

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunication

Spécialité : Technologies et Systèmes de Telecom

Par : SAIDI Mohammed & BEKHCHI Nihel

Sujet

Développement d'une application Android pour la géolocalisation en exploitant les données du réseau GSM

Soutenu publiquement, le 26/09/2017, devant le jury composé de:

Mr KAMECH Samir	MCA	U A B. Tlemcen	Président
Mr IRID Sidi Mohammed El Hadj	MAA	U A B. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr BELGACEM Sidi Mohammed	ING	O T A. Djezzy	Co- Directeur de mémoire
Mr MERZOUGUI Rachid	MCA	U A B. Tlemcen	Examineur
Mr NOUIZI Lamine	MGR	O T A. Djezzy	Invité

Ce qui vaut de la peine mérite de la patience . . .

Remerciement

C'est avec le plus grand honneur que nous réservons cette page en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés durant cette formation.

Avant tout, on remercie le ALLAH de nous avoir aidés à réaliser ce présent travail, ainsi que nos remerciements les plus distinguées à nos chers parents dont le soutien aussi bien moral que matériel ne nous a jamais fait défaut.

Nous adressons nos remerciements à notre encadreur Monsieur

IRID Sidi Mohammed El Hadj, maître assistant à l'Université de Tlemcen, pour son aide consistante, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives, ainsi qu'à notre Co-encadreur **BELGACEM Sidi Mohammed**, Ingénieur au niveau de l'entreprise OTA-Djezzy afin de lui témoigner de toute notre reconnaissance pour sa collaboration, pour l'effort qu'il a fourni pour nous aider et pour nous assurer les meilleures conditions de travail et surtout pour sa gentillesse permanente.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury, **Monsieur KAMECHE Samir**, Maitre de conférence à l'Université de Tlemcen d'avoir l'amabilité de présider le jury, **Mr MERZOUGUI Rachid**, Maitre de conférence à l'Université de Tlemcen d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude particulièrement à **Mr NOUIZI Lamine**, Manager au sein de l'entreprise OTA-Djezzy, pour son amabilité, sa disponibilité et collaboration lors de notre formation.

Nous adressons également nos profondes considérations à toute l'équipe du département RADIO de l'entreprise OTA-Djezzy ORAN pour leur générosité d'aider, pour la disponibilité qu'ils ont toujours manifesté à notre égard.

Nos sincères remerciements à **Mr HADJILA Mourad**, Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen pour son aide si précieuse, son soutien et son encouragement.

Et pour finir, nous adressons nos profondes considérations à tous ceux qui, de loin ou de près, ont aidé à la réussite de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire :

- ★ A deux personnes très chers à mon cœur et qui ne sont plus de ce monde, **3AMMOU** et **BA-SIDI** que DIEU les accueille dans son vaste paradis.
- ★ A mes très chers parents.
- ★ A ma grande famille
- ★ A ma belle famille
- ★ A mon binôme Mohammed SAIDI
- ★ Et a tous mes ami(e)s sans exceptions.

Ce travail n'aurait pu se faire sans votre encouragement, votre dévouement à mon égard et votre amour.

Mes sincères remerciements,

Nihel BEKHCHI.

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout de mes rêves.

Je dédie ce travail, à tous ceux qui me sont chers,

À mes parents En ma très grande affectation et ma gratitude, Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par vous pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie. Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, et l'exemple du dévouement. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous. "QUE DIEU VOUS GARDE et fasse qu'ils soient toujours fiers de moi"

À l'unique sœur que j'ai,

À mes frères chacun avec son nom,

À toute ma grande famille,

À mes très chers amis(e)s,

À mon binôme Nihel BEKHCHI,

À Tous ceux qui m'aiment et que j'aime,

À tous ceux, qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

S. Mohammed.

Chapitre I : Généralités sur le système GPS

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Table des matières	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xi
Résumé	xiii
Introduction générale.....	xiv
I.1. Introduction.....	18
I.2. Historique.....	18
I.3. Description du système GPS.....	20
I.3.1. Segment spatial	21
I.3.1.1. Les satellites	22
I.3.2. Le segment de contrôle.....	22
I.3.3. Segment utilisateur	23
I.4. Principe de fonctionnement du système GPS	23
I.4.1. Types de positionnement GPS	26
I.4.1.1. Positionnement absolu.....	26
I.4.1.2. Positionnement relatif.....	27
I.4.1.3. Positionnement statique et positionnement cinématique.....	28
I.5. Calcul de la position GPS	29
I.5.1. Données et position du problème général.....	29
I.5.2. Notion de pseudo-distance à un satellite.....	30
I.5.3. Inconnues du problème de localisation.....	30
I.5.4. Traduction du problème de localisation.....	31
I.5.4.1. Formulation du problème de localisation	31
I.5.4.2. Linéarisation du problème	31
I.5.4.3. Résolution.....	32
I.6. Conclusion	35

Chapitre II : Généralités sur les réseaux mobiles

II.1. Introduction	37
II.2. Le réseau GSM	37
II.2.1. La norme GSM	37
II.2.2. Notion du réseau cellulaire	38
II.2.3. L'architecture du réseau GSM.....	40
II.2.4. Les différents sous système du réseau GSM	41
II.2.4.1. Le sous-système radio (BSS)	41
II.2.4.2. Le sous-système réseau (NSS)	43
II.2.4.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS	47
II.2.5. Le timing Advance	47
II.2.6. Les différentes signalisations échangées	49
II.3. Le réseau UMTS.....	50
II.3.1. Introduction	50
II.3.2. Le réseau UMTS.....	50
II.3.3. Les fréquences de l'UMTS.....	52
II.4. Le réseau LTE	53
II.4.1. Introduction	53
II.4.2. Principe réseau LTE	54
II.4.3. Architecture LTE.....	55
II.4.4. Les signalisations.....	55
II.4.5. La partie radio eUTRAN	57
II.5. Le Handover	57
II.5.1. Hard et soft handover	58
II.5.2. Handovers intra et inter systèmes	58
II.5.2.1. En GSM.....	58
II.5.2.2. En UMTS	59
II.5.2.3. En LTE	60
II.6. Conclusion	60

Chapitre III: Techniques de localisation

III.1. Introduction	62
III.2. Architecture d'un système de positionnement	62
III.2.1. Les systèmes de positionnement dans les réseaux cellulaires.....	63
III.2.2. Métriques de positionnement	64
III.2.2.1. Angles d'arrivée (AOA)	64
III.2.2.2. Temps de propagation.....	66
III.2.2.3. Puissance du Signal	67
III.2.3. Estimation de la position.....	68
III.3. Conclusion.....	73

Chapitre IV : Conception et réalisation de l'application

IV.1. Introduction	75
IV.2. Présentation du système Android :	75
IV.3. Architecture de la plateforme Android	76
IV.4. Le Développement sous Android.....	77
IV.4.1.Langage JAVA	77
IV.4.2.Le SDK (Software Development Kit) Android.....	78
IV.4.3.Le JDK (Java Development Kit)	79
IV.5. Architecture d'un projet sous Android.....	80
IV.6. Composants principaux d'une application Android	81
IV.7. Cycle de vie d'une application Android	82
IV.8. Création d'un projet Android.....	83
IV.9. Présentation de l'application (GSM Locator)	86
IV.10. Résultats et interprétation.....	96
IV.10.1.Interprétation des résultats.....	106
IV.11. Conclusion	106
Conclusion et perspectives	cviii
Bibliographie	cx

Liste des figures

Figure I.1: Les Segments du GPS	20
Figure I.2: La constellation des satellites	21
Figure I.3: La constellation des satellites	23
Figure I.4: Principe de positionnement GPS	24
Figure I.5: Positionnement autonome	26
Figure I.6: Positionnement relatif	27
Figure I.7: Positionnements statique et cinématique	28
Figure II.1: Concept cellulaire	38
Figure II.2: Architecture du Réseau GSM	40
Figure II.3: Schéma récapitulatif des sous-systèmes du GSM	41
Figure II.4: Mobile Switching Center	43
Figure II.5: Home Local Register	45
Figure II.6: Importance du paramètre de Timing Advance	48
Figure II.7: Les différentes classes ou « channels » de signaux échangés	49
Figure II.8: Architecture du réseau UMTS	51
Figure II.9: Présentation générale sur le système LTE	54
Figure II.10: Architecture du réseau LTE	55
Figure III.1 : Schéma synoptique des blocs fonctionnels d'un système de positionnement .	63
Figure III.2: Technique de radiolocalisation basée sur l'angle d'arrivée des signaux	65
Figure III.3: Estimation des TOAs au niveau des stations de bases (a) et du mobile (b)	66
Figure III.4: Localisation par trilatération à partir de trois mesures RSSI	67
Figure III.5: Angulation	70
Figure III.6: Latération circulaire	71
Figure III.7: Latération hyperbolique	73

Figure IV.1: Les différentes versions d'Android	76
Figure IV.2: L'architecture de la plateforme Android	77
Figure IV.3: Le SDK Manager Android	78
Figure IV.4: Architecture de base d'une application Android	80
Figure IV.5: Architecture du projet Android Studio	80
Figure IV.6: Cycle de vie d'une application Android	82
Figure IV.7: Création d'un projet Android	84
Figure IV.8: Configuration du projet Android	84
Figure IV.9: Choix des SDK ciblent	85
Figure IV.10: Choix de l'interface graphique	85
Figure IV.11: Organigramme fonctionnel de l'application	87
Figure IV.12: Icône de lancement d'application (GSM Locator)	88
Figure IV.13: Interface principale de l'application	89
Figure IV.14: Permissions nécessaire pour l'application	89
Figure IV.15: Extraction des informations nécessaires	90
Figure IV.16: Interface de la base de données	91
Figure IV.17: Instructions permettant d'insérer les informations dans la base de données	92
Figure IV.18: Instructions permettant d'afficher les informations de la base de données	92
Figure IV.19: Interface de recherche	93
Figure IV.20: Bloc responsable de la recherche de données	94
Figure IV.21: Interface de calcul de position	95
Figure IV.22: Instructions utilisées pour calculer la position	95
Figure IV.23: Intégration de la Clef-API	96
Figure IV.24: Capture Teme Site1 dont le Cell-ID: 35182	97
Figure IV.25: Capture Teme Site2 dont le Cell-ID: 20233	97
Figure IV.26: Capture Teme Site 3 dont le Cell-ID: 19012	98

Figure IV.27: Calcul de position au point 1	99
Figure IV.28: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 1	99
Figure IV.29: Capture Tems Site1 dont le Cell-ID: 35052.....	100
Figure IV.30: Capture Tems Site 2 dont le Cell-ID: 20193	100
Figure IV.31: Capture Tems Site3 dont le Cell-ID: 65451	101
Figure IV.32: Calcul de position au Point 2	102
Figure IV.33: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 2	102
Figure IV.34: Capture Tems Site 1 dont le Cell-ID: 19663	103
Figure IV.35: Capture Tems Site 2 dont le cell-ID: 35065	103
Figure IV.36: Capture Tems Site 3 dont le cell-ID: 35266	104
Figure IV.37: Calcul de position au Point 3	105
Figure IV.38: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 3	105

Liste des tableaux

Tableau IV.1: Données de positionnement au point 1	98
Tableau IV.2: Comparaison des résultats au point 1	99
Tableau IV.3: Données de positionnement au point 2	101
Tableau IV.4: Comparaison des résultats au point 2	102
Tableau IV.5: Données de positionnement point 3	104
Tableau IV.6: Comparaison des résultats au point 3	105
Tableau IV.7: résultats obtenus des 3 points	106

Liste des Abréviations

GPS: Global Positioning System.

PPS: Precise Positioning System.

UTC: Universal Time Coordinate.

GSM: Global System for Mobile

DCS: Digital Cellular System

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

LTE: Long Term Evolution

BSS: Base Station Sub-System

NSS: Network Switching Center

SIM: Subscriber Identity

BTS: Base Transceiver Station

BSC: Base Station Controller

MSC: Mobile Switching Center

HLR: Home Local Registry

VLR: Visitor Location Registry

EIR: Equipment Identify Register

AuC: authentication Channel

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RNIS: Réseau Numérique a Intégration de Service

TA: Time Advance

BCH: Broadcast Channel

BCCH: Broadcast Control Channel

Cell-ID: Cell Identifier

SGSN: Serving GPRS Support Node

OSS: Operating Sub-System

NMC: Network and Maintenance Center.

OMC: Operation and Maintenance Center

Qos: Quality Of Service

GGSN: Serving GPRS Support Node

RNC: Radio Network Controller

RRC: Radio Resources Controller

IP: Internet Protocol

TDD: Time Division Duplexing

FDD: Frequency Division Duplexing

UIT: Union International des Telecommunications

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

MME: Mobility Management Entity

HSS: Home Subscriber Service

PDN-GW: Packet Data Network Gateway

PCRF: Policy and Charging Rules Function

SGW: Serving Gateway

P-GW: Packet Switch Gateway

GPRS: General Packet Radio Service

TOA: Time Of Arrival

TDOA: Time Difference Of Arrival

AOA: Angle Of Arrival

RSS: Received Signal Strength

APK: Android Package

SDK: Software Development Kit

JDK: Java SE Development Kit.

Résumé

Il est toujours nécessaire de développer des outils fiables qui permettent la connaissance de la position et qui pourraient orienter vers un lieu précis. Actuellement, le système GPS est le moyen le plus répandu qui est utilisé. Seulement sous certaines conditions climatiques, et dans des zones qui ne sont pas dégagée, le système GPS malgré sa précision incomparable devient inefficace. Pour cela, nous avons exploité la présence quasi-totale du réseau GSM, pour concevoir une application Android sur Smartphone pour estimer la position GPS du mobile. L'efficacité de notre application est vérifiée en collaboration avec les ingénieurs du département Access Network et Optimisation de l'opérateur OTA, en comparant nos résultats avec celles obtenus en utilisant le TEMS.

Abstract

It is always necessary to develop reliable tools that allow the knowledge of the position and which could orient towards to a specific place. Currently, the GPS system is the most common way that is used. Only under certain climatic conditions, and in Shadowed areas, the GPS system despite its incomparable precision becomes ineffective. For this, we exploited the almost total presence of the GSM network, to design an Android application on Smartphone to estimate the GPS position of the mobile. The efficiency of our application is verified in collaboration with the engineers of the Access Network and Optimization of the OTA operator, comparing our results with those obtained using the TEMS.

ملخص:

من الضروري جدا تطوير أدوات موثوقة تسمح لنا بمعرفة المواقع والتوجه نحو مكان معين. حاليا، نظام جي بي أس هو الطريقة الأكثر شيوعا و استخداما. لكن ال GPS يفقد فعاليته في بعض الظروف المناخية و كذا في المناطق المغطاة الغير الواضحة. خلال عملنا قمنا باستغلال الوجود الكلي تقريبا من شبكة الهاتف النقال GSM، لتصميم تطبيق اندرويد مخصص للهواتف الذكية لتقدير موقع GPS الهاتف النقال. كما قمنا بالتحقق من كفاءة و فعالية التطبيق بالتعاون مع مهندسين مختصين في تطوير شبكة الهاتف للمتعامل OTA.Djezzy، ومقارنة نتائجنا مع تلك التي تم الحصول عليها باستخدام أداة TEMS.

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis les temps préhistoriques, l'homme a toujours essayé de trouver un outil fiable qui lui permettrait de connaître sa position et qui pourrait le guider vers un lieu précis. Pour cela, différents moyens ont été exploités (repères visuels, boussoles,...), jusqu'à l'invention du système GPS qui a fait une révolution dans les systèmes de positionnement.

A nos jours, nombreuses sont les personnes qui ressentent l'importance et la nécessité de se localiser, que ça soit dans leurs vie professionnel ou loisir, le positionnement est aujourd'hui une information nécessaire et indispensable concerne notamment la marine, l'aviation, les opérations de sécurité et de sauvetage, le suivi et la gestion de flotte de véhicules...etc

Pour cela différents types de technologies de positionnement peuvent être utilisées pour déterminer la position des utilisateurs, comme les réseaux cellulaires, en particulier le GSM et l'UMTS, les réseaux WLAN comme le Wifi ainsi que les réseaux WPAN comme l'UWB et le Bluetooth, l'infrarouge, l'ultrason.....etc.

Il existe plusieurs techniques qui exploitent plusieurs grandeurs et mesures physiques telles que : Time Of Arrival (TOA), Time Difference Of Arrival (TDOA), Angles Of Arrival (AOA), Received Signal Strength (RSS), pour le calcul des distances et des angles dans les systèmes de géolocalisation utilisant les ondes radio.

A cause de la complexité de l'implémentation des méthodes TOA, AOA sur les terminaux mobile, la méthode basée sur le RSSI sera donc la solution la plus idéal pour concevoir pratiquement un système de positionnement alternatif au GPS et qui peut être exploité sur un terminal mobile, tout en réduisant le cout d'implémentation et augmentant l'efficacité de localisation, surtout dans les endroits ou se limite le système GPS tel que la localisation indoor.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, et en collaboration avec le département "Access Network and Optimisation", on a développé un algorithme et on a implémenté une application Android Permettant à l'utilisateur de déterminer sa position géographique en exploitant les données reçu du réseau GSM.

Notre travail consiste à créer une base de données locale (SQLITE) liée à l'application Android et qui doit contenir les données nécessaire pour calculer la position du terminal mobile.

Le présent travail se repartit en quatre grands chapitres distribués comme suite :

Chapitre I: Signaux GPS ou on a défini les différents paramètres qui constituent le système GPS ainsi que son principe de fonctionnement.

Chapitre II: des généralités sur les réseaux cellulaires GSM, UMTS, LTE. Là où on a projeté de la lumière sur les différents composants d'un réseau cellulaire

Chapitre III: Technique de positionnement. Dans cette partie on a présenté les différentes techniques de positionnement, ainsi que notre choix de la méthode RSS.

Chapitre IV : Conception et réalisation de l'application Android. Durant ce chapitre on a présenté le système d'exploitation Android ainsi que les différents outils utilisés durant la conception tel que la plateforme de programmation Android Studio, d'autre part on a présenté les résultats de notre travail pratique au sein de l'entreprise Optimum Telecom Algérie (OTA Djezzy), précisément au service Network Access situé à la ville d'Oran.

Finalement, nous présentons une conclusion qui résume notre contribution et les perspectives qui sont une plateforme pour de futurs projets qui visent l'améliorer de la précision des systèmes de positionnement dans les réseaux GSM.

Chapitre I

Systeme GPS

I.1. Introduction

Depuis les temps historiques, l'homme a toujours essayé de trouver des moyens fiables qui lui permettraient de connaître sa position et qui pourrait le guider vers un lieu précis.

A cette époque, seule la nature offrait un moyen de positionnement par le biais du soleil ou des étoiles, en permettant ainsi de connaître le nord géographique. Ces moyens primaires de localisation donnaient un positionnement de très faible précision. Pour cela, différents moyens se succédèrent (repères visuels, boussoles, compas, sextants, radionavigation classique) pour enfin aboutir à l'utilisation des satellites après le développement technologique.

Le GPS est un système radio de positionnement par satellites, développé par l'armée américaine, qui repose actuellement sur une constellation de 24 satellites défilant autour de la terre à une distance d'environ 20200 Km sur six orbites planes inclinées de 55°, ce qui assure au système une grande précision ainsi qu'une couverture mondiale en continu.

I.2. Historique

L'histoire du GPS débute en 1963, lorsque la division spatiale de l'U.S. Air Force étudie un système de radionavigation débuté par la société Californian Aerospace Corporation.

Le 22 février 1978, le premier satellite GPS est mis en orbite, et est officiellement déclaré opérationnel le 29 mars 1978. C'est le premier des quatre mis en service cette année.

Toujours en 1978, le département des transports américains **DoT** accepte avec le **DoD** (Department Of Defens) que le système GPS soit utilisé par les services civils, pour réduire le nombre de balises de radionavigation aériennes. Il propose alors le SPS (Standard Positioning System), une version dégradée du GPS. Le PPS (Precise Positioning System) est quant à lui strictement réservé à l'armée américaine. L'Union Soviétique, elle aussi, veut avoir un système de positionnement et lance le premier satellite Glonass le 12 octobre 1982, cependant ce système est très mal entretenu et présente de nombreux dysfonctionnements.

De plus, il existe peu de récepteurs Glonass bon marché, ce qui en limite l'accessibilité. En 1983, le président Reagan demande que le SPS soit accessible dans le

monde entier et que sa précision soit de 100 mètres à l'horizontal, avec une probabilité de 95%. Le système pourra néanmoins être dégradé par l'armée américaine en cas de besoin. [5]

Le 10 janvier 1987, le système géodésique WGS 84 est adopté pour tous les calculs de position avec le GPS.

Le 14 février 1989, le premier satellite du bloc II est mis en orbite. Ce type de satellite est beaucoup plus précis, et peut rester 14 jours sans contact avec les stations au sol tout en gardant une précision suffisante.

Le 8 décembre 1993, 24 satellites sont opérationnels sur leur orbite et utilisables pour la navigation cependant et à partir du 17 juillet 1995, ils répondent aux exigences de l'armée américaine.

Le 29 mars 1996, le président des Etats-Unis accepte un texte de « l'office des sciences et technologie » qui propose de supprimer la SA dans les dix prochaines années.

Le 1er mai 2001, le Président Clinton annonce que la SA est supprimée. Cela signifie que le GPS qui donnait jusqu'à ce jour une position à 100 mètres près dans 95% des cas devient 10 fois plus précis. A partir de maintenant le positionnement se fait donc à 10 mètres près dans 95% des cas.

I.3. Description du système GPS

Le système GPS est un système de radionavigation spatial qui permet aux utilisateurs équipés de récepteurs convenables de déterminer leur position, déterminer leurs direction, leur vitesse de déplacement, et quelles que soient les conditions météorologiques.

Le système GPS comporte trois grands secteurs : segment spatial, secteur de contrôle, secteur utilisateur.

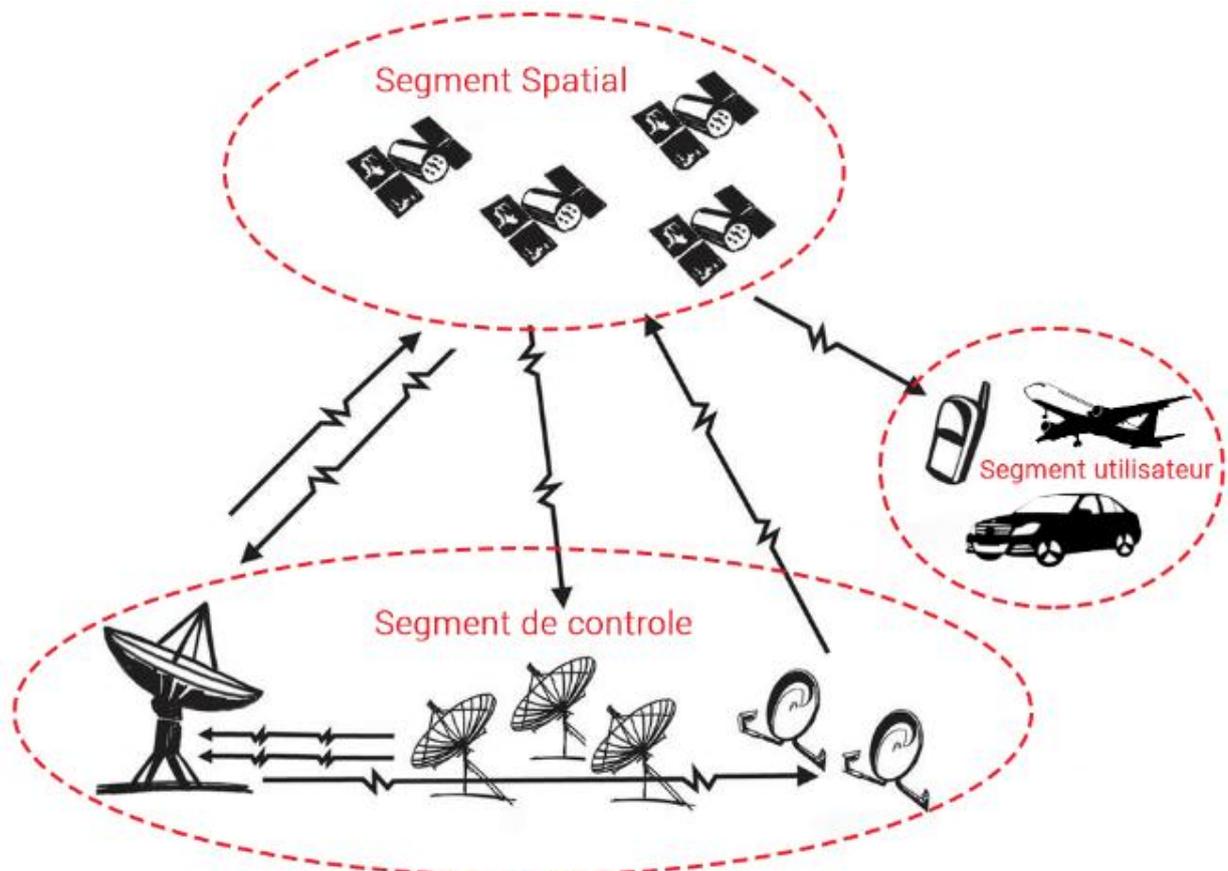


Figure I.1: Les Segments du GPS.

I.3.1. Segment spatial

Composée de 27 satellites en orbite autour de la terre, dont 24 sont dédiés pour la navigation et 3 de secours pour renforcer la fiabilité et la disponibilité de la radionavigation par satellite.

La durée de vie des satellites est d'environ 10 ans, ils transmettent continuellement leurs données de position, l'heure, des messages d'état général, ces données sont reçues et traitées par les récepteurs GPS afin de déterminer la position tridimensionnelle de l'utilisateur (latitude, longitude, altitude), sa vitesse et l'heure.

Ils sont répartis sur 6 orbites, chaque orbite contient 4 satellites. Les orbites sont inclinées de 55° par rapport à l'équateur, sachant qu'elles sont espacées de 60° les unes des autres, elles sont quasi-circulaires de rayon 26600 Km.

La distance à l'utilisateur varie entre 20200 Km pour un satellite situé au zénith et 25600 Km pour un satellite situé au ras de l'horizon.

Les temps de propagation des signaux radioélectriques sont au minimum de 67 ms et maximum de 86 ms.



Figure I.2: La constellation des satellites.

I.3.1.1. Les satellites

Généralement un satellite est caractérisé par :

Durée de vie : 7.5 ans (Bloque IIR : 10ans).

Masse: 1 tonne (Bloque IIR : 2 tonnes).

Puissance: panneaux solaires 7 m² + batteries.

Horloges atomiques: 2 rubidiums et 2 césiums (Bloque IIR : maser à hydrogène) période de 11h58mn et vitesse 3873 m/s.

Les satellites GPS sont essentiellement de l'horloge ultra précise qui transmet des signaux horaires et des informations sur leurs positions. Ils disposent de quatre horloges atomiques à leur bord, ce qui assure une grande stabilité des signaux générés.

Les horloges sont quotidiennement remises à l'heure par les stations de contrôle de l'armée américaine. Les utilisateurs peuvent donc synchroniser l'horloge de leur récepteur avec cette heure précise (appelée « heure GPS »). La précision est de l'ordre de 10^{-13} à 10^{-14} sur un jour.

I.3.2. Le segment de contrôle

Le secteur de contrôle maintient le système GPS, en permanence, pour qu'il reste opérationnel.

Pour cela cinq stations de poursuite observent 24h/24 les satellites GPS, pour estimer leur orbite, d'ajuster leurs éphémérides, modéliser la dérive des horloges et de remettre à jour les paramètres des messages de navigation que les satellites diffusent

Les cinq stations sont : **Colorado Spring** (la station principale), **Ascension**, **Diego Garcia**, **Kwajalein** et **Hawaii**. Le temps GPS est généré par la station maîtresse de **Colorado Spring**.

Le secteur de contrôle est composé de tous les équipements installés qui constituent l'infrastructure du système et permettant de suivre, contrôler, piloter les satellites en orbite.

On distingue généralement :

- **Les stations de poursuite.**
- **Les stations de transmission.**



Figure I.3: La constellation des satellites.

I.3.3. Segment utilisateur

Le segment utilisateur Comporte les récepteurs, processeurs et antennes qui permettent à l'utilisateur d'échanger les informations avec satellites GPS et de calculer avec précision leur position, altitude, vitesse et heure.

Un récepteur est conçu pour recevoir, décoder et traiter les signaux émis par les satellites GPS. Les récepteurs intégrés (carte ou circuits spécifiques au GPS) dans d'autres systèmes sont également inclus dans le segment utilisateur. Les utilisateurs disposent d'un moyen unique pour leurs applications de localisation, de navigation, de référence de temps, de géodésie voire de détermination d'attitude.

I.4. Principe de fonctionnement du système GPS

Le principe du positionnement par GPS est basé sur la mesure de la distance entre le récepteur GPS et plusieurs satellites (au moins 4 satellites par orbitale), chaque un de ces satellites diffuse en permanence un signal vers l'ensemble des zones visibles de la terre, ce signal contient les informations donnant sa position précise dans l'espace,

Le récepteur reçoit et combine les signaux provenant des satellites et mesure la distance qui les sépare en se basant sur temps de propagation de ces signaux.

