la surface de la Terre. Le module dispose d'une antenne intégrée et communique avec d'autres appareils via une interface série. [24]



Figure II.5 : Capteur GPS NEO-6M

Tableau II.7 : Les caractéristique du GPS NEO-6M

Spécification	Détail
Puce GPS	u-blox NEO-6M
Fréquences supportées	GPS L1 (1575.42 MHz)
Sensibilité	-161 dBm (tracking), -147 dBm (acquisition)
Vitesse de mise à jour	Par défaut 1 Hz (configurable jusqu'à 5 Hz)
Taux de baud	9600 bps (par défaut), configurable
Tension de fonctionnement	3.3V à 5V (module avec régulateur intégré)

Tableau II.8 : Le branchement du GPS NEO-6M2avec ESP32

Broche du GPS NEO-6M	Connectée à (ESP32)
VCC	Connecté à 3,3 OU 5V de l' ESP32
GND	Connecté à la masse (GND) de l'ESP32.
TX	Connecté à la broche GPIO 16 (RX de l'ESP32 pour UART).
RX	Connecté à la broche GPIO 17 (TX de l'ESP32 pour UART

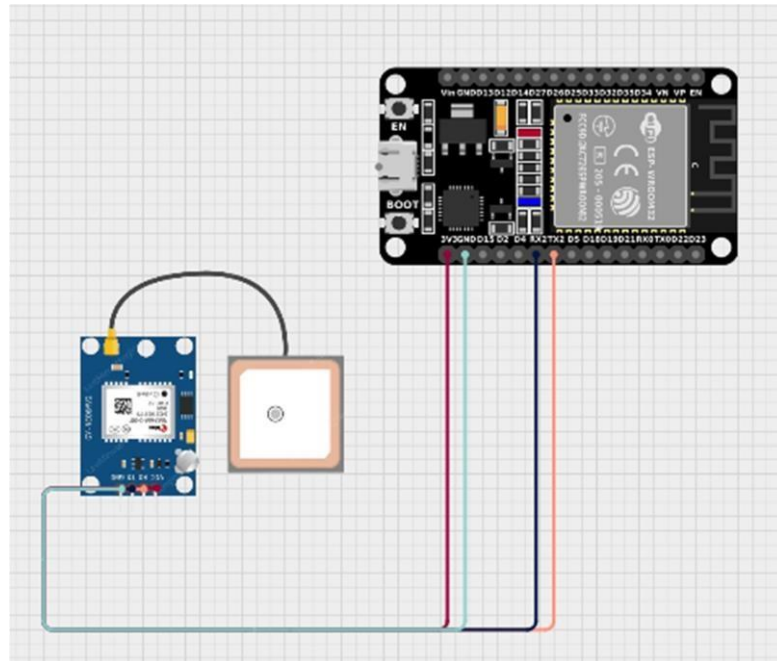


Figure II.6 : Branchement électrique du GPS avec ESP32

II.5.2 Le buzzer

Buzzer, est un composant utilisé pour générer du son. Il peut être connecté à des sorties numériques et émet un signal sonore lorsque la sortie est à l'état haut. Il peut également être connecté à une sortie analogique à modulation de largeur d'impulsion (MLP) pour générer divers sons et effets.

A l'intérieur du buzzer se trouve une membrane, semblable à une peau de tambour, qui vibre sous l'effet du courant électrique. Lors tone (BUZZER, 85) de l'activation, le courant traverse la membrane et la déforme. Notone (BUZZER)Le courant s'arrête et la membrane reprend sa forme initiale. Lorsque le courant est activé et désactivé très rapidement, la membrane vibre d'avant en arrière, créant des ondes sonores audibles. En modifiant la vitesse d'activation et de désactivation du courant, vous pouvez contrôler la vitesse des vibrations. Des vibrations rapides produisent des notes plus aiguës, tandis que des vibrations lentes produisent des notes plus graves. [25]

Les buzzers actifs Sont les plus simples à utiliser, car ils disposent d'oscillateurs internes. Il suffit de les alimenter avec une tension constante pour qu'ils émettent un signal sonore continu jusqu'à ce que vous les réduisiez à un niveau bas. Ils fonctionnent comme un périphérique de sortie numérique (comme une LED) que vous pouvez allumer ou éteindre.

La tension de fonctionnement d'un buzzer actif est comprise entre 3,3 V et 12 V. Il faut consulter les données du fabricant pour connaître la tension continue exacte du buzzer. Par exemple, un buzzer de 6 V fonctionnera avec une tension continue comprise entre 4 et 8 V. [26]



Figure II.7 : Intérieur d'un buzzer actif

Les caractéristiques du buzzer actif sont résumées dans le tableau II.9 ci-dessous :

Tableau II.9 : Caractéristique du buzzer actif

Spécifique	détail
Tension nominale	6 V CC
Tension de fonctionnement	4 à 8 V CC
Courant nominal	≤ 30 mA
Sortie sonore à 10 cm	≥ 85 dB
Fréquence de résonance	$2\,300 \pm 300$ Hz
Tonifier	Continu

Tableau II.10: Le branchement du Buzzer avec ESP32

Broche du Buzzer	Connectée à (ESP32)
Positif	Connecté à la broche GPIO 25 de l'ESP32 (via une résistance de $220\ \Omega$ pour limiter le courant, si nécessaire).
Négatif	Connecté à la masse (GND) de l'ESP32.

Voici le branchement du buzzer sur l'ESP32

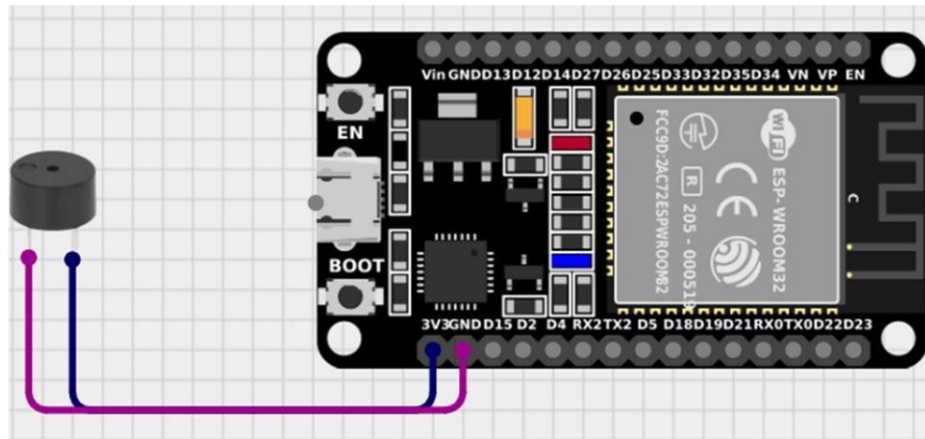


Figure II.8 : Branchement électrique du BUZZER avec ESP 32

II.5.3 L'alimentation

1.batterie 18650 :

Une batterie 18650 est une cellule lithium-ion (Li-ion) rechargeable, reconnaissable à sa forme cylindrique et à ses dimensions standardisées de 18 mm de diamètre et 65 mm de longueur.

C'est l'un des types de batteries les plus couramment utilisés dans les appareils à forte consommation d'énergie, en raison de sa grande densité énergétique, de sa longue durée de vie et de son efficacité supérieure par rapport à d'autres batteries rechargeables. [27]



Figure II.9 : Batterie Li-ion 18650

Tableau II.11: Les caractéristique du Batterie Li- ion 18650

Spécifique	détail
Type	Lithium-ion (Li-ion)
Forme	Cylindrique
Tension nominale	3.6 V ou 3.7 V
Tension de charge max.	4.2 V
Tension de décharge min.	2.5 V à 3.0 V (selon le fabricant)
Capacité	Généralement entre 1800 mAh et 3500 mAh
Courant de décharge	Varie (de 1C à 30A pour les versions haute performance)
Nombre de cycles	300 à 1000 cycles (selon l'usage et la qualité)
Poids	Environ 45 g
Protection intégrée	Certaines cellules sont "protégées", d'autres no

Tableau II.12: Le branchement de la batterie avec ESP32

Broches	Connectée à ESP
Sortie +5V	Connecté à 3,3 OU 5V del' ESP32
Masse	Connecté à la masse (GND) de l'ESP32

