

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -

Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

ZAIDI Lounis

BOUGUERROUMI Houssam eddine

Thème

Conception et réalisation d'un système de
localisation et surveillance ferroviaire.

Soutenu le : **29/06/2024**

Devant la commission composée de :

Mme. AGGOUN Ghania	M.A.A	Univ. Bouira	Président
Mr. HAROUN Smail	M.C.B	Univ. Bouira	Encadreur
Mr. BENSALIA Yassine	Pr.	Univ. Bouira	Examineur

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur, Monsieur HAROUN Smail, pour sa guidance précieuse, son soutien infaillible, et ses conseils avisés tout au long de ce projet. Sa disponibilité et son expertise ont été essentielles à la réussite de ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions également l'ensemble des professeurs et membres du Département de génie électrique de l'Université AKLI MOHEMD OULHADJ, pour l'enseignement de qualité et le cadre stimulant qu'ils nous ont offert durant notre parcours universitaire.

Nous adressons nos remerciements sincères à nos familles et amis pour leur soutien moral et leur encouragement constant, qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

À nos chers parents,

Pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible, et vos encouragements constants tout au long de notre parcours. Vous avez toujours été notre source d'inspiration et de force.

Nous vous dédions ce travail avec une immense gratitude.

À nos frères et sœurs,

Pour votre complicité, vos encouragements et votre patience. Vous avez toujours su nous motiver et nous soutenir dans les moments difficiles. Merci pour votre présence rassurante et vos mots réconfortants.

À nos familles,

Pour votre soutien moral et matériel, et pour avoir cru en nous. Vos sacrifices et vos encouragements ont été les piliers de notre réussite. Nous vous dédions ce mémoire avec tout notre amour et notre reconnaissance.

À nos amis(es),

Pour votre amitié sincère, vos conseils avisés, et vos moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable. Merci pour votre soutien indéfectible et votre compréhension. Ce travail est aussi le fruit de votre encouragement et de votre présence.

Résumé

Ce projet de fin d'étude se concentre sur le développement et la réalisation d'un système embarqué pour la localisation, et la surveillance du transport ferroviaire. Ce système est construit autour d'un microcontrôleur ESP32 permet de localiser le train et envoyer ces coordonnées GPS en temps réel grâce au modules de communication GSM (SIM800). En intégrant un capteur accéléromètre (MPU6050), le système réalisé permet de détecter des chocs (accidents) et envoyer des alarmes. Les informations collectées par le microcontrôleur sont traitées et envoyer vers une base de données en ligne (FIREBASE). Cette base de données a été liée avec une page web que nous avons développé pour exploiter ces données collectées. Sur la page web on affiche en temps réel les coordonnées géographiques et la vitesse du train. Un lien d'une carte interactive de Google Maps permet de visualiser facilement la position actuelle du train. De plus, l'état du train, y compris la détection de chocs, est signalée sur la page web. Le système réalisé offre une surveillance en temps réel et une visualisation intuitive des données essentielles pour la gestion et la sécurité dans le transport ferroviaire.

Mots clés : ESP32, Localisation GPS, Transport ferroviaire, Accéléromètre (MPU6050), Détection de chocs, Module GSM (SIM800), Base de données en temps réel (Firebase), Notifications par SMS, Visualisation web

Abstract

This final year project focuses on the development and implementation of an embedded system for the localization and monitoring of railway transportation. The system is built around an ESP32 microcontroller, which enables train localization and real-time GPS coordinate transmission via GSM communication modules (SIM800). By integrating an accelerometer sensor (MPU6050), the system can detect impacts (accidents) and send alerts. Data collected by the microcontroller is processed and sent to an online database (Firebase). This database is linked to a web page developed to visualize the collected data. The web page displays real-time geographical coordinates and train speed, with an interactive Google Maps link for easy visualization of the train's current position. Additionally, the train's status, including impact detection, is reported on the web page.

The implemented system provides real-time monitoring and intuitive visualization of essential data for management and safety in railway transportation.

Keywords: ESP32, GPS Localization, Railway Transportation, Accelerometer (MPU6050), Impact Detection, GSM Module (SIM800), Real-time Database (Firebase), SMS Notifications, Web Visualization

Table des matières

Résumé	III
Table de matière	IV
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des symboles et abréviations	IX
Introduction générale.....	1

Chapitre 01 : Généralités sur le système de localisation et surveillance

1. Introduction	4
2. Définition d'un système de localisation et de surveillance « tracking».....	4
2.1. La structure générale d'un système de localisation et surveillance	4
2.2. Fonctionnalités d'un système de localisation et de surveillance	5
2.3. Exemples de systèmes de localisation et surveillance	6
3. La géolocalisation	6
4. Définition de Global Positionna System (GPS)	7
4.1. La structure de GPS	7
4.2. Fonctionnement du système GPS	9
4.3. Les modes de positionnement GPS	11
4.4. Limites de la technologie GPS	11
5. L'outil de communication Wi-Fi.....	13
5.1. Le fonctionnement de réseau WI-FI	13
5.2. Le Protocole IEEE 802.11	14
5.3. Communication Wi-Fi dans un système de surveillance.....	14
6. Le GSM (Global System for Mobile Communications)	14
6.1. Fonctionnement de GSM	14
6.2. Notion sur réseau cellulaire	14
6.3. Architecture de système GSM	15

6.4.	Le GPRS (General Packet Radio Service)	16
7.	Les capteurs de mesures	16
8.	Conclusion.....	18

Chapitre 02 : Les modules de localisation, communication et surveillance utilisés

1.	Introduction	20
2.	Structure générale du système à réaliser	20
3.	La carte microcontrôleur ESP32	21
3.1	Description de ESP-WROOM-32	21
3.2	Caractéristiques de ESP-WROOM-32	21
4.	Module GPS NEO6-MV2	22
4.1	Caractéristiques de NEO-6MV2	22
4.2	Identification des broches de module NEO6MV2	23
4.3	Protocole de communication NMEA	24
5.	Le module GSM SIM 800L	25
5.1	Caractéristiques du SIM 800L.....	25
5.2	Identification des broches SIM800L	26
5.3	Les commande AT	27
6.	Module de mesure inertielle MPU6050	27
6.1	Caractéristiques de module MPU6050.....	27
6.2	Identification des broches du MPU6050	28
7.	Composants Auxiliaires	29
7.1	Buzzer.....	29
7.2	LED (Diode Electroluminescente)	29
8.	Elaboration du circuit électronique global	30
9.	Conclusion.....	32

Chapitre 03 : Conception logicielle et réalisation pratique du système

1	Introduction	34
2	Organigramme du programme principal de l'ESP32	34

3	L'Environnement de programmation Arduino.....	35
4	Interface d'Arduino IDE	35
4.1	La fenêtre de programmation	36
5	Plateforme de développement mobile et web : Firebase.....	36
6	Visual Studio Code.....	37
6.1	HyperText Markup Language (HTML).....	37
6.2	Cascading Style Sheets (CSS).....	38
6.3	JavaScript	38
7	Elaboration du code Arduino	38
7.1	Identification des bibliothèques	38
7.2	Lier au Firebase	38
7.3	Connection au réseau wifi	39
7.4	Récupération des coordonnées GPS et la vitesse	39
7.5	Calcul d'accélération	39
8	Envoie d'un URL a Firebase	40
8.1	Envoie d'un SMS	40
9	Configuration de Firebase	41
9.1	Paramètres dans le Code Arduino pour Envoyer les Données à Firebase	41
9.2	Affichage des données dans Firebase : Realtime Database	42
9.3	Configuration du site web pour Afficher les Données depuis Firebase	42
10	Suivi en temps réel la position et l'état de train via site web	42
10.1	Page d'authentification.....	42
10.2	Page de données	43
11	Réalisation Pratique du système de localisation et surveillance	44
12	Conclusion.....	45
	Conclusion générale.....	47
	Référence bibliographique.....	50

Liste des figures

Figure I. 1: Structure générale de système de localisation et surveillance.....	5
Figure I. 2 : Structure d'un système de géolocalisation	6
Figure I. 3: système de positionnement globale	7
Figure I. 4 : les trois segments de système GPS.....	8
Figure I. 5 :mesure de la distance entre le récepteur GPS et les satellites	10
Figure I. 6 : Principe de la triangulation dans le système GPS	11
Figure I. 7: difficultés à déterminer une position exacte dans lieux fermer	12
Figure I. 8 :les erreurs ionosphérique et troposphérique	12
Figure I. 9 :Un réseau Wi-Fi	13
Figure I. 10 :Architecture de système GSM.....	15
Figure I. 11 :l'accéléromètre et gyroscope pour mesure d'orientation	16
Figure I. 12: principe de fonctionnement d'accelerometre a 3axes	17
Figure II. 1: schéma bloc du système.....	20
Figure II. 2 : ESP-WROOM-32 et ces broches.....	22
Figure II. 3 : Le module NEO6MV2 et ses broches.....	23
Figure II. 4 : Le module SIM800L et ses broches.....	26
Figure II. 5 : Le module MPU6050 et ses broches.....	28
Figure II. 6 : Un Buzzer et ses broches d'alimentation.....	29
Figure II. 7 : Structure d'une LED	30
Figure II. 8 : Circuit électronique de système a réaliser.....	30
Figure III. 1 : fonctionnement générale de système	34
Figure III. 2 : L'outils de logiciel Arduino IDE.....	35
Figure III. 3 :la structure générale d'un programme Arduino.....	36
Figure III. 4 : Transfère de données entre le esp 32 et Firebase web application.....	36
Figure III. 5 : relier le site web avec le code Arduino via Firebase	37
Figure III. 6 :SMS envoyer par le système lors de détection de choc.....	41
Figure III. 7 : SMS envoyé par le système après une demande.....	41
Figure III. 8 : affichage des donnees dans realtime database.....	42
Figure III. 9 : la page de connexion	43
Figure III. 10 : le message d'erreur en cas d'un mot de passe incorrect.....	43
Figure III. 11 : visualisation en temps réel la position et état de train dans le site Web.....	44
Figure III. 12 : Realisation pratique de système de localisation et de surveillance.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1: les pins de module NEO6MV2	24
Tableau 2:les broches de module SIM800L.....	26
Tableau 3 :les commandes AT	27
Tableau 4 : Les branchements du circuit électronique.	31

Liste des symboles et Abréviations

ADC : Analog-to-Digital Converter

AT : Attention (command prefix used in Hayes command set for modems)

BD: Beidou.

BSS: Base Station Subsystem

C++ :Langage de programmation

CPU : Central Processing Unit

DAC : Digital-to-Analog Converter

ESC : Electronic Stability Control

ESP : Espresso

GA : Galileo.

GLONASS : Global Navigation Satellite System

GND : Ground

GPIO : General Purpose Input/Output.

GPRS : General Packet Radio Service

GPS: Global Positioning System.

GSM : Global System for Mobile Communications

I2C : Inter-Integrated Circuit (pronounced I-squared-C)

IDE : Environnement de Développement Intégré

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

IOT : Internet of Things

LAN : Local Area Network

MCS :Master Control Station

MCU : Microcontroller Unit

MMS : Multimedia Messaging Service

MS : Mobile station

NMEA : National Marine Electronics Association.

NSS : Network Switching Subsystem

ODR : Output Data Rate

OSS : Operations Support System

PCB : Printed Circuit Board

PSD : Power Spectral Density

PWM : Pulse Width Modulation

RFID : Radio Frequency Identification

RLMS : Railway Location and Monitoring System

RTDB : Realtime Database

SCL: Serial Clock Line

SDA : Serial Data Line

SIM : Subscriber Identity Module

SMS : Short Message Service

SPI : Serial Peripheral Interface

TCP/IP : Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

UART : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

URL : Uniform Resource Locator

VCC : Voltage Common Collector

Web : Réseau mondial d'ordinateurs interconnectés

Wi-Fi : Wireless Fidelity

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

La croissance démographique mondiale et l'urbanisation croissante augmentent considérablement les besoins en transport, nécessitant une infrastructure robuste. Le transport ferroviaire, avec sa capacité élevée et son efficacité écologique, est essentiel pour réduire la congestion urbaine et assurer un transport durable des marchandises sur de longues distances, jouant ainsi un rôle crucial dans la réponse aux défis croissants de mobilité tout en limitant l'empreinte carbone globale.

En observant les stations de transport ferroviaire, on remarque fréquemment des individus qui sont confrontés à des attentes longues, sans avoir la moindre connaissance du train à prendre. Il est donc impossible pour l'utilisateur de vérifier si le train est en service, d'autre côté les trains ne sont pas à l'abri des accidents mortels [1].

Tout cela peut engendrer un stress chez les utilisateurs et parfois même des douleurs. Par conséquent, l'importance d'un système de localisation et de surveillance des trains en temps réel devient indéniable. Un tel système permettrait non seulement de garantir la sécurité des passagers et des marchandises transportées, mais aussi d'optimiser l'efficacité opérationnelle des réseaux ferroviaires en fournissant des données précises sur la localisation des trains et leur état en temps réel. Cela permettrait aux opérateurs de réagir rapidement aux incidents potentiels, d'améliorer la gestion du trafic et de minimiser les retards, assurant ainsi une expérience de voyage plus fiable et sécurisée. En outre, un système de surveillance en temps réel pourrait jouer un rôle crucial dans la prévention des accidents en détectant rapidement toute anomalie ou problème sur les voies.

Notre objectif est de développer un système avancé pour la localisation et la surveillance en temps réel des trains. Ce système utilisera un microcontrôleur ESP32 intégrant un module GPS pour la géolocalisation précise des trains. Il inclura également un modem GSM (SIM800) pour la transmission des données, ainsi qu'un accéléromètre pour détecter les chocs et les incidents. Les données collectées seront stockées et gérées via Firebase, assurant une gestion sécurisée et accessible à tout moment. En parallèle, une interface web intuitive sera développée pour visualiser et analyser les données en temps réel, offrant ainsi une surveillance proactive et une gestion optimisée du trafic ferroviaire.

Notre travail est structuré en trois chapitres principaux :

Introduction Générale

Chapitre I : Généralités et introduction des systèmes de localisation et de surveillance, avec une présentation détaillée de la structure générale du système et des méthodes de communication utilisées.

Chapitre II : Présentation de l'aspect matériel nécessaire pour à la réalisation de notre système de localisation et de surveillance des trains, tels que le microcontrôleur ESP32, le module GPS pour la localisation précise, le modem GSM pour la transmission des données, et l'accéléromètre pour la détection des chocs.

Chapitre III : Focalisation sur la partie logicielle, comprenant le développement du code à implémenter sur l'ESP32, et le développement de l'interface web dédiée, conçue pour visualiser et analyser les données en temps réel.

Nous concluons ce manuscrit par une synthèse des résultats obtenus, mettant en avant les bénéfices et les implications de notre système de localisation et de surveillance des trains en temps réel, ainsi que les perspectives d'amélioration et les pistes de recherche futures dans ce domaine prometteur.

CHAPITRE 01 :
GÉNÉRALITÉS SUR LE
SYSTÈME DE LOCALISATION
ET DE SURVEILLANCE

1. Introduction

L'industrie du transport est un secteur essentiel de l'économie mondiale, englobant une vaste gamme de services et de technologies pour déplacer des personnes et des marchandises d'un endroit à un autre. Cette industrie est caractérisée par sa diversité, allant du transport routier, ferroviaire, maritime et aérien, jusqu'aux services de logistique et de chaîne d'approvisionnement [2].

L'intégration des systèmes de localisation et de surveillance dans le domaine du transport représente une avancée majeure propulsée par les progrès technologiques. Ces systèmes, alimentés par des technologies telles que le GPS, les capteurs IoT et les réseaux de communication sans fil, sont devenus des piliers essentiels pour assurer une gestion efficace et sécurisée des opérations de transport à l'échelle mondiale [3].

2. Définition d'un système de localisation et de surveillance « tracking »

Un système de localisation et de surveillance est un ensemble de technologies qui permet de suivre l'emplacement et l'état d'un objet ou d'une personne en temps réel.