Une condition essentielle pour le calcul de la position est la synchronisation des satellites entre eux.

Grace à leurs infrastructures de mesures et de calculs au sol, le système GPS garantit que les horloges des satellites soient très précisément synchronisées entre elles. Le temps système (temps GPS) est le temps de référence pour synchroniser tous les satellites.

Ces références de temps sont établies dans les infrastructures de contrôle des systèmes au sol et sont « raccordées » au temps universel, dit UTC (Universal Time Coordinate). [1]

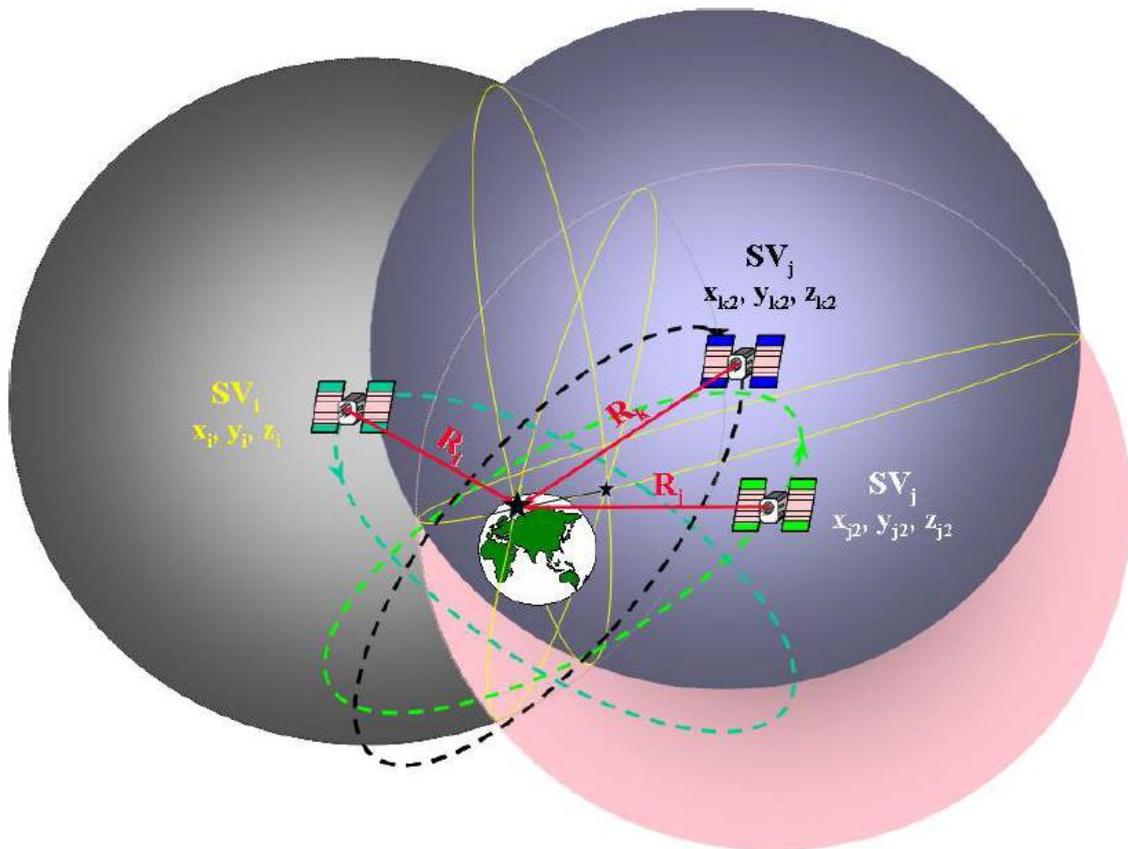


Figure I.4: Principe de positionnement GPS. [2]

Comme le montre la figure ci-dessus, la détermination d'un lieu géographique est donnée par l'intersection de trois sphères dans l'espace, chaque sphère est définie par son centre correspondant à la position d'un satellite, et par son rayon qui est la distance entre le centre et le récepteur GPS.

L'intersection entre deux sphères donne un cercle, avec une 3ème sphère on obtient deux points possibles, l'utilisateur se trouve sur la surface terrestre, on peut déduire sa position exacte en éliminant le point donnant un résultat incohérent.

Trois satellites sont donc nécessaires pour obtenir un point d'intersection des trois sphères, en réalité quatre satellites sont nécessaires pour tenir compte de la non-

synchronisation du récepteur, le nombre total de paramètres inconnus est donc de quatre : Trois pour les coordonnées du récepteur et un pour l'erreur d'horloge du récepteur.

La vitesse de déplacement de l'utilisateur est mesurée par évaluation Doppler sur le signal provenant d'un satellite GPS, le signal reçu n'a pas la même fréquence que le signal généré par le récepteur.[3]

Le principe du positionnement GPS est très proche du principe de triangulation. On mesure la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de positions connues.

Pour cela, le récepteur mesure la différence de temps entre l'émission et la réception du signal.

Le signal voyageant pratiquement à la vitesse de la lumière, on peut appliquer la relation :

$$D = c.t \quad (\text{I. 1})$$

Avec:

- **D** : distance entre le récepteur et le satellite (c'est en fait le rayon d'un cercle où le satellite serait le centre).
- **c** : vitesse de propagation des signaux radios (la vitesse retenue par convention pour le système GPS est $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$),
- **t** : durée de signal entre l'émission et la réception.

On obtient donc des "pseudo-distances" qu'il faudra corriger des perturbations naturelles. Comme la longueur d'onde du signal codé est de 10 à 100 m selon le code utilisé, la distance absolue que l'on obtient n'est estimée qu'à quelques mètres près.

Connaissant la position des satellites ainsi que les pseudo-distances, on définit ainsi des sphères centrées sur les satellites et dont l'intersection donne deux positions : l'une sur le globe terrestre et l'autre dans l'espace (cette dernière sera éliminée).

Les données (code et phase) enregistrées par le récepteur GPS sur le terrain sont ensuite traitées par des logiciels qui prennent en compte les différentes sources d'erreurs dues aux perturbations naturelles.

I.4.1. Types de positionnement GPS

Jusqu'à présent, nous avons décrit les trois secteurs du GPS et les composantes des signaux diffusés par les satellites. Les principales méthodes de positionnement existantes sont expliquées comme suit :

I.4.1.1. Positionnement absolu

Le positionnement au moyen du GPS peut s'effectuer de façon absolue ou de façon relative. En positionnement absolu, les coordonnées d'un récepteur en un point «inconnu» sont établies relativement au cadre de référence des satellites d'après les positions «connues» des satellites GPS suivis.

Le positionnement absolu est également dit positionnement autonome et, souvent, simplement positionnement par point unique (point positioning).

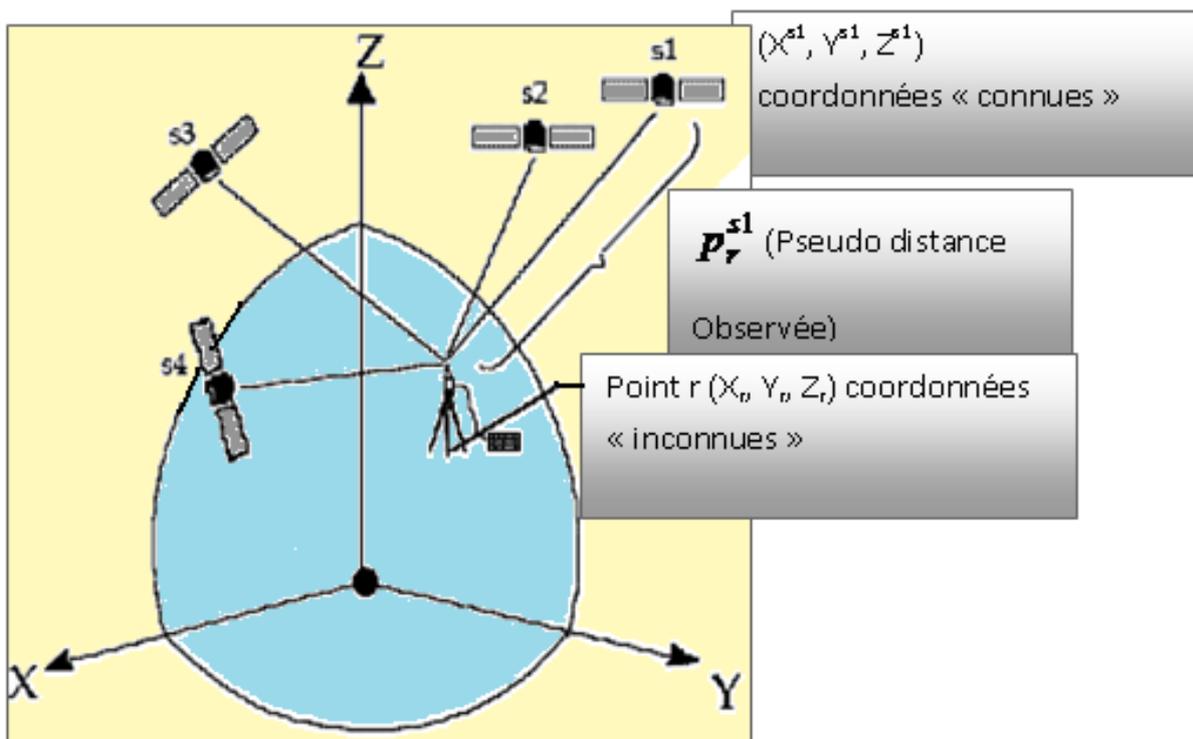


Figure I.5: Positionnement autonome. [3]

La figure (I.5) illustre la notion de positionnement autonome. Grâce aux éphémérides, la position de n'importe quel satellite à n'importe quel moment dans le temps peut être calculée.

Sur la figure, s1, s2, s3 et s4 représentent quatre satellites différents qui sont suivis.

La position de ceux-ci est donnée par rapport au centre de la Terre dans le système de coordonnées x , y et z . Les coordonnées de s_1 sont notées $(X^{s_1}, Y^{s_1}, Z^{s_1})$. Les coordonnées de r , le point inconnu, relativement au centre de la Terre, sont (X_r, Y_r, Z_r) . La pseudo distance observée $P_r^{s_1}$, permet d'établir la relation entre les coordonnées connues du satellite 1 et les coordonnées inconnues du récepteur au moyen de l'équation d'un vecteur dans l'espace tridimensionnel :

$$P_r^{s_1} = \sqrt{(X^{s_1} - X_r)^2 + (Y^{s_1} - Y_r)^2 + (Z^{s_1} - Z_r)^2} + \text{erreurs}$$

Une équation similaire à celle décrivant la relation entre le satellite 1 et le récepteur, peut être formulée pour les différents satellites suivis. Grâce à un minimum de quatre satellites, toutes les inconnues (X_r, Y_r, Z_r) et un terme relié à la synchronisation des horloges (qui fait partie des erreurs) peuvent être calculées.

I.4.1.2. Positionnement relatif

La notion de positionnement relatif est illustrée à la figure (I.06). Plutôt que d'établir la position d'un point sur la Terre par rapport aux satellites (comme c'est le cas en positionnement autonome), la position d'un point sur la Terre est établie par rapport à celle d'un autre point connu. L'avantage du positionnement relatif sur le positionnement autonome réside dans l'exactitude beaucoup plus grande qu'il permet, puisque la plupart des erreurs dans les observations GPS sont communes aux points «connu» et «inconnu» et peuvent être annulées durant le traitement des données.

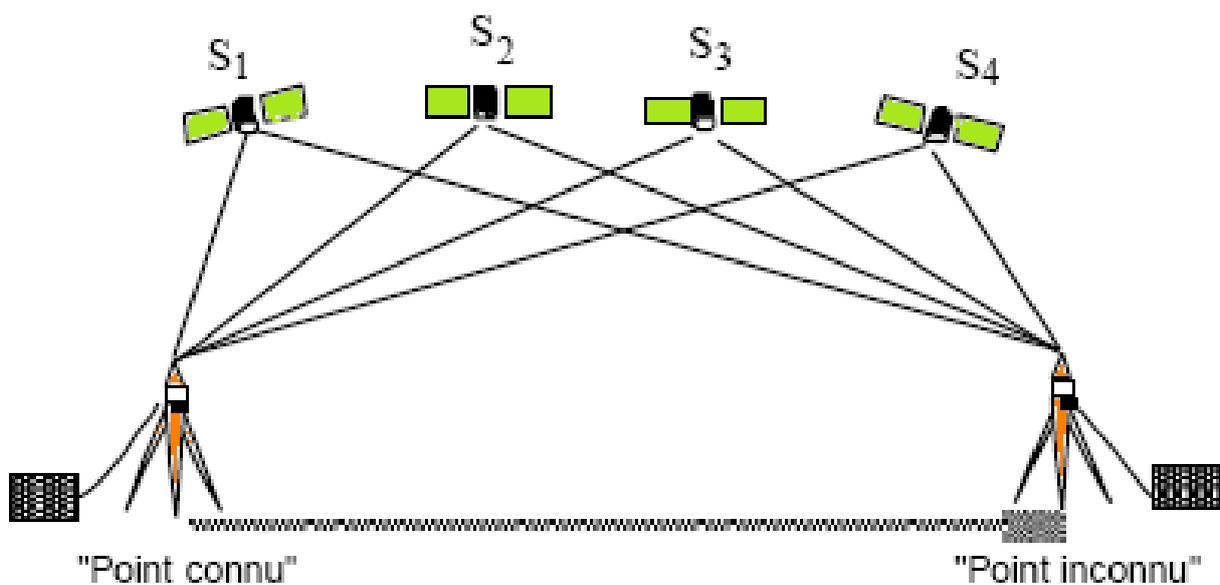


Figure I.6: Positionnement relatif. [3]

Les expressions du positionnement différentiel et du positionnement relatif sont parfois employés indifféremment l'une pour l'autre. Toutefois, étant donné que le positionnement différentiel désigne plus souvent un type particulier de positionnement relatif, appliquant des corrections mesurées à un point de position «connue» aux observations effectuées en un autre, de position «inconnue», le positionnement relatif est l'expression retenue dans le présent travail pour décrire la notion générale, illustrée à la figure I.6.

I.4.1.3. Positionnement statique et positionnement cinématique

Le positionnement GPS peut être également dit statique ou cinématique :

- En positionnement statique, un récepteur GPS est stationnaire.
- En positionnement cinématique, le récepteur recueille les données GPS tout en se déplaçant. La figure I.7 illustre les notions de positionnements statiques et cinématiques aussi bien en positionnement autonome que relatif. Noté qu'en positionnement cinématique relatif, le récepteur, dit de contrôle, est stationnaire en un point connu alors qu'un second récepteur, dit mobile, se déplace suivant la trajectoire à positionner.

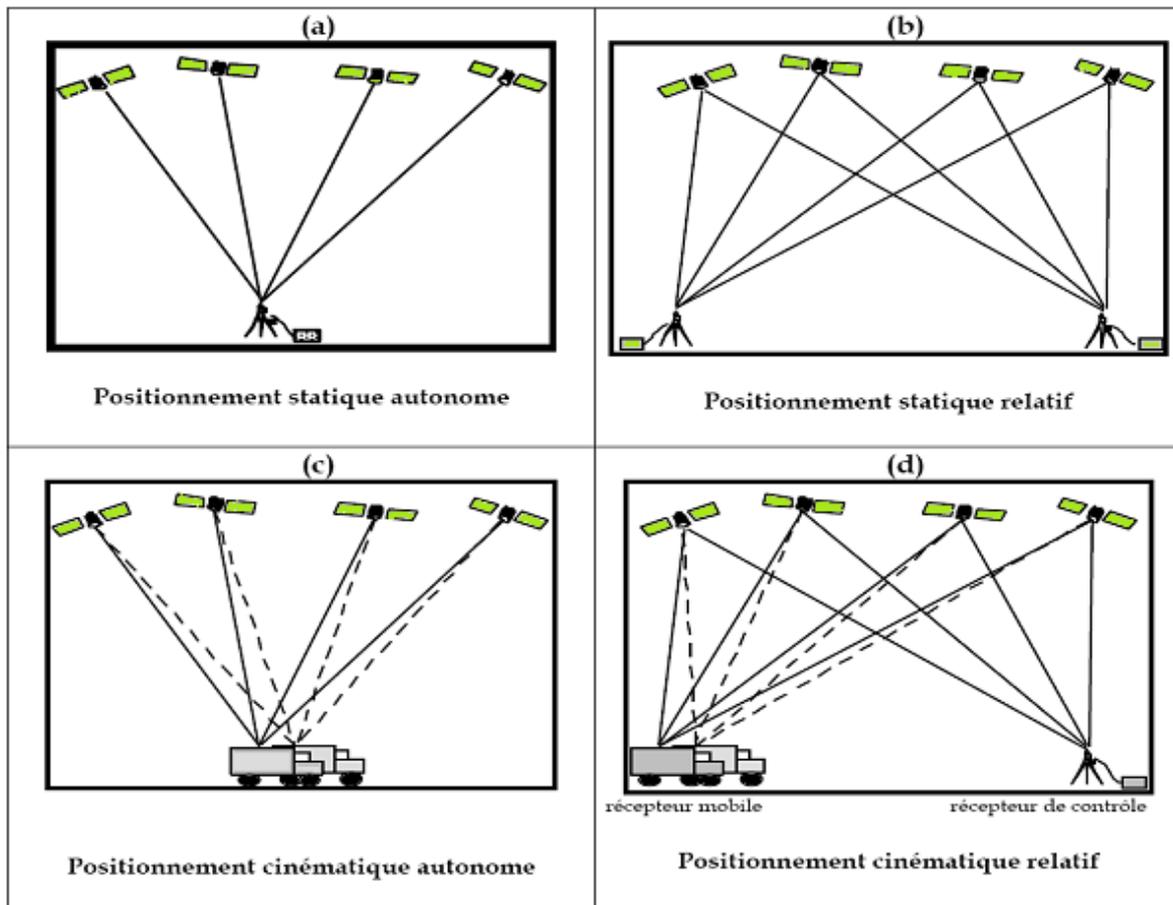


Figure I.7: Positionnements statique et cinématique [3].

I.5. Calcul de la position GPS [4]

I.5.1. Données et position du problème général

Le repérage du récepteur et des satellites est réalisé en coordonnées cartésiennes, dans un même repère (pas nécessairement lié à la terre).

x , y , z sont les coordonnées inconnues du récepteur qui cherche à se localiser, en liaison avec n ($n \geq 4$) satellites S_i .

Le satellite S_i a pour coordonnées la matrice colonne $d_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$. Les coordonnées sont parfaitement connues et précises, calculées par le récepteur, sur la base des informations synchronisées envoyées par chaque satellite qui transmet ses éphémérides à l'instant T_0 , (le même pour tous les satellites).

On notera donc D ($3 \times n$) la matrice associée aux positions des satellites:

Le récepteur reçoit le signal du satellite i à l'instant T_{f_i} , l'écart de temps comprend la durée ΔT_i du parcours à la vitesse de la lumière supposée constante dans un premier temps (comme dans le vide, car elle dépend des caractéristiques du milieu traversé) et un *décalage* ΔT *supposé constant mais inconnu*, considéré comme un biais du système récepteur, tenant à un défaut de synchronisation de l'horloge récepteur par rapport à celle commune des satellites parfaitement synchronisés. Seules les sommes de ces 2 temps, pour chaque satellite, sont connues du récepteur.

$$T_{f_i} - T_0 = \Delta T_i + \Delta T \quad (\text{I.2})$$

I.5.2. Notion de pseudo-distance à un satellite

Il est clair que la vraie distance du récepteur (en supposant la vitesse de propagation de la lumière c constante) au satellite de N° i est:

$$D_i = c \Delta T_i \quad (\text{I.3})$$

Elle n'est donc pas connue et ne le sera que si ΔT est connu ou calculable. On introduit alors la notion de pseudo-distance

$$PDi = c (T_{f_i} - T_0) = c (\Delta T_i + \Delta T) \quad (\text{I.4})$$

Et on définit la matrice colonne connue du récepteur, des pseudo-distances

$$\mathbf{PD} = [\mathbf{PD}_1, \dots, \mathbf{PD}_N]^T \quad (\text{I.5})$$

I.5.3. Inconnues du problème de localisation

Le traitement mathématique et informatique doit permettre de calculer simultanément la position vraie (x y z) et ΔT à l'aide de la seule connaissance des n pseudo-distances.

On notera Q la matrice (4 x 1) des inconnues, tous ses éléments sont des distances, le décalage en temps est converti en distance après multiplication par c

$$\mathbf{Q} = [x, y, z, w]^T \text{ Avec } w = c \Delta T \quad (\text{I.6})$$

On comprend alors que le problème n'est pas habituel, puisque pour 4 inconnues à déterminer, nous disposons de n résultats, les n pseudo-distances. La méthode ne sera donc pas classique. Le résultat ne pourra pas être exact mais seulement un meilleur résultat possible.

I.5.4. Traduction du problème de localisation

I.5.4.1. Formulation du problème de localisation

L'idée est rechercher la meilleure solution du problème de localisation, par exemple en essayant de minimiser par la méthode des moindres carrés la quantité

$$\varepsilon(Q) = \sum_{i=1}^n [\mathbf{PD}_i - H_i(Q, D)]^2 \quad (\text{I.7})$$

$H_i(Q, D)$ est la pseudo distance au satellite S_i , calculée à partir d'une position Q quelconque, associée à la matrice Q. Il faut donc trouver la meilleure matrice Q. Ce qui nous donnera simultanément la "meilleure position" et la "meilleure" estimation de la valeur du biais affectant le temps de réception.

I.5.4.2. Linéarisation du problème

On doit trouver Q minimisant la fonction ε . Les fonctions H_i sont relativement complexes, mais malheureusement non linéaires.

Compte tenu qu'une valeur approximative Q_0 peut être calculée avec 4 satellites et par exemple $\Delta T = 0$, on linéarise l'expression $H_i(Q, D)$ autour de Q_0 sous la forme

$$H_i(Q, D) = H_i(Q_0, D) + \sum_{j=1}^n J_{ij}(Q_0, D)(Q^j - Q_0^j) \quad (\text{I.8})$$

On a introduit alors la matrice jacobienne $\mathbf{J}(\mathbf{Q}_0, \mathbf{D}) = [\mathbf{J}_{ij}]$ définie par les dérivées partielles

$$J_{ij}(Q_0, D) = \frac{\partial H_i(Q_0, D)}{\partial Q_j} \quad (\text{I.9})$$

Cette matrice possède n lignes, comme le nombre de satellites et 4 colonnes, comme le nombre d'inconnues.

Traduction approchée du problème: avec un développement limité au premier ordre ε s'écrit:

$$\varepsilon(Q) = \sum_{i=1}^n \left[PD_i - H_i(Q_0, D) - \sum_{j=1}^n J_{ij}(Q_0, D)(Q^j - Q_0^j) \right]^2 \quad (\text{I.10})$$

Traduisant la nullité du gradient de ε par rapport à la variable Q_1 , il vient pour une dérivée partielle

$$G1 = \frac{\partial \varepsilon}{\partial Q^1} = 2 \sum_{i=1}^n [PD_i - H_i(Q_0, D) - \sum_{j=1}^n J_{ij}(Q_0, D)(Q^j - Q_0^j)] J_{ij}(Q_0, D) = 0 \quad (\text{I.11})$$

En notation matricielle, le système des 4 dérivées nulles équivaut à rechercher le vecteur Q qui vérifie la relation matricielle:

$$J^T J \Delta Q = J^T RPD_0 \text{ avec } \begin{cases} \Delta Q = Q - Q_0 \\ RPD_0 = [PD - H(Q_0, D)]^T \end{cases} \quad (\text{I.12})$$

Ou encore

$$Q - Q_0 = \Delta Q = [J^T J]^{-1} J^T [PD - H(Q, D)] \quad (\text{I.13})$$

$$\Delta Q = A [PD - H(Q, D)] \text{ ou } A = [J^T J]^{-1} J^T \quad (\text{I.14})$$

$M = J^T J$ est une matrice carrée de dimension n.

I.5.4.3. Résolution

La méthode choisie est de type de Newton-Raphson généralisée, par itération sur Q .

On doit supposer que la matrice $M = J^T J$ est inversible ce qui est équivalent à dire que son déterminant est différent de 0.

A. Choix d'une valeur initiale

On fixe une valeur de départ Q_0 . On calcule ensuite Q par itération

$$Q_{k+1} = Q_k + (J^T J)_k^{-1} J_k^T [PD - H(Q_k, D)]^T \quad (I.15)$$

$$J_k = J_{ij}(Q_k, D)$$

B. Calcul du jacobien J

C'est la matrice (n, 4) des dérivées de H par rapport à x y z et w , c , est la vitesse de la lumière. On avait posé $W = c \cdot \Delta T$

$J_{ij}(Q_0, D) = \frac{\partial H_i(Q_0, D)}{\partial Q_j}$ <p style="text-align: center;">(I.16)</p>	$H_i(Q, D) = \sqrt{\sum_{j=1}^3 [Q(j) - D(i, j)]^2 + W}$ <p style="text-align: center;">(I.17)</p>	$J_{i,j} = \frac{\partial H_i(Q, D)}{\partial Q^j} = \frac{Q_j - D_{ij}}{H_i(Q, D) - W}$ <p style="text-align: center;">$1 \leq j \leq 3$</p> $J_{i4} = \frac{\partial H_i(Q, D)}{\partial Q^4} = 1$ <p style="text-align: center;">(I.18)</p>
--	--	---

C. Vérifications de l'algorithme

Il n'est pas nécessaire de prendre des coordonnées satellitaires réelles ni une position réelle du récepteur sur terre, pour vérifier la méthode.

Nous choisissons au départ au minimum 4 satellites dont les positions sont exactes et connues :

$$D = \begin{bmatrix} 20000 & 0 & 0 & 10000 \\ 0 & 12000 & 0 & 10000 \\ 0 & 0 & 25000 & 10000 \end{bmatrix} \quad (I.19)$$

Nous situons notre station par ses coordonnées x y z et fixons l'écart de synchronisation à $\Delta T = 10$ ns ce qui fixe la solution Q à retrouver

$$Q = [2000000 \ 4000000 \ 6000000 \ c \cdot 10e^{-8}] \quad \text{avec } c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

Nous prenons un vecteur Q_0 de départ voisin de plusieurs dizaines de km du point station et une synchronisation parfaite $\Delta T = 0$ s, alors qu'elle ne l'est pas en réalité, les données sont donc doublement biaisées. **Voir l'estimation de ce point.**

$$Q_0 = [2050000 \ 3980000 \ 6100000 \ 0] \quad \text{km}$$

Les pseudo-distances mesurées sont les distances satellites-récepteur augmentées de $c \cdot 10e^{-8}$, sachant bien que l'écart de synchronisation n'est pas connu à ce stade.

En clair, dans ces pseudo-distances, on ne peut distinguer la part de distance vraie parcourue par le signal de celle de son décalage temporel. Seule la somme est accessible par les mesures.

D. Recherche d'une position de départ de l'algorithme itératif

Nous sommes maintenant en configuration réelle, où le récepteur doit d'abord trouver une position voisine de celle inconnue qu'il occupe, puis mettre en route les itérations qui vont donner le point exact ainsi que le temps de désynchronisation.

Nous ne connaissons pas l'erreur de désynchronisation des horloges satellites et récepteur. Par exemple, nous la prenons nulle avec pour distances vraies, les pseudo-distances D_1, D_2, D_3, D_4 au récepteur de 4 des n satellites de coordonnées (X_i, Y_i, Z_i) utilisables.

Rappelons que ces distances sont calculées avec les temps de propagation ΔT_i mesurés par le récepteur.