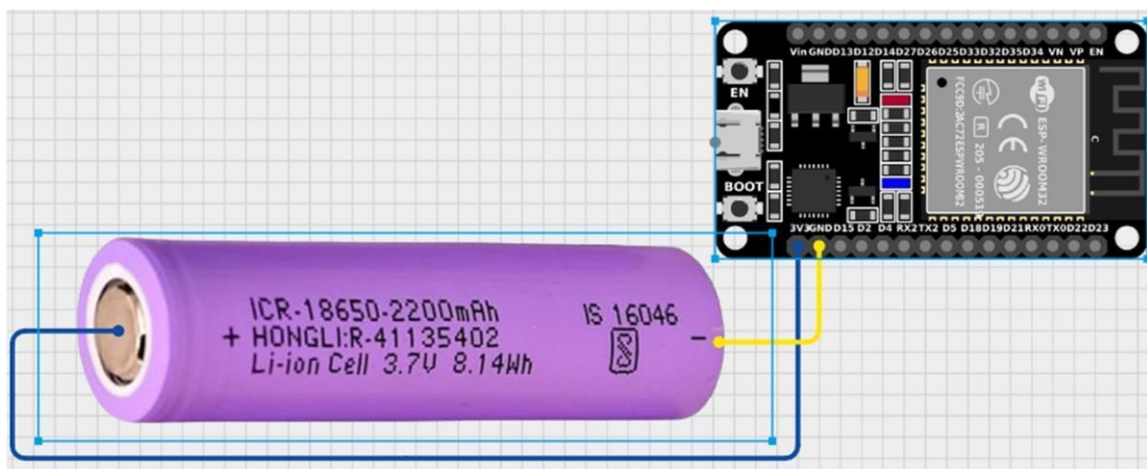


Figure II.10: Branchement électrique d'alimentation avec ESP 32

II.5.4 ESP 32 extension board

La carte d'extension ESP32 est un module complémentaire polyvalent conçu pour accroître les capacités du microcontrôleur ESP32. Elle offre des interfaces matérielles et des fonctionnalités de gestion de l'alimentation supplémentaires, permettant aux utilisateurs de connecter une large gamme de périphériques et de capteurs. Ses applications courantes incluent les objets connectés, les systèmes domotiques et le prototypage de systèmes embarqués. [28]

Tableau II.13 : Les caractéristique du ESP32 extension board

Spécifique	détail
Tension de fonctionnement	3,3V
Tension d'entrée (recommandée)	5 V à 12 V
Tension d'entrée (limite)	6 V à 20 V
Broches d'E/S numériques	22
Broches d'entrée analogiques	6 (canaux ADC)
Broches de sortie analogique	2 (canaux DAC)
Mémoire flash	4Mo
SRAM	520 Ko
Vitesse d'horloge	240MHz
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 BR/EDR et BL

II.6 Outils de programmation

II.6.1 Arduino IDE

Dans le cadre de la conception du prototype, nous avons utilisé l'environnement de développement intégré (IDE) d'Arduino, qui constitue l'un des outils les plus accessibles et répandus pour la programmation de microcontrôleurs. Cet IDE open source, développé en

Java, permet d'éditer, compiler et téléverser facilement des programmes vers les cartes Arduino à travers une interface simple et intuitive.

L'IDE Arduino se compose principalement de quatre zones :

- La barre de menus, qui regroupe les fonctions essentielles telles que la gestion des fichiers, la vérification du code et les outils de communication.
- L'éditeur de texte, où l'utilisateur écrit son code, avec des fonctionnalités de coloration syntaxique et de gestion automatique de l'indentation.
- La console de sortie, qui affiche les messages de compilation et les éventuelles erreurs.
- Des icônes simplifient également l'interaction avec l'environnement, notamment pour vérifier le code, téléverser le programme, ouvrir un nouveau projet ou lancer le moniteur série.

En résumé, l'IDE Arduino est un outil indispensable pour le développement embarqué, grâce à sa compatibilité multiplateformes (Windows, Linux, macOS) et à sa simplicité d'utilisation, même pour les débutants. Il a été choisi pour ce projet afin de faciliter l'écriture, la simulation et le transfert du code vers le microcontrôleur ESP32. [29]

Tableau II.14 : Le choix d'Arduino IDE

Coût abordable	Les cartes Arduino sont très accessibles financièrement par rapport à d'autres plateformes de microcontrôleurs. Il est possible de fabriquer soi-même les versions les plus simples, tandis que les modèles préassemblés restent généralement sous la barre des 50 \$
Compatibilité multiplateforme	Le logiciel Arduino (IDE) est compatible avec les principaux systèmes d'exploitation : Windows, macOS et Linux. À l'inverse, de nombreuses autres plateformes se limitent souvent à l'environnement Windows.
Environnement de programmation simple et intuitif	L'IDE Arduino offre une interface conviviale, idéale pour les débutants tout en restant suffisamment puissante pour les utilisateurs avancés. Pour les enseignants, c'est un atout majeur : son fonctionnement est proche de celui de Processing, ce qui facilite l'apprentissage pour les étudiants déjà familiers avec ce langage



Figure II.11 : Logiciel de programmation Arduino IDE

II.6.2 Android studio

Android Studio est l'environnement de développement intégré (IDE) officiel des applications Android. Basé sur le puissant outil de développement et d'édition de code d'IntelliJ IDEA, Android Studio offre encore plus de fonctionnalités qui améliorent votre productivité lorsque vous créez des applications Android. Voici une liste non exhaustive de ces fonctionnalités : [30]

- Un système de compilation flexible basé sur Gradle
- Un émulateur rapide et riche en fonctionnalités
- Un environnement unifié pour un développement sur tous les appareils Android
- La modification en temps réel pour mettre à jour les composables dans les émulateurs et les appareils physiques en temps réel
- Des modèles de code et l'intégration GitHub pour vous aider à compiler des fonctionnalités d'application courantes et à importer des exemples de code
 - Des outils et Framework de test complets
- Des outils Lint permettant de détecter les problèmes de performances, d'ergonomie, de compatibilité des versions, etc.
- Compatibilité C++ et NDK
- Compatibilité intégrée avec Google Cloud Platform, qui facilite l'intégration de Google Cloud Messaging et App Engine

II.6.2.1 Structure d'un projet dans Android Studio

Chaque projet Android Studio est composé d'un ou plusieurs modules, regroupant à la fois du code source et des ressources. On distingue principalement trois types de modules :

- Modules d'application Android
- Modules de bibliothèque
- Modules Google App Engine

Par défaut, Android Studio présente les fichiers dans la vue de projet Android. Cette vue est simplifiée et organisée par modules, ce qui permet un accès rapide aux fichiers essentiels.

Les fichiers de configuration Gradle apparaissent directement à la racine, sous la section Gradle Scripts. [31]

II.6.2.2 Structure d'un module d'application

Chaque module d'application contient généralement les dossiers suivants :

- Manifestes : contient le fichier essentiel AndroidManifest.xml.
- Java : regroupe les fichiers de code source en Java ou Kotlin, ainsi que les tests unitaires JUnit.

RES : contient toutes les ressources non codées comme les chaînes de texte (strings), les images, les mises en page (layouts), etc. [32]

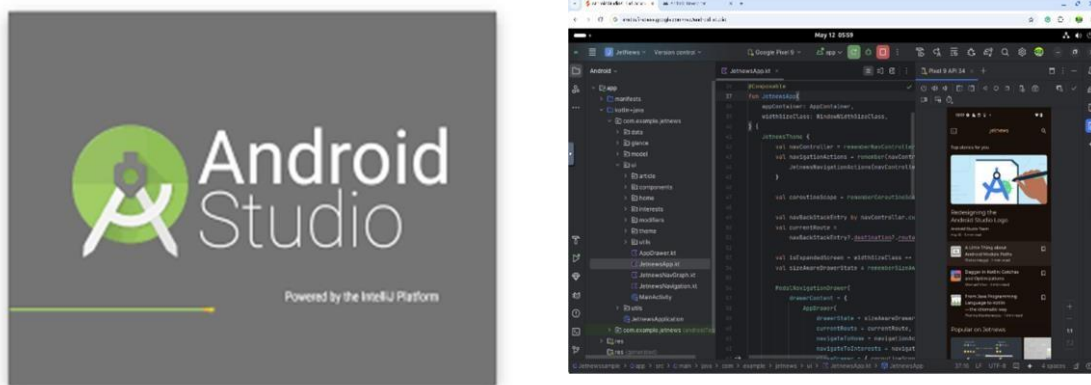


Figure II.12 : Logiciel de programmation Android Studio

II.7 Conclusion

Ce chapitre a permis de détailler l'ensemble des éléments matériels et logiciels utilisés dans la mise en œuvre pratique de notre système de prévention. Nous avons présenté les composants électroniques sélectionnés, tels que les capteurs et le microcontrôleur, en précisant leurs fonctions et leur importance dans l'architecture du dispositif. Par ailleurs, les outils de développement, les bibliothèques logicielles et les environnements de programmation ont été décrits afin d'illustrer les choix techniques retenus pour assurer le bon fonctionnement du système. Cette base technique solide nous permettra, dans le chapitre suivant, d'aborder la phase de réalisation et d'intégration du système de manière concrète et structurée.