2.1. La structure générale d'un système de localisation et surveillance

Ces systèmes peuvent inclure une variété de composants, tels que :

- **Des dispositifs de localisation :** Il peut s'agir de balises GPS, d'étiquettes RFID, Bluetooth ou d'autres technologies permettant de déterminer l'emplacement de l'objet ou de la personne.
- **Des capteurs :** Ils peuvent mesurer divers paramètres, tels que la température, l'humidité, la pression, l'accélération ou d'autres données pertinentes.
- **Des réseaux de communication :** Ils permettent aux dispositifs de localisation et aux capteurs de transmettre des données à un serveur central.
- **Un interface de surveillance :** Il permet de visualiser les données en temps réel, de suivre l'historique des données et de générer des alertes en cas d'événement anormal.

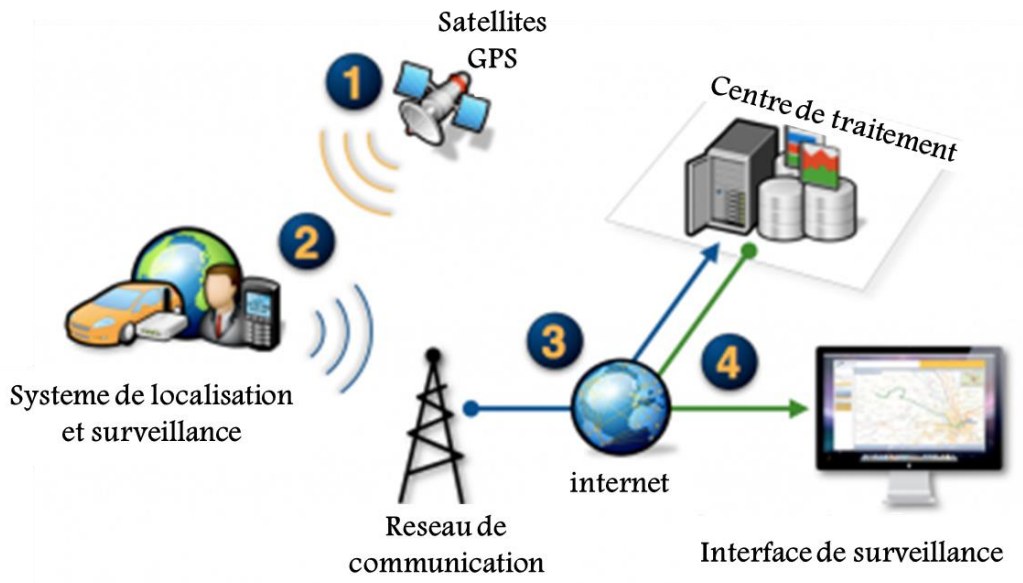


Figure I. 1: Structure générale de système de localisation et surveillance

2.2. Fonctionnalités d'un système de localisation et de surveillance

Les fonctionnalités d'un système de localisation et de surveillance varient en fonction des besoins spécifiques de l'utilisateur. Cependant, les fonctionnalités communes incluent généralement :

- **Suivi de l'emplacement en temps réel** : Il s'agit de la fonctionnalité de base d'un système de localisation et de surveillance. Elle permet de visualiser l'emplacement de l'objet ou de la personne sur une carte en temps réel.
- **Alertes** : Les systèmes de localisation et de surveillance peuvent générer des alertes lorsqu'un certain nombre d'événements se produisent, tels que l'entrée ou la sortie d'une zone géographique prédéfinie, la détection d'un mouvement ou d'une vibration, ou un changement dans les données des capteurs.
- **Gestion de géofences** : Les géofences sont des zones géographiques virtuelles que vous pouvez définir autour de l'objet ou de la personne que vous surveillez. Le système peut générer une alerte lorsque l'objet ou la personne entre ou sort d'une géofence.
- **Rapports** : Les systèmes de localisation et de surveillance peuvent générer des rapports sur les données collectées, tels que l'historique des positions, les alertes déclenchées et les données des capteurs.

2.3. Exemples de systèmes de localisation et surveillance

Système de localisation et de suivi de véhicules en temps réel :

Ce système utilise les technologies GPS, GSM et GPRS pour la localisation et le suivi des véhicules. Il se compose principalement d'un module GPS pour la détermination de la position du véhicule, d'un module GSM/GPRS pour la transmission des données de localisation, et d'une application web pour le suivi et la gestion de la flotte de véhicules [4].

Suivi des personnes par la technologie RFID (Radio Frequency Identification)

La technologie RFID permet de suivre les patients dans un hôpital en temps réel. Ce système peut également être configuré pour envoyer des alertes en cas de déplacement inattendu des patients, améliorant ainsi la sécurité [5].

3. La géolocalisation

La géolocalisation, ou géo-référencement, est un procédé permettant de situer un objet (tel qu'une personne, un véhicule, train, etc.) sur une carte en utilisant ses coordonnées.

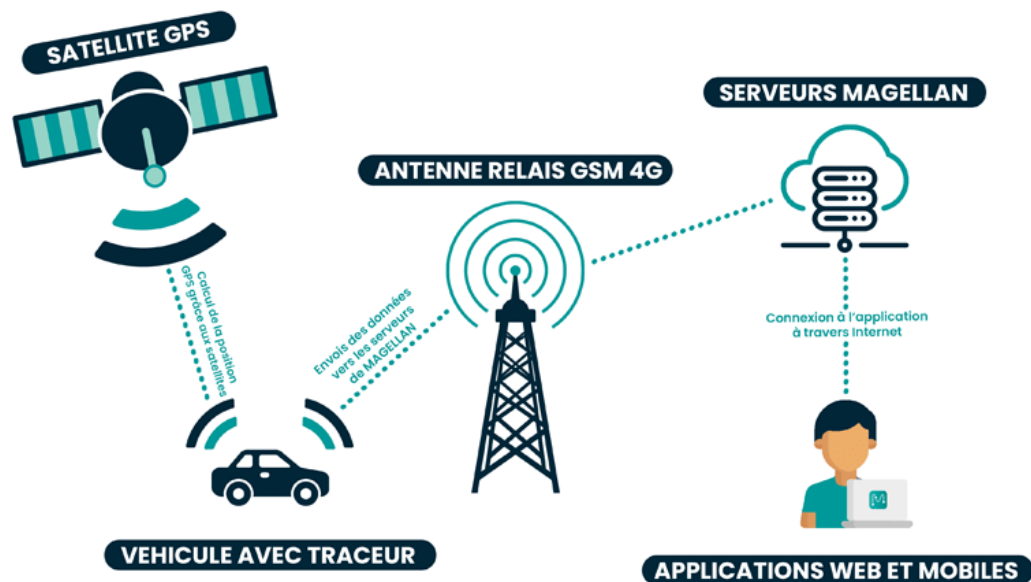


Figure I. 2 : Structure d'un système de géolocalisation

Cette opération s'effectue à l'aide d'un terminal capable d'être localisé, par exemple via un système de positionnement par satellites et un récepteur GPS. Les positions enregistrées peuvent être conservées dans le terminal pour une extraction ultérieure, ou transmises en temps réel à une plateforme logicielle de géolocalisation. Pour la transmission en temps réel, le

terminal doit être équipé d'un moyen de communication tel que le GSM, GPRS, radio ou satellite, lui permettant d'envoyer les positions à intervalles réguliers. Cela permet de visualiser la position du terminal sur une carte via une plateforme de géolocalisation accessible depuis internet [6].

4. Définition de Global Positioning System (GPS)

Le GPS, acronyme de Global Positioning System, est un système de navigation par satellite qui permet aux utilisateurs de déterminer leur emplacement précis sur la Terre. Ce système comprend un ensemble de satellites en orbite, de stations de contrôle au sol et de récepteurs GPS utilisés par des individus, des entreprises et des organismes gouvernementaux à diverses fins [7].

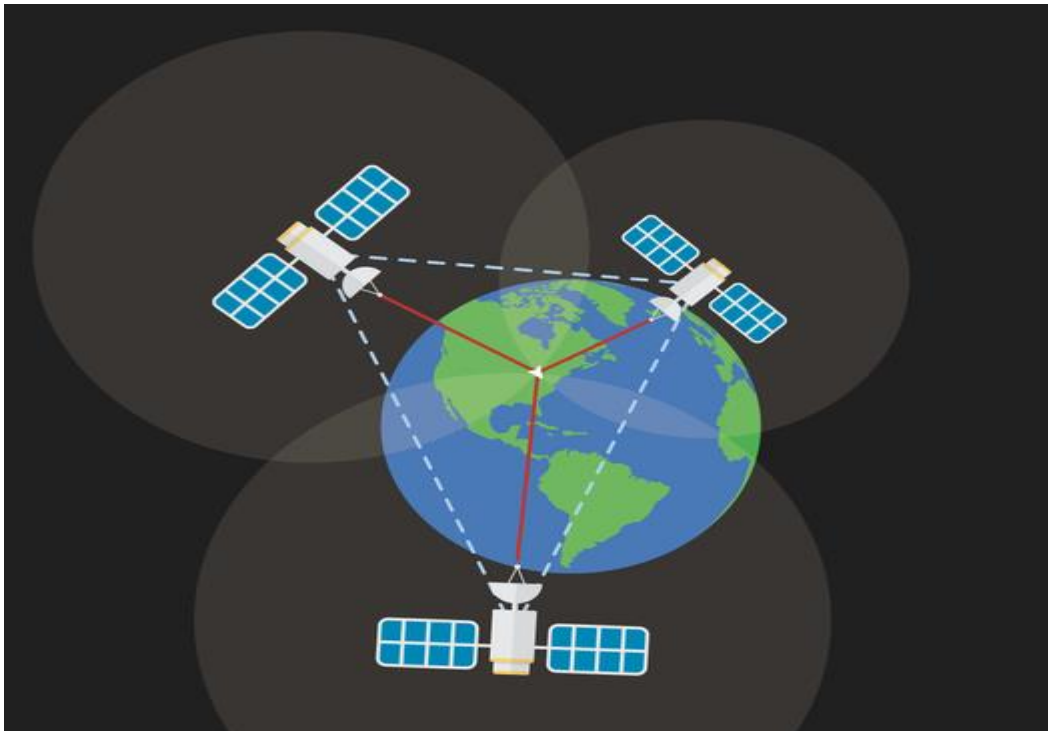


Figure I. 3: système de positionnement globale

Les signaux d'au moins quatre satellites seront enregistrés par le récepteur GPS, qui calculera sa position en fonction des informations reçues [8].

4.1. La structure de GPS

Les système GPS est constitué de 3 parties distincte qu'on appelle segments

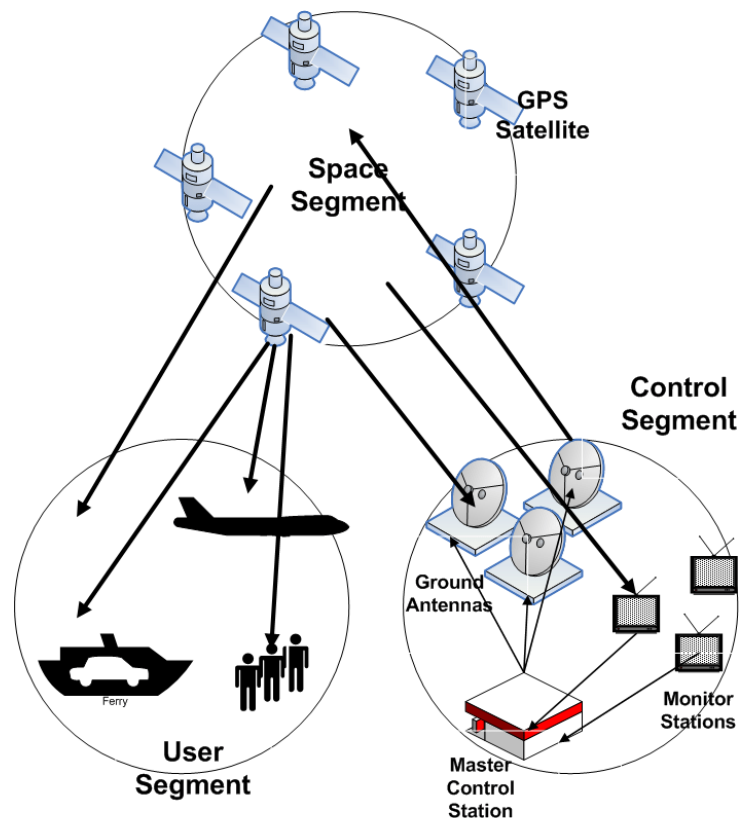


Figure I. 4 : les trois segments de système GPS

- **Le segment spatial :**

Ce segment est responsable de la diffusion continue de signaux GPS vers la Terre, permettant aux récepteurs GPS de déterminer leur position. Les satellites GPS orbitent à une altitude de 20 200 km, ce qui offre une couverture optimale de la Terre. Cette altitude élevée permet aux signaux d'atteindre une vaste zone terrestre, minimisant le nombre de satellites nécessaires pour une couverture mondiale complète. La constellation GPS est composée de 24 à 32 satellites en orbite, disposés selon des trajectoires soigneusement planifiées. Cette configuration garantit qu'un récepteur GPS sur Terre puisse capter les signaux d'au moins quatre satellites à tout moment, quel que soit son emplacement [4].

- **Le segment de contrôle :**

Le segment de contrôle est responsable de la gestion et du maintien de la santé et des performances de la constellation de satellites GPS.

Il se compose d'un réseau de stations terrestres réparties stratégiquement à travers le monde. Le segment de contrôle comprend cinq stations de poursuite principales, chacune étant

située dans un endroit différent du globe. Ces stations agissent comme les "yeux et les oreilles" du système GPS, en permanence en contact avec les satellites [4]. Les éléments principaux du segment de contrôle sont :

- **Master Control Station (MCS)** : Le MCS est responsable de la gestion globale du système GPS, y compris le suivi des satellites, la mise à jour des horloges et l'envoi de données de correction.
- **Quatre stations de contrôle au sol (antennes terrestres)** : Transmettre des commandes, des informations de navigation et des programmes de traitement aux satellites.
- **16 stations de surveillance** : des stations de surveillance réparties dans le monde entier pour assurer une couverture globale et fournir des données de suivi en temps réel des satellites GPS.[9]
- **La segment utilisateur** :

Le segment utilisateur du GPS englobe tous les utilisateurs civils ou militaires qui réceptionnent et exploitent les données transmises par les satellites via leur récepteur GPS [10].

4.2. Fonctionnement du système GPS

- **Envoie et la réception du signal** :

Chaque satellite GPS envoie constamment des signaux radio contenant :

- ✓ **Un horodatage précis** : Basé sur les horloges atomiques embarquées.
- ✓ **Des données de navigation** : Incluant la position du satellite et des informations sur son orbite.

Le récepteur GPS Capte les signaux de plusieurs satellites. Et Mesure du temps que met chaque signal à voyager du satellite jusqu'à lui. Connaissant l'heure d'émission et l'heure de réception, le récepteur peut calculer le temps de trajet [11].

- **Calcul de la distance :**

Pour déterminer sa position sur terre, le récepteur GPS doit connaître la distance à laquelle il se trouve de chaque satellite. Il utilise une formule simple basée sur la vitesse du signal émis par le satellite (la vitesse de la lumière) et le temps que met ce signal à lui parvenir (vitesse * temps de voyage = distance) Le récepteur génère un code identique à celui émis par le satellite pour calculer le temps nécessaire à la réception du signal. En utilisant ces informations, le récepteur peut calculer sa distance par rapport à chaque satellite, ce qui lui permet de déterminer sa position précise sur terre. Le récepteur GPS compare les codes reçus des satellites pour déterminer le retard de son horloge par rapport à celle des satellites. Ce retard, multiplié par la vitesse du signal, donne la distance entre le récepteur et le satellite. Une précision de 1 microseconde de retard de l'horloge du récepteur entraîne une imprécision de 300 mètres sur la position. [12].