Les valeurs de D_i, X_i, Y_i, Z_i sont donc connues, pour $i = 1 \dots 4$. Il est clair que ce système n'a que peu de chance d'avoir une solution. Tout au plus pourrait-on rechercher la solution "*qui approche au mieux*" les quatre distances.

$$(D_1)^2 = (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 = c^2(\Delta T_1)^2 \quad (E1)$$

$$(D_2)^2 = (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 = c^2(\Delta T_2)^2 \quad (E2)$$

$$(D_3)^2 = (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 = c^2(\Delta T_3)^2 \quad (E3)$$

$$(D_4)^2 = (X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2 = c^2(\Delta T_4)^2 \quad (E4)$$

Par différence des équations E2 -E1 etc.. Nous obtenons un système linéaire plus simple mais non équivalent (3 équations au lieu de 4) permettant un calcul de X Y Z acceptables.

$$2[(X_1 - X_2)X + (Y_1 - Y_2)Y + (Z_1 - Z_2)Z] = (D_2)^2 - (D_1)^2 - (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2) + (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2)$$

$$2[(X_2 - X_3)X + (Y_2 - Y_3)Y + (Z_2 - Z_3)Z] = (D_3)^2 - (D_2)^2 - (X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2) + (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2)$$

$$2[(X_3 - X_4)X + (Y_3 - Y_4)Y + (Z_3 - Z_4)Z] = (D_4)^2 - (D_3)^2 - (X_4^2 + Y_4^2 + Z_4^2) + (X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2)$$

Le système linéaire se traduit par une relation simple:

$$AX = B \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} A = \begin{bmatrix} X_1 - X_2 & Y_1 - Y_2 & Z_1 - Z_2 \\ X_2 - X_3 & Y_2 - Y_3 & Z_2 - Z_3 \\ X_3 - X_4 & Y_3 - Y_4 & Z_3 - Z_4 \end{bmatrix} \\ X = [X \ Y \ Z]^T \\ B = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} D_2^2 - D_1^2 - (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2) + (X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2) \\ D_3^2 - D_2^2 - (X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2) + (X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2) \\ D_4^2 - D_3^2 - (X_4^2 + Y_4^2 + Z_4^2) + (X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2) \end{bmatrix} \end{array} \right\} \quad (\text{I.20})$$

Si les trois rayons vecteurs récepteur-satellite ne sont pas coplanaires, la matrice A est inversible et le système possède une solution qui sera le point de départ de l'itération.

$$X = A^{-1}B \quad (\text{I.21})$$

Ainsi, le vecteur Q inconnu est initialisé par Q_0 , en début d'itération $Q_0 = [X^T \ c*50e^{-9}]$

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de fonctionnement des systèmes GPS. Nous avons, donc, décrit les différentes segmentations du système GPS, ainsi que les différents algorithmes du calcul de la position inconnue sur le terme en fonction des positions bien déterminées des satellites dans l'espace.

Pour la partie suivante nous allons décrire l'architecture du réseau GSM ainsi que ces différents signaux échangés

Chapitre II

Généralités sur les réseaux mobiles

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, on met la lumière sur le réseau GSM 2G et 3G. En particulier, étudier leurs signalisations dans le but de déterminer la distance entre la BTS de position connue et le mobile (MS) de position inconnue.

II.2. Le réseau GSM

Le principe du réseau GSM 2G est de passer des appels téléphoniques, avec une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minimes messages (SMS, limités à 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays, exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensés à développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération.

II.2.1. La norme GSM

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 MHz:

-La bande de fréquence 890 – 915 MHz pour les communications montantes (du mobile vers la station de base)

-La bande de fréquence 935 – 960 MHz pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication à une largeur de bande de 200 kHz, cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs. Mais, le nombre d'utilisateurs augmentant, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 MHz. On a donc porté la technologie GSM 900 MHz vers une bande ouverte à plus haute fréquence.

C'est le système DCS-1800 (Digital Communication System) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de services.

Les communications montantes se faisant alors entre 1710 et 1785 MHz et les communications descendantes entre 1805 et 1880 MHz.

II.2.2. Notion du réseau cellulaire

Le GSM (Global System for Mobile communication) utilise un spectre de fréquences dans la bande des 900 MHz (de 890 à 915 dans le sens téléphone - station de base et de 935 à 960 MHz dans le sens station de base - téléphone), spectre à partager entre les différents opérateurs ayant acquis une licence d'exploitation GSM900. Or le signal associé à une communication occupe une place de 200 kHz, et il en faut deux pour établir une conversation (signaux téléphone - station et station - téléphone). Nous voyons qu'avec ce portefeuille de fréquences disponibles, nous pouvons établir 31 conversations simultanées par opérateur. Nous nous apercevons donc assez rapidement que l'on ne peut s'en sortir, en termes de nombre d'abonnés actifs simultanément, à moins de réutiliser ces mêmes fréquences dans des zones géographiques différentes. C'est ce que pratiquent les réseaux dits « cellulaires », c'est-à-dire tous les réseaux GSM.

Un réseau cellulaire divise la zone à couvrir, généralement un pays entier, en petites zones appelées cellules. Chacune des cellules est desservie par une station de base (BS pour Base Station) qui reçoit une partie des fréquences disponibles. C'est avec cette station de base que communiquent tous les téléphones mobiles actifs se trouvant dans la cellule concernée. Puisque deux communications radio utilisant la même fréquence interfèrent l'une avec l'autre lorsqu'on se trouve entre les deux émetteurs, les mêmes fréquences ne peuvent être utilisées par deux stations de base voisines.

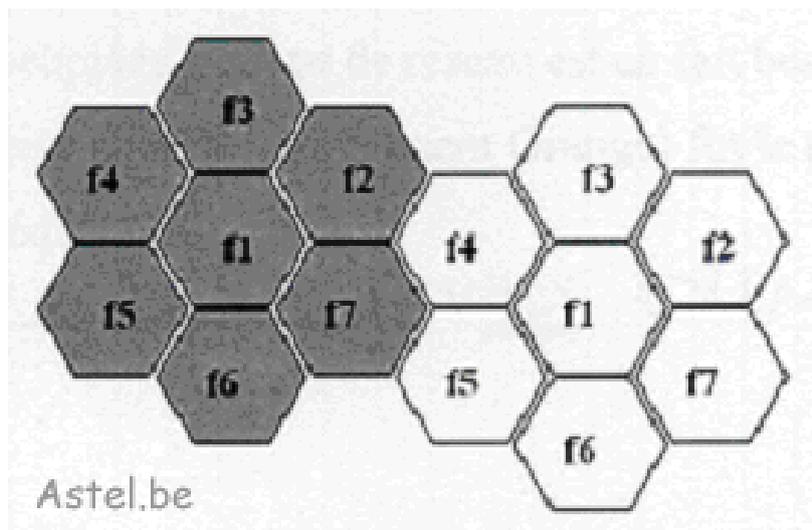


Figure II.1: Concept cellulaire

Les cellules sont généralement représentées sous forme d'hexagones. Les six cellules entourant une cellule donnée ne peuvent donc utiliser les mêmes fréquences que celle-ci. Cet ensemble de sept cellules peut être appelé « grappe » (cluster en anglais).

Les différentes stations de base prennent le relais des communications au cours de l'évolution spatiale de l'abonné (handover). Les téléphones sont constamment à la recherche des stations de base voisines de celle à laquelle il est connecté afin de pouvoir changer de station sans devoir interrompre la communication en cas de déplacement de l'utilisateur. C'est pourquoi les cellules doivent être contiguës pour éviter l'interruption des communications lors du déplacement des utilisateurs.

La portée maximale d'un téléphone mobile classique (puissance de 2 Watts) est théoriquement d'une trentaine de kilomètres (lorsque l'antenne du téléphone et celle de la station de base peuvent se voir sans rencontrer d'obstacles). Mais cette distance n'est réellement exploitée que sur la côte, où les bateaux se trouvant à l'horizon sont en mesure de pouvoir téléphoner par l'intermédiaire d'un réseau GSM. Le plus souvent, la portée des stations de base est altérée par des obstacles tels que le relief, les bâtiments, les cages de faraday en cas d'usage à l'intérieur d'un véhicule métallique tel que voiture, train ou ascenseurs, les couches de terre en cas d'usage dans les tunnels ou le métro, etc... Il faut également savoir que les téléphones et les stations de base régulent la puissance de leurs émissions selon la distance les séparant dans le but d'économiser les batteries des téléphones lorsqu'ils captent le réseau convenablement et de limiter les interférences avec les cellules qui réutilisent les mêmes fréquences. Les terminaux peuvent ainsi choisir entre seize niveaux de puissance différents selon la puissance des signaux reçus par les antennes avoisinantes.

Mais l'étendue de la couverture n'est pas le seul but recherché lors de l'implantation des stations de base. En effet, puisque le nombre d'utilisateurs actifs simultanés dans une même cellule est limité, la diminution de la taille des cellules, et donc l'augmentation du nombre de cellules, est également un but très important. Cela permet d'augmenter la capacité du réseau afin d'accueillir un plus grand nombre d'abonnés. Les opérateurs recherchent donc à maximiser la taille de leurs cellules dans les zones peu peuplées, afin d'améliorer la couverture de leur réseau, et à la minimiser dans les zones à densité de population élevée afin d'augmenter la capacité de leur réseau.

Le DCS (Digital Cellular System) repose sur la même technologie que celle du GSM mis à part qu'elle utilise la bande des 1800 MHz. Cette différence lui permet l'utilisation d'un spectre de fréquence plus large, ce qui augmente la capacité des cellules.

Par contre la puissance des téléphones compatibles est moins grande que celle des appareils GSM, ce qui limite à environ 15 kilomètres la portée des téléphones DCS. Un nombre de stations de base environ quatre fois plus important est donc nécessaire pour couvrir les régions peu peuplées, ce type de réseau est en fait beaucoup mieux adapté à la densité urbaine. En Belgique, l'opérateur Base (anciennement Orange) fut le premier à acquérir une licence d'utilisation de cette bande de fréquence.

II.2.3. L'architecture du réseau GSM

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC .réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. La figure II.2 présente l'architecture du Réseau GSM.

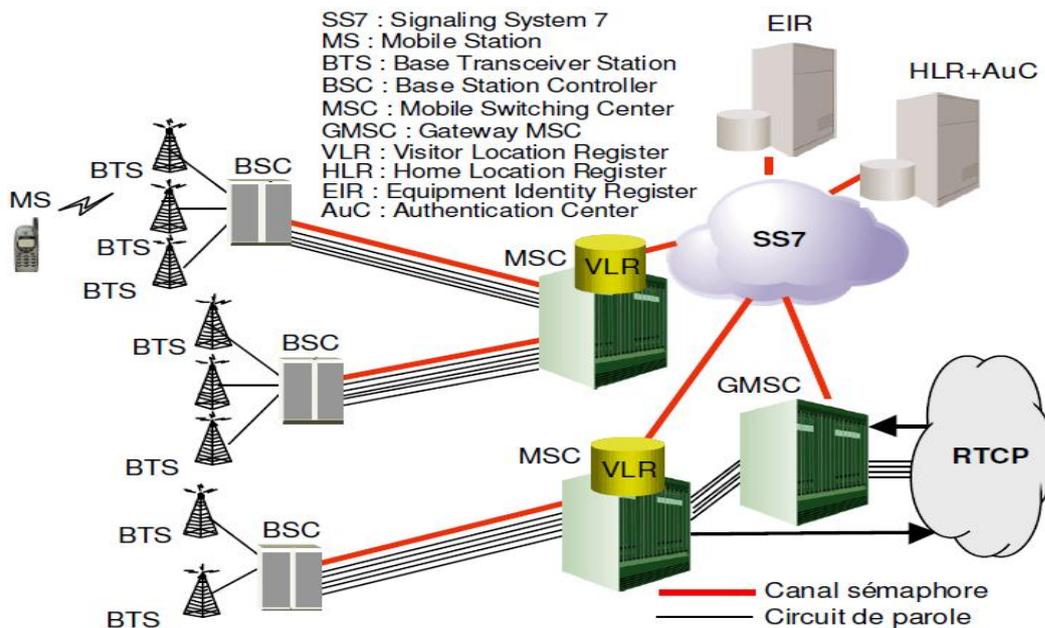


Figure II.2: Architecture du Réseau GSM

II.2.4. Les différents sous système du réseau GSM

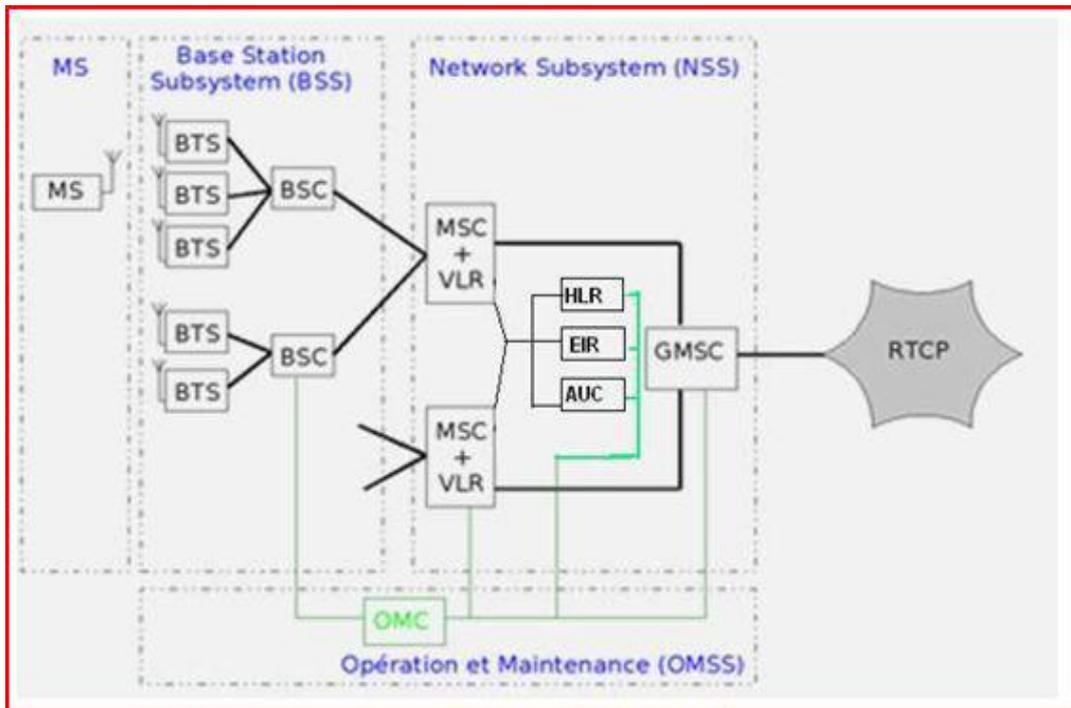


Figure II.3 : Schéma récapitulatif des sous-systèmes du GSM.

Le réseau GSM peut être divisé en *trois* sous-systèmes [5] [6]:

- ✓ Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.
- ✓ Le sous-système réseau ou d'acheminement.
- ✓ Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

II.2.4.1. Le sous-système radio (BSS)

Le sous-système radio gère la transmission radio [5] [6]. Il est constitué de plusieurs entités dont le *mobile*, la *station de base* (BTS, *Base Transceiver Station*) et un *contrôleur de station de base* (BSC, *Base Station Controller*).

a. Le mobile

Le téléphone et la carte SIM (Subscriber Identity Module) sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

b. La station de base (BTS)

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes. En Belgique, il est fréquent d'avoir des antennes tri-sectorielles, qui couvrent un peu plus de 120 degrés. Ces antennes ont l'allure de paires de segments verticaux, disposées en triangle. C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau.

Comme le multiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer tout au plus huit connections simultanées par cellule. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données. En cas de besoin, on peut exploiter une station de base localement ou par télécommande à travers son contrôleur de station de base.

c. Le contrôleur de station de base (BSC)

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation.

Pour les fonctions des communications des signaux en provenance des stations de base, le BSC agit comme un concentrateur puisqu'il transfère les communications provenant des différentes stations de base vers une sortie unique.

Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base.

Dans le même temps, le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. Il alimente aussi la base de données des stations de base. Enfin, une dernière fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts intercellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre. Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (*Visitor Location Register*) de la nouvelle localisation de l'abonné.

C'est donc un maillon très important de la chaîne de communication et il est, de plus, le seul équipement de ce sous système à être directement gérable (via l'interface X25 qui le relie au sous-système d'exploitation et de maintenance).

II.2.4.2. Le sous-système réseau (NSS)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes: Chiffrement, authentification ou Roaming.

Le NSS est constitué de:

- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR) / Authentication Center (AuC)
- Visitor Location Register (VLR)
- Equipment Identity Register (EIR)

a. Le centre de commutation mobile (MSC)

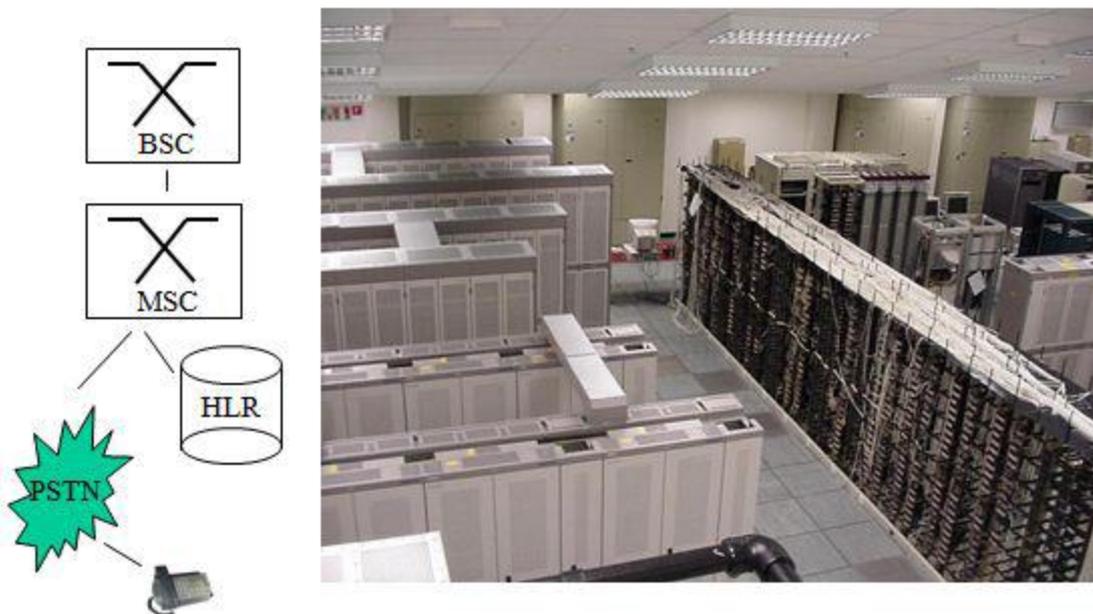


Figure II.4: Mobile Switching Center.

Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface A.

Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou de son équivalent numérique, le réseau RNIS

(ISDN en anglais). D'un point de vue fonctionnel, il est semblable à un commutateur de réseau ISDN, mis à part quelques modifications nécessaires pour un réseau mobile.

De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau.

Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une interopérabilité entre réseaux d'opérateurs.

b. L'enregistreur de localisation nominale (HLR)

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMN). Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible.

Le HLR contient toutes les informations relatives aux abonnés: le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki ; cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc.

Ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau.

En fait, son VLR, et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, ...).

Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

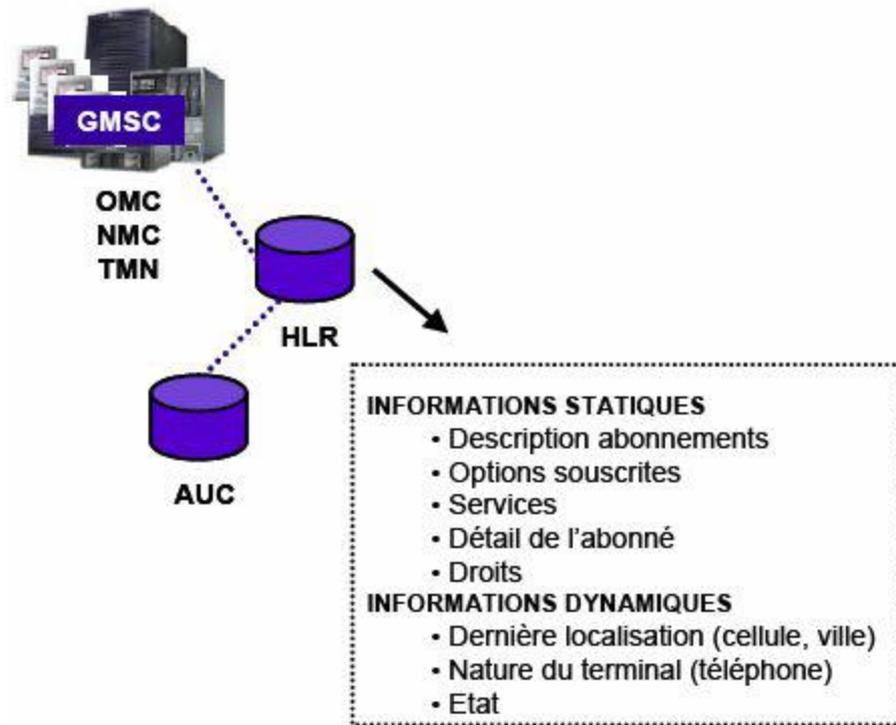


Figure II.5 : Home Local Register

c. Le centre d'authentification (AuC).

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des Communications. Pour ce faire, les normes GSM prévoient deux mécanismes:

❖ Le chiffrement des transmissions radio. Remarquons qu'il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse! Ceci explique sans doute pourquoi, en Belgique, de nombreux toits de bâtiments de puissance étrangère sont équipés d'antennes servant exclusivement à la réception de signaux GSM...

❖ L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki, qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification.

L'authentification s'effectue par résolution d'un défi sur base d'un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile.

A partir de ce nombre, un algorithme identique (algorithme A3) qui se trouve à la fois dans la carte SIM et dans l'AuC produit un résultat sur base de la clé Ki et du nombre M.

Dès lors, lorsqu'un VLR obtient l'identifiant d'un abonné, il demande, au HLR du réseau de l'abonné, le nombre M servant au défi et le résultat du calcul afin de le comparer à celui qui sera produit et envoyé par le mobile. Si les résultats concordent, l'utilisateur est reconnu et accepté par le réseau.

Grace à ce mécanisme d'authentification, un VLR peut accueillir un mobile appartenant à un autre réseau (moyennant un accord préalable entre opérateurs de réseau.) sans qu'il ne soit nécessaire de divulguer la clé de chiffrement du mobile.

On peut dès lors distinguer trois niveaux de protection:

La carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau. Le chiffrement des communications destine à empêcher l'écoute de celles-ci. La protection de l'identité de l'abonné.

d. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et est liée à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM. Elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR; les données suivent l'abonné en quelque sorte.

e. L'enregistreur des identités des équipements (EIR)

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les Opérateurs n'implémentent pas une telle base de données.

f. Gateway MSC

Il s'agit de certains MSC particuliers. Ils possèdent en plus une passerelle d'accès vers d'autres réseaux mobile ou fixes. Ils sont en charge par exemple des appels d'un mobile vers un téléphone fixe. Les GMSC n'ont pas à gérer de BSC.

II.2.4.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS

L'OSS (Operation Sub-System) permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

❖ Présentation de l'OMC et du NMC

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Center) et les NMC (Network and Management Center).

Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs.

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi que les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC /MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation.

II.2.5. Le timing Advance

Les différents utilisateurs d'un système cellulaire sont à des distances variables de leur station de base et endurent des délais de propagation variables [7].

Or l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière soit $c = 300\ 000$ km/s. Cette vitesse est très élevée, mais pas infinie et les retards engendrés par la distance se font sentir sur le timing puisqu'une distance de **30 km** cause un retard de **100 μs**.

Prenons l'exemple de deux mobiles MS1 et MS2 appartenant à la même cellule. Le premier MS1 est en limite de cellule alors que le second, MS2 est situé près de la station de base. [7]

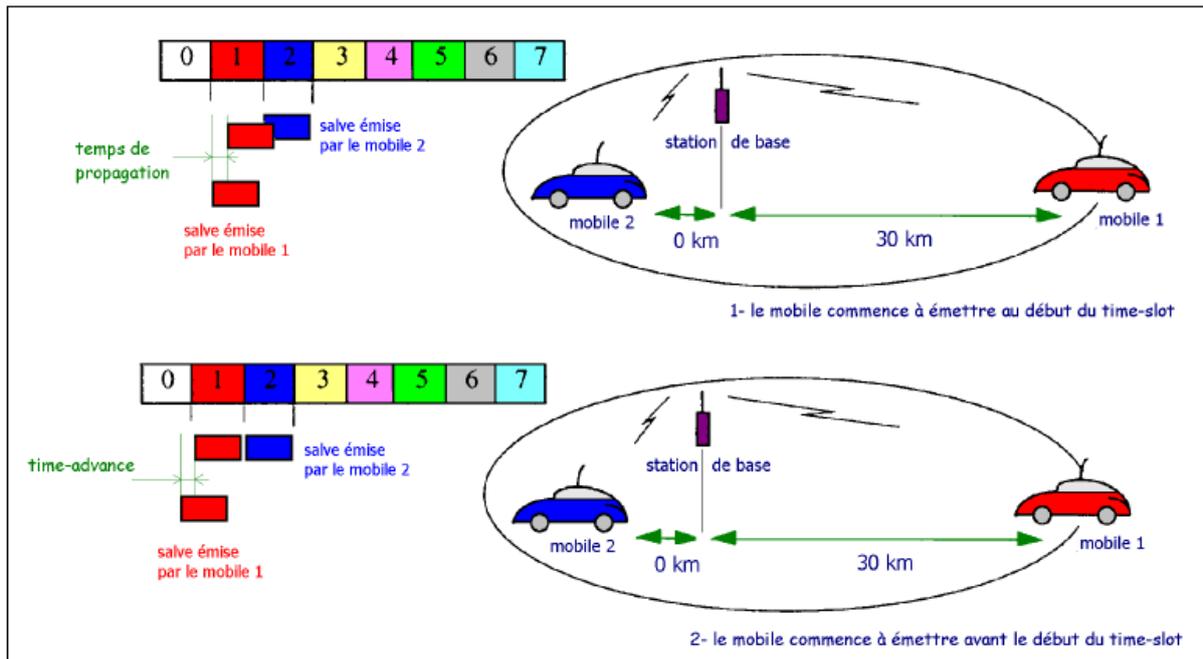


Figure II.6: Importance du paramètre de Timing Advance.

On suppose que ces deux mobiles utilisent des slots consécutifs sur la même porteuse : MS1 émet dans le slot 1, MS2 dans le slot 2 :

- En l'absence de compensation du temps de propagation, les bursts émis par chacun des mobiles se chevauchent au niveau du récepteur de la BS.
- Pour pallier à cette difficulté, la station de base va compenser ce retard en gérant un paramètre TA (Timing Advance) correspondant au temps de propagation aller-retour.
- Le mobile éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses bursts par rapport à l'instant nominal de début de slot.
- La distance entre mobile et station de base étant susceptible de varier en permanence, ce paramètre TA est réajusté à chaque trame et pourra prendre une valeur comprise entre 0 et 63.

Remarque: la détermination du paramètre TA permet à la base de connaître la distance à laquelle se trouve le mobile. Par triangulation avec une deuxième station de base, on pourra donc déterminer la position exacte d'un mobile.

II.2.6. Les différentes signalisations échangées

Les signaux de voix et de contrôle échangés entre le mobile et la base sont classés en plusieurs catégories, mais transitent tous sur 2 voies radio montantes et descendantes :

- ✓ la voie balise : FCCH, SCH, BCCH, PCH, RACH ...
- ✓ la voie trafic : TCH, SACCH, FACCH... [7]

				fonction	méthode de multiplexage	
Voie balise	BCH Broadcast Channel voie balise (diffusion)	↓	FCCH	Frequency Correction Channel	Calage sur la porteuse	un <i>burst</i> particulier toutes les 50 ms sur le <i>slot</i> 0 de la voie balise.
			SCH	Synchronization Channel	Synchronisation, identification de la BTS	Un <i>burst</i> sur le <i>slot</i> 0 de la voie balise, une trame après le <i>burst</i> FCCH
			BCCH	Broadcast Control Channel	Informations système	4 <i>bursts</i> "normaux" à chaque multitrame
	CCCH Common Control Channel (accès partagé)	↓ ↑	PCH	Paging Cannel	Appel des mobiles	sous-blocs entrelacés sur 4 <i>bursts</i> "normaux".
			RACH	Random Access Channel	Accès aléatoire des mobiles	<i>Burst</i> court envoyé sur des <i>slots</i> particuliers en accès aléatoire
		↓	AGCH	Access Grant Channel	Allocation de ressources	8 blocs entrelacés sur 4 <i>bursts</i> "normaux"
		↓	CBCH	Cell Broadcast Channel	Messages courts diffusés (météo, trafic routier, etc.)	utilise certains <i>slots</i> de la trame à 51.C (utilisation marginale)
Voie de trafic	Canaux de Contrôle dédiés	↓ ↑	SDCCH	Stand-Alone Dedicated Control Channel	Signalisation	8 <i>SDCH</i> + 8 <i>SACCH</i> sur un canal physique
		↓ ↑	SACCH	Slow Associated Control Channel	+ compensation du délai de propagation + contrôle de la puissance d'émission du mobile + contrôle de la qualité de liaison + mesures sur les autres stations.	associé à <i>TCH</i> sur un canal physique ou à 8 <i>SDCH</i> sur un canal physique
		↓ ↑	FACCH	Fast Associated Control Channel	Exécution du <i>Handover</i>	voit du <i>TCH</i> lors de l'exécution du <i>handover</i> .
	TCH Traffic Channel	↓ ↑	TCH/FS TCH/HS	Traffic Channel for Coded Speech	voix plein débit/ demi débit	occupe la majeure partie d'un canal physique
		↓ ↑		Traffic Channel for data	données utilisateur 9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s, < 2,4 kbit/s	

Figure II.7: Les différentes classes ou « channels » de signaux échangés.