Chapitre III

Conception et Réalisation du système de prévention

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer la mise en œuvre des outils et techniques essentiels à la création du prototype d'un système de prévention des crises d'asthme en milieu industriel. De l'assemblage structurel à l'intégration des capteurs, chaque étape sera détaillée afin de garantir une conception efficace et adaptée aux exigences du domaine. Enfin, nous mettrons en lumière l'intérêt d'un tel système de prévention, en soulignant ses bénéfices pour l'industrie et son impact potentiel sur la santé des travailleurs.

III.2 Environnement et Risque

L'environnement industriel désigne l'ensemble des conditions physiques techniques, humaines et organisationnelles dans lesquelles s'effectuent les activités de production ou de services dans une industrie. Les risques présents sont d'ordre [33]:

- Physique
 - Bruits et excessif.
 - Vibration.
 - Température extrême.
 - Chimique
 - Inhalation de gaz ou vapeurs toxique.
 - Contact avec produit corrosifs ou irritant.
 - Explosion ou incendie.
 - Electrique
 - Electrocutation par contact direct ou indirect avec un équipement.
 - Décharge électriques en zone humide. □
- Mécanique :
- Capteurs, chocs, écrasements liés aux machines.
 - Chutes d'objet ou d'auteurs.

III.3 Problématique

L'industrie utilise divers produits chimiques qui créent un environnement toxique pouvant entraîner des maladies chroniques du système respiratoire. Parmi ces affections, l'asthme constitue un risque majeur, se manifestant par une diminution du taux d'oxygène dans le corps et une accélération du rythme cardiaque, conduisant à des crises parfois sévères.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'études vise à concevoir un système intelligent de prévention des crises d'asthme adapté aux environnements industriels. Ce projet repose sur plusieurs interrogations fondamentales :

- Comment prévenir une crise d'asthme avant qu'elle ne devienne critique ?
- Quels outils technologiques peuvent permettre une surveillance en temps réel de l'état respiratoire des travailleurs ?

- Comment assurer une transmission rapide des alertes pour une intervention immédiate ?

En répondant à ces questions, notre objectif est de développer une solution innovante qui améliore la sécurité des travailleurs exposés à ces conditions et réduit les risques liés aux maladies respiratoires en milieu industriel.

Solution Proposée :

La solution proposée est résumée sous forme de schéma descriptif dans la figure III.1.a et d'organigramme dans la figure III.1.b.

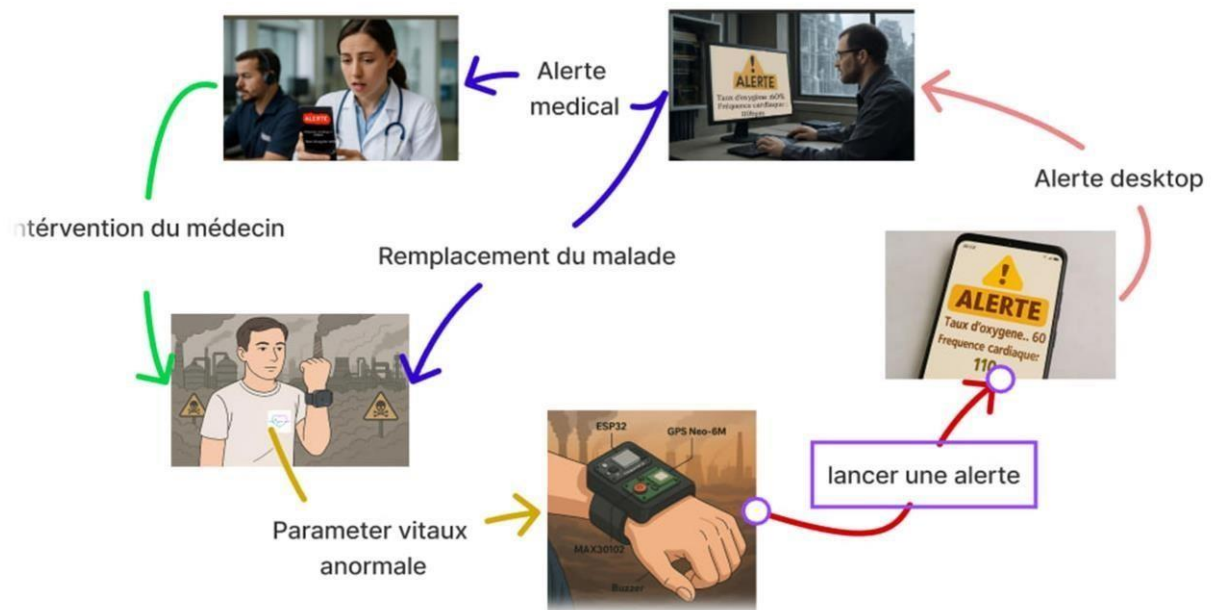


Figure III.1.a : Système de prévention proposé

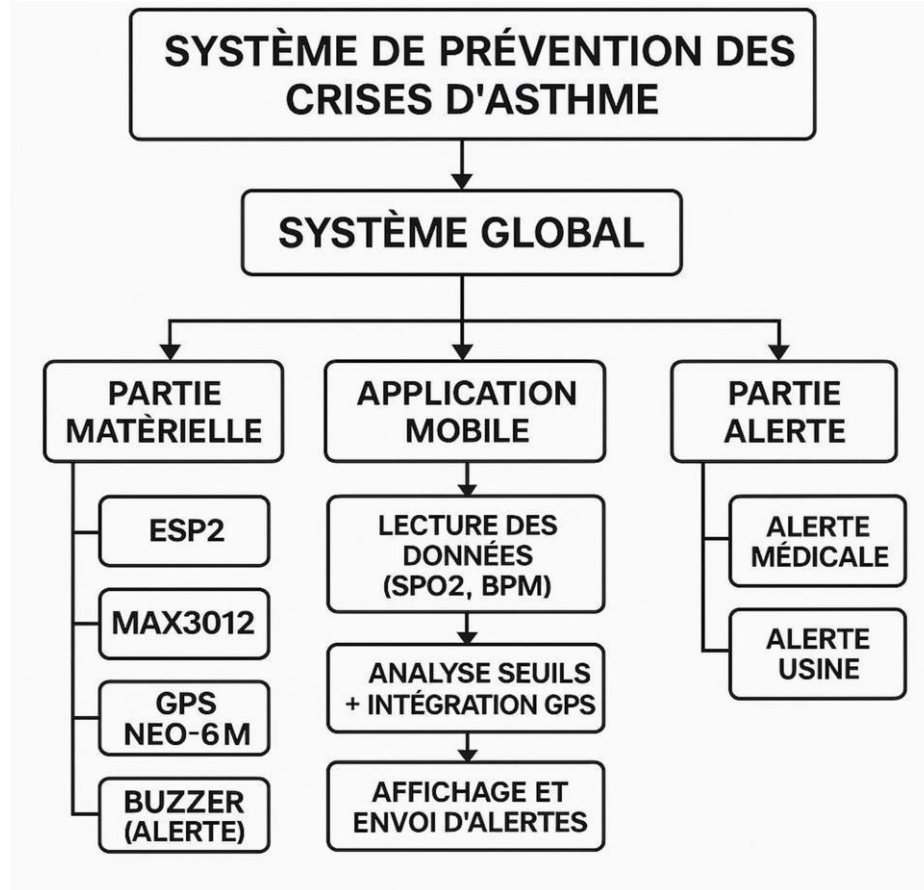


Figure III.1.b : Organigramme du système réalisé

III.4 Description de l'approche proposée

Ce projet consiste en la conception et la réalisation d'un système de prévention connecté, destiné à la surveillance en temps réel de paramètres vitaux tels que la saturation en oxygène (SpO_2) et la fréquence cardiaque, particulièrement dans les environnements industriels toxique.