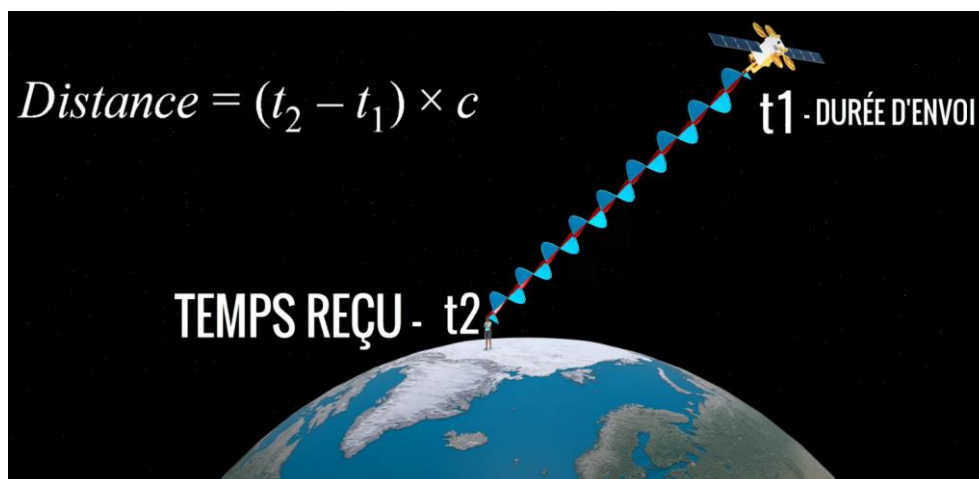


Figure I. 5 : mesure de la distance entre le récepteur GPS et les satellites

- **Déterminer la position :**

Le récepteur GPS peut calculer sa position en utilisant la triangulation. Ce processus implique la création de sphères imaginaires centrées sur chaque satellite, avec un rayon correspondant à la distance mesurée. Le point d'intersection de ces trois sphères représente la position approximative du récepteur GPS [13].

Le système fonctionne en mesurant le temps à l'aide d'horloges placées à bord des satellites et dans les récepteurs. Toutes les horloges des satellites sont parfaitement

synchronisées, mais ce n'est pas le cas pour l'horloge du récepteur. C'est pourquoi un quatrième satellite est nécessaire pour synchroniser l'horloge du récepteur avec celles des satellites.

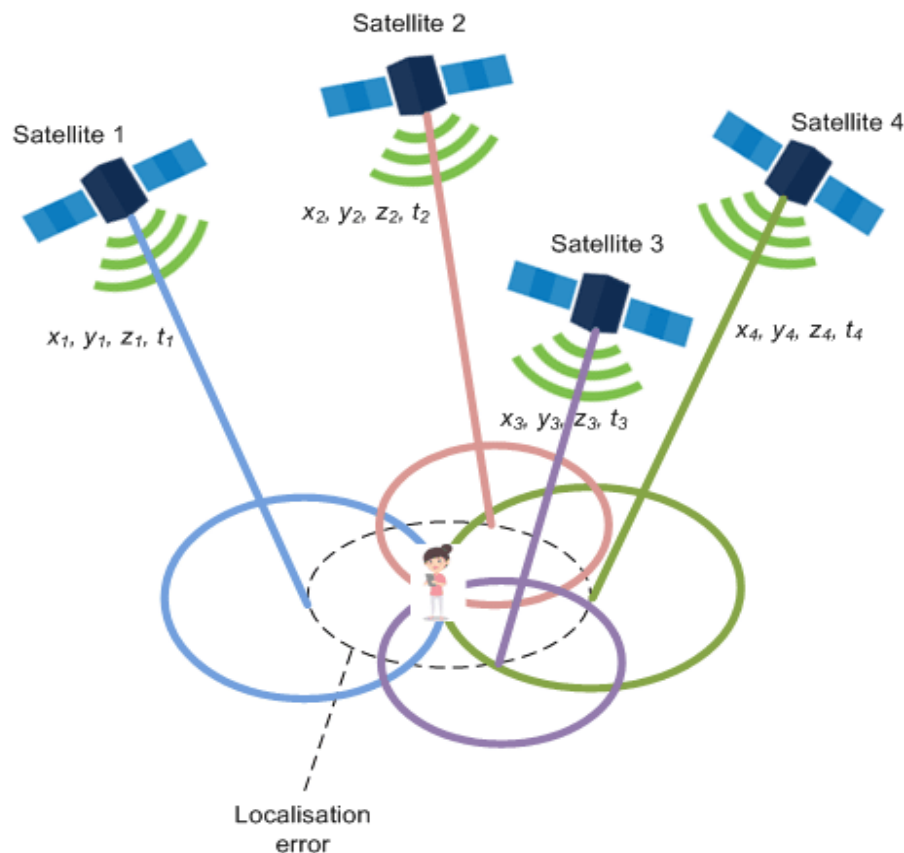


Figure I. 6 : Principe de la triangulation dans le système GPS

4.3. Les modes de positionnement GPS

- **Positionnement absolu** : La position est calculée directement à partir des signaux reçus des satellites GPS, sans référence externe [14].
- **Positionnement relatif** : La position est déterminée en mesurant la différence de distance (vecteur de base) entre le récepteur et une ou plusieurs stations de référence GPS dont la position est connue avec précision [14].

4.4. Limites de la technologie GPS

- **Restrictions de l'outil** : Pour que le récepteur GPS puisse déterminer sa position avec précision, il est essentiel qu'il ait une vue dégagée du ciel [15].

- **Effets ionosphériques et troposphériques** : Les signaux qui traversent l'ionosphère et la troposphère subissent des retards et des distorsions, ce qui entraîne des erreurs de positionnement, en particulier lorsque les satellites sont proches de l'horizon [16].
- **Erreurs d'horloge** : Malgré la grande précision des horloges atomiques des satellites, des erreurs peuvent encore se produire, contribuant à des imprécisions de positionnement [16].
- **Erreurs d'éphémérides** : Les éphémérides des satellites (orbites prévues) sont sujettes à des dérives et nécessitent des mises à jour quotidiennes de la part des stations de contrôle au sol. Ces erreurs affectent également le positionnement du GPS [16].

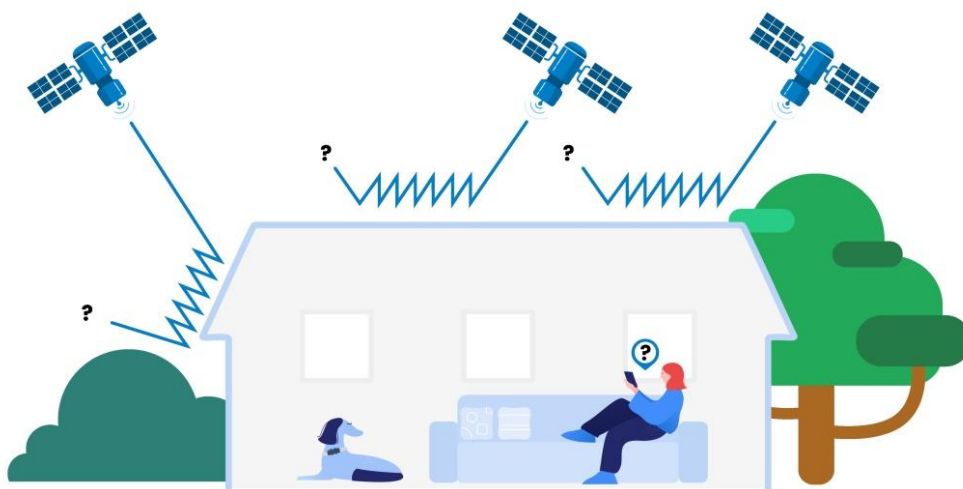


Figure I. 7: difficultés à déterminer une position exacte dans lieux fermer

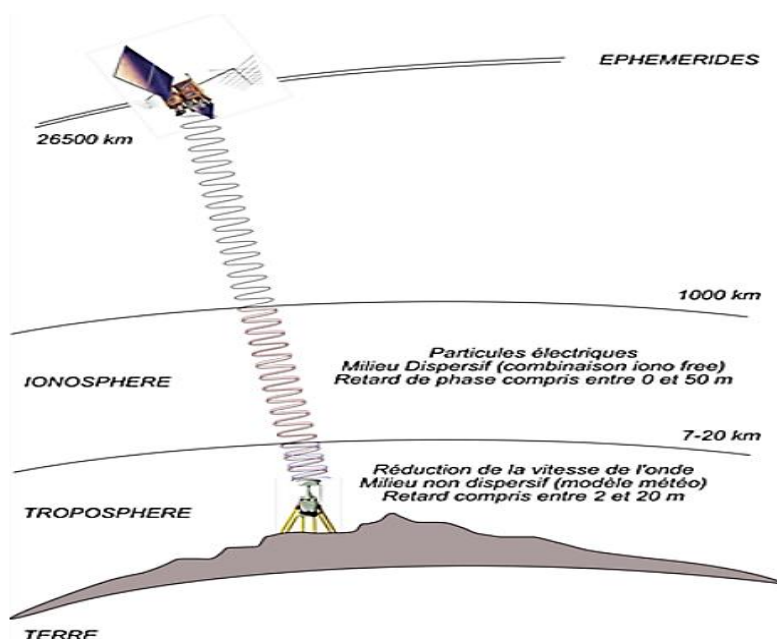


Figure I. 8 :les erreurs ionosphérique et troposphérique

5. L'outil de communication Wi-Fi

Le Wi-Fi abrégé de l'expression anglaise Wireless Fidelity, est un réseau sans fil qui permet l'accès à Internet aux ordinateurs (portables et fixes), aux périphériques mobiles (téléphones intelligents et dispositifs portables), ainsi qu'à d'autres équipements (imprimantes et caméras vidéo). Ces dispositifs, ainsi que de nombreux autres, peuvent échanger des informations entre eux, ce qui forme un réseau [17].

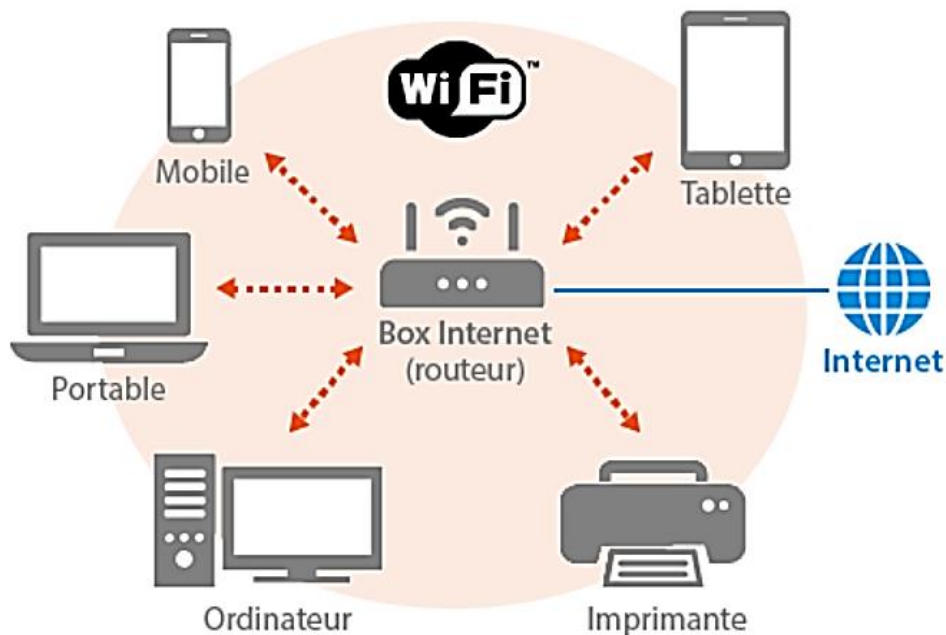


Figure I. 9 :Un réseau Wi-Fi

5.1. Le fonctionnement de réseau WI-FI

Un réseau Wi-Fi utilise des ondes radio pour son fonctionnement et la transmission des données. Ces données sont traduites en signal radio par un adaptateur réseau sans fil d'un ordinateur connecté au Wi-Fi. Ensuite, ce signal est envoyé à un décodeur, également connu sous le nom de routeur. Une fois les informations transférées décodées, elles sont transmises à Internet via une connexion Ethernet.

En revanche, les informations provenant d'Internet doivent être transmises par le routeur afin d'être converties en un signal radio qui sera reçu par l'adaptateur Wi-Fi de l'ordinateur connecté [18].

5.2. Le Protocole IEEE 802.11

Le Wi-Fi utilise généralement le protocole IEEE 802.11, qui est une norme de communication sans fil largement utilisée pour les réseaux locaux (LAN) et l'accès à Internet [19].

5.3. Communication Wi-Fi dans un système de surveillance

Un système de localisation et de surveillance doit être équipé d'une communication sans fil pour le transfert des données telles que la position géographique, la vitesse, ou d'autres paramètres pertinents. Ces données peuvent être envoyées à un serveur central via un réseau Wi-Fi [20].

6. Le GSM (Global System for Mobile Communications)

Le GSM (Global System for Mobile Communications) est un réseau de deuxième génération (2G), il a été développé et mis en place pour la première fois en Europe. Il constitue un ensemble de normes et de protocoles de communications mobiles [21].

Contrairement aux réseaux filaires qui acheminent les signaux par le biais de câbles (coaxiaux, à paires torsadées, etc.), le réseau GSM transmet les informations grâce à des ondes radio [22].

6.1. Fonctionnement de GSM

Le GSM automatise et code l'information avant de la transmettre via un canal comprenant trois flux d'informations distincts à l'intérieur de chaque intervalle de temps. La norme principale de téléphonie cellulaire numérique 2G est également utilisée par la plupart des gens. Elle règle l'interaction des téléphones cellulaires avec le système de tours terrestres [23].

6.2. Notion sur réseau cellulaire

Un réseau cellulaire, communément appelé réseau mobile, est un système de communication sans fil entre des dispositifs mobiles. La connectivité est terminée en divisant la zone de service globale en plusieurs zones compactes, chacune étant appelée cellule. Chaque cellule est alimentée par un émetteur-récepteur fixe, un site cellulaire ou une station de base.

Le site cellulaire est connecté à l'infrastructure du réseau primaire par une connexion sans fil ou câblée [24].

6.3. Architecture de système GSM

L'architecture du GSM comprend quatre systèmes centraux :

- **Le système de commutation du réseau (NSS) :** est un élément GSM qui gère la gestion des flux et le traitement des appels pour les appareils mobiles qui se déplacent entre les stations de base. Le système de commutation est composé d'unités fonctionnelles énumérées ci-dessous [25].
- **Le système de station de base (BSS) :** Permet la connexion entre le sous-système de réseau et la station mobile [25].
- **Le système d'exploitation et de support (OSS) :** gère principalement la charge de trafic du réseau GSM et du BSS. Il permet également la maintenance du réseau en donnant un aperçu du réseau et en aidant les services de maintenance dans leurs opérations [25].
- **La station mobile (MS) :** est le téléphone portable qui fonctionne sur le système et est composée d'un écran, d'un processeur numérique et d'un émetteur-récepteur radio régulé par une carte SIM [25].

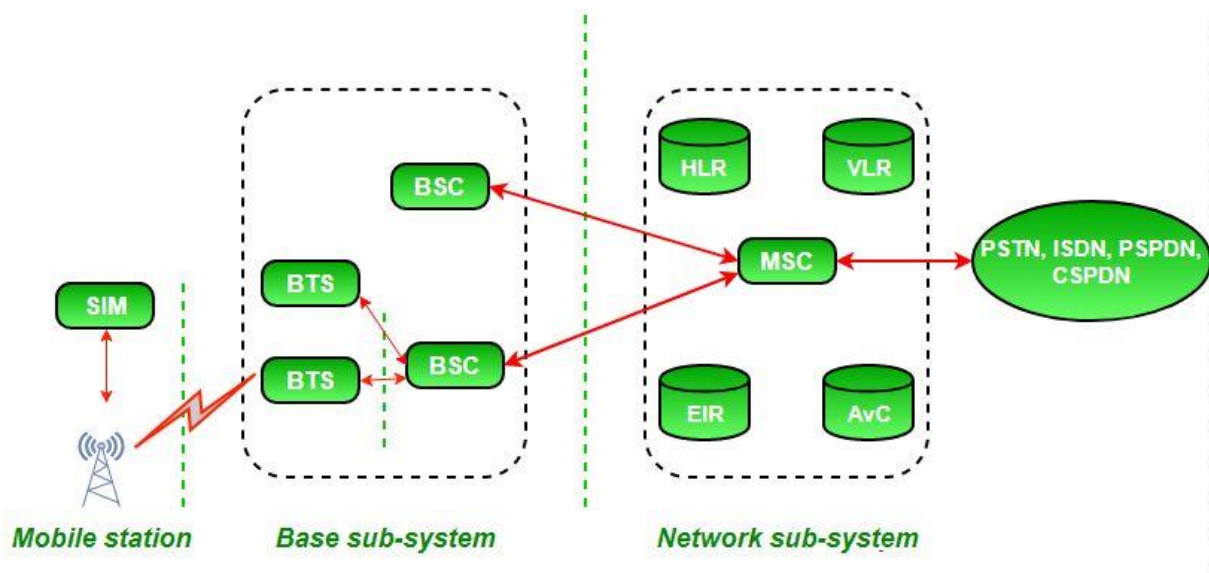


Figure I. 10 : Architecture de système GSM

6.4. Le GPRS (General Packet Radio Service)

Le GPRS est un standard de commutation de paquets au mieux pour les services de radiodiffusion sans fil et cellulaire. Le transport de données via le GPRS est modéré sur les réseaux mobiles 2G, 3G [26].