Notre travail consiste à exploiter les données de la voie balise (BCH), plus précisément le canal BCCH, contenant le Cell-ID et le RSSI. Par contre la fréquence du canal étudié (BCCH) nous a été communiquée par l'entreprise OTA Djezzy.

II.3. Le réseau UMTS

II.3.1. Introduction

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS (Quality of Service) du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité d'utiliser le multimédia... Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre, était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

L'idée été d'ajouter des amplificateurs avant chaque antennes, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

II.3.2. Le réseau UMTS

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Dans un premier temps le réseau UMTS devrait s'appuyer sur le réseau GPRS.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données, le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia [8].

Le réseau cœur se décompose en deux parties : le domaine circuit dans un premier temps et le domaine paquet. La figure 8 présente l'architecture du réseau UMTS.

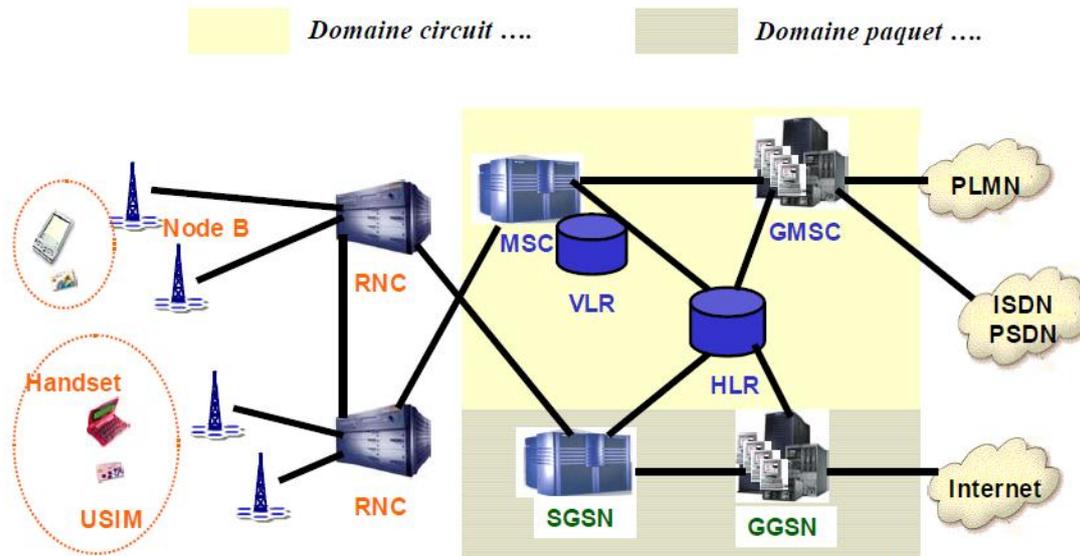


Figure II.8 : Architecture du réseau UMTS. [8]

• Le domaine circuit

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, applications Multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide. Lors de l'introduction de l'UMTS le débit du mode domaine circuit sera de 384 Kbits/s.

L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GSM : MSC/VLR (bases données existantes) et le GMSC afin d'avoir une connexion directe.

• Le domaine paquet

Le domaine paquet permettra de gérer les services non temps réels. Il s'agit principalement de la navigation sur l'Internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'accès /utilisation des e-mails. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s. L'infrastructure s'appuiera alors sur les principaux éléments du réseau GPRS : SGSN (bases de données existantes en mode paquet GPRS, équivalent des MSC / VLR en réseau GSM) et le GGSN (équivalent du GMSC en réseau GSM) qui jouera le rôle de commutateur vers le réseau Internet et les autres réseaux publics ou privés de transmission de données.

❖ Les équipements d'un réseau

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau

Le Node B: C'est une antenne. Réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Ils gèrent la couche physique de l'interface radio. Il régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Ils communiquent directement avec le mobile sous l'interface dénommée Uu.

Le RNC (Radio Network Controller): Le RNC est un contrôleur de Node B. Le RNC est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM.

Le RNC contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Node B) et le réseau.

Le RNC s'interface avec le réseau pour les transmissions en mode paquet et en mode circuit. Le RNC est directement relié à un Node B, il gère alors:

- Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.
- Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées...).

Il existe deux types de RNC:

- Le Serving RNC qui sert de passerelle vers le réseau.
- Le Drift RNC qui a pour fonction principale le routage des données.

II.3.3. Les fréquences de l'UMTS

Les fréquences allouées pour l'UMTS sont 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

L'UIT (Union Internationale des Télécommunications) a désigné des bandes de fréquences pour les différents systèmes de l'UMTS qui sont :

✓ Duplex temporel TDD (Time Division Demultiplexed) : 1885 à 1920 MHz (uplink bande de 35MHz) et 2010 à 2025 MHz (downlink bande de 15 MHz).

✓ Duplex fréquentiel FDD (Frequency Division Demultiplexed) 1920 à 1980 MHz (uplink bande de 60 MHz) et 2110 à 2170 MHz (downlink bande de 60 MHz).

✓ Bandes satellites : 1980 à 2010 MHz (uplink de 30 MHz) et 2170 à 2200 MHz (downlink de 30 MHz).

✓ La bande passante d'un canal est de 5MHz avec une largeur spectrale réelle de 4,685 MHz.

II.4. Le réseau LTE

II.4.1. Introduction

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant à la 3G, c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme.

Les services de communications mobiles sont en train de suivre la même évolution que celle des services fixes, c'est-à-dire une transition accélérée vers l'accès à très haut débit. Ce sont les réseaux 4G qui permettent de répondre aux demandes croissantes des usages mobiles, tant en termes de qualité des services offerts que de capacité d'écoulement du trafic par les réseaux.

Ces fréquences sont destinées au déploiement de réseaux mobiles à très haut débit, pour apporter au consommateur une capacité et une qualité de services supérieures aux offres actuelles d'internet mobile. La technologie LTE « Long Term Evolution » offre aux utilisateurs des débits de plusieurs dizaines de Mbit/s, largement supérieurs aux performances des technologies 3G et 3G+ actuellement déployées, ainsi que des latences plus faibles favorisant une meilleure interactivité.

Avec le 4G, on se dirige vers la transmission de toutes les informations, voix et données par IP, le même protocole qu'on utilise sur Internet. Pour les fournisseurs, c'est plus facile et moins cher à gérer. Ça facilite aussi le développement d'applications multimédias.

Cette génération permet des vitesses de téléchargement plus rapides et des temps de latence plus courts.

Selon les critères de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, le vrai 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire.

II.4.2. Principe réseau LTE

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la "vraie 4G" offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [9].

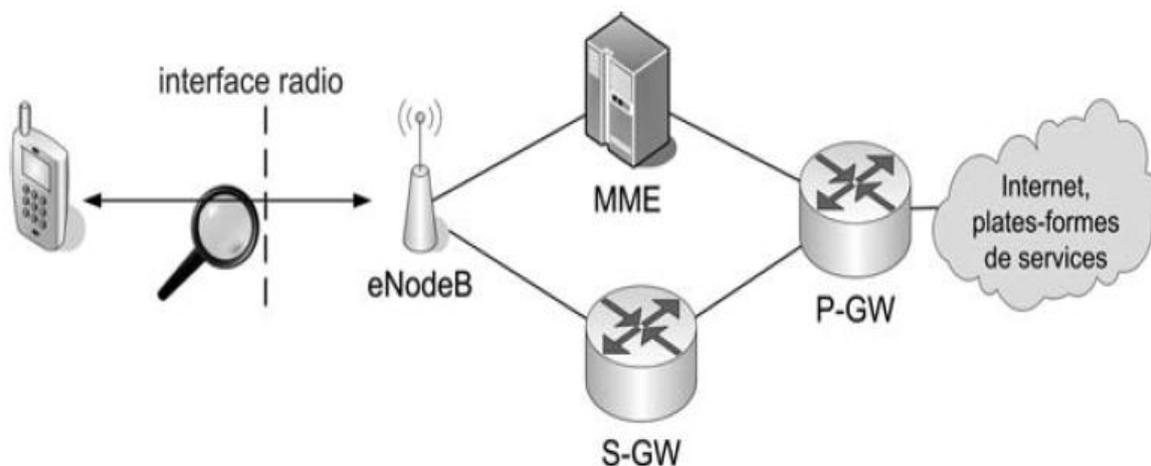


Figure II.11 : Présentation générale sur le système LTE.

II.4.3. Architecture LTE

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 12 présente l'architecture du réseau LTE.

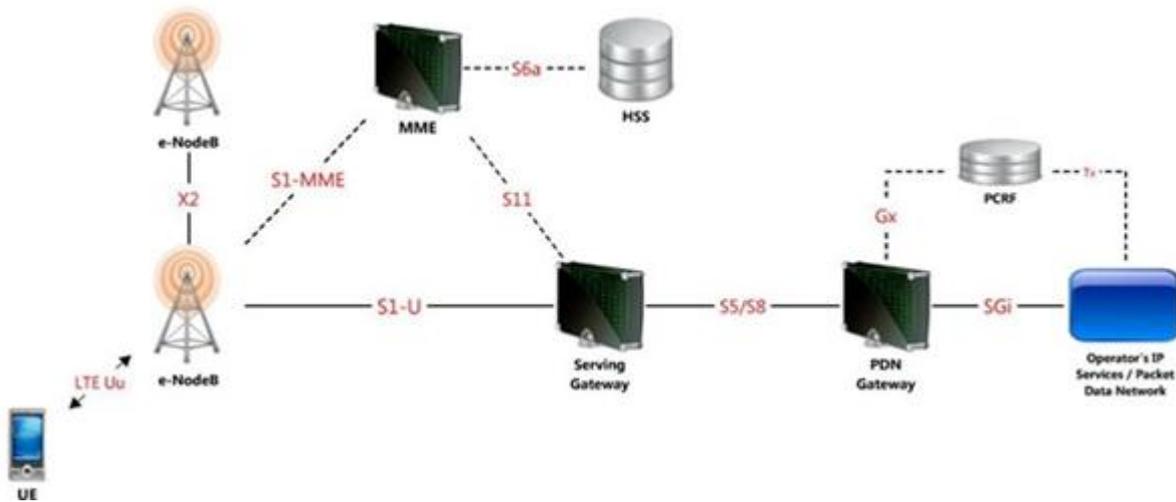


Figure II. 12: Architecture du réseau LTE. [10]

II.4.4. Les signalisations

La signalisation est la partie du cœur du réseau LTE, elle gère la mobilité et le rattachement des abonnés sur le réseau, il s'agit du MME. Une base de données permettant entre autre d'authentifier l'abonné, de consulter leurs abonnements et de chiffrer les communications, il s'agit du HSS. Une politique de tarification, qui permet de gérer l'accès au réseau de données (PDN) en fonction du forfait de l'abonné, il s'agit du PCRF.

❖ MME: Mobility Management Entity (3GPP Release 8)

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion.

Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

❖ **HSS : Home Subscriber Service**

Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du subscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

❖ **PDN-GW: Packet Data Network GateWay (3GPP Release8)**

Est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments:

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

❖ **PCRF: Policy and Charging Rules Function (3GPP Release7)**

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

❖ **SGW: Serving Gateway (3GPP Release 8)**

C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur Serving GetWay (SGW) achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB !!!handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

❖ **P-GW: Packet-Switch GetWay**

Packet-Switch GetWay (P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.

❖ **SGSN : Serving GRPS Support Nom**

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

II.4.5. La partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2).

Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS.

Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

❖ eNodeB

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC.

II.5. Le Handover

Le handover ou transfert intercellulaire est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, CDMA, UMTS ou LTE par exemple) [11].

Le handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un smartphone (dénommés station mobile - MS en GSM, ou user equipment dans les réseaux 3G et 4G) change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données.

Ce mécanisme peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours. Le processus de handover permet à un terminal mobile de maintenir la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule.

En effet lorsque le signal de transmission entre un téléphone et une station de base (BTS) s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile cherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui soit capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions.

Le handover peut également avoir lieu entre des canaux ou cellules radio gérés par une seule BTS ou un node B (on parle alors de handover intracellulaire), par exemple lorsque la station mobile passe d'un canal radio vers un autre, à cause d'une détérioration du lien radio (trop d'interférences dans la bande de fréquence du canal d'origine) ou change de secteur (les antennes sont souvent regroupées par trois sur un pylône ou chacune émet dans un angle de 120°, soit 360° au total, ces 3 secteurs sont gérés par une seule BTS ou un seul node B).

II.5.1. Hard et soft handover

➤ Le hard handover se produit lorsque le canal radio de la cellule source est libéré et le canal dans la cellule cible est engagé. Ainsi, la connexion à la cellule source est rompue avant (ou au même moment) l'établissement de la liaison avec la cellule cible. Cette méthode est appelée break-before-make (qui signifie « rompre avant de faire »). Dans ce cas, il est important de minimiser la durée d'interruption de la communication. Ce type de handover est utilisé dans les réseaux mobiles GSM et dans les réseaux 4G LTE avec une durée d'interruption de quelques dizaines de ms.

➤ Le soft handover a lieu lorsque le canal de la cellule source est maintenu pendant un certain laps de temps pendant que la liaison avec la cellule cible est engagée. Dans ce cas, la connexion avec la cellule cible est établie avant la rupture du lien avec la cellule source. Cette méthode est appelée make-before-break (qui signifie « faire avant de rompre »). Ce type de handover est utilisé dans les réseaux 3G UMTS grâce au code de brouillage (le « C » de W-CDMA) qui permet d'identifier et de recevoir simultanément depuis plusieurs cellules radio.

II.5.2. Handovers intra et inter systèmes

II.5.2.1. En GSM

La station mobile MS ayant déjà un canal radio dans une cellule donnée (gérée par un BSC et un MSC donnés), elle migre vers un nouveau canal. Il existe quatre types de handover :

- ✓ **Handover Intra-BSC** (Base Station Controller) : le nouveau canal est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par le même BSC.
- ✓ **Handover Intra-MSC** : le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre BSC, lui-même étant géré par le même MSC.

✓ **Handover Inter-MSC** : le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre MSC.

✓ **Handover Inter-System** : un nouveau canal est attribué dans un autre réseau mobile que celui qui est chargé de la MS (exemple entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

II.5.2.2. En UMTS

Une station mobile (MS) a déjà un canal radio dans une cellule (gérée par un Node B et un RNC donnés) ; lorsque le signal reçu s'affaiblit, elle migre vers un nouveau canal. Il existe alors six types de handover :

✓ **Handover Intra-RNC** (Radio Network Controller) : le nouveau canal "voix" est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par le même RNC.

✓ **Handover Intra-MSC/VLR** : le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même MSC/VLR.

✓ **Handover Intra-SGSN** : en mode paquet (transfert de données), le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre RNC, lui-même étant géré par le même SGSN.

✓ **Handover Inter-MSC/VLR** : le nouveau canal est attribué dans une cellule radio qui est gérée par un autre MSC/VLR.

✓ **Handover Inter-SGSN** : en mode paquet, le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre SGSN.

✓ **Handover Inter-System** : un nouveau canal radio est attribué dans un réseau mobile de technique différente du réseau auquel la MS était connecté (par exemple *handover* entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

II.5.2.3. En LTE

Le réseau 4G LTE est plus simple qu'un réseau UMTS : voix (VoLTE) et données utilisent les mêmes chemins (IP) et il n'y a plus de RNC (ses fonctions sont intégrées au eNode B). Un *user equipment* (généralement un smartphone) a déjà des ressources radio dans une cellule radio (gérée par un eNode B) ; lorsqu'il se déplace et que le signal reçu s'affaiblit, il migre vers une nouvelle cellule ; la décision est prise par l'eNode B. Il n'existe plus que deux types principaux de handover :

✓ **Handover intra-eNode B** : de nouvelles ressources radio (*resource blocks*) sont attribuées au terminal mobile dans une autre cellule radio (une autre bande de fréquence) ou un autre "secteur" gérés par le même eNode B.

✓ **Handover inter-eNode B** : de nouvelles ressources radio (*resource blocks*) sont attribuées au terminal dans une cellule gérée par un autre eNode B. le dialogue entre les 2 eNode B se fait par les liens X2 du réseau EUTRAN de l'opérateur mobile.

Quand le handover a lieu entre le réseau de l'opérateur d'origine et celui d'un autre opérateur mobile, on parle alors d'itinérance.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différentes architectures des réseaux GSM, UMTS, LTE. En particulier, nous avons décrit la signalisation de ces réseaux dans l'objectif de concevoir un système qui lit ces signaux et de calculer la distance entre la BTS et le mobile, afin de déterminer la position GPS de ce dernier.

Dans ce qui suit nous allons présenter les différents types de positionnement ainsi que la méthode qu'on a opté pour notre travail

Chapitre III

Techniques de Positionnement

III.1. Introduction

Depuis toujours, les gens ont eu le besoin nécessaire, dans leur vie professionnelle ou de loisirs, de connaître leur position géographique avec une précision qui dépend de l'importance de la situation. C'est pour ça, ils ont toujours cherché de concevoir des outils pour déterminer leurs positions et qui peut les guider vers leurs destinations correctement.

Actuellement, le moyen le plus connu et le plus répandu est le système GPS, qui fournit la position, l'heure avec précision en utilisant le réseau satellitaire.

Dans ce chapitre, nous présentons un autre moyen de géolocalisation qui exploite la signalisation d'un réseau qui est déjà présent, qui est le réseau GSM. En effet de nos jours, le réseau GSM est présent quasiment partout. Sans ajouter des frais supplémentaire d'une autre infrastructure, nous allons décrire les différents algorithmes adoptés, qui exploitent les informations émises par les signaux GSM pour ce dernier un autre outil de géolocalisation.

III.2. Architecture d'un système de positionnement

Les systèmes de positionnement sont devenus actuellement une partie intégrante dans la vie des gens. Ils sont utilisés dans plusieurs domaines, par exemple pour trouver l'hôtel ou le restaurant le plus proche, avoir des informations touristiques sur le lieu que l'on visite....etc.

Un schéma synoptique de base des blocs fonctionnels d'un système de positionnement est présenté dans la figure III.1. Il se compose : de dispositifs de détection, un système d'affichage et un algorithme de contrôle.

Les capteurs détectent les signaux transmis ou reçus par des points de référence, de positions connues, utilisant différentes technologies de détection : radio, infrarouge, ou ultrason....etc. La technique de détection convertit le signal reçu en métrique de positionnement telles que : temps d'arrivée (TOA), angle d'arrivée (AOA), temps différentiel d'arrivée (TDOA), ou la puissance du signal reçu (RSS). Etant donné un ensemble de points de référence connus, une position relative de la station mobile peut être dérivée grâce à ces métriques.

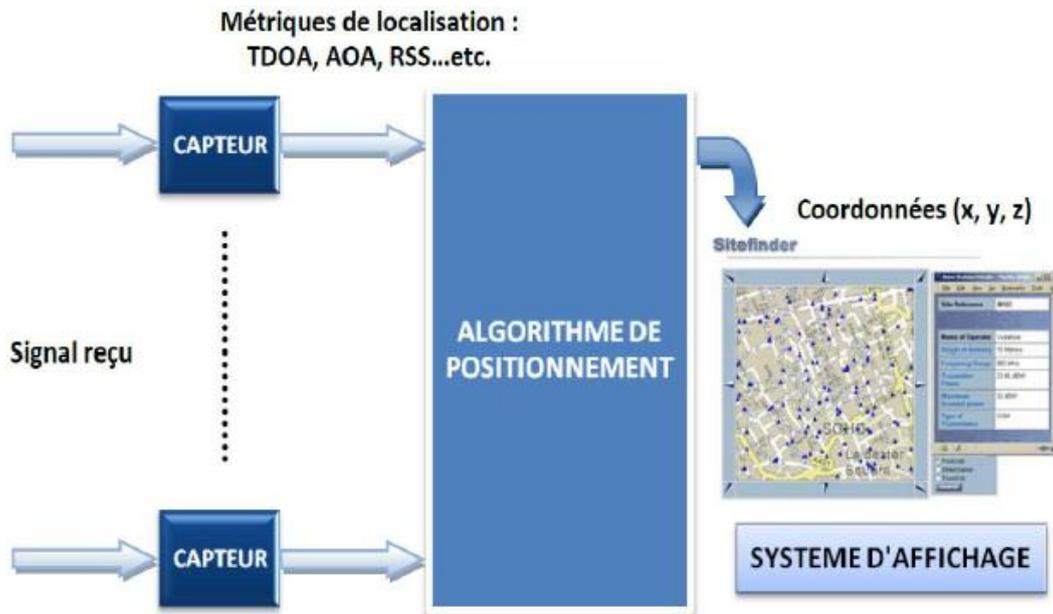


Figure III.1: Schéma synoptique des blocs fonctionnels d'un système de positionnement.

Après, l'algorithme de positionnement traite la métrique et estime la position du mobile en utilisant différentes approches. Finalement, le système d'affichage convertit les informations sur la position en format approprié pour l'utilisateur. Un cadre général, pour la conception de système de positionnement et l'évaluation des performances, est exigé pour le succès et la croissance de cette technologie.

Il existe quatre critères de choix pour les systèmes de positionnement qui sont : la performance, le coût, la complexité, la sécurité, et les besoins de l'application [13].

III.2.1. Les systèmes de positionnement dans les réseaux cellulaires

L'utilisation des systèmes de positionnement par satellites pose deux problèmes : le coût non négligeable de l'utilisation du segment spatial qui sera à la charge des opérateurs et la non disponibilité du signal direct spécialement dans la localisation intérieur ou à l'extérieur dans des conditions difficiles : reliefs montagneux, conditions climatiques sévères, ...etc [14]. Pour ces raisons, certains opérateurs se sont orientés vers des réseaux cellulaires ou même des réseaux hybrides.

Il y a eu de nombreuses propositions pour des améliorations aux systèmes de positionnement par des réseaux cellulaires (GSM, UMTS) afin de fournir des services plus précis que Cell-ID (Cell IDentification).

La plupart de ces techniques, sont basées sur la connaissance du temps d'arrivée du signal qui est facilité par le fait que les radios numériques envoient des informations en paquets de données séquentiels très organisés et dépendants du temps.

Il est probable que le positionnement cellulaire ne sera jamais aussi précis que le GPS, mais il a l'avantage de travailler à l'intérieur et dans d'autres zones où les signaux GPS sont difficiles à recevoir [15].

III.2.2. Métriques de positionnement

Trois types de métriques sont généralement retenus dans les systèmes de radiolocalisation : angle d'arrivée, temps d'arrivée, différence de temps d'arrivée et puissance reçue [18].

III.2.2.1. Angles d'arrivée (AOA)

Historiquement, l'angle d'arrivée a été le premier paramètre exploité pour déterminer la position d'un mobile [19]. La technique basée sur l'estimation d'angles d'arrivée utilise des antennes directionnelles ou encore un réseau d'antennes aux stations de bases pour mesurer la direction d'arrivée du signal provenant du trajet direct, émis par le mobile. Cette technique est illustrée à la figure III.2. Les directions du trajet direct forment, respectivement, un angle φ_1 et φ_2 avec un axe prédéfini aux stations de bases BS1 et BS2. Leur intersection donne la position exacte du mobile. Cependant, étant donné que les antennes de réception disposent d'une marge d'erreurs... Alors chaque station de base localise le mobile, plutôt dans un faisceau égal à la direction mesurée plus ou moins en fonction de la marge d'erreur. Le mobile se trouve ainsi dans la région formée par l'intersection des deux faisceaux.

D'autres techniques statistiques de positionnement directes ou itératives sont utilisées pour déterminer plus précisément le mobile dans cette région. Plus le mobile est éloigné des stations de base, plus grande est la zone d'intersection. La précision de cette technique se dégrade au fur et à mesure que le mobile s'éloigne des stations de base. On remarque aussi que lorsque le mobile se trouve sur la droite reliant les deux stations de base, il devient difficile de détecter sa position. Pour ces raisons, plus de deux stations de base sont généralement utilisées pour augmenter la précision de cette technique.

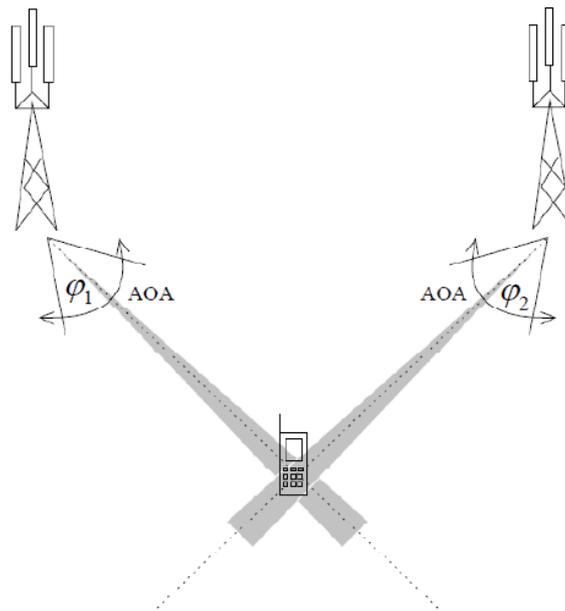


Figure III.2. Technique de radiolocalisation basée sur l'angle d'arrivée des signaux des trajets directs Reçus.

La technique de radiolocalisation utilisant l'angle d'arrivée des signaux reçus donne des erreurs de localisation importantes en milieu interne. En effet, avec les obstacles généralement présents en milieu interne, on peut ne pas recevoir le signal direct aux stations de base. L'angle d'arrivée d'un trajet réfléchi est alors pris comme étant celui du trajet direct; ce qui introduit de larges erreurs. Même en cas de présence du trajet direct, de puissants trajets réfléchis peuvent causer des interférences avec le trajet direct et introduire d'importantes erreurs dans l'estimation de l'angle d'arrivée de ce dernier. D'autre part, l'utilisation d'antennes directionnelles fait que le suivi d'un mobile en mouvement devient difficile car cela nécessite de rediriger constamment les antennes afin de leur permettre une réception optimale du signal direct provenant du mobile.

Tout ceci, fait que la technique de radiolocalisation utilisant l'angle d'arrivée des signaux n'est pas très utilisée dans les environnements internes, surtout lorsque le profil de propagation du signal par trajets multiples du milieu est très sévère [12].

III.2.2.2. Temps de propagation

Un autre paramètre utilisé pour la localisation est le temps de propagation des signaux. Il suffit de connaître l'instant d'émission et l'instant de réception des signaux pour calculer la distance qui sépare l'émetteur du destinataire grâce au temps de propagation et à sa vitesse.

Quand les entités sont parfaitement synchronisées, ce procédé s'appelle Heure d'Arrivée (Time Of Arrival, TOA). Deux stratégies sont possibles :

- Soit que l'estimation des temps d'arrivée s'effectue à l'aide des signaux de la liaison montante, émis par le mobile et reçus au niveau des BSs (figure III.3 (a)).
- Soit que l'estimation des temps d'arrivée est réalisée à partir des signaux de la liaison descendante, les signaux destinés au mobile (figure III.3 (b)).

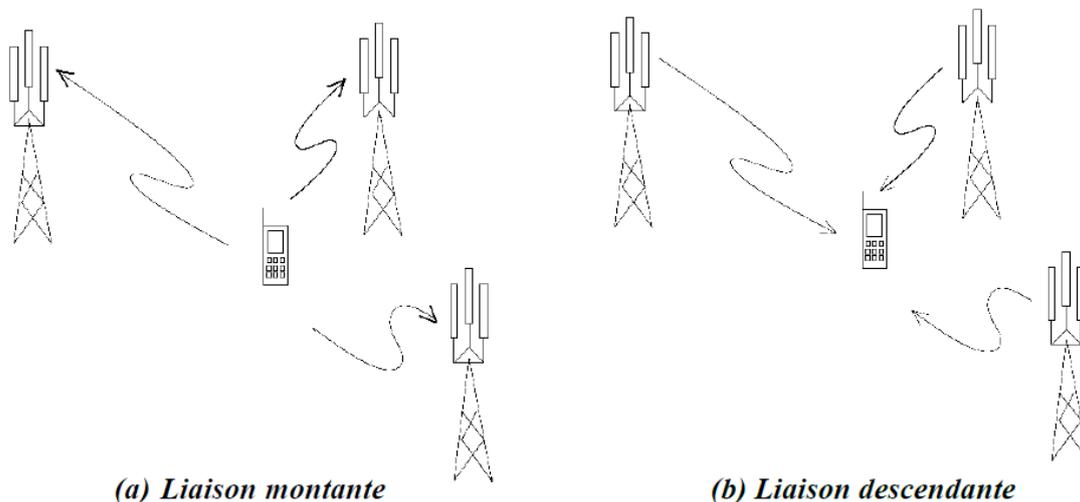


Figure III.3. Estimation des TOAs au niveau des stations de bases (a) et du mobile (b).

S'il n'y a pas de synchronisation forte, la Différence des Temps d'Arrivée (Time Difference of Arrival, TDOA) peut alors être utilisée. Dans le cas des TDOA, les signaux peuvent provenir d'émetteurs distincts ou être de nature différente comme les ultrasons et les signaux radio qui peuvent être émis par une même source.