Le système repose sur une carte ESP32, connectée à un capteur biomédical MAX30102 pour la mesure des données physiologiques, et à un module GPS NEO-6M pour la localisation du porteur en cas d'alerte. Un buzzer est également intégré pour signaler localement toute situation critique.

Les données recueillies sont transmises en temps réel à une application mobile, développée sous Android Studio. Cette application permet :

- D'afficher les paramètres vitaux du porteur.
- De déclencher une alerte automatique en cas d'anomalie.
- De transmettre la position GPS du porteur.
- De notifier les services de secours ou de supervision industrielle.

Le système vise à renforcer la sécurité des travailleurs exposés à des environnements dangereux, en assurant une prise en charge rapide lors de crises respiratoires ou de défaillances physiologiques. Il s'inscrit ainsi dans une démarche de prévention intelligente et de réaction automatisée, intégrant à la fois des technologies embarquées, des communications sans fil, et des applications mobiles.

III.5 Installation de la partie électrique/électronique

Dans cette partie on va mettre en avant la disposition des capteurs, actionneurs et Arduino dans le système selon le schéma électrique suivant

selon le schéma électrique suivant :

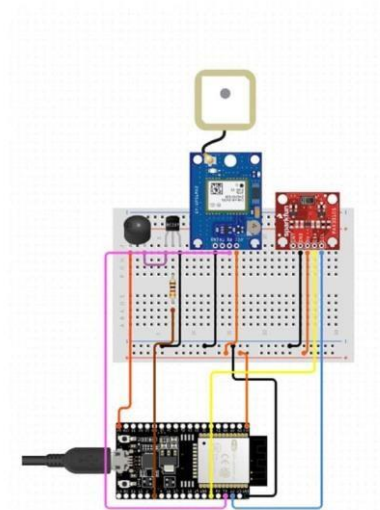


Figure III.2 : Schéma d'installation générale

Figure III.2 : Schéma d'installation générale

III.5.1 ESP 32 30P expansion board

Nous avons choisi d'utiliser l'ESP32 30P Expansion Board dans notre branchement afin de simplifier la connexion et optimiser l'intégration du microcontrôleur ESP32. Cette carte nous offre plusieurs avantages :

- Facilitation du câblage : Grâce à ses 30 broches, nous pouvons brancher nos capteurs et modules plus facilement, sans avoir à gérer une soudure complexe.
- Accès simplifié aux interfaces : Elle nous permet d'exploiter les ports GPIO, I2C, SPI, UART, essentiels pour assurer la communication entre nos périphériques.
- Gestion efficace de l'alimentation : Grâce à son régulateur de tension, elle stabilise l'alimentation du microcontrôleur ESP32, garantissant ainsi un fonctionnement fiable de notre système.
- Compatibilité avec nos modules complémentaires : Elle nous donne la possibilité d'intégrer des fonctionnalités Wi-Fi, Bluetooth, et bien d'autres, sans complexifier notre câblage.

Son utilisation nous permet donc d'assurer la fiabilité et la connectivité de notre système tout en rendant l'installation plus intuitive et efficace.



Figure III.3 : Expression board

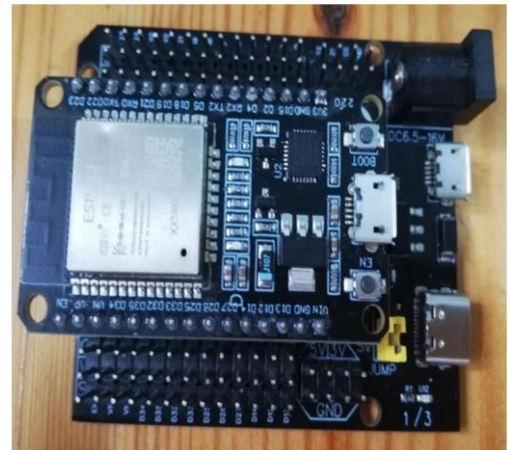


Figure III.4: Placement de ESP32

III.5.2 Capteurs

Nous avons utilisé deux sortes de capteurs (Fréquence Cardiaque et Taux d'oxygène) inclus dans un seul composant le MAX30102 et un capteur de position le GPS NEO-6M.

□ MAX30102

Ce dernier est parmi les meilleurs capteurs pour mesurer les deux paramètres vitaux. Nous l'avons branché et alimenté par du 5V.



Figure III.5: Branchement de max30102

□ GPS NEO-6M

Nous avons utilisé ce capteur pour localiser le lieu du malade. On a choisi ce type pour obtenir des données plus précises et aussi il s'alimente avec 5V.

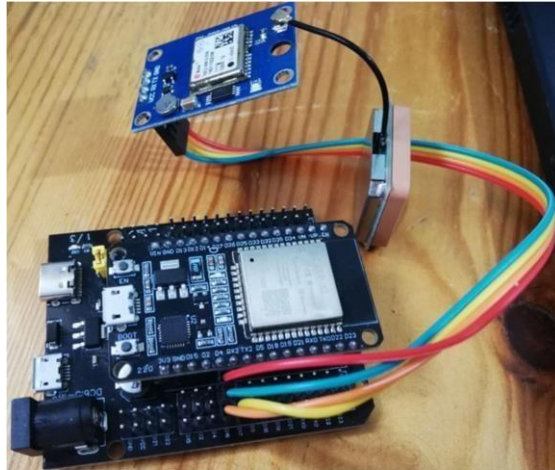


Figure III.6 : Branchement de GPS-NEO-M6

III.5.3 Actionneur

Le buzzer est utilisé pour donner l'alerte lorsque les paramètres dépassent les limites. Son branchement est illustré dans la figure III.7.



Figure III.7 : Branchement de Buzzer

III.5.4 L'alimentation

Nous avons utilisé une batterie de 5V pour alimenter notre branchement, garantissant ainsi une source d'énergie stable et adaptée à notre circuit .



Figure III.8 : Branchement de la batterie

III.5.5 Le branchement final du système

Le branchement du système est illustré dans la figure III.9

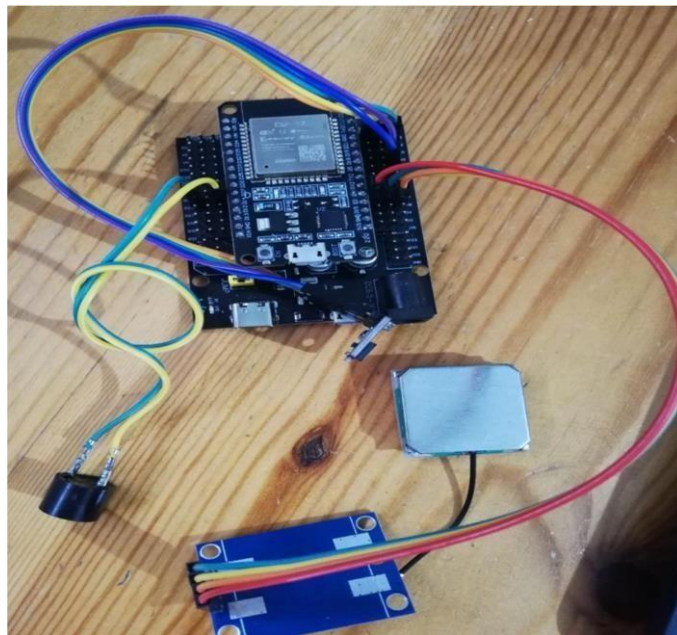


Figure III.9 : Branchement finale

III.6 Partie programmation

Tout projet basé sur l'ESP32 repose sur deux éléments essentiels : une partie matérielle et une partie programmation. Chacune est indispensable, car sans elles, nous ne pouvons pas accomplir les tâches souhaitées.

Dans le cadre de notre projet de système de prévention des crises d'asthme, nous avons besoin d'un environnement adapté pour programmer notre carte ESP32. Il suffit de l'installer sur un ordinateur, puis de connecter notre carte pour commencer la programmation.

Nous utilisons l'Arduino IDE, un environnement de développement intégré multiplateforme (Windows, macOS, Linux), basé sur le langage C et C++. Il nous permet d'écrire, compiler et téléverser nos programmes sur notre carte ESP32, garantissant ainsi le bon fonctionnement de notre système.

Pour pouvoir programmer notre carte, nous avons eu besoin de trois outils :

- Un ordinateur.
- Une carte ESP32.
- Le langage de programmation sous Arduino IDE.

