



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Détection de la position d'un objet
par les modules GSM et GPS.**

Réalisé par : - Mekircha Youcef

- Boufenara Houssef

Soutenu le / /2020 Devant le jury composé de :

Mr. Hassad Mourad

Mr. Khalfaoui Mahio

Mr. Khalfaoui Fatima

Président

Encadreur

Examineur

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Université Abbes Laghrour-Khenchela

Promotion 2019/2020

Résumé

Les systèmes de suivi des objets en mouvement offrent un moyen utile pour mieux les contrôler, les gérer et les sécuriser. Les systèmes de suivi sont utilisés à différentes échelles d'applications telles que l'intérieur, l'extérieur et même utilisés pour suivre les véhicules, les navires et les avions se déplaçant dans le monde entier. Cet article présente la conception et la mise en œuvre d'un système de suivi d'objets se déplaçant sur une vaste zone géographique. Le système dépend des technologies du système de positionnement global (GPS) et du système mondial de communications mobiles (GSM) sans nécessiter le service Internet. Le système mis en œuvre utilise le service GPS disponible gratuitement pour déterminer la position des objets en mouvement. Les tests du système mis en œuvre dans différentes régions et conditions montrent que l'incertitude maximale dans les positions obtenues est un cercle de rayon d'environ 10 m, ce qui est un résultat acceptable pour suivre le mouvement des objets dans des environnements larges et ouverts.

ABSTRACT

Tracking systems of moving objects provide a useful means to better control, manage and secure them. Tracking systems are used in different scales of applications such as indoors, outdoors and even used to track vehicles, ships and air planes moving over the globe. This paper presents the design and implementation of a system for tracking objects moving over a wide geographical area. The system depends on the Global Positioning System (GPS) and Global System for Mobile Communications (GSM) technologies without requiring the Internet service. The implemented system uses the freely available GPS service to determine the position of the moving objects. The tests of the implemented system in different regions and conditions show that the maximum uncertainty in the obtained positions is a circle with radius of about 10 m, which is an acceptable result for tracking the movement of objects in wide and open environments.

المخلص

توفر أنظمة تتبع الاجسام المتحركة وسيلة مفيدة للتحكم والادارة بشكل أفضل. تستخدم أنظمة التتبع التطبيقات الداخلية والخارجية بأبعاد ومقاييس مختلفة. بالإضافة الى ذلك تستخدم لتعقب المركبات والسفن وتحرك الطائرات حول العالم. تقدم هذه الورقة تصميم وتنفيذ نظام لتتبع الأجسام المتحركة في منطقة جغرافية واسعة. تعتمد هذا النظام بالأساس على نظام تحديد المواقع العالمي: GPS والنظام العالمي للاتصالات المتنقلة: GSM دون الحاجة إلى خدمة الإنترنت. ويستخدم النظام المنفذ خدمة GPS المتاحة مجاناً لتحديد مواقع الاجسام المتحركة. ولقد اظهر النظام المنفذ نتائج الاختبارات لمختلف المناطق والظروف أعلى نسبة خطأ تم الحصول عليها هو دائرة نصف قطرها حوالي 10 م والتي تعتبر نتائج مقبولة في تتبع الاجسام المتحركة في بيئات واسعة ومفتوحة.

Remerciements :

Avant tout, Nous remercions DIEU de nos avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Nous adressons tout particulièrement à notre encadreur Dr Khalifaoui MAHIOU Prof à l'université Abbes-Laghrour, nos sincères reconnaissances et nos remerciements les plus vifs, de nos avoir Dirigé et guidé tout le long de ce travail. Ses critiques constructives, remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser nos recherches.

Nous tenons à exprimer également nos remerciements à TOUT Nos PROFS sans exception.

Enfin, Nous adressons nos remerciements les plus distinguées à nos chers parents dont le soutien aussi bien moral que matériel ne nous ont jamais fait défaut et sur toutes nos sœurs et nos frères et bien sur Tous nos amis (es) sans exception.

Sommaire

Introduction Générale	9
Chapitre I : Généralités sur les composants utilisé	11
I.1. Introduction	11
I.2. Vue générale sur la géolocalisation	11
I.3 Les exemples de services géolocalisés	15
I.3.1 Le suivi des marchandises, des flottes des camions, des taxis.....	15
I.3.2 Le suivi des personnes.....	16
I.3.3 Le suivi des animaliers.....	16
I.3.4 Les informations générales par rapport au lieu où l'on se trouve.....	17
I.3.5 Les services liés à la sécurité.....	17
I.3.6 Les services de communication, de divertissements et de publicité....	18
I.4 Types de services géolocalisés	18
I.4.1. Pousser et Tirer (Push, Pull).....	18
I.4.2. Positionnement de personnes et d'appareils.....	19
I.4.3 Services différents selon la position.....	19
I.5 Dangers et abus	20
I.5.1 Vie privée.....	20
I.5.2 Le Spamming.....	20
I.5.3 Surfacturation.....	20
I.6 Méthodes de positionnement	21
I.6.1 Positionnement satellitaire.....	21
I.6.2 Positionnement par réseaux cellulaires.....	22
I.6.3. Positionnement indoor.....	26
I.6.4 Positionnement par WiFi.....	27
I.6.5. Positionnement sur Internet.....	27
I.7 Conclusion	28
Chapitre II : les Systèmes Gsm et GPS	30

II.1. Le GSM	30
II.1.1. Introduction.....	30
II.1.2. Définition et concept de base.....	30
II.1.3. Présentation des cellules.....	30
II.1.4. Propagation en contexte radio-mobile.....	33
II.1.5. Allocation de ressources.....	35
II.1.6 Mobilité dans les réseaux mobiles.....	35
II.1.7 Présentation du 3rd Generation Partnership Project (3GPP).....	35
II.1.8 Évolution des réseaux mobiles.....	37
II.2. Le GPS	45
II.2.1 Introduction.....	45
II.2.2 compositions.....	46
II.2.3. Principe de fonctionnement.....	48
II.2.4. Autres systèmes de positionnement par satellites.....	52
II.2.5. Conclusion.....	52
Chapitre III : le dispositif programmable Arduino	55
III.1. Arduino UNO R3 Microcontrôleur	55
III.1.1. Présentation Générale.....	55
III.1.2. Spécifications techniques de L'ARDUINO UNO	56
III.1.3. Conseil administration.....	56
III.1.4. Mémoire.....	57
III.1.5. Les Entrées / Sorties.....	57
III.1.6. Communication.....	59
III.1.7. Programmation.....	59
III.1.8. Présentation Générale du logiciel de simulation Proteus.....	62
III.2. Module GSM 900	63
III.2.1 Présentation matérielle du GSM / GPRS SIM900.....	63
II.2.2. Connexion du SIM900 GSM / GPRS à Arduino UNO.....	65
III.3. Module GPS	66
III.3.1. Câblage du module GPS avec Arduino UNO.....	67
III.4. Antenne GPS-GSM	68

III.4.1 GPS Antenne.....	68
III.4.2 GSM Antenne.....	69
III.5. Conclusion.....	70
Chapitre IV : Etude pratique.....	72
IV.1. Introduction.....	72
IV.2. But du projet	72
IV.3. Conception et Simulation.....	72
IV.3.1. Conception.....	72
IV.3.2 Simulation.....	73
IV.4. Réalisation du projet.....	78
IV.5. Vérification de la fonctionnalité du système.....	80
IV.6. Interprétation des résultats.....	83
I.7. Conclusion.....	83
Conclusion Générale.....	86
Bibliographie.....	87
Annexe.....	90

Listes Des Figures

Figure I.1 : Schéma de principe de la géolocalisation par GPS.

Figure I.2 : Architecture LBS (Service de Localisation de Base).

Figure I.3 : téléphone dans une cellule.

Figure I.4 : Positionnement par Timing Advance.

Figure I.5 : Positionnement par Time of Arrival

Figure I.6 : Positionnement par E-OTD.

Figure II.1 : Système radio cellulaire mixte.

Figure II.2 : Topologie d'un réseau cellulaire tri sectorisé à structure hexagonale.

Figure II.3 : Structure d'un réseau de téléphonie mobile.

Figure II.4 : Évolution des réseaux mobiles

Figure II.5 : Architecture simplifiée d'un réseau GSM.

Figure II.6 : Évolution de la technologie LTE durant les années selon les standards 3GPP

Figure II.7 : le logo original du système GPS

Figure II.8 : les satellites représentant le segment spatial du GPS.

Figure II.9 : les stations de control représentant le segment control du GPS.

Figure II.10: Schéma du signal C/A du GPS

Figure III.1 : Carte Arduino Uno

Figure III.2 : les Entres / Sorties du l'Arduino Uno.

Figure III.3 : ARDUINO IDE.

Figure III.4 : Interface utilisateur ISIS.

Figure III.4 : GSM900A face Avant.

Figure III.5 : GSM900A face arrière.

Figure III.6 : Schéma du ARDUINO connecté a GSM 900A.

Figure III.7 : Module GPS NEO-6M.

Figure III.8 : Schéma du Module GPS NEO-6M connecté a Arduino.

Figure III.9: Antenne GPS

Figure III.10: Antenne GSM.

Figure IV.1. : Schéma du concept du détecteur GPS/GSM avec l'Arduino au centre, le GPS a droit, et le module GSM à gauche

Figure IV.2. : Schéma synoptique

Figure IV.3 : L'interface d'utilisateur du Proteus avec tous les composant relié entre eux.

Figure IV.4: Organigramme du codage GPS

Figure IV.5: Organigramme du codage GSM.

Figure IV.6 : Longitude et l'attitude du système capté par le terminal virtuel dans la Simulation.

Figure IV.7. : Les composants du concept reliée entre eux

Figure IV.8 : injection du code dans l'Arduino

Figure IV.9 : Les information GPS de L'interface COM12

Figure IV.10 : les cordonné vérifier avec Google Maps Représenté en ce point rouge au milieu.

Figure IV.11 : le concept connecté à un générateur du Courant continu a 12V

Figure IV.12 : Envoi du message à Arduino.

Figure IV.13 : Le Message Reçu

Figure IV.14 : l'application Google Maps avec la location du système, remarqué qu'il est 37 min loin de notre position actuel.

Listes Des Tableaux

Tableau I.1: Tableau des applications de la géolocalisation dans le milieu professionnel et personnel

Tableau II.1 : Différentes technologies de téléphonie mobile.

Tableau III.1.2 : Équipements et leurs fonctions.

Tableau II.1.4 : Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage TDD

Tableau II.1.3 : Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage FDD.

Tableau III.1: les Spécifications techniques d'une carte Arduino Uno.

Tableau III.2: les Spécifications techniques d'une carte GPS Neo-6M.

Tableau IV.1 : les connexions entre les composants du concept

Liste des Symboles

GPS: Global Positionning System.

GSM: Global System for Mobile.

Mac: Medium Access Control.

GPRS: General Packet Radio Service.

EOTD:différence de temps observée.

IP: internet protocol.

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

SMS: short message system.

IMEI: Identité Internationale d'Equipement Mobile.

SIM:Subscriber Identity Module.

CELL-ID:cellule identification.

BTS:Base transceiver station.

BSC:Base Station Controller.

RFID: Radio Frequency Identification.

SIG: système d'information géographique.

SGBD:système de gestion de base de données.

ISO: International Organization for Standardization.

Introduction Générale

De tout temps, l'homme a cherché à se repérer dans son environnement et cela en dessinant des cartes de plus en plus précises. Mais de plus en plus son environnement grandissait, sa soif de précision grandissait aussi.

Le but de notre projet est réalisé un système de suivi de véhicule avec un Microcontrôleur Arduino Uno et un module GPS et GSM, se système permet d'envoyer les coordonnées latitude et la longitude où se trouve le véhicule, sous forme d'un message SMS a un téléphone, en peut l'utiliser comme un système anti vol de voiture, et pour cela on a reparti le travail de la manière suivante :

Le premier chapitre, consiste à présenter l'architecture générale, et les exemples liés aux services géolocalisés, ainsi que les différentes méthodes de positionnement utilisé pour extraire la position un Object dans un milieu.

Le seconde chapitre on a présenté les Système exploité pour le fonctionnement du système : Le GPS et Le GSM, sont architecture et principe de fonctionnement.

Dans le troisième chapitre, on a présenté le Microcontrôleur Arduino UNO R3 ces spécification technique, sa méthode de programmation qui est utilisé pour la commande de nombreux système dans plusieurs domaines et applications .et on a présenté aussi les module GPSNEO6M et GSM 900 leur caractéristique et leur conception matérielle, qui est commandé par l'Arduino Uno.

On termine par le quatrième chapitre par la présentation d'un système du suivi basé sur le Microcontrôleur Arduino UNO R3 et le Module GSM 900 avec le module GPS NEO6M, ont décrivant La conception et la simulation du système puit la réalisation et le mise en fonctionnement du système.

Chapitre I

I.1. Introduction

Depuis une vingtaine d'années, les chercheurs et entrepreneurs entretiennent l'idée que tout un éventail de nouveaux services peut être basé sur la localisation géographique d'un individu. À partir de cette information spatiale, les médias et services géolocalisés permettent la diffusion ou la communication de contenus spécifiques selon le lieu dans lequel l'utilisateur se trouve. Les médias géolocalisés sont le plus souvent développés pour les dispositifs mobiles, tels que les téléphones, mais ils peuvent également s'appliquer aux ordinateurs fixes ou portables.

I.2. Vue générale sur la géolocalisation

La géolocalisation est une procédure permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques. Cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé grâce à un système de positionnement par satellites et un récepteur GPS par exemple ou à d'autres techniques et de publier en temps réel ou de façon différée ses coordonnées géographiques latitude et longitude. Les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logicielle de géolocalisation. La transmission temps réel nécessite un terminal équipé d'un moyen de télécommunication de type GSM, GPRS, UMTS, radio ou satellite lui permettant d'envoyer les positions à des intervalles réguliers. Ceci permet de visualiser la position du terminal au sein d'une carte à travers une plateforme de géolocalisation le plus souvent accessible depuis internet.[1] Il faut aussi distinguer deux types de services, mono-utilisateurs et communautaires. Les premiers portent sur tous les services de navigation spatiale, type GPS de voiture, dans lesquels l'utilisateur n'interagit qu'avec un système d'information par exemple une base de données cartographique. Dans les seconds, les utilisateurs peuvent recueillir des informations sur d'autres individus, comme connaître leur localisation spatiale, ou même contribuer activement au service. Un exemple classique est celui d'un utilisateur qui écrit un message sur son téléphone portable muni d'un GPS. Il attache numériquement avec des coordonnées GPS, le message à un lieu, et ce message ne pourra être lu que par la personne qui visite ce lieu. Il s'agit d'un média communautaire de partage d'informations

localisées spatialement. Si la majorité des médias et services géolocalisés ciblent des dispositifs mobiles de type téléphones mobiles, consoles portables, ou appareils dédiés, il ne faut pas limiter le périmètre à ces terminaux. En effet, des services web proposent des fonctionnalités basées sur la géolocalisation de manière plus ou moins transparente pour les utilisateurs.[2]

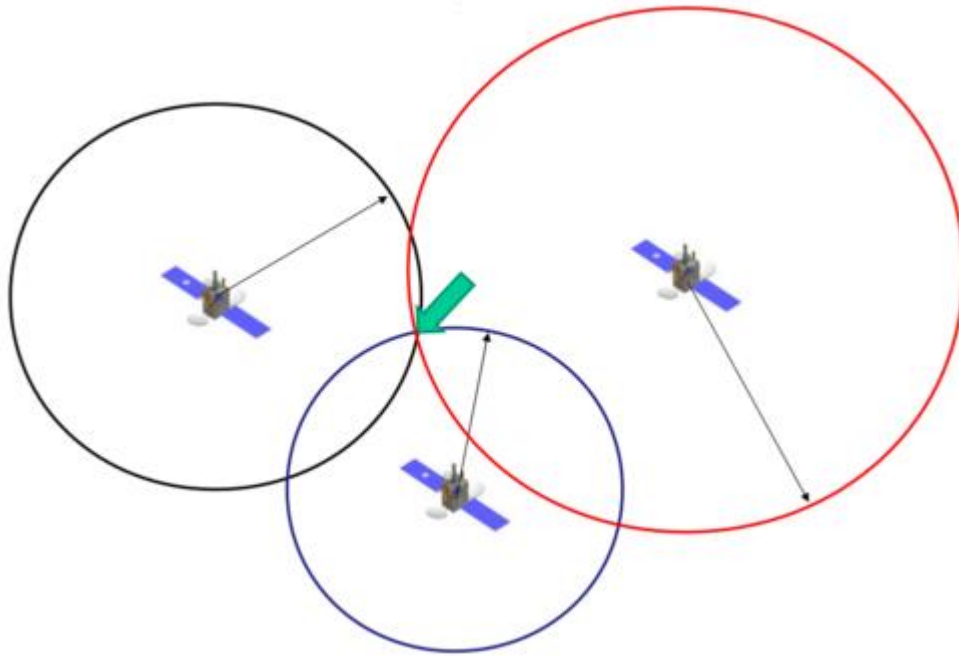


Figure I.1 : Schéma de principe de la géolocalisation par GPS.

L'infrastructure globale nécessaire pour le bon fonctionnement d'un service géolocalisé est composée de différents éléments, l'appareil de l'utilisateur, un élément de localisation, une plateforme, des bases de données et les services eux-mêmes. Les utilisateurs utilisent un appareil par exemple (un téléphone mobile, un ordinateur portable, . . .) afin d'accéder aux services proposés par la plateforme de services géolocalisés. La position de l'utilisateur est calculée au moyen d'un élément de localisation. Cet élément de localisation peut être situé du côté client ou du côté du réseau. Du côté client, on retrouve par exemple les récepteurs GPS, qui peuvent être directement intégrés dans l'appareil. Du côté réseau, on retrouve entre autres les techniques de positionnement des GSM. En effet les GSM actuels peuvent être approximativement localisés au moyen des stations de base du réseau GSM. L'utilisation finale n'a alors pas connaissance de sa position.

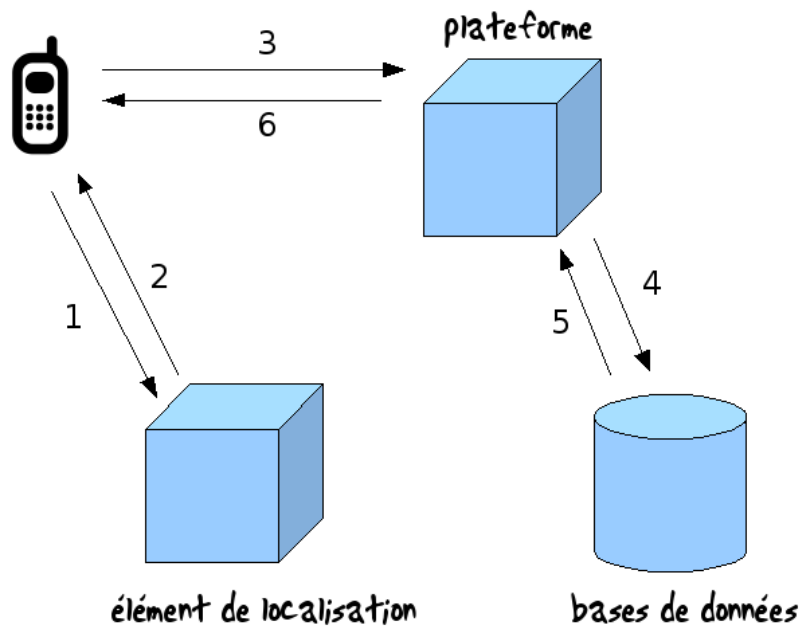


Figure I.2 : Architecture LBS (Service de Localisation de Base).

La plateforme est une application tournant sur un serveur et a pour but de faciliter l'accès aux données spatiales au travers de différents outils. Elle permet également de reprendre une partie de la complexité de la logique métier du service géolocalisé. Globalement, la plateforme et le service géolocalisé travaillent ensemble afin de simplifier au maximum les besoins du côté client cela permet de diminuer la puissance de calcul ainsi que la bande passante nécessaire au bon fonctionnement du service. La plateforme permet de mettre à disposition de l'utilisateur les services géolocalisés situés sur la plateforme sur base de sa position et d'autres données annexes éventuellement nécessaires (direction, vitesse, lieu de destination, . . .), la plateforme communique avec des bases de données et offre des outils aux services géolocalisés. Ceux-ci effectuent la logique métier afin de renvoyer à l'utilisateur la réponse à sa requête. Les données renvoyées par les services géolocalisés peuvent être de tout type, la liste des restaurants les plus proches, une carte des rues avoisinantes, le meilleur itinéraire pour rejoindre un autre endroit, un enregistrement audio ou vidéo d'informations touristiques sur l'endroit visité, etc. Le client communique avec le fournisseur de services a travers un réseau (Internet, réseaux GSM d'un opérateur, réseau WiFi dans une entreprise). Comme on peut le Remarquer, dans ces différents types de réseaux, les services géolocalisés peuvent être limités à un certain groupe de personnes (les clients d'un opérateur GSM) ou

aux personnes dans une région géographique limitée (les employés dans un bâtiment ou dans une usine). On peut bien sûr aussi déployer des services géolocalisés à l'échelle mondiale grâce à Internet avec les opérateurs GSM. À l'origine, la géolocalisation est la localisation d'un objet sur une carte à l'aide de positions géographiques. On utilise la géolocalisation par GPS (Global Positioning System) pour localiser des mobiles en déplacement [3]. Voici une définition de la géolocalisation appliquée dans le milieu professionnel donnée par la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) chargée de veiller à ce que l'informatique soit au service du citoyen et qu'elle ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques. Les dispositifs dits de géolocalisation permettent aux employeurs privés ou publics de prendre connaissance de la position géographique, à un instant donné ou en continu, des employés par la localisation d'objets dont ils ont l'usage (badge, téléphone mobile) ou des véhicules qui leur sont confiés.[4] Mais depuis quelques années, ce concept est de plus en plus utilisé pour des applications de gestion de flottes et de sécurisation de véhicules. Grâce à un boîtier télématique et à des systèmes de capteurs spécifiques, il est possible de coupler à une position spatiale, une série d'informations liées à l'objet telles que la vitesse du véhicule, l'état d'une porte (ouvert/fermé) ou même la température (dans le cas des unités de transport frigorifique). La géolocalisation est appliquée tant dans le domaine professionnel et personnel pour le suivi et la protection.[5]

Transport de marchandises	Protection de marchandises, véhicules et antivol	Transport de personnes	Suivi et protection de personnes
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Localisation et suivi en temps réel ✓ Historique du trajet ✓ Repérage des arrêts ✓ Calcul des temps de conduite et de pause 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Localisation et suivi en temps réel ✓ Optimisation des horaires et trajets ✓ Calcul de proximité 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Localisation et suivi en temps réel ✓ Calcul de temps avant passage ✓ Détection de retard de sortie de zone 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Localisation et suivi en temps réel ✓ Détection de sortie de zone ✓ Détection de verticalité

Tableau I.1: Tableau des applications de la géolocalisation dans le milieu professionnel et personnel.