Il s'agit dans ce cas d'effectuer le calcul sur plusieurs paquets. Le Global Positioning System (GPS) repose sur cette technique.

III.2.2.3. Puissance du Signal

Le dernier paramètre utilisé est la puissance reçue. La méthode de l'indicateur de puissance de signal reçu appelé en anglais Received Signal Strength Indication (RSSI) est basée sur le calcul de la distance entre l'émetteur et le récepteur à partir de la puissance du signal reçu associée à un modèle de propagation dans l'environnement. En effet, la puissance du signal direct reçu par un récepteur est fonction de la distance d séparant l'émetteur et le récepteur. Elle est donnée par la formule [16] :

$$\frac{P_r}{P_t} = G_r \cdot G_t \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (\text{III.1})$$

Où P_t et P_r est la puissance du signal émis et reçu respectivement, G_t et G_r sont les gains respectifs des antennes de l'émetteur et du récepteur et d est la distance entre les deux antennes.

Il faut au moins trois récepteurs pour déterminer la position en 2D. Cette technique peut utiliser la méthode de trilatération pour déterminer l'emplacement de l'unité mobile, telle que représentée sur la Fig.III.4. Les cercles en pointillés indiquent des erreurs dans les mesures RSSI [14].

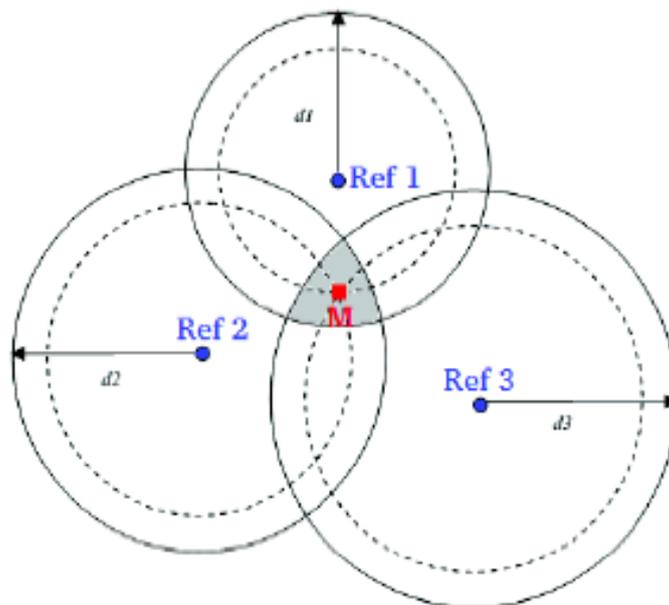


Figure III.4: Localisation par trilatération à partir de trois mesures RSSI des références 1, 2 et 3.

La méthode de RSSI est très utilisée pour les systèmes de localisation urbaine, rurale et aussi à l'intérieur. Le principal désavantage de l'utilisation du RSSI est l'imprécision de la localisation en présence de multi-trajets dans l'environnement. Par exemple, pour la géolocalisation indoor, il faut estimer les perturbations liées aux obstacles comme les murs, cloisons, vitres, équipements électromagnétiques, etc. Quand l'application est à l'extérieur les perturbations sont moindres et le calcul de l'atténuation est simplifié. Par conséquent, les algorithmes de positionnement basés sur le RSSI sont sensibles à l'estimation des paramètres de l'environnement.

Dans ce mémoire, le RSSI a été choisi comme technique de localisation. Car elle représente la meilleure solution vu les contraintes des deux techniques précédentes (TOA, AOA).

III.2.3. Estimation de la position

Après la collecte des paramètres, on leur applique des méthodes pour déterminer la position de la station mobile [20]. Selon la présence d'une base de données (données de formation), un type de techniques d'estimation de la position peut être envisagée:

- ❖ Méthodes statistiques et géométriques (déterministes) : Ces techniques n'utilisent pas une telle base de données, et estiment la position de la station mobile directement à partir des paramètres estimés du signal [20].

- ❖ Les méthodes déterministes appliquent des relations géométriques pour déterminer la position de la station mobile en utilisant les coordonnées des stations de base qui sont connues et les distances calculées à partir des paramètres radio. On suppose généralement que les stations de base, ainsi que le mobile, sont situés dans un plan bidimensionnel (2D).

a. Angulation

Pour déterminer les coordonnées (X_{MS}, Y_{MS}) d'une station mobile (MS) en appliquant la méthode d'angulation, au moins deux stations de base BS1 et BS2 sont nécessaires, et leurs coordonnées (X_{BSk}, Y_{BSk}) doivent être connues, avec $k \in \{1, 2\}$. La seule information fournie par les stations de base sont les angles φ_k .

En général, deux stations de base forment le système d'équations suivant :

$$\begin{bmatrix} \tan \varphi_1 & -1 \\ \tan \varphi_2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{BS1} \tan \varphi_1 - Y_{BS1} \\ X_{BS2} \tan \varphi_2 - Y_{BS2} \end{bmatrix} \quad (\text{III.2})$$

Dans le cas où $\tan \varphi_1 = \tan \varphi_2$, les stations de base et la station mobile sont situées sur la même ligne, et le système d'équations (II.01) est singulier. Une station de base supplémentaire est nécessaire pour déterminer les coordonnées de la station mobile, mais elle ne doit pas être située sur la même ligne que les deux autres stations de base utilisées initialement.

Exemple : Les angles mesurés sont illustrés à la fig.III.4, où la station mobile est située à $(X_{MS}, Y_{MS}) = (5, 5)$ et est observée à partir de trois stations de base, $(X_{BS1}, Y_{BS1}) = (3, 5)$ avec $\varphi_1 = 0$, $(X_{BS2}, Y_{BS2}) = (5, 2)$ avec $\varphi_2 = 90^\circ$, et $(X_{BS3}, Y_{BS3}) = (9, 8)$ avec $\varphi_3 = 143,13^\circ$.

Dans la pratique, plus de deux stations de base peuvent être disponibles, et le système d'équations suivant peut être formé :

$$\begin{bmatrix} \tan \varphi_1 - 1 \\ \vdots \\ \tan \varphi_n - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{BS1} \tan \varphi_1 - Y_{BS1} \\ \vdots \\ X_{BSn} \tan \varphi_n - Y_{BSn} \end{bmatrix} \quad (\text{III.3})$$

Où $n \in \mathbb{N}$ et $n \geq 2$. Le système (III.02) peut être réécrit sous une forme matricielle :

$$A \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = b \quad (\text{III.4})$$

Le système (III.03) peut être résolu dans le sens des moindres carrés, on obtient le système suivant :

$$A^T A \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = A^T b \quad (\text{III.5})$$

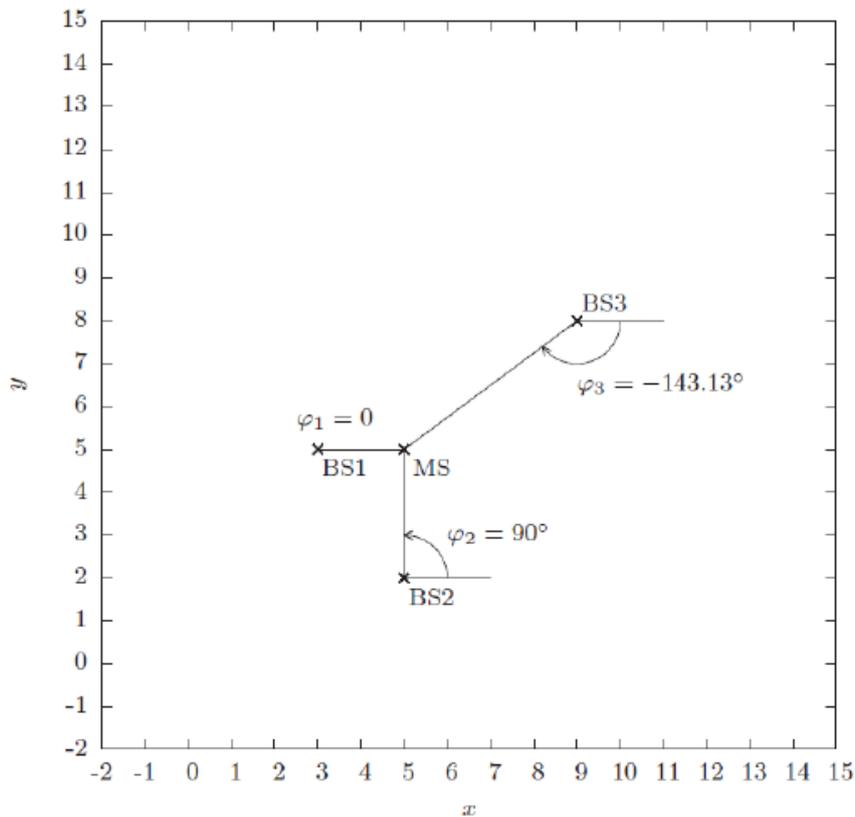


Figure III.5: Angulation.

Une technique similaire, souvent désignée par ‘triangulation’, peut être appliquée. Dans cette technique l’objet est localisé dans un sommet du triangle, tandis que les deux autres sommets du triangle sont des stations de base. Deux angles sont mesurés pour déterminer la position de l’objet. Les angles sont fréquemment mesurés par rapport à la position de l’autre station de base. Sachant les coordonnées des stations de base, les angles peuvent être recalculés et utilisés pour déterminer la position de l’objet.

b. Latération circulaire (Circular lateration)

La ‘Latération circulaire’ est une méthode basée sur la distance r_k de la station mobile à partir d’au moins trois stations de base BS_k , avec $k \in \{1, \dots, n\}$, $n \geq 3$. Les coordonnées (X_{BSk}, Y_{BSk}) des stations de base sont supposées connues.

Un exemple pour la latération circulaire utilisant les mêmes coordonnées des stations de base et de la station mobile que celles de l’angulation à la fig III.4 est présenté à la fig III.5, où l’information sur la position de la station mobile est contenue dans les distances r_k au lieu des angles φ_k .

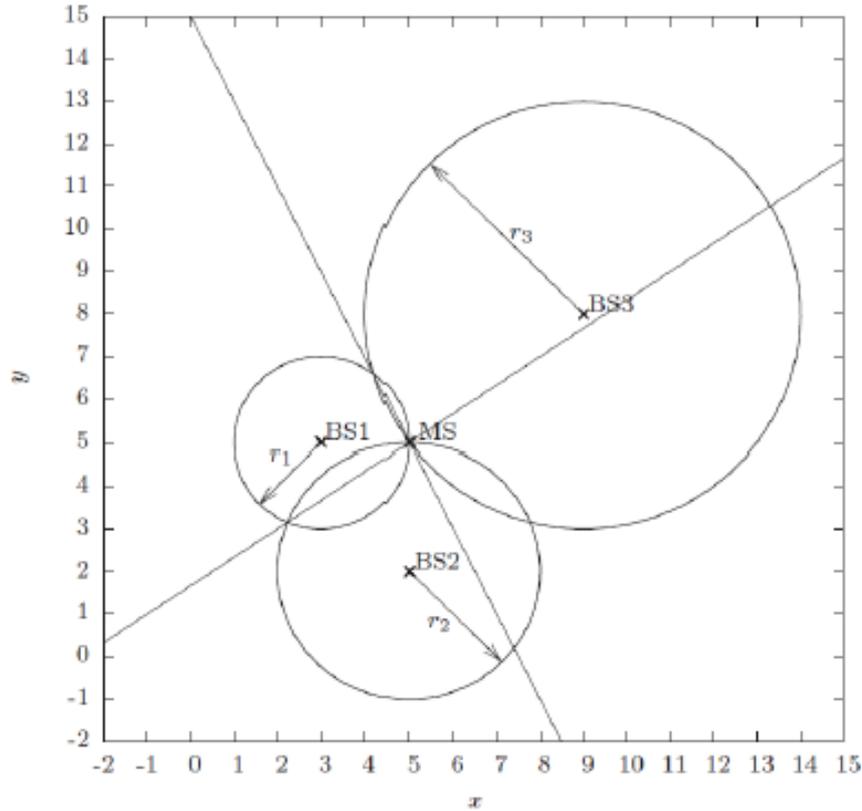


Figure III.5: La latération circulaire.

Le système d'équations régissant la latération circulaire est :

$$(X_{MS} - X_{BSk})^2 + (Y_{MS} - Y_{BSk})^2 = r_k^2 \quad (\text{III.6})$$

Il s'agit d'un système d'équations non linéaire. Selon la représentation géométrique à la fig.III.5, chaque équation représente un cercle, centré sur la station de base correspondante, d'où le nom de la méthode 'latération circulaire'.

Le système d'équations non linéaires peut être transformé en un système d'équations linéaires en appliquant des transformations algébriques. La première étape dans les transformations algébriques est de développer les termes de l'équation (III.05)

$$X_{MS}^2 - X_{MS}X_{BSk} + X_{BSk}^2 + Y_{MS}^2 - Y_{MS}Y_{BSk} + Y_{BSk}^2 = r_k^2 \quad (\text{III.7})$$

Ensuite, tous les termes au carré sont déplacés vers le côté droit

$$-X_{MS}X_{BSk} - Y_{MS}Y_{BSk} = r_k^2 - X_{BSk}^2 - Y_{BSk}^2 - X_{MS}^2 - Y_{MS}^2 \quad (\text{III.8})$$

Pour $k = 1$ et en multipliant par -1 , on aura :

$$X_{MS}X_{BS1} + Y_{MS}Y_{BS1} = -r_1^2 + X_{BS1}^2 + Y_{BS1}^2 + X_{MS}^2 + Y_{MS}^2 \quad (\text{III.9})$$

En sommant les deux équations (III.07) et (III.08), on aura :

$$2(X_{BS1} - X_{BSk})X_{MS} + 2(Y_{BS1} - Y_{BSk})Y_{MS} = r_k^2 - r_1^2 + X_{BS1}^2 - X_{BSk}^2 + Y_{BS1}^2 - Y_{BSk}^2 \quad (\text{III.10})$$

Pour $k \in \{2, 3\}$, on obtient un système d'équations qui peut être exprimé sous la forme matricielle suivante dans le cas où $n = 3$ stations de base:

$$\begin{bmatrix} X_{BS1} - X_{BS2} & Y_{BS1} - Y_{BS2} \\ X_{BS1} - X_{BS3} & Y_{BS1} - Y_{BS3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_2^2 - r_1^2 + X_{BS1}^2 - X_{BS2}^2 + Y_{BS1}^2 - Y_{BS2}^2 \\ r_3^2 - r_1^2 + X_{BS1}^2 - X_{BS3}^2 + Y_{BS1}^2 - Y_{BS3}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.11})$$

Dans le cas où des mesures à partir de n stations de base, $n \geq 3$ sont disponibles, on aura le système d'équations sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} X_{BS1} - X_{BS2} & Y_{BS1} - Y_{BS2} \\ \vdots & \vdots \\ X_{BS1} - X_{BSn} & Y_{BS1} - Y_{BSn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{MS} \\ Y_{MS} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_2^2 - r_1^2 + X_{BS1}^2 - X_{BS2}^2 + Y_{BS1}^2 - Y_{BS2}^2 \\ \vdots \\ r_n^2 - r_1^2 + X_{BS1}^2 - X_{BSn}^2 + Y_{BS1}^2 - Y_{BSn}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.12})$$

Ce système prend la même forme que (II.03), et doit être résolu comme (II.04) pour estimer la position de la station mobile.

c. Latération hyperbolique (hyperbolic lateration)

La 'Latération hyperbolique' est une méthode qui permet de déterminer l'emplacement de la station mobile à partir des informations sur les différences de distances. Elle s'appelle 'Latération hyperbolique' parce qu'elle emploie des hyperboles et non pas des cercles. Pour illustrer cette méthode, l'ensemble des stations de base BS1: (3, 5), BS2: (5, 2), BS3: (9, 8) et la station mobile positionnée à (5, 5) sont utilisées, comme le montre la fig. III.6 qui représente les hyperboles entre deux paires de stations de bases. La même configuration a été déjà utilisée pour illustrer l'angulation et la latération circulaire.

La position du mobile se trouve à l'intersection des deux hyperboles 'f' et 'C'; La première ayant comme foyers la position de la BS de référence et la seconde BS, quant à la seconde hyperbole, elle a comme foyers la BS de référence et la troisième BS.

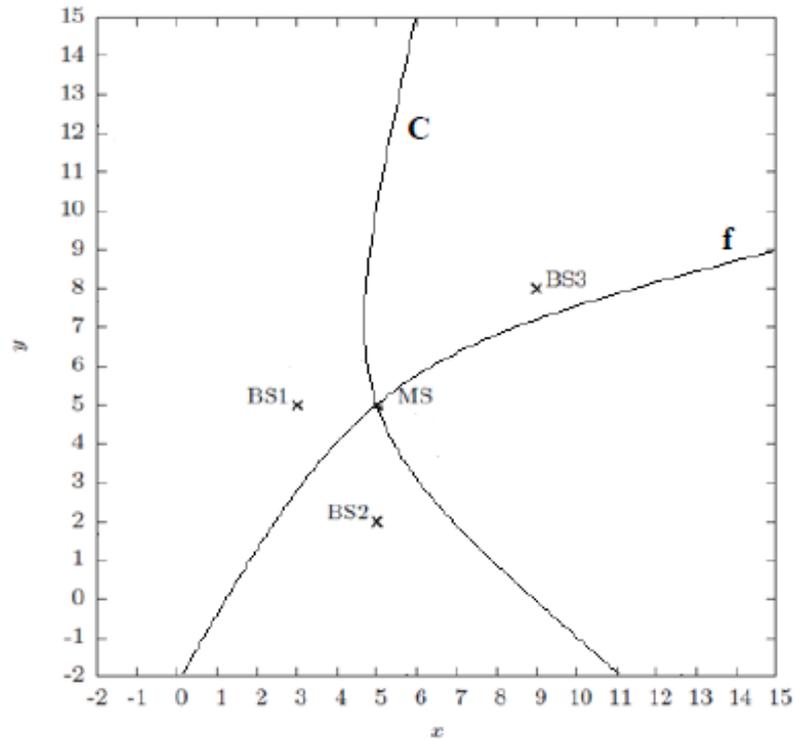


Figure III.6: Latération hyperbolique.

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une part, les différentes techniques de positionnement d'un mobile qui exploite les informations portées par les trames des signaux des BTS et sur l'information de la BTS elle-même. (Position GPS, Azimut, Puissance d'émission, ...). D'où, il faut disposer d'une base de données sur les BTS de l'opérateur en question pour pouvoir exploiter au maximum ces algorithmes.

D'autre part, les paramètres de localisation, telles que les AOAs, TOAs et les TDOAs doivent être mesurés avec précision avant d'être utilisés par un algorithme adéquat pour calculer une estimation de la position du MS.

La partie suivante sera dédiée pour l'étude du système Android ainsi que le développement de notre application de localisation des terminaux mobiles.

Chapitre IV

Conception et Réalisation de L'application

IV.1. Introduction

Android est un système d'exploitation open source basé sur le noyau Linux, développé par Google et destiné pour une variété de terminaux mobiles (Smartphones, tablettes, PDA..).

Depuis son lancement en 2007 Android est devenu le système d'exploitation le plus utilisé au monde. Les services offerts par Android facilitent notamment l'exploitation des réseaux de télécommunications GSM, Bluetooth, Wi-Fi et UMTS, la manipulation de médias, notamment de la vidéo, l'audio et l'image

Dans ce chapitre, nous allons présenter une application développée en Android Java, qui exploite les algorithmes de positionnement basées sur les systèmes cellulaire, en particulier l'algorithme qui utilise la puissance du signal reçu sur un mobile.

IV.2. Présentation du système Android :

L'histoire a commencé en Octobre 2003 dans l'État de Californie, où la société Android a été officiellement créée dans le cadre de développement des applications mobiles, racheté par Google en aout 2005.

2 ans plus tard en Novembre 2007 a eu lieu la présentation du consortium Open Handset Alliance (Google + industriels) et de l'Android Open Source Project (AOSP), version beta sous licence Open Source Apache.

Septembre 2008 : 1ère version finale avec le téléphone HTC Dream. [21]

À partir de ce moment-là, le rythme des nouvelles sorties est très élevé: pas moins de 11 versions différentes sont sorties en 3 ans. On remarquera au passage que chaque version d'Android porte le nom d'un dessert.

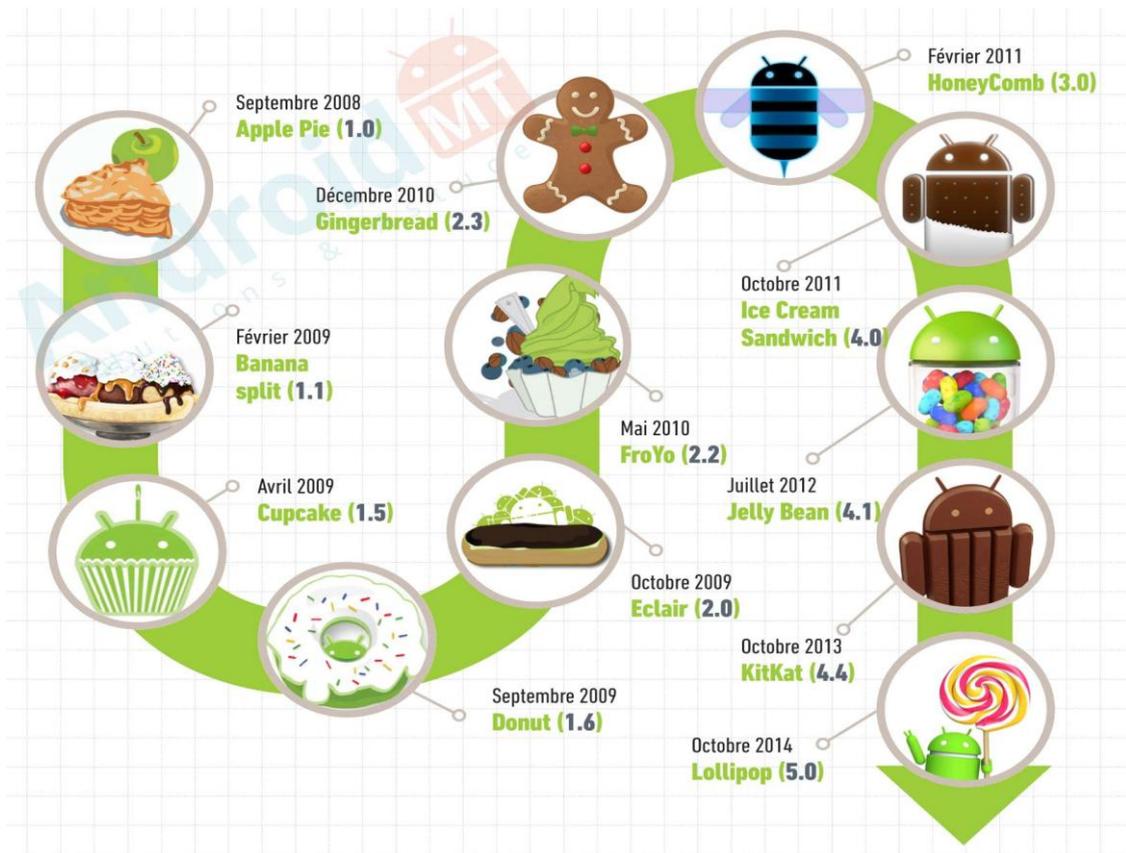


Figure IV.1: Les différentes versions d'Android. [22]

IV.3. Architecture de la plateforme Android [22]

L'architecture Android se divise en quatre principaux niveaux décrits comme suite selon une démarche de plus bas vers le plus haut :

- ✓ Le noyau linux.
- ✓ Les bibliothèques et l'environnement d'exécution.
- ✓ Le module de développement d'applications
- ✓ Les différentes applications.

La figure suivante montre les différentes parties constituant l'architecture Android :

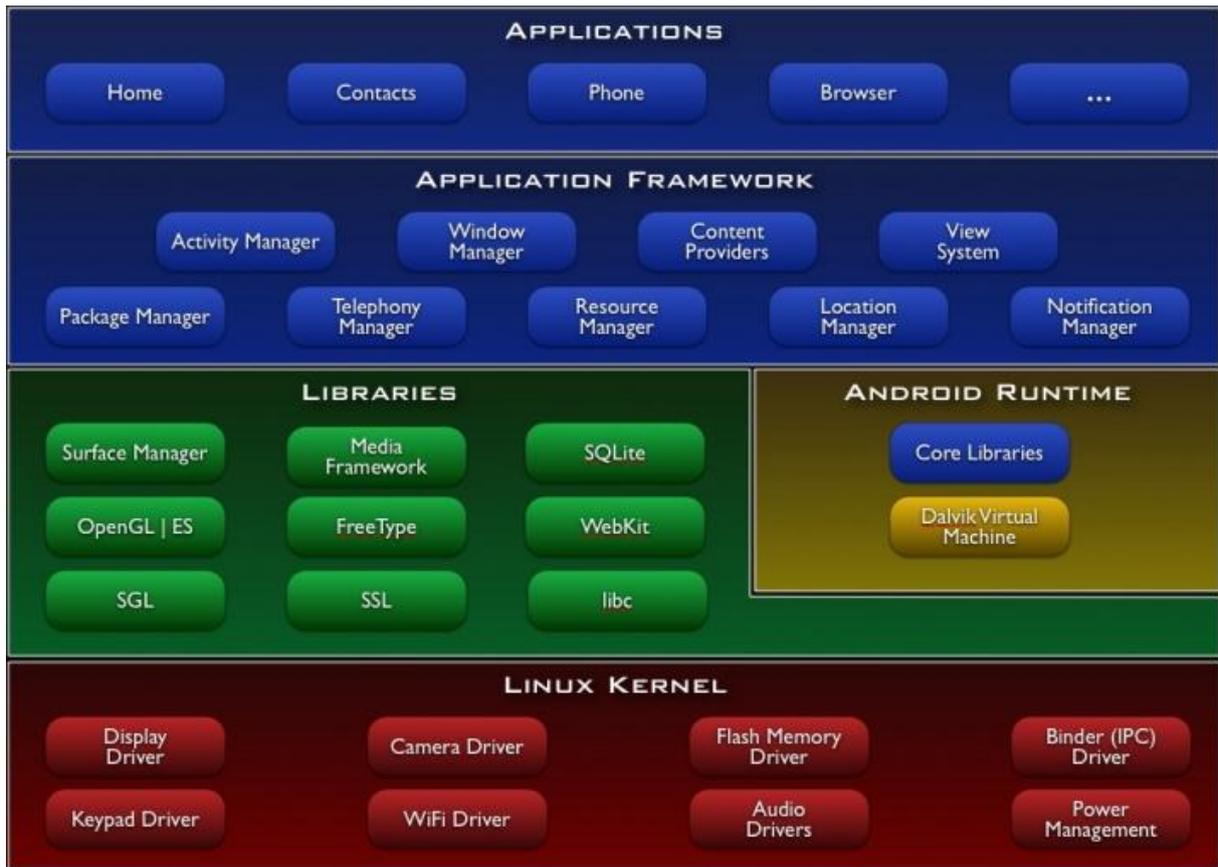


Figure IV. 2 : L'architecture de la plateforme Android. [23]

IV.4. Le Développement sous Android

Le développement des applications sous Android, passe par un ensemble d'outils nécessaire, vu que l'installation et la description des différents environnements sous Android risque de prendre un volume énorme, on va se contenter d'évoquer juste les parties essentielles et leurs intérêt.

IV.4.1. Langage JAVA

Sorti en 1995, JAVA est un langage de programmation orienté objet, open source (depuis 2006). Développé par Sun Microsystems, qui est racheté en 2009 par Oracle.

Simple, Robuste et dynamique, les applications écrites en JAVA peuvent être fonctionnelles sur une variété de systèmes d'exploitation.

Une application exécutable sous Android (interprétable par une interface en JAVA) est un fichier avec l'extension « APK »

IV.4.2. Le SDK (Software Development Kit) Android

Un SDK est un kit de développement logiciel, c'est un ensemble d'outils qui met à disposition un éditeur permettant de développer des applications pour un environnement précis.

Le SDK Android permet, donc, de développer des applications uniquement pour Android.

Le SDK contient :

- ✓ Les bibliothèques Java pour créer des logiciels.
- ✓ Les outils de mise en boîte des logiciels.
- ✓ Un émulateur de tablettes pour tester les applications AVD.
- ✓ Un outil de communication avec les vraies tablettes ADB.

