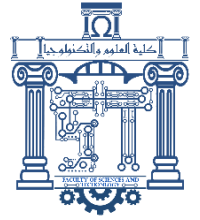




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Republique Algerienne Democratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique
En Électronique

Spécialité : Instrumentation

Présenté par :

Mohamed BOWBA

Noureddine GATTAL

THÈME

**Réalisation d'un TRACKER GPS
utilisant une carte SIM**

Mémoire soutenu publiquement, le 13/06/2022, devant le jury composé de :

- | | |
|------------------|-----------|
| • Dr. A. GATTAL | Président |
| • Dr. M. MAAMRI | Examineur |
| • Dr. H. NEZZARI | Encadreur |

Promotion : 2021/2022

Our emotions tell us what to value. They're like a little GPS system:

Go that way. Don't go that way.

David Brooks Conservative political and cultural commentator who writes for The New York Times.

Dédicaces



☞ Nouredine

*Je dédie ce modeste travail aux personnes chères à mon cœur,
À mes parents, qui ont su m'inculquer une éducation de sagesse et de claire voyance.
À mes grands-parents Allah yerhamhom.
À mon frère Djahid Et toute la famille.
Et un merci spécial à mon oncle KH. MOSBAH pour l'avoir encouragé dans les moments
difficiles.
À mon binôme Mohhamed.
Tous mes amis.*

☞ Mohhamed

*Je dédie ce modeste travail aux personnes chères à mon cœur,
À mes parents Marieme Haybella ,Mahfoudh Bowba , qui ont su m'inculquer une éducation
de sagesse et de claire voyance.
À mes grands-parents Allah yerhamhom, Jaha Bowba ,Habelli Haybella.
À mes frères Mahfoudh Talebmehdi, Bollah.
À mes sœurs Bouchra Zainabou.
À une personne chère à mon cœur qui se reconnaîtra.
À mon binôme Nouredine.
À mes amies Ahmed bouhmadi, Ahmed Amar , Ahmed Salim khatari et Lhaj chwayile.*

Remerciements

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination, nos années d'étude nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

Nous remercions tout d'abord, le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, la force, le courage, et la patience pour pouvoir surmonter les moments difficiles, et atteindre nos objectifs et sans lesquels notre projet n'aurait pas pu voir la lumière de ce jour.

Nous remercions sincèrement tous ceux qui ont contribué du près ou du loin, à la réalisation de ce projet, plus particulièrement :

Notre promoteur M. Nezzari Hassene de nous avoir accepté notre idée, pour ses conseils et surtout pour son encouragement.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils vont bien porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier nos famille (les familles Gattale et Bowba) pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans eux ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé du près ou du loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciement	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Liste des abréviations	ix
Résumé	xii
Introduction Générale	1

Chapitre I : Système de Positionnement Global GPS

1. Introduction.....	03
2. L'histoire du GPS.....	03
3. Technologie GPS.....	04
3.1 Composition du GPS.....	05
3.1.1 La partie spatiale.....	06
3.1.2 La partie de contrôle.....	07
3.1.3 La partie utilisateur.....	07
3.2 Modernisation du système GPS.....	08
3.3 le positionnement des satellites.....	09
3.3.1 La trilatération.....	09
3.3.2 Localisation d'une position avec le récepteur GPS.....	11
3.3.1 Calcul de la position.....	12
3.4 Structure des signaux.....	13
3.5 Erreurs possibles.....	14
3.6 Les inconvénients du GPS.....	15
4 Conclusion.....	15

Chapitre II : Système Mondial de Communication Mobile GSM

1. Introduction.....	16
2. Historique.....	16
3. Technologie GSM.....	17

3.1 Architecture du système GSM.....	18
3.2 Sous-système de station de base (BSS).....	19
3.2.1 Station de base de l'émetteur-récepteur (BTS).....	19
3.2.2 Contrôleur de station de base BSC (Base station Controller).....	20
3.3 La station mobile (MS).....	20
3.3.1 Identité internationale de l'abonné mobile (IMSI).....	21
3.3.2 Identité internationale d'équipement de station mobile (IMEI).....	22
3.4 Le sous-système réseau (NSS).....	22
3.4.1 Centre de commutation mobile (MSC).....	22
3.4.2 Le registre de localisation des visiteurs (VLR).....	23
3.4.3 Registre de localisation du domicile (HLR).....	23
3.4.4 Centre d'authentification (AUC).....	23
3.4.5 Registres d'identité d'équipement (EIR).....	24
3.5 Interfaces GSM.....	24
3.6 Le centre de service de messagerie courte (SMSC).....	26
3.7 Structure du réseau GSM.....	27
4. Géolocalisation par GSM.....	28
4.1 L'angle d'arrivée (TAO Time Of Arrival).....	28
4.2 Le système d'identification de cellule « cell ID ».....	29
5. Conclusion.....	29

Chapitre III : Conception et Réalisation du Système Tracker GPS

1. Introduction.....	30
2. Composition du système Tracker.....	30
2.1 La carte Arduino Nano.....	31
2.1.1 Caractéristiques techniques Arduino Nano.....	32
2.1.2 Architecture de l'Arduino Nano.....	33
2.2 Le module GPS (NEO-6M).....	34
2.2.1 Caractéristiques techniques GPS NEO-6M (Annexe I).....	34
2.2.2 Configuration et teste initial du module GPS (Neo-6m).....	35
2.2.2.1 Code de test Arduino (GPS NEO-6M).....	36
2.2.2.2 Résultat de test.....	37
2.3 Le module GSM (SIM 800L GSM/GPRS).....	37

2.3.1	Caractéristiques techniques SIM 800L.....	38
2.3.2	Architecture SIM 800L.....	39
2.3.3	Commandes AT (Annexe II).....	39
2.3.4	Configuration et teste initial du module SIM 800L.....	41
2.3.4.1	Code Arduino (GSM).....	42
2.3.4.2	Résultats de test (GSM).....	43
3.	Simulation.....	43
3.1	Présentation des logiciels de simulation.....	43
3.2	Simulation du système Tracker GPS dans l’environnement Proteus.....	44
4.	Réalisation du système Tracker GPS.....	45
4.1	Circuit de puissance.....	45
4.2	Circuit de commande.....	45
4.2.1	La communication série.....	46
4.2.2	Programme général (Annexe III).....	47
5.	Mise en marche du Tracker et exemples de fonctionnement.....	47
6.	Conclusion.....	51
	Conclusion Générale	52
	Bibliographie	53
	Annexe I	56
	Annexe II	59
	Annexe III	63

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Système de Positionnement Global GPS

Figure I.1: Les trois segments du GPS.

Figure I.2: Satellites GPS dans l'espace.

Figure I.3 : Contrôle principal du système de positionnement global (GPS) et réseau de stations de surveillance.

Figure I.4 : Différent types de la partie utilisateur de GPS.

Figure I.5 : Utilisation de trois satellites.

Figure I.6 : Principe de base du positionnement avec GPS.

Figure I.7 : Différents paramètres pour calculer la position.

Chapitre II : Système Mondial de Communication Mobile GSM

Figure II.1 : Architecture de base GSM.

Figure II.2 : Figure Format 2MSISDN.

Figure II.3 : Format IMEI.

Figure II 4 : Interfaces 5 GSM.

Figure II 5 : Sous-Systèmes GSM.

Figure II 6 : Interfaces GSM.

Figure II.7 : Positionnement par TAO.

Figure II.8 : Positionnement par Cell ID.

Chapitre III : Conception et Réalisation du Système Tracker GPS

Figure III.1 : Arduino Nano.

Figure III.2 : Schéma de brochage Arduino Nano.

Figure III.3 : Module GPS (Neo-6m).

Figure III.4 : Schéma de brochage GPS Module (Neo-6m) avec Arduino Nano.

Figure III.5 : Code de test GPS.

Figure III.6 : Configuration Module GPS NEO-6M avec Arduino Nano.

Figure III.7 : Résultats de l'exemple de test du module GPS NEO-6M.

Figure III.8 : Le module GSM (SIM 800L GSM/GPRS).

Figure III.9 : Schéma GSM Module (SIM 800L GSM/GPRS) de brochage.

Figure III.10 : Schéma de brochage du Module GSM avec Arduino Nano.

Figure III. 11 : Exemple de test du Module GSM avec Arduino Nano.

Figure III. 12 : Proteus 8 Professionnel.

Figure III. 13 : Exemple de simulation du système Tracker GPS par PROTEUS.

Figure III.14 : Circuit de puissance et commande du Tracker GPS.

Figure III.15 : Exemple de localisation GPS.

Figure III.16 : Exemple de localisation par GSM, dans le cas ou GPS n'est pas actualisé.

Figure III.17: Exemple de changement de numéro d'utilisateur.

Figure III.18 : Exemple de fonctionnement des télé-capteurs.

Figure III.19 : Exemple de commutation d'une LED ou un Buzzer.

Figure III.20 : Exemple de lecture de l'état de la batterie.

Figure III.21 : Exemple d'activation du mode d'écoute.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques Arduino Nano.

Tableau III.2 : Commandes AT.

LISTE D'ABREVIATION

2G 2^{ième} Génération

3G 3^{ième} Génération

AFB Air Force Bas

ARNS Service de radionavigation aéronautique

AuC Authentication Center

A- Assisted GPS

AT Attention

AC indicatif interurbain

AMR Adaptive Multi Rate

BTS Station de base

BSS Base Station Sub-System

BSC Contrôleur de station de base

CC Indicatif de pays

CELL-ID cellule identification.

CEPT Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications

DTAP Direct Transfer Application Part

EEPROM Electric Erasable Programmable Read Only Memory

EDGE Enhanced Data Rates for GSM Evolution

E-OTD Enhanced Observed Time Différence

EIR Equipment Identity Register

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FAC Final Assembly Code

FOC Full Operational Capability

GPS Global Positioning System

GSM Global System Mobile Communication

GPRS General Packet Radio Service

GMSC Gateway Mobile Switching Center

HLR Home Location Register

IOC Initial Opérationnel Aptitude

IMSI International Mobile Subscriber Identity

IDE Integrated Development Environment
ISDN Integrated Service Digital Network
ITINERIS Itineris était le nom du service de téléphonie mobile GSM
LED Diode Electriquement Lumineuse
L2C le second signal civil
MS Mobile Station
MSISDN Mobile Station ISDN Number
MSCS moissy supply chain services
MSIN Mobile Station Identification Number
MEI International Mobile Equipment Identity
MNC Mobile Network Code
MSRN Mobile Station Roaming Numbe
MSC Commutateur du service mobile
NSS Network Sub system
NDC Indicatif national de destination
OSS Network Mangement Center
OMC Operation and Maintenance Center
PCU Packet control Unit
PUK Personnal unlocking key
PSTN Public switched telephone network
PWM Pulse Width Modulation
PNC personnel navigant commercial
PDN Packet Data Network
PIN Personal Identification Number
RFID Radio Frequency Identification and Detection
RTC Réseau Téléphoniques Commuté
RTPC Réseau Téléphoniques public Commuté
RNIS Réseau numérique à intégration de services
SA Selective Availability
SN Numéro d'abonné
SIM Subscriber Indentity Module
SMS short message system

SFR Forfaits mobiles et smartphones
SNR Sérial number
SMG Service de médecine génétique
SMSC Short Messaging Service Center
SPARE Chiffre restant est un identifiant SP de réserve
TAC Type Approval Code
TAO Time Of Arrival
Tx, Rx Transmission, Reception
UIT (Union Internationale des Télécommunications
USB Universal Serial Bus
UMTS Universal Mobile Telecommunications System
UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter
VLR Visitor Location Register
VIN Tension d'entrée positive
Wi-Fi Wireless Fidelity
WAP standard permettant l'affichage de pages Web sur Mobile

ملخص:

يهدف هذا المشروع إلى تصميم و انجاز وتطوير نظام لاقتناء الأثر, يعمل بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS), وينقل البيانات عبر الرسائل القصيرة, باستعمال النظام العالمي لاتصالات الهواتف المحمولة (GSM), كما أن للجهاز وظائف أخرى كالتحكم في الاجهزة عن بعد وأخذ القياسات عن بعد أيضا, وذلك باستخدام الحساسات لاستقبال مختلف البيانات المراد قياسها كالحرارة والرطوبة وشدة الاضاءة كما أنه يمكن تحديد المواقع بالاعتماد على شبكة GSM في حالة فقدان إشارة GPS. من خلال هذا العمل قمنا بدراسة وحدتي GPS و GSM وكيفية دمجهما بجهاز Arduino Nano والتحكم بهما مع الحساسات المضافة للنظام. من أهم مزايا هذا النظام أنه يمكن استخدامه في عدة مجالات كتتبع الأشخاص, الحياة البرية, المركبات ومجال لوجستيك البضائع.

الكلمات الدلالية: GPS, GSM, Arduino, القياس عن بعد, المراقبة عن بعد.

Résumé :

Ce projet vise à concevoir, réaliser et développer un système de suivi GPS. Les données se transmettent par des SMS, en utilisant le système mondial de communications mobiles (GSM). Le système a également d'autres fonctions telles que le contrôle à distance et la télémétrie, en utilisant des capteurs pour recevoir les différentes grandeurs à mesurer, telles que la température, l'humidité, l'intensité de l'éclairage...., Il est possible aussi de localiser les cibles en exploitant le réseau GSM, dans le cas de perte du signal GPS ou dans des endroits fermés. A travers ce travail, en utilisant l'Arduino, on a pu étudier et commander les modules GPS et GSM, intégrer des capteurs pour la télémétrie et commander des actionneurs à distance. L'un des avantages les plus importants de ce système est qu'il peut être utilisé dans plusieurs domaines tels que le suivi des personnes, de la faune sauvage, des véhicules et dans le domaine de la logistique des marchandises.

Mots clés : GPS, GSM, Arduino, Télémétrie, Télé contrôle.

Abstract:

This project aims to design, build and develop a GPS tracking system. Data is transmitted by SMS, using the Global System for Mobile Communications (GSM). The system also has other functions such as remote control and telemetry, using sensors to receive the different quantities to be measured, such as temperature, humidity, intensity of illumination...., It is also possible to locate a targets by exploiting the GSM network, in the case of GPS signal loss or in closed places. Through this work, using the Arduino, we were able to study and control the GPS and GSM modules, integrate sensors for telemetry and control actuators remotely. One of the most important advantages of this system is that it can be used in several fields such as tracking people, wildlife, vehicles and in the field of goods logistics.

Key words: GPS, GSM, Arduino, Telemetry, Remote Control.

Introduction générale

Le Tracker GPS est une technologie de géolocalisation, qui peut être adoptée à une cible mobile quelconque. Une variété d'applications peut être aussi associée au Tracker GPS, selon la nature de la cible à localiser, à suivre, à surveiller ou même à contrôler. Dans ce qui suit nous citeront quelques exemples d'applications possibles du Tracker GPS sur différents types de cibles.

La vie sauvage : Historiquement, le suivi de la faune était quelque chose que les gens devaient faire en suivant un animal, en observant comment il se déplaçait et en observant ses habitudes typiques. Avec un peu de chance, il serait possible d'attraper l'animal, de le marquer et de le relâcher dans la nature. Espérons que le même animal puisse être capturé à l'avenir, ce qui permettrait aux scientifiques d'en savoir plus sur ses comportements et ses habitudes. Aujourd'hui, les scientifiques disposent d'outils comme le GPS qui aident à observer et à suivre les animaux pour en savoir plus sur leurs comportements [1, 2].

Les humains : Le système de positionnement global (GPS) est de plus en plus adopté par les entreprises privées et publiques pour suivre et surveiller les humains pour les services basés sur la localisation. Certaines de ces applications incluent des localisateurs personnels pour les enfants, les personnes âgées ou souffrant d'Alzheimer ou de perte de mémoire, et la surveillance des libérés conditionnels à des fins d'application de la loi, de sécurité ou de protection personnelle [3].

Les véhicules : Le système de positionnement global (GPS) est de plus en plus utilisé pour le suivi et la surveillance des véhicules. De nombreux systèmes ont été créés pour fournir de tels services, ce qui les rend populaires et nécessaires plus que jamais. Ces systèmes sont utiles aux exploitants de flotte pour surveiller le comportement de conduite des employés ou des parents surveillant leurs conducteurs adolescents. De plus, ce système peut être utilisé dans la prévention du vol comme dispositif de récupération en plus de fonctionner comme un système de sécurité combiné avec des alarmes de voiture. Les services de suivi du système comprennent l'acquisition de l'emplacement et de la vitesse au sol d'un véhicule donné à l'instant présent ou à toute date antérieure. Il surveille également le véhicule en fixant des limites de vitesse et géographiques et reçoit donc des alertes SMS lorsque le véhicule dépasse ces limites prédéfinies. De plus, tous les mouvements et arrêts d'un véhicule donné peuvent également être surveillés [4, 5].

Les marchandises : La gestion de la logistique est un aspect très important dans les applications en temps réel. Pour traiter des problèmes rencontrés par les véhicules chargés de marchandises, tels que la livraison retardée des marchandises, la surcharge des véhicules, l'identification de l'emplacement du véhicule et l'égarement des marchandises. Des systèmes utilisant une étiquette RFID (Radio Frequency Identification and Detection) sont proposés pour identifier les marchandises afin d'éviter les égarements et un capteur de poids est utilisé pour éviter les surcharges de marchandises dans le véhicule. Le GPS et le GSM sont utilisés pour suivre le véhicule et envoyer périodiquement les détails des marchandises à la source [6].

A cet effet, et dans le but de réunir toutes ces applications, ce travail propose un outil universel de géolocalisation qui repose sur la technologie GPS, et un moyen de contrôle à distance utilisant la technologie de télécommunication mobile GSM/GPRS. Ce prototype est conçu pour être un modèle multifonctionnel, qui peut adopter d'autres fonctions avec le moindre ajustement sur sa structure matérielle.

Le système réalisé se compose de trois parties essentielles. Un récepteur GPS qui reçoit les données de géolocalisation à travers des satellites, un moyen de communication entre le système et l'utilisateur, pour recevoir les données d'une part et de commander le système à distance d'autre part et particulièrement de fournir la position approximative de la cible en cas de perte du signal GPS ou dans des lieux fermés et un contrôleur pour gérer les différentes parties, effectuer des calculs, prendre des décisions et de contrôler à distance. Dans ce contexte, ce mémoire est rédigé en trois chapitres relatifs aux composantes de ce système.

Le premier chapitre est dédié au système GPS, où un aperçu complet de ce système était présenté, tel qu'historique, composants, services, structure du signal, erreurs, modernisation et applications GPS.

Le deuxième chapitre est consacré au système GSM/GPRS, où on a essayé de jeter un regard détaillé sur le système de GSM commençant par un historique sur l'évolution de cette technologie, son architecture et la géolocalisation utilisant le système GPRS.

Le troisième chapitre est le fruit de ce projet de fin d'étude qui représente la partie de la conception et de la réalisation de ce travail. Il commence par une présentation des différentes parties constituant le système Tracker GPS, ainsi le test et la mise en marche de chaque partie. Puis, un aperçu sur l'assemblage du système est pris en considération en vue de la partie programmation, simulation, réalisation et tests et exemples d'utilisation.

Chapitre I :

Système de positionnement global GPS

Chapitre I Système de positionnement global GPS

I.1 Introduction :

Le développement dans lequel nous vivons commence toujours par une question, puis devient une idée, puis une ambition, il en va de même pour la question où suis-je? Comment puis-je y arriver? Le GPS répond à ces questions.

Le GPS a fait un saut technologique unique en offrant une navigation continue en temps réel et positionnement haute résolution. Dans ce chapitre, nous essaierons de donner un aperçu complet de ce système tel qu'historique, composants, services, structure du signal, erreurs, modernisation et applications GPS.

I.2 L'histoire du GPS

Le système de positionnement global (GPS) a une longue histoire d'essais, d'erreurs, de raffinement et amélioration. Son objectif est passé d'un atout stratégique militaire à une utilisation publique dans les voyages, l'agriculture et même bancaire. Les débuts du GPS, introduits avec une idée simple, remontent à l'Union soviétique à la fin des années 1950 [7].