La fonction en ligne du GPRS permet aux utilisateurs de se connecter à différents services basés sur l'internet et les données. Les utilisateurs mobiles peuvent utiliser le GPRS pour accéder à la navigation sur l'internet mobile, au courrier électronique, à la radiodiffusion, au service de messages courts (SMS) et au service de messagerie multimédia (MMS) Le GPRS est un des premiers protocoles de transfert de données à large bande utilisés sur les réseaux cellulaires [27].

7. Les capteurs de mesures

Les capteurs de mesures sont des dispositifs miniatures qui permettent de déterminer les quantités physiques telles que la pression, la température, l'accélération et les champs magnétiques [28].

7.1. Définition d'accéléromètre

Un accéléromètre est un dispositif qui enregistre l'accélération linéaire non gravitationnelle de l'appareil sur lequel il est fixé. Il est possible que l'accélération soit statique, telle que la gravité, ou dynamique, telle qu'un choc contre un autre objet. L'accélération, comme la gravité, est exprimée en g : 1 g équivaut à $9,81 \text{ m/s}^2$. À la différence d'un gyroscope, l'accéléromètre calcule l'accélération linéaire d'un corps, tandis que le gyroscope calcule l'orientation et la rotation du corps. Un accéléromètre triaxial est un ensemble de 3 accéléromètres utilisés pour mesurer l'accélération en 3 dimensions [29].

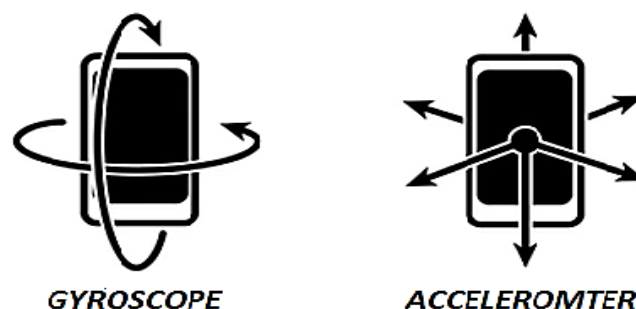


Figure I. 11 : l'accéléromètre et gyroscope pour mesure d'orientation

7.2. Fonctionnement de l'accéléromètre

La force d'accélération est mesurée dans l'unité g et peut être mesurée dans un, deux ou trois plans. Les accéléromètres à 3 axes sont construits avec un système de trois accéléromètres, chacun mesurant l'accélération dans une direction différente – dans les plans X, Y et Z respectivement

Quand l'accélération agit dans la direction opposée à celle dans laquelle le capteur était orienté, l'accéléromètre enregistre une valeur négative de l'accélération. Dans un autre cas, on mesurera l'accélération avec une valeur positive.

Quand on incline le même accéléromètre vers la gauche, il affichera : $X = 1 \text{ g}$, $Y = 0 \text{ g}$, $Z = 0 \text{ g}$. De la même manière, lorsque le plan X est orienté vers la droite, il va donner $X = -1 \text{ g}$. Les algorithmes des systèmes qui supervisent l'accélérateur utilisent les dépendances de mesure d'accélération données [30].

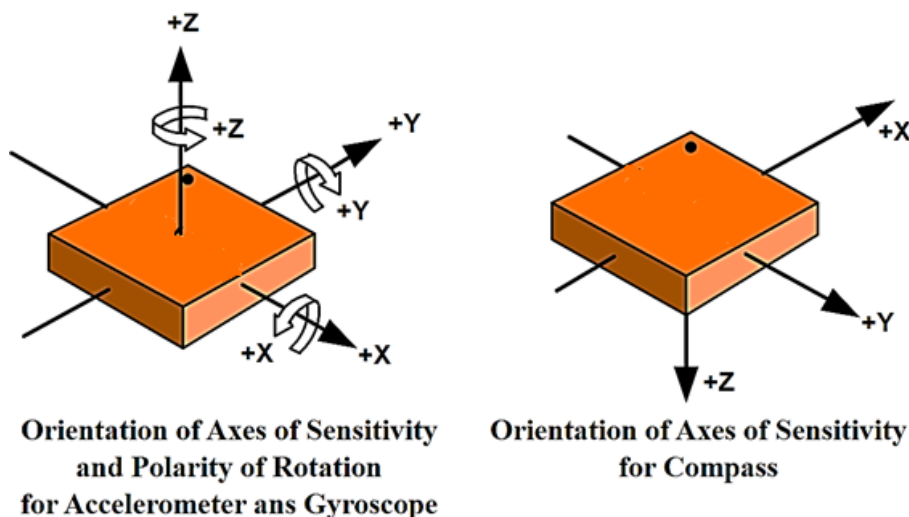


Figure I. 12: principe de fonctionnement d'accéléromètre à 3 axes

7.3. L'accéléromètre pour la surveillance (détection de chocs)

Les accéléromètres dans le transport ont un rôle important dans la sécurité et la navigation. Ils détectent les changements soudains de vitesse du véhicule, ce qui peut provoquer des dispositifs de sécurité tels que les airbags en cas de collision. Ces outils sont également utilisés dans des systèmes tels que le contrôle électronique de stabilité (ESC) pour détecter et atténuer les dérapages [31].

8. Conclusion

La localisation et la surveillance dans le transport sont des domaines qui ont connu une grande évolution avec l'adoption de technologies telles que la géolocalisation et les systèmes d'information logistique. Ces innovations ont permis de renforcer la sécurité et la gestion efficace des trains, ainsi que de réduire les coûts et les risques liés à la conduite des trains. La géolocalisation est particulièrement importante pour garantir la sécurité des passagers et des employés, en permettant de contrôler le respect des horaires de conduite, des temps de pause et des itinéraires empruntés.

CHAPITRE 02 :
LES MODULES DE
LOCALISATION,
COMMUNICATION ET
SURVEILLANCE UTILISÉS

1. Introduction

L'industrie ferroviaire a connu un essor remarquable dans le développement de systèmes avancés de surveillance et de localisation, motivé par la recherche constante de la sécurité, de l'efficacité et de l'excellence opérationnelle. Les techniques GPS, GSM et accéléromètre, lorsqu'elles sont intégrées dans un système complet de localisation et de surveillance des chemins de fer (RLMS). Dans le premier chapitre nous avons défini le système de localisation et surveillance et détaillé chaque élément de sa structure. Dans ce chapitre, nous allons aborder la conception Matérielle de notre solution de système de localisation et de surveillance de transport ferroviaire. On se concentrant alors dans ce chapitre sur le choix des composants, étude de leurs caractéristiques et principe de fonctionnement ainsi que leur branchement.

2. Structure générale du système à réaliser

Comme le montre la figure ci-dessous, Notre système est constitué principalement de :

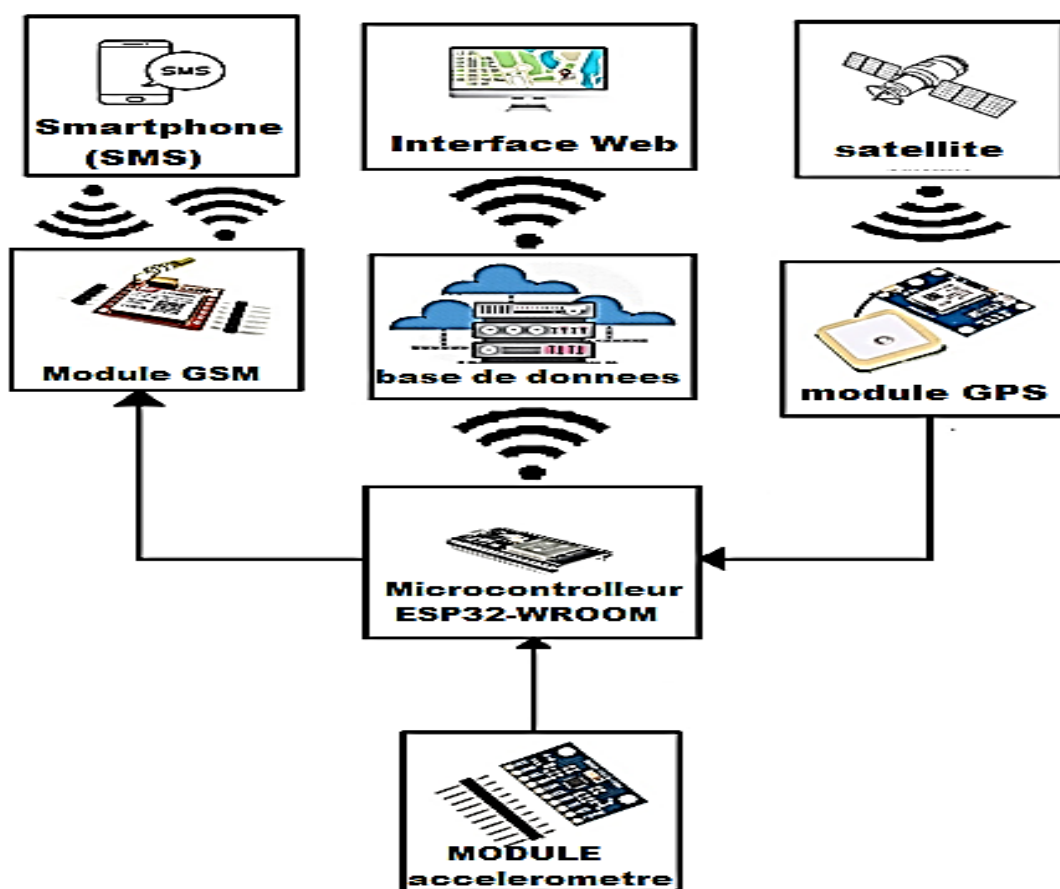


Figure II. 1: schéma bloc du système.

- ✓ Un Récepteur GPS qui capte les signaux émis par les satellites GPS pour déterminer la position géographique et calcule la vitesse du train.
- ✓ Un Accéléromètre qui mesure les variations d'accélération sur les axes x, y et z, pour détecter les probables chocs en cas d'accident.
- ✓ Un Module GSM équipé d'une carte SIM pour envoi des SMS contenant des informations sur la position et l'état du train.
- ✓ Microcontrôleur ESP-WROOM-32 qui a pour rôle de gérer l'ensemble du système. Il collecte et traite les données provenant des dispositifs mentionnés ci-dessus. Il coordonne également le transfert de ces données vers la base de données via un réseau Wi-Fi pour un suivi en temps réel.
- ✓ La base de données stocke les données collectées et l'interface web permet aux utilisateurs de visualiser et de suivre le train en temps réel (ces deux éléments seront détaillés dans le prochain chapitre).

3. La carte microcontrôleur ESP32

Un microcontrôleur (MCU) est un petit ordinateur qui est conçu pour contrôler des tâches spécifiques au sein de systèmes électroniques. Il intègre une unité centrale de traitement (CPU), des mémoires de code et de données, ainsi que des interfaces d'entrée/sortie sur une seule puce [32].

Description de ESP-WROOM-32

La carte de développement ESP-WROOM-32 est un puissant module de microcontrôleur développé par Espressif Systems. Ce module se distingue par sa polyvalence et ses capacités avancées, le rendant idéal pour une variété d'applications dans l'Internet des Objets (IoT) [33].

Caractéristiques de ESP-WROOM-32 [34]

- Processeur double cœur (dual-core) Tensilica LX6 cadencé à 240 MHz
- Mémoire RAM de 520 Ko de type SRAM.
- Mémoire programme de type flash de 4 Mo
- Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 GHz)
- Bluetooth 4.2 BLE (Bluetooth Low Energy)

- Antenne intégrée
- 36 GPIO (broches d'entrée/sortie programmables)
- UART, SPI, I2C, I2S pour la communication série et d'autres périphériques
- Deux convertisseurs analogique-numérique (ADC) de 12 bits (18 entrées analogiques)
- Deux convertisseurs numérique-analogique (DAC) de 8 bits
- Sécurité : Cryptographie matérielle, y compris le chiffrement AES, RSA, ECC et SHA
- Capteurs tactiles capacitifs (10 entrées)
- Capteur à effet Hall
- Amplificateurs à faible bruit
- Interface carte SD
- Ethernet
- PWM : Modulation de largeur d'impulsion (16 sorties PWM)

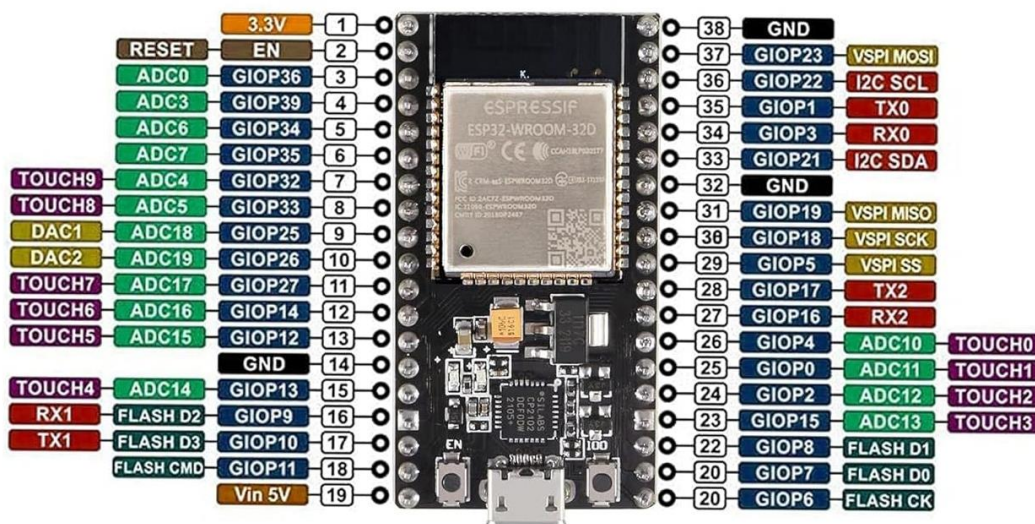


Figure II. 2 : ESP-WROOM-32 et ces broches.

4. Module GPS NEO6-MV2

Le module GPS NEO6-MV2 développé par u-blox est un module électronique permettant de recevoir des signaux GPS et d'obtenir des informations de positionnement précises. Il est doté d'une antenne GPS indépendante pour une meilleure réception des signaux. Ce module est utilisé dans divers projets d'Arduino qui requièrent des fonctionnalités de localisation [36]. Une description détaillée de ses principales caractéristiques est présentée ci-dessous.

Caractéristiques de NEO-6MV2

- Type : NEO-6MV2

- **Alimentation** : 3V-5V
- **Flight Control EEPROM MWC** : Intègre une mémoire EEPROM pour les paramètres de configuration, utile pour les systèmes de contrôle de vol.
- **Antenne** : Grande antenne céramique de 25 x 25 mm, offrant un signal fort et stable.
- **Sauvegarde des paramètres** : Les paramètres de configuration sont sauvegardés dans l'EEPROM.
- **Batterie de backup** : Inclut une batterie de sauvegarde pour conserver les données.
- **LED témoin** : Indicateur LED pour le signal, permettant de vérifier le statut du GPS.
- **Dimensions** : Module compact de 25 x 35 mm.
- **Trou de fixation** : Trou de 3 mm pour un montage facile.
- **Baud rate par défaut** : 9600 bps
- **Compatibilité** : Compatible avec de nombreux modules de contrôle de vol, ce qui en fait un choix idéal pour les applications de drones et autres systèmes embarqués.