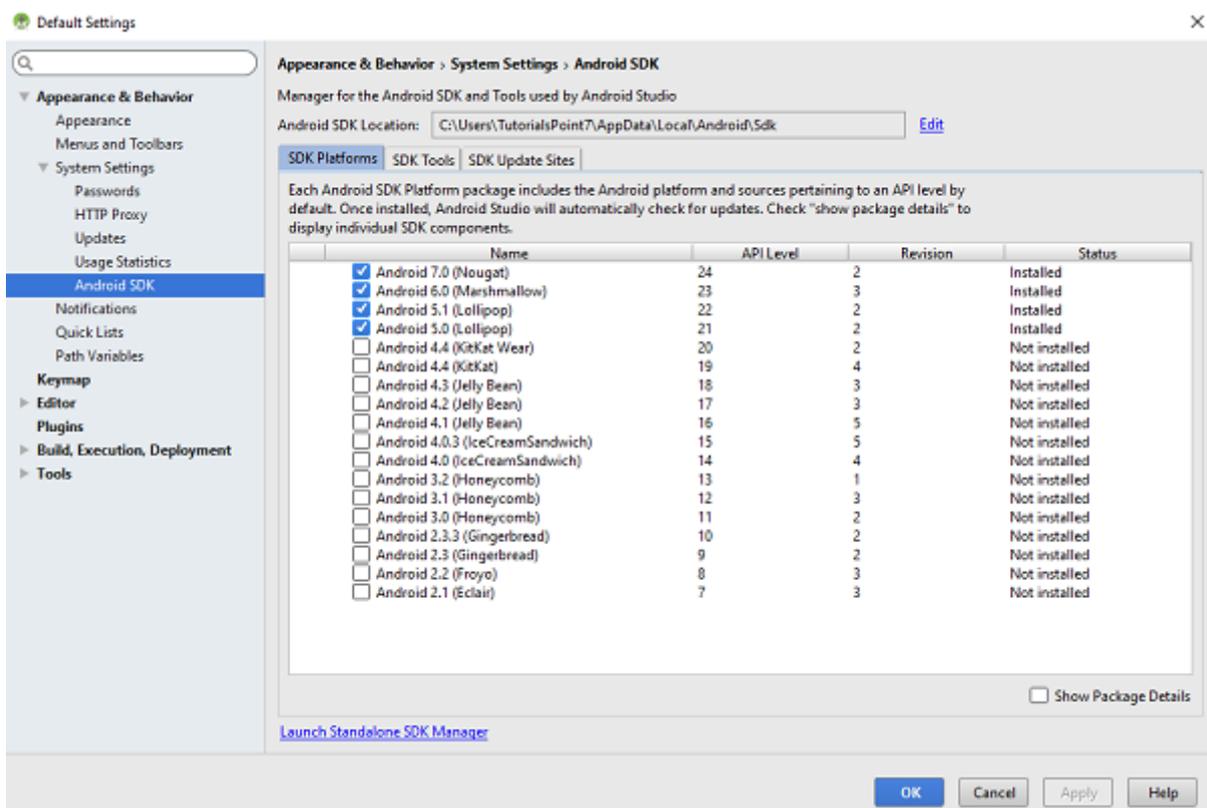


Figure IV. 3: Le SDK Manager Android.

Voyant les noms des SDK, Il est écrit à chaque fois:

Android [un nombre] (API [un autre nombre]): La présence de ces nombres s'explique par le fait qu'il existe plusieurs versions de la plateforme en circulation.

Le premier nombre correspond à la version d'Android et le second à la version de l'API Android associée.

Quand on développe une application, il faut prendre en considération ces numéros, puisqu'une application développée pour une version précise d'Android ne fonctionnera pas pour les versions antérieures [24].

IV.4.3. Le JDK (Java Development Kit) [24]

Les applications développées pour Android étant essentiellement écrites en langage java, un langage de programmation orienté objet qui a la particularité d'être très portable. Cela signifie qu'un programme Java, fonctionnant sur Windows (par exemple), pourra facilement tourner sur Mac ou GNU/Linux.

Cette petite prouesse vient du fait que Java s'appuie sur une machine virtuelle pour s'exécuter (appelée la JVM). Pour avoir une JVM sur votre ordinateur, il vous faut télécharger le JRE. Ce dernier contient, en plus de la JVM, des bibliothèques Java standards.

La JVM ne lit pas directement le code Java. Elle lit un code compilé (le byte code). Pour passer du code Java, que le développeur écrit, au code compilé, lu par la JVM, des outils spéciaux sont nécessaires. Ces outils sont inclus dans le JDK. De plus, le JDK contient le JRE (et donc la machine virtuelle), ce qui est bien pratique

Pour résumer, on dit que :

- Pour un simple utilisateur de Java : il doit avoir le JRE.
- Pour un développeur : il aura besoin des outils du JDK.

IV.5. Architecture d'un projet sous Android

Le passage à Android studio a donné lieu à un seul projet contenant plusieurs modules, contrairement à Eclipse où on utiliserait plusieurs projets avec des dépendances entre chacun

Une activité, vis-à-vis du code, est séparée en 2 morceaux: un fichier XML, et un fichier JAVA.

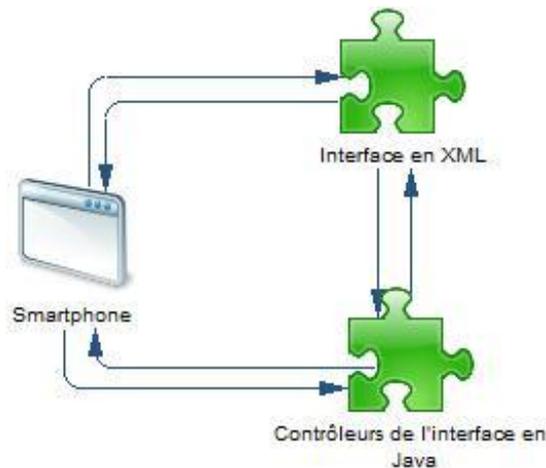


Figure IV. 4: Architecture de base d'une application Android. [25]

Les sources d'une application Android possèdent une structure bien définie qui doit être respectée. Ces arborescences permettent non seulement de rendre les projets plus lisibles et organisés, mais aussi de simplifier le développement.

Lors de la création d'un nouveau projet, voici l'arborescence qui est automatiquement générée:

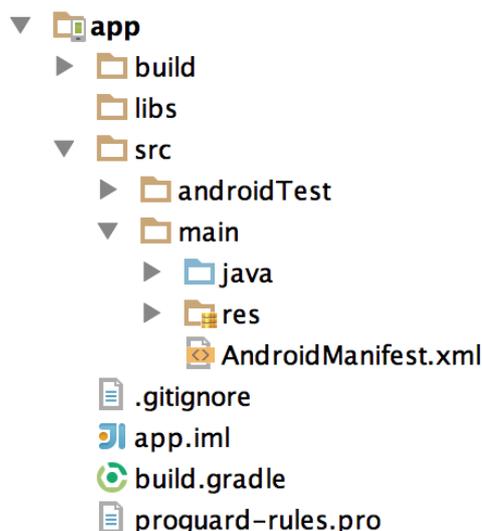


Figure IV. 5: Architecture du projet Android Studio.

- **AndroidManifest.xml**: fichier XML décrivant l'application et ses composants, tels que les activités, les services, etc. Lors de la création d'une activité, une erreur courante pour un premier projet Android est d'oublier de la déclarer dans le fichier Manifest. C'est une étape indispensable pour le fonctionnement de l'application. Le Manifest est, en quelque sorte, la carte d'identité de l'application, et permet d'autoriser l'exécution des activités et autres actions de l'application.

- **res**: répertoire contenant toutes les ressources telles que les images, les vues de l'interface graphique, etc., nécessaires à l'application. Ce répertoire est structuré par défaut de la manière suivante :

- ✓ **res/drawable**: contient les ressources de type image.
- ✓ **res/layout**: contient les descriptions des interfaces graphiques au format XML (les vues).
- ✓ **res/xml**: contient les fichiers XML supplémentaires (non présents par défaut).
- ✓ **res/menu**: contient la description des menus, composants très courants d'une vue.
- ✓ **res/values**: contient diverses ressources, telles que les textes, qui sont empaquetées sans aucun traitement.

- **Le fichier build.gradle**: sert dans la configuration pour le nouveau moteur de production nommé Gradle, qui sera utilisé pour construire notre application afin de la déployer sur notre Smartphone ou sur le Play Store. Au moment de la compilation du projet, l'application finale est générée au format **APK**, dans le répertoire bin de l'arborescence. C'est ce fichier qu'il faut ensuite déployer sur les équipements, afin de pouvoir faire tourner l'application.

IV.6. Composants principaux d'une application Android

Il existe 3 fichiers majeurs dans une application Android:

- **MainActivity.java** : C'est là que passe le code Java. Il contrôle la façon dont l'application fonctionnera.

- **Activity_main.xml** : Cela contient la mise en page de l'application, c'est-à-dire les composants ou les boutons similaires aux widgets, TextViews etc.

- **AndroidManifest.xml** : C'est là que vous **définissez** quand l'application doit démarrer, les autorisations dont elle a besoin et le matériel dont elle a besoin.

IV.7. Cycle de vie d'une application Android

Toute application Android est soumise à un cycle de procédure (figure IV.6). Définissant l'interface à mettre en place ainsi que les fonctionnalités des éléments de celle-ci.

Le cycle de vie d'une application permet aussi de pouvoir libérer l'espace durant une autre activité.

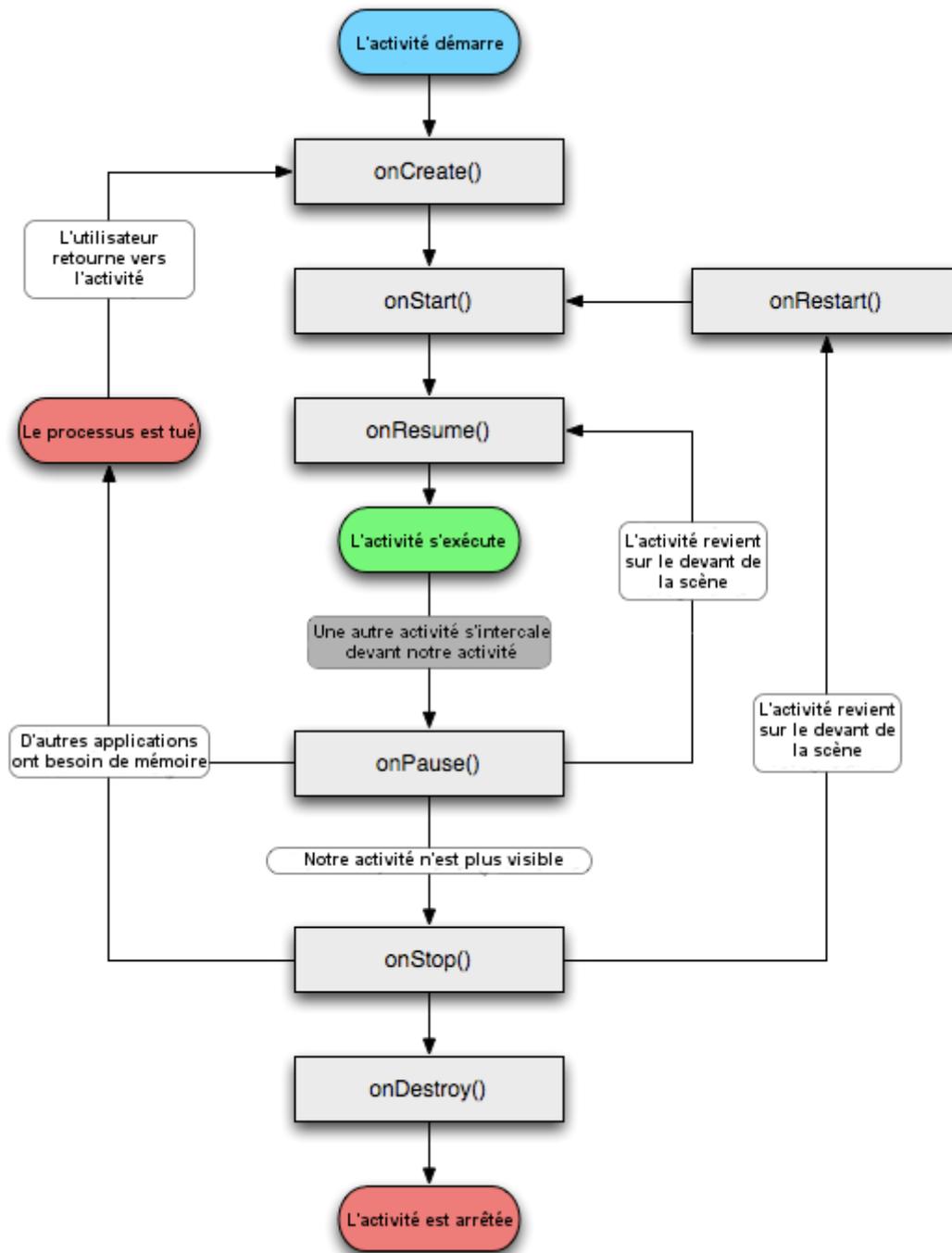


Figure IV. 6: Cycle de vie d'une application Android.

La méthode onCreate () est appelée à la création de votre activité. Elle sert à initialiser l'activité ainsi que toutes les données nécessaires à cette dernière. Quand la méthode onCreate () est appelée, on lui passe un Bundle en argument. Ce Bundle contient l'état de sauvegarde enregistré lors de la dernière exécution de l'activité. [26]

La méthode onStart () signifie le début d'exécution de l'activité (début du passage au premier plan). Si l'activité ne peut pas aller en avant plan, pour une quelconque raison, elle sera transférée à onStop ().

La méthode onResume () est appelée lorsque l'activité commencera à interagir avec l'utilisateur juste après avoir été dans un état de pause.

La méthode onPause () est appelée au passage d'une autre activité en premier plan. L'intérêt d'un tel appel est de sauvegarder l'état de l'activité et les différents traitements effectués par l'utilisateur. A ce stade, notre activité n'a plus accès à l'écran, nous devons arrêter de faire toute action en rapport avec l'interaction utilisateur (désabonner les listeners).

La méthode onStop () est appelée quand l'activité n'est plus visible quel que soit la raison. Dans cette méthode nous devons arrêter tous les traitements et services exécutés par notre application.

La méthode onDestroy () est appelée quand notre application est totalement fermée (Processus terminé). Les données non sauvegardées sont perdues.

IV.8. Création d'un projet Android

Après l'installation et lancement du logiciel Android Studio, une fenêtre s'ouvre comme la montre la figure (IV.7).

Comme une première étape on va sélectionner « Start à new Android Studio Project » pour ouvrir un nouveau projet.

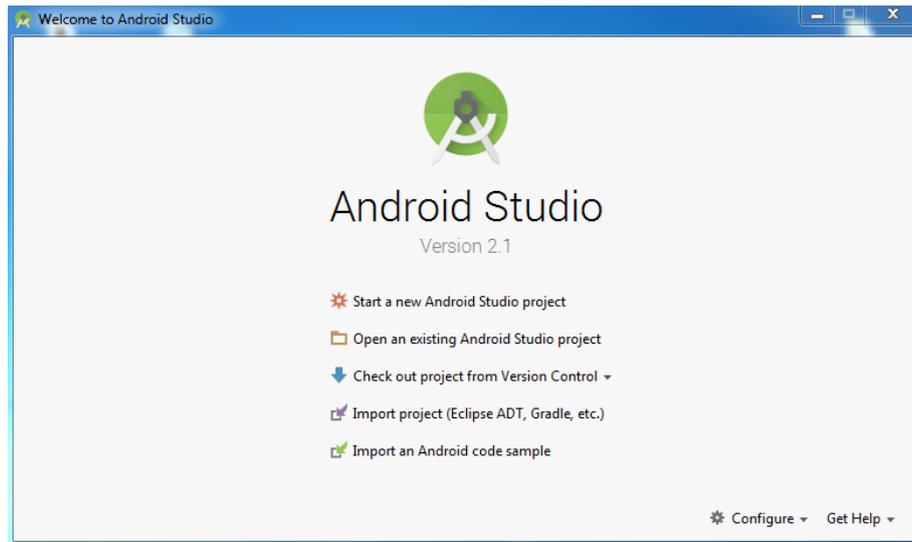


Figure IV. 7: Création d'un projet Android.

Après avoir choisis de créer un nouveau projet, une nouvelle fenêtre (figure IV.8) s'ouvre pour remplir les informations de notre nouvelle application qui sont:

Application Name: C'est le nom qui va apparaître dans la liste des applications sur l'appareil et dans le Play Store.

Company Domain: C'est un qualificatif qui apparaîtra dans le nom du package.

Package Name: il est utilisé comme identifiant de l'application.

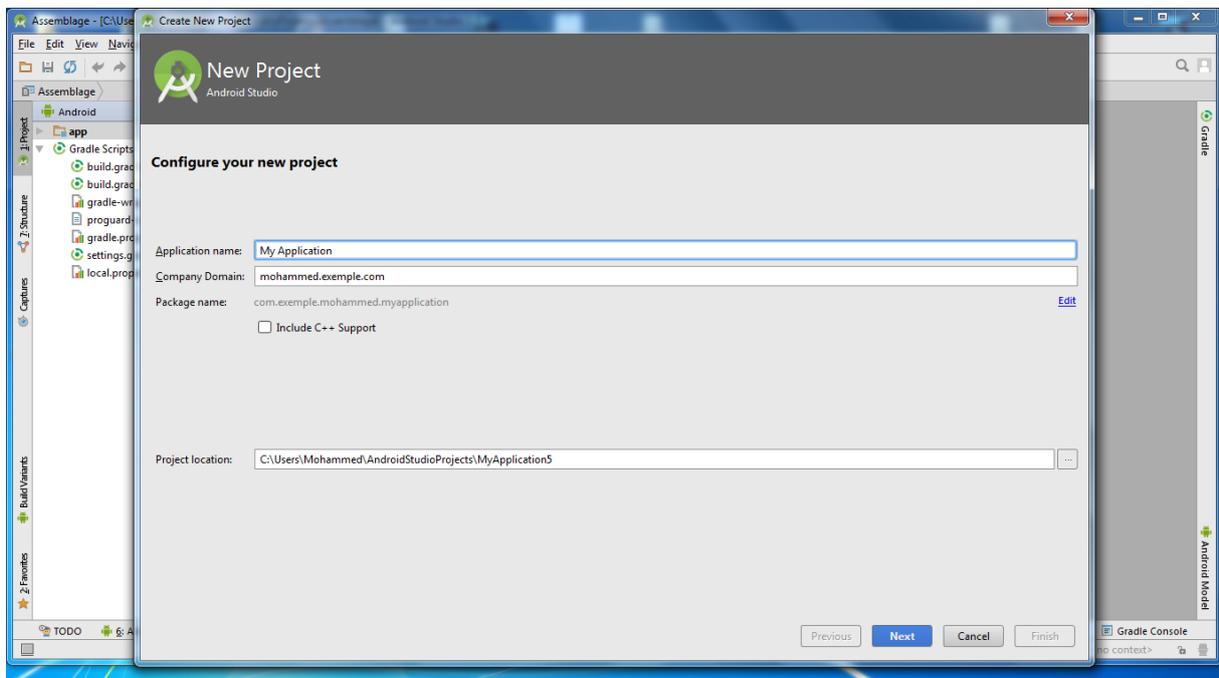


Figure IV. 8: Configuration du projet Android.

L'étape suivante (figure IV.9) est destinée pour le choix des SDK cibles (configuration minimal requise pour supporter notre application).

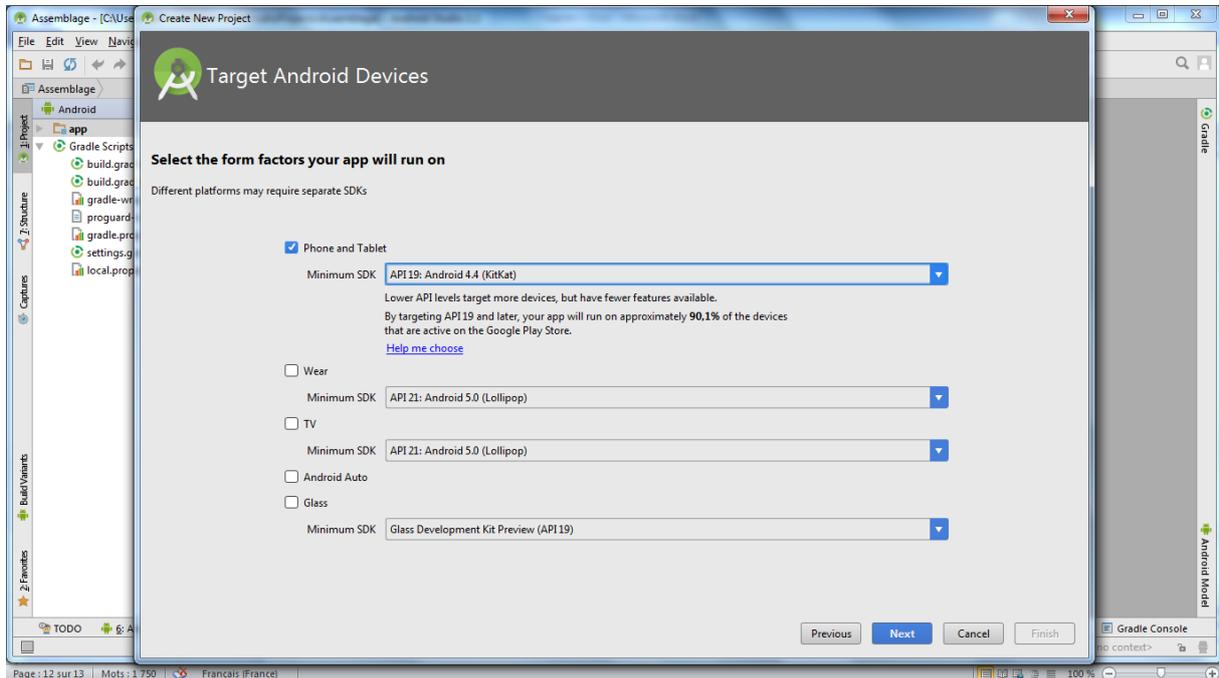


Figure IV. 9: Choix des SDK cibles.

En cliquant sur « Next », on arrive à la création d'une activité (un écran avec une interface graphique), on doit sélectionner « Empty Activity » (figure IV.10) et puis on clique sur « Next » pour y'arriver finalement à l'interface de programmation de notre application.

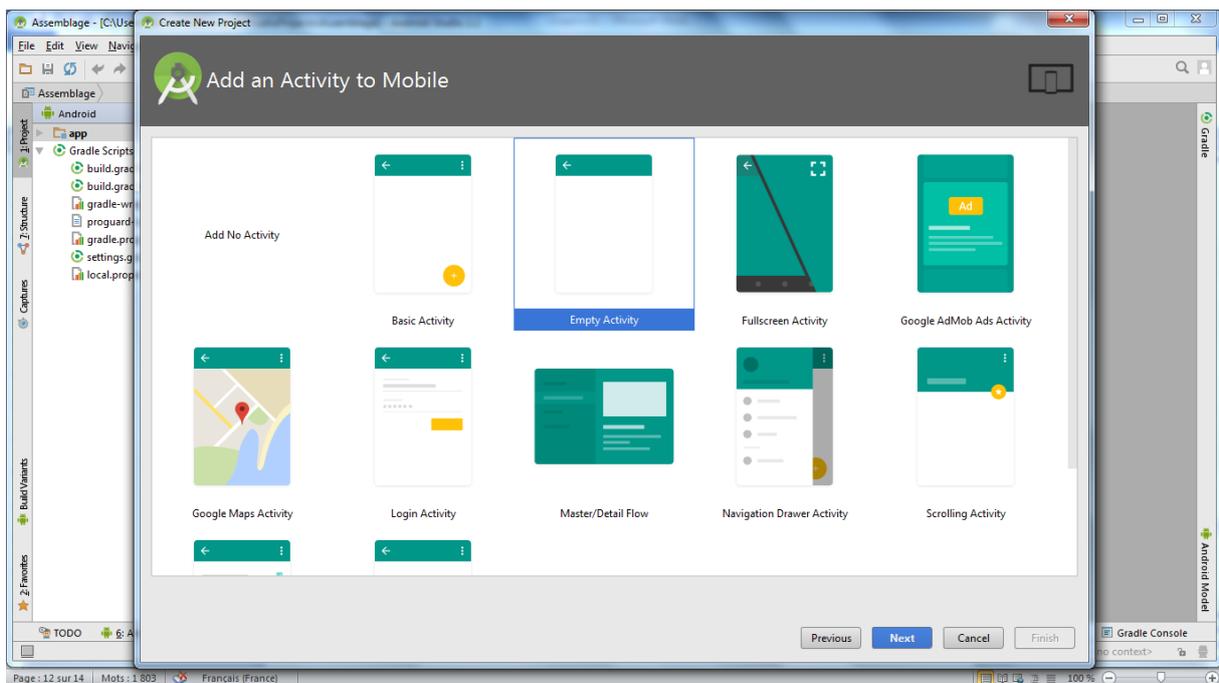


Figure IV. 10: Choix de l'interface graphique.

IV.9. Présentation de l'application (GSM Locator)

Dans cette partie, nous présentons en détaille la conception de notre application qui a pour but la géolocalisation des terminaux mobile en exploitant les données reçu du réseau GSM en particulier la puissance.

Notre application possède une base de données locale (base de données) contenant les informations nécessaires pour la détermination de la position de notre terminal mobile.

La structure de notre projet est composée de 5 activités classées par ordre de fonctionnement suivant :

- ✓ L'interface principale (Main Activity).
- ✓ Interface de recherche (Search Activity).
- ✓ Interface de localisation (Location Activity).
- ✓ Interface de projection (Map Activity).
- ✓ Interface de base de données (DataBase Activity).

Ainsi que 3 autres activité transparente à l'utilisateur est qui s'en charge de :

- ✓ Conversion des coordonnées GPS vers des coordonnées cartésiennes (Deg2UTM Activity).
- ✓ Conversion des coordonnées cartésiennes vers des coordonnées GPS (UTM2Deg Activity).
- ✓ Gestion de Base de données locale (Db Connection Activity).

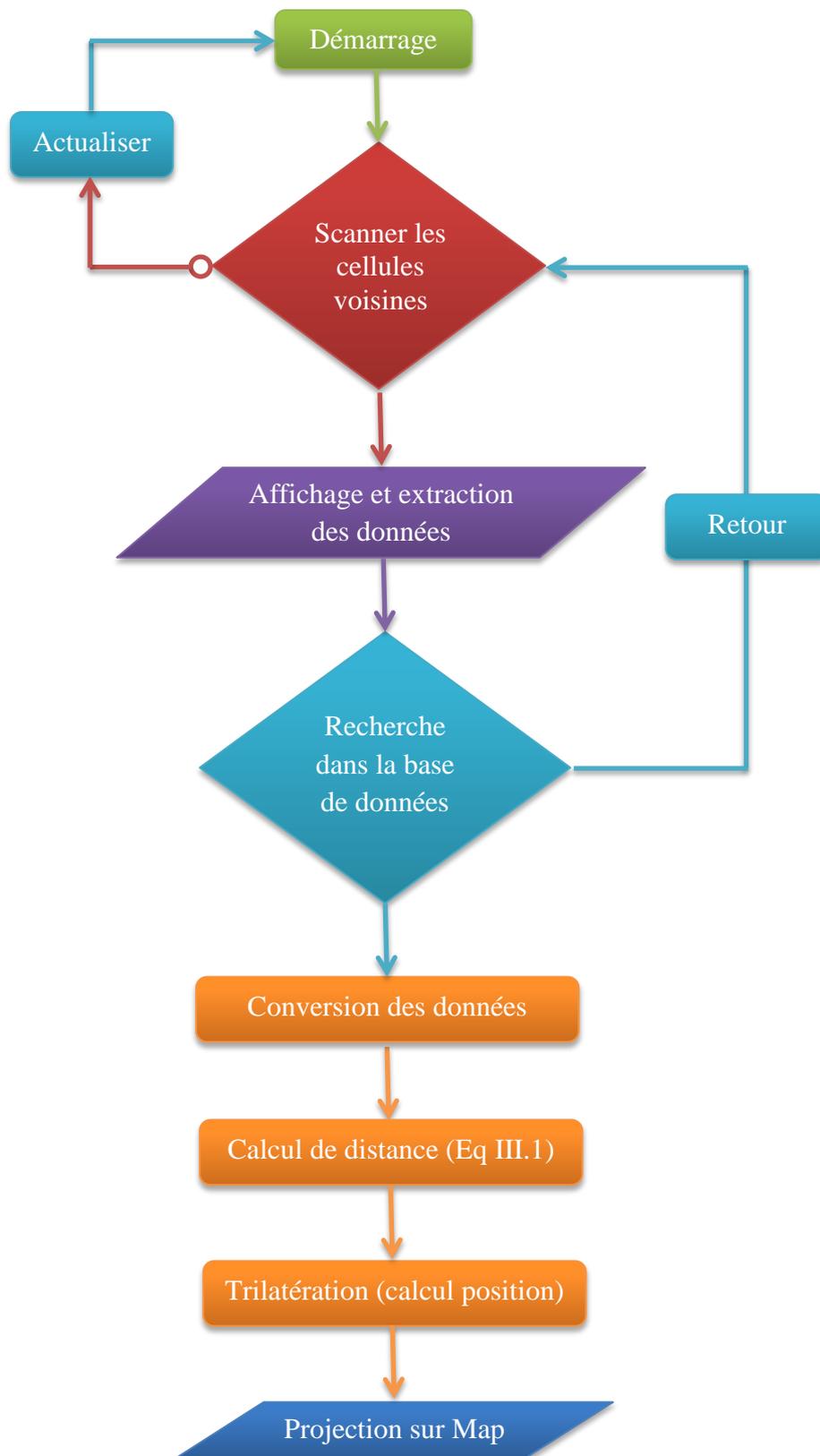


Figure IV. 11. Organigramme fonctionnel de l'application.