I.3 Les exemples de services géolocalisés

Pour donner une idée plus claire de ce que l'on considère comme étant un service géo-localisé, nous allons introduire les grandes familles de services que l'on peut imaginer. Il faut noter que cette liste n'est pas exhaustive.

I.3.1 Le suivi des marchandises, des flottes des camions, des taxis

Il est généralement considéré comme une des applications majeures des services géo-localisés car ils ont une utilité industrielle. Il permet de connaître la position des véhicules en temps réel avec le nom du conducteur. On peut paramétrer des alarmes à l'entrée de zones d'interdiction, revoir l'itinéraire ou prévoir des alertes s'il y a déviation, arrêt non autorisé, surveiller le respect des horaires, de la vitesse, du temps d'activité, avoir le kilométrage parcouru, être alerté en cas d'accident, mobiliser le véhicule en cas de vol... Il faut souligner que jusqu'en 2010, les entreprises de géolocalisation étaient soumises à l'agrément de l'Autorité de Régulation des Postes et Télécommunications (l'ARPT) Selon le rapport annuel 2009 de l'ARPT, la géolocalisation consiste à déterminer la position géographique, à un instant donné ou en continu, d'une personne ou d'un objet (véhicule). Le système le plus utilisé est l'association du GPS (Global Positioning Système) à un réseau de transmission, tel que le GSM GPRS ou par satellite Iridium. Un récepteur capte les signaux émis par une constellation de satellites et en déduit sa position. Il transmet ensuite cette information par le biais d'un réseau de transmission tel que le GSM et la traite localement, la sauvegarde ou la transmet à un système centralisé. Le matériel utilisé est une balise GPS/GPRS contenant une carte Sim qui s'intègre dans le système électrique ou électronique du véhicule de sorte à collecter, d'une part, des informations sur véhicule en fonction des capteurs fixés et, d'autre part, les signaux des satellites qui lui permettront de calculer la latitude et la longitude terrestre du véhicule. Ces informations sont transmises via GPRS vers un serveur et une interface Web pour l'utilisateur final.[6] En effet, ils peuvent améliorer les rendements en fournissant des informations comme l'avertissement de retards de livraison. Ils permettent aussi d'optimiser l'usage d'une flotte de taxis.

I.3.2 Le suivi des personnes

Certains parents pourraient vouloir connaître à tout moment où se trouve leur enfant où être avertis quand il quitte l'enceinte de l'école. Les enfants sont malheureusement la cible de plusieurs dangers dans la vie quotidienne. Les enfants peuvent porter un appareil de repérage GPS en temps réel afin de sécuriser les parents et les informer constamment de l'endroit où se situe l'enfant. Du même coup l'enfant peut au besoin appuyer sur des boutons préprogrammés afin de contacter les parents ou autres personnes. Ainsi que les personnes âgées sont fortement exposées aux risques d'accidents domestiques, que ce soit à cause d'une chute ou d'un appareil mal éteint. Mais elles peuvent aussi s'égarer lors de leurs trajets. Il existe donc des solutions pour assurer leur bien-être et leur sécurité. Le traceur GPS personnes âgées permet ainsi d'immédiatement les localiser en cas de problème. Le traceur GPS personnes âgées s'adresse principalement aux personnes âgées qui vivent seules, aux personnes à mobilité réduite et aux personnes souffrant d'Alzheimer ou d'autres maladies de troubles de la mémoire. Il permet de parler à un proche en cas de problème, mais aussi de bénéficier d'une intervention rapide en cas d'accident, de malaise ou de chute. Par ailleurs, le traceur GPS pour personnes âgées permet d'agir rapidement lorsque les personnes s'égarer. En effet, il est possible de définir une zone de sécurité au-delà de laquelle le traceur envoi une alarme à la personne choisie Le traceur GPS permet donc aux personnes âgées, handicapées ou malades de garder une certaine indépendance tout en bénéficiant d'une sécurité maximale. De son côté l'entourage est tranquilisé.[7]

I.3.3 Le suivi des animaliers

La localisation traditionnelle d'animaux repose sur l'utilisation d'émetteurs VHF. Largement utilisés depuis une trentaine d'années, ces appareils ont beaucoup évolué par la miniaturisation des composants, la réduction des consommations ou l'intégration de nombreux capteurs d'activité, de mortalité, de température, de pression... Ils présentent plusieurs inconvénients. L'exactitude des localisations est largement conditionnée par l'expérience de l'opérateur, la distance d'approche, le milieu de vie... Dans les meilleures conditions, il est possible de localiser les ongulés étudiés à 50m près ; mais en pratique,

l'exactitude est souvent moins bonne. Le risque de déranger l'animal étudié est un réel problème, surtout quand on opère de nuit sur des animaux en activité, parfois en milieu ouvert plus fréquenté à ces moments. La durée de travail pour obtenir une localisation limite nettement le nombre d'animaux étudiés simultanément. Le suivi en continu nécessite plusieurs opérateurs travaillant en simultané et est compliqué : en terrain plat, on peut utiliser des systèmes d'enregistrement automatique difficilement envisageables en terrain plus accidenté. Sans système automatique, la fréquence de localisation est fortement réduite. Enfin, l'animal doit être accessible par l'opérateur, ou tout au moins approchable à une distance réduite, pour garantir une localisation fiable. Tous ces inconvénients n'existent pas avec les systèmes GPS, ce qui explique leur grand intérêt. Ils sont automatiques, programmables, opérationnels en permanence, précis, d'un usage aujourd'hui simplifié grâce à des logiciels de plus en plus conviviaux. On dispose aujourd'hui de colliers pesant moins de 300 grammes, autorisant leur utilisation sur les petits ongulés comme le Chevreuil et sur les carnivores tels que le Loup ou le Lynx. Il est possible de fabriquer des dispositifs plus légers encore, en réduisant la taille des batteries.

I.3.4 Les informations générales par rapport au lieu où l'on se trouve

Ce sont des services ayant une forte valeur ajoutée. Dans cette catégorie on retrouve par exemple un service permettant de rechercher l'ensemble des restaurants selon des critères (prix, style, . . .) dans un rayon donné autour de l'utilisateur.

I.3.5 Les services liés à la sécurité

Ce sont également une application possible pour les services géolocalisés. Certaines voitures pourraient être équipées d'un système de positionnement capable d'appeler une ambulance et de donner la position précise du véhicule en cas de problème. Mais cette catégorie regroupe également des informations d'intérêt général, comme l'avertissement de personnes présentes dans une certaine zone qu'ils doivent évacuer après un feu ou une explosion.

I.3.6 Les services de communication, de divertissements et de publicité

Ce sont une autre application des services géolocalisés dans la lignée des services de messageries instantanés, on localise et communique avec des connaissances situées dans une même zone géographique. Concernant les divertissements, ils sont une des possibilités pour l'adoption massive des services géolocalisés par le grand public. Des jeux grandeur nature comme des chasses au trésor peuvent être mis en œuvre à l'aide de services géolocalisés. Un autre cas de géolocalisation est la publicité. Elle est vue comme une des industries majeures pouvant tirer parti des services géolocalisés. On pourrait demander la liste de magasins environnants qui font des promotions ou être avertis des produits en promotion lorsque l'on rentre dans un magasin. En plus du suivi de marchandises, la localisation de téléphones mobiles est également vue comme une des motivations à développer des services géolocalisés. La Fédéral Communication Commission (l'organe américain de régulation des communications) a exigé que les opérateurs de réseaux GSM américains puissent positionner leurs utilisateurs dans un rayon de 125 mètres afin de faciliter le travail des services d'urgence. Cette régulation a poussé au développement de ces systèmes de localisation mais a fait également réfléchir aux possibilités des services géolocalisés. Désormais, les téléphones cellulaires vendus aux USA ont un système de localisation intégré que ce soit grâce à une puce GPS ou grâce à une des méthodes de positionnement

I.4 Types de services géolocalisés

I.4.1. Pousser et Tirer (Push, Pull)

On peut classer les services géolocalisés selon la manière d'accéder à l'information. Les applications de type « pull » qui, comme leur nom anglais l'indique, consistent à récupérer des informations géolocalisées depuis le serveur à la demande du client. C'est donc l'utilisateur qui initie le transfert d'informations depuis le serveur. Les applications du type « push » envoient des informations au client sans qu'il en fasse la demande explicite, par exemple lorsqu'il arrive dans une certaine zone géographique. Cependant, dans les applications de type « Push », afin que le serveur connaisse de manière constante la position de l'utilisateur, il est nécessaire que celui-ci mette

régulièrement à jour sa position. De plus, pour que tous les utilisateurs d'une région reçoivent un message, il faut qu'à intervalle de temps régulier, le système récupère les utilisateurs dans une région et leur envoie un certain message. Les coûts en bande passante (communications entre les clients ou entre la plateforme et les services) et en puissance de calcul (calcul régulier de la distance des utilisateurs par rapport à une certaine zone) sont plus importants que les services de type « pull ». C'est pourquoi, il n'est pas encore très clair si ce genre de services est économiquement rentable.[8]

I.4.2. Positionnement de personnes et d'appareils

Dans les services géolocalisés, on peut vouloir localiser soit des objets, soit des personnes. La localisation d'un objet se fait en localisant un appareil géolocalisable couplé à l'objet. Par exemple dans le cas de suivi de marchandises, on ne s'intéresse pas à savoir où se trouve le chauffeur mais bien où se trouve le camion puisque la personne qui conduit le camion n'est pas pertinent pour un tel système. De manière similaire, dans un système de localisation de voiture, généralement utilisé pour retrouver une voiture volée, ce n'est pas le conducteur dont on souhaite connaître la position mais bien le véhicule. La localisation d'un appareil peut correspondre à une personne mais ce n'est pas une obligation. Dans le cas de la localisation de personnes, on souhaite connaître la position d'une personne en particulier et celle-ci garde généralement un certain contrôle sur cette localisation en ayant la possibilité de ne pas faire connaître sa position. Cette notion est également utile si on imagine qu'une personne peut posséder plusieurs appareils de positionnement et que par exemple, il en oublie un. Il faudra dans ce cas être capable de localiser la personne et non pas les appareils qui donneront des localisations différentes.

I.4.3 Services différents selon la position

Une utilité des services géolocalisés est la capacité d'offrir des services différents en fonction de la position de l'utilisateur ou de lui fournir des données différentes en fonction de cette position. Par exemple dans une usine d'assemblage de voitures, la personne contrôlant la qualité peut, grâce à de tels services géolocalisés, obtenir automatiquement des statistiques sur les

différentes étapes de la chaîne de production. Il ne doit pas préciser quelle étape il est en train d'inspecter puisque sa position dans l'usine permet de conclure ce qu'il inspecte. Dans un musée, un visiteur pourrait automatiquement recevoir des informations sur l'œuvre d'art qu'il a devant soi.

I.5 Dangers et abus

I.5.1 Vie privée

Une des grandes craintes des services géolocalisés est l'atteinte à la vie privée. Le fait de communiquer sa position peut être réutilisé à des fins commerciales ou dans un état policier. Afin de limiter ce risque, il faut donner à l'utilisateur un maximum de contrôle sur la transmission de données ainsi que des garanties légales par rapport à l'utilisation, la manipulation et la revente des données stockées lors de l'utilisation de tels services.

I.5.2 Le Spamming

Une autre grande crainte des services géolocalisés est l'apparition d'une nouvelle forme de spam. En effet, des messages publicitaires non sollicités pourraient être envoyés de manière intempestive aux utilisateurs lorsqu'ils arrivent dans une certaine zone. Si on imagine que dans une galerie commerçante tous les magasins décident d'avertir les passants des promotions en cours, on comprend facilement qu'il faut imposer une certaine forme de délimitation. Ce problème est assez compliqué à résoudre comme on peut le remarquer avec Internet. L'idéal serait probablement d'imposer « l'opt-in » c'est-à-dire l'autorisation préalable de l'utilisateur avant de lui envoyer un message (à l'exception de messages comme des avertissements d'incendie).

I.5.3 Surfacturation

La question de la facture reste ouverte. Chaque service et chaque fournisseur de plateforme géolocalisée sera probablement libre de facturer comme bon lui semble. En examinant la situation actuelle des services par SMS, on peut prédire qu'ici aussi il est possible d'avoir des problèmes de surfacturation. Par exemple, des sociétés mal intentionnées pourraient envoyer des messages « push » payant non

sollicités. Comme pour les services par SMS, la communication sur les tarifs de l'utilisation des différents services doit être claire afin d'éviter de mauvaises surprises lors de la réception de la facture.

I.6 Méthodes de positionnement

I.6.1 Positionnement satellitaire

Le système GPS (Global Positioning System) est probablement le système de localisation le plus connu et le plus utilisé par le grand public. Développé par le département de la défense américain pour un usage exclusivement militaire, il utilise une constellation de 24 satellites en orbite autour de notre planète. Trois satellites supplémentaires sont prévus en cas de panne parmi les 24 principaux. En 1984, un avion de la compagnie nationale coréenne s'est écrasé dû à l'imprécision des systèmes de navigation. Pour éviter qu'une telle catastrophe ne se reproduise, le président Reagan décida d'ouvrir gratuitement le GPS à des utilisations civiles avec une précision limitée par un brouillage du signal. En l'an 2000, le président Clinton a toutefois levé cette limitation, ce qui permet d'atteindre une précision de 3 à 15 mètres. Il est tout de même possible aux Américains de réactiver le brouillage sur une région donnée s'ils le jugent nécessaire. Le principe d'un GPS [9] est le suivant ; un code pseudo-aléatoire est envoyé par chaque satellite GPS. Le récepteur GPS reçoit un signal provenant de chaque satellite qu'il arrive à percevoir et calcule la distance qui le sépare de ces satellites. Chaque distance permet de placer le récepteur sur une sphère centrée sur le satellite. En utilisant trois satellites, on obtient ainsi deux points, dont un est éliminé car situé trop loin de la Terre ou se déplaçant à une vitesse irréaliste. Pour connaître la position du satellite, chaque récepteur GPS possède une table contenant la position des différents satellites. Afin de pouvoir faire cette triangulation, il faut effectuer un calcul précis de la distance entre le satellite et le récepteur. Ce calcul est possible grâce à la mesure du temps que met le signal pour arriver au récepteur GPS. Comme les ondes électromagnétiques se déplacent à la vitesse de la lumière, il est nécessaire d'avoir un signal d'horloge très précis. Chaque satellite GPS possède donc quatre horloges atomiques synchronisées à un temps universel standard. L'information sur le temps ainsi qu'une correction de la position du satellite par rapport à sa position théorique sont incluses dans chaque signal envoyé par le satellite GPS. Un autre avantage

est que ce signal peut être utilisé par un récepteur fixe pour avoir une horloge de précision atomique à un coût réduit. D'autres nations ont développé des systèmes similaires. C'est le cas de l'Union Européenne avec le système Galileo qui permettra d'obtenir une meilleure précision (moins de 4 mètres) dans sa version gratuite. Des précisions plus poussées sont possibles dans la version payante du service. La Russie possède GLONASS, un système limité (8 satellites, précision 70 mètres) et la Chine possède son propre système restreint à l'Asie. La précision des systèmes de positionnement par satellites est dégradée par plusieurs facteurs comme les interférences atmosphérique, le feuillage des arbres en forêt dense ou encore les gratte-ciels qui gênent la réception des signaux. Pour compenser les interférences de l'atmosphère et afin d'améliorer la précision des données reçues par GPS, le système DGPS (Differential GPS) est utilisé entre autres par les garde-côtes américains. Il consiste à déployer des récepteurs GPS fixes à des endroits dont la position exacte est connue. Ils peuvent ainsi calculer l'erreur entre leur position réelle et la position calculée par leur récepteur GPS et ensuite la diffuser par ondes radios. Les signaux de correction sont gracieusement accessibles à tous et utilisés, par exemple, par les bateaux quand ils s'approchant des côtes. le Japon développe de son côté Quasi-Zenith, un système hybride qui a pour objectif de répondre aux problèmes de la visibilité des satellites GPS dans les villes comme Tokyo où les gratte-ciels gênent la visibilité en permettant de donner l'impression de constamment avoir les signaux venant verticalement (d'où le nom Quasi-Zenith).

I.6.2 Positionnement par réseaux cellulaires

Le positionnement basé sur la téléphonie mobile a l'avantage du taux de pénétration déjà important des réseaux GSM. Presque tout le monde possède déjà un GSM et est donc potentiellement capable d'accéder à des services géolocalisés basés sur leur GSM. De plus, les réseaux GSM recouvrent la majorité des zones du globe où les services géolocalisés sont utiles (c'est-à-dire principalement les zones à forte densité de population).

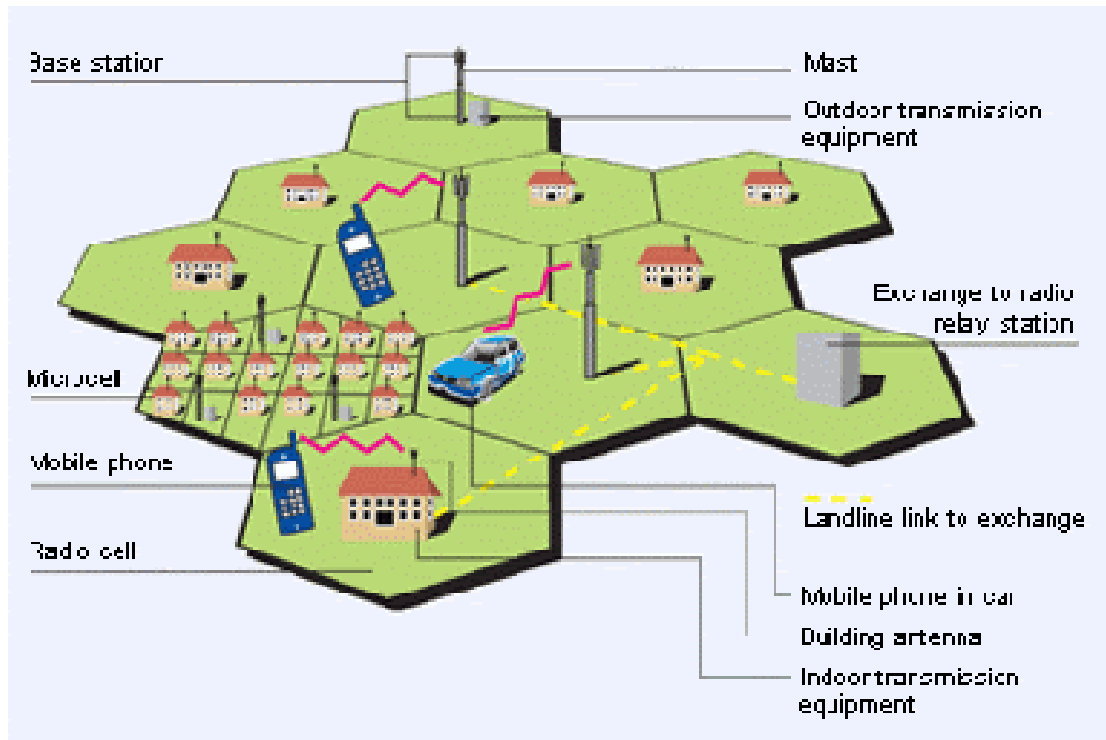


Figure I.3 : téléphone dans une cellule.

Finalement, les GSM sont peu coûteux et la plupart des systèmes de positionnement de téléphones mobiles ne nécessitent aucune adaptation du côté du client puisqu'ils sont exclusivement réalisés par le réseau. On peut donc déployer un système géolocalisé à partir de n'importe quel appareil connecté au réseau GSM [10], même un appareil ancien. Cette section est principalement basée sur :

Cell ID : Les réseaux cellulaires comme ceux utilisés par le GSM ou l'UMTS utilisent un maillage composé d'un ensemble de cellules au centre desquelles sont placées les antennes GSM (ou UMTS). La taille de ces cellules dépend de la densité des utilisateurs et de leur besoin de communiquer. Moins il y a d'abonnés en train d'appeler par kilomètre carré, moins il faut d'antennes pour couvrir une zone. La cellule sera alors très grande. Si le nombre d'abonnés est grand, ce qui est le cas typique des zones urbaines, on retrouvera un grand nombre d'antennes GSM et les cellules seront typiquement plus petites. Ce système manque donc de précision dans les zones rurales (jusqu'à 35 kilomètres) et n'atteint pas la précision du GPS dans les zones urbaines (au mieux 200 mètres). Cependant, il a un certain nombre d'avantages.

Premièrement, la cellule GSM dans laquelle se trouve un appareil mobile est une information qui est déjà stockée pour assurer le bon fonctionnement d'un réseau GSM. Pour connaître la cellule, il suffit donc d'aller consulter la base de données centrale du réseau. Ceci implique une mise en place qui n'est pas coûteuse. Le réseau GSM évoluant constamment, de nouvelles antennes GSM sont régulièrement installées pour absorber l'augmentation du trafic GSM. La précision va donc en augmentant. Les réseaux UMTS utilisent une architecture en cellules similaire mais possèdent des cellules plus petites ce qui permet une précision accrue. Déjà déployés dans certaines zones urbaines.

Timing Advance : Cette technique permet, en combinaison avec le Cell ID, d'améliorer la précision de la localisation. En calculant le temps nécessaire au signal pour atteindre l'antenne GSM la plus proche, on peut positionner le téléphone à l'intérieur d'un anneau autour de l'antenne. La résolution ainsi obtenue est de l'ordre de 500 mètres, ce qui rend cette technique plutôt utile dans les zones rurales. On ne peut pas positionner exactement le mobile sur un cercle car les ondes ne sont pas assurées d'atteindre le mobile en ligne droite, sans obstacle sur son chemin. L'utilisation de cette technique ne nécessite aucune modification dans le GSM ou dans l'infrastructure du réseau mais il est nécessaire d'ajouter une application software dans le réseau.

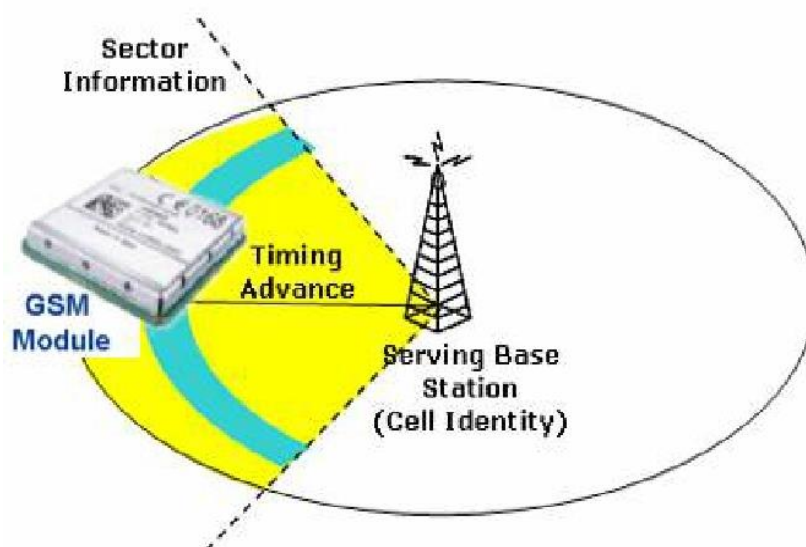


Figure I.4 : Positionnement par Timing Advance.