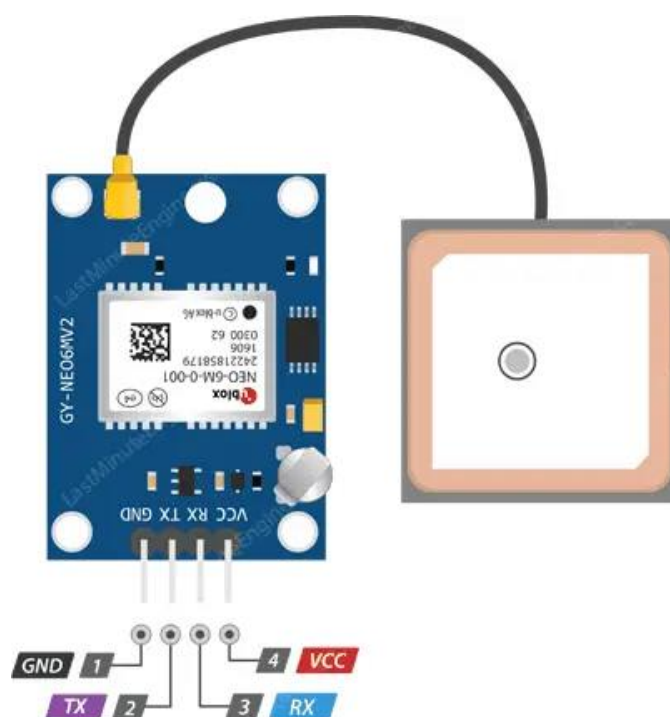


Figure II. 3 : Le module NEO6MV2 et ses broches.

Identification des broches de module NEO6MV2[37].

Numéro de broche	Nom de broche	Description
------------------	---------------	-------------

Chapitre 02 : Les modules de localisation, communication et surveillance utilisés

1	GND	Gnd
2	TX	Seriel output
3	RX	Seriel input
4	Vcc	Broche d'alimentation 3.3V

Tableau 1: les pins de module NEO6MV2

Protocole de communication NMEA

Le module GPS NEO-6MV2 communique en utilisant le protocole NMEA (National Marine Electronics Association), ce qui lui permet d'échanger des données de positionnement géographique et d'autres informations avec d'autres appareils compatibles avec ce protocole. Le protocole NMEA utilise des phrases standard pour transmettre différentes informations. Voici quelques exemples de types de trames NMEA utilisées par le module GPS NEO-6MV2

GGA : Information de position fixe.

GSA : Données satellites globales.

GSV : Données détaillées sur les satellites.

RMC : Données minimales recommandées pour le GPS.

Les deux premiers caractères après le signe "\$" (identifiant de l'émetteur) identifient l'origine du signal. Les principaux préfixes utilisés dans le cas des signaux GPS sont :

BD ou GB : Beidou.

GA : Galileo.

GP : GPS.

GL : GLONASS.

Le préfixe GN est utilisé dans le cas de signaux mixtes GPS + GLONASS. Ces trames NMEA permettent une communication standardisée et facilitent l'interopérabilité entre le module GPS NEO-6MV2 et d'autres équipements compatibles avec ce protocole [38].

\$GPRMC,053740.000,A,2503.6319,N,12136.0099,E,2.69,79.65,100106,,A*53

\$GPRMC : type de trame

053740.000 : heure [UTC](#) exprimée en hhmmss.sss : 5h 37m 40s

A : état A=données valides, V=données invalides

2503.6319 : Latitude exprimée en ddm.mmm : 25°03.6319' = 25°03'37,914"

N : indicateur de latitude N=nord, S=sud

12136.0099 : Longitude exprimée en ddm.mmm : 121°36.0099' = 121°36'00,594"

E	: indicateur de longitude E=est, W=ouest
2.69	: vitesse sur le fond en nœuds (2,69 kn = 3,10 mph = 4,98 km/h)
79.65	: route sur le fond en degrés
100106	: date exprimée en qqmmaa : 10 janvier 2006
,	: déclinaison magnétique en degrés (souvent vide pour un GPS)
,	: sens de la déclinaison E=est, W=ouest (souvent vide pour un GPS)
A	: mode de positionnement A=autonome, D=DGPS, E=DR
*53	: somme de contrôle de parité au format hexadécimal .

5. Le module GSM SIM 800L

Le SIM800L est un module GSM de Simcom qui permet à tout microcontrôleur de se connecter au réseau GSM, ce qui lui permet de recevoir des appels, d'envoyer et de recevoir des messages texte, ainsi que de se connecter à Internet via GPRS, TCP ou IP. Un autre atout réside dans le fait que la carte exploite les fréquences mobiles déjà disponibles, ce qui permet d'être utilisée à l'échelle mondiale [40].

Caractéristiques du SIM 800L

- Bande 2G quadri-bande (850/900/1800/1900 MHz)
- Appels et SMS
- Radio FM
- Connectivité GPRS (classe 12, débit maximal de 85,6 kbps)
- Commandes AT (3GPP TS 27.007, 27.005 et SIMCOM Enhanced AT Commands)
- Horloge en temps réel
- Plage de tension de fonctionnement : 3,4 V à 4,4 V
- Support A-GPS (assistance GPS)
- Faible consommation d'énergie (1 mA en mode veille)
- Format de carte SIM : micro SIM
- Alimentation : 3,4 V à 4,4 V, pic de courant de 2 A
- LED d'état pour l'indication du statut du module

Un condensateur de 2200 μ F est recommandé entre le 5V de l'ESP et le pin VCC du SIM800L pour réguler l'alimentation.



Figure II. 4 : Le module SIM800L et ses broches.

Identification des broches SIM800L

Numéro de broche	Nom de broche	Description
1	NET	Broche de fixation de l'antenne externe
2	VCC	Power supply pin, 3.4V to 4.4V input
3	RST	Broche de Reset, tirer vers le bas pendant 100 ms pour effectuer une hard reset
4	RXD	Serial data in
5	TXD	Serial data out
6	GND	Module ground reference
7, 8	SPK	Speaker differential output
9, 10	MIC	Microphone differential input
11	DTR	Serial data terminal ready pin, pull high to enable sleep mode
12	RING	Interrupt output, active low

Tableau 2: les broches de module SIM800L[41].

Les commande AT

Les commandes AT (Attention Commands) sont un protocole de communication standardisé utilisé pour contrôler et configurer les modules sans fil GSM/GPRS tels que le SIM800L. Ces commandes sont généralement envoyées par un système hôte (microcontrôleur, ordinateur) au module via une interface série (UART) pour effectuer diverses opérations liées à la communication cellulaire [42].

Command	Usage
AT	Commande AT la plus élémentaire. Cette commande permet d'envoyer un ping au module. Vous obtiendrez une réponse OK si votre appareil communique correctement avec Arduino.
AT+CSQ	Vérifier l'intensité du signal
AT+CCID	Obtenir le numéro de la carte SIM
AT+GSV	Afficher les informations sur la carte SIM

Tableau 3 :les commandes AT

6. Module de mesure inertielle MPU6050

Le module de capteur MPU6050 est un dispositif complet de suivi de mouvement à 6 axes. Il combine un gyroscope à 3 axes, un accéléromètre à 3 axes et un processeur, le tout dans un petit boîtier [43].

Caractéristiques de module MPU6050

- **Gyroscope :**
 - ✓ Détection sur 3 axes avec une plage à pleine échelle de ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ou ± 2000 degrés par seconde (dps)
 - ✓ Sensibilité de 131, 65,5, 32,8 ou 16,4 LSB par dps
 - ✓ Taux de données de sortie (ODR) de 8 kHz à 1,25 Hz
- **Accéléromètre :**
 - ✓ Détection sur 3 axes avec une plage à pleine échelle de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ ou $\pm 16g$
 - ✓ Sensibilité de 16384, 8192, 4096 ou 2048 LSB par g
 - ✓ Gamme ODR de 8kHz à 1,25Hz

- **Capteur de température :**
 - ✓ Plage de fonctionnement de -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Sensibilité de 340 LSB par degré Celsius
 - ✓ Précision de $\pm 3^{\circ}\text{C}$
- **Interface de communication :**
 - ✓ Interface série I2C avec une fréquence d'horloge maximale de 400kHz
 - ✓ Modes d'accès aux registres 8 bits et 16 bits [44].

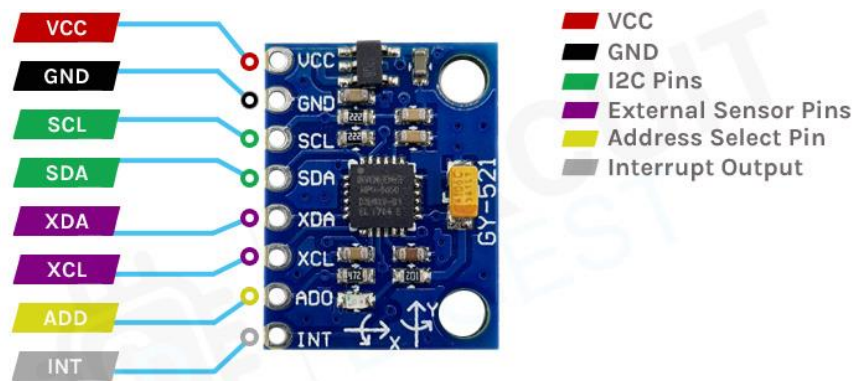


Figure II. 5 : Le module MPU6050 et ses broches

Identification des broches du MPU6050

Le module MPU-6050 possède 8 broches,

- **INT** : Broche de sortie numérique d'interruption.
- **ADD** : broche d'adresse d'esclave I2C LSB.
- **XCL** : Broche d'horloge série auxiliaire.
- **XDA** : Broche auxiliaire de données série.
- **SCL** : Broche d'horloge série.
- **SDA** : BROCHE DE DONNÉES SÉRIE
- **GND** : Broche de mise à la terre. Relier cette broche à la terre.
- **VCC** : BROCHE D'ALIMENTATION 5V.

Le module MPU-6050 a une adresse esclave (lorsque $AD0 = 0$, c'est-à-dire qu'il n'est pas connecté à Vcc) comme suit :

- Adresse d'écriture de l'esclave (SLA+W) : 0xD0
- Adresse de lecture de l'esclave (SLA+R) : 0xD1

Le MPU-6050 possède plusieurs registres pour contrôler et configurer son mode de fonctionnement [44].

7. Composants Auxiliaires

En plus des modules essentiels cités précédemment, notre système de localisation et de surveillance des trains nécessite d'autres composants que nous allons présenter dans ce qui suit.

Buzzer

Un buzzer, également appelé avertisseur sonore, est un transducteur électro-acoustique qui produit un son lorsqu'il est alimenté en tension électrique. Le son produit est généralement un bourdonnement ou un bip simple, utilisé pour alerter ou signaler un événement [45].



Figure II. 6 : Un Buzzer et ses broches d'alimentation.

Les principales caractéristiques du Buzzer choisi sont les suivantes :

- **Fréquence:** 3 300 Hz
- **Température de fonctionnement:** -20°C à +60°C
- **Tension de fonctionnement:** 3V à 24V DC
- **Niveau de pression acoustique:** 85 dBA à 10 cm
- **Courant d'alimentation:** Inférieur à 15 mA

LED (Diode Electroluminescente)

La diode électroluminescente est une source de lumière couramment utilisée dans les équipements électriques et électronique. Elle trouve de nombreuses applications, allant des téléphones portables aux grands panneaux publicitaires. Les LED sont principalement employées dans les dispositifs affichant l'heure et divers types de données [46].

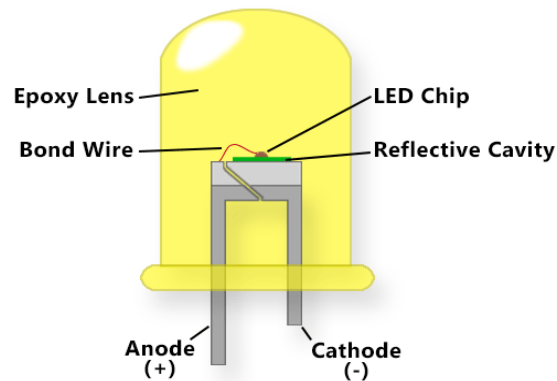


Figure II. 7 : Structure d'une LED

8. Elaboration du circuit électronique global

Après avoir présenté tous les composants constituant notre système à réaliser, on passe dans cette partie à l'élaboration du circuit électronique global de notre système de localisation et de surveillance. Ce circuit est construit sous l'environnement de logiciel Fritzing.

Fritzing est un logiciel libre et open-source qui offre une interface intuitive et conviviale pour la conception de circuits imprimés (PCB). Il s'adresse aussi bien aux débutants qu'aux utilisateurs expérimentés, et permet de réaliser des schémas électroniques et des PCB complets avec des fonctionnalités puissantes [47].

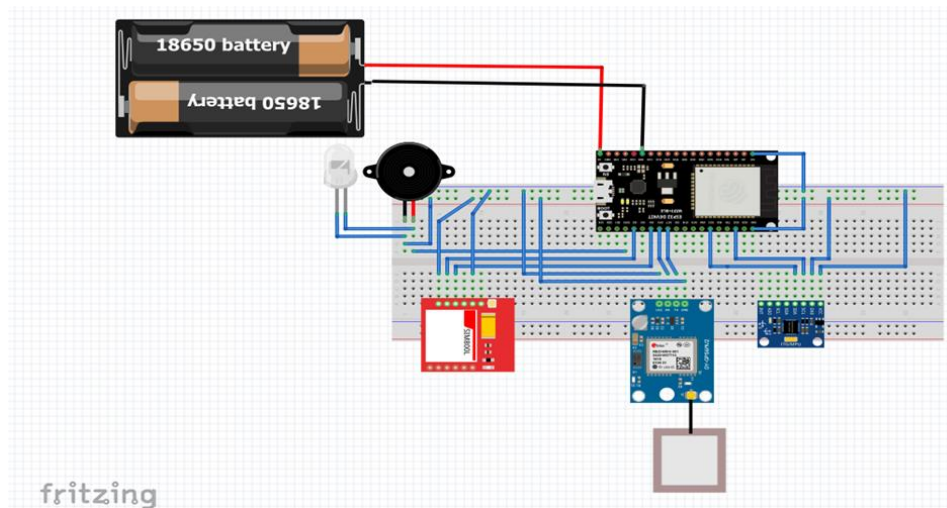


Figure II. 8 : Circuit électronique de système à réaliser.

+

Le tableau ci-dessous résume les branchements du circuit électronique entre les différents composants le constituant.

Chapitre 02 : Les modules de localisation, communication et surveillance utilisés

Composant	Broches ESP32	Broches du Composant	Description
Module GPS			
RX GPS	GPIO 17	TX	Connecter RX du GPS à TX de l'ESP32
TX GPS	GPIO 16	RX	Connecter TX du GPS à RX de l'ESP32
Module MPU6050			
VCC	3.3V	VCC	Connecter VCC du MPU6050 à 3.3V de l'ESP32
GND	GND	GND	Connecter GND du MPU6050 à GND de l'ESP32
SCL	GPIO 22	SCL	Connecter SCL du MPU6050 à SCL de l'ESP32
SDA	GPIO 21	SDA	Connecter SDA du MPU6050 à SDA de l'ESP32
Module SIM800			
VCC	5V	VCC	Connecter VCC du SIM800 à 5V de l'ESP32
GND	GND	GND	Connecter GND du SIM800 à GND de l'ESP32
TX	GPIO 4	RX	Connecter TX du SIM800 à RX de l'ESP32
RX	GPIO 2	TX	Connecter RX du SIM800 à TX de l'ESP32
Buzzer et LED	GPIO 14	+	Connecter la broche positive du buzzer à GPIO 14 de l'ESP32
GND	GND	-	Connecter la broche négative du buzzer à GND de l'ESP32

Tableau 4 : Les branchements du circuit électronique.

9. Conclusion

Le système proposé offre une solution complète pour la surveillance et la sécurité des trains. Il combine les capacités de localisation GPS, de détection de chocs et de communication cellulaire pour fournir une vue d'ensemble en temps réel de l'état et de la position du train. Les données collectées peuvent être utilisées pour suivre les mouvements du train, alerter les opérateurs en cas d'urgence et améliorer la sécurité globale des opérations ferroviaire.