Notre application est nommée GSM Locator On lui a conçu une icône de lancement personnalisée et significative à l'utilisateur (figure IV.12).



Figure IV. 12: Icône de lancement d'application (GSM Locator).

L'interface principale de notre application est présentée sur la (figure IV.13), elle affiche les différentes informations récupérées depuis le Smartphone et le réseau GSM.

Les différentes informations sont :

Sim Serial Number: numéro de la carte Sim branché dans le téléphone.

Mobile Country Code (MCC): qui est un code pays sur trois chiffres, standardisé par l'Union internationale des télécommunications (UIT) dans sa recommandation E.212, pour les réseaux de téléphonie mobile, plus particulièrement dans les technologies GSM et UMTS.

Mobile Network Code (MNC): est utilisé en combinaison avec le Mobile country code (MCC) pour l'identification univoque du réseau d'un opérateur de réseau mobile utilisant les normes GSM, CDMA, TETRA, UMTS, LTE.

Cell Id : code unique utilisé pour identifier une station de base BTS ou un secteur d'une Station de base dans une zone précise et couverte par un réseau GSM.

Local Area Code (LAC) : code unique pour chaque zone de couverture du réseau GSM.

Received Signal Strength(RSSI): niveau de signal reçu depuis une cellule du réseau.

Neighboring Cells : l'ensemble des cellules voisines entourant la cellule serveuse et qui appartient au même réseau.

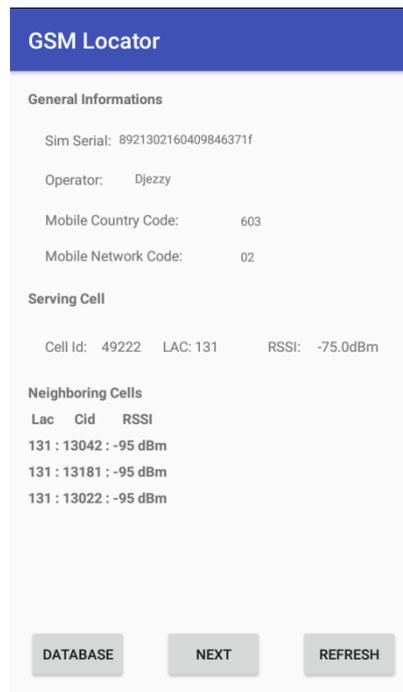


Figure IV. 13: Interface principale de l'application.

Pour assurer l'extraction des informations nécessaire depuis le Smartphone et le réseau, l'utilisateur doit assurer d'avoir un certain nombre de permissions sous la plateforme Android, ces dernières désignent si l'application à l'autorisation d'accès a certain nombre de périphériques installé sur le terminal mobile.

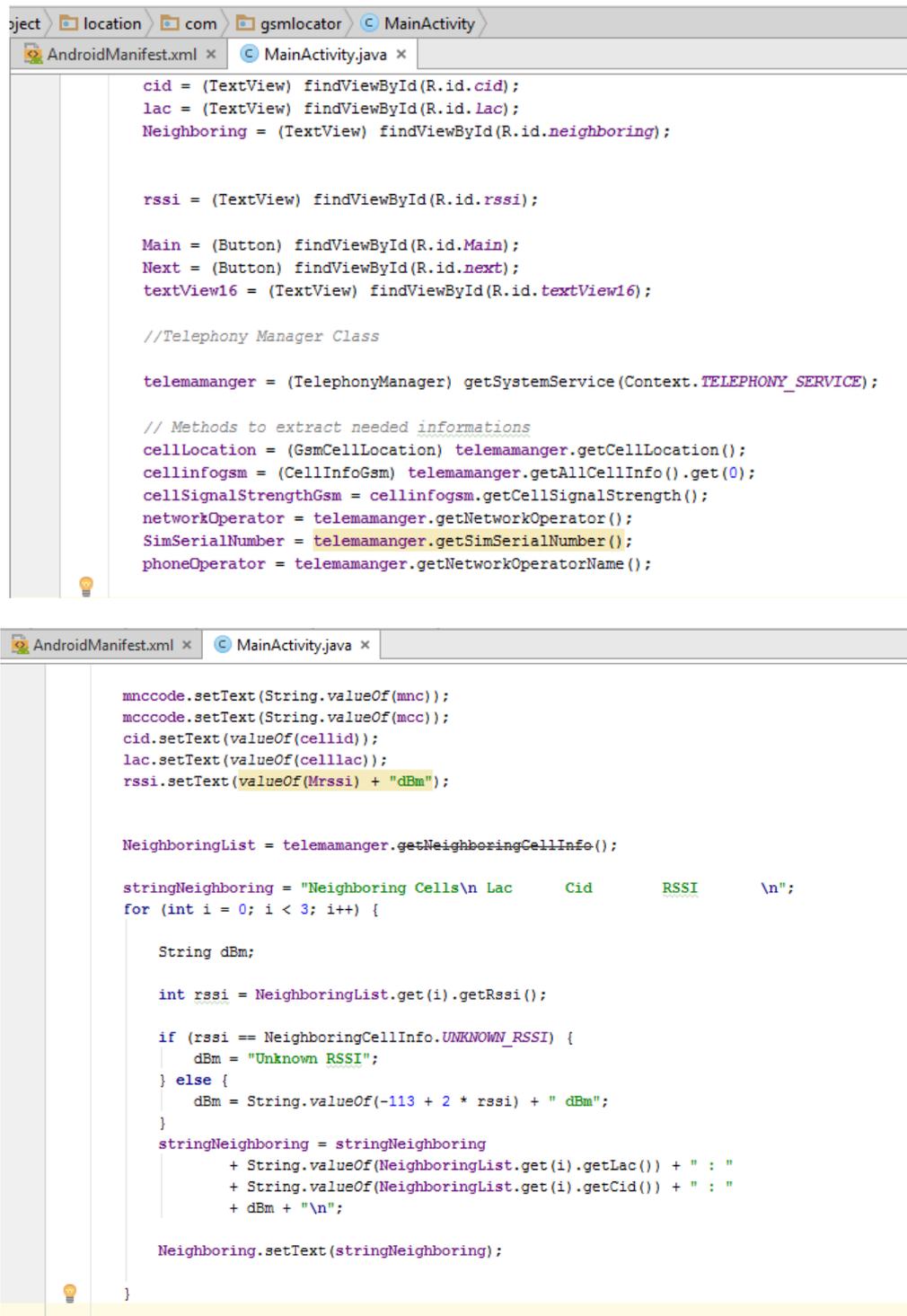
La figure IV.14 est une capture d'écran montrant les permissions nécessaire pour faire fonctionner notre application.

```
manifest | application | activity | intent-filter
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="project.location.com.gsmlocator">

    <uses-permission android:name="android.permission.READ_PHONE_STATE" />
    <uses-permission android:name="android.telephony.gsm.GsmCellLocation" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_COARSE_UPDATES" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE" />
    <uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_NETWORK_STATE" />
    <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE" />
    <uses-permission android:name="com.google.android.providers.gsf.permission.READ_GSERVICES" />
    <uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE" />
```

Figure IV. 14: Permissions nécessaire pour l'application.

Après avoir les bonnes permissions, on donne lieu à l'exploitation des classes permettant d'extraire les différentes informations dont on a besoin pour créer notre application, parmi ces classes on peut citer **Telephony Manager** qui intègre un nombre de méthodes responsable de la détermination des services de la téléphonie ainsi que certain informations de l'utilisateur (carte Sim).



```

bject location com gsmlocator MainActivity
AndroidManifest.xml MainActivity.java
cid = (TextView) findViewById(R.id.cid);
lac = (TextView) findViewById(R.id.lac);
Neighboring = (TextView) findViewById(R.id.neighboring);

rssi = (TextView) findViewById(R.id.rssi);

Main = (Button) findViewById(R.id.Main);
Next = (Button) findViewById(R.id.next);
textView16 = (TextView) findViewById(R.id.textView16);

//Telephony Manager Class

telemamanger = (TelephonyManager) getSystemService(Context.TELEPHONY_SERVICE);

// Methods to extract needed informations
cellLocation = (GsmCellLocation) telemamanger.getCellLocation();
cellinfoGsm = (CellInfoGsm) telemamanger.getAllCellInfo().get(0);
cellSignalStrengthGsm = cellinfoGsm.getCellSignalStrength();
networkOperator = telemamanger.getNetworkOperator();
SimSerialNumber = telemamanger.getSimSerialNumber();
phoneOperator = telemamanger.getNetworkOperatorName();

mnccode.setText(String.valueOf(mnc));
mcccode.setText(String.valueOf(mcc));
cid.setText(valueOf(cellid));
lac.setText(valueOf(ce11lac));
rssi.setText(valueOf(Mrssi) + "dBm");

NeighboringList = telemamanger.getNeighboringCellInfo();

stringNeighboring = "Neighboring Cells\n Lac      Cid      RSSI      \n";
for (int i = 0; i < 3; i++) {

    String dBm;

    int rssi = NeighboringList.get(i).getRssi();

    if (rssi == NeighboringCellInfo.UNKNOWN_RSSI) {
        dBm = "Unknown RSSI";
    } else {
        dBm = String.valueOf(-113 + 2 * rssi) + " dBm";
    }

    stringNeighboring = stringNeighboring
        + String.valueOf(NeighboringList.get(i).getLac()) + " : "
        + String.valueOf(NeighboringList.get(i).getCid()) + " : "
        + dBm + "\n";

    Neighboring.setText(stringNeighboring);
}

```

Figure IV. 15: Extraction des informations nécessaires.

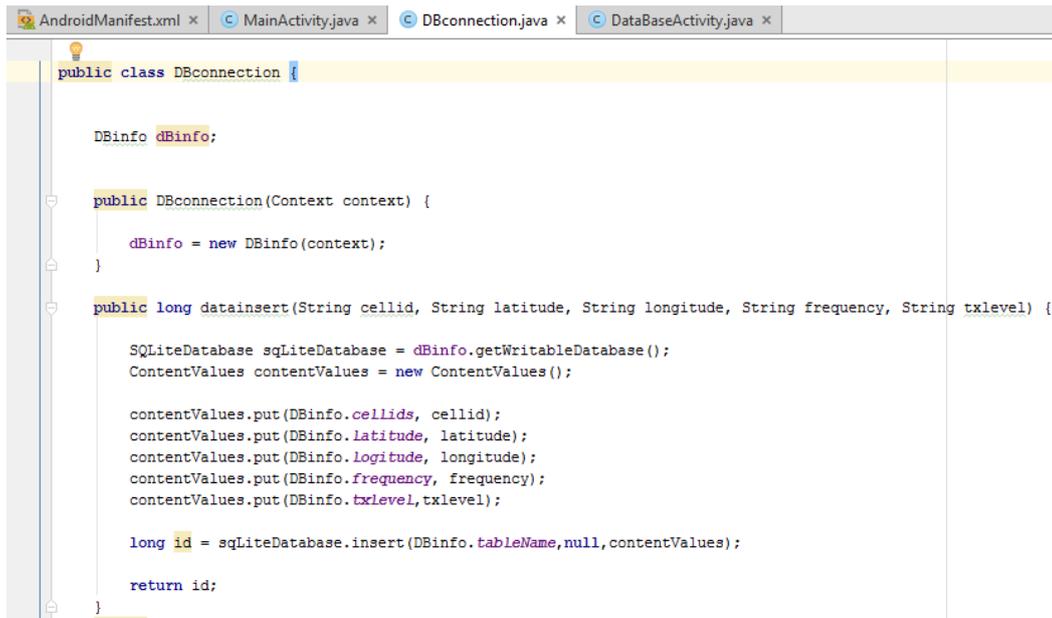
Après avoir récupérer les informations nécessaires depuis le réseau GSM, l'utilisateur aura la possibilité de passer à la 2eme étape. Arrivé à ce stade l'utilisateur peut maintenant effectuer la recherche dans la base de données locale pour extraire les informations qui désignent la position des cellules entourant le terminal mobile.

La figure IV.16 est une capture d'écran de notre base de données

Cell ID	Latitude	Longitude	Frequency	Tx level
1 49223	34.8815	-1.31006	1826.8	13.19
2 49222	34.8815	-1.31006	1826.8	13.19
3 13022	34.88244	-1.30605	938.8	-7.11
4 13181	34.88244	-1.31394	938.6	-12.0

Figure IV. 16: Interface de la base de données.

L'interface de la base de données dispose 5 champs pour la saisie manuelle des informations concernant l'identifiant, la position, la fréquence ainsi que la puissance d'émission des BTS (données nécessaire pour déterminer la position du mobile), l'utilisateur aura la possibilité d'enregistrer, voir les données enregistrées dans la base ou bien revenir en arrière vers l'interface principale, l'accès a la base de données est facultatif si les données sont déjà saisies avant.



```
public class DBconnection {

    DBinfo dBinfo;

    public DBconnection(Context context) {

        dBinfo = new DBinfo(context);

    }

    public long datainsert(String cellid, String latitude, String longitude, String frequency, String txlevel) {

        SQLiteDatabase sqLiteDatabase = dBinfo.getWritableDatabase();
        ContentValues contentValues = new ContentValues();

        contentValues.put(DBinfo.cellids, cellid);
        contentValues.put(DBinfo.Latitude, latitude);
        contentValues.put(DBinfo.Logitude, longitude);
        contentValues.put(DBinfo.frequency, frequency);
        contentValues.put(DBinfo.txLevel, txlevel);

        long id = sqLiteDatabase.insert (DBinfo.tableName, null, contentValues);

        return id;

    }

}
```

Figure IV. 17: Instructions permettant d'insérer les informations dans la base de données.



```
}

public String viewData(){

    SQLiteDatabase sqLiteDatabase = dBinfo.getWritableDatabase();

    String [] columns = {DBinfo.UID,DBinfo.cellids,DBinfo.Latitude,DBinfo.Logitude,DBinfo.frequency,DBinfo.txlevel };
    Cursor cursor= sqLiteDatabase.query(DBinfo.tableName,columns,null,null,null,null,null);

    StringBuffer stringBuffer = new StringBuffer();

    while (cursor.moveToNext()){

        int uid = cursor.getInt(0);
        int cellidd = cursor.getInt(1);
        double latitudee = cursor.getDouble(2);
        double longituede = cursor.getDouble(3);
        double frequencyy = cursor.getDouble(4);
        double txlevel1 = cursor.getDouble(5);

        stringBuffer.append(uid +" "+cellidd +" "+latitudee +" "+longituede +" "+frequencyy +" "+txlevel1 +" " +"\n");

    }

    return stringBuffer.toString();

}
```

Figure IV. 18: Instructions permettant d'afficher les informations de la base de données.

Par mesure de sécurité, l'accès à la base de données ne peut être possible qu'à travers l'application qu'on a conçu, cela pour protéger les données de l'opérateur.

On passe à la phase de recherche et extraction de données, la figure IV.19 est une capture de l'interface de la recherche (SearchData Activity).

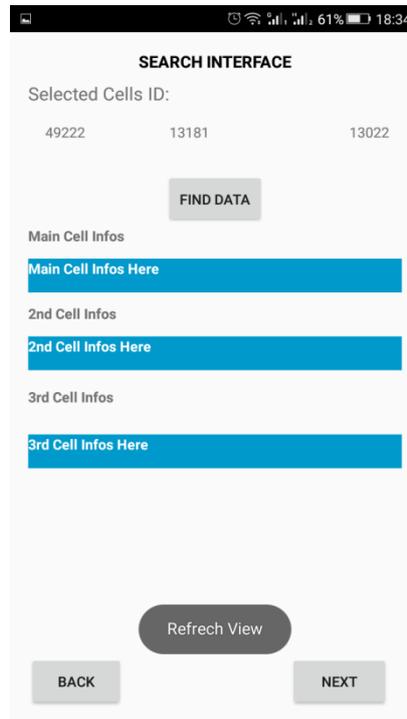
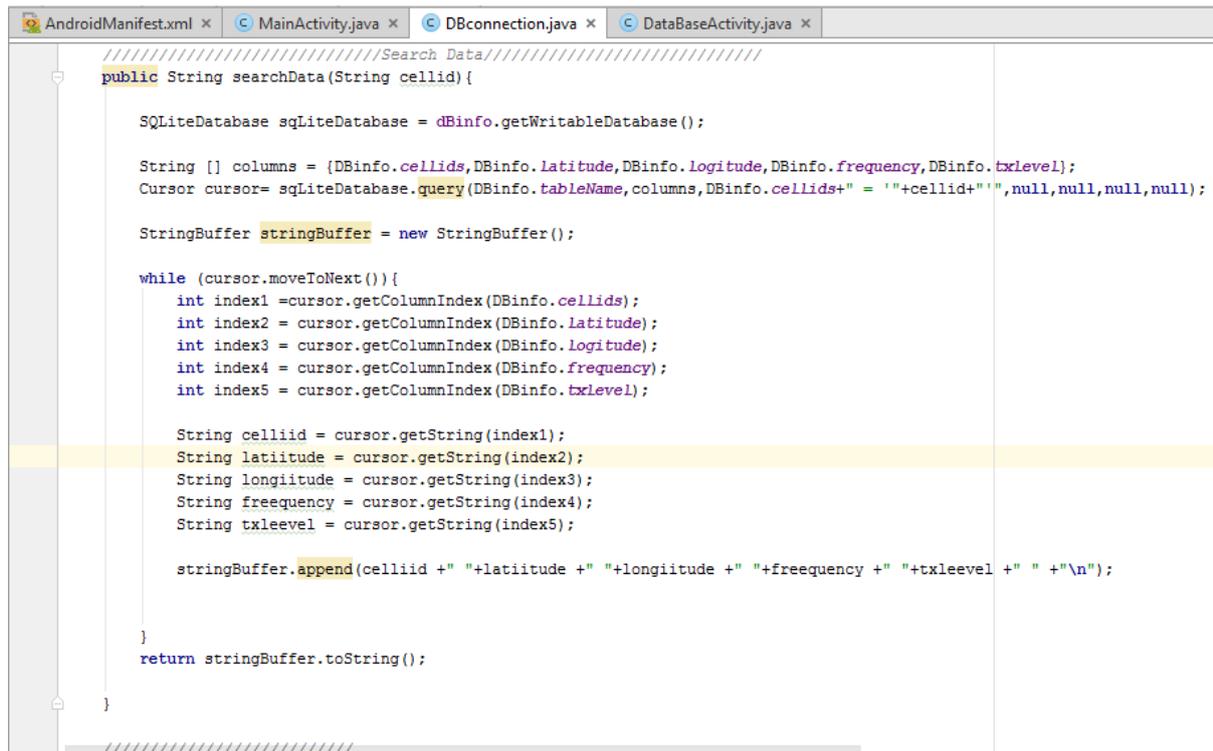


Figure IV. 19: Interface de recherche.

La sélection des « Cell-Ids » se fait automatiquement sur l'interface principale de l'application, les identifiants seront envoyés à l'interface de la recherche (affichés en haut de la fenêtre), en cliquant sur le bouton (Find DATA), l'utilisateur va pouvoir visualiser et récupérer les données de chacune des 3 cellules sélectionnées.

Par la programmation, le bloc responsable à la recherche de données est le suivant (figure IV. 20) :



```
////////////////////////////////////Search Data////////////////////////////////////
public String searchData(String cellid){

    SQLiteDatabase sqLiteDatabase = dBInfo.getWritableDatabase();

    String [] columns = {DBInfo.cellids,DBInfo.Latitude,DBInfo.Logitude,DBInfo.frequency,DBInfo.txlevel};
    Cursor cursor= sqLiteDatabase.query(DBInfo.tableName,columns,DBInfo.cellids+" = "+cellid+"",null,null,null,null);

    StringBuffer stringBuffer = new StringBuffer();

    while (cursor.moveToNext()){
        int index1 =cursor.getColumnIndex(DBInfo.cellids);
        int index2 = cursor.getColumnIndex(DBInfo.Latitude);
        int index3 = cursor.getColumnIndex(DBInfo.Logitude);
        int index4 = cursor.getColumnIndex(DBInfo.frequency);
        int index5 = cursor.getColumnIndex(DBInfo.txlevel);

        String celliid = cursor.getString(index1);
        String latiitude = cursor.getString(index2);
        String longiitude = cursor.getString(index3);
        String freequency = cursor.getString(index4);
        String txlevel = cursor.getString(index5);

        stringBuffer.append(celliid + " "+latiitude + " "+longiitude + " "+freequency + " "+txlevel + " " +"\n");

    }
    return stringBuffer.toString();
}
```

Figure IV. 20: Bloc responsable de la recherche de données.

En cliquant sur **Next**, un autre bloc de l'application s'exécute, les données obtenues depuis l'interface actuelle (Search Interface) seront envoyées à l'interface suivante qui s'en occupe de calcul de la position de terminal mobile utilisant les données récupérées depuis l'interface principale et la base de données.

La figure IV.21 montre l'interface de calcul de position, on peut voir les différents champs affichants les informations nécessaires pour effectuer le calcul de la position qui est présenté sur la figure IV.22

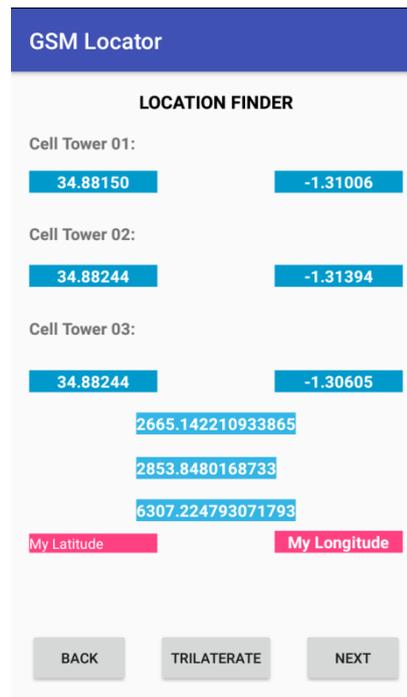


Figure IV. 21: Interface de calcul de position.

```

double r3 = Double.parseDouble(dist3.getText().toString());*/

//calcul des coordonnées de U:
double x1Sq = x1 * x1, x2Sq = x2 * x2, x3Sq = x3 * x3,
    y1Sq = y1 * y1, y2Sq = y2 * y2, y3Sq = y3 * y3,
    r1Sq = r1 * r1, r2Sq = r2 * r2, r3Sq = r3 * r3;

double numerator1 = (x2 - x1) * (x3Sq + y3Sq - r3Sq) + (x1 - x3) * (x2Sq + y2Sq - r2Sq) + (x3 - x2) * (x1Sq + y1Sq - r1Sq);
double denominator1 = 2 * (y3 * (x2 - x1) + y2 * (x1 - x3) + y1 * (x3 - x2));
double y = numerator1 / denominator1;

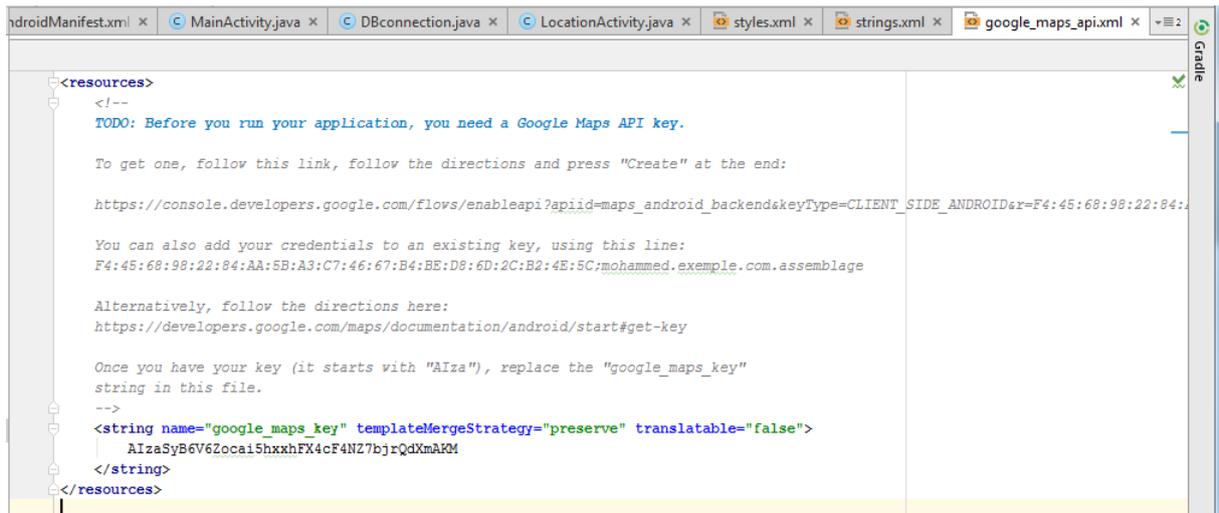
double numerator2 = r2Sq - r1Sq + x1Sq - x2Sq + y1Sq - y2Sq - 2 * (y1 - y2) * y;
double denominator2 = 2 * (x1 - x2);
double x = numerator2 / denominator2;

Lat4.setText(toString().valueOf(x));
Lon4.setText(toString().valueOf(y));

```

Figure. IV. 22: Instructions utilisées pour calculer la position.

La partie suivante a pour rôle la projection des résultats obtenus sur une carte pour pouvoir visualiser la position de terminal mobile, pour cela une **clef-API** de la part de Google est nécessaire pour autoriser l'accès à la carte via internet, l'intégration de la **Clef-API** est nécessaire pour le bon fonctionnement de notre application (Figure IV.23).



```
<resources>
<!--
  TODO: Before you run your application, you need a Google Maps API key.

  To get one, follow this link, follow the directions and press "Create" at the end:

  https://console.developers.google.com/flows/enableapi?apiid=maps_android_backend&keyType=CLIENT_SIDE_ANDROID&r=F4:45:68:98:22:84:AA:5B:A3:C7:46:67:B4:BE:D8:6D:2C:B2:4E:5C:mohammed.exemple.com.assemblage

  You can also add your credentials to an existing key, using this line:
  F4:45:68:98:22:84:AA:5B:A3:C7:46:67:B4:BE:D8:6D:2C:B2:4E:5C:mohammed.exemple.com.assemblage

  Alternatively, follow the directions here:
  https://developers.google.com/maps/documentation/android/start#get-key

  Once you have your key (it starts with "AIza"), replace the "google_maps_key"
  string in this file.
-->
<string name="google_maps_key" templateMergeStrategy="preserve" translatable="false">
  AIzaSyB6V6Zocai5hxxhFX4cF4NZ7bjrQdXmAKM
</string>
</resources>
```

Figure. IV. 23: Intégration de la Clef-API.

IV.10. Résultats et interprétation

Afin de démontrer l'efficacité de notre algorithme et confirmer les résultats obtenus par notre application, des mesures et des essais sont faites, sur terrain à la ville d'Oran, en collaboration avec les ingénieurs de l'opérateur de téléphonie mobile Optimum Telecom Algérie (OTA-Djezzy) du service Network Access.

Durant cette sortie, on a choisi trois points arbitraires pour tester les fonctionnalités et les performances de notre application. Les mesures sont faites également en utilisant l'outil TEMS propriétaire d'OTA-Djezzy (dont il détient la License).

Le TEMS est un outil qui mesure les signaux électromagnétiques du réseau GSM et donne toute les informations de signalisations des BTS détectés par le terminal mobile.

Les résultats des mesures prises par l'outil TEMS, sont affichés sur les figures suivantes:

Point 1 ()

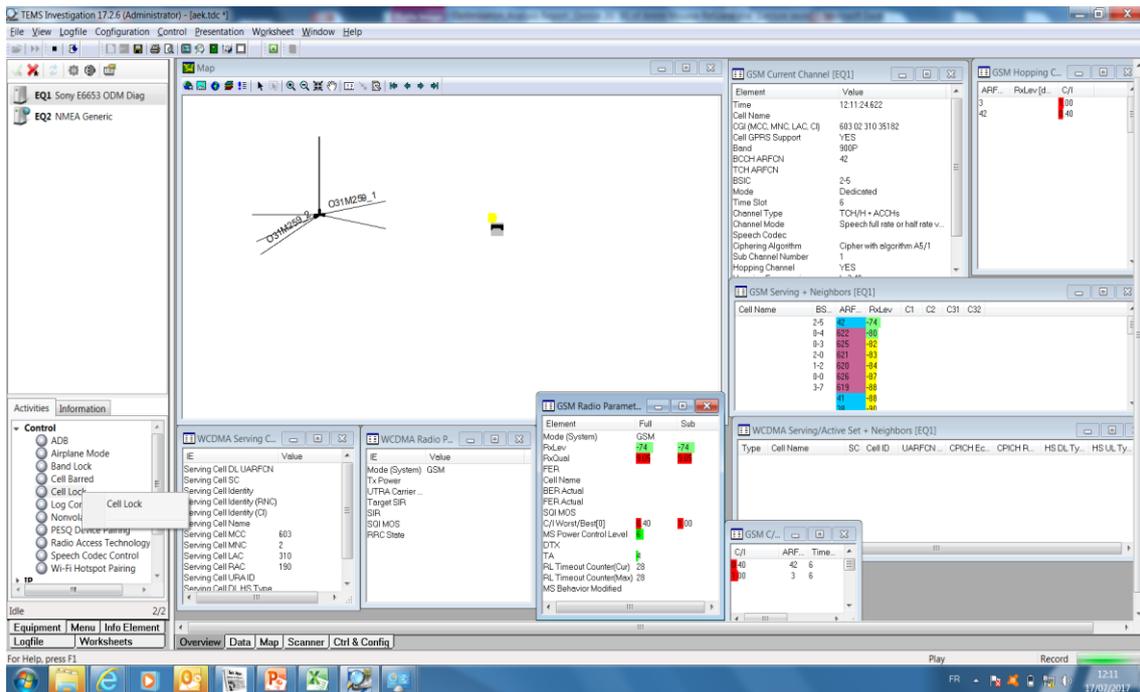


Figure IV. 24: Capture Tems Site1 dont le cell-ID: 35182.