Nous rappelons ci-dessous une brève chronologie du développement du système GPS:

-1973 : Décision prise de construire un système de navigation par satellite.

-1974-1979 : Des essais du système sont entrepris.

1977 : Les premiers tests de récepteurs sont réalisés avant même la mise en orbite des premiers satellites. Les tests ont utilisé des émetteurs installés à terre appelés pseudo-satellites.

-22/02/1978 : Lancement du 1^{er} satellite GPS du BLOCK 1.

-1978-1985 : 11 satellites ont déjà été mis en orbite durant cette période. Les satellites sont développés pour valider le concept de GPS. Aucun satellite de cette génération n'est encore utilisé.

-1980-1982 La situation financière de l'entreprise est devenue critique ; Son utilité a été remise en question par les sponsors.

- 1983 : Suite au crash du vol Korean Air 007, le président américain Ronald Reagan a proposé d'ouvrir le système GPS pour l'aviation civils du monde entier.

-**14/02/1989** : Le 1^{er} satellite du BLOCK 2 est installé et mis en service. Ce type de satellite est beaucoup plus précis et peut rester 14 jours sans contact avec les stations de surveillance tout en conservant une précision suffisante.

- **1990-1991** : Désactivation temporaire de la disponibilité sélective (SA) pendant la première guerre du Golfe. Le nombre de récepteurs GPS militaires disponibles étant insuffisant, les récepteurs GPS civils sont utilisés. Le **01/07/1991**, la disponibilité sélective a été réactivée.

-**12/08/1993** : La Capacité Opérationnelle Initiale est annoncée (IOC, The Initial Opérationnel Aptitude). La même année, il a été décidé d'autoriser l'utilisation civile gratuite du GPS, à l'échelle mondiale.

-**Mars 1994** : La constellation se complète avec les satellites BLOCK 2.

-**17/07/1995** : La capacité opérationnelle totale est annoncée (FOC, Full Operational Capability).

-**01/05/2000** : Désactivation définitive de la disponibilité sélective et amélioration en conséquence de la précision pour les utilisateurs civils, d'environ 100 m à 20 m.

-**26/09/2005** : Lancement du 1^{er} satellite GPS-2R-M. Ces nouveaux satellites prennent en charge le nouveau signal militaire M et le second signal civil L2C.

-**24/03/2009** : Lancement du 20^{ème} satellite du BLOCK 2R-M. Cela fait partie de la modernisation satellites du système GPS. Il diffuse le nouveau signal civil sur la fréquence L5. L'intégration du signal L5 sur ce satellite vise à :

- Placer un émetteur de signal L5 en orbite pour prouver qu'il n'interfère pas avec d'autres Signaux GPS déjà diffusés.
- Autoriser les fabricants de récepteurs GPS d'avoir le signal L5 diffusé à partir de l'espace pour tester leurs récepteurs prenant en charge le signal L5.
- Servir la fréquence L5 pour le système GPS conformément aux spécifications de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications). En effet, le signal L5 devait être diffusé avant le 26/08/2009 ; sinon la fréquence peut être exploitée par une autre organisation. Le satellite a commencé l'émission du signal L5 le 10/04/2009 à 11h58 UTC [8].

I.3 Technologie GPS

Le GPS consiste en un réseau de 24 satellites répartis sur six trajectoires orbitales différentes de 12 heures, espacées de sorte que cinq sont au moins en vue de chaque point du globe. Les satellites transmettent en continu des données de navigation militaire et civile sur deux fréquences en bande L. Cinq stations de surveillance et quatre antennes situées au sol

dans le monde entier collectent passivement des données de portée sur la position exacte de chaque satellite. Le système relaie ces informations à la station de contrôle principale de la base aérienne de Schrever au Colorado, qui assure la coordination globale du réseau et transmet les données de correction aux satellites. Chaque satellite émet des signaux radio qu'un récepteur (dispositif miniaturisé) calcule la distance parcourue, la distance à la destination et l'heure du lever et du coucher du soleil. Pour obtenir une fixation précise sur un objet ou une personne en mouvement, le GPS détermine le temps nécessaire à un signal satellite pour atteindre un récepteur, ce qui génère son propre signal. En supposant que les signaux sont synchrones, Le GPS compare le code numérique pseudo-aléatoire du signal satellite (une signature numérique unique pour chaque satellite) avec le PNC (Paper Nautical Charts) des récepteurs pour déterminer le temps de parcours du signal.

Étant donné que les satellites sont à près de 11 000 milles, une erreur de calcul du temps de trajet du signal de quelques millisecondes peut entraîner une erreur de localisation pouvant atteindre 200 milles. Les satellites utilisent donc des horloges atomiques extrêmement précises et coûteuses. L'horloge d'un récepteur n'a pas besoin d'être aussi précise car elle mesure la distance jusqu'à un quatrième satellite pour synchroniser son PNC avec les satellites et corriger tout décalage de synchronisation. Parce que les satellites servent en tant que points de référence, un suivi précis de la localisation nécessite de savoir exactement où ils se trouvent à tout moment. En plus du code pseudo-aléatoire, les signaux satellites incluent des données de navigation. Les stations de surveillance et les antennes au sol, qui vérifient la vitesse, la position et l'altitude des satellites, recherchent les erreurs d'éphémérides (orbitales) causées par les attractions gravitationnelles de la lune et du soleil ainsi que la pression de rayonnement solaire. Les moniteurs transmettent ces informations aux satellites qui les intègrent dans les signaux de synchronisation [9].

I.3.1 Composition du GPS

Dans le langage courant, on utilise le mot « GPS » pour désigner le récepteur où « GPS » désigne le système de positionnement en entier. [10].

Le GPS se compose de trois parties comme le montre la figure I.1 :

- Partie spatial.
- Partie de contrôle.
- Partie utilisateur.

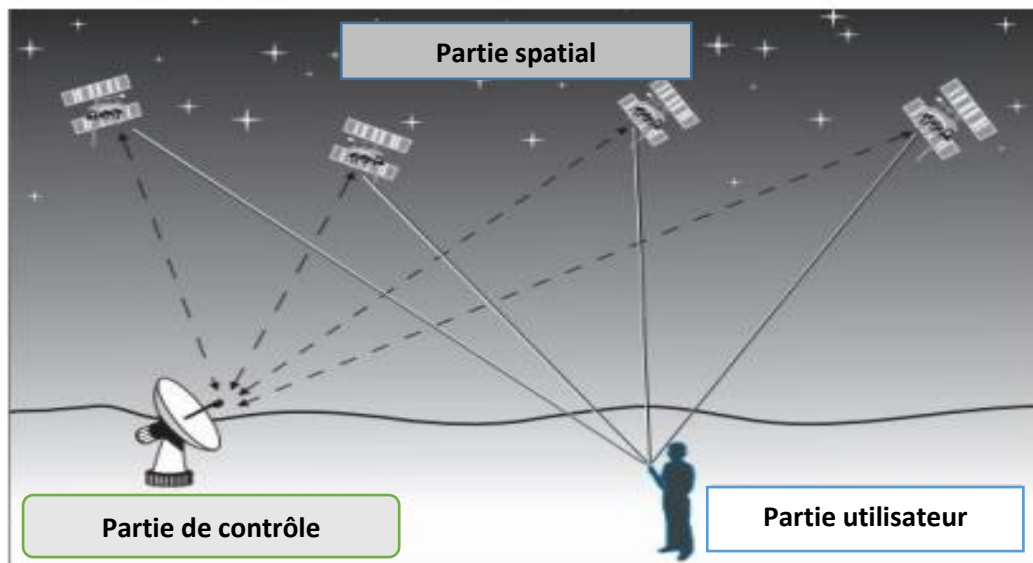


Figure I.1: Les trois segments du GPS.

I.3.1.1 La partie spatiale

Les satellites GPS décrivent des orbites circulaires d'une durée de 12 heures, à 17 440 km d'altitude. Les orbites sont inclinées de 55° par rapport à l'équateur pour assurer une couverture des régions polaires. Les satellites s'orientent continuellement pour pointer les panneaux solaires qui les alimentent vers le soleil et les antennes vers la terre pour transmettre les données comme la position et l'heure du réseau GPS. La partie spatiale est constitué d'un groupe de 24 satellites opérationnels (figure I.2) [10].



Figure I.2: Satellites GPS dans l'espace.

I.3.1.2 La partie de contrôle

C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Elle comprend la station maîtresse de contrôle, située à la base Falcon de l'armée aérienne, à Colorado Springs, dans le Colorado. Elle comprend des stations de surveillance installées à Falcon AFB (Hawaii), sur l'île de l'Ascension dans l'Atlantique, à Diego Garcia dans l'océan Indien et sur l'île Kwajalein dans le Pacifique sud. Le système de contrôle utilise les mesures collectées par les stations de surveillance pour prédire le comportement de chaque orbite et horloge de satellite. Leur rôle est de mettre à jour les informations transmises par les satellites (paramètres d'horloge...) et contrôler leur bon fonctionnement [11]. La figure suivante représente la localisation des différentes stations sur la carte.



Figure I.3 : Contrôle principal du système de positionnement global (GPS) et réseau de stations de surveillance.

I.3.1.3 La partie utilisateur

La partie utilisateur est constituée de récepteurs qui ont été conçus afin de décoder le signal transmis par les satellites pour déterminer la position et la vitesse de l'utilisateur (Figure I.4).

C'est le GPS que l'on achète dans le commerce pour naviguer en mer ou se repérer en randonnée ou en montagne. De plus en plus de camions, autocars, taxi et voitures particulières en sont équipés actuellement. Il comprend une antenne de réception et un récepteur-calculateur [10].



Figure I.4 : Différent types de la partie utilisateur de GPS.

I.3.2 Modernisation du système GPS

En janvier 1999, le gouvernement des États-Unis a lancé une initiative visant à moderniser le Système GPS. Il consiste notamment à ajouter deux signaux civils (L2C et L5) et un signal militaire (M).

Le signal militaire s'ajoute aux signaux déjà diffusés sur les deux fréquences L1 et L2. Il présente une séparation spectrale et une puissance de signal accrue, afin d'améliorer la protection, capacité de prévention et de préservation du système GPS.

Le signal L2C civil est ajouté au signal L2 fréquence qui n'était réservée qu'aux militaires. Le signal civil L5 est diffusé sur la fréquence 1 176,45 MHz Cette fréquence est dans la bande de fréquence réservée à la navigation aérienne (ARNS, Service de radionavigation aérienne) ces deux nouveaux signaux améliorent la précision, la disponibilité et la redondance des signaux.

Les avantages civils incluraient une seconde fréquence civile pour la correction ionosphérique et la redondance, un troisième signal, plus robuste, pour les applications de secours et de sauvetage "safety-of-life" dans un spectre protégé, et qui fournirait également une haute précision et des avantages pour les applications temps-réel. Parmi ces améliorations, nous citons notamment le rajout d'une fréquence civile L5 (1176.45 MHz), un ajout d'un signal civil sur la porteuse L2 (augmentation de la puissance des signaux,

augmentation du nombre de stations de surveillance au sol et le nombre de téléchargements des éphémérides et de l'almanach).

Le premier satellite (GPS 2R-M-1) diffusant le signal militaire (M) et le signal civil L2C a été lancé le 26/09/2005. Au 10 avril, à 11h58 (UTC), le satellite GPS SVN49 (GPS 2R-M-7) a commencé à émettre le troisième signal civil (démonstration) sur la fréquence L5. Ce permettra aux utilisateurs civils de bénéficier de la correction ionosphérique et par conséquent d'une nette amélioration de la précision du GPS.

Un programme appelé GPS III, vise à moderniser le système GPS pour répondre aux besoins des militaires et les utilisateurs civils en 2030. Ce système comprend une nouvelle génération de satellites (bloc III) qui ont plus de fonctionnalité. On s'attend à ce que le système fournisse une précision inférieure au mètre [8].

I.3.3 le positionnement des satellites

La position des satellites est un autre paramètre à régler pour obtenir un positionnement exact. Effectivement, pour calculer précisément la distance séparant un satellite du point à déterminer, la position de satellite doit être parfaitement connue dans l'espace. C'est le rôle des stations de contrôle qui calculent l'erreur de position commise par le satellite après que ce dernier renvoie sa position théorique à la station afin de lui renvoyer la valeur de cette erreur. Le satellite peut donc informer le récepteur de l'erreur qu'il doit prendre en compte dans ses calculs [12].

I.3.3.1 La trilatération

La trilatération est une méthode mathématique similaire à la triangulation, elle permet de déterminer la position relative d'un point en utilisant la géométrie des triangles. Mais contrairement à la triangulation qui utilise les angles et les distances pour positionner un point, la trilatération ne dépend que des calculs de distances, sans calculs d'angles. Pour simplifier, on se place dans le plan et non dans l'espace : ça simplifie les dessins mais le principe reste parfaitement identique dans les deux cas [12].

- Le récepteur GPS reçoit le signal d'un premier satellite. Les deux temps d'émission et de réception du signal sont connus : donc la durée de parcours du signal est aussi connue. Le signal voyageant à la vitesse de la lumière, on en déduit qu'on se trouve à une distance D du satellite suivant la formule :

Distance = vitesse * temps

On considère la distance D séparant un satellite d'un récepteur GPS. L'ensemble des points possibles où pourrait se situer l'utilisateur du GPS est le cercle de centre le satellite et de rayon la distance D .

- De la même manière on fait intervenir un deuxième satellite qu'on connaît la distance le séparant du récepteur GPS. L'intersection des deux cercles forme deux points. Ces deux points représentent les deux positions que peut avoir le récepteur GPS.
- Pour savoir quel est le point cohérent, il nous faut le signal d'un troisième satellite pour avoir un seul point qui se trouve à la bonne distance des 3 satellites à la fois : il correspond à notre position (Figure I.6).

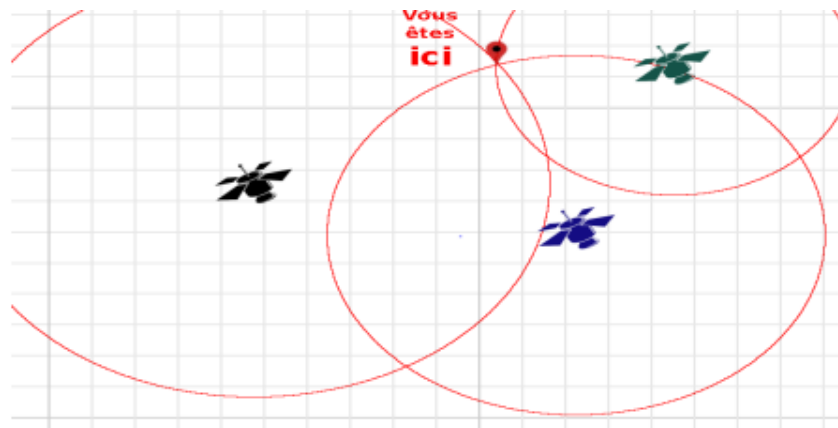


Figure I.5 : Utilisation de trois satellites [13].

Sachant que dans le cas réel, on se trouve dans l'espace, pas dans un plan. On utilise donc des sphères à la place des cercles ce qui pose un problème lors de l'intersection de 3 sphères qui correspond à deux points. En théorie il nous faut donc un quatrième satellite pour savoir où on se trouve. Mais, en pratique on élimine l'un des deux points car il ne se trouve pas sur terre mais à une position absurde (soit à l'extérieur de la constellation des satellites GPS ou dans les profondeurs de la Terre). Trois satellites sont suffisants donc pour connaître notre position sur le globe. La synchronisation de l'horloge des récepteurs GPS trouvés dans les téléphones ou les boîtiers GPS n'est pas bien précise, il est nécessaire donc d'utiliser l'horodatage produite par une horloge atomique à bord d'un quatrième satellite. Cette horloge permet d'avoir une précision très importante de l'ordre de quelques mètres sur la surface de la Terre, car une différence d'une microseconde correspond à une erreur de 300 mètres sur la position.

L'utilisation du GPS nécessite donc au minimum de quatre satellites : trois pour la position, et un pour la synchronisation [13].

I.3.3.2 Localisation d'une position avec le récepteur GPS

La distance entre la position du satellite GPS et le récepteur GPS est calculée par l'équation :

$$\text{Distance} = \text{vitesse} \times \text{temps}$$

En d'autres termes, un récepteur GPS détermine le temps nécessaire au signal radio (c'est-à-dire signal GPS) pour voyager du satellite GPS au récepteur GPS. Le signal GPS se déplace à la vitesse de la lumière (186 mille miles par seconde). Le satellite GPS et le récepteur GPS génèrent une séquence de code pseudo-aléatoire identique. Lorsque le récepteur GPS reçoit ce code transmis, il détermine de combien le code doit être décalé (en utilisant le principe de décalage Doppler) pour que les deux séquences de code correspondent. Par conséquent, le décalage est multiplié par la vitesse de lumière pour déterminer la distance entre le satellite GPS et le récepteur GPS [14].

Les satellites GPS sont en orbite autour de la terre à une altitude de 11 000 milles. En supposant que le récepteur GPS et les horloges satellites sont synchronisés avec précision et en permanence, le récepteur GPS utilise trois satellites pour trianguler une position 3D, puis le GPS fournit les coordonnées (X, Y, Z) pour un emplacement calculé. Cependant, un récepteur GPS a besoin de quatre satellites pour fournir une position 3D (Figure I.6). Étant donné que l'horloge du récepteur GPS n'est pas aussi précise que les horloges atomiques du satellite, une quatrième variable T pour le temps est déterminée en plus des trois variables (X, Y, Z). De plus, les signaux GPS voyagent du satellite GPS au récepteur GPS très rapidement, donc, si les deux horloges ne sont éteintes qu'une petite fraction de temps, la position déterminée peut être imprécise.

Le système de contrôle peut prédire les trajectoires des satellites en fonction du temps avec une grande précision. Il constamment surveille l'orbite des satellites à la recherche d'écarts, appelés erreurs d'éphéméride à partir des valeurs prédites. Une fois ces erreurs détectées pour un satellite donné, elles seront renvoyées vers ce satellite, qui les diffuse vers les récepteurs GPS sous la forme d'un message standard. De nos jours, les récepteurs GPS stockent les informations d'orbite pour tous les satellites GPS. Par conséquent, ces informations renseignent sur la position de chaque satellite à un moment donné. De plus, ces informations en conjonction avec les données d'erreur d'éphéméride peuvent aider à déterminer dans une façon très précise la position d'un satellite GPS à un instant donné [14].

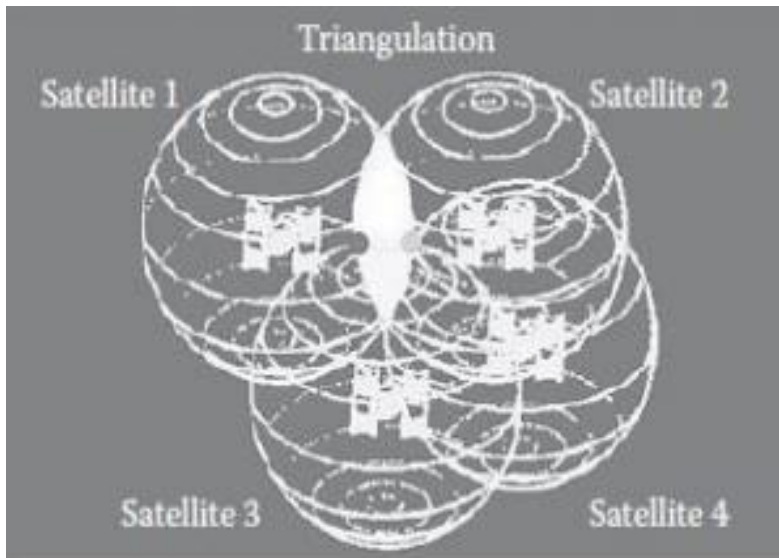


Figure I.6 : Principe de base du positionnement avec GPS.

I.3.3.3 Calcul de la position :

Le calcul de la position de l’observateur est donné par le vecteur :

$$\vec{OA} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{I.1}$$

L’équation fondamentale pour mesurer la distance entre le satellite et le récepteur (Figure I.7) :

$$P = \sqrt{(X_s - X)^2 + (Z_s - Z)^2 + (Y_s - Y)^2} \tag{I.2}$$

- Distances P entre le satellite et le récepteur.
- (X,Y,Z) coordonnées de l’ utilisateur.
- (Xs,Ys,Zs) celles des satellites.