CHAPITRE 03:
CONCEPTION LOGICIELLE
ET RÉALISATION
PRATIQUE DU SYSTÈME

1 Introduction

Ce chapitre explore la partie logicielle des systèmes de localisation et de surveillance, en se focalisant sur les outils de programmation, l'élaboration de code et gestion de système. Nous allons également examiner les résultats expérimentaux après l'élaboration pratique du système.

2 Organigramme du programme principal de l'ESP32

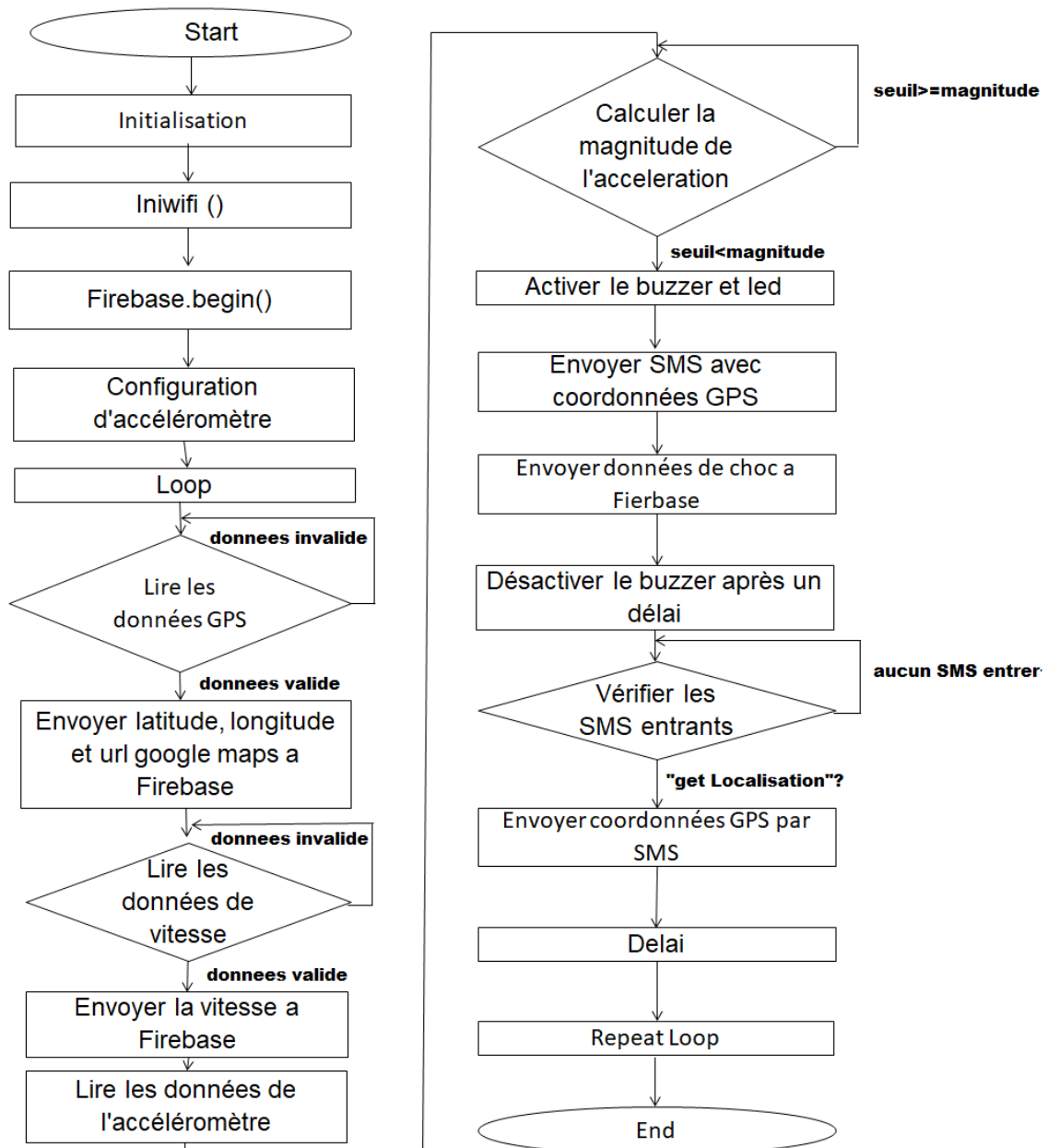


Figure III. 1 : fonctionnement générale de système

3 L'Environnement de programmation Arduino

Arduino est un logiciel de développement intégré open source et gratuit, disponible pour être téléchargé sur le site officiel Arduino. L'IDE Arduino offre la possibilité de créer un programme : Les programmes sont constitués de croquis (sketch en anglais), écrits en langage C [48].

4 Interface d'Arduino IDE

Il existe plusieurs boutons et menus qui permettent de gérer les sketches, la compilation, le téléversement, et la communication avec la carte Arduino. Les principaux éléments comprennent les suivants :

- **Menus déroulants** : Les menus déroulants se trouvent en haut de la fenêtre et offrent des options pour gérer les sketches, configurer l'IDE, et accéder à l'aide. Il y a Fichier, Édition, croquis, Manage Libraries, outils, Aide
- **Bouton de compilation** : Vérifie le code pour détecter des erreurs avant le téléversement.
- **Bouton Téléverser** : Compile et téléverse le code sur la carte Arduino connectée.
- **Moniteur série** : Ouvre le moniteur série pour la communication et le débogage via le port série.
- **Microcontrôleur sélectionné** : Cet espace apparaît en bas à droite et affiche le modèle de la carte Arduino actuellement sélectionnée et le paramètre associé, comme le port COM et la vitesse de transmission.

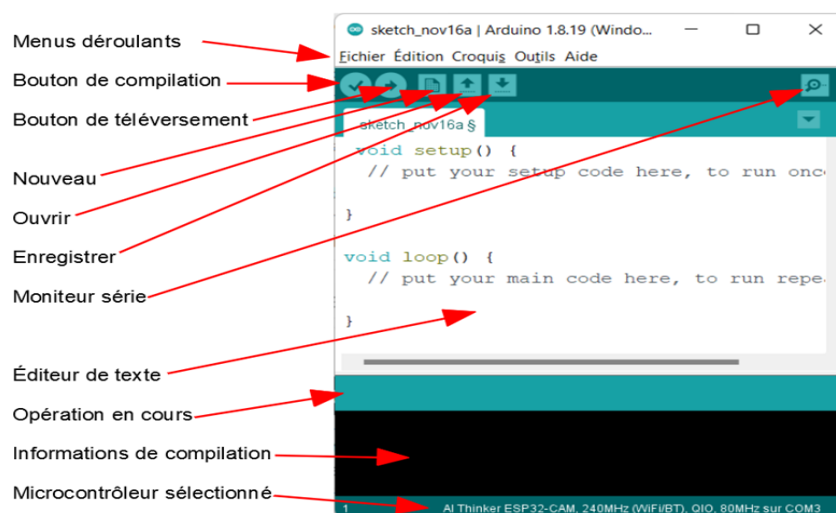


Figure III. 2 : L'outils de logiciel Arduino IDE.

4.1. La fenêtre de programmation

La structure minimale d'un programme Arduino se compose des éléments suivants :

- **En-tête:** déclaration des variables, des constantes et des bibliothèques utilisées.
- **setup :** cette partie, exécutée une seule fois au démarrage, comprend les fonctions d'initialisation, telles que la configuration des broches en entrée ou en sortie.
- **Loop :** cette section est lue en boucle, c'est ici que les fonctions principales du programme sont exécutées de manière répétitive.

```
sketch_may29b.ino
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }
```

Figure III. 3 :la structure générale d'un programme Arduino.

5 Plateforme de développement mobile et web : Firebase

Firebase, souvent associé au développement d'applications mobiles et web, offre également des fonctionnalités puissantes pour la création d'applications de bureau. En s'appuyant sur les services Google Cloud, Firebase permet aux développeurs de créer des applications de bureau riches en fonctionnalités, évolutives et sécurisées [49].

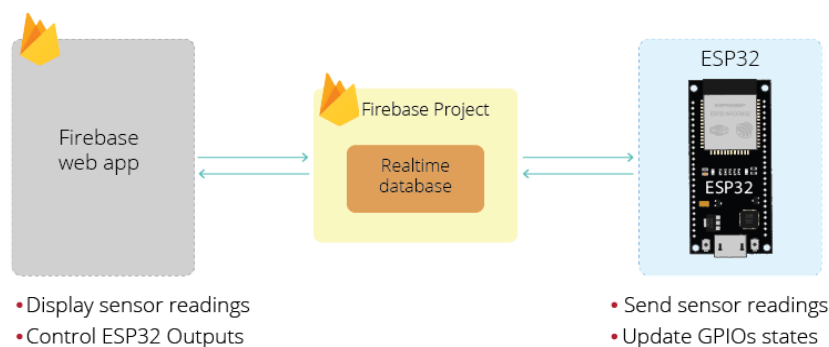


Figure III. 4 : Transfère de données entre le esp 32 et Firebase web application.

L' image ci-dessous fournit un schéma d'un microcontrôleur ESP32 connecté à un projet Firebase avec email et mot de passe comme authentification. elle représente un flux de données entre ESP32 Device, firebase auth service et firebase real-time database RTDB . le site web, utilise Firebase SDK pour lire/écrire des données dans les mêmes paths.

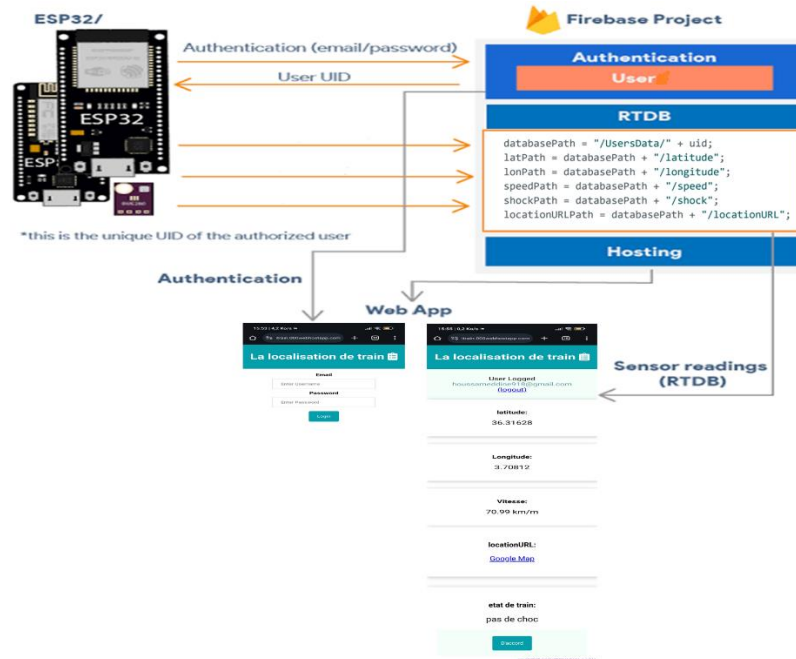


Figure III. 5 : relier le site web avec le code Arduino via Firebase

6 Visual Studio Code

Visual Studio est en effet une plateforme de développement complète qu'on peut utiliser pour éditer, déboguer, générer du code et publier une application. En plus des fonctionnalités standard telles que l'éditeur de code et le débogueur, Visual Studio intègre des compilateurs, des outils de complétion de code, des concepteurs graphiques et bien d'autres fonctionnalités pour améliorer le processus de développement logiciel [50].

HyperText Markup Language (HTML)

HTML est le langage de balisage standard utilisé pour la conception d'applications Web et de sites Web. Il s'agit d'un système très courant utilisé pour ajouter des couleurs, des graphiques, des polices et des effets aux fichiers texte. C'est un langage en perpétuelle mutation [51].

Cascading Style Sheets (CSS)

CSS, est un langage de style qui permet de gérer la présentation d'une page Web contenant du code HTML. Cela ajoute une beauté et une modernité au sites Web [51].

JavaScript

JavaScript (également connu sous le nom de JS) est un langage de programmation interprété dynamique de premier ordre qui offre aux scripts du côté client la possibilité de concevoir des applications Web et des sites Web entièrement dynamiques. Il s'agit d'un langage très léger qui peut être facilement exécuté sur les navigateurs[52].

7 Elaboration du code Arduino

Identification des bibliothèques

Le code ci-dessous comprend des bibliothèques essentielles pour la gestion de la connectivité Wi-Fi, la communication avec Firebase, l'utilisation d'un GPS, et la gestion d'un capteur MPU6050 pour mesurer l'accélération.

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

Lier au Firebase

Le code ci-dessous définit plusieurs macros qui stockent des informations de configuration essentielles pour la connexion Wi-Fi, l'authentification auprès de Firebase et l'accès à la base de données Firebase.

```
#define WIFI_SSID "poco"
#define WIFI_PASSWORD "123123123"
#define API_KEY "AIzaSyBndsVyA-nV97sIDzFo1g-E21Ub3NXcn1Q"
#define USER_EMAIL "houssameddine918@gmail.com"
#define USER_PASSWORD "houssameddine918"
#define DATABASE_URL "https://tranfirebase-a0c9e-default-rtdb.firebaseio.com/"
```

Connexion au réseau wifi

Cette fonction assure que le microcontrôleur ne passe pas aux étapes suivantes du programme jusqu'à ce qu'il soit connecté au réseau Wi-Fi, ce qui est essentiel pour les applications nécessitant une connectivité internet, comme l'accès à Firebase ou la mise à jour des données en temps réel.

```
void initWiFi() {
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Connecting to WiFi ..");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
  }
}
```

Récupération des coordonnées GPS et la vitesse

Le code ci-dessous vérifie la validité des données de localisation GPS et de vitesse, puis envoie ces données à Firebase si elles sont valides.

```
void loop() {
  while (Serial1.available()) { // Read GPS data from Serial1
    gps.encode(Serial1.read());
  }
  if (gps.location.isValid()) {
    float latitude = gps.location.lat();
    float longitude = gps.location.lng();
    sendFloat(latPath, latitude);
  }
}
```

Calcul de l'accélération

Le code ci-dessous lit les données de l'accéléromètre, calcule la magnitude de

L'accélération, déclenche une action si cette magnitude dépasse un certain seuil, et envoie une notification de choc détecté à Firebase.

```
s sensors_event_t accel;

mpu.getAccelerometerSensor()->getEvent(&accel);

float magnitude = sqrt(accel.acceleration.x * accel.acceleration.x +
                      accel.acceleration.y * accel.acceleration.y +
                      accel.acceleration.z * accel.acceleration.z);
if (magnitude > threshold) {
  Serial.println("Shock detected!");
  digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
  if (Firebase.RTDB.setString(&fbdo, shockPath.c_str(), shockValue)) {
    Serial.println("Shock detection sent to Firebase");} else {
    Serial.println("Failed to send shock detection to Firebase");}
}
```

8 Envoi d'un URL a Firebase

Le code suivant génère une URL de localisation pour Google Maps en utilisant les coordonnées GPS (latitude et longitude) et envoie cette URL à une base de données Firebase. Ensuite, il appelle une fonction pour envoyer un SMS avec les coordonnées GPS.

```
String locationURL = "http://maps.google.com/maps?q=loc:" + String(latitude, 6) +
", " + String(longitude, 6);
sendString(locationURLPath, locationURL);
```

Envoi d'un SMS

Le code ci-dessous envoie un SMS contenant un message d'alerte avec les coordonnées GPS (latitude et longitude) et URL de localisation sur Google Map en utilisant un module GSM SIM800.

```
void send_SMS(float latitude, float longitude) {
    sim800.println("AT");
    updateSerial();

    sim800.println("AT+CMGF=1");
    updateSerial();

    sim800.println("AT+CMGS=\"+213668865279\"");
    updateSerial();

    sim800.print("Shock detected! Please check the device.\n");
    sim800.print("Latitude: ");
    sim800.print(latitude, 6);
    sim800.print(", Longitude: ");
    sim800.print(longitude, 6);
    sim800.print("\nhttp://maps.google.com/maps?q=loc:");
    sim800.print(latitude, 6);
    sim800.print(",");
    sim800.print(longitude, 6);
    sim800.write(26); }
```

- **Envoi de SMS lors de la détection d'un choc**

un SMS est envoyé via la fonction `send_SMS()` lorsque la magnitude de l'accélération dépasse le seuil défini. La fonction `send_SMS()` prend les coordonnées de latitude et de longitude obtenues du GPS et envoie un SMS à un numéro spécifique avec ces informations.