Time of Arrival (TOA) : Chaque mobile dans un réseau cellulaire est capable de recevoir des signaux provenant de différentes antennes GSM et inversement, plusieurs antennes GSM sont capables de recevoir les informations d'un mobile. Cela est utile lorsque l'utilisateur se déplace et que le réseau doit évaluer s'il est nécessaire de faire basculer un utilisateur d'une antenne à une autre. En calculant le temps nécessaire à un même signal pour arriver à trois ou plus antennes GSM et sachant que les ondes électromagnétiques voyagent à la vitesse de la lumière, il est possible de déterminer la position du mobile par triangulation. Les stations de base doivent être synchronisées au moyen d'un signal d'horloge (par exemple grâce au GPS) pour un calcul précis des distances. Les mobiles ne doivent pas être modifiés. Ce système permet d'atteindre des résolutions de 125 mètres.

Angle of Arrival (AOA) : Cette technique est similaire au TOA mais utilise cette fois la différence de phase des signaux reçus pour calculer l'angle entre l'antenne et le mobile. Un réseau d'antennes séparés, par exemple, par une demi-longueur de l'onde utilisée par le GSM doit être installé à chaque station de base. En comparant les phases reçues par les différentes antennes sur le réseau, on peut calculer l'angle d'incidence de l'onde. La précision ainsi obtenue est de l'ordre de 125 mètres.

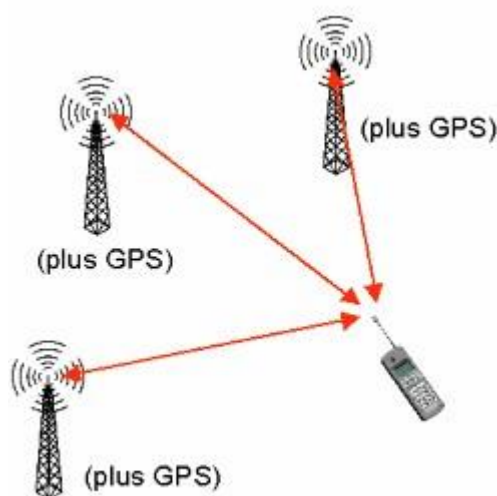


Figure I.5 : Positionnement par temps d'arrivé (Time of Arrival).

E-OTD : Cette technique est similaire au GPS mais dans les réseaux cellulaires. Un signal est envoyé par les stations de base et est reçu par le mobile mais aussi par une antenne spéciale située à une distance fixe et connue de chaque station de base. On utilise une des techniques précédentes (par exemple TOA) entre les stations de base et l'antenne spéciale pour calculer la distance par triangulation et en tirer un facteur de correction basé sur la distance réelle. Le mobile calcule également sa position par triangulation et améliore la précision grâce au calcul effectué par l'antenne spéciale. La précision peut atteindre 25 mètres. Cela nécessite de lourds investissements d'installation d'antenne spéciale et une modification software des mobiles.

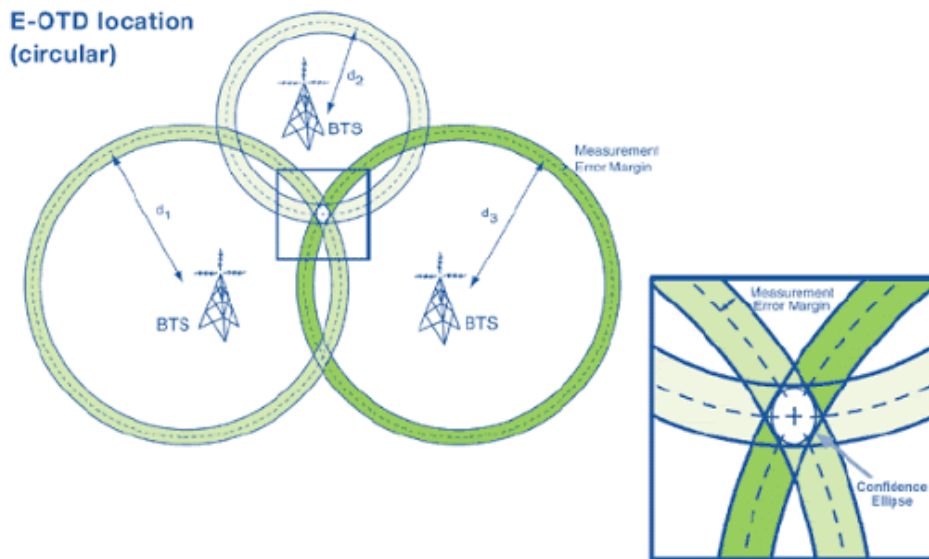


Figure I.6 : Positionnement par E-OTD.

I.6.3. Positionnement indoor

Le positionnement indoor (à l'intérieur des bâtiments) est utilisé pour se positionner à l'intérieur des bâtiments et nécessite une grande précision. Une des applications est, par exemple, le positionnement à l'intérieur d'un musée ou d'un supermarché. Les satellites GPS ne sont généralement pas visibles à l'intérieur des bâtiments et la précision du positionnement des réseaux cellulaires n'est pas suffisante pour positionner un visiteur dans une salle où les œuvres sont séparées de quelques mètres. D'autres technologies existent pour ce type d'application. Nous pouvons citer des techniques basées sur l'infrarouge (généralement bloqué par les murs), les ondes radios, l'ultrason (qui a l'avantage de se déplacer moins vite que les ondes électromagnétiques) ou encore le WiFi.

I.6.4 Positionnement par WiFi

Le WiFi est une solution qui peut être utilisée pour du positionnement à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Les Access Point (AP) WiFi peuvent être vus comme les antennes du réseau GSM et tout appareil capable de capter le signal d'un Access Point (AP) se trouve dans sa cellule. L'avantage principal du positionnement par Wifi est qu'il y a déjà beaucoup d'AP dans les zones habitées, les restaurants ou les stations-service et il est possible de voir les AP particuliers dans les rues. Si en plus, on a le droit d'utiliser l'Access Point, on peut communiquer avec un réseau et donc utiliser des services géolocalisés. La précision par identification des Access Point connaît cependant les mêmes limitations que le Cell ID (précision moins bonne que le GPS en ville, précision mauvaise en campagne). Il faut noter que cette technique ne nécessite pas spécialement d'accéder à un Access Point, il suffit de pouvoir le reconnaître et de retrouver l'identité unique de l'AP dans une base de données.

I.6.5. Positionnement sur Internet

C'est une technique utilisée depuis longtemps pour obtenir un positionnement approximatif consiste à donner une position aux routeurs Internet. Lorsqu'un paquet IP se déplace entre les routeurs constituant Internet, on peut supposer que le premier routeur par lequel il passe est géographiquement proche de l'utilisateur. Une autre technique consiste à demander à des visiteurs de sites Web de donner leur localisation et, à partir de là, d'analyser les adresse IP et essayer de faire un lien entre les groupes d'adresse IP et les pays ou les villes. Un certain nombre de programmes utilisent de telles informations afin de faire des représentations géographiques du déplacement de paquets sur Internet. Un de ces programmes est X trace route sur Linux qui permet de visualiser sur un globe en 3D les routeurs par lesquels passe une commande trace route. Windows Local Live, le service de cartes de Microsoft permet également de situer un utilisateur à partir de son adresse IP lorsqu'on clique sur « Locale Me ». Les outils d'analyse de trafic sur les sites Web utilisent également ce genre d'informations. Finalement, l'IPv6 intègre une gestion de la mobilité en cours de finalisation.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté l'architecture générale de l'élément de localisation, on a montré que les services géolocalisés peuvent être utilisés dans des contextes différents, que ce soit par le grand public ou dans le cadre d'une entreprise. On a également abordé les différents types et catégories de services géolocalisés existants ainsi que quelques grands risques et abus qui sont liés à ces services. Ensuite, les techniques de positionnement existantes ont été présentées. Ces différentes technologies peuvent être utilisées de manière combinée afin d'obtenir une meilleure précision globale. Le moyen de positionnement actuellement le plus utilisé est le GPS, car la qualité des résultats est bonne et son usage est intégré dans les ordinateurs de bord des voitures et dans la plupart des Smartphones.

Chapitre II

II.1. Le GSM

II.1.1 Introduction

L'industrie de la télécommunication mobile a commencé depuis le début des années 1970. Cette industrie a assisté à une croissance explosive. Passant de l'ère de l'analogique « 1G » à l'ère du numérique « 2G », la demande croissante de cette technologie a permis l'évolution vers d'autres générations qui peuvent permettre de surfer aussi sur internet avec un débit confortable « 3G » et « 4G ». Dans cette partie du chapitre 2 nous allons décrire ces générations de réseaux mobiles. Par définition, un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce réseau permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité.

II.1.2. Définition et concept de base

Le premier réseau mis en service était déjà basé sur le concept de motif cellulaire, concept défini au sein des laboratoires « Bell Labs » au début des années 1970. Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires.[12]

II.1.3. Présentation des cellules

Une cellule est contrôlée par un émetteur/récepteur appelé station de base, qui assure la liaison radio avec les terminaux mobiles sous sa zone de couverture. La couverture d'une station de base est limitée par plusieurs facteurs, notamment

- La puissance d'émission du terminal mobile et de la station de base ;
- La fréquence utilisée ;
- Le type d'antennes utilisé à la station de base et au terminal mobile ;
- L'environnement de propagation (urbain, rural, etc.) ;
- La technologie radio employée.

Une cellule est communément représentée sous la forme d'un hexagone ; en effet, l'hexagone est le motif géométrique le plus proche de la zone de couverture d'une cellule qui assure un maillage régulier de l'espace. Dans la réalité, il existe bien entendu des zones de recouvrement entre cellules adjacentes, qui créent de l'interférence intercellulaire. On distingue plusieurs types de cellules en fonction de leur rayon de couverture, lié à la puissance d'émission de la station de base, et de leur usage par les opérateurs.

- Les cellules macro sont des cellules larges, dont le rayon est compris entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres. Les cellules macro couvrent l'ensemble d'un territoire de manière régulière et forment ainsi l'ossature de la couverture d'un réseau mobile. Elles sont contrôlées par des stations de base macro dont la puissance est typiquement de 40 W (46 dBm) pour une largeur de bande de 10 MHz. Leurs antennes sont placées sur des points hauts, comme des toits d'immeubles ou des pylônes.
- Les cellules micro sont des cellules de quelques dizaines à une centaine de mètres de rayon, destinées à compléter la couverture des cellules macro dans des zones denses ou mal couvertes. Les stations de base associées sont appelées des stations de base micro et leur puissance est de l'ordre de 10W (40 dBm). Leurs antennes sont typiquement placées sous le niveau des toits, généralement en façade de bâtiments.
- Les cellules pico poursuivent le même but que les cellules micro, mais sont associées à des puissances plus faibles, de l'ordre de 0,25 à 5 W (24 à 37 dBm). Elles peuvent notamment servir à couvrir des hot spots, ou de grandes zones intérieures (indoor), tels que des aéroports ou des centres commerciaux. Les antennes des stations de base pico peuvent être placées comme celles des stations de base micro, ou au plafond ou contre un mur à l'intérieur des bâtiments.

- Les cellules femto sont de petites cellules d'une dizaine de mètres de rayon, principalement destinées à couvrir une habitation ou un étage de bureaux. Elles sont associées à des puissances faibles, de l'ordre d'une centaine de mW (20 dBm), et sont généralement déployées à l'intérieur des bâtiments

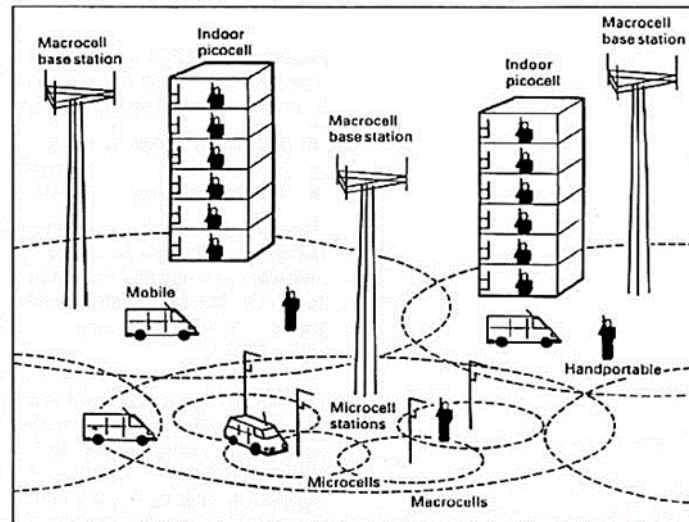


Figure II.1 : Système radio cellulaire mixte.

Chaque station de base requiert un site radio, habituellement acquis ou loué par l'opérateur de réseaux mobiles, à l'exception des stations de base femto qui peuvent être déployées par l'utilisateur. On notera que seules les cellules macro sont généralement déployées selon un motif cellulaire régulier, les autres types de cellules venant dans la plupart des cas seulement compléter localement la couverture, formant alors un réseau dit hétérogène. Afin de minimiser le nombre de stations de base macro, on utilise communément la tri sectorisation. Ce déploiement consiste pour une station de base à mettre en œuvre un système d'émission/réception dans trois directions distinctes appelées azimuts. Ceci s'effectue au moyen d'antennes directionnelles, chaque antenne pointant dans une direction donnée. Le schéma suivant présente une topologie commune de réseau macro cellulaire et illustre le concept de tri sectorisation, chaque flèche représentant la direction de pointage d'une antenne et chaque hexagone représentant une cellule. Dans le cas de la tri sectorisation, une cellule est aussi appelée un secteur. Notons que dans la réalité, notamment en milieu urbain, les cellules ne sont pas disposées selon un motif aussi régulier et peuvent être de formes variées en fonction de la propagation locale. [12]

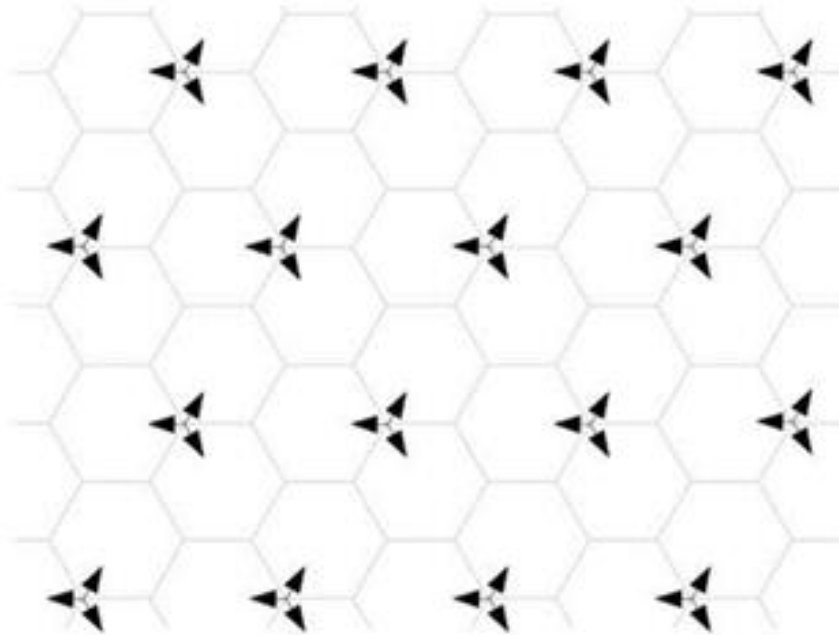


Figure II.2 : Topologie d'un réseau cellulaire tri sectorisé à structure hexagonale.

Simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires.

II.1.4. Propagation en contexte radio-mobile

En parcourant le trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Ces dégradations se traduisent en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système. Les dégradations du signal dues à la propagation en environnement radio-mobile peuvent être classées selon différentes catégories :

- Pertes de propagations dues à la distance parcourue par l'onde radio, ou affaiblissement de parcours (path loss) ;
- Atténuation de puissances du signal dues aux effets de masques (shadowing) provoqués par les obstacles rencontrés par le signal sur le

trajet parcouru entre l'émetteur et le récepteur ;

- Evanouissement (fading) dans la puissance du signal dus aux nombreux effets induits par le phénomène de multi-trajets ;
- Brouillages dus aux interférences (Co-canal ou sur canal adjacent) créées par d'autres émissions. Ce type de perte est très important dans les systèmes de réutilisation de fréquences.
- Brouillages dus au bruit ambiant provenant d'émissions d'autres systèmes. [13]

L'architecture d'un réseau mobile inclut trois entités fonctionnelles

- Le terminal mobile, appelé aussi équipement utilisateur (ou usager), abrégé en UE (User Equipment) ;
- Le réseau d'accès ou RAN (Radio Access Network) ;
- Le réseau cœur ou CN (Core Network).

On distingue également deux domaines

- Le domaine de l'UE, qui inclut les équipements propres à l'utilisateur ;
- Le domaine de l'infrastructure, constitué des équipements propres à l'opérateur.

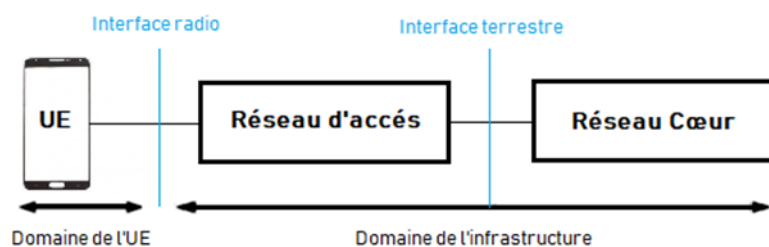


Figure II.3 : Structure d'un réseau de téléphonie mobile.

La figure III.1.3 présente la structure d'un réseau mobile. L'UE fait partie du domaine de l'équipement utilisateur et est interconnecté au réseau d'accès par l'intermédiaire de l'interface radio. L'élément d'interconnexion du réseau

d'accès avec l'interface radio est la station de base. Le réseau d'accès et le réseau cœur sont rattachés au domaine de l'infrastructure et sont interconnectés par une ou plusieurs interfaces terrestres.[12]

II.1.5. Allocation de ressources

Le spectre est une ressource rare. Son organisation au niveau mondial est nécessaire à plusieurs titres. Elle garantit la compatibilité des systèmes entre pays, autorisant l'itinérance des utilisateurs à travers le monde. Elle permet aussi aux constructeurs d'équipements de réaliser des économies d'échelles substantielles, réduisant les coûts et favorisant le développement des technologies. Cette mission d'harmonisation au niveau mondial est assurée par le secteur Radiocommunications de l'UIT (Union internationale des télécommunications) ou UIT-R. Les WRC (World Radiocommunication Conferences) sont des forums internationaux organisés tous les quatre ans par l'UIT-R, au cours desquels les traités internationaux gouvernant l'utilisation du spectre de fréquences radio peuvent être revus.[12]

II.1.6 Mobilité dans les réseaux mobiles

La mobilité est assurée par le mécanisme de handover qui est largement utilisé sur les réseaux mobiles, en particulier au sein d'un même système, car dans ce cas le dialogue entre stations de base est simplifié. Il est par exemple mis en œuvre pour la mobilité en appel au sein des systèmes GSM et UMTS, de même qu'entre ces deux systèmes pour la continuité des appels voix.[12]

II.1.7 Présentation du 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) est un consortium créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Le 3GPP a pour objectif de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents. Contrairement à ce que son nom suggère, le champ d'activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation de systèmes 3G. Son rôle consiste à maintenir et développer les spécifications des systèmes

- GSM/GPRS/EDGE
- UMTS (FDD et TDD)

- LTE, ainsi que celles du réseau cœur EPC.

Le 3GPP est composé d'un groupe de coordination appelé PCG (Project Coordination Group) et de différents groupes de spécifications techniques appelés TSG (Technical Specification Groups).

Il convient d'indiquer que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont par la suite approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, propres à un pays ou une région du monde.

Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une Release (version). Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée et représente un palier significatif dans l'évolution des systèmes. Le 3GPP a défini plusieurs Releases

- Phase1 (1992) : GSM de base ;
- Phase 2 (1995) : fonctions GSM, y compris le codec EFR ;
- Release 96 : mises à jour GSM, débit de 14.4 kbps ;
- Release 97 : définition du GPRS ;
- Release 99 : introduction de l'UMTS ;
- Release 4 : ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur ;
- Release 5 : introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 6 : introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- Release 7 : introduction du HSPA+ MIMO ;
- Release 8 : introduction des évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC ;
- Release 9 : évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison

avec le MIMO, introduction du DC-HSUPA et seconde Release du LTE ;

- Release 10 : évolution du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced ;
- Release 11 : réseaux hétérogènes (HetNet), multipoint coordonné (CoMP), coexistence interne (IDC), interconnexion de services IP avancée ;
- Release 12 : agrégation de porteuses (2 porteuses de liaison montante, 3 porteuses de liaison descendante, agrégation de porteuses FDD / TDD), MIMO massive ;
- Release 13 : LTE-U / LTE-LAA, LTE-M ;
- Release 14 : Éléments pour introduire la 5G.[12] [14]

II.1.8 Évolution des réseaux mobiles

Les systèmes mobiles comptent déjà un certain nombre d'évolution. Dans cette section, nous présentons ces différentes générations de réseaux mobiles.

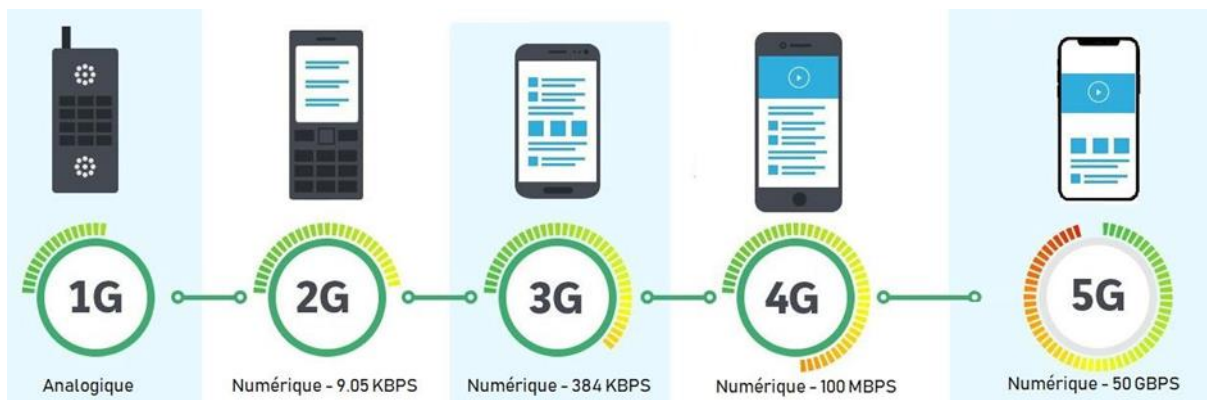


Figure II.4 : Évolution des réseaux mobiles.