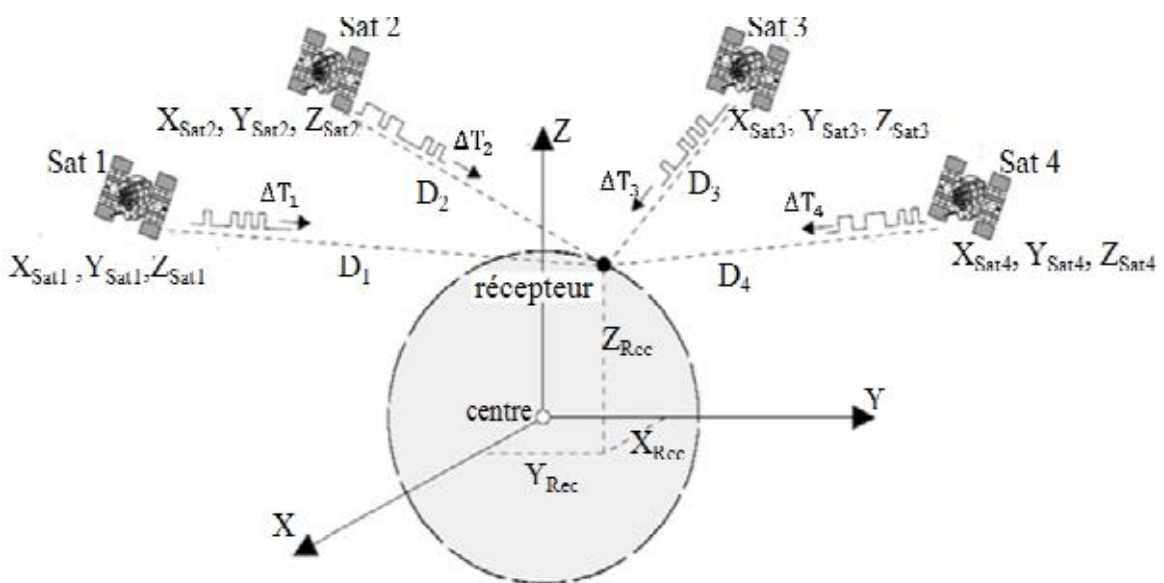


Figure I.7 : Différents paramètres pour calculer la position [15].

Pour quatre satellites c'est -à -dire quatre mesures, les équations de navigation du système GPS sont dans un repère cartésien :

$$P1 = \sqrt{(Xs1 - X)^2 + (Zs1 - Z)^2 + (Ys1 - Y)^2} \quad (I.3)$$

$$P2 = \sqrt{(Xs2 - X)^2 + (Zs2 - Z)^2 + (Ys2 - Y)^2} \quad (I.4)$$

$$P3 = \sqrt{(Xs3 - X)^2 + (Zs3 - Z)^2 + (Ys3 - Y)^2} \quad (I.5)$$

$$P4 = \sqrt{(Xs4 - X)^2 + (Zs4 - Z)^2 + (Ys4 - Y)^2} \quad (I.6)$$

I.3.4 Structure des signaux

Pendant que les satellites GPS sont en orbite, chacun diffuse en continu un signal unique sur les deux fréquences porteuses.

Les porteuses, qui sont transmises dans la bande L de la fréquence radio micro-ondes, sont identifiés comme le signal L1 avec une fréquence de 1575,42 MHz et le signal L2 à une fréquence de 1227,60 MHz. Ces fréquences sont dérivées d'une fréquence fondamentale f_0 , de l'horloge atomique, qui est de 10,23 MHz. La bande L1 a une fréquence de $154f_0$ et la bande L2 a une fréquence de $120 f_0$ [16], comme indiqué ci-dessous :

$$L1 = 154 \times f_0 = 1575,42 \text{ MHz (19 cm de longueur d'onde).}$$

$$L2 = 120 \times f_0 = 1227,6 \text{ MHz (24,4 cm de longueur d'onde) [8].}$$

La disponibilité des deux fréquences porteuses permet de corriger une erreur GPS majeure, connu sous le nom de retard ionosphérique. Tous les satellites GPS transmettent la même porteuse de fréquences L1 et L2.

La modulation du code, cependant, est différente pour chaque satellite, ce qui minimise les interférences du signal. Les deux codes GPS sont appelés acquisition grossière (ou code C/A) et la précision (ou P-code). Chaque code consiste en un flux de chiffres binaires, des zéros et des uns, appelés morceaux ou puces. Les codes sont communément appelés codes PRN car ils ressemblent à des signaux aléatoires (c'est-à-dire qu'il s'agit de signaux ressemblant au bruit). Mais en réalité, les codes sont générés à l'aide d'un algorithme mathématique. Actuellement, le code C/A est modulé sur la porteuse L1 uniquement, tandis que le code P est modulé sur la L1 et la Porteurs L2. Cette modulation est appelée modulation biphase [17].

Le code P est appelé le code précis. Il s'agit d'une série particulière des uns et des zéros générés à un débit de 10,23 millions de bits par seconde. Il est porté à la fois sur L1 et L2, et il est très long.

Chaque satellite GPS se voit attribuer une partie du code P qui lui est propre, puis répète sa partie tous les sept jours.

Cette attribution d'une semaine particulière du code P de 37 semaines à chaque satellite aide le récepteur GPS à distinguer la transmission d'un satellite d'un autre [18].

Le P-code est protégé par cryptage contre le leurre (anti-spoofing), contre les transmission d'un signal GPS erroné. Le code P crypté et appelé un code Y [8].

Le code C/A est également une série particulière d'uns et de zéros, mais la vitesse à laquelle il est généré est 10 fois plus lent que le code P(Y). Le débit de code C/A est de 1,023 million de bits par seconde.

Non seulement chaque satellite GPS diffuse complètement son propre code C/A, mais il répète également son code C/A toutes les millisecondes. L'ancien code C/A est diffusé uniquement sur L1. C'était le seul code GPS civil. Le code C/A été rejoint par un nouveau signal civil connu sous le nom de L2C qui est porté sur L2 [18].

I.3.5 Erreurs possibles

Les récepteurs GPS sont capables d'améliorer leurs calculs et rendre ses résultats plus précis en utilisant plus de quatre satellites et en éliminant les sources qui semblent peu fiables, ou trop proches l'une de l'autre pour fournir une mesure correcte.

Le problème majeur du GPS est qu'il n'est pas utilisable dans toutes les situations. Par exemple, la géolocalisation par GPS n'est pas possible à l'intérieur des bâtiments. On prend comme exemple Les Smartphones qui sont capables de se géo localiser en intérieur, ils n'utilisent pas le positionnement GPS dans ces conditions particulières mais les différents réseaux WIFI disponibles pour ce faire.

La précision de la localisation peut être affectée par plusieurs facteurs comme la traversée des couches de l'atmosphère avec entre autres la présence de gouttes d'eau, les simples feuilles des arbres peuvent absorber tout ou partie du signal, et l'effet canyon particulièrement sensible dans les gorges, en montagne ou en milieu urbain. Il consiste en l'occultation d'un satellite par le relief (un bâtiment par exemple) ; ou pire encore, en un écho du signal contre une surface qui n'empêchera pas la localisation mais fournira une localisation fausse : c'est le problème des multi-trajets des signaux GPS.

D'autres erreurs, n'ayant pas de corrélation avec le milieu de prise de mesure ni la nature atmosphérique, peuvent être présentes. Ce sont des erreurs systématiques, telles les décalages orbitaux ou encore un retard dans l'horloge atomique qui calcule le temps auquel la mesure est prise. Un mauvais étalonnage du récepteur (ou autres appareils électroniques du système) peut aussi produire une erreur de mesure [19].

I.3.6 Les inconvénients du GPS

L'utilisation du système GPS nous offre aujourd'hui plusieurs avantages, comme trouver des endroits, des informations touristiques et même sur le trafic routier. Il permet aux autorités d'avoir des informations sur une personne en détresse, victime d'un enlèvement, guider les personnes en cas de perte, trouver une station d'essence ou même donner sa position en cas de panne. Par conséquent, notre vie privée devient de plus en plus menacée d'être suivie en permanence. C'est pour cette raison que les sites comme Google Earth et d'autres sont limités. Certaines personnalités importantes et bases militaires sensibles ne souhaitent pas que leur position soit connue par autres parts. Cependant, le dispositif utilisé par les entreprises pour tracer leur véhicule et dresser le parcours de l'employé durant la journée, à savoir les heures réellement travaillées, les temps d'immobilisations, le kilométrage, la vitesse... est une véritable atteinte à la vie privée. En novembre 2006 des travailleurs au Canada ont déposé une plainte contre leur employeur, une entreprise de télécommunication, car celui-ci recueillait des informations sur leur déplacement durant les heures de travail [20].

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner un aperçu sur les éléments les plus importants du système de positionnement GPS au profit de notre projet. La partie qui nous intéresse à ce travail est celle de l'utilisateur représentée par le récepteur. Les autres parties sont exposées à titre explicatif pour bien comprendre le fonctionnement du système global.



Chapitre II :

Système Mondial de Communication Mobile GSM



Chapitre II : système mondial de communication mobile GSM

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence la deuxième génération du système cellulaire numérique de communication avec des mobiles, GSM «Global System for Mobile communications », qui a contribué effectivement dans le développement de la communication mobile. Nous allons essayer de jeter un regard détaillé sur le système de GSM.

Jusqu'à ce moment, l'idée de faire du monde un village pour qu'il communique partout, avec n'importe qui, n'importe quand est une idée qui attire l'attention des scientifiques et devient de plus en plus importante dans la société. Avec les formidables progrès de la microélectronique, des ordinateurs et de la technologie logicielle, incarner l'idée est possible et pas seulement une aspiration, mais un fait dans lequel nous vivons, le monde était témoin de ce fait dans une large mesure à travers les réseaux de téléphonie mobile qui diffèrent les uns des autres sur générations, en raison de la diversité des technologies.

La télécommunication est un secteur qui a connu plein d'innovations technologiques, elle désigne l'ensemble des moyens techniques permettant l'acheminement fidèle et fiable d'informations entre deux points en utilisant des techniques de transmission par réseau qui se base sur des différents principes (optique, sonore, magnétique ...). La téléphonie mobile est l'une des techniques de la télécommunication qui a connu un succès énorme dans le monde, près de 7,7 milliards d'abonnements mobiles qui ont été souscrits fin 2017[21], soit plus de la totalité de la population mondiale, selon les estimations de l'Union Internationale de la télécommunication.

II.2 Historique

- **En 1982** : le développement d'une norme européenne pour la radio mobile cellulaire numérique a été lancé par le Groupe Spécial Mobile de la CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications). Initialement, l'acronyme GSM était dérivé du nom de ce groupe [22].
- **En 1985** : la Commission européenne annonce l'imposition de la norme issue du GSM.
- **En 1987** : le choix se porte sur la transmission numérique AMR.
- **En 1989** : les travaux du groupe mobile spécial « GSM » ont été transférés au « SMG » comité de l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), qui poursuit les

missions de normalisation. A noter que c'est ce comité qui mettra au point le module d'identité d'abonné SIM.

Le groupe "GSM" change alors de sens : de "Groupe Spécial Mobiles" il devient "Global System for Mobile communications".

- **En 1991** : la première communication est établie entre un abonné mobile et un abonné fixe. Les premiers terminaux sont représentés au Salon Telecom de Genève cette même année. Puis nous assistons à l'ouverture des systèmes d'essais à Paris.
- Et c'est **en 1992** que le système ITINERIS GSM de France Télécom est inauguré, rejoint plus tard par SFR du groupe Cegetel et par Bouygues Telecom (1994).
- L'explosion du marché du mobile, sa croissance soutenue et l'apparition de nouveaux services amener les réseaux GSM actuels à leur limite. La vitesse de 9,6 kb / s, définie à l'origine, est insuffisante pour couvrir les nouveaux besoins de transfert de données et freine la diffusion des contenus multimédia.
- Les premières applications WAP (standard permettant l'affichage de pages Web sur Mobile) sur les réseaux sans fil souffrent encore de temps de connexion et de réponse trop longs, surtout quand les appels sont facturés selon la durée. De plus, la qualité du service est toujours au rendez-vous et la fiabilité des communications doit être améliorée.
- Les nouvelles normes de téléphonie à large bande, telles que GPRS, EDGE et UMTS devraient résoudre ces problèmes et finalement bouleverser les possibilités [22].

II.3 Technologie GSM

GSM (Global System for Mobile communications : originaire du groupe Spécial Mobile) est la norme de téléphonie mobile la plus populaire au monde. Son promoteur, l'Association GSM, estime que 82% du marché mondial de la téléphonie mobile utilise la norme. Son omniprésence la rend le Roaming internationale très courant entre opérateurs de téléphonie mobile, permettant aux abonnés d'utiliser leur téléphone dans de nombreuses parties du monde. Le GSM diffère de ses prédécesseurs en ce que la signalisation et la parole sont numériques et sont donc considérés comme un système de téléphonie mobile de deuxième génération (2G). Signifiait également que la communication de données était facile à intégrer dans le système. L'omniprésence de la norme GSM a été un avantage tant pour les consommateurs (qui bénéficient de la possibilité de se déplacer et de changer d'opérateur sans changer de téléphone) et aussi d'opérateurs de réseau (qui peut choisir l'équipement de n'importe lequel de ces nombreux fournisseurs mettant en œuvre le GSM). GSM aussi a été le

pionnier d'une alternative peu coûteuse (pour l'opérateur de réseau) aux appels vocaux, le service de messages courts (SMS, également appelé "messagerie texte"), qui est désormais également pris en charge sur d'autres normes mobiles [23].

II.3.1 Architecture du système GSM

GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique fixe RTC (Réseau Téléphonique commuté). Il s'interface avec le réseau fixe et comprend des commutateurs, et se distingue par un accès spécifique : la liaison radio. L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en 4 parties principales :

- Le sous-système de station de base BSS.
- Le sous-système réseau NSS.
- Le sous-système de soutien aux opérations OSS.
- En outre, nous avons le sous-système de la station mobile (MS), mais il est généralement considéré comme partie du BSS [24].

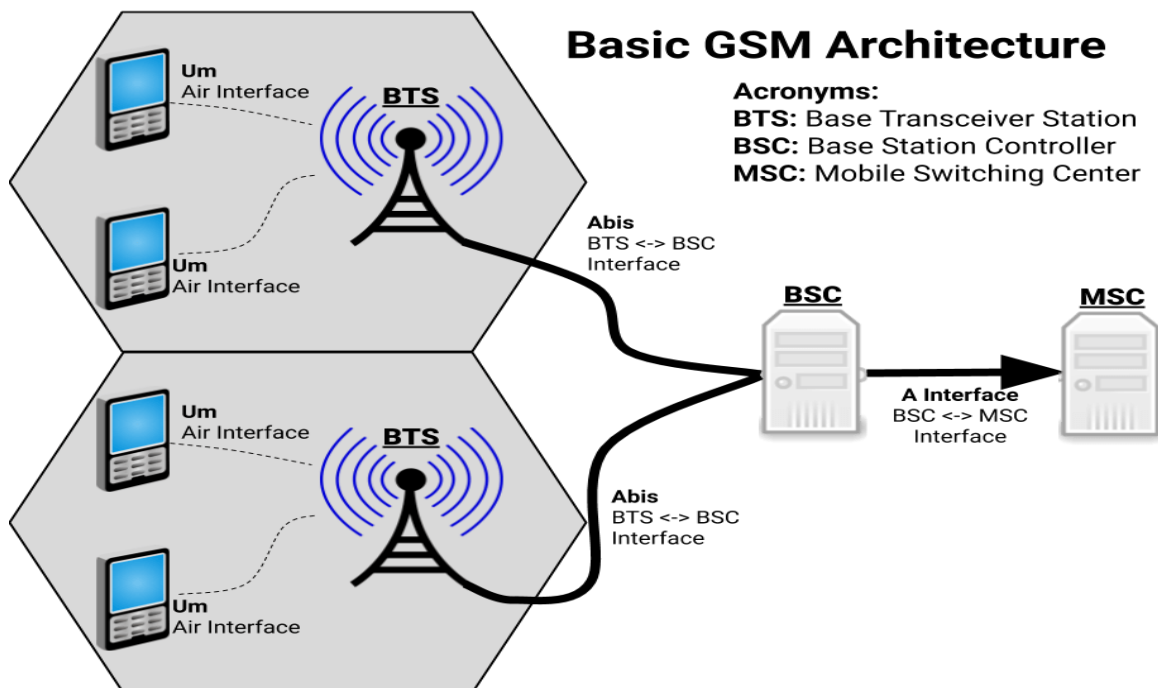


Figure II.1 : Architecture de base GSM.

II.3.2 Sous-système de station de base (BSS)

Le sous-système de la station de base (BSS) se compose de la station de base de l'émetteur-récepteur (BTS) et du Contrôleur de station de base (BSC). Le BSS assure la transmission et la gestion des ressources radio [24]

II.3.2.1 Station de base de l'émetteur-récepteur (BTS)

- La station d'émission-réception de base possède des émetteurs-récepteurs radio qui définissent une cellule et gère les protocoles de liaison radio avec la station mobile (MS).
- BTS dessert une ou plusieurs cellules du réseau cellulaire et contient plus d'un émetteur-récepteur (TRXS), le TRX qui est chargé de gérer la transmission et la réception des signaux. Un seul BTS peut avoir plusieurs TRXS avec une attribution de fréquence unique à chacun. Le principe du saut de fréquence est appliqué dans BTS pour introduire la diversité de fréquence et réduire la probabilité d'interférence. Dans le scénario de saut de fréquence, le TRX la fréquence change à chaque image. En général, s'il y a un seul TRX dans chaque secteur, alors chaque trame radio TRX a 8 intervalles de temps [25], dont Sept sont utilisés pour la voix et les données de transmission, alors que l'autre est utilisé à des fins administratives. Si le nombre de TRX dans un secteur est augmenté, puis pour le deuxième TRX, aucun créneau horaire par image n'est réservé à des fins d'administration, c'est-à-dire, dans un système 2TRX, le nombre d'intervalles de temps disponibles pour la transmission de la voix et des données par secteur est de 15 [26].

En outre, il gère plusieurs services parmi lesquels :

- Gestion du multiplexage temporel et gestion des sauts de fréquence.
- Opérations de chiffrement.
- Mesures radio pour vérifier la qualité de service ; ces mesures sont transmis directement au BSC.
- Gestion de la liaison de données (données de trafic et de signalisation) entre le mobile et BTS.
- Gestion du trafic et liaison de signalisation avec le BSC.

La capacité maximale typique d'une BTS est de 16 porteuses, soit 112 communications simultanées. Dans les zones urbaines où le diamètre de couverture d'un BTS est réduit, cette capacité peut descendre à 4 porteuses ou 24 communications [26].

II.3.2.2 Contrôleur de station de base BSC (Base station Controller)

BSC est le composant BSS qui serve en tant qu'un contrôleur de plusieurs BTS [26], le BSC transporte les fonctions suivantes :

- Le traitement numérique du signal pour améliorer la qualité du flux d'informations est effectué au BSC stage BSC agit en tant que contrôleur des activités de BTS.
- Les fréquences radio sont attribuées aux différentes BTS par l'utilisation des stratégies de gestion des ressources radio appropriées.
- Dans certaines conceptions, la gestion du transfert et son contrôle sont effectués par BSC [27].

BSC fournit l'algorithme de contrôle pour le contrôle de puissance à leur BTS respectif L'interface entre BTS et BSC est appelée interface A-bis, L'interface A-bis est utilisée pour intercommunication entre BSC et BTS. Cette interface est définie par GSM Fabricant d'équipement. Il transporte les données de trafic et de canal de contrôle [28].