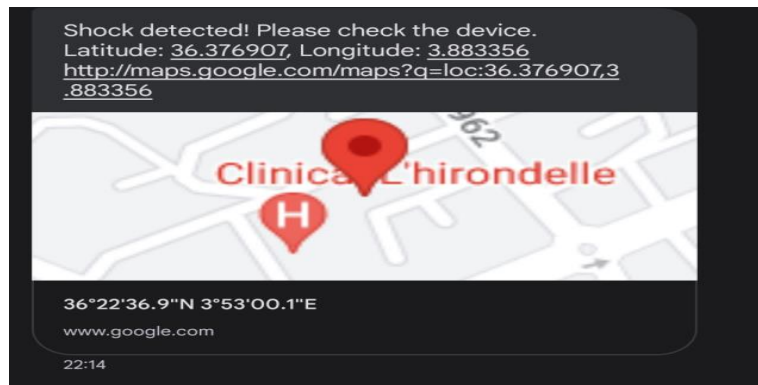


Figure III. 6 :SMS envoyer par le système lors de détection de choc

- **Envoi de SMS en réponse à une demande de localisation :**

Dans cette fonction `checkIncomingSMS()`, le programme vérifie si un SMS non lu contient la phrase "get Localisation". Si c'est le cas, il envoie la localisation actuelle en réponse en utilisant la fonction `sendLocationSMS()`. Si les données GPS ne sont pas valides, il envoie une localisation par défaut (0.0, 0.0).

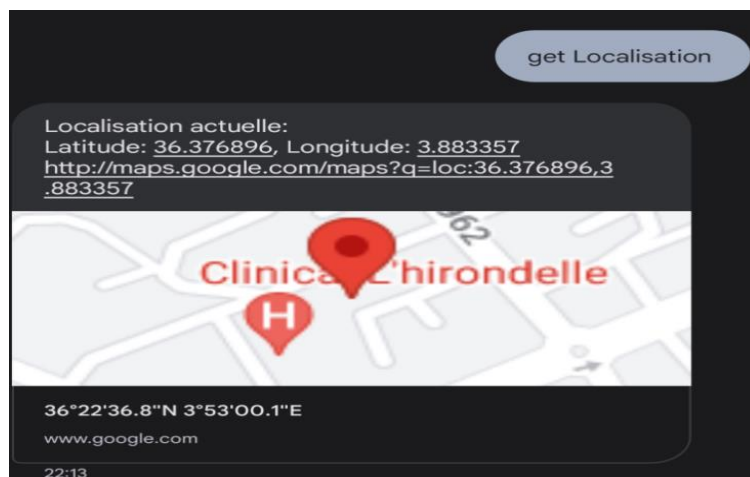


Figure III. 7 : SMS envoyé par le système après une demande.

9 Configuration de Firebase

Pour lier les données entre le code Arduino et le site web en utilisant Firebase, on suit les étapes suivantes :

Paramètres dans le Code Arduino pour Envoyer les Données à Firebase

Le code Arduino envoie les données à Firebase via des fonctions telles que `sendFloat()` et `sendString()`. On utilise les chemins de données (paths) pour structurer correctement les données dans la base de Firebase.

```

databasePath = "/UsersData/" + uid;
latPath = databasePath + "/latitude";
lonPath = databasePath + "/longitude";
speedPath = databasePath + "/speed";
shockPath = databasePath + "/shock";
locationURLPath = databasePath + "/locationURL";

```

Affichage des données dans Firebase : Realtime Database

Les données envoyées par l'esp32 seront collectées et affichées sur Firebase realtime database

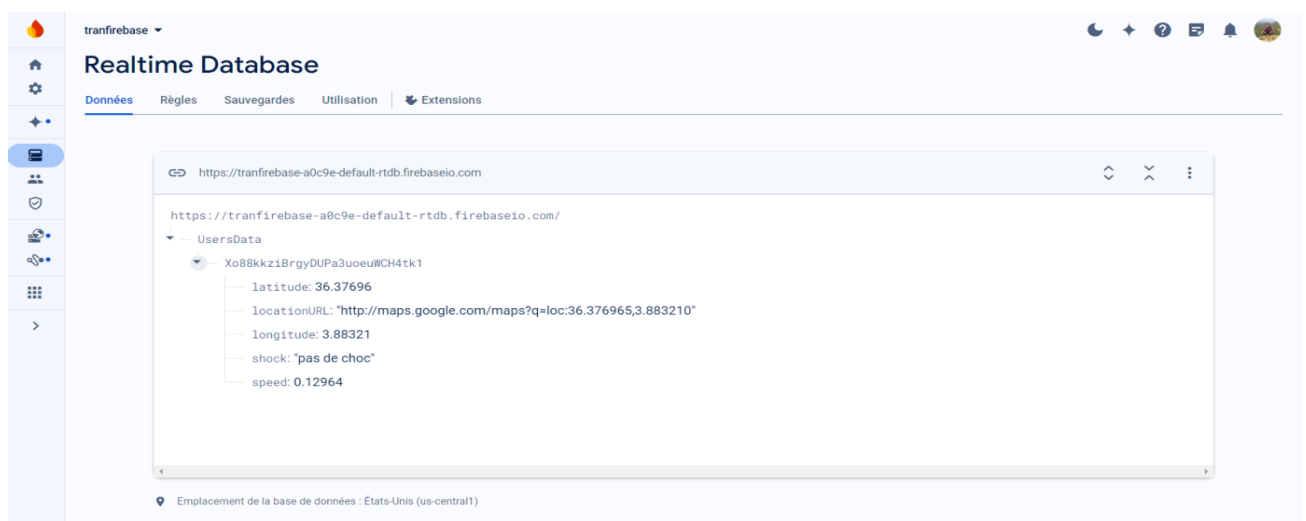


Figure III. 8 : affichage des donnees dans realtime database

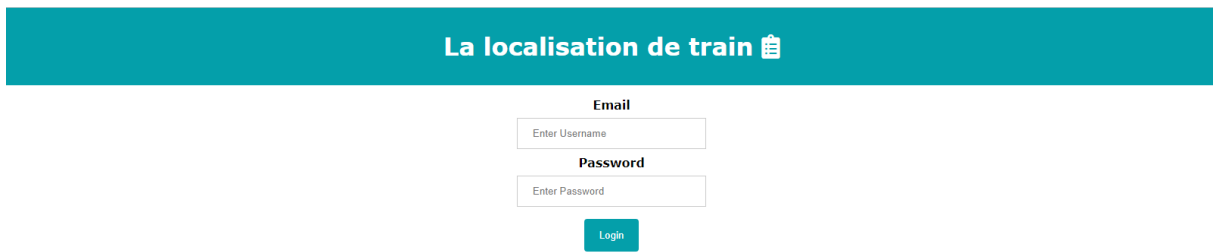
```

const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyBndsVyA-nV97sIDzFo1g-E21Ub3NXCn1Q",
  authDomain: "tranfirebase-a0c9e.firebaseio.com",
  databaseURL: "https://tranfirebase-a0c9e-default-rtdb.firebaseio.com",
  projectId: "tranfirebase-a0c9e",
  storageBucket: "tranfirebase-a0c9e.appspot.com",
  messagingSenderId: "914807362610",
  appId: "1:914807362610:web:1c9413d93a435b3d83982b",
  measurementId: "G-DZ2G3PE9P9"
}

```

Ou Login Page: contient un formulaire dans lequel l'utilisateur peut entrer son adresse électronique et son mot de passe. Lorsque l'utilisateur envoie ces informations en cliquant sur le bouton de soumission du formulaire, le code côté client envoie une requête au serveur pour vérifier les informations. Le serveur vérifie ensuite les informations dans sa base de données

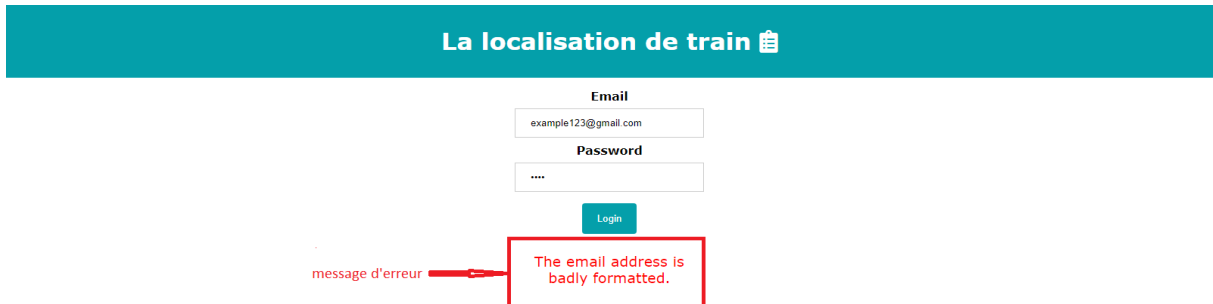
d'utilisateurs enregistrés. S'ils sont trouvés, la réponse au code côté client est renvoyée avec un jeton de session. Le navigateur client stocke ce jeton dans un cookie ou un stockage local.



The screenshot shows a login form on a page titled "La localisation de train". The form has two input fields: "Email" with the placeholder text "Enter Username" and "Password" with the placeholder text "Enter Password". Below the fields is a "Login" button.

Figure III. 9 : la page de connexion

Dans cette page de connexion, si un utilisateur entre un mot de passe incorrect, page de connexion affiche un message clair indiquant que le mot de passe est incorrect.



The screenshot shows the same login form as in Figure III. 9, but with an error message displayed below the "Login" button. The error message is "The email address is badly formatted." and is enclosed in a red box. A red arrow points from the text "message d'erreur" to the error message box.

Figure III. 10 : le message d'erreur en cas d'un mot de passe incorrect

Page de données

La page de données affiche une liste d'éléments de données. Lorsque l'utilisateur navigue vers la page de données, le code côté client envoie une demande au code côté serveur. Le code côté serveur récupère alors les éléments de données dans une base de données et les envoie au code côté client. Le code côté client rend alors les éléments de données sur la page.

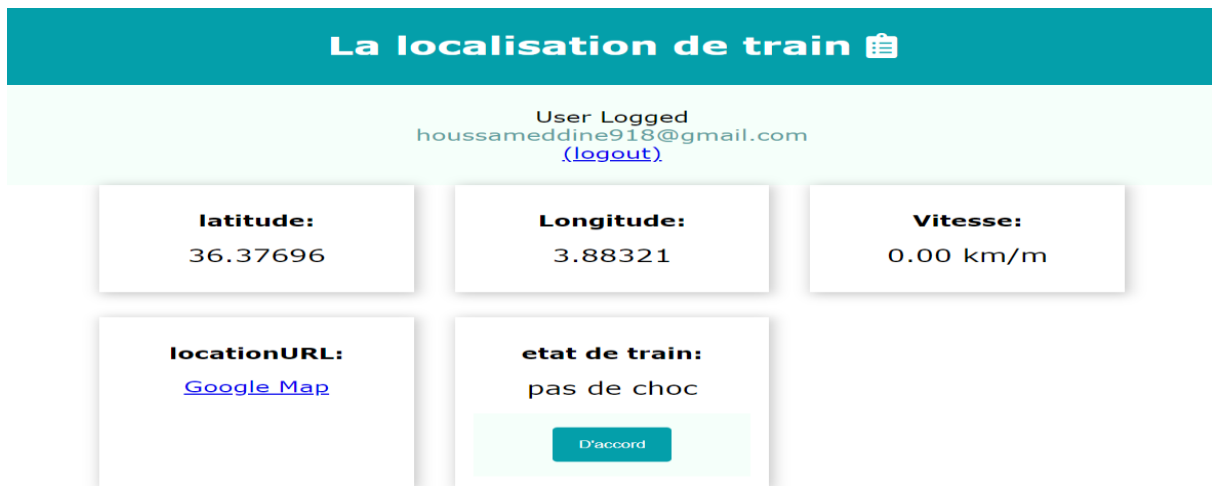


Figure III. 11 : visualisation en temps réel la position et état de train dans le site Web.

- **Champs de données :**
 - **Latitude** : La valeur “36.37696” représente la latitude actuelle du train.
 - **Longitude** : La valeur “3.88321” représente la longitude actuelle du train.
 - **Vitesse** : La valeur “0.00 km/m” indique la vitesse actuelle du train.
- **Boutons :**
 - **Google Map** : le bouton est le lien vers une vue cartographique de la localisation du train.
 - **État du train** : Le texte “pas de choc” signifie qu’aucune collision n’a été détectée sur le train.
 - **D’accord** : Ce bouton est utilisé pour informer d’avoir visualiser la notification de détection choc.

11 Réalisation Pratique du système de localisation et surveillance

Après avoir présenté sa structure matérielle dans le chapitre précédent, et sa conception logicielle dans ce chapitre nous arrivons enfin à la réalisation pratique de notre prototype de système de localisation et de surveillance des trains. La figure ci-dessous illustre le prototype réalisé.

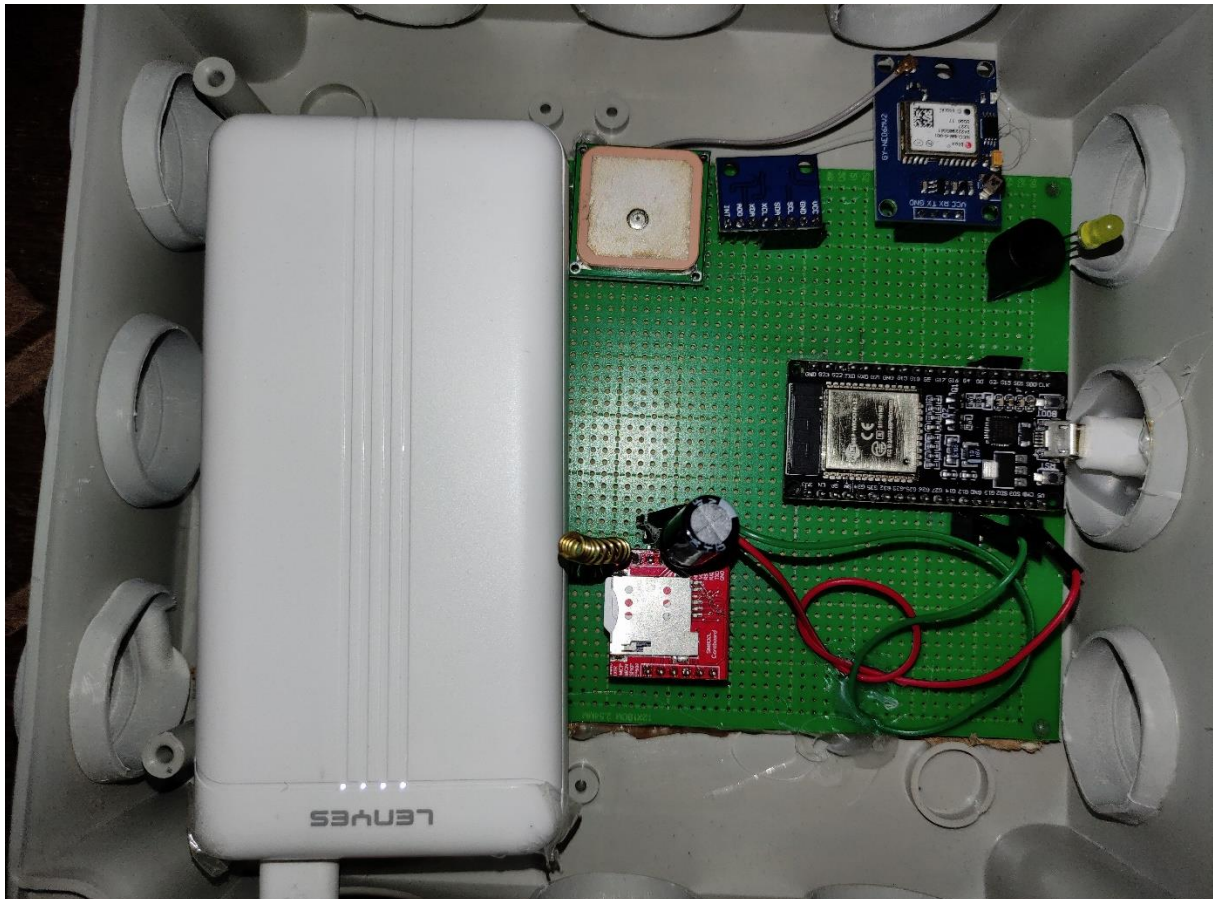


Figure III. 12 : Réalisation pratique de système de localisation et de surveillance.