II.1.8.1. Première génération (1G)

La première génération de systèmes cellulaires 1G est la technologie de téléphonie mobile de première génération. Les téléphones portables étaient des téléphones analogiques et étaient introduits en 1980. En 1979, le premier système cellulaire dans le monde est devenu opérationnel par « Nippon Telephone and Telegraph (NTT) » à Tokyo, Japon. En Europe, les deux systèmes analogiques les plus populaires étaient « Nordic Mobile Telephone (NMT) » et « TACS », d'autres systèmes analogiques ont

également été introduits dans les années 1980 à travers l'Europe. Tous les systèmes offraient la fonctionnalité de handover et d'itinérance, mais les réseaux cellulaires n'étaient pas en mesure d'interagir entre les pays. C'était le principal inconvénient de la téléphonie mobile de première génération [15].

II.1.8.2. Deuxième génération (2G)

La 2G est la seconde génération pour la téléphonie mobile, elle est aussi connue sous le nom de GSM. Les premiers réseaux cellulaires de deuxième génération ont été commercialisés sous la norme GSM en Finlande par « Radiolinja » en 1991. Les trois avantages principaux des réseaux 2G par rapport à leurs prédécesseurs étaient que les conversations téléphoniques étaient cryptées numériquement. Les réseaux 2G étaient nettement plus efficaces sur le spectre, permettant des taux de pénétration bien plus importants, mais aussi ils ont introduit les services. De données mobiles en commençant par le GPRS (2.5G) avec un débit théorique de 171.2 Kbit/s, puis le EDGE (2.75G) avec un débit allant jusqu'à 384 kbit/s qui a été déployé sur les réseaux GSM à partir de 2003, initialement par AT&T aux États-Unis. Néanmoins, plusieurs opérateurs ont annoncé que la technologie 2G sera désactivée sur leurs réseaux afin qu'ils puissent récupérer ces bandes radio et les réutiliser pour de nouvelles technologies, mais en Algérie, cette étape risquera de prendre beaucoup de temps car sur les 45,846 millions abonnés actifs, 14,385 millions sont des abonnés au réseau GSM soit 31,38% d'abonnés [11], et cela s'explique majoritairement par l'utilisation de terminaux mobiles qui ne supportent pas les nouvelles technologies et qui doivent être changés.

II.1.8.2.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM (Global System for Mobile Communications)

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe).

- Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs.
- Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.
- Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

Le sous-système radio « BSS » contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur qui assure la transmission radioélectrique et la gestion de la ressource radio (BTS et BSC).

Le sous-système réseau ou d'acheminement « NSS » : Etablissement des appels et mobilité.

Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance « OSS » : admission sur réseau.[13]

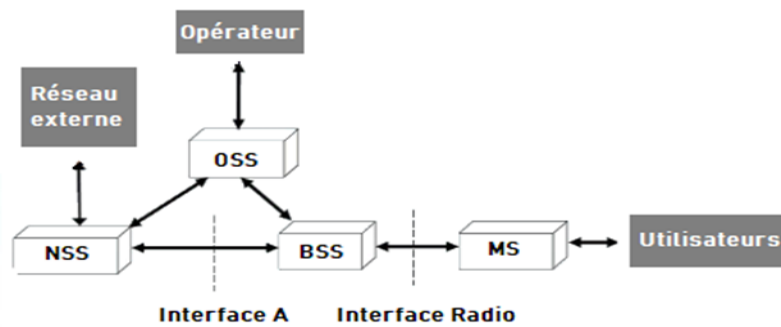


Figure II.5 : Architecture simplifiée d'un réseau GSM.

II.1.8.2.2. Equipements et leurs fonctions dans un réseau GSM

Les principaux équipements utilisés dans le réseau GSM sont

Nom	Fonction
BTS	Station de base recevant les appels entrant et sortant des ME.
BSC	Contrôleur des stations de base.
MSC	Commutateur de réseau.
HLR	Base de données sur l'identité et la localisation des abonnés.
AUC	Centre d'authentification des terminaux sur le réseau.
VLR	Base de données sur les visiteurs du réseau.
EIR	Enregistreur des identités des équipements
OMC	Centre d'exploitation et de maintenance du réseau de l'opérateur.
MS	Station mobile

SIM	Carte SIM identifiant l'abonné sur un réseau défini.
------------	--

Tableau II.1: Équipements et leurs fonctions.

II.1.8.2.3. Bandes de fréquences

Les systèmes de téléphonie mobile qui se divisent en deux types de réseaux, GSM 900 et DCS 1800, fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz. Dans le cas du réseau GSM 900, la bande de fréquences comprise entre 890 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 935 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais est appelée « voie montante » ou « Uplink », par contre la transmission de l'antenne relais vers le téléphone mobile est, quant à elle, appelée « voie descendante » ou « Downlink ». La communication entre le mobile et la BTS s'effectue toujours sur deux fréquences séparées de 45 MHz. Autrement dit, si la BTS envoie ses données à la fréquence f_1 , le mobile enverra ses données vers la BTS à la fréquence f_1-45 MHz. [13]

II.1.8.2.4. Introduction du GPRS (General Packet Radio Service)

La norme GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM. Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération 3G, on parle généralement de 2.5G pour classer la norme GPRS. Le GPRS permet d'étendre l'architecture de la norme GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums. Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. La norme GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût.[16]

II.1.8.2.5 Introduction de l'évolution EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

La norme EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation et permettant ainsi d'augmenter le débit des données. Tout comme la norme GPRS, Il est

utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner la norme EDGE.

II.1.8.3. Troisième génération (3G)

La troisième génération de réseaux mobiles (3G) regroupe deux familles de technologies ayant connu un succès commercial : l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), issu du GSM et largement déployé autour du globe, et le CDMA2000, issu de l'IS-95 et déployé principalement en Asie et en Amérique du Nord. Les interfaces radio de ces deux familles reposent sur des caractéristiques techniques proches, notamment un schéma d'accès multiples à répartition par les codes (CDMA). La 3G est caractérisée par la volonté des industriels de télécommunications de définir une norme au niveau mondial. Les enjeux étaient d'offrir une itinérance globale aux utilisateurs, mais également de réduire les coûts unitaires des terminaux mobiles et des équipements de réseau grâce aux économies d'échelle. Dans cette perspective, ces entreprises, en particulier celles issues du monde GSM, se sont regroupées au sein du consortium 3GPP. Cette démarche aboutit à l'élaboration de la norme UMTS à la fin des années 1990. Cette première version de la norme est appelée Release 99. Les innovations associées au système UMTS ont principalement trait au réseau d'accès, celui-ci s'interfaçant avec le réseau cœur GPRS. Les objectifs de l'UMTS étaient d'accroître la capacité du système pour le service voix mais surtout d'améliorer le support des services de données.[12] La différence majeure avec le GSM vient de l'interface radio. Celle-ci repose sur l'étalement de spectre à séquence directe. L'étalement de spectre consiste à transmettre une information sur un signal occupant un spectre nettement plus grand que le minimum nécessaire. Cette technique a été d'abord utilisée dans les systèmes militaires à des fins de discrétion et parce qu'elle offre une bonne résistance aux brouillages hostiles. Depuis le milieu des années 90, elle est utilisée dans certains systèmes radio mobiles cellulaires. En Algérie, au 31 décembre 2017, le parc d'abonnés 3G a atteint 21,592 millions avec un taux de pénétration au service téléphonique de troisième génération de 51,17%.[11]

II.1.8.3.1 Présentation de l'infrastructure d'un réseau UMTS (Universal Mobile Télécommunications System)

L'introduction de l'UMTS est possible en gardant le même réseau et la

même gestion globale (Exploitation, mobilité, facturation), le nouveau réseau vient se combiner aux réseaux déjà existants. Il faut néanmoins installer de nouvelles stations de base.

Les éléments qui viennent s'ajouter au réseau sont

- Le Node B
- Le RNC
- La carte USIM
- Le mobile

II.1.8.3.2. Bandes de fréquences

Les bandes hertziennes suivantes avaient été définies par le 3GPP pour les systèmes 3G avec la méthode de duplexage fréquentiel FDD et TDD

Bande FDD	Pour la liaison montante (MHz)	Pour la liaison descendante (MHz)	Région principale
I	1920-1980	2110-2170	Europe, Asie
II	1850-1910	1930-1990	Amérique (Asie)
III	1710-1785	1805-1880	Europe, Asie (Amérique)
IV	1710-1755	2110-2155	Amérique
V	824-849	869-894	Amérique
VI	830-840	875-885	Japon
VII	2500-2570	2620-2690	Europe
VIII	880-915	925-960	Europe, Asie
IX	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	Japon
X	1710-1770	2110-2170	Amérique

Tableau II.2 : Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage FDD.

Bande TDD	Gamme de fréquence (MHz)	Région principale
(a)	1900-1920	Europe, Asie
	2010-2025	
(b)	1850-1910	Amérique
	1930-1990	

(c)	1910-1930	Amérique
(d)	2570-2620	Europe

Tableau II.3: Bandes hertziennes pour la technologie W-CDMA en duplexage TDD.

II.1.8.3.3. Introduction du HSPA (High Speed Packet Access)

Rapidement, la volonté apparut d'effacer les limites de la Release 99 en matière de débits. Les évolutions HSPA, aujourd'hui connues commercialement sous le nom de 3G+, furent introduites

- HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante ;
- HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante.

Ces évolutions ont été définies par le 3GPP respectivement en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'accroître les débits possibles et de réduire la latence du système. La latence désigne le temps de réponse du système à une requête de l'utilisateur, et est un facteur clé de la perception des services de données par l'utilisateur.[12]

II.1.8.3.4. Introduction du High-Speed Packet Access + (HSPA+)

Dans certains pays tels que le Japon et les États-Unis, la technologie UMTS et ses évolutions HSPA ont cependant commencé à montrer leurs limites en termes de capacité. La mise sur le marché de terminaux attractifs comme les smartphones et l'introduction de nouveaux services impliquant une connexion quasi-continue au réseau sont des facteurs qui ont mené à un essor brutal des usages et du trafic à écouler par les réseaux. On fait à présent référence aux utilisateurs toujours connectés ou always-on. Cette augmentation du trafic implique un partage des ressources entre les utilisateurs et, dans certains cas, une réduction des débits qui leur sont délivrés. Avec l'augmentation de la charge des réseaux, la qualité de service fournie aux clients se dégrade, ce qui pose un véritable problème aux opérateurs de réseaux mobiles. Deux pistes ont été suivies par le 3GPP afin de répondre à ces contraintes

- La définition d'évolutions du HSPA, appelées HSPA+ ;
- La définition du LTE.

HSPA+ est un terme qui regroupe plusieurs évolutions techniques visant principalement à améliorer :

- Les débits fournis aux utilisateurs et la capacité du système ;
- La gestion des utilisateurs always-on.

Le HSPA+ a été normalisé par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008).[12]

II.1.8.4. Evolution vers la quatrième génération (4G)

Il s'agit d'une nouvelle technologie qui a premièrement été commercialisée utilisant la norme LTE (Long Term Evolution) fin 2009 par l'opérateur téléphonique suédois et finlandais « Telia », c'est une évolution des réseaux GSM/UMTS qui spécifie la prochaine génération du système d'accès mobile à large bande. Les intérêts majeurs qu'a apportée la 4G par rapport à son antécédent 3G réside dans, l'augmentation considérable du débit qui peut atteindre 100 Mbits/s en liaison descendante et 50 Mbits/s en liaison montante, diminution de latence, et permet d'offrir plus de capacité et une mobilité qui peut aller jusqu'à 350 km/h, et même 500 km/h en fonction de la bande de fréquences. De ce fait, cette technologie a aussi été adoptée en Algérie à partir de l'année 2016 et comptait 9,868 millions d'abonnés à la fin 2017, tout opérateurs inclus. Les bandes de fréquences hertziennes prévues par les normes 3GPP pour le LTE et le LTE Advanced sont très nombreuses (une quarantaine) et s'étalent de 450 MHz à 3,8 GHz (tout dépend des pays). Il est parfois nécessaire d'effectuer un « réaménagement » du spectre en libérant des fréquences initialement attribuées au GSM (2G) et à l'UMTS (3G). De nombreux opérateurs réutilisent déjà une partie ou la totalité de la bande de fréquence des 1 800 MHz pour le LTE.[11]

II.1.8.4.1. LTE-Advanced

La Release 10 de la technologie LTE, aussi connue sous le nom LTE-Advanced, a été achevée à la fin de 2010 et impliquait une flexibilité accrue du spectre LTE à travers l'agrégation de porteuses, élargissement de la transmission multi-antennes, introduction du support relais (Relay Node), et a apporté des améliorations dans le domaine de la coordination d'interférences dans les déploiements hétérogènes de réseaux. La Release 11 a encore étendu les performances et les capacités du LTE. Une des principales caractéristiques de la LTE Release 11, finalisée fin 2012, était la fonctionnalité de l'interface radio pour transmission et réception multipoint coordonnées (CoMP). Autres exemples d'améliorations dans la Release 11, l'amélioration de l'agrégation de porteuses, une nouvelle structure de canaux de contrôle, et des exigences de performances pour les récepteurs d'appareils plus avancés. La Release 12,

achevée en 2014, était axée sur les petites cellules (Small cell) dotées de fonctionnalités telles que la double connectivité, activation / désactivation des petites cellules et atténuation améliorée des interférences et adaptation au trafic (eIMTA), ainsi que sur de nouveaux scénarios avec l'introduction de la communication directe entre périphériques et mise en service d'une communication de type machine (IoT) à complexité réduite.

II.1.8.4.2. LTE-Advanced Pro

La Release 13, finalisée à la fin de 2015, marque le début de la technologie LTE-Advanced Pro. Elle est parfois appelée 4,5G ou 4.9G dans le marketing et elle est considérée comme une technologie intermédiaire entre la 4G définis par les premières versions de LTE et la nouvelle interface radio 5G à venir. L'accès assisté par licence (LAA) pour prendre en charge le spectre sans licence en complément du spectre sous licence, la prise en charge améliorée de la communication de type machine et diverses améliorations en agrégation de porteuses, la transmission multi-antenne et la communication entre périphériques sont quelques faits saillants de la Release 13.[18]

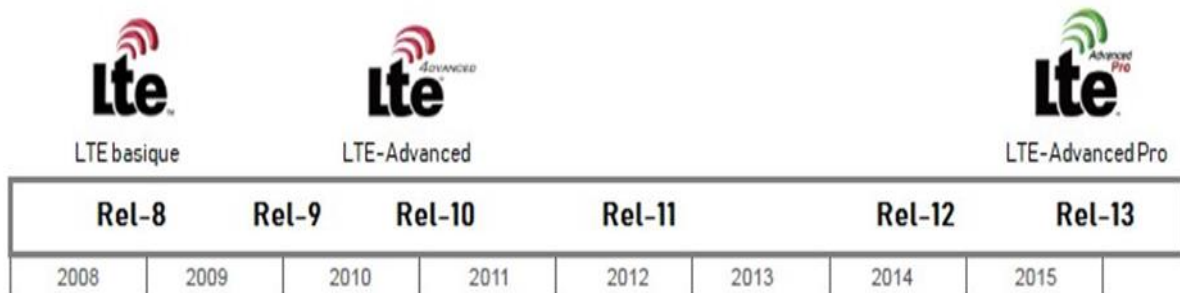


Figure II.6 : Évolution de la technologie LTE durant les années selon les standards 3GPP.

II.2. Le GPS

II.2.1. Introduction

Le Global Positioning System (GPS) (en français : « Système mondial de positionnement » ou « Géo-positionnement par satellite », originellement connu sous le nom de Navstar GPS, est un système de positionnement par satellites appartenant au gouvernement des États-Unis. Mis en place par le département de la Défense des États-Unis à des fins militaires à partir de 1973, le système avec vingt-quatre satellites est totalement opérationnel en

1995 et s'ouvre au civil en 2000. Les signaux transmis par les satellites peuvent être librement reçus et exploités par quiconque. L'utilisateur, qu'il soit sur terre, sur mer ou dans les airs, peut connaître sa position à toute heure et en tout lieu sur la surface ou au voisinage de la surface de la Terre avec une précision sans précédent, dès lors qu'il est équipé d'un récepteur GPS et du logiciel nécessaire au traitement des informations reçues.



Figure II.7 : le logo original du système GPS.

II.2.2 compositions

Le GPS se compose de trois segments : des satellites en orbite autour de la Terre (segment spatial) ; des stations de contrôle au sol (segment contrôle) et les récepteurs GPS des utilisateurs (segment utilisateur).

II.2.2.1 segment spatial

C'est la constellation des satellites du GPS. Le segment spatial est le cœur du système, il est composé d'une trentaine de satellites en constellation autour de la terre. Ces satellites évoluent en orbite haute soit à plus de 19.000 kilomètres au-dessus de la surface de la terre. Le fait d'être positionné à une telle altitude permet aux signaux de couvrir une très large zone. Les orbites de ces satellites sont organisées de telle façon qu'un récepteur GPS sur terre reçoive toujours les signaux de trois satellites au minimum à la fois et à un instant donné. Ces satellites sont en orbite à plus de 11.000 km/h ce qui leur permet également de faire le tour de la terre toutes les 12 heures. Les satellites émettent des signaux radio de faible puissance (de 20 à 50 watts) et sur plusieurs fréquences distinctes L1 (1575,42 MHz), L2 (1227,60 MHz) etc... La fréquence « L1 » est réservée aux

récepteurs civils dans la bande UHF (bande d'ondes décimétriques). Ces signaux passent à travers les nuages, le plastique, le verre, mais ne traversent pas les objets plus solides ou denses (les montagnes ou les bâtiments..). Chaque satellite émet un code unique ce qui permet aux récepteurs GPS d'identifier les signaux. La fréquence ou bande L1 contient deux signaux aléatoires (code digital), le code protégé (P-code) et le code d'acquisition globale (C/A). Le code P est brouillé afin d'éviter les manipulations de données et interdire les accès non autorisés (données sensibles ou militaires...).[20]

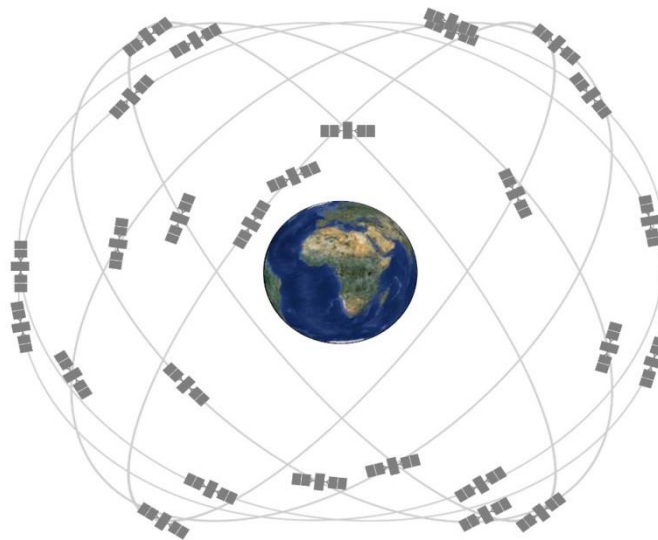


Figure II.8 : les satellites représentant le segment spatial du GPS.

II.2.2.3 Segment de contrôle

C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Il contrôle les satellites GPS en les suivant et en leur fournissant des corrections d'orbites et de temps. Dans le Monde, il existe cinq stations de contrôle au sol qui sont situées tout autour de la terre. En fait, il y a quatre stations automatiques de surveillance et une seule station principale de contrôle. Les stations automatiques reçoivent constamment des données provenant des satellites et renvoient ces informations à la station principale de contrôle. La station principale de contrôle corrige et met à jour (éphémérides, paramètres d'horloge ..) les données reçues puis renvoie les informations aux satellites via deux antennes situées sur deux autres sites différents. [20]

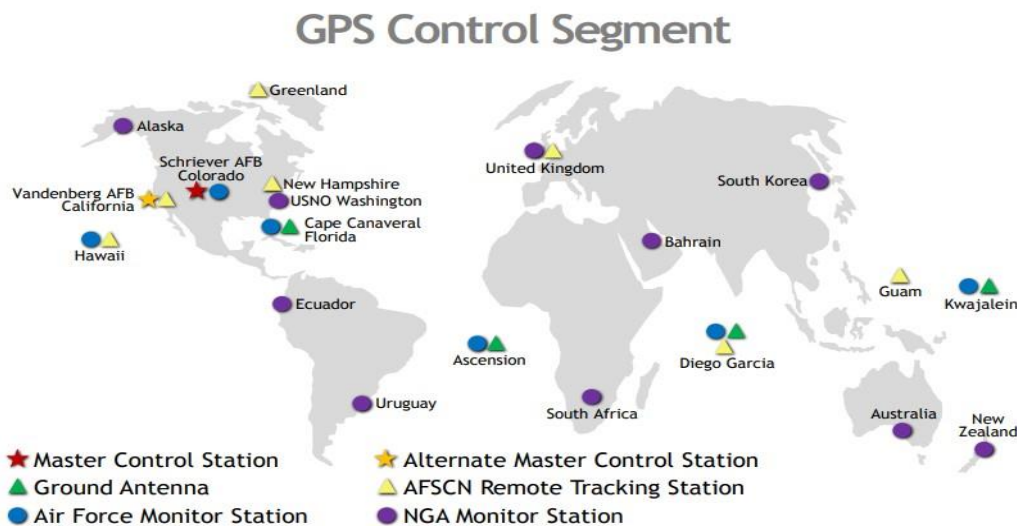


Figure II.9 : les stations de control représentant le segment control du GPS.

II.2.2.4 Segment utilisateur

C'est l'ensemble des utilisateurs civils ou militaires qui ne font que recevoir et exploiter les informations reçues des satellites via leur récepteur GPS. Le segment utilisateur regroupe les utilisateurs militaires (marine, armée de terre, de l'air), la police ou la gendarmerie. Dans le domaine civil, le segment utilisateur regroupe les navigateurs maritimes, les pilotes, les chasseurs, pêcheurs, randonneurs, les sportifs, les conducteurs d'engin etc...[20]



Figure II.10 : les appareils avec des récepteur GPS représentant le segment utilisateur du GPS.