II.3.3 La station mobile (MS)

Les stations mobiles (MS) sont des équipements utilisés par les abonnés au service mobile pour l'accès aux services. Ils se composent de deux éléments principaux : l'équipement mobile et le Module d'identité de l'abonné (SIM). Seule la SIM d'un abonné fait tourner un équipement mobile dans une station mobile complète avec des privilèges d'utilisation du réseau, qui peut être utilisée pour passer des appels ou recevoir des appels. En plus de l'identifiant d'équipement IMEI, la station mobile a un numéro d'abonné identification et numéro d'appel (IMSI et MSISDN) en tant que données dépendantes de l'abonné [27].

Le module d'identité de l'abonné (SIM) fournit à l'équipement mobile une identité. Certain paramètres de l'abonné sont stockés sur la carte SIM, ainsi que les données personnelles utilisées par l'abonné.

La carte SIM identifie l'abonné au réseau. Pour protéger la carte SIM d'une utilisation inappropriée, les abonnés doivent entrer un numéro d'identification personnel (PIN) à 4 chiffres avant d'utiliser le mobile. Le PIN est stocké sur la carte. Si le mauvais code PIN est entré trois fois de suite, la carte se bloque et ne peut être débloqué qu'avec une clé de blocage personnelle (PUK) de 8 chiffres, également stockée dans la carte.

Le numéro ISDN de l'abonné mobile (MSISDN) est le numéro de téléphone unique de l'abonné au réseau téléphonique public. Le MSISDN se compose de l'indicatif de pays (CC), de l'indicatif national de destination (NDC), qui définit le fournisseur GSM habituel de l'abonné et le numéro d'abonné. Le MSISDN ne doit pas dépasser 15 chiffres [29].

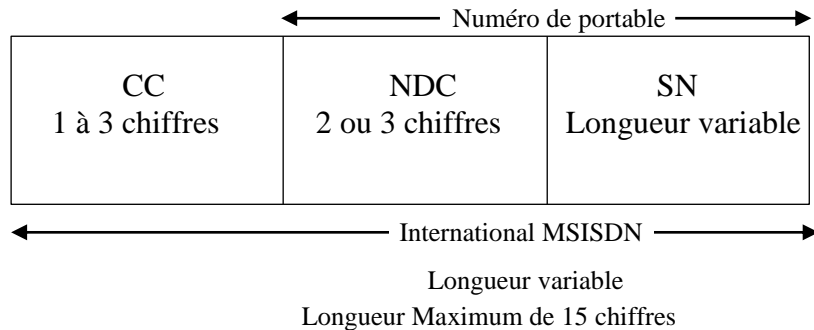


Figure II.2 : Figure Format 2MSISDN.

II.3.3.1 Identité internationale de l'abonné mobile (IMSI)

Lors de l'inscription au service auprès d'un opérateur de réseau mobile, chaque abonné reçoit un identifiant d'identité internationale de l'abonné mobile (IMSI).

L'IMSI est stocké dans la carte SIM ; il utilise un maximum de 15 chiffres décimaux et se compose de trois parties :

- Indicatif de pays mobile (MCC) : trois chiffres, standardisé au niveau international.
- Code de réseau mobile (MNC) : deux chiffres, pour une identification unique des réseaux mobiles au sein d'un pays.
- Numéro d'identification d'abonné mobile (MSIN) : un maximum de 10 chiffres, identification numéro de l'abonné dans son réseau domestique mobile.

Un MCC à trois chiffres a été attribué à chacun des pays GSM et des MNC à deux chiffres ont été attribués au sein des pays (505 comme MCC pour l'Australie et MNC 01, 02 et 03 pour les réseaux de Telstra, Optus et Vodafone, respectivement) [30].

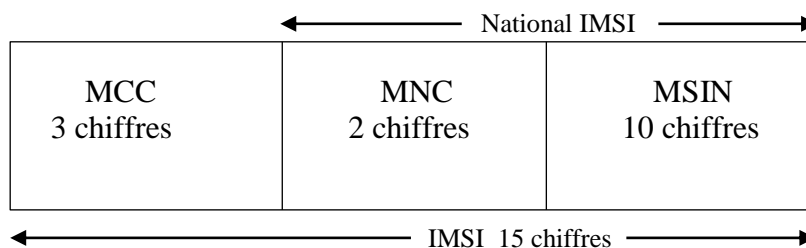


Figure II.3 : Format IMEI.

II.3.3.2 Identité internationale d'équipement de station mobile (IMEI)

L'IMEI est un moyen d'identification du matériel (L'appareil mobile réel). Notons ici que les trois numéros d'identification décrits ci-dessus sont tous associés de manière permanente ou temporaire à l'abonné. En revanche, l'IMEI identifie le MS réellement utilisé. Il se compose de 15 chiffres : six sont utilisés pour le code d'approbation de type (TAC), qui est spécifié par une entité GSM centrale ; deux sont utilisés comme le code d'assemblage final (FAC), qui représente le fabricant ; et six sont utilisés comme numéro de série (SN), qui identifie chaque MS de manière unique pour un TAC et un FAC donnés [31].

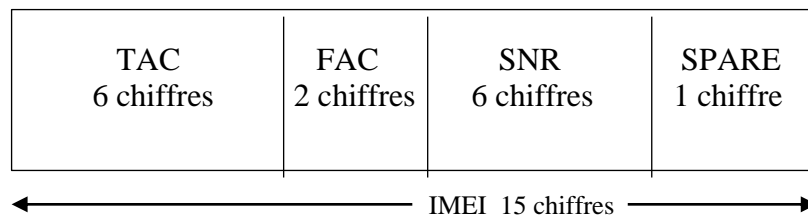


Figure II 4 : Interfaces 5 GSM.

II.3.4 Le sous-système réseau (NSS)

Le sous-système réseau agit comme une interface entre le réseau GSM et le réseau public, RTC/RNIS. Les principaux composants du NSS sont MSC, HLR, VLR, AUC et EIR. Qui sont décrits plus en détail dans [32].

II.3.4.1 Centre de commutation mobile (MSC)

Le MSC (ou commutateur comme on l'appelle généralement) est l'élément le plus important du NSS, il contrôle la signalisation et le traitement des appels, et coordonne la remise de la connexion mobile d'une station de base à une autre lorsque le mobile se déplace. Le MSC gère le rôle du transfert intercellulaire, des visiteurs abonnés mobiles et des interconnexions avec le RTPC. Le trafic combiné des stations mobiles dans leurs cellules respectives est acheminé via le MSC. Nombreuses bases de données sont disponibles pour le contrôle des appels et la gestion du réseau. Les éléments de support comprennent les registres de localisation constitués de HLR, VLR, EIR et AUC. Chaque MSC est connecté via GMSC au réseau téléphonique public commuté local (PSTN ou RNIS) pour assurer la connectivité entre les utilisateurs de téléphones mobiles et fixes. Le MSC peut se connecter également aux réseaux de données par paquets (PDN) pour fournir aux mobiles un accès aux services de données [24].

II.3.4.2 Le registre de localisation des visiteurs (VLR)

Chaque MSC est associé à un registre de localisation des visiteurs (VLR), qui contient l'enregistrement de chaque abonné actuellement desservi par le MSC, ces enregistrements ne sont que des copies de l'original enregistrement, qui sont stockés dans le HLR. Le VLR est principalement utilisé pour réduire la signalisation entre le MSC et le HLR. Si un abonné se déplace dans la zone d'un MSC, les données sont copiées sur le VLR du MSC et sont donc disponibles localement pour chaque établissement de connexion. La vérification de l'enregistrement de l'abonné à chaque établissement de connexion est nécessaire, car l'enregistrement contient des informations sur les services qui sont actifs et les services auxquels l'abonné est interdit. Ainsi, il est possible, par exemple, d'interdire les appels sortants tout en permettant aux appels entrants d'empêcher abus du système. Bien que les normes autorisent la mise en œuvre du VLR en tant que composant matériel, tous les fournisseurs ont implémenté le VLR simplement en tant que composant logiciel dans le MSC. Lorsqu'un abonné quitte la zone de couverture d'un MSC, son enregistrement est copié du HLR vers le VLR du nouveau MSC, ensuite il est retiré du VLR du MSC précédent [33].

II.3.4.3 Registre de localisation du domicile (HLR)

Le HLR contient les informations relatives à chaque abonné mobile. Chaque mobile d'abonné a des informations qui contiennent des données telles que le type d'abonnement, les services que l'utilisateur peut utiliser, l'emplacement actuel de l'abonné et l'état de l'équipement mobile. La base de données dans le HLR reste intacte et inchangée jusqu'à la validité de l'abonnement [34].

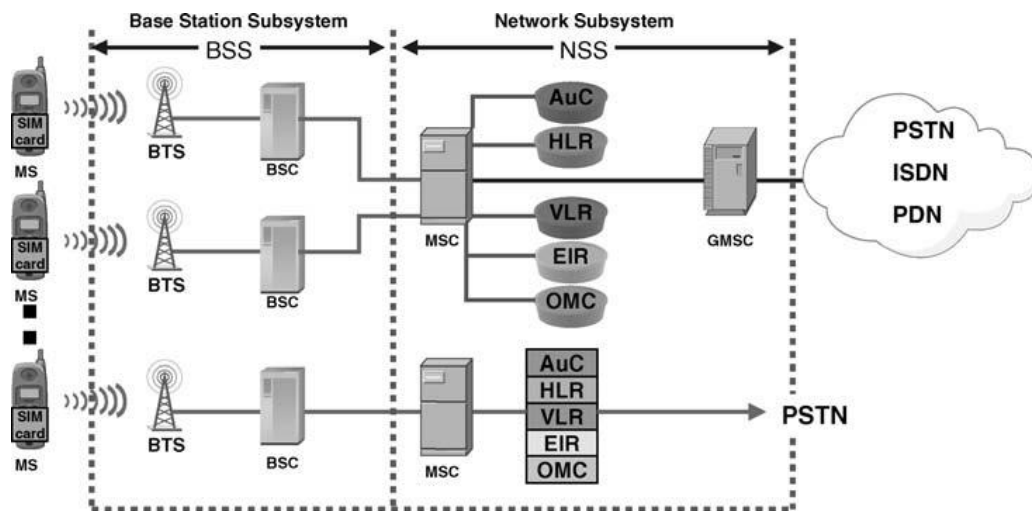
II.3.4.4 Centre d'authentification (AUC)

Le centre d'authentification (AUC ou AC) est la « responsabilité » des actions de police dans le réseau. Celui-ci contient toutes les données nécessaires pour protéger le réseau contre les faux abonnés et protection des appels des abonnés réguliers.

Il y a deux clés majeures dans les normes GSM, celle qui est le cryptage des utilisateurs mobiles et l'autre qui est "l'authentification" des utilisateurs mobiles. Les clés de chiffrement sont conservées à la fois dans l'équipement mobile et dans l'AUC et les informations sont protégées contre tout accès non autorisé [35].

II.3.4.5 Registres d'identité d'équipement (EIR)

Chaque élément d'équipement mobile a sa propre identification personnelle, qui est indiquée par un numéro connu sous le nom d'identité internationale d'équipement mobile (IMEI). Ce numéro est installé lors de la fabrication de l'équipement lui-même, en précisant la conformité aux normes GSM. Ainsi, chaque fois qu'un appel est effectué, le réseau vérifierait le numéro d'identité et si ce numéro est ne figure pas sur la liste approuvée des équipements autorisés, l'accès est refusé. L'EIR contient cette liste des numéros autorisés et permet de vérifier l'IMEI [35].



MS (Mobile Station)	HLR (Home Location Center)
SIM (Subscriber Identity Module)	VLR (Visitor Location Center)
BTS (Base Transceiver Station)	AuC (Authentication Center)
BSC (Base Station Controller)	EIR (Equipment Identity Register)
MSC (Mobile Switching Center)	PSTN Public Switching Telephone Network()
GMSC (Gateway Mobile Switching Center)	ISDN (Integrated Service Digital Network)
OMC (Operation and Maintenance Center)	PDN (Packet Data Network)

Figure II 5 : Sous-Systèmes GSM.

II.3.5 Interfaces GSM

La figure II.6, représente les différentes interfaces du réseau GSM, ainsi que la distribution de ces composantes. L'interface A entre BSS et MSC est utilisée pour le transfert de données pour la gestion du BSS, pour le contrôle de la connexion et pour la gestion de la mobilité. Au sein du BSS, l'interface A-bis entre BTS et BSC et l'interface radio ont été définis. Un MSC qui a besoin d'obtenir des données concernant une station mobile séjournant dans sa zone administrative, demande les données au VLR responsable pour cette zone sur l'interface B.

Inversement, le MSC transmet à ce VLR toutes les données générées à mises à jour de localisation par les stations mobiles. Si l'abonné reconfigure des fonctions de service spéciales

ou actives des services supplémentaires, le VLR est également informé en premier, qui met ensuite à jour le HLR. Cette mise à jour du HLR s'effectue via l'interface D.

L'interface D est utilisée pour l'échange des données d'abonné en fonction de l'emplacement et pour la gestion des abonnés. Le VLR informe le HLR sur l'emplacement actuel de l'abonné mobile et signale le MSRN actuel. Le HLR transfère toutes les données d'abonné au VLR qui sont nécessaires pour donner à l'abonné son accès aux services personnalisés. Le HLR est également responsable de donner une demande d'annulation pour les données d'abonné à l'ancien VLR une fois que l'accusé de réception de la mise à jour de l'emplacement arrive du nouveau VLR. Si, lors de la mise à jour de la localisation, le nouveau VLR a besoin des données de l'ancien VLR, il est directement demandé sur l'interface G. De plus, l'identité de l'abonné ou de l'équipement peut être vérifiée lors d'une mise à jour de localisation ; pour demander et vérifier l'identité de l'équipement, le MSC dispose d'un l'interface F à l'EIR.

Un MSC a deux interfaces supplémentaires en plus des interfaces A et B, à savoir les interfaces C et E. Les informations de charge peuvent être envoyées via l'interface C au HLR. En plus de cela, le MSC doit pouvoir demander des informations de routage au HLR lors de l'établissement de l'appel, pour les appels provenant du réseau mobile ainsi que pour les appels depuis le réseau fixe. En cas d'appel depuis le poste fixe réseau, si le commutateur du réseau fixe ne peut pas interroger directement le HLR, il achemine d'abord l'appel à un MSC passerelle (GMSC), qui interroge alors le HLR. Si l'abonné mobile change lors d'une conversation d'une zone MSC à une autre, la passation doit être effectuée entre ces deux MSC, qui se produisent à travers l'interface E (Figure II. 6) [30].

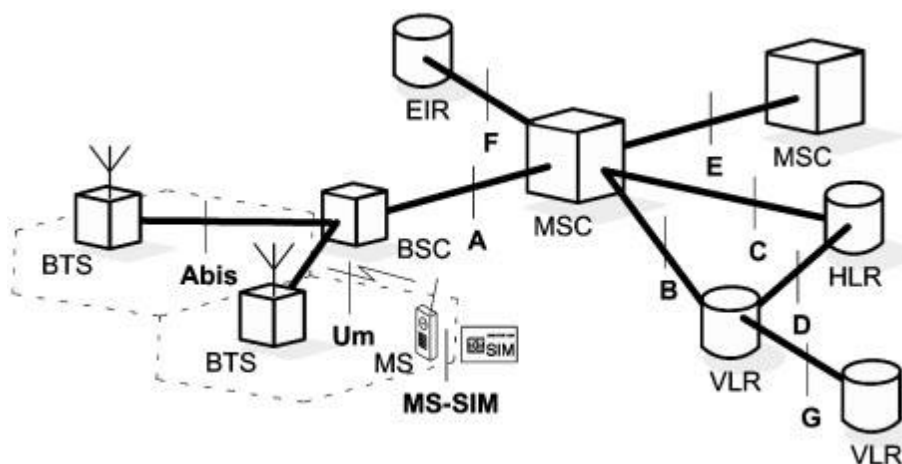


Figure II 6 : Interfaces GSM.

II.3.6 Le centre de service de messagerie courte (SMSC)

Un autre élément important du réseau est le Short Messaging Service Center (SMSC), qui est utilisé pour stocker et transférer des messages courts. Le SMS n'a été introduit qu'environ quatre ans après les premiers réseaux GSM sont entrés en service. La plupart des observateurs de l'industrie étaient assez sceptiques à cette époque car l'opinion générale était que s'il était nécessaire de transmettre des informations, cela se ferait par appeler quelqu'un plutôt que par la méthode plus lourde de taper un message texte sur le petit clavier. Cependant, ils se sont avérés faux et aujourd'hui, la plupart des opérateurs GSM génèrent (encore) un part importante de leurs revenus du service de messages courts, malgré une tendance à remplacer Messagerie SMS avec d'autres formes de messagerie instantanée basée sur l'Internet mobile. Les SMS peuvent être utilisés pour la messagerie de personne à personne ainsi que pour fournir une notification d'autres événements tels qu'un appel manqué qui a été transféré vers le système de messagerie vocale. La méthode de transfert pour les deux cas sont identiques. L'expéditeur d'un SMS prépare le texte du message, puis envoie le SMS via un canal de signalisation vers le MSC lorsqu'un canal de signalisation est utilisé, un SMS n'est qu'un DTAP SS-7 message ordinaire et donc, mis à part le contenu, très similaire aux autres messages DTAP, tels qu'un emplacement message de mise à jour ou un message de configuration pour établir un appel vocal.

Outre le texte, le message SMS contient également le MSISDN du destinataire et l'adresse du SMSC, que l'appareil mobile a récupéré de la carte SIM. Lorsque le MSC reçoit un SMS d'un abonné, il le transmet de manière transparente au SMSC. Comme le message depuis l'appareil mobile contient l'adresse du SMSC de l'abonné, l'itinérance internationale est possible et le MSC étranger peut transmettre le SMS au SMSC d'origine sans avoir besoin d'une base de données SMSC internationale.

Pour délivrer un message, le SMSC analyse le MSISDN du destinataire et récupère son emplacement actuel (le MSC concerné) du HLR. Le SMS est ensuite transmis au MSC concerné. Si l'abonné est actuellement connecté, le MSC essaie de contacter l'appareil mobile, et si une réponse est reçue, le SMS est transféré. Une fois que l'appareil mobile a confirmé la bonne réception du SMS, le MSC notifie également le SMSC et le SMS est supprimé du SMSC stockage de données.

Si l'abonné n'est pas joignable parce que la batterie de l'appareil mobile est vide, le réseau la couverture a été temporairement perdue ou l'appareil est simplement éteint, il n'est pas possible de livrer le SMS. Dans ce cas, le drapeau de message en attente est défini dans le VLR et le SMS est stocké dans le SMSC. Une fois que l'abonné communique avec le MSC, le MSC notifie le SMSC de réessayer la livraison [36].

II.3.7 Structure du réseau GSM

Le GSM est un système cellulaire et numérique de télécommunication mobile et représente la première technologie de téléphonie numérique sans fil. Il est largement utilisé à travers le monde, il a rapidement gagné des parts sur marché mondiale, commercialiser à grand échelle et devenu une référence de la téléphonie mobile.

La plupart des réseaux GSM fonctionne sur deux versions de fréquence, soit de 900 MHz ou bien de 1800 MHz. Certains pays (Canada et USA) utilisent les fréquences de 850 MHz et 1900 MHz – Les fréquences de 400 et 450 MHz sont rarement utilisées, notamment en pays Scandinave, car ces fréquences étaient utilisées pour les réseaux 1G.

La bande des 900 MHz utilise une fréquence ascendante entre 890–915 MHz pour l'émission à partir des stations mobiles, et une fréquence descendante entre 935 –960 MHz pour l'émission à partir de stations fixes. Ces bandes de 25 MHz sont sous-divisées en 124 canaux, espacés de 200 kHz. Il inclut aussi quelques systèmes de sécurité contre :

- Utilisation d'une fausse identité.
- Surveillance des communications sur un canal.
- Surveillance du positionnement des dispositifs.

Le dispositif GSM (Mobile Station- MS) est la combinaison d'un terminal (téléphone) et d'un module de sécurité (carte SIM, fourni par l'exploitant du réseau), plus un peu de cryptographie, lorsque l'appareil se connecte à un réseau, le MS est envoyé au registre HLR (Home Location Register). Le HLR donne une identité temporaire au dispositif pour se connecter au réseau. Le MS est relié vers le HLR d'origine, qui s'accorde sur la facturation avec le réseau courant pour donner l'identité temporaire. Les réseaux GSM sont implantés sur une large portion de la surface terrestre ; la principale condition de connexion à un réseau est la disponibilité de stations de base « cellules radio » tout proche de l'emplacement de l'appareil mobile, la charge de la batterie du téléphone influe également sur la portée de

réception. Ainsi, les zones rurales ou faiblement peuplées (haute montagne, larges campagnes, déserts), les hautes altitudes (en avion par exemple), les cavités terrestres (les tunnels par exemple) et la mer sont souvent limités en couverture de réseau GSM [37].