Voici quelques extraits de code dans l'Environnement Arduino IDE :

```
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"
#include "TinyGPS++.h"

// ===== Pins =====
#define SDA_PIN 21
#define SCL_PIN 22
#define INT_PIN 19 // Interrupt pin for MAX30102
#define BUZZER_PIN 26
#define GPS_RX_PIN 16
#define GPS_TX_PIN 17
#define D2_LED_PIN 2 // D2 blue LED (assumed onboard LED)

// ===== Settings =====
#define RATE_SIZE 4
#define SPO2_THRESHOLD 90
#define HEART_RATE_MIN 40
#define HEART_RATE_MAX 200
#define HEART_RATE_ALERT 120 // Threshold for high heart rate alert
#define TIMETOBOOT 3000
#define SAMPLING 5
#define FINGER_THRESHOLD 50000 // Original threshold

// WiFi
const char* ssid = "AsthmaDetector"; // WiFi AP SSID
```

Figure III .10: Extrait de code dans ARDUINO IDE (Déclaration des constantes)

```

/ Initialize MAX30102
ire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);
F (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) {
  Serial.println("FAIL: MAX30102 not found! Check wiring or I2C address.");
  while (1);

  Serial.println("SUCCESS: MAX30102 initialized");

/ Configure MAX30102 with original settings
articleSensor.setup(0x1F, 4, 2, 400, 411, 4096);
articleSensor.enableDIETEMPDRV();
articleSensor.setFIFOAlmostFull(3);
inMode(INT_PIN, INPUT_PULLUP);
Serial.println("MAX30102 interrupt pin configured");

/ Initialize GPS
SerialGPS.begin(9600, SERIAL_8N1, GPS_RX_PIN, GPS_TX_PIN);
F (!SerialGPS) {
  Serial.println("FAIL: GPS serial not initialized!");
} else {
  Serial.println("GPS serial initialized");

/ Initialize Buzzer
inMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

```

```

void handleWifiClient() {
  WifiClient client = server.available();
  if (client) {
    Serial.println("Client connected");
    unsigned long clientTimeout = millis();

    // Read request headers until blank line or timeout
    String request = "";
    while (client.connected() && millis() - clientTimeout < 1000) {
      if (client.available()) {
        String line = client.readStringUntil('\n');
        request += line + "\n";
        line.trim(); // Trim the string in place to remove whitespace
        if (line.length() == 0) { // Check if the trimmed line is empty
          break;
        }
      }
    }
    delay(1);

    // Prepare JSON response with sensor data
    String jsonData = String() +
      "{\"heartRate\":\" + beatAvg +
      "\",\"spo2\":\" + spo2 +
      "\",\"latitude\":\" + String(latitude, 6) +
      "\",\"longitude\":\" + String(longitude, 6) + \"}";

```

Figure III.11 : Extrait de la suite du code (GPS, WIFI)

III.7 Partie Application

Dans le cadre de ce projet, une application mobile a été développée pour permettre la surveillance en temps réel de l'état de santé du porteur du bracelet connecté. Cette application joue un rôle central dans l'interprétation des données, la gestion des alertes, et la transmission des informations vers les intervenants concernés.

III.7.1 Application Et Logo

Nous avons choisi VitalHealth comme nom de notre prototype de l'appareil connecté, destiné à renforcer la sécurité des personnes évoluant dans des environnements à risques. Ce nom reflète clairement la fonction principale du dispositif : surveiller et protéger les paramètres vitaux. La couleur verte utilisée dans le logo évoque à la fois la santé, la technologie médicale, et l'air pur, en lien direct avec la fonction respiratoire du bracelet.

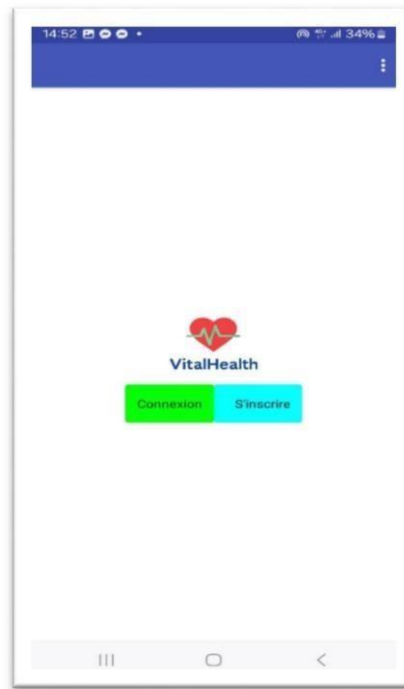


Figure III.12 : L'interface d'accueil de VitalHealth

III.7.2 Conception de l'interface

L'application a été conçue avec une interface simple, ergonomique et intuitive. Elle se compose principalement de plusieurs écrans :

-Ecran d'inscription : Permet d'enregistrer les informations personnelles de l'utilisateur (nom, prénom, âge, taille, maladie, etc.)

Figure III .13: Ecran d'inscription

-Ecran de connexion

Réservé à l'accès sécurisé pour l'utilisateur ou les responsables techniques.



Figure III.14: Ecran de Connexion

- Ecran de surveillance

Affichage en temps réel des données vitales (saturation en oxygène, fréquence cardiaque).



FigureIII.15 : Ecran de surveillance

- Call Hospital : Lorsque l'on appuie sur ce bouton, un appel est lancé directement vers le numéro d'urgence enregistré dans le champ.

- Call Person : Et lorsque l'on appuie sur ce bouton, un appel est lancé vers le numéro de la personne enregistrée dans le champ prévu à cet effet.
- Setting : Ce champ est destiné à modifier les paramètres en fonction de l'utilisateur.

III.8 Fonctionnalités principales

L'application mobile assure plusieurs fonctions essentielles :

- Lecture des données mesurées par le patch (capteur MAX30102) via la carte ESP32.
- Analyse des seuils critiques pour déclencher une alerte (SpO2 trop bas, fréquence cardiaque anormale).
- Déclenchement automatique d'un buzzer sur le système pour alerter l'entourage.
- Affichage de la localisation GPS du porteur en cas de danger.
- Envoi des données vers le cloud, pour permettre une consultation à distance (application desktop ou service médical).
- Communique avec la carte ESP32 via Wi-Fi. Elle récupère les données en temps réel, les traite localement, et les transmet si nécessaire vers des plateformes externes comme Firebase ou un serveur personnalisé.

III.9 Objectif de l'application

L'application mobile remplit un double objectif :

- Offrir au porteur une visualisation claire et continue de ses paramètres vitaux.
- Assurer la transmission rapide d'une alerte en cas de situation critique, avec la position GPS, afin de permettre une intervention rapide.
- Elle constitue donc un maillon essentiel entre le l'appareil porté par l'utilisateur, l'environnement industriel, et les services d'urgence.

III.10 Partie Programmation

III.10.1 Structure du code

Programmée en Java sur Android Studio, l'application repose sur la classe principale `MainActivity`, qui gère les fonctionnalités suivantes :

- Affichage des données : Les valeurs de fréquence cardiaque et de SpO2, reçues via une connexion Wi-Fi, sont affichées en temps réel à l'écran.
- Localisation : L'API Google Maps permet de visualiser la position de l'utilisateur sur une carte et de tracer son trajet avec des poly lignes.
- Appels d'urgence : Deux boutons lancent des appels vers un hôpital ou une personne de confiance, dont les numéros sont stockés dans `SharedPreferences`. Les permissions (`CALL\_PHONE`, `ACCESS\_FINE\_LOCATION`) sont gérées pour assurer leur bon fonctionnement.

- Paramètres : Une activité `SettingsActivity` permet de configurer les numéros d'urgence, enregistrés localement.

III.10.2 Technologies utilisées

L'application utilise :

- Google Maps SDK : Pour afficher la carte et suivre la position.
- Connexion Wi-Fi : Pour récupérer les données des capteurs.
- SharedPreferences : Pour sauvegarder les préférences utilisateur.
- Permissions Android : Pour activer les appels et la localisation.