II.2.3. Principe de fonctionnement

Le GPS fonctionne grâce au calcul de la distance qui sépare un récepteur GPS de plusieurs satellites. Les informations nécessaires au calcul de la

position des satellites étant transmises régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées. Le GPS fonctionne avec une constellation de 30 satellites en orbite autour de la Terre. Chaque satellite envoie sur Terre des signaux qui comportent la position dans l'espace du satellite, l'heure et la date d'émission du signal. Votre puce GPS, qu'elle soit contenue dans un Smartphone ou un boîtier GPS, se contente de capter ces signaux. Quand votre appareil a reçu les signaux d'un minimum de 4 satellites, il est alors en mesure de calculer sa propre latitude, longitude et altitude, et donc de vous dire où vous êtes. Le positionnement GPS fonctionne grâce à la trilatération (similaire à la triangulation, mais n'utilisant qu'un calcul de distances, sans calcul d'angles).[19] Pour simplifier, on se place dans le plan, et non dans l'espace. Ceci simplifie les dessins mais le principe reste parfaitement identique dans les deux cas. Imaginons que le boîtier reçoive le signal d'un premier satellite. Il connaît la date d'émission du signal et la date de réception : il connaît donc la durée de parcours du signal. Le signal voyageant à la vitesse de la lumière, on en déduit qu'on se trouve à une distance dd du satellite. Autrement dit, sur un cercle centré sur celui-ci :

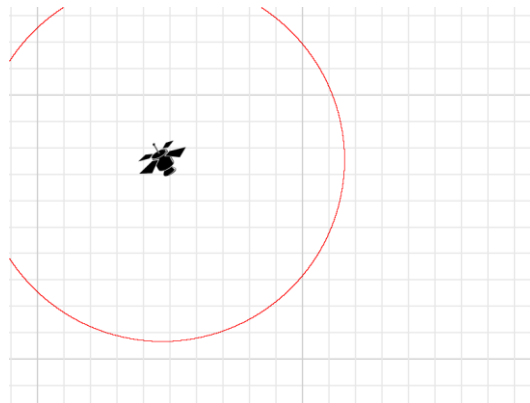


Figure II.11 : signale d'un satellite

Ajoutons un second signal, provenant d'un second satellite :

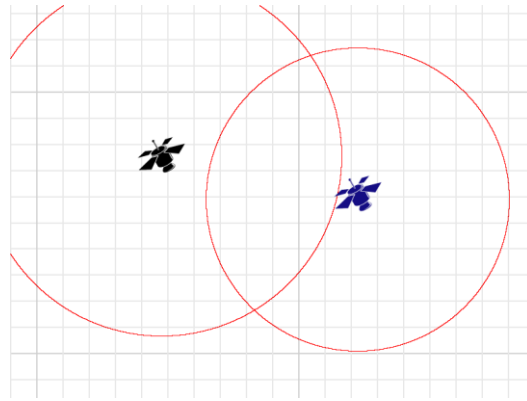


Figure II.12 : les signaux des deux satellites

On sait désormais qu'on se trouve en même temps sur les deux cercles, autrement dit, sur l'un des points où les cercles se coupent. Pour savoir lequel, il nous faut le signal d'un troisième satellite. Maintenant, il n'y a plus qu'un seul point qui se trouve à la bonne distance des 3 satellites à la fois : il correspond à notre position.[19]

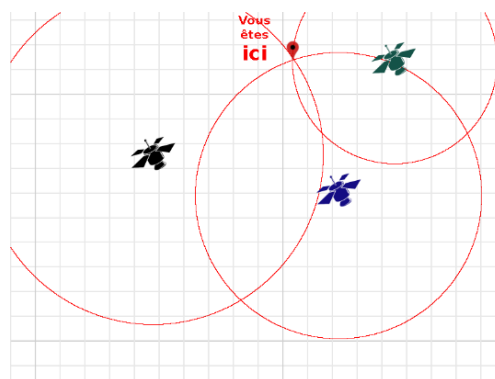


Figure II.13 : les signaux des trois satellites

II.2.3.1. le signal émis

Les satellites GPS émettent plusieurs signaux codés, à destination civile ou militaire. Le signal civil pour l'utilisation libre correspond au code C/A, émis sur la porteuse de 1 575 MHz. Sur cette porteuse, le signal de modulation est une séquence résultant de l'addition modulo 2 du code pseudo-aléatoire C/A à 1 Mbit/s et des données à 50 bit/s contenant les éphémérides des satellites et d'autres informations de navigation. C'est le code C/A qui sert dans les récepteurs par corrélation avec le signal reçu à déterminer l'instant exact d'émission de celui-ci. Cet instant d'émission de référence du code C/A peut être

modulé, à nouveau par un code pseudo-aléatoire, pour dégrader la détermination de position au sol. Ce chiffrement est appelé « selective availability » faisant passer la précision du système de 10 m environ à 100 m. Il a été abandonné en 2000 sous la pression des utilisateurs civils, et en raison du développement du DGPS qui le compensait en grande partie. Cette possibilité est cependant toujours présente à bord des satellites. La SA comporte aussi la possibilité de dégrader les informations permettant de calculer la position des satellites sur leur orbite ; elle n'a jamais été utilisée.

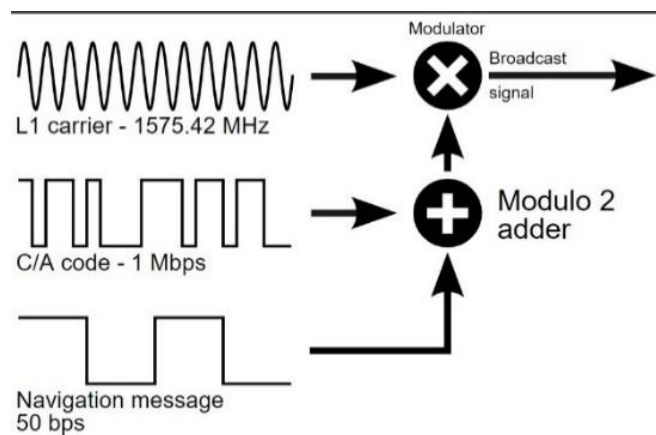


Figure II.14 : Schéma du signal C/A du GPS.

II.2.3.2. Calcul de la position

Connaissant les positions des satellites à l'heure d'émission des signaux, et les pseudo distances mesurées (éventuellement corrigées de divers facteurs liés notamment à la propagation des ondes), le calculateur du récepteur est en mesure de résoudre un système d'équations dont les quatre inconnues sont la position du récepteur (trois inconnues) et le décalage de son horloge par rapport au temps GPS. Ce calcul est possible dès que l'on dispose des mesures relatives à quatre satellites ; un calcul en mode dégradé est possible avec trois satellites seulement si l'on connaît l'altitude ; lorsque plus de quatre satellites sont visibles (ce qui est très souvent le cas), le système d'équations à résoudre est surabondant : la précision du calcul est améliorée, et on peut estimer les erreurs sur la position et le temps. La précision de la position obtenue dépend, toutes choses égales par ailleurs, de la géométrie du système : si les satellites visibles se trouvent tous dans un cône d'observation de faible ouverture angulaire, la précision sera moins bonne que s'ils sont répartis régulièrement dans un large

cône. Les effets de la géométrie du système de mesure sur la précision sont décrits par un paramètre : le DOP (pour « Dilution of Precision », en français « atténuation » ou « diminution de la précision ») : le HDOP se réfère à la précision horizontale, le TDOP à la précision sur le temps, le VDOP à la précision sur l'altitude. La précision espérée est d'autant meilleure que le DOP est petit.[21]

II.2.3.4. L'équation de navigation

$$\rho_i = c \cdot (t_{r_i} - t_{e_i}) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + c\Delta t$$

Avec :

ρ_i : La distance théorique.

(x_i, y_i, z_i) : La position du satellite.

(x, y, z) : La position du récepteur.

c : La vitesse de la lumière dans le vide.

Δt Le décalage de l'horloge interne du récepteur.

t_{r_i} Le temps de réception du signal émis par le satellite.

II.2.4. Autres systèmes de positionnement par satellites

Enfin, pour terminer, ajoutons que le système GPS est américain est géré par le département de la défense des USA. L'usage de ce système par tous les autres pays que les États-Unis est souvent considéré comme une dépendance qui ne plaît pas toujours (pour des raisons géopolitiques). Ainsi, différents états prévoient leur propre système de positionnement par satellite :

La Russie a son système *Glonass*.

L'Europe met actuellement en place les satellites du système *Galileo*.

La Chine a son système *Beidu*.

L'Inde et le Japon ont également en projet leur système régional.

II.2.5. Conclusion

Dans cette partie du chapitre 2, nous avons présenté le concept de base de la téléphonie mobile ainsi que les différentes générations de réseaux mobiles qui ont commencé par la première génération analogique et passant par l'ère du

numérique avec la deuxième et la troisième génération pour arriver à la quatrième génération qui a amélioré les débits. Étant donné que le GSM est le plus grand système de communication mobile, il est important de reconnaître la nécessité d'étudier les méthodes et les outils d'analyse du système GSM. Il est clair que le système GSM contient de grandes quantités d'informations utiles. La plupart des informations sont disponibles aujourd'hui et peuvent être récupérées et ont un grand potentiel à être utiliser et analyser. Dans le cadre de ce chapitre, nous avons essayés de donner une vue d'ensemble sur le système GSM en se basant principalement sur son architecture. Le GSM est alors apparu pour ouvrir plusieurs services aux utilisateurs grâce à ses applications et ses mécanismes qui font de cette technologie le meilleur système de télécommunication cellulaire sécurisé disponible afin de répondre aux exigences des utilisateurs rapidement et à un coût modéré. Dans la 2eme partie du chapitre, nous avons présentés les systèmes GPS. Le GPS est un outil fantastique, il est extrêmement précis, flexible, permet de nombreuses applications et peut s'utiliser dans énormément de domaines, et plus important gratuit. D'un autre coté il ne faut pas oublier que le GPS est un système complexe, sujets aux dégradations du signal (volontaires ou non) qui affectent sa précision. Le GPS est pris comme un instrument principal de navigation, et géolocalisation dans tout le monde.

Chapitre III

III.1 Arduino UNO R3 Microcontrôleur

III.1.1 Présentation Générale

L'Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328 (fiche technique). Il dispose de 14 broches numériques d'entrée / sortie (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, un oscillateur à quartz 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, d'une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur ; simplement le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de la puissance avec un adaptateur ou d'une batterie AC-DC pour commencer. Le Uno se distingue de toutes les cartes précédentes en ce qu'elle n'utilise la puce FTDI USB-série pilote. Au lieu de cela, il comporte les Atmega8U2 programmées comme un convertisseur USB-série. "Uno" signifie un en italien et est nommé pour marquer la sortie prochaine de Arduino 1.0. La Uno et la version 1.0 seront les versions de référence de Arduino, aller de l'avant. Le Uno est la dernière d'une série de cartes Arduino USB, et le modèle de référence pour la plateforme Arduino.

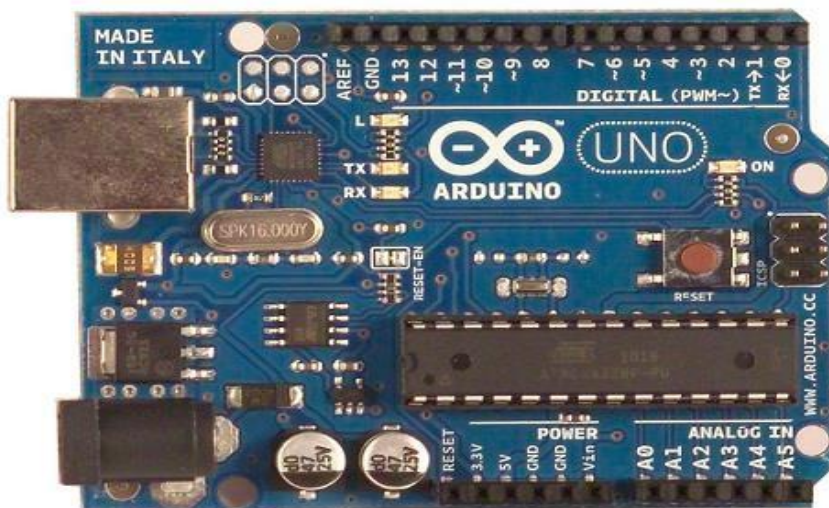


Figure III.1 : Carte Arduino Uno

III.1.2 Spécifications techniques de L'ARDUINO UNO

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandé)	7-12V
Tension d'entrée (limites)	6-20V
E / S numériques Pins	14 (qui 6 fournir PWM sortie)
Pins d'entrée analogique	6
DC Courant par E / S Pins	40 mA
Courant DC pour 3.3V Pins	50 mA
Mémoire flash	32 KB qui 0.5 KB utilisé par programme d'amorçage
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Vitesse de l'horloge	16 MHz

Tableau III.1: les Spécifications techniques d'une carte Arduino Uno.

III.1.3 Conseil administration

L'Arduino Uno peut être alimenté via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée. (Non-USB) Alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC (mur- verrue) ou de la batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm centre positif dans la prise d'alimentation de la carte. Leads à partir d'une batterie peuvent être insérés dans les en-têtes des broches GND et Vin du connecteur POWER. Le conseil d'administration peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Si fourni avec moins de 7V, cependant, la broche de 5V peut fournir moins de cinq volts et le conseil d'administration peut être instable. Si vous utilisez plus de 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la carte. La plage recommandée est de 7 à 12 volts. [24]

Les broches d'alimentation sont les suivants :

- VIN. La tension d'entrée à la carte Arduino quand il est à l'aide d'une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou une autre source d'alimentation régulée). Vous pouvez fournir une tension à travers cette broche, ou, si l'alimentation en tension par l'intermédiaire de la prise d'alimentation, l'accès à travers cette broche.
- 5V. L'alimentation régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et les autres composants de la planche. Cela peut provenir soit de VIN via un régulateur à bord, ou être fourni par USB ou d'une autre alimentation 5V réglementé.
- 3V3. Une alimentation de 3,3 volts généré par le régulateur à bord. Consommation de courant maximale est de 50 mA.
- GND. Épingles au sol.

III.1.4 Mémoire

Le Atmega328 a 32 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 0,5 KB est utilisé pour le bootloader); Il a également 2 Ko de SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque EEPROM).[24]

III.1.5 Les Entrées / Sorties

Chacune des 14 broches numériques sur le **Uno** peut être utilisé comme une entrée ou une sortie, en utilisant *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, et *digitalRead ()* fonctions. Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40 mA et a une résistance pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50 kOhms. En outre, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- Série : 0 (RX) et 1 (TX). Permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) TTL données série. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes de l'USB-TTL puce Serial ATmega8U2.
- Interruptions externes : 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur.
- faible, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur.
- PWM : 3, 5, 6, 9, 10 et 11. fournir une sortie PWM 8 bits avec la

fonction *analogWrite ()*.

- SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI, qui, bien que fourni par le matériel sous-jacent, ne sont pas actuellement inclus dans la langue Arduino.

La Uno dispose de 6 entrées analogiques, chacun qui fournissent 10 bits de résolution (à savoir 1024 valeurs différentes). Par défaut, ils mesurent à partir du sol à 5 volts, est cependant possible de changer l'extrémité supérieure de sa gamme en utilisant la broche AREF et la fonction *analogReference ()*. En outre, certaines broches ont des fonctionnalités spécialisées :

- I2C : 4 (SDA) et 5 (SCL). Soutien I2C (TWI) communication en utilisant la bibliothèque Wire.
- AREF. Tension de référence pour les entrées analogiques. Utilisé avec *analogReference ()*.
- Reset Apportez cette ligne LOW pour réinitialiser le microcontrôleur. Généralement utilisé pour ajouter un bouton de remise à zéro des boucliers qui bloquent l'un sur le bord.

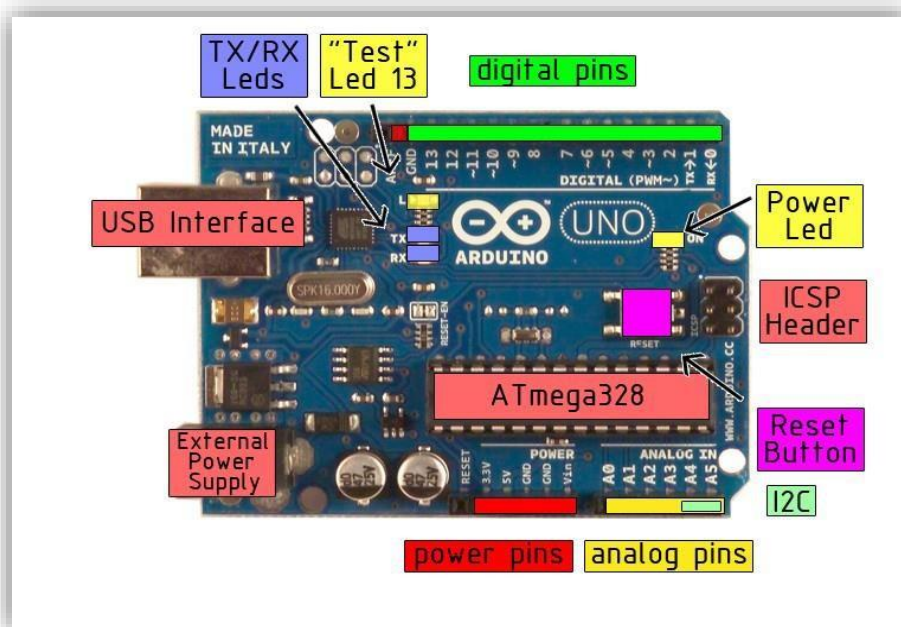


Figure III.2 : les Entres / Sorties du l'Arduino Uno.

III.1.6 Communication

L'Arduino Uno dispose d'un certain nombre de moyens pour communiquer avec un ordinateur, un autre Arduino, ou d'autres microcontrôleurs. Le ATmega328 fournit UART TTL (5V) communication série, qui est disponible sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX) [24]. Un ATmega8U2 sur les chaînes du conseil d'administration de cette communication série sur USB et apparaît comme un port COM virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur. Le «firmware de 8U2 utilise les pilotes USB COM standard, et aucun pilote externe est nécessaire. Toutefois, sur Windows, un fichier .inf * est nécessaire Le logiciel Arduino comprend un moniteur de série qui permet aux données textuelles simples pour être envoyés vers et depuis la carte Arduino. Les voyants RX et TX sur la carte clignote lorsque des données sont transmises via la puce et USB connexion USB-to-serial à l'ordinateur (mais pas pour la communication série sur les broches 0 et 1. Une bibliothèque *SoftwareSerial* permet une communication série sur l'une des broches numériques de la Uno. Le ATmega328 soutient également I2C (TWI) et de la communication SPI. Le logiciel Arduino comprend une bibliothèque de fil afin de simplifier l'utilisation du bus I2.[24]

III.1.7 Programmation

L'Arduino Uno peut être programmé avec le logiciel Arduino. Sélectionnez "Arduino Uno w / ATmega328" dans le menu Outils> Conseil (selon le microcontrôleur sur votre carte). Pour plus de détails. Les ATmega328 sur l'Arduino Uno vient preburned avec un bootloader qui vous permet de télécharger le nouveau code à elle sans l'utilisation d'un programmeur de matériel externe. Il communique en utilisant le protocole *original STK500* (référence, les fichiers d'en-tête C). Le code source du *firmware ATmega8U2* est disponible. Le ATmega8U2 est chargé avec un bootloader DFU, qui peut être activé en connectant le cavalier de soudure sur le dos de la carte, puis remettre à zéro le 8U2. Vous pouvez ensuite utiliser le logiciel FLIP d'Atmel (Windows) ou le programmeur DFU (Mac OS X et Linux) pour charger un nouveau firmware. Ou vous pouvez utiliser l'en-tête de l'ISP avec un programmeur externe (En écrasant le bootloader DFU). Plutôt que d'exiger une presse physique du bouton

de remise à zéro avant un téléchargement, l'Arduino Uno est conçu d'une manière qui lui permet d'être réinitialisé par un logiciel fonctionnant sur un ordinateur connecté. L'une des lignes de commande de flux matériel (DTR) de la ATmega8U2 est reliée à la ligne de remise à zéro des ATmega328 via un nanofarad 100 condensateur. Lorsque cette ligne est affirmée (prise faible), la ligne de remise à zéro tombe assez longtemps pour réinitialiser la puce. Le logiciel Arduino utilise cette capacité pour vous permettre de télécharger le code en appuyant simplement sur le bouton de téléchargement dans l'environnement Arduino. Cela signifie que le bootloader peut avoir un délai plus court, comme l'abaissement de DTR peut être bien coordonné avec le début du téléchargement. Cette configuration a d'autres implications. Lorsque la Uno est connecté soit à un ordinateur fonctionnant sous Mac OS X ou Linux, il réinitialise chaque fois qu'une connexion est établie à partir du logiciel (via USB). Pour la demi-seconde suivante ou alors, le bootloader est en cours d'exécution sur la Uno. Bien qu'il est programmé pour ignorer les données malformées (à savoir quoi que ce soit d'ailleurs un téléchargement du nouveau code), il va intercepter les quelques premiers octets de données envoyées à la carte après une connexion est ouverte. Si une course esquisse sur le conseil reçoit la configuration d'un temps ou d'autres données quand il commence d'abord, assurez-vous que le logiciel avec lequel il communique attend une seconde après l'ouverture de la connexion et avant d'envoyer ces données. La Uno contient une trace qui peut être coupé pour désactiver la réinitialisation automatique. Les patins de chaque côté de la trace peuvent être soudés ensemble pour le réactiver. Il est étiqueté "RESET-FR". Vous pouvez également être en mesure de désactiver la réinitialisation automatique en connectant une résistance de 110 ohms de 5V à la ligne de remise à zéro. L'Arduino Uno a une polyfuse réinitialisable qui protège les ports USB de votre ordinateur de shorts et de surintensité. Bien que la plupart des ordinateurs fournissent leur propre protection interne, le fusible fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500 mA est appliqué sur le port USB, le fusible cassera automatiquement la connexion jusqu'à ce court ou surcharge est supprimée. La longueur et la largeur maximale du PCB Uno sont de 2,7 et 2,1 pouces respectivement, avec la prise de connecteur USB et la puissance qui dépasse l'ancienne dimension. Trois trous de vis permettent au conseil d'être attaché à une surface ou un cas. A noter que la distance entre les

broches numériques 7 et 8 est de 160 milles (0,16 "), et non pas un multiple pair de l'espacement 100 millièmes de pouce d'autres broches. Arduino peut détecter l'environnement en recevant une entrée à partir d'une variété de capteurs et peut affecter son environnement par des feux de contrôle, moteurs, et d'autres actionneurs. Le microcontrôleur sur la carte est programmé en utilisant le langage de programmation Arduino (basé sur le câblage) et l'environnement de développement Arduino (basé sur le traitement). Projets Arduino peuvent être autonomes ou ils peuvent communiquer avec le logiciel sur l'exécution sur un ordinateur (par exemple Flash, Processing, MaxMSP). Arduino est un programme inter-platoform :

Sélectionnez "clignotera led", la traduction physique de la programmation bien connu "bonjour monde ", sélectionnez Fichier> Sketchbook> Arduino-0017> Exemples> Numérique> Blink. Une fois que vous avez votre skecth vous verrez quelque chose de très proche de la capture d'écran sur la droite. Dans Outils> Conseil sélectionnez Maintenant, vous devez aller dans Outils> SerialPort et sélectionnez le port série droite, celle Arduino est attaché.