II.4 Géolocalisation par GSM

Cette technique permet le positionnement d'un terminal GSM en se basant sur certaines informations relatives aux antennes GSM auxquelles le terminal est connecté. La précision du positionnement par GSM peut aller de 200 mètres à plusieurs kilomètres, selon que le terminal se trouve en milieu urbain, ou en milieu rural. Plusieurs techniques existent tel que le temps différentiel (E-OTD Enhanced Observed Time Différence): Une station doit recevoir un signal synchrone de la part du MS, la différence de temps de transmission entre le MS et deux BTS décrit une hyperbole. Avec trois stations on peut estimer la position du MS grâce à l'intersection des hyperboles. L'exactitude de la position est de 125m, mais à la différence du GPS cette méthode ne dépend pas de la clarté du ciel [38].

II.4.1 L'angle d'arrivée (TAO Time Of Arrival)

TOA calcule le temps de transmission entre la station mobile et le BTS et vice versa. Considérant le fait que le temps de propagation d'une onde radio est connu, il est alors possible d'estimer la distance qui sépare la station mobile du BTS (Figure II.7). Cette méthode permet de localiser l'utilisateur dans un cercle qui a pour rayon la distance qui sépare le BTS de la MS et qui a pour centre le BTS [38].

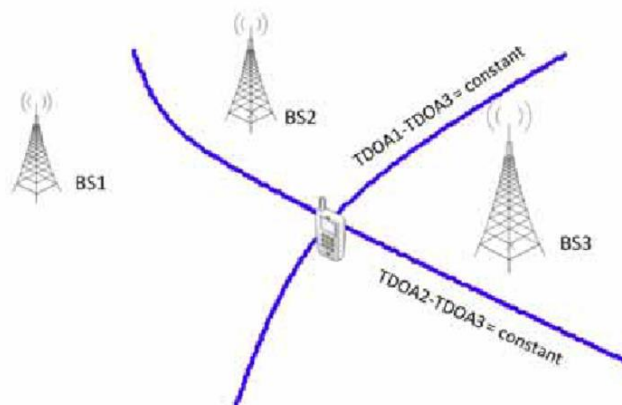


Figure II.7 : Positionnement par TAO.

II.4.2 Le système d'identification de cellule « cell ID »

Aujourd'hui, la méthode GSM la plus utilisée est celle du Cell ID (identification de la cellule radio), consiste à récupérer les identifiants des BTS auxquelles le terminal est connecté à un instant donné. Par la suite, grâce à une base de données faisant le lien entre les identifiants des cellules et les positions géographiques des BTS, la station de base est capable de déterminer la position du terminal et d'émettre une estimation. Ces bases de données peuvent être mises à disposition par les opérateurs pour leurs abonnés, ou par des sociétés privées qui recensent les antennes GSM ou ayant des partenariats avec les opérateurs. Étant donné que les bases de données Cell ID ne sont pas stockées localement dans le terminal [38].

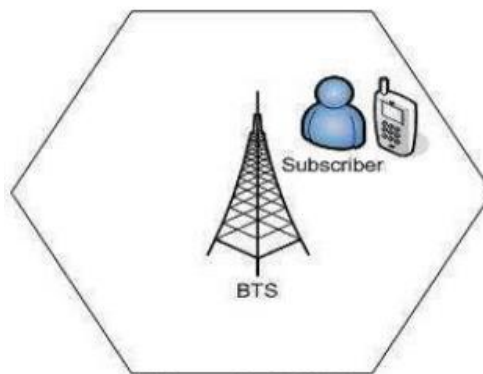


Figure II.8 : Positionnement par Cell ID.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les éléments les plus importants du GSM qui servent notre projet. Dans le chapitre suivant, nous aborderons les étapes de la conception et la réalisation du Traceur GPS-GSM, avec un peu de détail.



Chapitre III :

Conception et réalisation du système Tracker GPS



III.1 Introduction

Le présent projet, vise la réalisation d'un système de localisation et de suivi d'une cible mobile, à savoir le suivi et la surveillance des humains, tels que les enfants, les personnes âgées ou souffrant d'Alzheimer ou de perte de mémoire, et la surveillance des libérés conditionnels à des fins d'application de la loi, de sécurité ou de protection personnelle. Dans le cas de la vie sauvage, le système peut avoir aidé les scientifiques et les écologistes à observer et à suivre les animaux pour en savoir plus sur leurs comportements dans le but de les protéger. Il existe également un marché très important pour ce système dans le domaine des véhicules, où il est utile pour la surveillance du comportement de conduite des employés ou pour des parents surveillant leurs conducteurs adolescents. De plus, ce système peut être utilisé dans la prévention du vol comme dispositif de récupération en plus de fonctionner comme un système de sécurité combiné avec des alarmes de voiture. Une autre application peut être aussi assurée par ce système dans le domaine de la gestion de la logistique des marchandises, où on peut avoir traité des problèmes rencontrés par les véhicules chargés de marchandises, tels que la livraison retardée, la surcharge, l'identification de l'emplacement et l'égarément des marchandises.

Dans un système de localisation, trois parties principales sont utilisées. Un récepteur GPS qui reçoit les données de géolocalisation à travers des satellites (trois satellites au minimum, voir chapitre 1). Un moyen de communication entre le système et l'utilisateur pour recevoir les données d'une part et de commander le système à distance d'autre part. Il est nécessaire d'équiper le système d'un contrôleur pour gérer et contrôler les différentes parties, ou pour effectuer des calculs et de prendre des décisions dans le cas du contrôle à distance.

III.2 Composition du système Tracker

Dans ce projet, le système est composé de trois modules fondamentaux, le module GPS NEO-6M qui assure l'acquisition des données de localisation GPS, le module SIM 800L GSM/GPRS est muni d'une carte SIM active, pour assurer la communication et le transfert des données entre le système et l'utilisateur, ce dernier peut envoyer un message texte qui comporte un mot clé prédéfini soit pour demander la position actuelle de la cible, de changer le numéro de l'utilisateur, de lancer une action à distance, de demander une information sur l'état de batterie ou bien sur l'environnement autour de la cible, comme la température, l'humidité, l'obscurité...si le système est équipé par des capteurs. L'utilisateur peut avoir

aussi déclenché une alarme, coupé le moteur ou activé le mode d'écoute. Un autre rôle très important du module SIM 800L est d'assurer la position approximative de la cible dans le cas de perte du signal GPS ou dans les lieux fermés. Cette position est calculée en utilisant le système GPS qui exploite la position des tours de télécommunication en relation avec le système. Le module maître dans ce système c'est le contrôleur représenté par la carte Arduino Nano, qui relie les différentes parties à travers le port série pour assurer l'acquisition, l'échange et le traitement.

Dans ce qui suit on va décrire l'architecture « la partie hard » des différents modules constituant le système Tracker, ainsi que leurs parties soft, telles que les programmes, les simulations et les jeux d'instructions.

III.2.1 La carte Arduino Nano

Les débuts de l'Arduino remontent à 2005, lorsque ses créateurs, Massimo Banzi et David Cuartielles, travaillaient sur la mise au point d'un appareil simple à programmer par un public de non-spécialistes afin que leurs étudiants en design puissent construire des projets impliquant des microcontrôleurs.

La plateforme Arduino n'a pas été conçue dans le seul but de fonctionner avec des cartes ou des microcontrôleurs, elle constituait également une solution complète matérielle et logicielle plus simple à utiliser par rapport aux autres microcontrôleurs.

Côté matériel, Arduino est un microcontrôleur mono carte, équipé en général d'un microcontrôleur 8 bits Atmel AVR, même si de nouveaux modèles tels que la carte Arduino Due disposent d'un processeur ARM 32 bits. Nous n'aurons pas besoin d'une carte aussi puissante pour nos projets ; de ce fait, nous utiliserons la carte Arduino la plus courante : le modèle Arduino Nano (Figure III.1).

Les broches des cartes Arduino ont la particularité d'être disposées toujours de la même façon, ce qui rend ainsi les connexions aux cartes d'extension (Modules) très aisées. Ces dernières fournissent des fonctionnalités complémentaires à la carte, comme la possibilité de commander un moteur à courant continu dans le domaine de la robotique, ou de se connecter à un téléphone portable en Bluetooth [39].

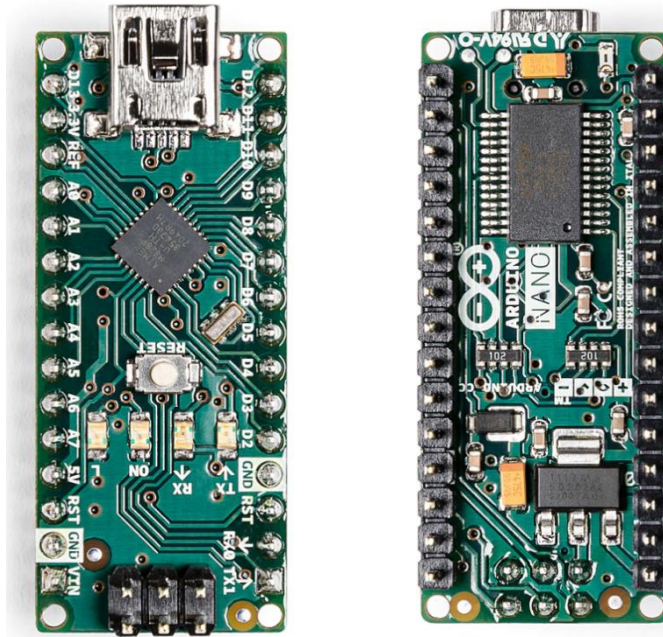


Figure III.1 : Arduino Nano.

III.2.1.1 Caractéristiques techniques Arduino Nano

Les caractéristiques essentielles sont résumées dans le tableau suivant [39] :

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques Arduino nano.

MICROCONTROLEUR	ATmega328
ARCHITECTURE	AVR
TENSION DE FONCTIONNEMENT	5V
MÉMOIRE FLASH	32 KO of which 2 KO used by bootloader
SPAM	2KO
VITESSE DE L'HORLOGE	16MHZ
BROCHES D'ENTRÉE ANALOGIQUES	8
EEPROM	1KO
COURANT CC PAR BROCHES E/S	40 mA
TENSION D'ENTRÉE	7-12V
BROCHES E/S NUMÉRIQUES	22(6 PWM)
SORTIE PWM	6
CONSOMMATION D'ÉLECTRIQUE	19 mA
TAILLE DE LA CIRCUIT IMPRIMÉ	18*45mm
POIDS	7g
CODE PRODUIT	A000005

III.2.1.2 Architecture de l'Arduino Nano

Chacune des 14 broches de l'Arduino Nano peuvent être utilisées comme entrée ou sortie en utilisant les fonctions **pinMode()**, **digitalWrite()** et **digitalRead()**. Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40 mA et possède une résistance pull-up interne (déconnectée par défaut) de 20-50 kOhms. Le schéma de brochage est illustré par la figure (III.2). De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées [39] :

- Série : 0 (RX) et 1 (TX). Utilisé pour recevoir (RX) et transmettre (TX) des données série TTL.
- Interruptions externes : 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur un niveau bas, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur. Voir la fonction **attachInterrupt()** pour plus de détails.
- PWM : 3, 5, 6, 9, 10 et 11. Fournit une sortie PWM 8 bits avec la fonction **analogWrite()**.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches prennent en charge la communication SPI.
- LED : 13. Il y a une LED intégrée connectée à la broche numérique 13. La LED est allumée en état HIGH et éteinte en état LOW.

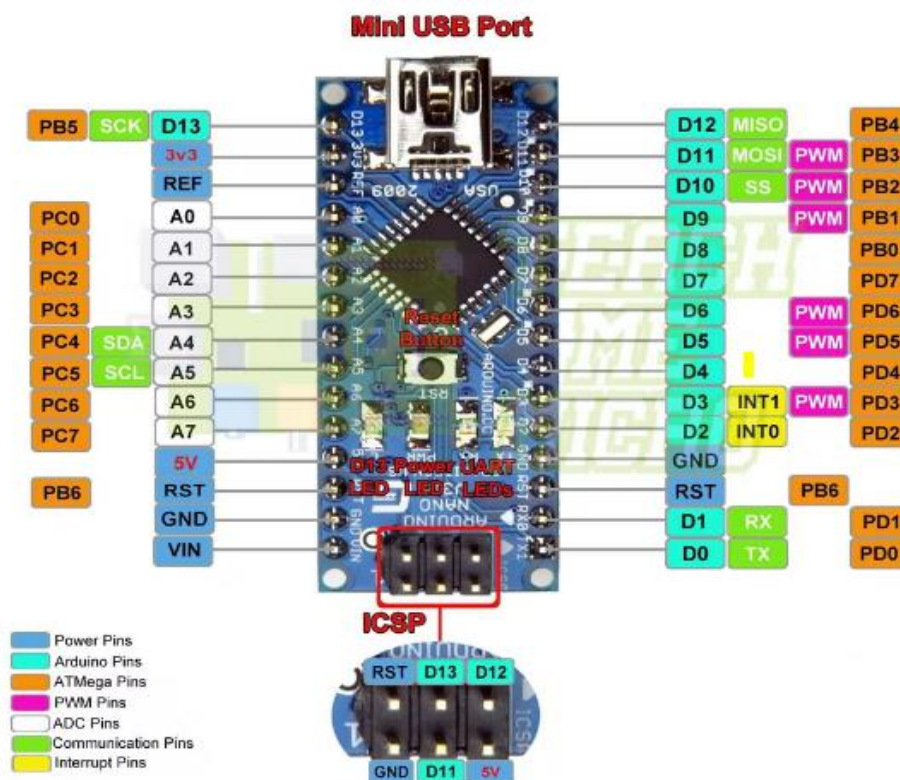


Figure III.2 : Schéma de brochage Arduino Nano.

III.2.2 Le module GPS (NEO-6M)

Le module GPS NEO-6M (figure III.3) est un récepteur GPS complet très performant avec une antenne patch en céramique intégrée, qui offre une capacité puissante de recherche par satellite, avec des indicateurs d'alimentation et de signal et un mémoire flash intégré. Le module est équipé par une pile sert à sauvegarder les données dans le cas d'une coupure accidentelle de l'alimentation et la mise en veille de son état. Le module est conçu pour être compatible avec une large gamme de microcontrôleurs à travers le port série de vitesse baud-rate par défaut de 9600 qui est assuré par une interface UART configurable.

L'utilité du module GPS NEO-6M dans ce projet est de détecter la latitude et la longitude n'importe où sur la terre, et aussi le temps GPS à partir d'un ensemble d'horloges du système GPS. Ces coordonnées sont reçues chaque seconde, avec l'heure et la date ce qui permet de calculer d'autres données dérivées telles que la vitesse de la cible, le palier, la distance du trajet...



Figure III.3 : Module GPS (Neo-6m).

III.2.2.1 Caractéristiques techniques GPS NEO-6M (Annexe I)

- Plage de tension d'alimentation d'entrée : 3,3 V-6 V.
- Antenne patch en céramique.
- La LED intégrée clignotera après que le module aura acquis une position fixe et continuera à clignoter tant que le module aura une position fixe.
- Récepteur GPS NEMA 50 canaux.
- UART : 9600 bauds par défaut, mais configurable de 4800 à 115200 bauds.
- EEPROM externe pour le stockage de la configuration.
- Quatre trous de montage plaqués, 3 mm de diamètre.
- Un trou de câble de montage/antenne non plaqué supplémentaire, 4 mm de diamètre.
- Précision de la position : 2 m et mieux avec plusieurs bons signaux satellites.

- Précision de vitesse : 0,1 m/s.
- Vitesse maximale : 500 m/s.
- Précision du cap : 0,5 degré en mouvement.
- Batterie embarquée pour RAM sauvegardée par batterie (BBR).
- La batterie est rechargée via un simple circuit de chargeur de diodes et de résistances à partir de la sortie 3,3 V du régulateur de tension embarqué.
- Le module GPS (Neo-6m) dispose de quatre broches : VCC, RX, TX et GND [40].

III.2.2.2 Configuration et teste initial du module GPS (Neo-6m)

Nous avons utilisé la carte Arduino pour configurer et tester le module GPS. La bibliothèque "TinyGPS++"[github], qui est une bibliothèque Arduino conçue spécialement pour ce module, est utilisée dans le programme afin d'accomplir ces tests. La configuration et le câblage du module GPS NEO-6M avec la carte Arduino est réalisé à travers le port série selon le schéma représenté ci-dessus (Figure III.4) :

TX connecté à la broche Arduino 2

RX connecté à la broche Arduino 3

VCC connecté à la broche Arduino 5V

GND connecté à la broche Arduino GND

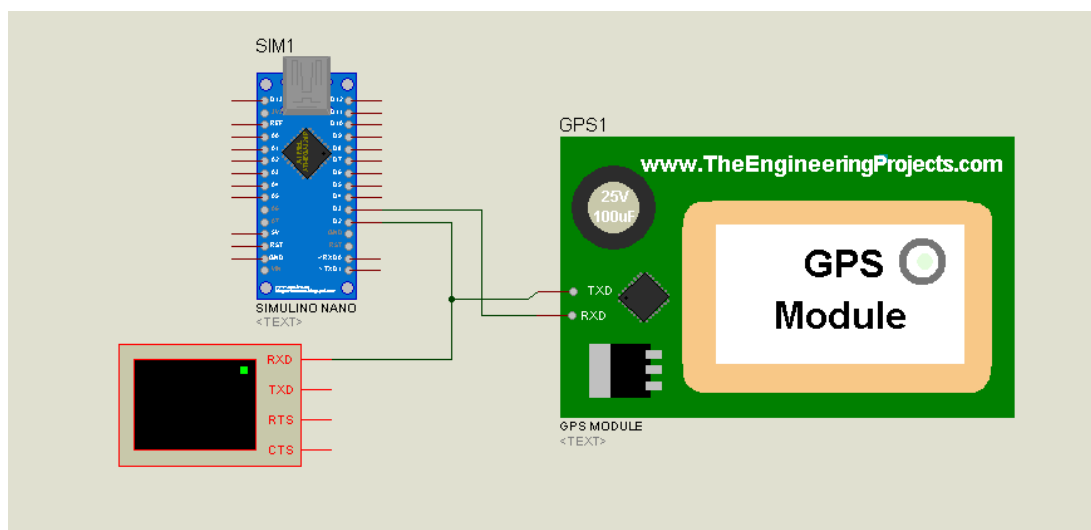


Figure III.4 : Schéma de brochage GPS Module (Neo-6m) avec Arduino Nano.