Voici quelques extraits de code sur l'environnement Android Studio :

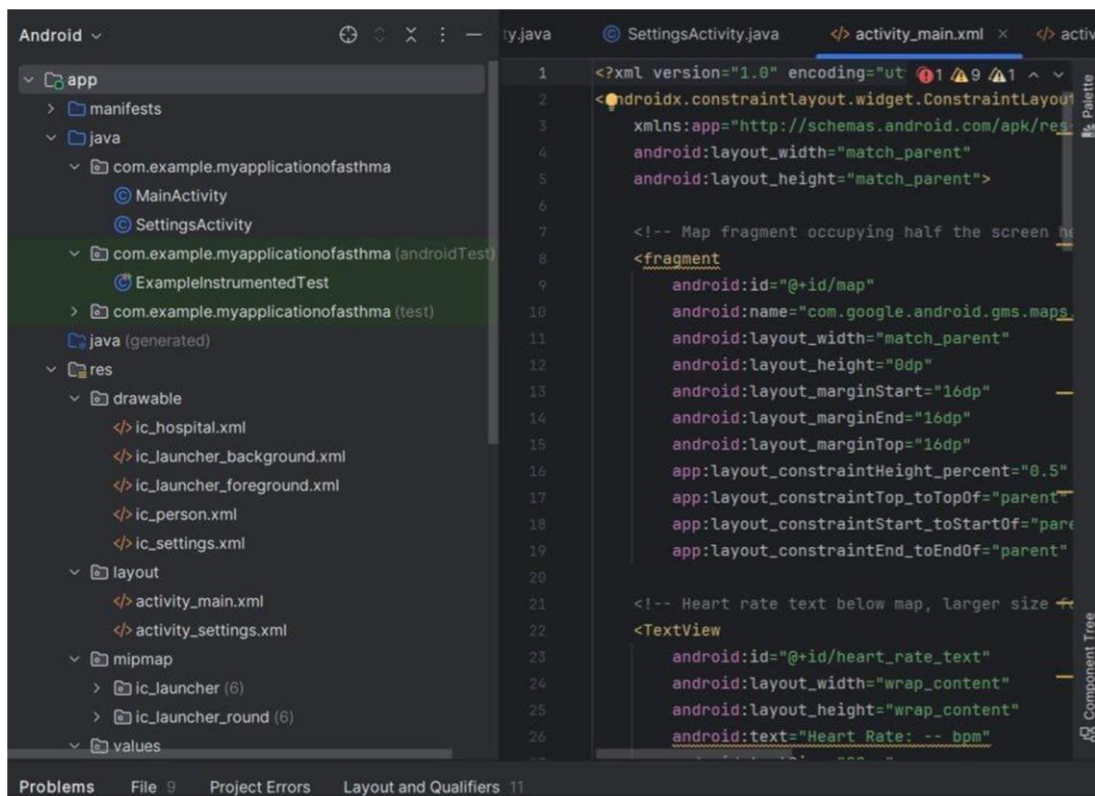


Figure III.16 : Programme Android Studio

III.10.3 Analyse des signaux SpO₂ et BPM pour la détection d'anomalies

Dans notre projet de patch respiratoire connecté, le capteur MAX30102 joue un rôle central dans la surveillance des paramètres vitaux du porteur, notamment la saturation en oxygène (SpO₂) et la fréquence cardiaque (BPM).

Selon la documentation technique du capteur, une saturation en oxygène inférieure à 90 % peut indiquer une hypoxémie (manque d'oxygène dans le sang), tandis qu'une fréquence cardiaque anormalement élevée ou faible peut être un signe de malaise, d'effort intense ou de début de crise respiratoire. Le capteur offre une bonne précision dans des conditions normales d'utilisation.

Valeurs de référence :

- ☐ Saturation normale : $\geq 95 \%$
- ☐ Hypoxie modérée : entre 90 % et 94 %
- ☐ Hypoxie sévère : $< 90 \%$
- ☐ Fréquence cardiaque normale au repos : 60 – 100 BPM
- ☐ Tachycardie ou bradycardie : hors de ces plages

Ces seuils sont utilisés dans notre projet pour déclencher automatiquement une alerte lorsque les valeurs détectées sortent de la zone normale. Cela permet d'anticiper une crise ou de signaler un danger, notamment en environnement industriel ou à risque.

Tableau III.1 : Tableau des résultats expérimentaux

Participant	Saturation d'oxygène	Fréquence Cardiaque	Interprétation
Participant 1	100%	76bpm	Etat normal
Participant 2	94%	58bpm	Fréquence Cardiaque anormal
Participant 3	87%	87bpm	Manque du saturation d'oxygène
Participant 4	97%	90bpm	Etat normal
Participant 5	85%	52bpm	Etat d'une crise
Participant 6	100%	95bpm	Etat normal

Voici quelques captures d'affichage des essais dans l'application :

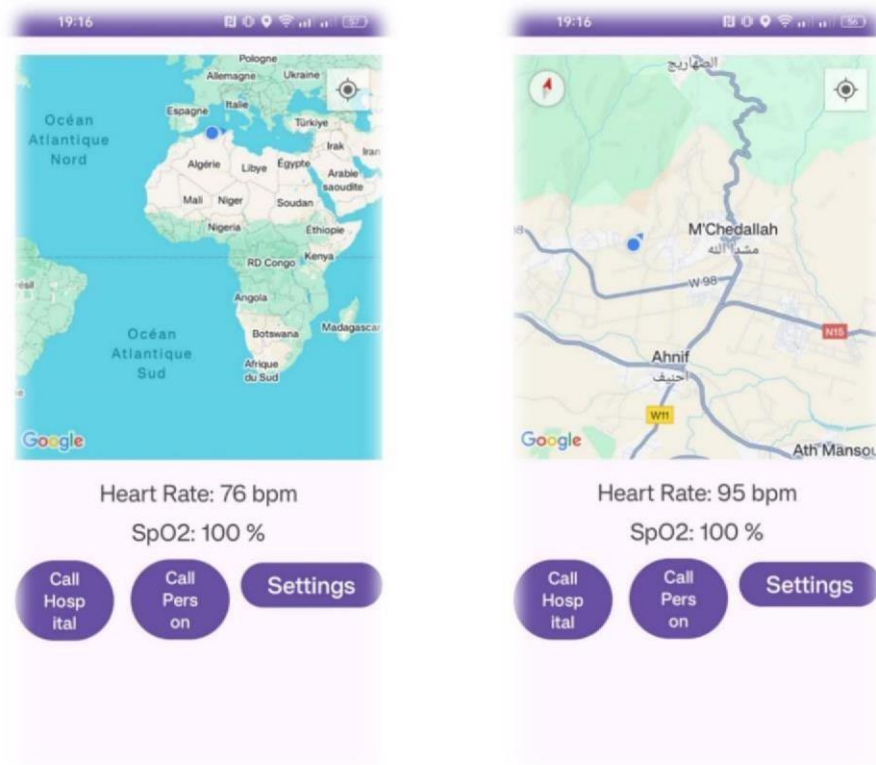


Figure III.17 Quelques jeux d'essais de l'application

III.11 Conclusion

La réalisation du patch respiratoire connecté a permis de concrétiser un système fonctionnel, capable de surveiller les signes vitaux et de déclencher des alertes en temps réel. Les perspectives proposées, comme l'envoi d'alertes aux services industriels et médicaux, visent à renforcer la sécurité et la réactivité en milieu à risque.

III.12 Perspectives

III.12.1 Perspectives d'évolution : Intégration des alertes industrielles et médicales

□ Gestion des alertes côté industriel – Remplacement du travailleur exposé

L'un des prolongements logiques du patch connecté réside dans son intégration à un système d'alerte centralisé, accessible depuis le bureau des automaticiens ou le centre de supervision industrielle. Ce mécanisme vise à garantir une réactivité immédiate en cas de détection d'un risque sanitaire chez un travailleur opérant dans un environnement dangereux.

□ **Déclenchement automatique de l'alerte** Lorsque le système détecte des valeurs physiologiques anormales chez l'opérateur (ex. : saturation en oxygène < 88 %, fréquence cardiaque > 130 BPM), le microcontrôleur ESP32 embarqué traite l'information localement. Il compare les données mesurées avec des seuils de sécurité programmés. Dès que ces seuils sont franchis, une commande est envoyée par le patch via Wi-Fi ou Bluetooth à l'application mobile, qui enregistre l'événement et déclenche automatiquement une alerte.

Cette alerte est ensuite transférée au serveur cloud, puis relayée à une application desktop accessible dans les bureaux techniques de l'usine.

□ Réception de l'alerte au poste des automaticiens

Sur le poste de supervision, l'application desktop affiche une notification sonore et visuelle.