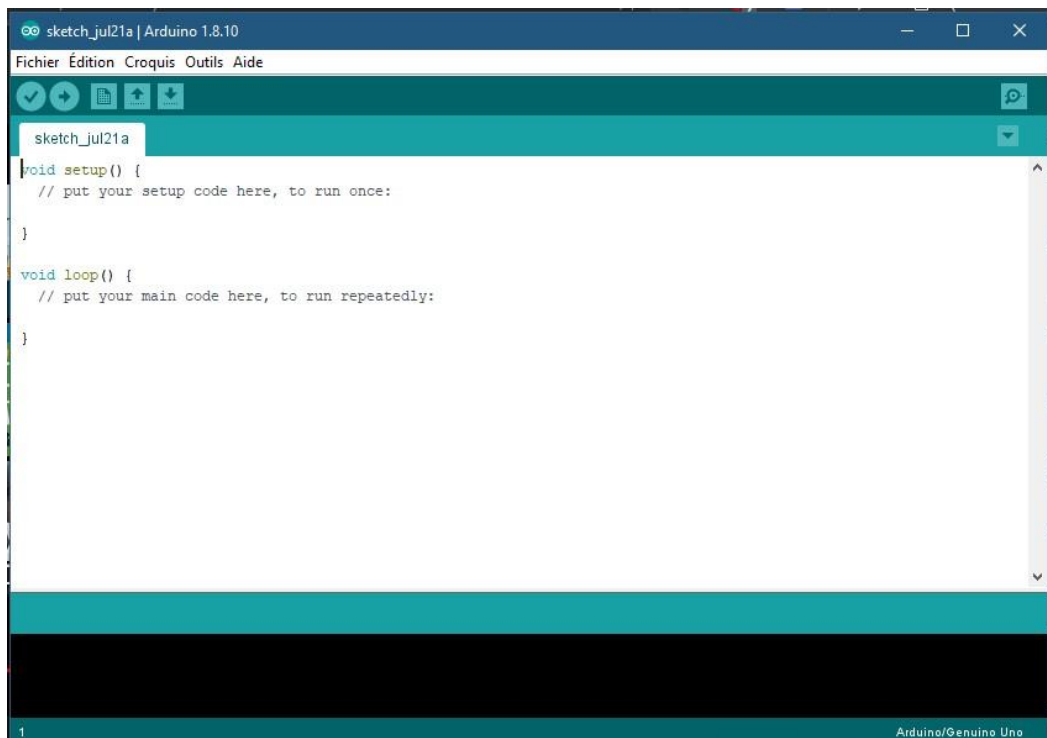


Figure III.3 : ARDUINO IDE.

III.1.8 Présentation Générale du logiciel de simulation Proteus

Le logiciel PROTEUS est composé de trois modules :

- L'éditeur de schéma ISIS
- Le simulateur LISA
- L'outil de conception de circuit imprimé ARES

ISIS : produit d'une part, une liste d'équipotentiels qui peut être utilisée par le simulateur LISA et l'outil de conception de circuit imprimé ARES, d'autre part, une liste de matériel et des rapports de contrôle des règles électriques.

LISA : est un ensemble de modules de simulation lié à ISIS. Le noyau de simulation PROSPICE est basé sur la version 3F5 du moteur SPICE publié par l'université de Berkeley.

ARES : est un module de conception de circuit imprimé compatible Windows 98, 2000 et XP. Il permet le placement des composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique et le routage des liaisons sur plusieurs couches en mode automatique manuel ou semi-automatique....

Lancement du Module ISIS :

- Dans le menu Démarrer sélectionnez Programme puis Proteus 8 Professional puis ISIS 8 Professional.
- Double cliquez sur l'icône ISIS placée dans le bureau.

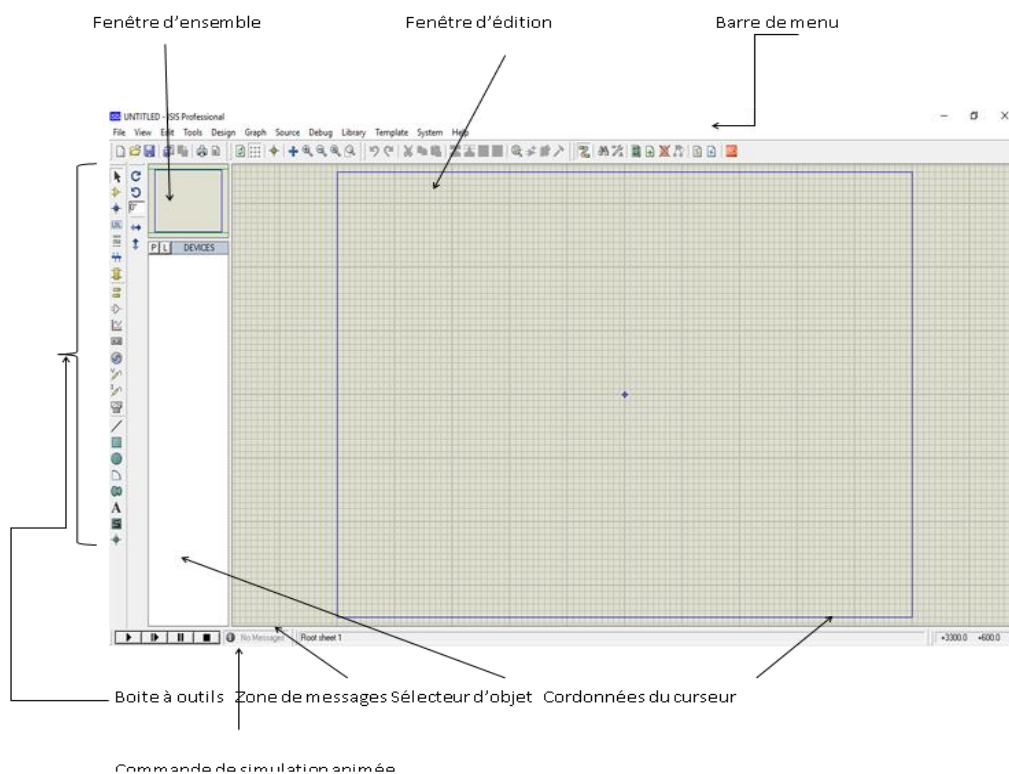


Figure III.4 : Interface utilisateur ISIS.

III.2. Module GSM 900

Le Shield SIM900 GSM / GPRS est un modem GSM, qui peut être intégré dans un grand nombre de projets IoT. Vous pouvez utiliser ce bouclier pour accomplir presque tout ce qu'un téléphone portable normal peut ; SMS, passez ou recevez des appels téléphoniques, connectez-vous à Internet via GPRS, TCP / IP, et plus encore. Pour couronner le tout, le bouclier prend en charge le réseau GSM / GPRS quadri-bande, ce qui signifie qu'il fonctionne à peu près partout dans le monde.[22]

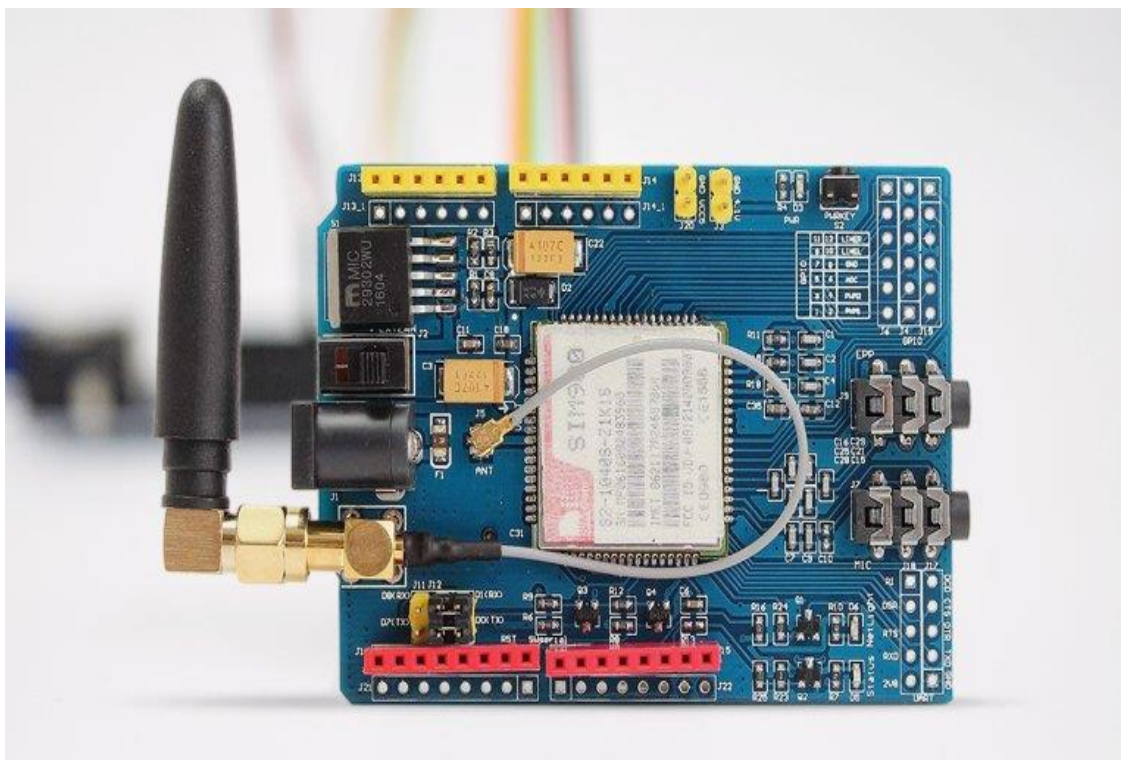


Figure III.4 : GSM900.

III.2.1 Présentation matérielle du GSM / GPRS SIM900

Le blindage SIM900 GSM / GPRS est conçu pour entourer la puce SIM900 de tout le nécessaire pour s'interfacer avec Arduino, ainsi que de quelques bonus supplémentaires pour profiter des fonctionnalités uniques de la puce.

Familiarisons-nous avec ces caractéristiques et capacités du bouclier. Voici un bref aperçu :

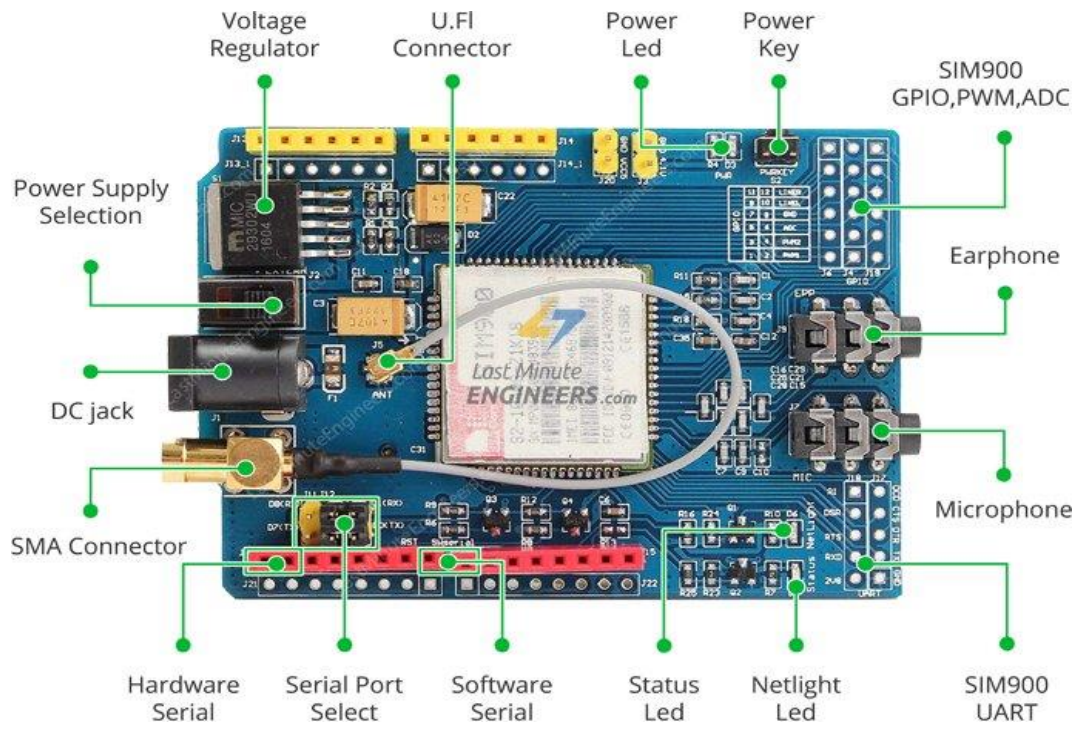


Figure III.5 : GSM900 face avant.

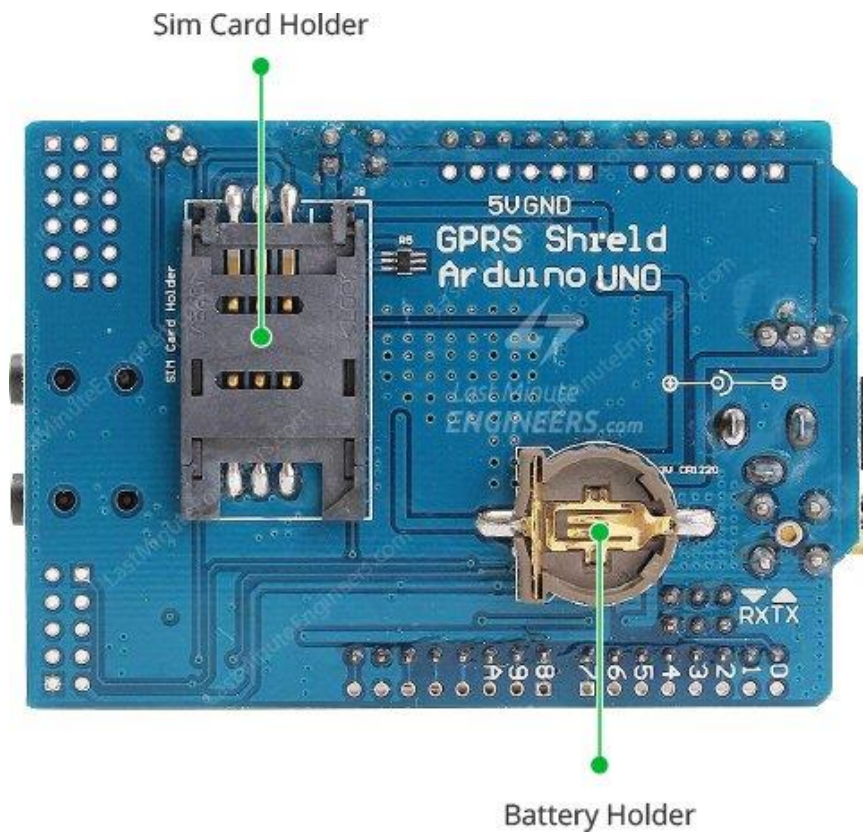


Figure III.6 : GSM900 face arrière.

Le SIM900 intègre une quantité surprenante de fonctionnalités dans son petit cadre. Certains d'entre eux sont énumérés ci-dessous :

- Prend en charge quadri-bande: GSM850, EGSM900, DCS1800 et PCS1900
- Connectez-vous à n'importe quel réseau GSM mondial avec n'importe quelle carte SIM 2G
- Passer et recevoir des appels vocaux à l'aide d'un écouteur externe et d'un microphone électret
- Envoyer et recevoir des SMS
- Envoyer et recevoir des données GPRS (TCP / IP, HTTP, etc.)
- Balayez et recevez des émissions de radio FM
- Puissance de transmission : Classe 4 (2W) pour GSM850, Classe 1 (1W) pour DCS1800
- Jeu de commandes AT en série
- Connecteurs U.FL et SMA pour antenne cellulaire
- Accepte la carte SIM pleine grandeur[22]

II.2.2. Connexion du SIM900 GSM / GPRS à Arduino UNO

Maintenant que nous savons tout sur le bouclier, nous pouvons commencer à le connecter à notre Arduino

Pour commencer, connectez les broches D7 (Tx) et D8 (Rx) du blindage aux broches numériques # 7 et # 8 sur Arduino. Comme nous utiliserons le logiciel série pour communiquer avec le bouclier, assurez-vous que le capuchon du cavalier est placé sur le port série logiciel sélectionné.

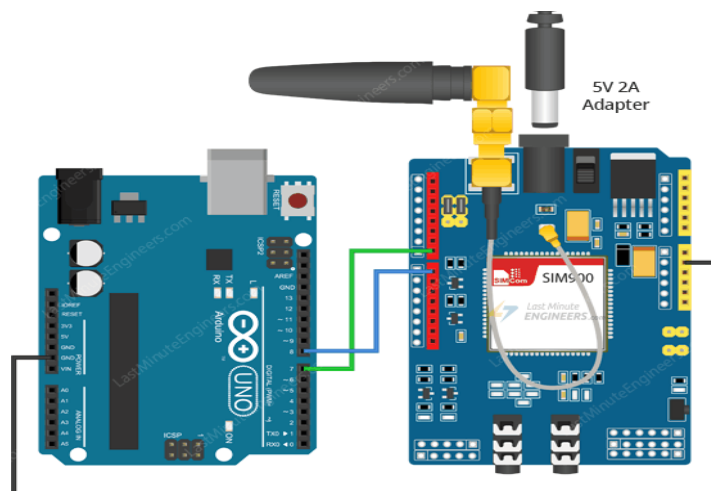


Figure III. 7 : Schéma du ARDUINO connecté à GSM 900.

Alimentez le SIM900 à l'aide d'une alimentation externe de 5V 2A. Ne soyez pas tenté de connecter cette broche à une alimentation 5V sur Arduino, car le blindage peut ne pas fonctionner en raison du manque de courant d'alimentation. Assurez-vous également de sélectionner la source d'alimentation externe avec l'interrupteur à glissière à côté de la prise CC.

Connectez maintenant toute la masse du circuit.

Enfin, connectez l'antenne, insérez la carte SIM entièrement activée dans la prise.

III.3. Module GPS

Au cœur du module se trouve une puce GPS NEO-6M d'u-blox. La puce mesure moins que la taille d'un timbre-poste, mais contient une quantité surprenante de fonctionnalités dans son petit cadre.[23]



Figure III.8 : Module GPS NEO-6M.

Il peut suivre jusqu'à 22 satellites sur 50 canaux et atteint le niveau de sensibilité le plus élevé de l'industrie, à savoir -161 dB, tout en ne consommant que 45 mA de courant d'alimentation. Contrairement à d'autres modules GPS, il peut effectuer jusqu'à 5 mises à jour de localisation par seconde avec une précision de position horizontale de 2,5 m. Le moteur de positionnement u-blox 6 dispose également d'un Time-To-First-Fix (TTFF) de moins d'une seconde. L'une des meilleures fonctionnalités de la puce est le mode d'économie d'énergie (PSM). Il permet une réduction de la consommation électrique du système en commutant sélectivement des parties du récepteur sur ON et OFF. Cela réduit considérablement la consommation d'énergie du module à seulement 11 mA, ce qui le rend adapté aux applications sensibles à l'alimentation comme les

montres-bracelets GPS.

Les broches de données nécessaires de la puce GPS NEO-6M sont divisées en en-têtes de pas de 0,1 ". Cela inclut les broches requises pour la communication avec un microcontrôleur via UART. Le module prend en charge un débit en bauds de 4800 bps à 230400 bps avec un débit par défaut de 9600 bauds.[23]

Voici les spécifications complètes :

Receiver Type	50 channels, GPS L1(1575.42Mhz)
Horizontal Position Accuracy	2.5m
Navigation Update Rate	1HZ (5Hz maximum)
Capture Time	Cool start: 27s Hot start: 1s
Navigation Sensitivity	-161dBm
Communication Protocol	NMEA, UBX Binary, RTCM
Serial Baud Rate	4800-230400 (default 9600)
Operating Temperature	-40°C ~ 85°C
Operating Voltage	2.7V ~ 3.6V
Operating Current	45mA
TXD/RXD Impedance	510Ω

Tableau III.2: les Spécifications techniques d'une carte GPS Neo-6M.

III.3.1. Câblage du module GPS avec Arduino UNO

Commencez par connecter l'antenne patch au connecteur U.FL. N'oubliez pas de faire passer le câble U.FL dans l'un des trous de montage pour une connexion robuste.

Le module est généralement livré avec des broches d'en-tête non soudées. Vous devrez donc les souder.

Maintenant, connectez les broches Tx et Rx sur le module aux broches numériques n ° 2 et n ° 3 respectivement sur Arduino; car nous utiliserons le logiciel série pour communiquer avec le module. Ensuite, connectez la broche VCC à la broche 5V de l'arduino et GND à la terre.

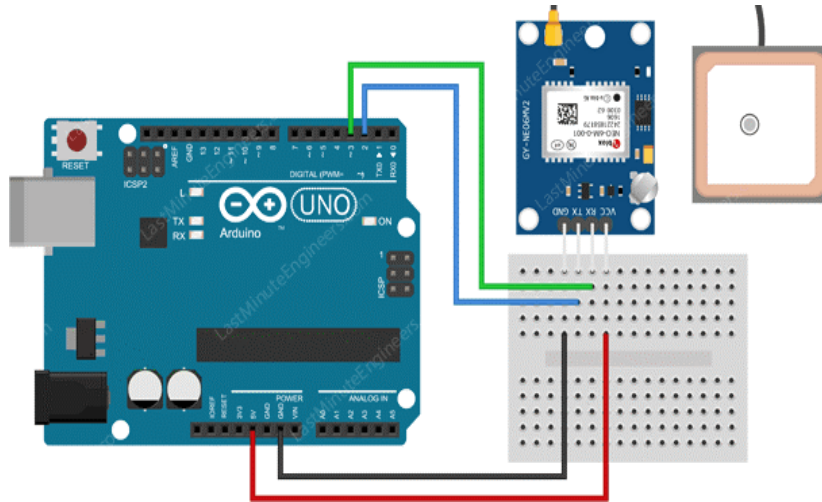


Figure III.9 : Schéma du Module GPS NEO-6M connecté a Arduino.

III.4. Antenne GPS-GSM

III.4.1 GPS Antenne

Cette antenne GPS consomme environ 10mA et vous donnera un 28 dB supplémentaire du gain. Un long câble de 5 mètres de sorte qu'il sera facilement atteindre partout où il est nécessaire. L'antenne est magnétique, de sorte qu'il va coller à la partie supérieure d'une voiture ou d'un camion ou toute autre structure en acier. Sa gamme de fréquence de fonctionnement est $1575,42 \pm 1,023$ MHz et plage de tension est 5.5V ,2.5V et la gamme de courant correspondant est de 6,6 mA, 16,6 mA. Les signaux GPS sont extrêmement faibles d'exigences uniques et présentes sur l'antenne de sorte que le choix de l'antenne joue un rôle important dans les performances du GPS. Une unité GPS doit avoir une vue du ciel claire et dégagée, pour recevoir au mieux les signaux micro-ondes qui lui permettent de communiquer avec les satellites. Convertisseur GPS Bas / Haut utilisé pour des câbles très longs. Cette antenne GPS qui reçoit le signal GPS, le convertit en une fréquence plus basse qui est ensuite envoyé vers le bas du câble. À côté du récepteur GPS est un convertisseur en place qui convertit le signal de retour à la fréquence

d'origine et le remet au récepteur GPS.[23]



Figure III.10:Antenne GPS

III.4.2 GSM Antenne

Communications GSM dépendent des antennes. L'antenne est ce qui permet des signaux de communication à être envoyés et reçus. L'antenne que nous avons utilisé dans notre projet fournit un fonctionnement à la fois GSM quadri-bande Fréquences avec un gain + 2dBi. Cette antenne fonctionne en Quad Band 890/960, 1710/1880 MHz Fréquences et elle est omnidirectionnel.[22]



Figure III.11: Antenne GSM.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait la description de Microcontrôleur Arduino UNO R3 en montrant ses Spécifications techniques, ses Entrées/Sorties utilisé dans la communication avec d'autres périphériques et son langage de programmation ainsi que les Conseils d'administration qui il faut utiliser pour avoir un bon fonctionnement. Ensuite, on a Présenté aussi le Module GPS et le module GSM900 qui sont idéalement conçue pour le développement et le prototypage d'applications de positionnement et de transmission de données. Ont décrivant leur Caractéristiques, leurs conceptions et Les Antennes GPS et GSM.