III.2.2.2.2 Résultat de test

Le résultat de ce test est représenté par la figure suivante :

PF1E-GE-UNIV_TEBESSA-2021/2022
Exemple illustratif pour le TEST GPS NEO-6M rt la bibliotheque TinyGPS++
Testing TinyGPS++ library v. 0.92

Sats	HDOP	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Fix	Date	Time	Date Alt	Course	Speed	Card	Distance	Course Card	Chars	Sentences	Checksum
				Age			Age (m)	--- from GPS ---	----	to MECQUE ----			RX	RX	Fail
3	544	35.426933	8.057943	282	05/29/2022	13:57:28	399	820.70	0.00	1.70	N	3454	108.20	ESE	689 2 1
3	544	35.426937	8.057936	354	05/29/2022	13:57:29	470	820.60	0.00	0.70	N	3454	108.20	ESE	1137 4 1
3	544	35.426937	8.057933	436	05/29/2022	13:57:30	550	820.50	0.00	1.26	N	3454	108.20	ESE	1585 6 1
3	545	35.426940	8.057929	510	05/29/2022	13:57:31	625	820.40	0.00	0.61	N	3454	108.20	ESE	2033 8 1
4	545	35.426940	8.057925	585	05/29/2022	13:57:32	699	820.30	0.00	0.44	N	3454	108.20	ESE	2485 10 1
4	545	35.426940	8.057924	659	05/29/2022	13:57:33	774	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	2937 12 1
0	9999	35.426940	8.057924	1735	05/29/2022	13:57:34	851	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	3386 12 1
0	9999	35.426940	8.057924	2087	05/29/2022	13:57:36	91	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	3839 12 1
0	9999	35.426940	8.057924	4094	05/29/2022	13:57:37	261	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	4335 12 1
4	5071	35.426940	8.057924	5184	05/29/2022	13:57:38	332	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	4691 12 1
4	5089	35.426940	8.057924	6249	05/29/2022	13:57:39	395	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	5047 12 1
0	9999	35.426940	8.057924	7325	05/29/2022	13:57:40	486	820.20	0.00	0.41	N	3454	108.20	ESE	5396 12 1
4	546	35.426998	8.058028	406	05/29/2022	13:57:41	521	823.90	0.00	0.98	N	3454	108.20	ESE	5848 14 1
4	547	35.427001	8.058019	481	05/29/2022	13:57:42	596	824.00	0.00	0.59	N	3454	108.20	ESE	6300 16 1
4	547	35.427001	8.058010	562	05/29/2022	13:57:43	678	824.00	0.00	0.44	N	3454	108.20	ESE	6752 18 1
4	547	35.427001	8.058007	639	05/29/2022	13:57:44	753	824.00	0.00	0.48	N	3454	108.20	ESE	7204 20 1
4	547	35.427005	8.058000	694	05/29/2022	13:57:45	810	824.00	0.00	0.74	N	3454	108.20	ESE	7656 22 1
3	547	35.427001	8.057995	791	05/29/2022	13:57:46	907	824.00	0.00	0.59	N	3454	108.20	ESE	8197 25 1
3	547	35.427001	8.057991	2	05/29/2022	13:57:48	135	824.00	0.00	1.02	N	3454	108.20	ESE	8871 28 1
4	548	35.427001	8.057989	218	05/29/2022	13:57:49	349	824.00	0.00	0.09	N	3454	108.20	ESE	9452 30 1
3	548	35.427001	8.057988	293	05/29/2022	13:57:50	408	823.90	0.00	0.13	N	3454	108.20	ESE	9902 32 1
4	548	35.427001	8.057986	363	05/29/2022	13:57:51	478	823.90	0.00	0.89	N	3454	108.20	ESE	10354 34 1
4	548	35.427001	8.057983	442	05/29/2022	13:57:52	558	823.80	0.00	1.41	N	3454	108.20	ESE	10806 36 1
3	549	35.427001	8.057979	521	05/29/2022	13:57:53	636	823.80	0.00	0.91	N	3454	108.20	ESE	11256 38 1
4	700	35.427001	8.057968	593	05/29/2022	13:57:54	708	824.10	0.00	1.70	N	3454	108.20	ESE	11709 40 1
4	699	35.427001	8.057966	672	05/29/2022	13:57:55	788	824.50	0.00	1.31	N	3454	108.20	ESE	12162 42 1
4	699	35.426998	8.057963	750	05/29/2022	13:57:56	865	824.30	0.00	1.17	N	3454	108.20	ESE	12615 44 1
4	698	35.426992	8.057953	6	05/29/2022	13:57:58	22	823.30	0.00	4.50	N	3454	108.20	ESE	13301 48 1
4	697	35.426925	8.057942	128	05/29/2022	13:57:59	260	819.40	0.00	6.80	N	3454	108.20	ESE	13958 50 1

Figure III.7 : Résultats de l'exemple de test du module GPS NEO-6M.

III.2.3 Le module GSM (SIM 800L GSM/GPRS)

L'unité SIM 800L GSM/GPRS (figure III.8) est un petit modem GSM, qui peut être intégrée dans un grand nombre de projets qui nécessitent une communication à distance. Ce module peut être utilisé pour accomplir tout ce qu'un téléphone portable normal peut faire ; Messagerie texte, faire ou recevoir des appels téléphoniques, connecter à internet à travers, TCP / IP...

Pour faire tout ce là, l'unité prend en charge le réseau GSM/GPRS à quatre bandes, ce qui signifie qu'elle fonctionne en grande partie partout dans le monde.

Ce module a un rôle primordial dans ce projet, parce qu'il assure la communication et le transfert des données entre le système et l'utilisateur. A l'association d'une puce SIM active, on peut envoyer un message texte qui comporte un mot clé prédéfini soit pour demander la position actuelle de la cible, de changer le numéro de l'utilisateur, de demander une information sur l'état de batterie ou bien sur l'environnement autour de la cible, comme la température, l'humidité, l'obscurité...si le système est équipé par des capteurs. L'utilisateur peut avoir aussi déclenché une alarme, coupé le moteur ou activé le mode d'écoute. Un autre rôle très important du module SIM 800L est d'assurer la position approximative de la cible

utilisant le système GSM qui exploite la position des tours de télécommunication en relation avec le système.



Figure III.8 : Le module GSM (SIM 800L GSM/GPRS).

III.2.3.1 Caractéristiques techniques SIM 800L

Le module SIM800L est un module GSM/GPRS quad band compatible avec Arduino. Le module fonctionne pour adopter à la fois des fonctionnalités GSM (appel vocal ou SMS) et des fonctionnalités GPRS. Les avantages de ces modules sont les niveaux série TTL et V_{CC} qui ont une tension de 5V, ce qui permet la connexion directe à Arduino ou à un autre contrôleur de niveau logique 5V. Les modules GPRS/GSM existait sur marché nécessitent un régulateur 5V et un circuit convertisseur de niveau, tandis que le module SIM800L dispose un circuit régulateur intégré et un convertisseur de niveau TTL sur la carte.

Le module SIM800L a de nombreuses spécifications, qui peuvent être énumérées ci-dessous [41] :

- Interface série compatible avec les microcontrôleurs 3.3V et 5V comme Atmel AVR.
- Le module possède un ensemble d'interface série de niveau TTL et un ensemble d'interface d'alimentation.
- Il comporte un ensemble d'interface d'antenne sur ce module.
- Prise en charge du réseau : Quad-Band 850/900/ 1800/1900 MHz, il peut transmettre des informations vocales, SMS et de données avec une faible puissance.
- Plage de tension: 3.7V a 5V. Taille: 40mm x 28mm x 3mm.
- GPRS multi-slot classe 12/10.
- Station mobile GPRS classe B.
- Conforme GSM phase 2/2+.
- Classe 4 (2 W @ 850/900 MHz).
- Classe 1 (1W @ 1800/1900MHz).

III.2.3.2 Architecture SIM 800L

Le module SIM800L a au total 12 broches qui l'interface avec le monde extérieur. Les connexions sont les suivantes :

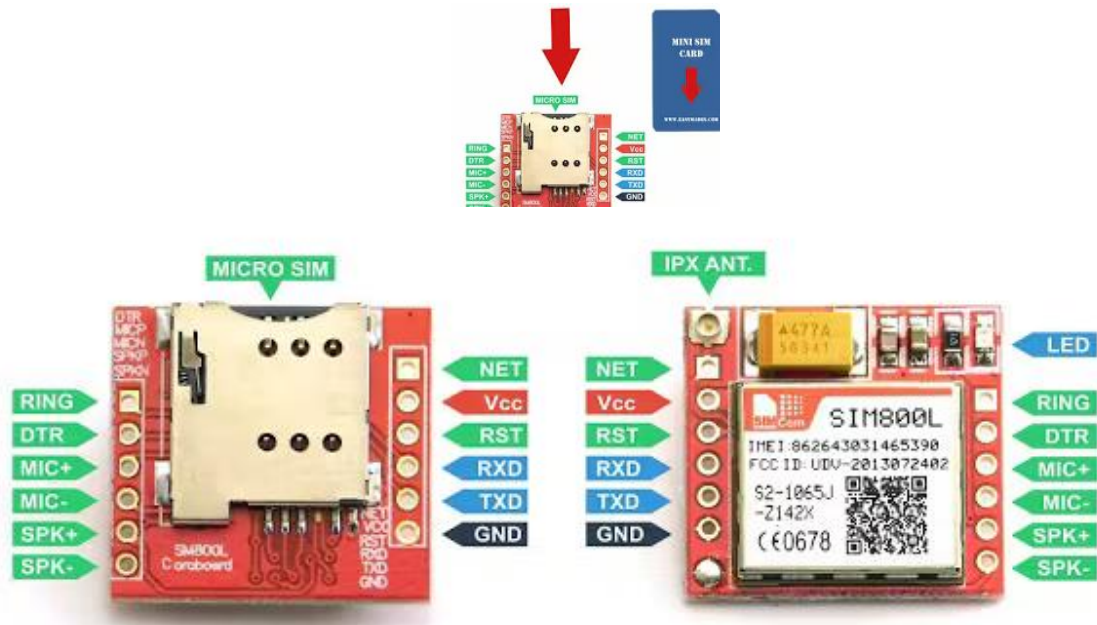


Figure III.9 : Schéma GSM Module (SIM 800L GSM/GPRS) de brochage.

- NET est une broche réservée à l'antenne hélicoïdale fournie avec le module.
- **Vcc** alimente le module. Cela peut être de 3,3 V à 5 volts.
- RST (Reset) est une broche de réinitialisation HARD.
- La broche **RxD** (récepteur) est utilisée pour la communication série.
- La broche **TxD** (émetteur) est utilisée pour la communication série.
- **GND** est la mise à la terre.
- La broche RING agit comme un indicateur d'anneau. Il s'agit essentiellement de la goupille de sortie d'interruption du module. Il est par défaut élevé et pulsera bas pendant 120ms quand un appel est reçu. Il peut également être configuré pour pulser quand un SMS est reçu.
- La broche DTR active/désactive le mode veille. Tirer sur HIGH mettra le module en mode veille, désactivant la communication série. Le tirer BAS va réveiller le module.
- MIC est une entrée de microphone différentielle. Les deux broches d'un microphone peuvent être connectées directement à ces broches.
- SPK est une interface de haut-parleur différentielle. Les deux broches d'un haut-parleur peuvent être liées directement à ces deux broches [41].

III.2.3.3 Commandes AT (Annexe II)

La plupart des modems modernes disposent d'un jeu de commandes textuelles qui peuvent être appelées en mode de commande. Les modems plus anciens ne disposent que des commandes par signaux de contrôle ou de commandes sous la forme de télégrammes. Le jeu le plus courant de commandes textuelles est appelé le jeu **AT** ou encore **Hayes**, du nom de

l'entreprise ayant commercialisé les premiers modems dits intelligents. Le jeu se compose de commandes simples préfixées par AT (toujours présent pour commencer une ligne de commande). En général, ces deux codes sont utilisés pour synchroniser le modem à la bonne vitesse. Il est donc recommandé de les taper avec la même casse. Les commandes agissent sur des registres internes qui sont manipulables directement [42].

Il est souvent possible de sauvegarder la configuration dans une mémoire interne non volatile. Il faut savoir que la plupart du temps beaucoup d'extensions incompatibles ont été implantées: il n'existe pas à proprement parler de norme. On parlera cependant des commandes les plus courantes. En général, les fabricants fournissent avec le modem de la documentation suffisante pour le paramétrage [42].

Les commandes AT avec un MODEM GSM/GPRS ou un téléphone mobile peuvent être utilisées pour accéder aux informations et services suivants :

- Informations et configuration relatives à l'appareil mobile ou au modem et à la carte SIM.
- Services des MMS.
- Services de FAX.
- Liaison de données et de voix sur le réseau mobile.
- Services de SMS. Les commandes du sous-ensemble Hayes sont appelées commandes de base et les commandes spécifiques à un réseau GSM sont appelées commandes AT étendues.

Explication de quelques commandes AT utilisées dans ce travail :

Tableau III.2 : Commandes AT.

AT+CRES	Restauration du paramétrage par défaut
AT+CMGL	Liste des SMS stockés en mémoire
AT+CMGF	Sélection du format du SMS (PDU ou TEXT)
AT+CMSS	Envoie d'un SMS stocké en mémoire
AT+CMGS	Envoie un SMS
AT+CNMI	Indication concernant un nouveau SMS
AT+CSCA	Définition de l'adresse du centre de messagerie
AT+CIPGSMLOC	GSM localisation et heure

- **AT+CMGS** = <numéro de téléphone><> : Envoie de message. Le message est terminé par <CTRL-Z> ou <CTRL-ESC> pour annuler.
- **AT+CMGW** = <taille><stat><> : Ecriture de message dans la mémoire. Cette commande retourne: +CMGW: <index du message dans la mémoire> OK.

- **AT+CMGD** = <index><> Efface le message numéro index de la mémoire.
- **AT+CMGF** = <num><> : Choisit le mode de SMS. num = 0 pour le mode PDU et num = 1 pour le mode texte.
- **AT+CIPGSMLOC**=<type>,<cid>:+CIPGSMLOC:<locationcode>[,<longitude>,<latitude>,<date>,<time>], <type> 1 Afficher la longitude, la latitude et l'heure 2 Afficher l'heure , <cid> paramètres réseau, reportez-vous à AT+SAPBR.

III.2.3.4 Configuration et teste initial du module SIM 800L

Nous avons utilisé la carte Arduino pour configurer et tester le module SIM 800L. La configuration et le câblage du module avec la carte Arduino est réalisé à travers le port série selon le schéma représenté ci-dessus (Figure III.7) :

TX connecté à la broche Arduino 5

RX connecté à la broche Arduino 6

VCC connecté à la broche Arduino 5V

GND connecté à la broche Arduino GND

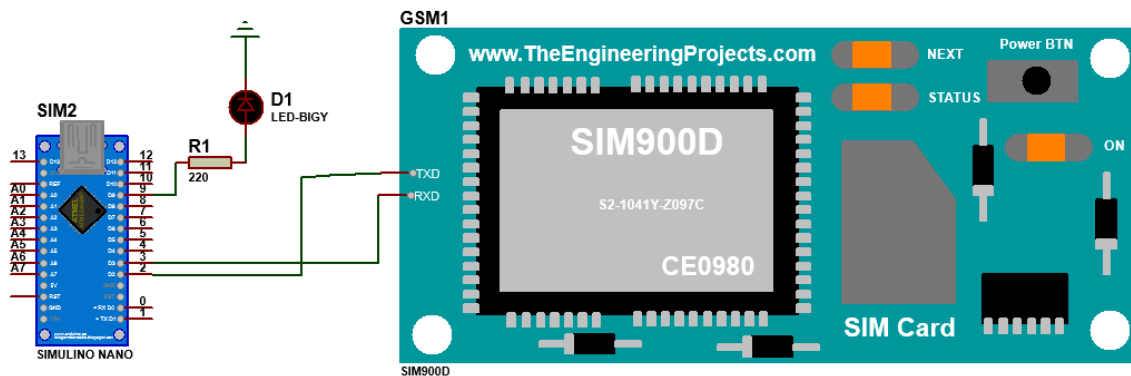


Figure III.10 : Schéma de brochage du Module GSM avec Arduino Nano.

III.2.3.4.1 Code Arduino (GSM)

Dans cet exemple on va présenter un programme de test de certaines fonctionnalités du module GSM. Le rôle de ce programme est d'envoyer un SMS à travers le mobile pour allumer ou éteindre une LED et recevoir un SMS contenant l'état de la LED.

```

//*****
//      *** PFE: TRACKER_GE_2021-2022_UNIV-TEBESSA ***
//*****
//      *** SIM800L_TEST ***
//*****
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIML(2,3);
#define LED_PIN  13
String message = "empty";
String response1;
String response2;
String Number = "";
bool ledStatus; //*****
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SIML.begin(9600);
  pinMode(LED_PIN,ledstatus);
  SIML.println("AT+CENG=3\r\n");
  SIML.println("AT+CMGF=1\r\n");
  delay(1000);
  SIML.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r\n");}
void loop() { //*****
  if(SIML.available(>0){
    response1 = SIML.readStringUntil('\n'); // lire la 1ère ligne du message qui contient le numéro Tél et la date
    Serial.println(response1);
    if (response1.indexOf("+CMT") == 0) { // Si cette ligne commence par +CMT ( nouveau message arrivé)
      Number = response1.substring(7,20); // extraire le numero Tél qui situé entre 7 et 20 de la 1ère ligne
      Serial.println(Number);
      response2 = SIML.readStringUntil('\n'); // lire la 2ème ligne du message qui contient le mot de passe
      Serial.println(response2);
      if (response2.indexOf("LED ON") == 0){
        ledStatus = 1;
        digitalWrite(LED_PIN,ledStatus);
        message = "LED is ON";
        Send_Data(); }
      else if(response2.indexOf("LED OFF") == 0) {
        ledStatus = 0;
        digitalWrite(LED_PIN,ledStatus);
        message = "LED is OFF";
        Send_Data(); } } }
//*****Sous programme send message *****
void Send_Data() {
  digitalWrite(LED_PIN, ledStatus); //Write current status to LED pin
  SIML.println("AT+CMGF=1\r"); //Sets the GSM Module in Text Mode
  delay(500); // Delay of 1000 milli seconds or 1 second
  SIML.println("AT+CMGS=\"\" + Number + \"\r"); // Replace Number with mobile number
  delay(500);
  SIML.println(message); // The SMS text you want to send

```

```

delay(100);
SIML.println((char)26);// ASCII code of CTRL+Z
delay(500);
Serial.println(Number + message);
Serial.println("End Message"); }

```

III.2.3.4.2 Résultats de test (GSM)

```

COM6
AT+CENG=3AT+CMGF=1
OK
AT+CNMI=2,2,0,0,0
OK
OK
+CMIT: '+213663707184', '', '22/05/20,16:46:48+04'
+213663707184
LED ON
+213663707184LED is ON
End Message
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS='+213663707184'
> LED is ON
>
> +CMGS: 158
OK
+CMIT: '+213663707184', '', '22/05/20,16:47:11+04'
+213663707184
LED OFF
+213663707184LED is OFF
End Message
AT+CMGF=1
OK
AT+CMGS='+213663707184'
> LED is OFF
>
> +CMGS: 159
OK

```

Figure III. 11 : Exemple de test du Module GSM avec Arduino Nano.

III.3 Simulation

III.3.1 Présentation des logiciels de simulation

Pour prédire les résultats pratiques et minimiser le coût du projet avant de passer à la réalisation, il est préférable de procéder à une simulation. A cet effet, nous avons utilisé certains logiciels, comme le logiciel dédié au développement de programmes Arduino IDE (Environnement de Développement Intégré). Concernant la simulation des circuits électronique, nous avons utilisé le logiciel Proteus de Labcenter Electronics [44].

La simulation nous a permis de tester et vérifier le bon déroulement du programme et de valider les étapes précédentes pour passer à l'étape finale qui est celle de la réalisation pratique de ce projet. La simulation joue un rôle très important, elle permet de savoir si le projet fonctionne ou pas, C'est pour cela qu'on a opté pour une simulation sur ISIS afin d'avoir une idée sur le fonctionnement de notre système.

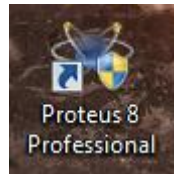


Figure III. 12 : Proteus 8 Professionnel.

III.3.2 Simulation du système Tracker GPS dans l'environnement Proteus

Proteus est un logiciel professionnel, utilisé dans l'électronique pour simuler des circuits et créer des typons. Il est également capable de simuler le fonctionnement d'un contrôleur avec tous les périphériques de la carte de commande. L'utilisation du logiciel «Proteus 8» permet de mieux visualiser le bon déroulement du système ainsi que d'avoir une idée claire sur la partie matérielle et la conception des circuits imprimés. Il nous permet de limiter les essais réels [43].