Une fenêtre contextuelle s'ouvre avec les détails suivants : •

Le nom et le matricule de l'opérateur concerné.

- La zone géographique (obtenue via le GPS NEO-6M du patch).
- Les valeurs vitales mesurées.
- L'heure exacte de l'incident.
- Un indice de gravité (par ex. : modéré, critique).

Les automaticiens ou le responsable de la sécurité industrielle peuvent alors :

- Confirmer la réception de l'alerte
- Lancer immédiatement un protocole de remplacement

Notifier une équipe d'intervention pour sécuriser la zone et évacuer l'opérateur

□ Remplacement de l'opérateur

Une fois l'alerte validée, une procédure de remplacement automatisée peut être mise en œuvre :

- Notification à un second opérateur (via badgeuse ou application mobile interne).
- Déclenchement d'une consigne dans le système de supervision (SCADA) pour suspendre les opérations si nécessaires.
- Historisation de l'événement dans une base de données pour analyse post-incident.
- L'ensemble du processus vise à réduire le temps d'exposition du travailleur malade et à assurer la continuité de production en toute sécurité.

□ Avantages de cette intégration

Réactivité immédiate grâce à l'automatisation
Centralisation des alertes dans une interface industrielle connue
Prise de décision facilitée pour les responsables de zone
Meilleure coordination des équipes sur le terrain.

III.12.2 Gestion des alertes côté médical – Intervention rapide du personnel soignant

En complément de la gestion industrielle, une autre évolution essentielle du système connecté est la notification automatique aux services médicaux. Cette fonctionnalité vise à optimiser la prise en charge sanitaire en temps réel, notamment dans les milieux à risques que second compte.

□ Envoi automatique d'une alerte médicale

Lorsqu'un événement critique est détecté (par exemple : hypoxémie sévère, tachycardie aiguë ou perte de signal vital), une alerte médicale est immédiatement générée par le système. Cette alerte est :

- Enregistrée localement par le microcontrôleur (ESP32).
- Transmise à l'application mobile, qui envoie les données au cloud.
- Relayée automatiquement à une interface destinée au personnel médical (via une application ou un système hospitalier interne).

□ Contenu de l'alerte médicale

Le message envoyé au service médical est structuré pour faciliter une intervention rapide. Il comprend :

- Identité du patient : nom, prénom, code employé.
- Paramètres vitaux mesurés (SpO2, BPM, température si capteur prévu).
- Localisation géographique précise (coordonnées GPS, nom de zone dans l'usine).
- Heure exacte de la détection.
- Niveau d'urgence (ex. : Niveau 3 – danger vital immédiat).
- Réaction du personnel médical.

À la réception de l'alerte, le médecin d'entreprise ou l'infirmier de garde peut :

- Évaluer la gravité sur la base des données transmises.
- Prendre contact directement avec l'opérateur, si la communication est encore possible.
- Déclencher une intervention de terrain immédiate avec le matériel nécessaire (oxygène, défibrillateur, etc.).
- Orienter vers l'hôpital le plus proche, en prévenant en amont le service d'urgence via une passerelle dédiée.

Dans les versions évoluées, un accès sécurisé au dossier médical du patient pourrait être intégré à l'alerte pour mieux adapter la prise en charge.

□ Connexion au système médical

Ce système pourrait être interfacé avec :

- Une application médicale interne utilisée par le service santé de l'usine.
- Un réseau hospitalier régional, via une API ou une plateforme cloud médicale (ex. : systèmes HL7/FHIR).

- Des centres de téléassistance médicale, permettant de télé consulter ou de guider les secouristes sur place.

□ Bénéfices attendus

- Réduction significative du temps de réponse médicale.
- Amélioration du taux de survie en cas de crise aiguë.
- Coordination fluide entre équipes industrielles et services de santé.
- Diminution des séquelles dues à une exposition prolongée à un environnement toxique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire a mis en lumière la faisabilité et la pertinence d'un dispositif capable d'anticiper les épisodes asthmatiques bien avant leur déclenchement, offrant ainsi une opportunité sans précédent de renforcer la sécurité et la santé au travail.

Notre approche s'est concentrée sur l'intégration de capteurs sophistiqués et de techniques pour surveiller en continu des marqueurs physiologiques pertinents. Ces derniers, bien que subtils, sont des indicateurs précoces d'une détérioration de la fonction respiratoire chez les individus asthmatiques. En développant des algorithmes capables d'identifier des schémas anormaux ou des tendances prédictives, nous avons créé un système proactif qui alerte l'utilisateur ou le personnel de surveillance avant que les symptômes ne deviennent invalidants. Cette capacité à détecter les signaux faibles ouvre une nouvelle ère pour la gestion de l'asthme, passant d'une approche réactive à une approche véritablement préventive.

L'application de cet appareil dans un contexte industriel est particulièrement prometteuse. Les environnements de travail peuvent souvent être des catalyseurs de crises d'asthme en raison de la présence de poussières, de produits chimiques, de variations de température ou d'autres allergènes et irritants. En équipant les travailleurs vulnérables de ce dispositif, les entreprises peuvent non seulement protéger la santé et le bien-être de leurs employés, mais aussi réduire drastiquement les arrêts de travail liés aux crises d'asthme. Une détection précoce permet une intervention rapide – qu'il s'agisse d'un changement d'environnement, de l'administration d'un traitement de secours ou d'une consultation médicale – minimisant ainsi la gravité de la crise et ses conséquences sur la productivité.

En conclusion, la réalisation de cet appareil représente une avancée significative dans la prévention des crises d'asthme. C'est un pas concret vers l'intégration de technologies de pointe au service de la santé publique et de la sécurité professionnelle. Nous espérons que ce travail servira de base pour de futures recherches et développements, menant à une adoption généralisée de ces technologies et à une amélioration notable de la qualité de vie des personnes asthmatiques, en particulier dans les secteurs industriels où les risques sont accrus. Ce dispositif est un exemple éloquent de la manière dont l'innovation technologique peut transformer positivement notre approche de la gestion des maladies chroniques dans des environnements exigeants.

Liste des référence

- [1] : Fernand Braudel, « III. Industrie et industrialisation », dans L'Identité de la France, Flammarion, coll. « Champs - Histoire », 2009, 302–346 p. (ISBN 978-2-08-122300-4, lire en ligne [archive]).
- [2] :INDUSTRIE :QU'EST-CE QUE L'INDUSTRIE ?,
<https://www.amalorecrutement.fr/blog/industrie> , consulter le 24/2/2025
- [3] :Qu'est-ce que l'industrie ? ,<https://journals.openedition.org/artefact/13273>, consulter 26/02/2025
- [4] : AVONS-NOUS BESOIN DE L'INDUSTRIE ?,Professeur Thomas Kurfess, ancien directeur adjoint pour la fabrication avancée à la Maison-Blanche , édition 2005
- [5] : Milieu industriel,Willy Shih, Robert et Jane Cizik, professeur de pratique de gestion, Harvard Business School , édition 2007
- [6] : GlossaireMilieu instable , <https://cordata.fr/glossaire/milieu-industriel> ,consulter le 26/02/2025
- [7] : Eléments de toxicologie professionnelle<https://www.officiel-prevention.com/dossier/formation/risque-chimique/elements-de-toxicologie-professionnelle>
Consulter le 27/02/2025
- [8] :Asthme et asthme allergique ,<https://www.sante-sur-lenet.com/maladies/pneumologie/asthme/> ,consulter le 27/02/2025
- [9] :Comprendre l'asthme de l'adulte,
<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/asthmeadulte/asthme-vivre-maladie/les-facteurs-declenchants-de-l-asthme> , consulter le 03/2025
- [10] : Pneumologie , <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/pneumologie/asthme/>,
consulter le 03/2025
- [11] : Asthme professionnel dû aux désinfectants employés en milieu hospitalie
<https://www.inrs.fr/dossiers/asthme-professionnel/prevention.html> , consulter 12/03/2025
- [12] :Agir sur les facteurs favorisant l'asthme

<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/asthme-adulte/asthme-vivre-maladie/agir-facteursfavorisants-asthme> , consulter le 12/03/2025

[13] : Agir sur les facteurs favorisant l'asthme

<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/asthme-adulte/asthme-vivre-maladie/agir-facteursfavorisants-asthme> , consulter le 12/03/2025

[14] : Espressif Systems , https://en.wikipedia.org/wiki/Espressif_Systems , consulter le 03/2025