Chapitre IV

IV.1. Introduction

Un système de suivi des objets est un dispositif électronique permettre au propriétaire de suivre l'emplacement d'un objet. Dans ce chapitre on propose de concevoir un système de suivi des objets qui fonctionne en utilisant les technologies GPS et GSM, ce qui serait la source la moins chère et il pourrait fonctionner en tant que système antivol, dans ce chapitre en va voir la conception, la simulation et la mise en fonctionnement du système.

IV.2. But du projet

Il y'a plusieurs produits dans le marché avec la fonctionnalité de détecter les objets en utilisant le GPS et transmis cette information via le GSM, mais leur cout et un peu élevé, le but principal de ce projet et de crée un concept d'un traceur GPS/GSM, avec un prix accessible à la grande majorité du marché.

IV.3. Conception et Simulation

IV.3.1. Conception

Les Connection fait pour la réalisation de ce projet sont représenté dans les tableau suivant :

Connexion entre Arduino et GPS	
Arduino UNO R3	NEO GPS 6M
TX	RX
RX	TX
GND	GND
5V	VIN
Connexion entre Arduino et GSM 900	
Arduino Uno R3	GSM900A
TX	PIN 7
RX	PIN 8
5V	VIN
GND	GND

Tableau IV.1 : les connexions entre les composants du concept

Le Schéma graphique :

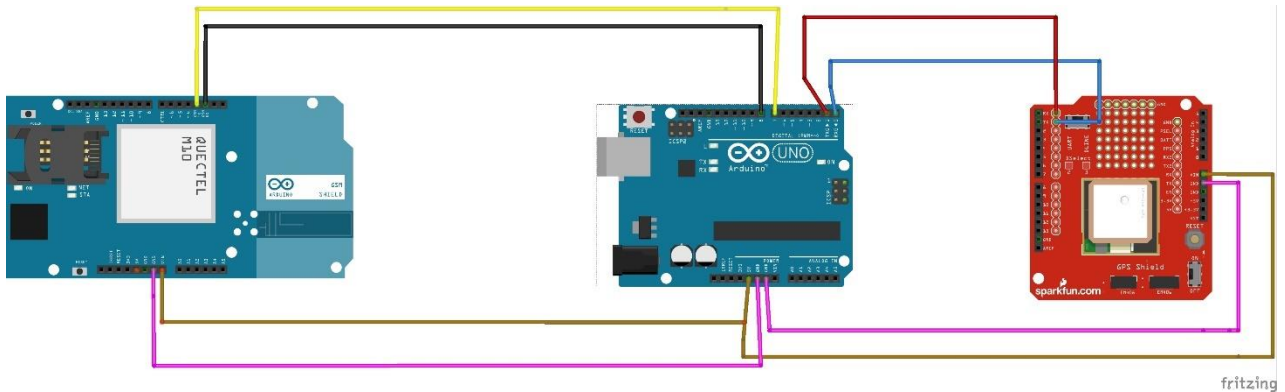


Figure IV.1. : Schéma du détecteur GPS/GSM avec l'Arduino.

Le Schéma synoptique :

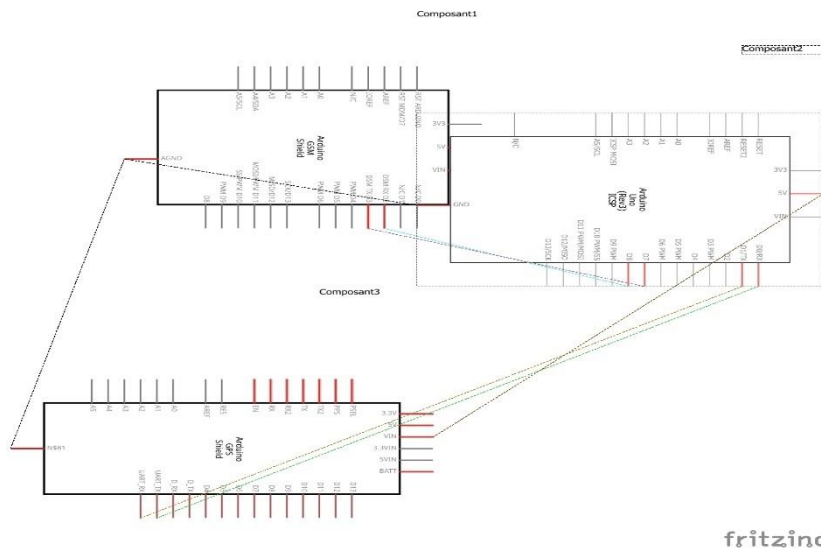


Figure IV.2. : Schéma synoptique

IV.3.2 Simulation

En a utilisé le logiciel « Proteus », ce logiciel ne contient pas la bibliothèque du composant de l'Arduino, alors on a l'importé, la première étape de la simulation et la création d'un schéma des composant utilisé, relier entre eux, la figure suivante représente les composants, avec un terminal virtuel qui saura afficher les données de localisation. Car Proteus ne contient pas un téléphone mobile.

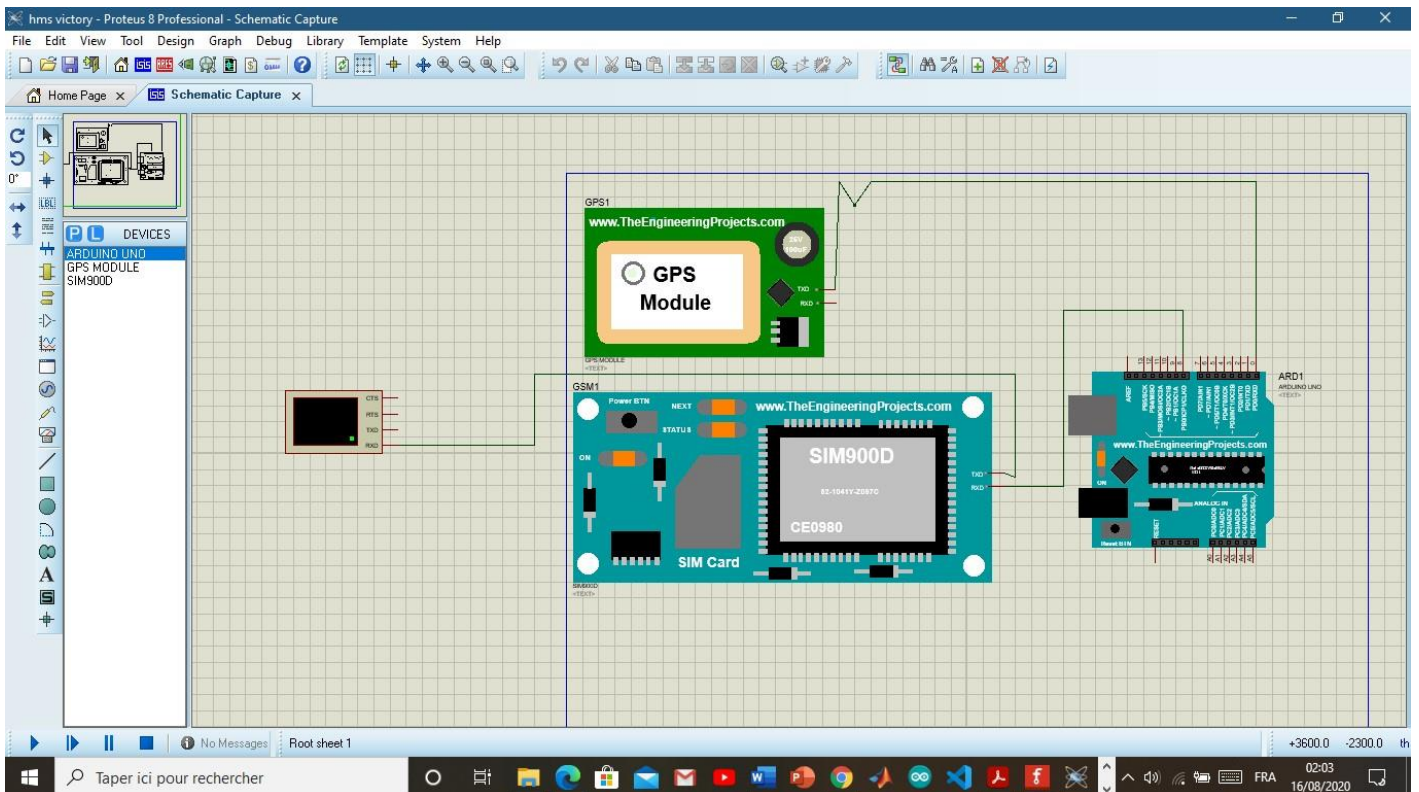


Figure IV.3 : L'interface d'utilisateur du Proteus avec tous les composants reliés entre eux.

IV.3.2.1. Principe de fonctionnement du système

Après la réception d'un message par le module GSM900, l'Arduino détecte le message et active le module GPS, le module GPS intercepte les signaux émis par les satellites et calcule la distance de chaque satellite en fonction du temps qu'il faut au message pour les atteindre. À tout moment, au moins quatre satellites sont visibles d'un point donné, transmettant leur position à intervalles réguliers. Le module NEO-6M est livré avec une antenne qui doit y être connectée. Cela aide à acquérir des données plus précises à partir des satellites. Une fois les données reçues, il donne les coordonnées géographiques en sortie, qui sont transmises à Arduino. Le module GSM900 reçoit les coordonnées GPS captées essentiellement, ensuite il les envoie à un numéro de téléphone mobile par message.

IV.3.2.2. L'algorithme du fonctionnement du système

La partie la plus délicate de cet appareil était sans doute d'écrire un code pour celui-ci. Comme il y a 3 composants principaux à savoir le module GPS, le

module GSM et l'écran LCD, le code devient un peu complexe, en a utilisé Les commandes « AT » :

Commandes AT

Les commandes AT sont des instructions utilisées pour contrôler le modem GSM. AT est l'abréviation d'Attention. Chaque ligne de commande commence par "AT" ou "at". C'est Pourquoi les commandes du GSM sont appelées commandes AT. Le Shield GSM et les téléphones Mobiles prennent en charge les commandes AT liées à l'envoi des SMS :

- AT+CSMS : Sélection du service de messagerie
- AT+CMGF : Sélection le format du SMS (PDU ou texte)
- AT+CNMI : Indication concernant un nouveau SMS
- AT+CMGR : Lecture d'un SMS
- AT+CMGS : Envoi d'un SMS
- AT+CMGW : Ecriture d'un SMS
- AT+CMGD : Efface un SMS

Les Commandes dédiées au service GPS :

- AT+CGPSPWR=1 : Alimenter le GPS
- AT+CGPSRST=0 : Définit le mode de remise à zéro
- AT+CGPSSTATUS ? : Obtient le statut GPS : Inconnu, Non Fix, Fix 2D et 3D Fix
- AT+CGPSINF ? : Obtient les chaînes NMEA
- AT+UGPS=1 ,1 : Activé le GPS avec l'aide automatique

- AT+ UGPS=0 : Désactivé le GPS

Nous avons utilisé le logiciel Arduino IDE pour programmer le code. Dans le codage, nous avons inclus deux bibliothèques softwareSerial.h et TinyGPS.h. Les organigrammes de codage GPS et GSM sont donnée ci-dessous :

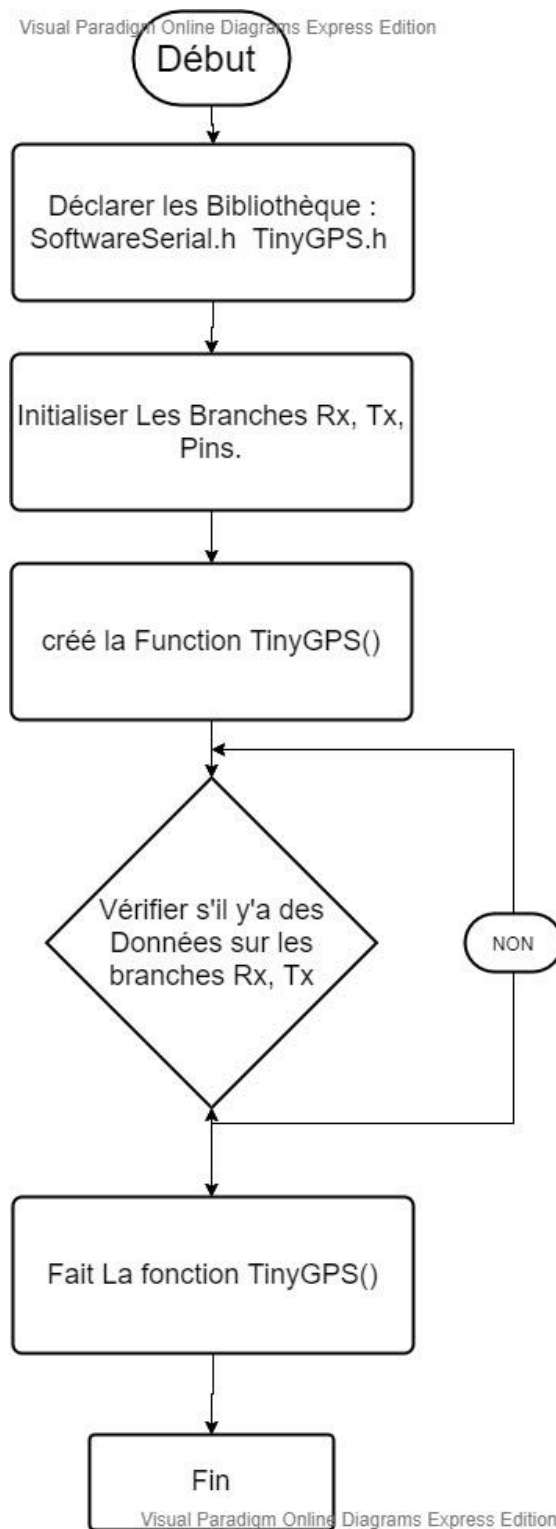


Figure IV.4: Organigramme du codage GPS.

Après l'initialisation de ces bibliothèques, nous avons créé une nouvelle fonction TinyGPS() pour récupérer les données, la longitude et la latitude. Ensuite les données seront imprimées dans le moniteur série.

Ensuite, on utilise le module GSM-900 avec Arduino Uno microcontrôleur pour envoyer des données de localisation de L'OBJET à l'utilisateur via le réseau GSM. Pour communiquer avec le dispositif mobile et le module GSM-900, la commande AT a été utilisée dans la programmation. L'organigramme du codage GSM est donné ci-dessous :

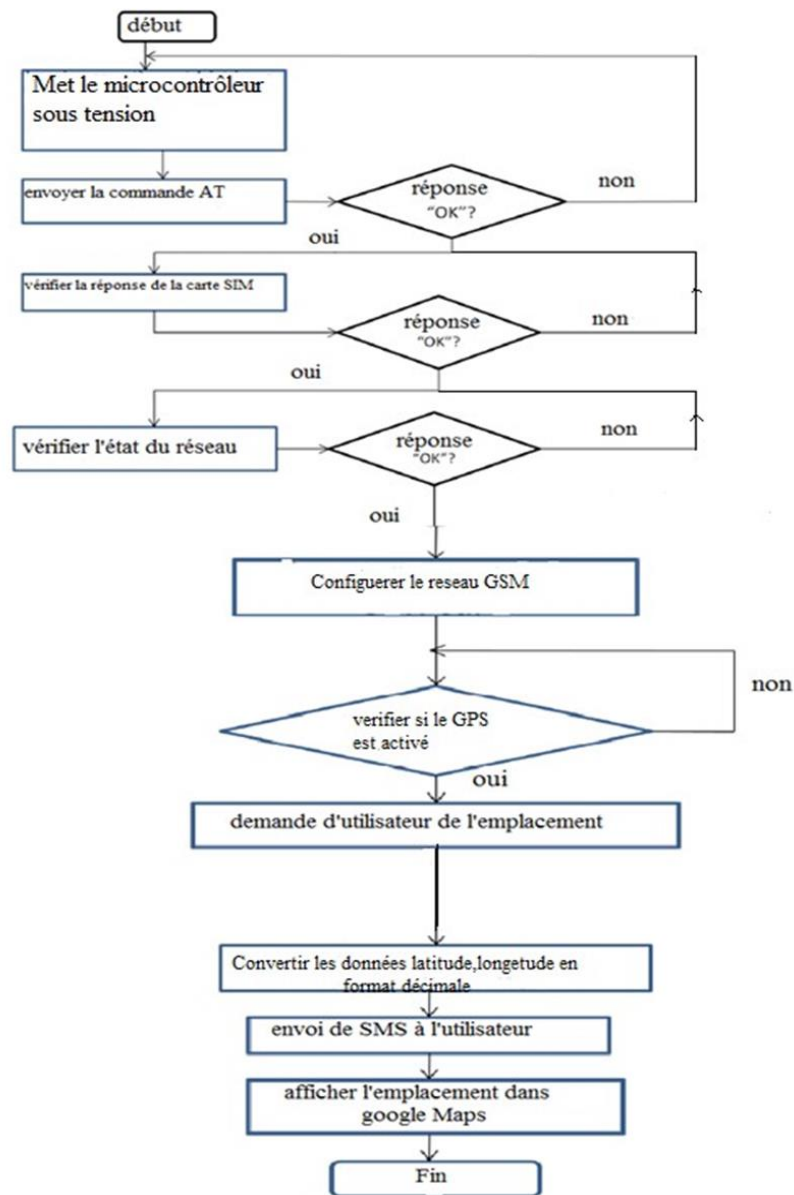
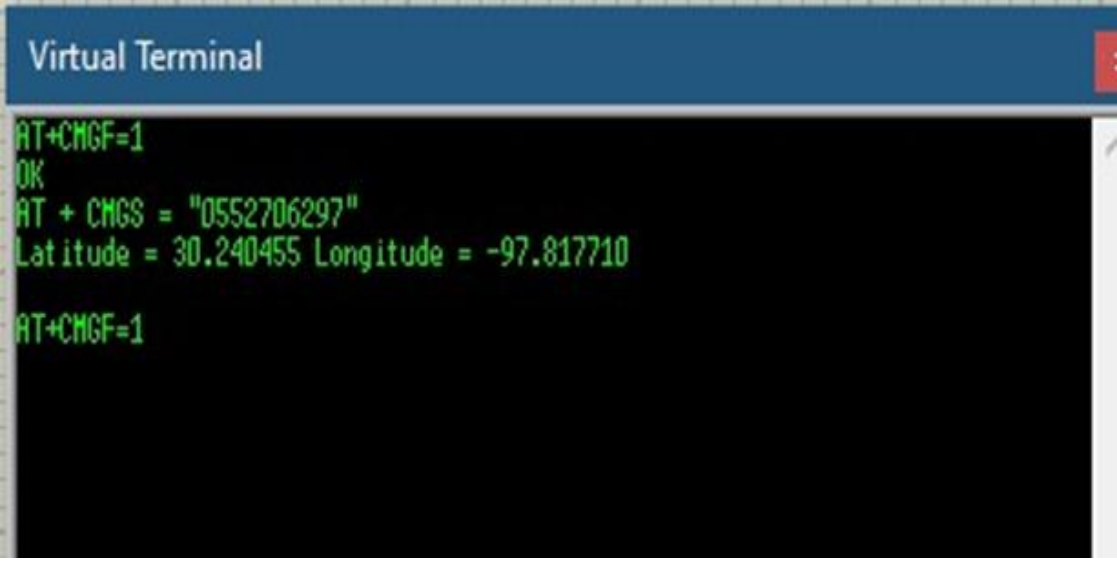


Figure IV.5: Organigramme du codage GSM.