Pour effectuer la simulation Proteus, nous allons utiliser les ressources suivantes :

- Une bibliothèque GPS et GSM pour Proteus conçue par Theengineeringprojects.com qui ajoute un module GPS et GSM à notre bibliothèque de composants et nous permet d'utiliser des modules GPS et GSM dans nos simulations Proteus.
- Le fichier hexadécimal du module GPS qui définit comment le module GPS doit fonctionner et contient également des chaînes NMEA factices. Le fichier hexadécimal GPS a également été rédigé par Theengineeringprojects.com et est inclus dans les ressources de ce projet.
- Fichier hexadécimal du module GSM qui définit le fonctionnement du module GSM, il nous permet d'établir une communication sous forme d'envoi et de réception d'un message avec Arduino. Le fichier hexadécimal GSM a également été créé par Theengineeringprojects.com et est inclus dans les ressources de ce projet.
- Une bibliothèque Arduino Proteus conçue par Theengineeringprojects.com qui ajoute tous les modules Arduino.
- Fichier hexadécimal Arduino (code de notre programme).

N.B : La bibliothèque GSM dans l'environnement Proteus, ne contient qu'un seul exemple qui est valable pour la simulation de tous les types SIM, qui est le type SIM900D.

Après avoir extrait tous les fichiers et bibliothèques des bibliothèques GPS et GSM et les avoir fusionnés avec les bibliothèques Proteus, ouvrir Proteus et ajouter le module Arduino Nano, GPS et GSM à l'espace de travail et le relier comme indiqué dans l'image ci-dessous :

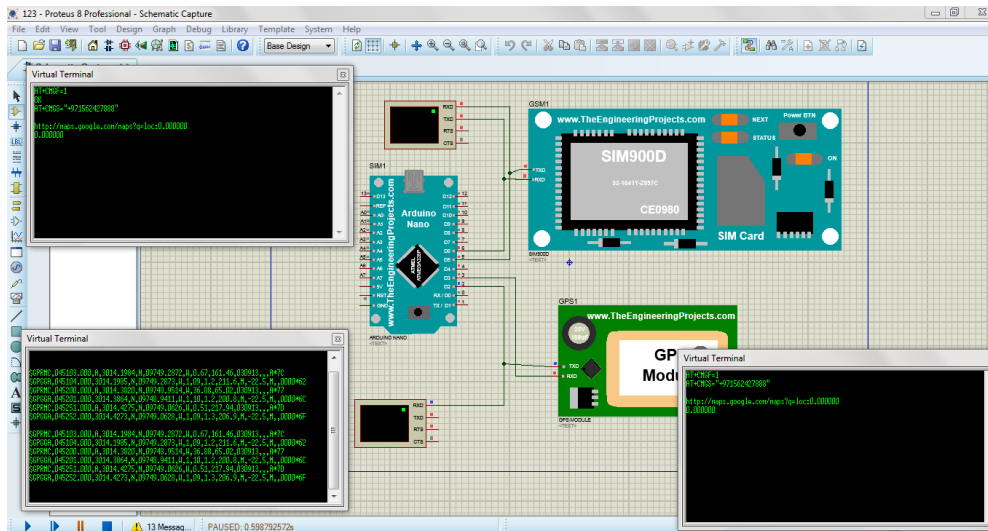


Figure III. 13 : Exemple de simulation du système Tracker GPS par PROTEUS.

III.4 Réalisation du système Tracker GPS

Le circuit du système Tracker GPS se compose de deux parties principales. La première partie c'est la partie puissance qui se charge de tout ce qui concerne l'alimentation et la gestion de l'énergie. La deuxième partie c'est la partie de commande qui est consacrée au contrôle du système et la gestion et le transfert des données.

III.4.1 Circuit de puissance

Afin d'assurer l'autonomie de notre système GPS, l'ensemble est renforcé par un circuit de puissance (Figure) qui se compose de :

- Une batterie de lithium BRC 18650 4800 mAh de 3.7 Volts Li-ion.
- Support de batterie 18650.
- Un circuit de charge TP 4056 (Micro USB 5V / 18650) : Pour charger et protéger la batterie.
- Convertisseur élévateur DC-DC : Comme une cellule ne fournit que 3,7 V et notre système besoin d'une tension de fonctionnement de 5 V, nous avons utilisé un convertisseur élévateur DC-DC 3.7V à 5V.

III.4.2 Circuit de commande

La partie commande est composée d'une carte maitresse représentée par la carte Arduino Nano et deux modules esclaves représentés par le module GPS NEO-6M et le GSM SIM800L. La communication entre les trois modules constituant le circuit de commande, est assurée à travers la liaison série.

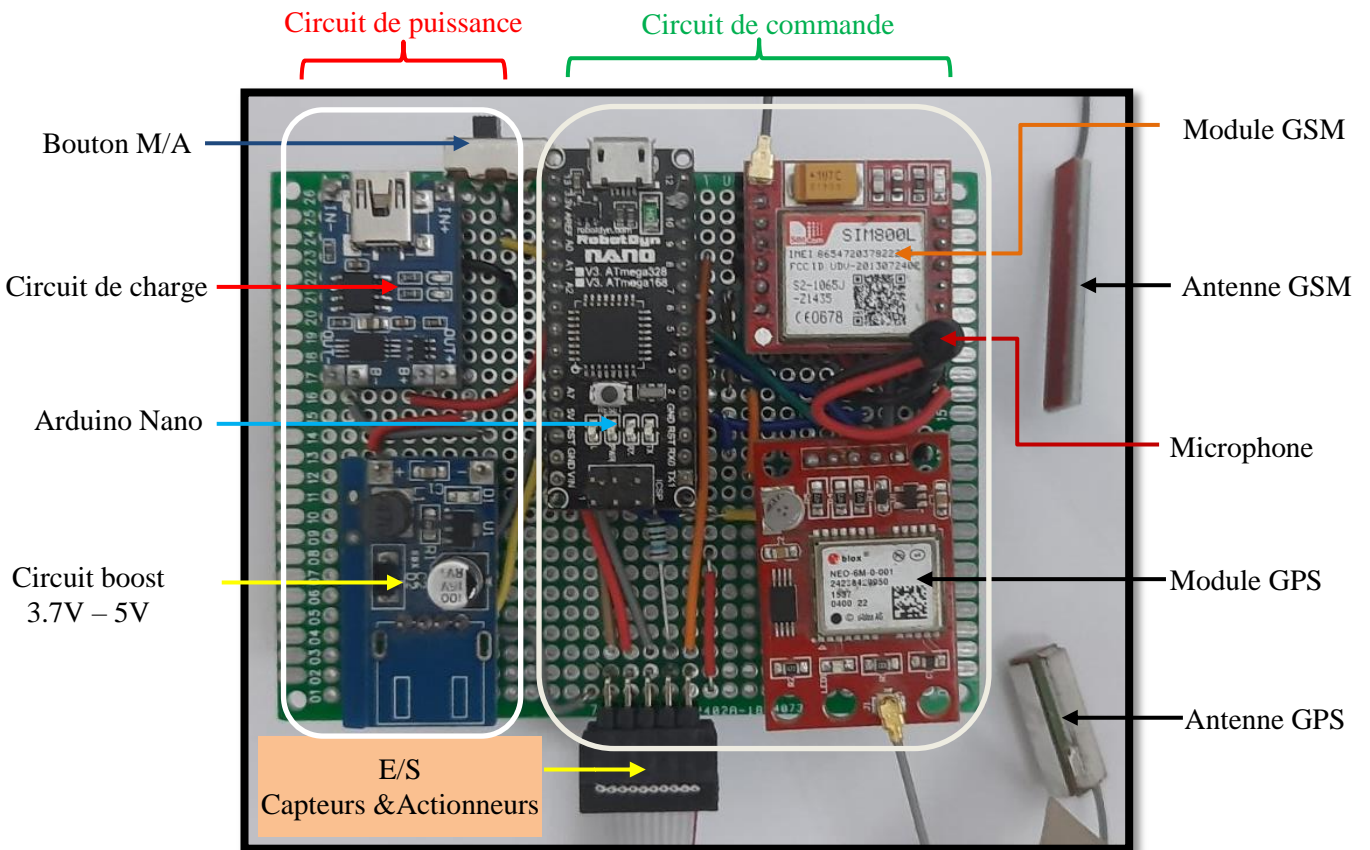


Figure III.14 : Circuit de puissance et commande du Tracker GPS.

III.4.2.1 La communication série

La carte Arduino a un support intégré pour la communication UART sur les broches 0 et 1. La bibliothèque SoftwareSerial a été développée pour permettre la communication série sur d'autres broches numériques de l'Arduino. Il est possible d'avoir plusieurs ports série (soft) avec une vitesse allant jusqu'à 115200 bps, mais dans la carte Nano, la vitesse maximale est limitée à 9600 bps. Concernant la liaison série entre Arduino d'un part et le GPS et GSM d'autre part, deux ports séries sont créés respectivement sur les pins (2,3) et (4,5). Pour le bon fonctionnement de la communication série, un seul port peut être activé à la fois et l'autre port doit être désactivé en utilisant les commandes (Nom-du-port.begin(9600)) et (Nom-du-port.end()) respectivement pour l'activation et la désactivation du port correspondant.

III.4.2.2 Programme général (Annexe III)

Comme tous programme, nous avons répartie notre programme en partie déclaration, partie initialisation et configuration, partie principale et les sous programmes.

Dans la partie déclaration, nous listons d'abord les bibliothèques et définissons les broches de communication série pour le GSM et le GPS, ainsi les broches E/S réservé à une éventuelle utilisation des capteurs et actionneurs. Nous définissons également certaines variables avec des tableaux pour stocker des données. La bibliothèque "SoftwareSerial" est utilisée pour permettre la communication série sur les broches, et la bibliothèque "TinyGPS++" est utilisée pour gérer les données du GPS.

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <TinyGPS++.h>
```

Dans la partie initialisation et configuration : nous initions une liaison de communication série entre l'Arduino, l'Arduino et le module GSM avec un débit fixe de 9600 pour série, et après avoir établi une connexion de base, nous essaierons de communiquer avec le module GSM en envoyant des commandes AT pour configurer le module en mode message.