[15] : ESP32 , <https://fr.wikipedia.org/wiki/ESP32> , consulter le 04/2025

[16] : ESP32 , <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32> ; consulter le 04/2025

[17] : Development Boards , <https://www.espressif.com/en/products/devkits> , consulter le 04/2025

[18] : Feature comparison and first steps with the Arduino IDE

<https://raydiy.de/en/arduino-vs-esp-feature-comparison-and-first-steps-with-the-arduino-ide/>
Consulter le 04/2025

[19] : Easy ESP32 Programming , <https://wizzdev.com/blog/esp32-programming-completebeginners-guide/> Consulter le 04/2025

[20] : ESP32 Pinout Reference , <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>
Consulter le 04/2025

[21] : esp32-wroom

32_datasheet_en.pdf https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32wroom-32_datasheet_en.pdf

[22] : L'ESCAPTEURS <https://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs1/Introduction.html> , consulter le 01/05/2025

[23] : High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health , <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30102.pdf>
consulter le 01/05/2025

[24] : Datasheet officielle (u-blox)

. <https://sensorkit.arduino.cc/sensorkit/module/lessons/lesson/04-the-buzzer> consulter le 02/05/2025

[25] : GETTING STARTED , <https://deepbluembedded.com/active-buzzer-vs-passivebuzzer/> ,
consulter le 05/2025

[26] : DeepBlueMbedded – Active vs Passive Buzzer Consulter le 05/2025

[27] : 18650 battery

(https://www.18650batterystore.com/collections/18650batteries?srltid=AfmBOoofJenSW7oWWvVuXc8LLuS_EYwnMSwR0CR6-m1fAcjT1HZQw-sC) Consulter le 05/2025

[28] : How to Use ESP32 - Expansion Board

<https://docs.cirkitdesigner.com/component/d35cc258-e36d-4091-98c3-14a75dc8957a>
Consulter le 05/2025

[29] : Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1

<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics> Consulter le

05/2025 [30] : Android Studio <https://developer.android.com/studio/intro> Consulter le
06/2025

[31] : Android Studio <https://developer.android.com/studio/intro> Consulter le 06/2025

[32] : Android Project folder Structure <https://www.geeksforgeeks.org/android-project-folderstructure/> Consulter le 06/2025

[33] : type d'un industrie <https://www.cnesst.gouv.qc.ca/fr/prevention-securit> Consulter le
06/2025

Annexe

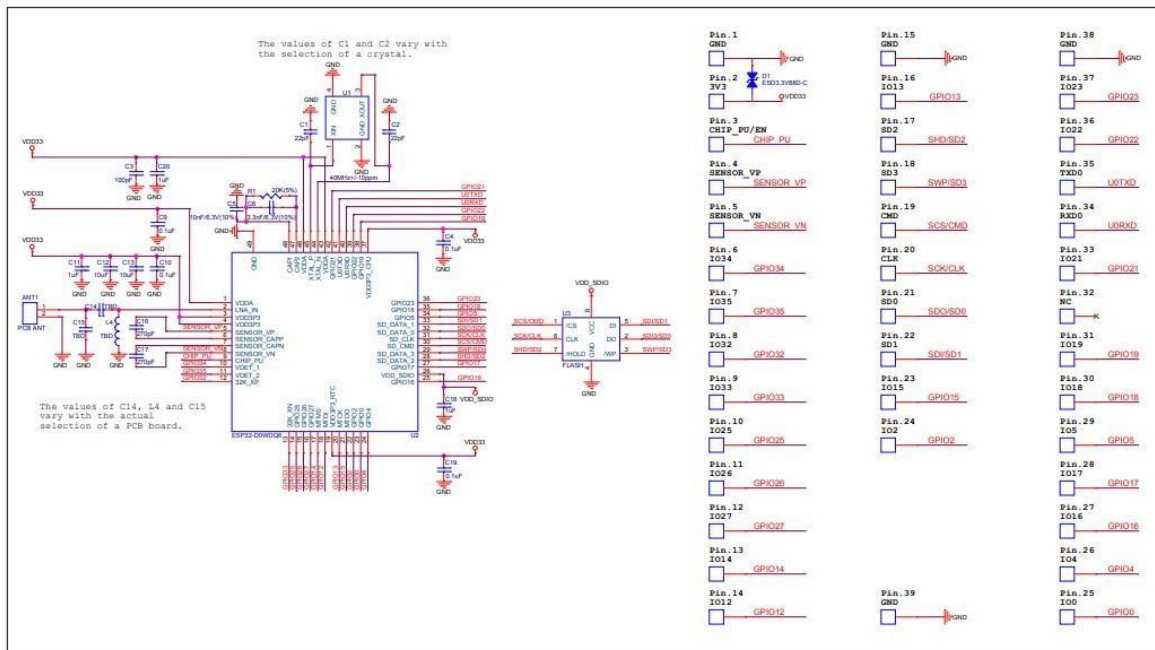


Figure A.1: Schéma électronique de la ESP32

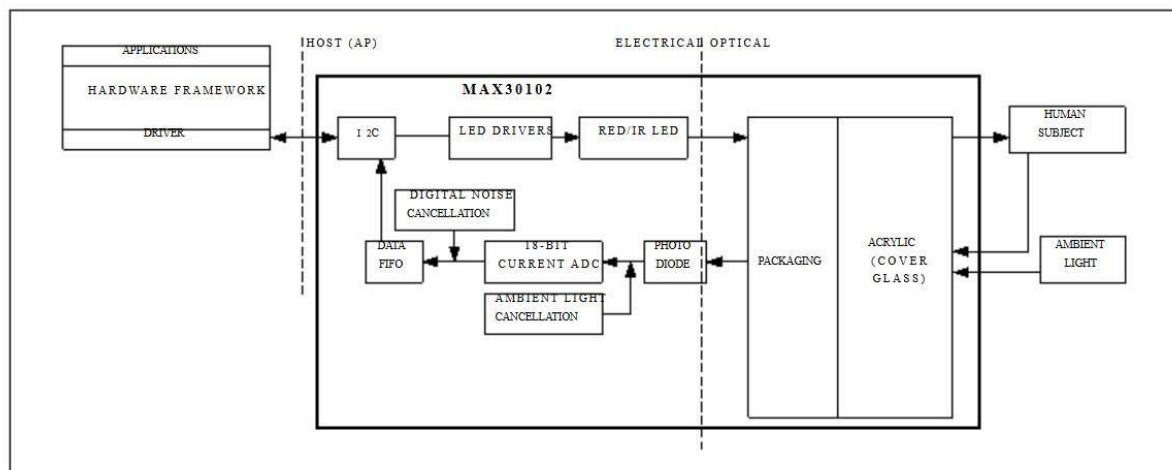


Figure A.2 : Diagramme MAX30102

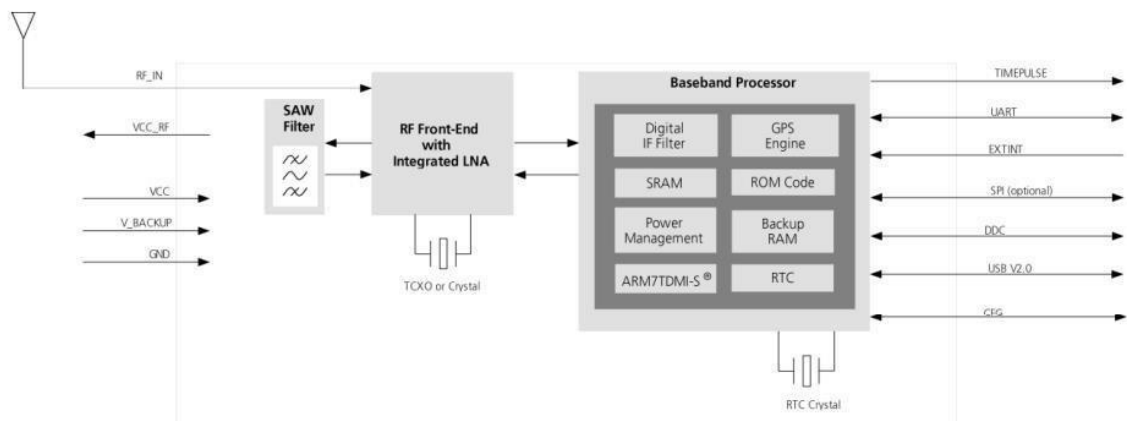


Figure A .3 : Diagramme GPS NEO-6M