Après La création et la compilation du code en obtient un fichier du format HEX qu'en peut l'utilisé pour programmée l'Arduino dans « Proteus » et lancé la simulation. La simulation permet de vérifier l'efficacité du code et des connexions entre les composants avant la réalisation du projet, après le lancement de la simulation on a obtenu la fenêtre suivante qui représente les données envoyées par le Module GSM au numéro de téléphone chargé d'envoyer le message par la condition AT+CMGF=1. Enfin les coordonnées GPS Longitude et l'attitude obtenues sont envoyé au numéro de téléphone affiché.



```
Virtual Terminal
AT+CMGF=1
OK
AT + CMGS = "0552706297"
Latitude = 30.240455 Longitude = -97.817710
AT+CMGF=1
```

Figure IV.6 : Longitude et l'attitude du système capté par le terminal virtuel

IV.4. Réalisation du projet

Pour mettre ce concept en fonction, il faut faire les connexions correctement, et programmé l'Arduino par le Logiciel Arduino IDE. Voici les composants reliés entre eux correctement :

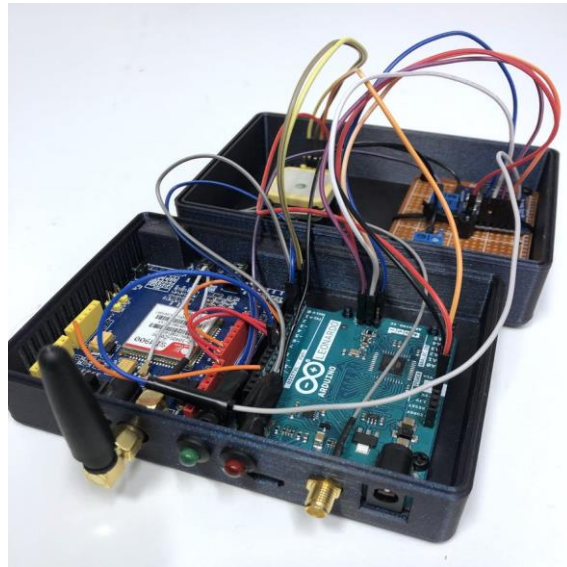


Figure IV.7. : Les composants reliés entre eux

L'étape suivante est de connecter la carte Arduino à un ordinateur pour la programmer avec le code réalisé :

```
sketch_feb14a | Arduino 1.8.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_feb14a
#include <TinyGPS.h>

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial Gsm(7, 8);
char phone_no[] = "1";
TinyGPS gps;
```

Figure IV.8 : injection du code dans l'Arduino

Après la programmation est terminée le système est en fonctionnement, on peut voir d'ici notre localisation, l'horloge et la date GPS actuelle à partir du COM-12 où l'Arduino est connecté :

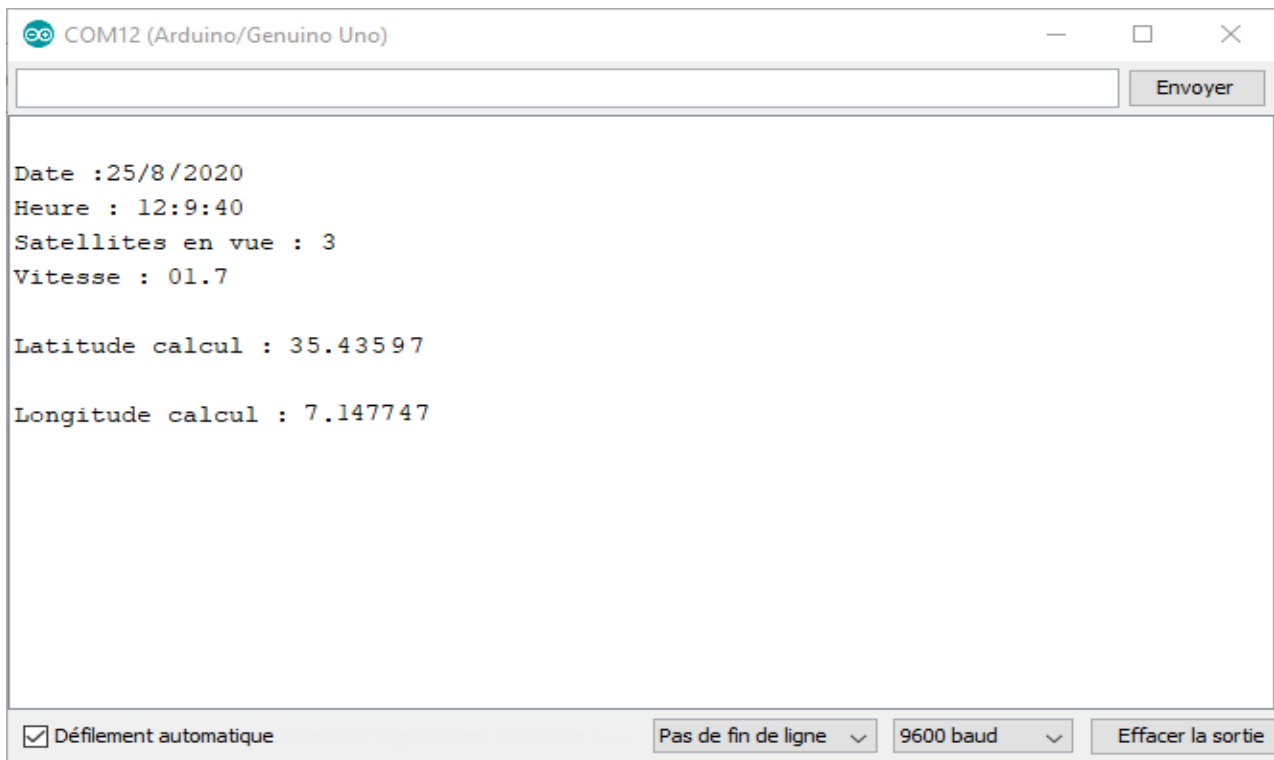


Figure IV.9. : Les information GPS de L’interface COM12

D’après ces données de localisation on peut vérifier la localisation dans Google-Maps, après la vérification on a trouvé que les données sont correctes :

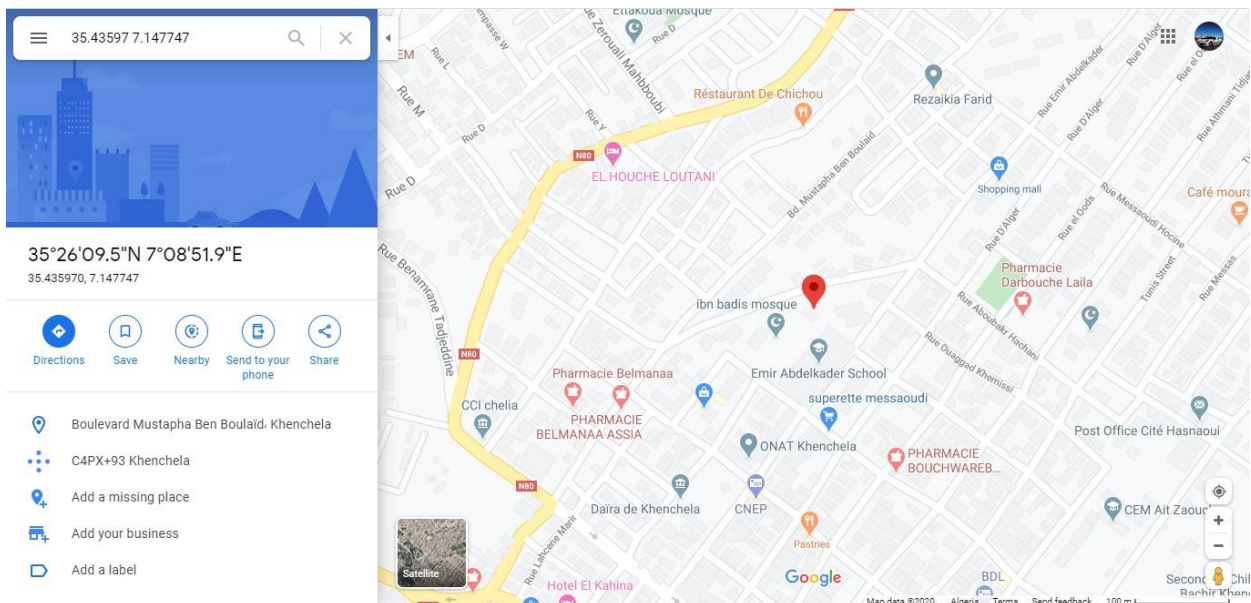


Figure IV.10 : les cordonné vérifier avec Google Maps Représenté en ce point rouge au milieu.

IV.5. Vérification de la fonctionnalité du système

Après la confirmation que les données GPS sont corrects, on a débranché le

concept de PC et le branché dans un Générateur à courant continu à 12 Volt pour simuler une batterie.

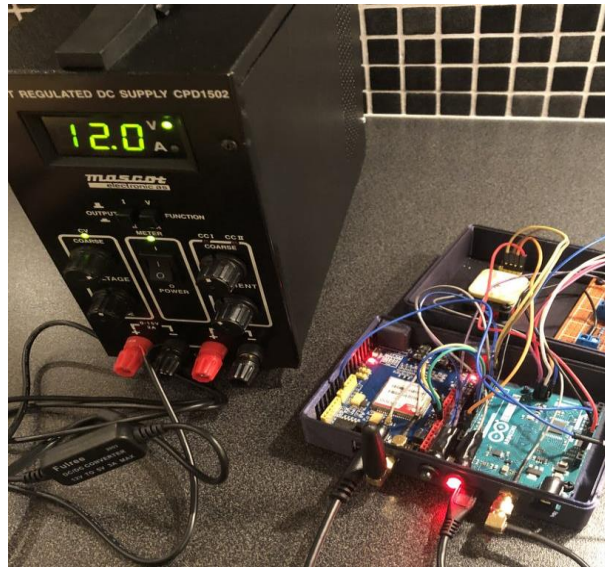


Figure IV.11 : le concept connecté à un générateur du Courant continu a 12V

Maintenant on a envoyé un message au numéro de la puce inséré dans le GSM900 :

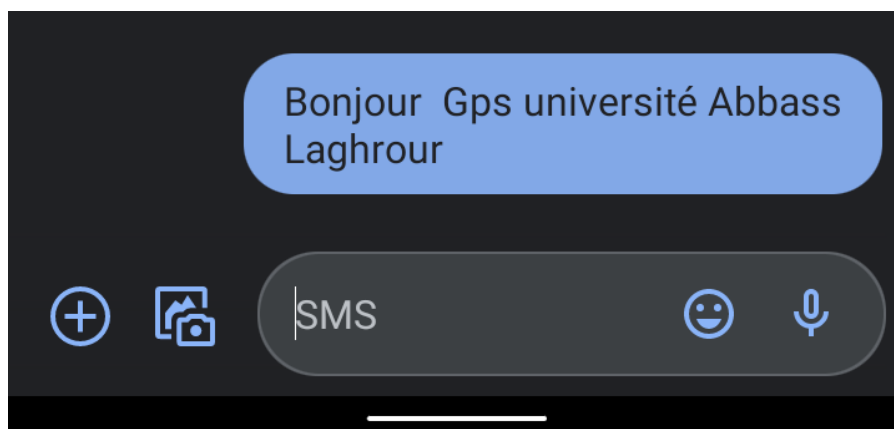


Figure IV.12 : Envoi du message.

Après quelque second, on reçoit le message suivant qui contient la longitude et la latitude et un liens Google Maps.

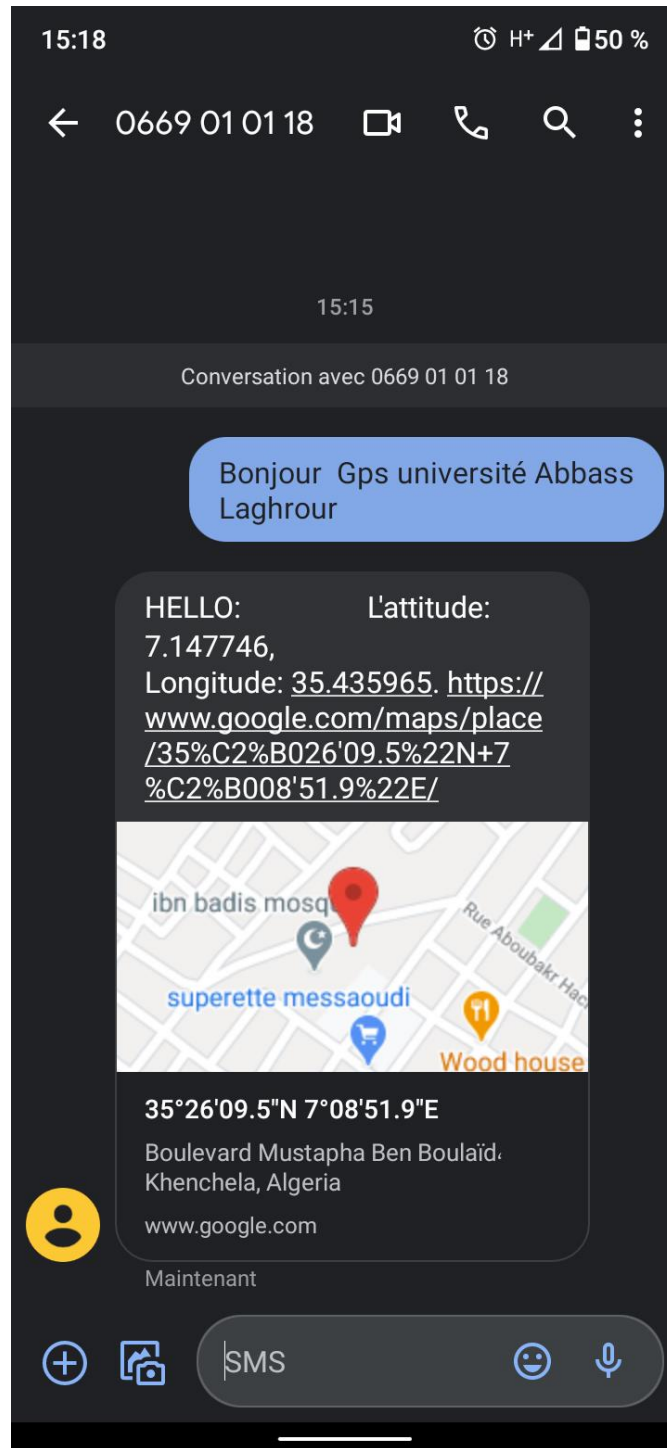


Figure IV.13 : Le Message Reçu

Lorsque on ouvre ce liens, l'application Google Maps s'ouvre et indique la position grâce à ces coordonnées GPS.



Figure IV.14 : l'application Google Maps avec la location du système.

IV.6. Interprétation des résultats

Les résultats sont très satisfaisants, nous avons créé un système qui peut travailler sur commande en temps réel et envoyer à l'utilisateur l'emplacement de l'objet cherché. Les données de localisation sont précises et le temps entre l'envoi et la réception de ces données est insignifiant. On a également atteint notre objectif de créer un concept abordable, et moins cher.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on s'est intéressé à la structure générale du système de suivi et son fonctionnement, en décrivant les étapes à suivre pendant la réalisation, telles que l'algorithme et le schéma synoptique. Ensuite une simulation par le logiciel Proteus pour tester le fonctionnement du système avant la réalisation. Dans ce projet, on a conclu que ce système de suivi est très utile et ces avantages sont nombreux. Parmi ces avantages, il peut être utilisé comme un

système de sécurité contre le vol de voiture. Une entreprise de transport peut l'utiliser comme un système de suivi des objets précieux ou de ses véhicules. Il peut être utilisé pour la surveillance des enfants.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Au travers de ce travail. On a tenté de montrer que la géolocalisation est une procédure permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques. Cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé grâce à un récepteur GPS et de publier et transmettre en temps réel ses coordonnées géographiques latitude et longitude vers une plateforme logicielle de géolocalisation grâce un terminal équipé d'un moyen de télécommunication de type GSM, GPRS, UMTS, radio ou satellite lui permettant d'envoyer les positions à des intervalles réguliers.

On voit ainsi que la géolocalisation est un véritable outil de la navigation dans de nombreuses applications civiles. Elle offre des services comme le suivi de marchandises, de flottes de camions, le suivi des personnes souffrant d'Alzheimer ou d'autres maladies, les enfants, le suivi des animaliers sauvages dans la forêt pour connaître leur déplacement, les services liés à la sécurité....

On a conclu que la localisation d'un lieu géographique restera une donnée essentielle pour la plupart des activités humaines et pour la gestion de ressources naturelles, le GPS ouvre une voie prometteuse pour le développement de systèmes de navigation fiables, précis et il est à la portée du public. Il offre une fantastique ouverture sur des nouvelles technologies.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Nicolas Nova, “Les médias géolocalisés”,(FYP editions, 2009),pp. 12-14, avr. 2009
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9olocalisation>
- [3]http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/approfondir/dossier/travail/FICHE_TRAVAIL_GEOLOCALISATION.pdf
- [4] http://www.cabinetblanc.fr/documentation/droit_divers/interdiction_degeolocalisationparbalise-gps.pdf
- [5]<http://www.logistiqueinenormandie.com/upload/fichiers/Cahier.Special.Technologique.N3.pdf>
- [6] <http://btp-dz.com/la-geolocalisation-et-le-suivi-des-flottes-de-vehicules/>
- [7] <http://www.geo-tracking.fr/traceur-gps-personnesagees.html?PHPSESSID=o28aruuirqkfven64tcqv2nio6>
- [8] Jochen Schiller et Agès Voisard, “Location-Base Services”. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2004.
- [9] T D'Roza et G Bilchev. An overview of location-based services. BT Technology Journal, 21(1) :2027, January 2003.
- [10] Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Plaatsbepaling in mobiele communicatie netwerken. Site Web, mars 2005.
http://www.minvenw.nl/dgg/crn/NavSystemen/Terrestrische_systemen/gsmumts/index.aspx.
- [11] Autorité de Régulation de la poste et des Communications Électroniques. (2017). *Observatoire du marché de la téléphonie mobile en Algérie*. Alger.
- [12] Bouguen, Y., Hardouin, E., Wolff, F., Pujolle, G., et Maloberti, A. (2012). *LTE et les réseaux 4G*. Paris: Eyrolles.
- [13] Selon B. Tremblais (communication personnelle [Support de cours], 2011). Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM.
- [14] 3GPP 3GPP Specification Release Numbers. (2019). Repéré à <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3gpp/standards-releases.php>

- [15] Mohammad Meraj ud in, M., et al. (2015). Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G. *International Journal Of Computer Science And Information Technologies*, 6(3), 2545-2551.
- [16] Selon B. Fassi (communication personnelle [Support de cours], 2018). Réseaux d'opérateurs.
- [17] Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J., et Beming, P. (2007). *3G Evolution*. San Diego, CA: Academic Press.
- [18] Dahlman, E., Parkvall, S., et Skold, J. (2016). *4G, LTE Evolution and the Road to 5G, Third Edition*. Amsterdam: Elsevier Science and Technology Books, Inc.
- [19] <https://couleur-science.eu/?d=97791a--quel-est-le-principe-de-fonctionnement-du-gps#:~:text=Le%20syst%C3%A8me%20GPS%20permet%20de,dans%20l%27espace%20du%20satellite>
- [20] [https://www.technogps.com/concept-gps/le-systeme-gps-se-compose-de-plusieurs-segments#:~:text=Il%20se%20compose%20de%20trois,des%20utilisateurs%20\(segment%20utilisateur\)](https://www.technogps.com/concept-gps/le-systeme-gps-se-compose-de-plusieurs-segments#:~:text=Il%20se%20compose%20de%20trois,des%20utilisateurs%20(segment%20utilisateur)).
- [21] (en) S. Bancroft, An algebraic solution of the GPS equations, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 21 (1985) p. 56–59
- [22] <https://lastminuteengineers.com/sim900-gsm-shield-arduino-tutorial/>
- [23] <https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/>
- [24] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

ANNEXE


```

Serial.print("Satellites en vue : ");
Get_Satellites_vus();

Serial.print("Vitesse : ");
Get_Vitesse();

Serial.println(" ");
delay(500); // Wait

Serial.print("Latitude calcul : ");
GetLatitude_Calcul();
Serial.println(Latitude_C,6);

Serial.println(" ");

Serial.print("Longitude calcul : ");
GetLongitude_Calcul();
Serial.println(Longitude_C,6);

delay(5000);
Serial.println(" ");
  Serial.println(" ");
    Serial.println(" ");
      Serial.println(" ");
}

/*-----
Sous programme 'GetDouble'
----- */
int GetDouble()
{
    // Get double register value from GPM
    int Value = 0;
    byte H_Byte = 0;
    byte L_Byte = 0;

    Wire.beginTransmission(GPM);
    Wire.write(Address); // Send register start address
    Wire.endTransmission();

```

```

Wire.requestFrom(GPM, 2);          // Request double register
while(Wire.available() < 2);      // Wait for double byte
H_Byte = Wire.read();             // Store one
L_Byte = Wire.read();            // Store two

Value = (H_Byte * 10) + L_Byte;    // Adjust for one byte

return(Value);
}

/*-----
Sous programme 'GetSingle'
----- */
int GetSingle()
{
    // Get single register value from GPM
    int Value = 0;

    Wire.beginTransaction(GPM);
    Wire.write(Address);          // Send register start address
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(GPM, 1);     // Request register
    while(Wire.available() < 1);  // Wait for single byte
    Value = Wire.read();          // and store

    return(Value);
}

/*-----
Sous programme 'Get_Date'
----- */
byte Get_Date()
{
    Address = 6;                  // Adresse Registre JOUR
    Data = GetDouble();           // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.print(Data, DEC);      // Affichage sur terminal série PC
    Serial.print("/");
    Address = 8;                  // Adresse Registre MOIS
    Data = GetDouble();           // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.print(Data, DEC);      // Affichage sur terminal série PC
    Serial.print("/");
    Address = 10;                 // Adresse Registre ANNEE (Milliers et Centaines)
    Data = GetDouble();           // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.print(Data, DEC);      // Affichage sur terminal série PC
    Address = 12;                 // Adresse Registre ANNEE (Dizaines et Unités)
    Data = GetDouble();           // Read registers from GPM
    Serial.println(Data, DEC);    // Affichage sur terminal série PC
}

/*-----

```

```

Sous programme 'Get_Heure'
----- */
byte Get_Heure()
{
    Address = 0;                // Adresse Register Heures
    Data = GetDouble();        // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.print(Data, DEC);   // Affichage sur terminal série PC
    Serial.print(":");
    Address = 2;                // Adresse Register Minutes
    Data = GetDouble();        // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.print(Data, DEC);   // Affichage sur terminal série PC
    Serial.print(":");
    Address = 4;                // Adresse Register Secondes
    Data = GetDouble();        // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.println(Data, DEC); // Affichage sur terminal série PC
}

/*-----
Sous programme 'Get_Satellites_vus'
----- */
byte Get_Satellites_vus()
{
    Address = 35;              //58 version1 / 35 Version2 // Adresse de Pointage satellites en vue
    Data = GetSingle();        // Lecture du registre depuis GPM
    Serial.println(Data, DEC); // Affichage sur terminal série PC
}

/*-----
Sous programme 'Get_Vitesse'
----- */
int Get_Vitesse()
{
    Address = 52;              // Point to Speed 1 register
    Data = GetDouble();        // Read registers from GPM
    Serial.print(Data, DEC);   // and print to PC
    Address = 54;              // Point to Speed 2 register
    Data = GetSingle();        // Read registers from GPM
    Serial.print(Data, DEC);   // and print to PC
    Serial.print(".");
    Address = 55;              // Point to Speed 3 register
    Data = GetSingle();        // Read registers from GPM
    Serial.println(Data, DEC); // and print to PC
}

/*-----
Sous programme 'GetLatitude_Calcul'
----- */
double GetLatitude_Calcul()
{

```

```

Address = 14; // Registre Latitude Dizaines de degrés
Data_8 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 15; // Registre Latitude Dizaines de degrés
Data_7 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 16; // Registre Latitude Dizaines de minutes
Data_6 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 17; // Registre Latitude Unités de minutes
Data_5 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 18; // Registre Latitude dixièmes de minutes
Data_4 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 19; // Registre Latitude centièmes de minutes
Data_3 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 20; // Registre Latitude millièmes de minutes
Data_2 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 21; // Registre Latitude dix-millièmes de minutes
Data_1 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Latitude_1=(Data_8*10+Data_7);
Latitude_2=(Data_6*1E5+Data_5*1E4+Data_4*1E3+Data_3*1E2+Data_2*1E1+Data_1);
Latitude_2=(Latitude_2/60);
Latitude_C = (Latitude_1+(Latitude_2*1E-4));
return (Latitude_C);
}

/*-----
Sous programme 'GetLongitude_Calcul'
----- */
double GetLongitude_Calcul()
{
Address = 23; // Registre Longitude Centaines de degrés
Data_9 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 24; // Registre Longitude Dizaines de degrés
Data_8 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 25; // Registre Longitude Unités de degrés
Data_7 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

Address = 26; // Registre Longitude Dizaines de minutes
Data_6 = GetSingle(); // Lire le registre du GPM (1 octet)

```



```

uint8_t x=0, answer=0;
char response[100];
unsigned long previous;

// Initialisation de la chaine de caractère (string).
memset(response, '\0', 100);

delay(100);

// Initialisation du tampon d'entrée (input buffer).
while( Serial.available() > 0) Serial.read();

// Envoi des commandes AT
Serial.println(ATcommand);

x = 0;
previous = millis();

// Cette boucle attend la réponse du module GSM.
do{
// Cette commande vérifie s'il y a des données disponibles dans le tampon.
//Ces données sont comparées avec la réponse attendue.
    if(Serial.available() != 0){
        response[x] = Serial.read();
        x++;
        // Comparaison des données
        if (strstr(response, expected_answer) != NULL)
        {
            answer = 1;
        }
    }
}
// Attente d'une réponse.
}while((answer == 0) && ((millis() - previous) < timeout));

// Serial.println(response); //Cette ligne permet de debuguer le programme en cas de problème !
return answer;

```