```
SIML.println("AT+CEMG=3\r\n");
```

```
SIML.println("AT+CMGF=1\r\n"); delay(1000);
```

```
SIML.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r\n");
```

Concernant les sous-programmes, ils ont conçus d'une façon, soit pour l'acquisition de l'information comme le sous-programme GPS ou ceux consacrés aux données des capteurs, soit pour le traitement et la gestion des données comme le sous-programme GSM, ou bien pour l'émission et l'envoi des données.

La réception d'un nouveau message va pousser le programme principal à décoder ce dernier, dont le but de prendre l'action requise. Le message reçu est caractérisé par le numéro du destinataire et le contenu du message avec l'heur et la date fournie par le réseau. La première étape consiste à filtrer le numéro du destinataire en le comparant avec la liste des utilisateurs, si ce dernier n'existe pas, le système ne répond plus à ce message, si non le programme passe au filtrage du contenu du message en le comparant avec les mots de passe qu'ils existent.

III.5 Mise en marche du Tracker et exemples de fonctionnement

Dans cette section, les différentes fonctions possibles du système Tracker GPS seront discutées à travers des exemples illustratifs pour montrer le fonctionnement du système.

- **"Location"** : Ce cas signifie que l'utilisateur cherche les données de localisation. Donc, le programme principal passe au sous-programme GPS pour lire ces données et puis passe au sous-programme d'envoi des messages où il envoie le message au destinataire sous forme d'un lien accessible sur 'Google Maps'. Si les données GPS ne sont pas actualisées (GPS hors service ou milieu fermé), le programme prend en charge la dernière position connue par le GPS et passe au sous-programme GSM pour accéder et définir la position à travers les données « **mcc, mnc, lac, cellid** » en utilisant les stations de bases (les antennes) et la puce SIM du système. Puis, il envoie les deux positions avec la date et l'heure, sous forme d'un lien.

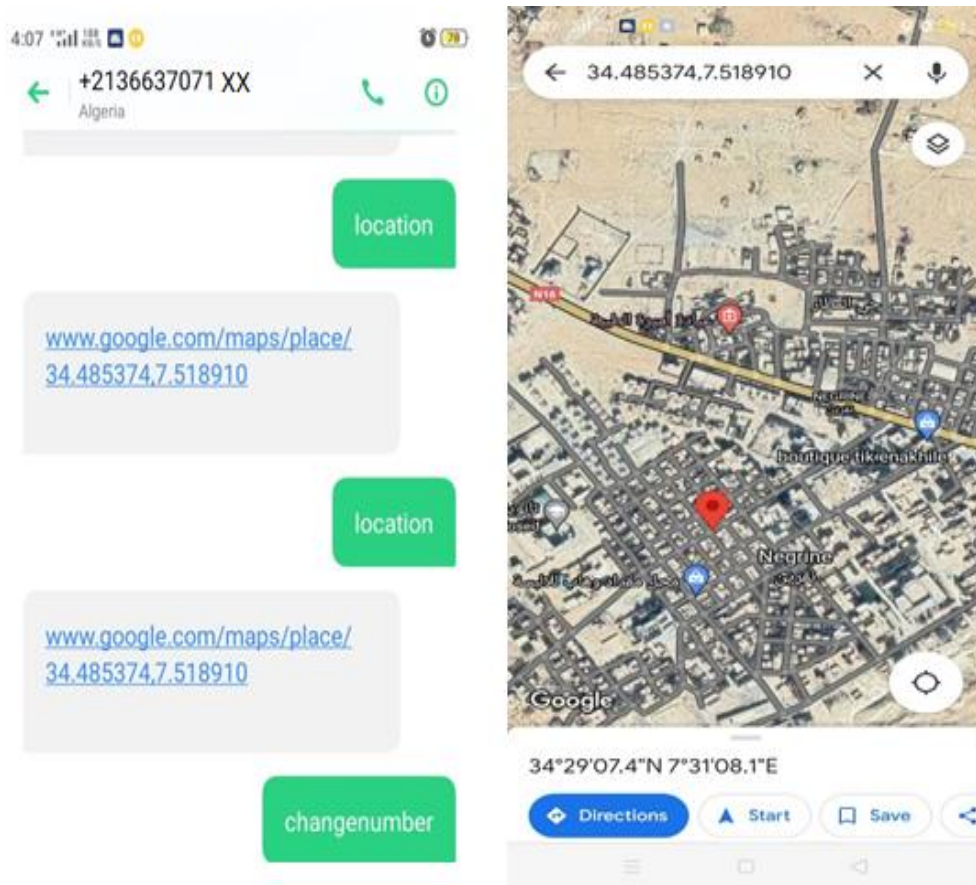


Figure III.15 : Exemple de localisation GPS.

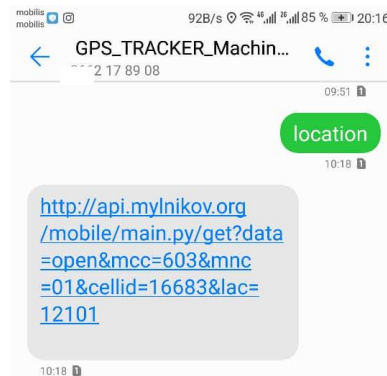


Figure III.16 : Exemple de localisation par GSM, dans le cas où GPS n'est pas actualisé.

- **"Changnumber"** : Ce cas signifie le changement du numéro du destinataire, le programme va ajouter le nouveau numéro à la liste des utilisateurs et envoie un message de confirmation.



Figure III.17: Exemple de changement de numéro d'utilisateur.

- **"Sensors"** : Dans ce cas, on va utiliser le sous-programme du capteur correspondant pour envoyer l'information requise au destinataire par messagerie.



Figure III.18 : Exemple de fonctionnement des télé-capteurs.

- **"LED ON"/"LED OFF"** : Pour ces mots de passe, l'utilisateur veut activer ou désactiver un actionneur (EX : une LED). Dans ce cas le programme activera ou désactivera la pîne de la sortie correspondante et envoie un message de confirmation (LED is ON ou LED is OFF). Pour vérifier l'état d'un actionneur, il suffit d'envoyer un mot clé qui comporte le mot "STATE", précédé du nom de l'actionneur correspondant. Dans le cas de la LED, en envoyant le mot "LED STATE", l'utilisateur reçoit un message de confirmation (LED is ON ou LED is OFF).

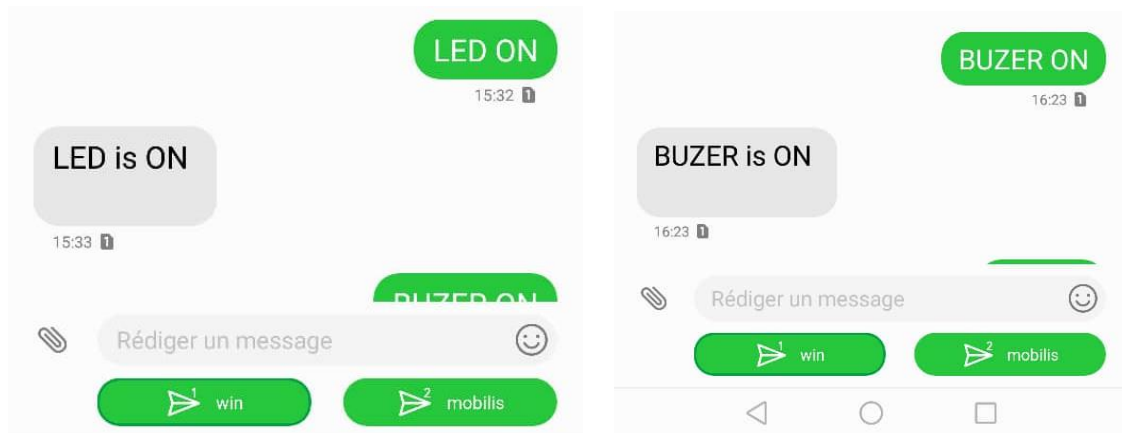


Figure III.19 : Exemple de commutation d'une LED ou un Buzzer.

- **"BAT STATE"** : Pour ce mot de passe, l'utilisateur veut s'informer sur l'état d'un tel actionneur, le programme lire et envoie un message contenant l'état de l'actionneur concerné.

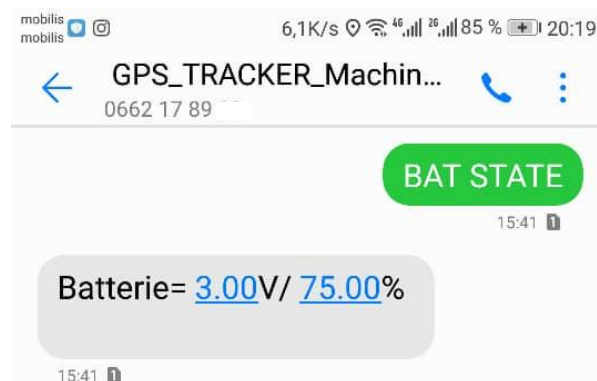


Figure III.20 : Exemple de lecture de l'état de la batterie.

- **"LISTEN"** : Ce mot est utilisé pour activer le mode d'écoute. Après quelques secondes de l'envoi, l'utilisateur reçoit un appel du système qui lui permet d'écouter le discours (audio) dans la zone à localiser.

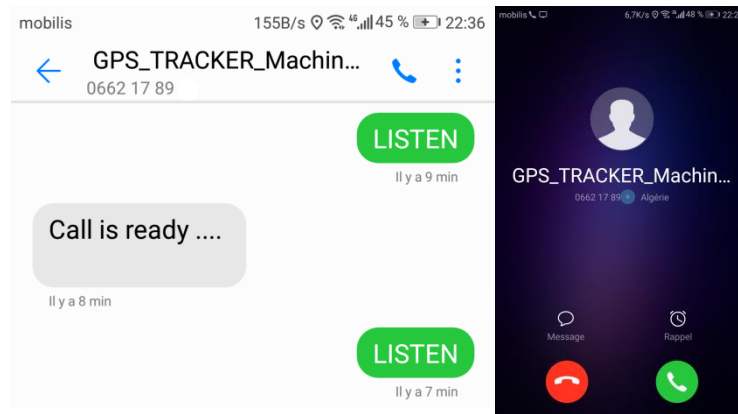


Figure III.21 : Exemple d'activation du mode d'écoute.

N.B : On peut ajouter d'autres mots de passe à celles cités ci-dessus pour créer d'autres fonctionnalisées.

Le programme gère aussi d'autres fonctions d'alarmes que l'utilisateur peut les reçus, comme l'alarme sur la décharge de la batterie ou d'autres fonctions liées par les capteurs (exemple capteur de vibration, porte de voiture ouverte, taux d'humidité élevée...)

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous couvrons une partie de la conception, la réalisation et la mise en œuvre de ce travail. Il commence par une présentation des différentes pièces qui composent le système Tracker GPS, ainsi le test et le fonctionnement de chaque partie séparée. Ensuite, une vue d'ensemble de l'assemblage du système est prise en compte pour la programmation, la simulation, la mise en œuvre, les tests, et des exemples d'utilisation.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail était le développement d'un prototype d'un Tracker GPS capable de réunir les différentes fonctionnalités d'un système de suivi, telles que la localisation, l'échange des données, la télésurveillance et le contrôle à distance. OÙ, le but était l'utilisation de ce système dans les différents domaines, comme le suivi des personnes, la surveillance de la faune sauvage, la sécurité des véhicules et la logistique des marchandises. A cet effet, on a divisé le travail en parties ou encore en étapes. La première étape était la maîtrise de la localisation par GPS, où on a réussi à visualiser les coordonnées d'une cible sur écran, en utilisant le module GPS NEO-6M et un Arduino relié par ordinateur. La deuxième étape a été consacrée à l'échange de données entre le système et l'utilisateur, dans lequel nous sommes arrivés à émettre et recevoir des SMS en utilisant le module SIM 800L, un Arduino et un Smartphone. La troisième étape a été dédiée à l'acquisition des données provenant des capteurs et la commande des actionneurs en utilisant une carte Arduino et différents types de capteurs, pour les actionneurs, ils sont remplacés par un Buzzer et une simple LED. Après, les trois étapes sont rassemblées dans un seul système qui fait le tout. Donc, on a pu réaliser un système souple qui réunit les différentes fonctionnalités sans moins changement au niveau de la partie matérielle. Le développement du système par la suite, ne nécessite que l'évolution de la partie programmation selon nos besoins.

Finalement, le système a été testé et nous étions très satisfaits des résultats obtenus. De plus, ce projet nous a permis de travailler sur des technologies modernes et d'actualité comme le GPS, le GSM, les systèmes mobiles et les systèmes embarqués, d'améliorer nos connaissances dans ces domaines et de faire la liaison entre avec tout ce que nous avons appris pendant nos études.

Comme tous les projets, le nôtre ne fait pas exception, il peut contenir des lacunes ou des faiblesses. Par conséquent, nous voudrions souligner certains points qui manquent dans le système conçu qui peut être développé à l'avenir, par exemple :

- L'utilisation d'une interface Android pour gérer le transfert des données entre utilisateur-système et améliorer la souplesse du fonctionnement.
- Le passage au système GPRS et internet dans le but d'utiliser des sites web pour le Streaming des cibles et la collection de données en ligne.

Bibliographie

- [1] R.G. Waltermire et al., “Improve wildlife species tracking—Implementing an enhanced global positioning system data management system for California condors”, USGS Publications Warehouse, Open-File Report 2016–1030.
- [2] S.M. Tomkiewicz, M.R. Fuller, J.G. Kie and K.K. Bates, “Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research”, Royal Society Publishing, 2010.
- [3] K. Michael, A. McNamee, M.G. Michael, “The Emerging Ethics of Human-centric GPS Tracking and Monitoring”, International Conference on Mobile Business, IEEE, 2006.
- [4] I.M. Almomani, N.Y. Alkhalil, E.M. Ahmad, R.M. Jodeh, “Ubiquitous GPS vehicle tracking and management system”, IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), 2011.
- [5] M. Stute, S. Narain, A. Mariotto, A. Heinrich, “A Billion Open Interfaces for Eve and Mallory: MitM, DoS, and Tracking Attacks on iOS and macOS Through Apple Wireless Direct Link”, 28th USENIX Security Symposium, 2019.
- [6] K.R. Prasanna, M. Hemalatha, “RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism”, Procedia Engineering, Vol 30, pp.726-729, 2012.
- [7] B. Brendon. “The Global Positioning System”, Physics Capstone Projects, Utah State University, 2017.
- [8] K. Messaoud, “Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût”, Thèse de doctorat, Clermont-Ferrand, 2009.
- [9] B. Rashmi, S.L. Ranaweera, and D.P. Agrawal. “GPS: location tracking technology”, Computer. 35.4 : 92-94, 2002.
- [10] <https://tpejvilar.wordpress.com/a-propos/la-composition-du-systeme-gps/>
- [11] P.H. Dana, “Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications”, Real-Time systems, 1997.
- [12] <https://couleur-science.eu/?d=97791a--quel-est-le-principe-de-fonctionnement-du-gps>
- [13] H. Diab. H. Meddah, “étude et réalisation d'un système de géolocalisation et détection de stress de patients atteints d'Alzheimer”, mémoire de projet de fin d'études, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, 2019.

-
- [14] F. El Khoury, A. Zgheib, "Building a dedicated GSM GPS module tracking system for fleet management: hardware and software", CRC Press, ISBN 9780367572211, 2020.
- [15] B. Beldjilali, A. Belkhiter, "Intégration d'un service de localisation GSM/GPS", mémoire de projet de fin d'études, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, 2013.
- [16] S. Barmane, "GNSS and GPS", lien: <https://b-ok.africa/book/5502570/15238e>, 2020.
- [17] A. El-Rabbany, "Introduction to GPS: the global positioning system", Artech house, 2002.
- [18] Van Sickle, Jan. "GPS for Land Surveyors", CRC Press, ISBN 13: 978-1-4665-8311-5, 2015.
- [19] <https://www.montre-cardio-gps.fr/les-7-erreurs-que-fait-regulierement-votre-montre-gps/>
- [20] <http://adrien.rocha78.over-blog.com/article-inconvenients-du-gps-70704078.html>
- [21] <https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1009553-monde-le-nombre-d-abonnes-au-telephone>
- [22] S.I. Taleb, I. Boudina, "développement d'un outil d'optimisation pour l'allocation des fréquences dans le réseau GSM", Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, 2013.
- [23] F. Carelin, I.J. Raglend, "Home automation using GSM", International Conference on Signale Processing, Communication, Computing and Networking Technologies, IEEE, 2011.
- [24] R.M. Young, "Mobile communication systems and security", John Wiley & Sons, 2009.
- [25] C. Mainak, A. Biswas, "Wireless Communication: Theory and Applications", Cambridge university press, 2017.
- [26] S. Znaty, "GSM: Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités", EFORT, Francia. Economia Ricerche, 2008.
- [27] V.S. Bagad, "Telematics", Technical Publications, 2009.
- [28] T.G. Palanivelu, "Wireless and Mobile Communication", PHI Learning Pvt. Ltd, 2008.
- [29] E. Jörg, C. Bettstetter, H.J. Vhogel, GSM: "Switching, Services and Protocols", John Wiley & Sons, Inc, 2001.

-
- [30] A.R. Mishra, "Advanced cellular network planning and optimisation: 2G/2.5 G/3G... evolution to 4G", John Wiley & Sons, 2007.
- [31] A. Kukushkin, "Introduction to Mobile Network Engineering: GSM, 3G-WCDMA, LTE and the Road to 5G", John Wiley & Sons, 2018.
- [32] A.F. Molisch, "Wireless communications", Vol. 34. John Wiley & Sons, 2012.
- [33] A.R. Mishra, "Fundamentals of cellular network planning and optimisation : 2G/2.5G/3G... evolution to 4G", John Wiley & Sons, 2004.
- [34] M. Sauter, "From GSM to LTE-advanced: an introduction to mobile networks and mobile broadband", John Wiley & Sons, 2014.
- [35] A.R. Mishra, "Cellular technologies for emerging markets : 2G, 3G and beyond", John Wiley & Sons, 2010.
- [36] M. Sauter, "From GSM to LTE-advanced Pro and 5G : An introduction to mobile networks and mobile broadband", John Wiley & Sons, 2017.
- [37] C. Demoulin, M. Van Droogenbroeck, "Principes de base du fonctionnement du réseau gsm", Notes de cours, Département d'Électricité, Électronique et Informatique (Institut Montefiore) Sart Tilman, B-4000 Liège.
- [38] I. Slimane, T. Habireche, "Conception et réalisation d'un système de géolocalisation et de suivi: Cas NAFTAL", Mémoire Master, Université Mouloud Maameri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [39] M.O. Schwartz, "Arduino pour la domotique", Dunod, 2015.
- [40] Datasheet GPS NEO-6M.
- [41] SIM-800L Datasheet.
- [42] Livre AT Commands Reference Guide.
- [43] A. Makhoulf, F. Bouchareb, "Réalisation d'une Carte d'acquisition et supervision en utilisant un module GSM", Projet de fin d'étude master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2018.

A. Overview

The NEO-6 module series is a family of stand-alone GPS receivers featuring the high performance u-blox 6 positioning engine. These flexible and cost effective receivers offer numerous connectivity options in a miniature 16 x 12.2 x 2.4 mm package. Their compact architecture and power and memory options make NEO-6 modules ideal for battery operated mobile devices with very strict cost and space constraints. The 50-channel u-blox 6 positioning engine boasts a Time-To-First-Fix (TTFF) of under 1 second. The dedicated acquisition engine, with 2 million correlators, is capable of massive parallel time/frequency space searches, enabling it to find satellites instantly. Innovative design and technology suppresses jamming sources and mitigates multipath effects, giving NEO-6 GPS receivers excellent navigation performance even in the most challenging environments.

B. Product features

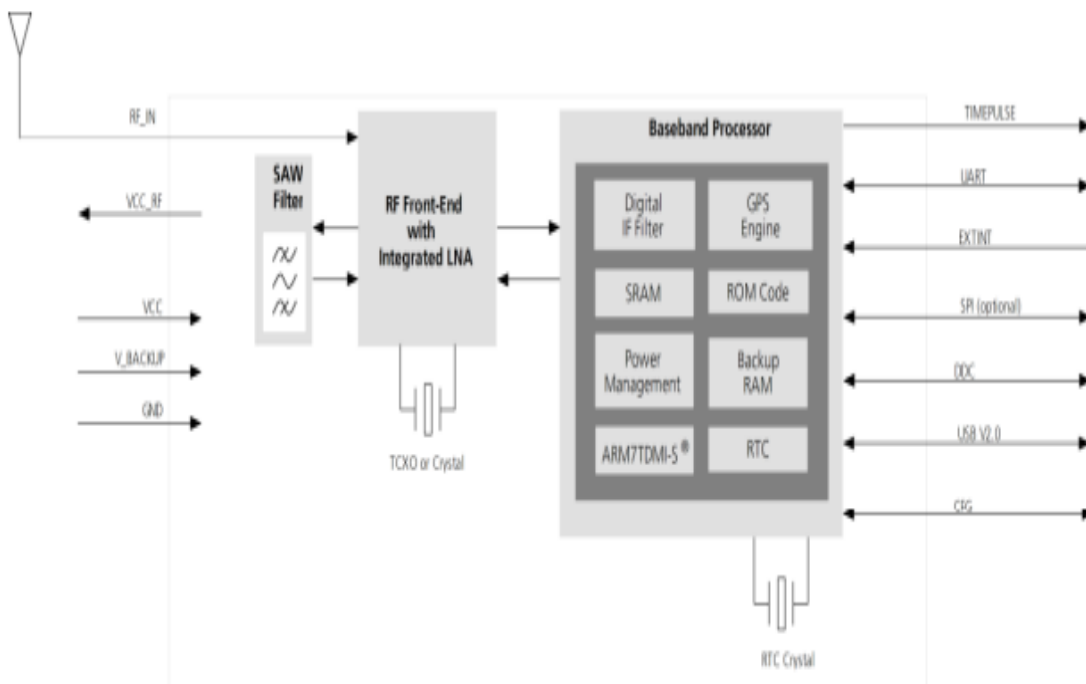
Model	Type	Supply	Interfaces	Features
	Standalone GPS Capture & Process Timing & Raw Data Dead Reckoning	1.75 V - 2.0 V 2.7 V - 3.6 V	UART USB SPI DDC (I ² C compliant)	Programmable (Flash) FW update TCXO RTC crystal Antenna supply and supervisor Configuration pins Timepulse External interrupt/ Wakeup
NEO-6G	•	•	• • • •	• • 0 3 1 •
NEO-6Q	•	•	• • • •	• • 0 3 1 •
NEO-6M	•	•	• • • •	• 0 3 1 •

All NEO-6 modules are based on AEC-Q100 qualified GPS chips. See Chapter 5.1 for further information

C. GPS performance

Parameter	Specification		
Receiver type	50 Channels GPS L1 frequency, C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS		
Time-To-First-Fix ¹		NEO-6G/Q	NEO-6M
	Cold Start (Autonomous)	26 s	27s
	Warm Start (Autonomous)	26 s	27s
	Hot Start (Autonomous)	1 s	1 s
	Aided Starts ²	1 s	<3 s
Sensitivity ³		NEO-6G/Q	NEO-6M
	Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm
	Reacquisition ⁴	-160 dBm	-160 dBm
	Cold Start (Autonomous)	-148 dBm	-147 dBm
	Hot Start	-157 dBm	-156 dBm
Maximum Navigation update rate		5Hz	
Horizontal position accuracy ⁵	Autonomous	2.5 m	
	SBAS	2.0 m	
Configurable Timepulse frequency range		0.1 Hz to 1 kHz	
Velocity accuracy		0.1m/s	
Heading accuracy		0.5 degrees	
Operational Limits	Dynamics	≤ 4 g	
	Altitude ⁶	50,000 m	
	Velocity ⁶	500 m/s	

D. Block diagram



E. Pin assignment

No	Module	Name	I/O	Description
1	All	Reserved	I	Reserved
2	All	SS_N	I	SPI Slave Select
3	All	TIMEPULSE	O	Time pulse (1PPS)
4	All	EXTINT0	I	External Interrupt Pin
5	All	USB_DM	I/O	USB Data
6	All	USB_DP	I/O	USB Data
7	All	VDDUSB	I	USB Supply
8	All	Reserved		See Hardware Integration Manual Pin 8 and 9 must be connected together.
9	All	VCC_RF	O	Output Voltage RF section Pin 8 and 9 must be connected together.
10	All	GND	I	Ground
11	All	RF_IN	I	GPS signal input
12	All	GND	I	Ground
13	All	GND	I	Ground
14	All	MOSI/CFG_COM0	O/I	SPI MOSI / Configuration Pin. Leave open if not used.
15	All	MISO/CFG_COM1	I	SPI MISO / Configuration Pin. Leave open if not used.
16	All	CFG_GPS0/SCK	I	Power Mode Configuration Pin / SPI Clock. Leave open if not used.
17	All	Reserved	I	Reserved
18	All	SDA2	I/O	DDC Data
19	All	SCL2	I/O	DDC Clock
20	All	TxD1	O	Serial Port 1
21	All	RxD1	I	Serial Port 1
22	All	V_BCKP	I	Backup voltage supply
23	All	VCC	I	Supply voltage
24	All	GND	I	Ground

A. SIM800 Series AT Command Manual_V1.09

Version	Date	Chapter	What is new
V1.00			New version
V1.01	2013-07-23	All	Modify GSM 07.05 to 3GPP TS 27.005,modify GSM 07.07 to 3GPP TS 27.007
		1.1 Scope of the document	Add SIM800
		2.2.8 ATH	Delete ATH parameter [n]
		2.2.12 +++	Change "0.5 second" to "1 second"
		2.2.13 ATO	Change "NO CARRIER" to "ERROR"
		2.2.26 ATX	Change default value from 0 to 4
		2.2.32 AT&W	Add AT+CFGRI,AT+CSGS
		2.2.41.1 Auto-bauding	Disable DTR auto-bauding
		3.2.14 AT+CHLD	Delete parameter of CHLD
		3.2.18 AT+CLIP	Change URC parameter
		3.2.51 AT+CRSL	Delete reference Note
		3.2.7 AT+CEER	Change description of 34 (emergency call not possible)
		4.2.10 AT+CRES	Delete description of CSCB
		4.2.11 AT+CSAS	Delete description of CSCB
		6.2.4 AT+CMIC	Add reference Note
		6.2.11 AT+CFGRI	Add default value
		6.2.16 AT+CCVM	Modify Test Command response information and parameter description
		6.2.18 AT+CHF	Add URC
		6.2.26 AT+STTONE	Change <duration> supported range;delete reference note
		6.2.27 AT+SIMTONE	Modify last parameter of Test Command to 10-500000
		6.2.48 AT+SLEDS	Modify default value
		6.2.55 AT+CSGS	Add ATC
		6.2.56 AT+CMICBIAS	Add ATC
		8.2.2 AT+CIPSTART	Modify parameter
		8.2.15 AT+CIPHEAD	Modify parameter
		8.2.20 AT+CIPSRIP	Modify parameter
		8.2.23 AT+CIPCCFG	Modify write cmd parameters
		8.2.26 AT+CIPRXGET	Add "single IP & multi IP connection" information

9.2.1 AT+SAPBR	Modify parameter
12.2.23 AT+FTPLIST	Change "Execution Command" to "Write Command"
14.2.8 AT+SMTPBODY	Change "Execution Command" to "Write Command"
14.2.10 AT+SMTPSEND	Modify parameter
14.2.11 AT+SMTPFT	Change "Execution Command" to "Write Command"
15.2.15 AT+CMMSRECV	Change reference note
15.2.21 AT+CMMSTIMEOUT	Change "milliseconds" to "seconds"
15.2.25 AT+CMMSSCONT	Modify parameter of Execution Command
17.2.1 AT+CREC	Add note
18.2.2 AT+CTTSPARAM	Modify parameter;add note
20.8 GPRS Commands	Modify the CGQREQ example
20.17 RECORD Commands	Add example
3.2.17 AT+CLCK	Add Max Response Time
3.2.22 AT+COPS	Add Max Response Time
3.2.29 AT+CPWD	Add Max Response Time
3.2.28 AT+CPIN	Add Max Response Time
3.2.41 AT+VTS	Add Max Response Time
3.2.44 AT+CPOL	Add Max Response Time
3.2.45 AT+COPN	Add Max Response Time
3.2.54 AT+CPUC	Add Max Response Time
6.2.7 AT+CADC	Add Max Response Time
6.2.23 AT+CCID	Add Max Response Time
7.2.1 AT+CGATT	Add Max Response Time
7.2.5 AT+CGACT	Add Max Response Time
3.2.24 AT+CPBF	Modify description of max response time
3.2.25 AT+CPBR	Modify description of max response time
4.2.1 CMGD	Modify description of max response time
4.2.3 CMGL	Modify description of max response time
6.2.25 CMGDA	Modify description of max response time
15.2.8 AT+CMMSSSEND	Modify description of max response time
15.2.15 AT+CMMSRECV	Modify description of max response time
2.2.16 ATS0	Add parameter saving mode
2.2.20 ATS6	Add parameter saving mode
2.2.21 ATS7	Add parameter saving mode

B. ATD Mobile Originated Call to Dial A Number

Execution	Response
Command ATD<n>[<mgsml>];	<p>This Command can be used to set up outgoing <i>voice, data or fax calls</i>. It also serves to control <i>supplementary services</i>.</p> <p>Note: This Command may be aborted generally by receiving an ATH Command or a character during execution. The aborting is not possible during some states of connection establishment such as handshaking.</p> <p>If error is related to ME functionality +CME ERROR: <err></p> <p>If no dial tone and (parameter setting ATX2 or ATX4) NO DIALTONE</p> <p>If busy and (parameter setting ATX3 or ATX4) BUSY</p> <p>If a connection cannot be established NO CARRIER</p> <p>If the remote station does not answer NO ANSWER</p> <p>If connection successful and non-voice call. CONNECT<text> TA switches to data mode. Note: <text> output only if ATX<value> parameter setting with the <value> >0</p> <p>When TA returns to Command mode after call release OK</p>

C. AT+CMGF Select SMS Message Format

Test Command AT+CMGF=?	Response +CMGF: (list of supported <mode> s) OK
	Parameter See Write Command
Read Command AT+CMGF?	Response +CMGF: <mode> OK
	Parameter See Write Command
Write Command AT+CMGF=[<mode>]	Response TA sets parameter to denote which input and output format of messages to use. OK
	Parameter <mode> <u>0</u> PDU mode 1 Text mode
Parameter Saving Mode	AT&W_SAVE
Max Response Time	-
Reference 3GPP TS 27.005	Note

Organigramme