12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit l'aspect logiciel de notre projet. Tout d'abord, nous avons listé de fonctionnement de chaque partie du code à implémenter sur l'ES32. Puis, la configuration de la liaison entre l'ESP32 et Firebase ainsi que le développement du site Web de surveillance et de localisation. Nous avons terminé ce chapitre par la réalisation pratique de notre système.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le système de surveillance et de localisation des trains en temps réel offre une solution complète pour améliorer la sécurité, l'efficacité et la ponctualité des opérations ferroviaires. En combinant des technologies de pointe et des outils de communication robustes, le système permet aux opérateurs ferroviaires de mieux gérer leurs flottes de trains, d'assurer la sécurité des passagers et d'offrir une meilleure expérience de voyage.

Ce travail a permis de mener une étude approfondie sur les systèmes de localisation et de surveillance, en couvrant tant leurs aspects matériels que logiciels.

Dans le Chapitre I, nous avons examiné les divers systèmes de localisation et de surveillance disponibles, tels que le GPS et le RFID, et présenté la structure générale de notre système, comprenant les dispositifs de localisation, les capteurs, les réseaux de communication, ainsi que l'interface de surveillance. Cette première partie a établi les bases nécessaires à la compréhension des technologies et des protocoles impliqués dans notre projet.

Le Chapitre II a été consacré aux composants matériels du système. Nous avons fourni des détails sur les équipements utilisés, tels que le Microprocesseur ESP32-WROOM, le NEO6MV2, le SIM800L, le MPU6050, ainsi que des composants auxiliaires comme le Buzzer et la Led, en décrivant leur configuration et leur interconnexion. Cette analyse nous a permis de comprendre les choix techniques effectués et leur impact sur les performances du système.

Enfin, le Chapitre III met l'accent sur la partie logicielle. Nous avons exploré le code dans l'environnement de développement Arduino IDE. Le code est programmé pour permettre au système d'envoyer des SMS via le module GSM, relayant des informations telles que l'état du train, sa position GPS et un lien vers une carte Google. Le récepteur GPS est utilisé pour extraire des données de position, de vitesse, et bien plus encore, permettant de suivre précisément le trajet du train. Le capteur accéléromètre indique l'état du train, permettant d'analyser le mouvement et le comportement du train. Les données collectées par ces capteurs sont ensuite reliées à une base de données Firebase. Enfin, les données sont récupérées et affichées sur le site web que nous avons développé dans un environnement de développement. Cette plateforme offre une surveillance en temps réel et une visualisation intuitive des données essentielles pour la gestion et la sécurité des opérations ferroviaires.

Conclusion Générale

Le système offre de nombreux avantages, ou, il permet une localisation en temps réel, réduit les temps d'attente, optimise la maintenance, améliore la gestion des incidents, et surveille les conditions environnementales.

Cependant, leur mise en place présente plusieurs défis : Assurer une localisation précise peut être difficile en zones obstruées, les signaux GPS/GSM peuvent être sujets à des interférences, la consommation d'énergie des composants doit être gérée efficacement, et le coût d'installation peut être élevé.

L'intégration de ces technologies offre des perspectives prometteuses. Elles permettent de détecter et de prévenir les incidents de sécurité, améliorent la gestion du trafic ferroviaire, optimisent l'utilisation des actifs, et réduisent les coûts de maintenance. En combinant ces systèmes avec l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique, il est possible d'automatiser la surveillance et la prise de décision, réduisant ainsi les erreurs humaines et améliorant l'expérience des passagers. Enfin, ces technologies stimulent l'innovation et la croissance dans le secteur ferroviaire, ouvrant la voie à de nouvelles applications et services.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Référence bibliographique

- [1] Death,G . (2023 , 16 octobre). " Derailment at Saint-Michel-de-Maurienne " .AdresseURL:<https://abhorrentafterdeath.bandcamp.com/album/derailment-at-saint-michel-de-maurienne> Consulté le 18 mars 2024
- [2] Savy, Michel. "Transport : une approche d'économie politique." L'Économie politique, Revue, numéro 2017/4 (N° 76), 2017, pages 8 à 23.
- [3] Synox.io. "La géolocalisation dans le transport de marchandises grâce à l'IoT" Adresse URL : <https://www.synox.io/cat-smart-transport/geolocalisation-transport-de-marchandises-iiot/> Consulté le 18 mars 2024.
- [4] Ainouz, S., & Bourenane, S. (2016). « Conception et réalisation d'un système de géolocalisation d'un véhicule dans une ville » Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté de Génie Électrique et d'Informatique, Département d'Électronique, Spécialité Télécommunications et réseaux.2016/2017.
- [5] Group DSI. (2023, 27 octobre) . "La RFID, un atout pour la géolocalisation". Adresse URL :<https://www.group-dsi.com/la-rfid-un-atout-pour-la-geolocalisation/> consulté le 20 février 2024.
- [6] DAHMANI, S, & HABIB, M. "La géolocalisation basée sur l'utilisation des systèmes d'informations géographiques." Mémoire de Master en Télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Faculté de Technologie, Département de Télécommunications,2015/2016.
- [7] Macro. (mise a jour le 2023, 8 septembre). "Comprendre le GPS : un guide complet et testez vos connaissances " . adresse URL : <https://techwatch.de/fr/Articles/comprendre-le-GPS-un-guide-complet-et-tester-vos-connaissances/> Consulté le 24 mars 2024.
- [8] Eduardo, T., & EL KARZAZI , A, & OUCHENE, Y "Développement d'un système de localisation et de suivi des véhicules." Rapport du projet de fin d'études, Université Sultan Moulay Slimane, École Supérieure de Technologie - Béni Mellal, Année universitaire 2019/2020.
- [9] Technogps.com. (2023, 1 Novembre). "Le système GPS se compose de plusieurs segments ".adresse URL :<https://www.technogps.com/> Consulté le 27 février 2024.
- [10] gps.gov . "Le GPS, qu'est-ce que c'est ?" .adresse URL <https://www.gps.gov/systems/gps/french.php> Consulté le 28 février 2024.
- [11] European Union. (2024,Janvier),"European Radio Navigation Plan 2023". Joint Research Centre, Adresse URL :<https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2024-01/ERNP-FR.pdf>. Consulté le 27 février 2024.
- [12] Sciencesequines."Ensemble pour mieux les connaître ".adresse URL :<https://sciencesequines.fr/actualites-2/> Consulté le 01 mars 2024.
- [13] Arouche, L. « Etude de la géolocalisation dans le réseau GSM » Master's thesis, Université A. Mira Bejaia. 2011/2012.

- [14] Fondation Tara Océan. . "Le GPS au service de la science ",adresse URL :<https://coulissesdelabo.fondationtaraocean.org/> consulte le 03 mars 2024.
- [15] SBG Systems. Comprendre les erreurs ionosphériques et au-delà : Explorer les conditions ionosphériques [Understanding ionospheric errors and beyond: Exploring ionoshield-mode/)
- [16] Cisco." Qu'est-ce que le Wi-Fi? ". adresse URL :https://www.cisco.com/c/fr_ca/products/wireless/what-is-wifi.html Consulté le 06 mars 2024
- [17] Cyril ,B. (2023, 13 avril). " Fonctionnement et avantages du Wi-Fi ". adresse URL :<https://www.zoneadsl.com/dossiers/maison-connectee/wifi-avantages-inconvenients.html> Consulté le 04 mars 2024.
- [18] Inmac Wstore " Le fonctionnement d'une carte réseau WiFi". adresse URL <https://www.inmac-wstore.com/guides-achat-composants-fonctionnement-carte-wifi/cp37687.htm> Consulté le 04 mars 2024.
- [19] iee.org "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications".adresse URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/7028/> Consulté le 11 mars 2024.
- [20] KOUROUMA F « Étude d'un Système de Géolocalisation Pour La Gestion Et Le Suivi D'une Flotte de Véhicules: Cas de La STA » Mémoire de fin de cycle de Licence Professionnelle, Haute École de Technologie et de Commerce , Paris, France.
- [21] Chiradeep, B. (2022, 11 Juillet), "What Is GSM (Global System for Mobile Communications)? Meaning, Working, Architecture, and Applications". Spiceworks.. Adresse URL :<https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-gsm/> Consulté le 13 mars 2024.
- [22] OfficeEasy. (2023, 29 mars). " Fréquences GSM : à quoi servent-elles et comment les obtient-on ? ".adresse URL : <https://www.officeeasy.fr/guides/amplificateur-gsm/ampgsm111.php> Consulté le 20 mars 2024.
- [23] lias lab.(2010-2011)."Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM". adresse URL : https://www.lias-lab.fr/perso/fredericlaunay/Cours/TR3/Cours_GSM.pdf Consulté le 13 mars 2024,
- [24] NordVPN. "Réseau cellulaire". adresse URL :<https://nordvpn.com/fr/cybersecurity/glossary/cellular-network/#:~:text=A%20cellular%20network%2C%20frequently%20referred,zones%2C%20each%20called%20a%20cell>. Consulté le 14 mars 2024
- [25] Mallick, C. (2022, 11 juillet). "What Is GSM (Global System for Mobile Communications)? Meaning, Working, Architecture, and Applications". adresse URL <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-gsm/> Consulté le 15 mars 2024

- [26] Teletopix.org. " Qu'est-ce que le système General Packet Radio GPRS en tant que communication sans fil 2G?". Adresse URL <https://teletopix.org/fr/quest-ce-que-le-systeme-general-packet-radio-gprs-en-tant-que-communication-sans-fil-2g/> Consulté le 16 mars 2024
- [27] Moncef, A., & Zakaria, A. « Conception de nouveau système d'antennes MIMO pour le standard 5G » Master's thesis. Université 8 Mai 1945 – Guelma, Faculté des sciences et de la Technologie.2021/2022.
- [28] univ-annaba. " caracteristiques metrologiques des capteurs. ". adresse URL :https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/pluginfile.php/29291/mod_resource/content/1/Ch%20II-Caract%C3%A9ristiques%20m%C3%A9trologiques%20des%20capteurs.pdf Consulté le 30 mars 2024.
- [29] Futura Sciences. (2021, 31 Octobre). " Accéléromètre : qu'est-ce que c'est ?". Adresse URL : <https://www.futura-sciences.com/> Consulté le 30 mars 2024.
- [30] Petrillo, A. (2022, 24 mars). Simulation des accéléromètres et des gyroscopes MEMS utilisés dans les unités de mesure inertielle. *COMSOL Blog*
- [31] Garcia-Montero, C. (2020, 13 Juillet).” Accéléromètre : définition et fonctionnement de l’appareil. Journal du Net - Dictionnaire de l’IoT. ». adresse URL : <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440652-accelerometre-definition-et-fonctionnement-de-l-appareil> Consulté le 30 mars 2024.
- [32] Zegaoui, A « Les Microprocesseurs & Les Microcontrôleurs. » Tome 01. Université Hassiba Benbouali de Chlef, Faculté de Technologie, Département d’Electrotechnique, Algérie.
- [33] Espressif Systems. "ESP32SeriesDatasheet. " . adresse URL :https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf Consulté le 26 mars 2024.
- [34] Xukyo. (Publié le 2021, 2 Février) "Vue d’ensemble du microcontrôleur NodeMCU ESP32". adresse URL. <https://www.aranacorp.com/fr/vue-densemble-du-microcontroleur-nodemcu-esp32/> Consulté le 27 Mai 2024.
- [35] Upesy. (mise a jour le 2023, 21 mars). " ESP Wroom Devkit Pinout: Utilisation des broches GPIO de l'ESP32 ". adresse URL : <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide?shpxid=b7b88761-e839-417d-b543-da14441c74f1> Consulté le 04 avril 2024
- [36] Letmeknow "Module GPS". adresse URL : <https://letmeknow.fr/fr/mouvements-et-positions/1247-module-gps-3007591023705.html>.. Consulté le 07 mai 2024.

- [37] ElectroProto. " Module GPS GY-NEO6MV2 de géolocalisation ". adresse URL :<https://electro-proto.fr/capteurs-electroniques/45-module-gps-gy-neo6mv2-compatible-arduino-raspberry-stm32-3760373490248.html> Consulté le 07 mai 2024.
- [38] TipTopBoards . "Module GPS GY-NEO6MV2." adresse URL :<http://tiptopboards.com/338-module-gps-gy-neo6mv2-.html> Consulté le 11 avril 2024.
- [39] CGEOS. "les trames NMEA" .adresse URL : <https://cgeosbe.weebly.com/nmea.html>. Consulté le 15 avril 2024.
- [40] Components101 ,(2021, 30 September)." SIM800L GSM Module Pinout, Datasheet, Equivalent, Circuit, and Specifications ". adresse URL :<https://components101.com/wireless/sim800l-gsm-module-pinout-datasheet-equivalent-circuit-specs>. Consulté le 17 mai 2024.
- [41] Components101. (2021, 30 Septembre)."SIM800L GSM Module".adresse URL :<https://components101.com/wireless/sim800l-gsm-module-pinout-datasheet-equivalent-circuit-specs> Consulté le 27 mai 2024.
- [42] Draif, K. "Comment utiliser SIM800L et SIM900 module GSM GPRS avec Arduino. " , adresse URL: <https://www.moussasoft.com/comment-utiliser-sim800l-et-sim900-module-gsm-gprs-avec-arduino/>(<https://www.moussasoft.com/comment-utiliser-sim800l-et-sim900-module-gsm-gprs-avec-arduino/> . Consulté le 29 April 2024.
- [43] Lextronic. "IMU 6 DoF (Accéléromètre + gyroscope) " .adresse URL :<https://www.lextronic.fr/centrales-imu-6-dof-accelerometre-gyroscope-10486>. Consulté le 29 April 2024.
- [44] ElectronicWings. "MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor Guide with Arduino Programming.". Adresse URL : <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/mpu6050-gyroscope-accelerometer-temperature-sensor-module>. Consulté le 02 mai 2024.
- [45] Smoot, R .(2020, 26 mars). " Techniques de conception pour augmenter la sortie audio d'un buzzer à transducteur piézoélectrique" . Adresse URL : <https://www.digikay.fr/fr/articles/design-techniques-to-increase-a-piezo-transducer-buzzer-audio-output> Consulté le 15 mai 2024.
- [46] SimplyScience."Qu'est-ce qu'une diode électroluminescente (LED)?"adresse URL :<https://www.simplyscience.ch/fr/jeunes/decouvre/qu-est-ce-qu-une-diode-electroluminescente> Consulte LE 28 mai 2024
- [47] Projet.eu.org. " Fritzing: Tutoriel de prise en main". adresse URL :<https://projet.eu.org/pedago/sin/tutos/fritzing.pdf>. Consulté le 30 April 2024.
- [48] BlaisePascal,"Présentation de l'IDE Arduino.". adresse URL : <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/logiciel/>. Consulté le 06 mai 2024.
- [49] Yield Studio "Firebase : Plateforme de développement mobile".adresse URL :www.yieldstudio.fr/glossaire/firebase-plateforme-developpement

[mobile#:~:text=En%20r%C3%A9sum%C3%A9%20C%20Firebase%20est%20une,plus%20rapidement%20et%20plus%20facilement.](#) Consulté le 08 mai 2024.

- [50] "Visual Studio."adresse URL : <http://Microsoft.visualstudio.microsoft.com/fr/> consulte le 20 avril 2024.
- [51] Mozilla Developer Network. (2023, 3 août). "HTML (HyperText Markup Language)".adresse URL : <https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/HTML> Consulte le 20 mai 2024.
- [52] Mozilla Developer Network. (2023, 3 août). "Qu'est-ce que le JavaScript ?". adresse URL :https://developer.mozilla.org/fr/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript Consulte le 20 mai 2024.