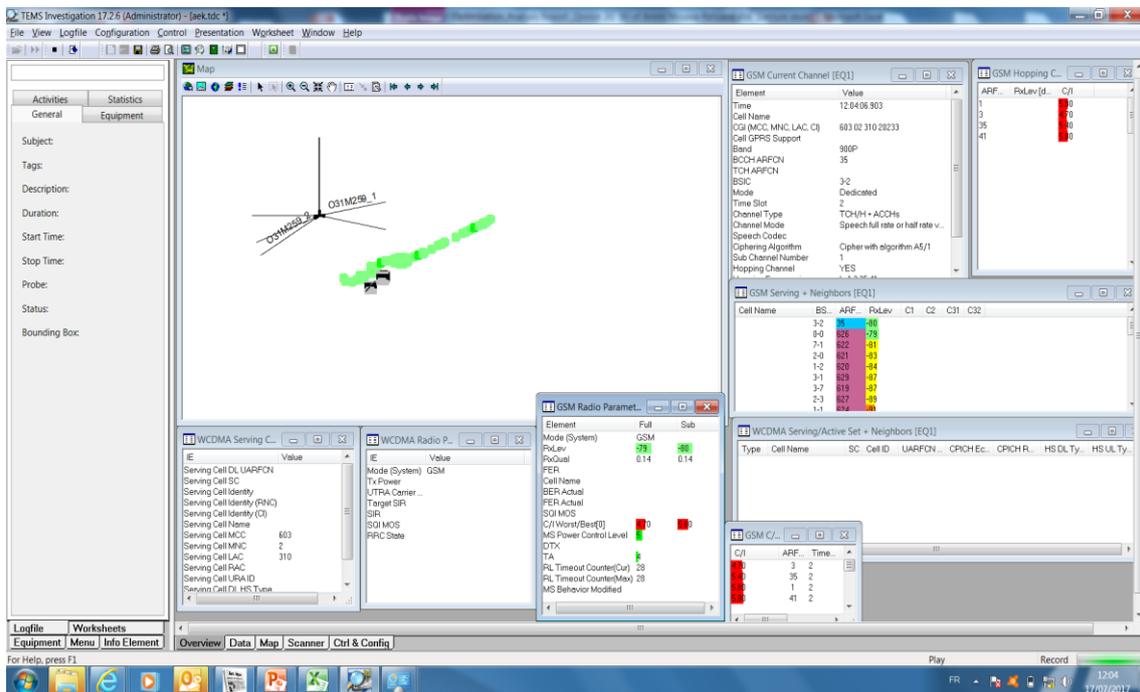


Figure IV. 25: Capture Tems Site2 dont le cell-ID: 20233.

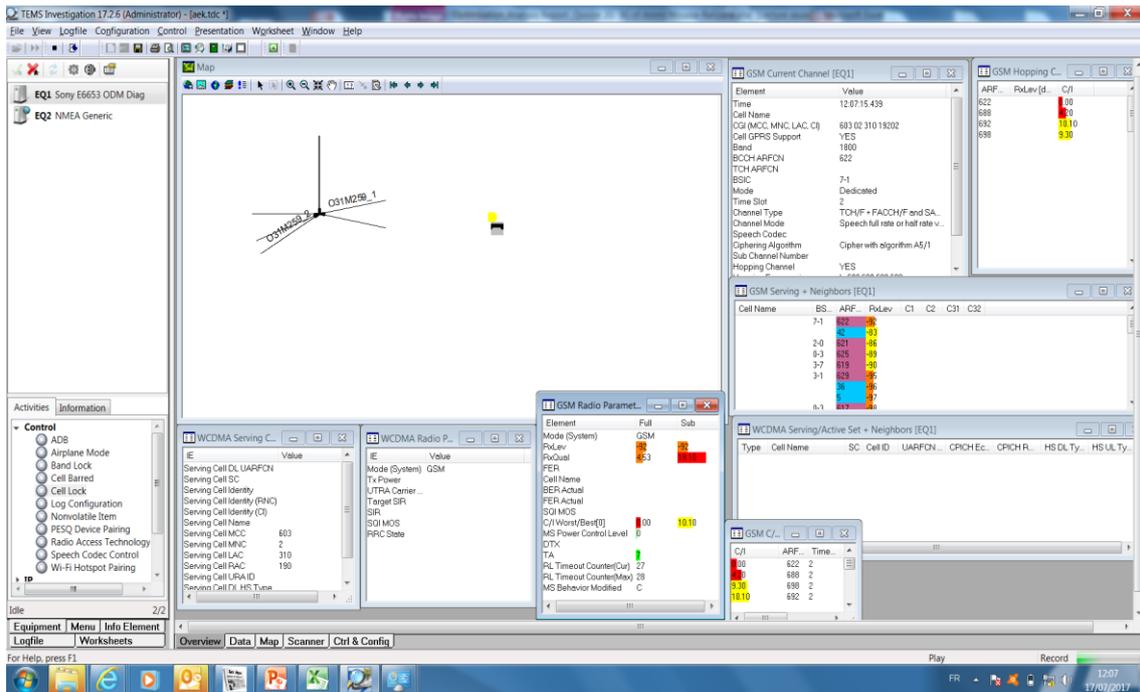


Figure IV. 26: Capture Tems Site 3 dont le cell-ID: 19012.

Site : Cell-Id	Latitude	Longitude	RSSI	Distance estimée	Distance Réel
Site 01: 35182	35,63492	-0,62139	-74	2570	2557.49
Site 02: 20233	35.61122	-0.57903	-77	2120	2018.33
Site 03: 19012	35.62720	-0.59200	-85	1007	1026.53

Tableau IV.1: Données de positionnement au point 1.

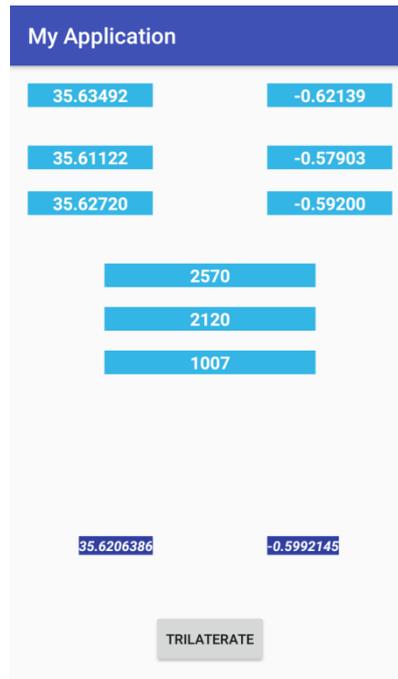


Figure IV. 27: Calcul de position au point 1.

Point	Position GPS		Résultats de l'application		Erreur
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
1	35.620320	-0.599536	35.620638	-0.599214	48.08 m

Tableau IV.2: Comparaison des résultats au point 1.

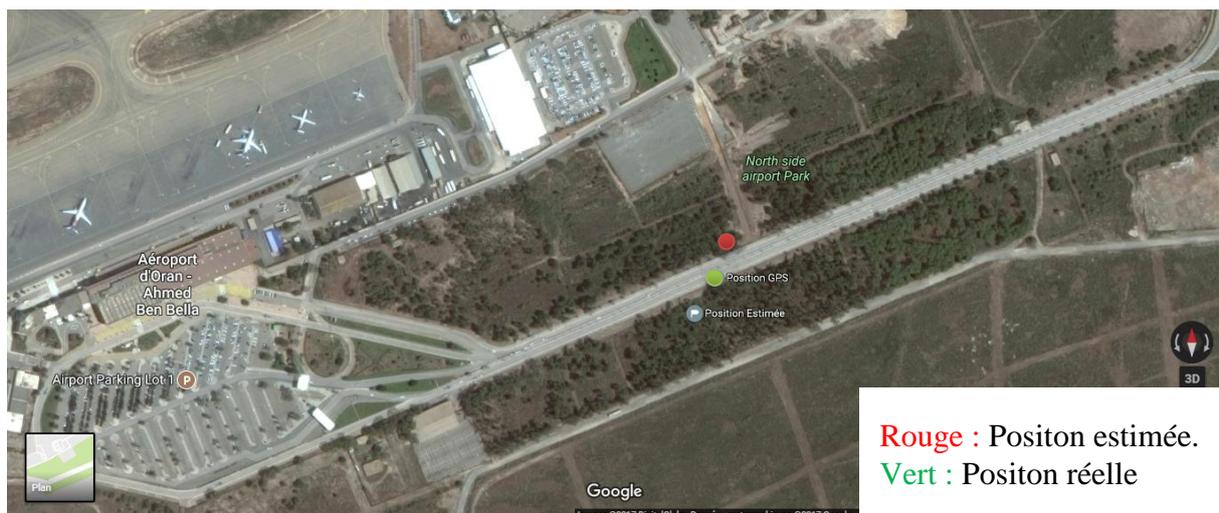


Figure IV. 28: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 1.

❖ Point 2

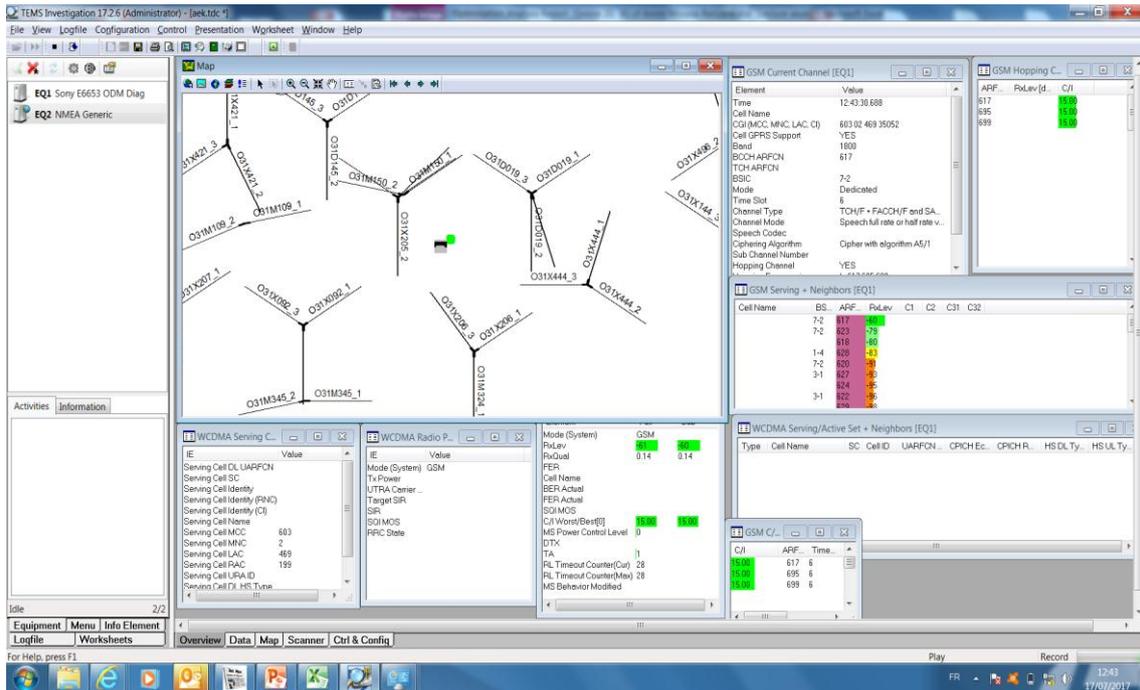


Figure IV. 29: Capture Tems Site1 dont le cell-ID: 35052.

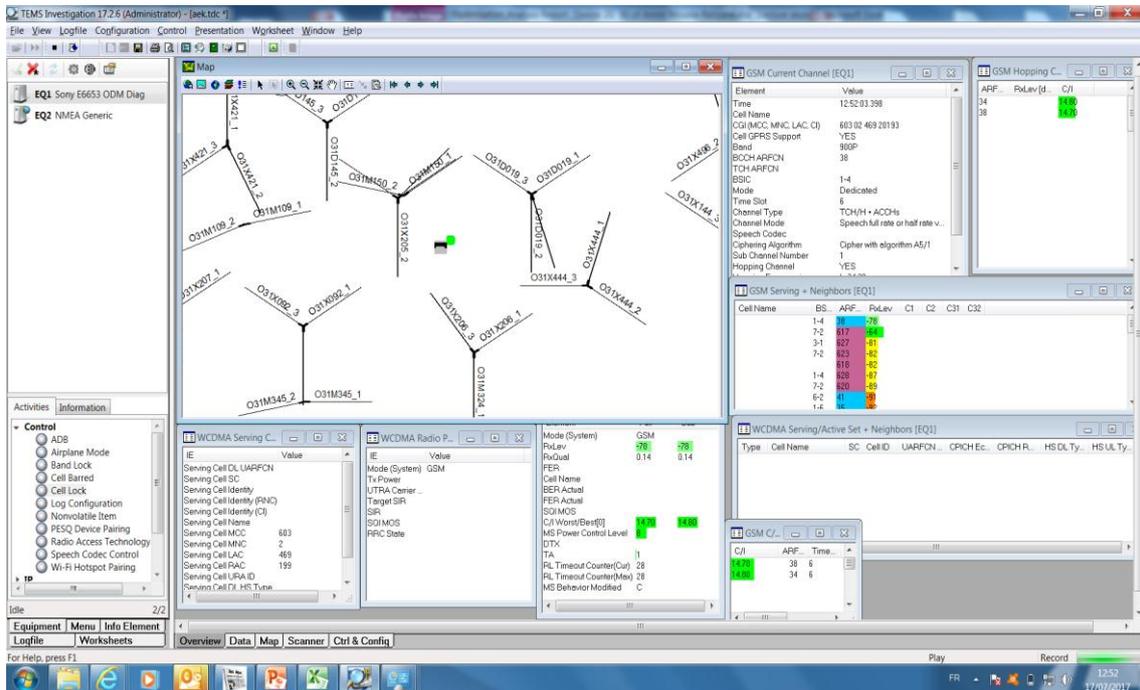


Figure IV. 30: Capture Tems Site 2 dont le cell-ID: 20193.

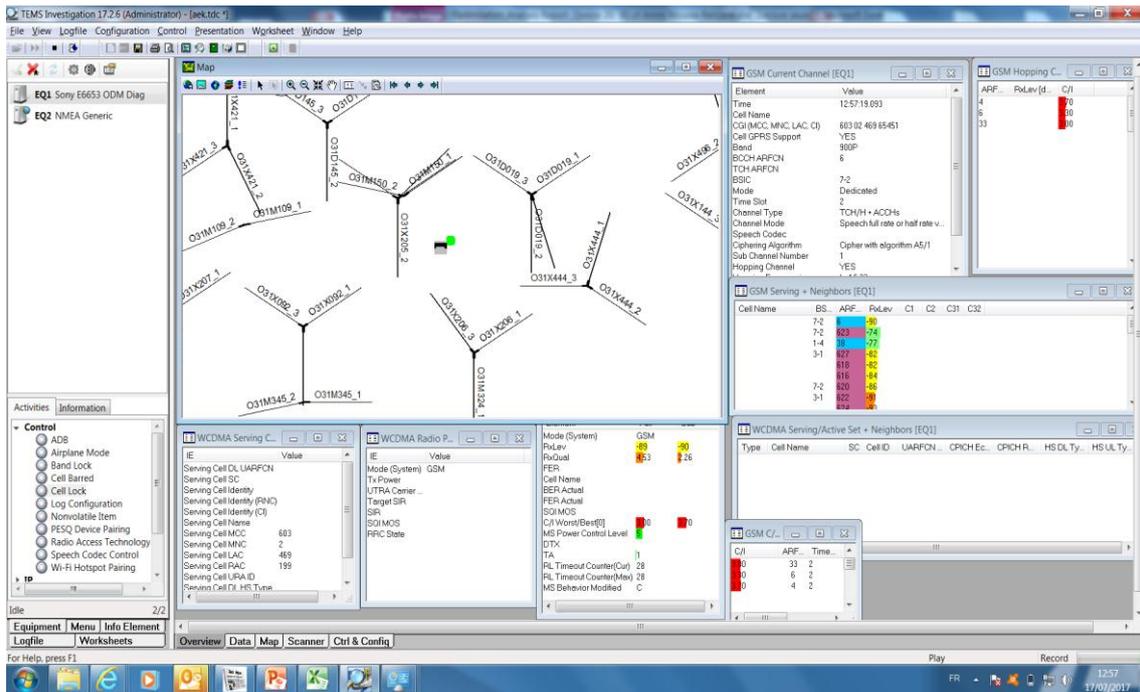


Figure IV. 31 Capture Tems Site3 dont le cell-ID: 65451.

Site : Cell-Id	Latitude	Longitude	RSSI	Distance estimée	Distance
Site 01: 35052	35,71114	-0,60422	-61	245	245.58
Site 02: 20193	35,71125	-0,59869	-78	338	337.22
Site 03: 65451	35,71331	-0,60711	-89	600	600.11

Tableau IV.3: Données de positionnement au point 2.

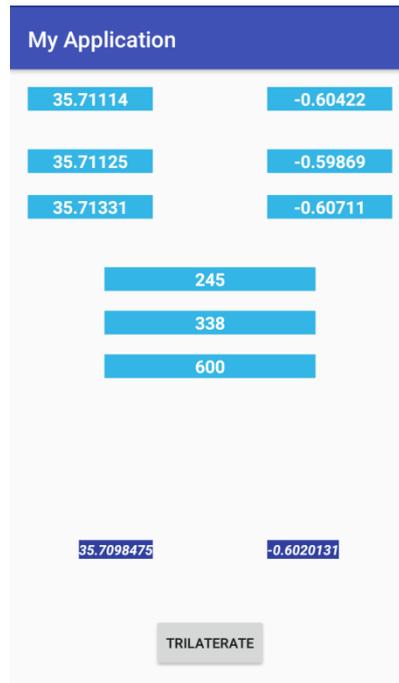
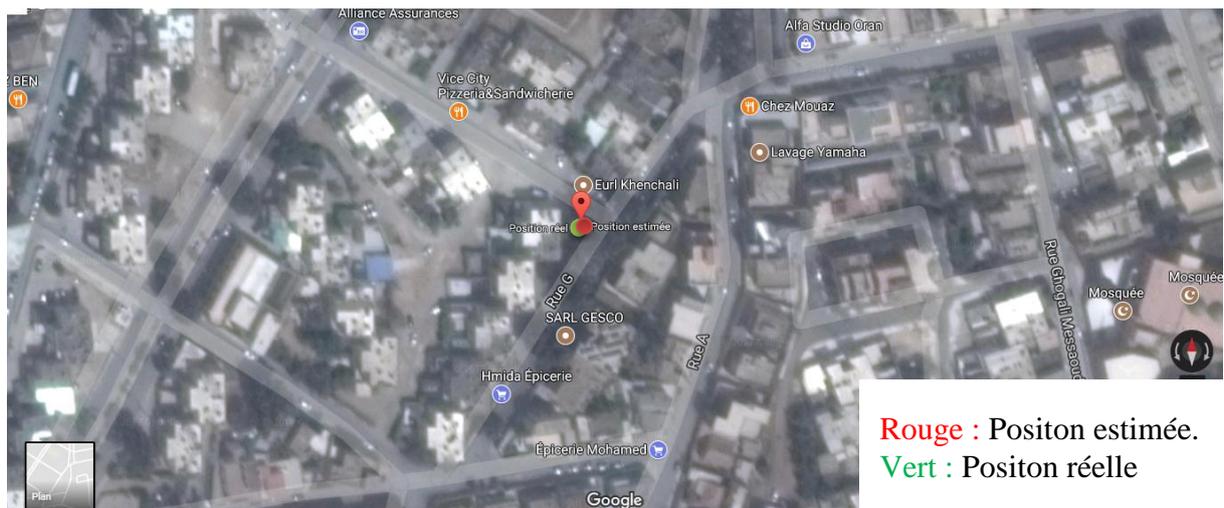


Figure IV. 32: Calcul de position au Point 2.

Point	Position GPS		Résultats de l'application		Erreur
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
2	35.709852	-0.602013	35.709847	-0.602013	2 m

Tableau IV.4: Comparaison des résultats au point 2.



Rouge : Positon estimée.
Vert : Positon réelle

Figure IV. 33: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 2.

❖ Point 3



Figure IV. 34: Capture Tems Site 1 dont le cell-ID: 19663.



Figure IV. 35: Capture Tems Site 2 dont le cell-ID: 35065.

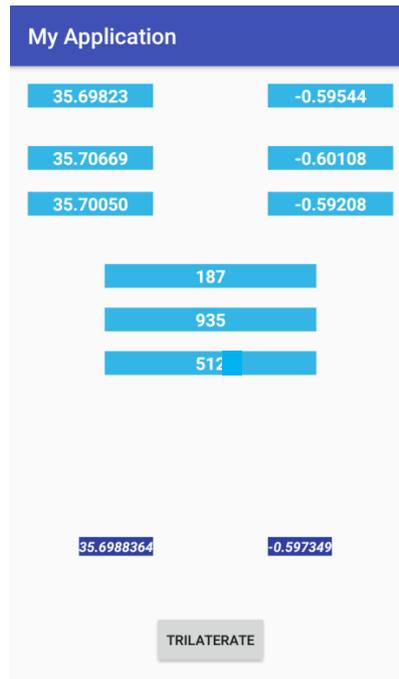


Figure IV. 37: Calcul de position au Point 3.

Point	Position GPS		Résultats de l'application		Erreur
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
3	35.698878	-0.597447	35.698836	-0.597349	10 m

Tableau IV.6: Comparaison des résultats au point 3.

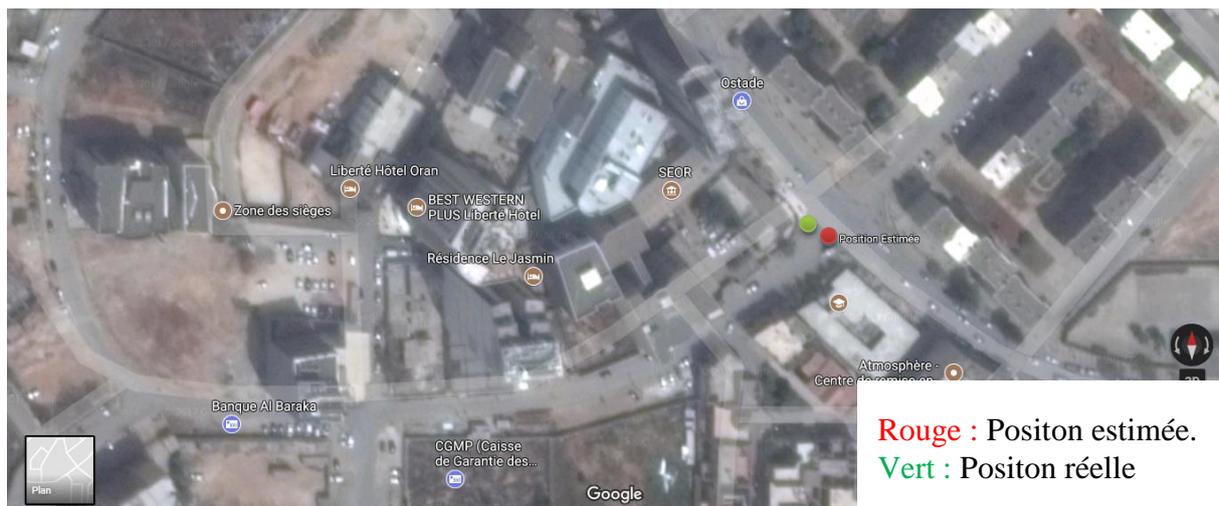


Figure IV. 38: Projection Sur Google-Map des résultats obtenus au point 3.

IV.10.1. Interprétation des résultats

Point	Position GPS		Résultats de l'application		Erreur
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
1	35.620320	-0.599536	35.620638	-0.599214	48.08
2	35.709852	-0.602013	35.709847	-0.602013	2
3	35.698878	-0.597447	35.698836	-0.597349	10

Tableau IV.7: résultats obtenus des 3 points.

Le tableau IV.7 illustre les résultats de nos mesures et démontre l'efficacité de notre application « GSM Locator ».

D'après les résultats obtenus on peut distinguer que la précision du positionnement proportionnel à la distance qui sépare le terminal mobile de la station de base de sorte que l'augmentation de la distance diminue la précision de notre algorithme de localisation. Prenant l'exemple d'un site dense dans une zone urbaine avec des stations DCS1800 (point 2), et un site suburbain avec un trafic moyen tel que le (Site 1) avec des stations en GSM900.

En effet les résultats manquent de précision, car la puissance du signal est altérée par l'effet de l'évanouissement et de multitrajets, et malgré tout ça les résultats obtenus restent une référence pour de futurs projets dans le domaine de la géolocalisation via les réseaux GSM

IV.11. Conclusion

Vu les résultats obtenus dans les différents points on peut conclure que la cohérence des résultats dépend de plusieurs facteurs tel que la taille de la cellule, la nature de la zone géographique ou on veut se localiser (zone urbaine, suburbaine, rurale...), ainsi que les conditions climatiques vu que notre signal subit plusieurs perturbations (évanouissement, absorption, multitrajets...).

Conclusion & Perspective

Conclusion Générale & perspectives

Dans ce travail, nous avons élaboré un algorithme qu'on a implémenté en JAVA Android sur un Smartphone mobile, qui détermine sa géolocalisation en coordonnées GPS. Cet algorithme exploite les données de la signalisation du réseau GSM.

En premier temps, il était nécessaire de présenter la localisation par le système GPS qui était la première technologie moderne et sophistiqués avec une importante précision, Car elle exploite le réseau satellite. Seulement, cette technique présente quelques soucis. Par exemple, dans certaines zones, ou sous quelques conditions climatiques, le signal GPS n'est pas suffisamment intense pour être détecté. C'est le cas des parkings sous terrains, les tunnels, les grands immeubles...etc...

La localisation par le système GSM peut être une solution alternative dans ce cas car la couverture cellulaire comble la plupart des zones de déplacement de l'abonné, même à l'intérieur des immeubles. Toutefois, sa précision reste altérée quand on la compare avec celle du système GPS.

L'exploitation du réseau GSM dans les systèmes de positionnement représente une solution moins couteuse, de plus, elle exploite un réseau d'une architecture déjà implémentée, sans l'exigence de créer tout un nouveau système.

Plusieurs algorithmes de localisation qui exploitent le réseau GSM sont proposés. On cite par exemple la localisation par angle d'arrivé AOA, localisation par délai de propagation TOA et localisation par puissance de signal reçu RSS. Nous avons choisi de concevoir notre application en se basant sur la technique de la puissance reçu RSS. Ce choix justifié, est du par le fait que la méthode AOA nécessite la connaissance des azimuts du réseau d'antenne pour trouver l'angle d'arrivé (au moins 2 antennes réceptrices). Par contre, la méthode qui utilise le (TOA) nécessite l'installation de nouveaux équipements pour la synchronisation de l'horloge des BTS (Système similaire à celui du GPS).

Notre application exploite, les informations du réseau GSM telle qu'il est. Il ne nécessite aucune intervention supplémentaire en soft ou en hard sur l'équipement du réseau de l'opérateur.

L'efficacité de notre application a été vérifiée sur terrain en collaboration avec les ingénieurs du département Access network d'Optimum Telecom Algérie (OTA-Djezzy).

Nous avons utilisé sur terrain l'outil TEMS pour mesurer les grandeurs et les informations des BTS reçu et les comparer avec les résultats de notre application.

Ces résultats sont jugés efficaces et acceptable. De plus, nous avons doté notre application par une possibilité de projeter les coordonnées GPS estimées sur Google Map.

Notre application exploite la puissance des signaux reçus RSS, Tenant compte que cette dernière (la puissance) est affectée par les différents phénomènes d'absorption, d'évanouissement et de multitrajets.

Comme perspectives, on peut exploiter le temps de propagation (TOA) ou (TDOA) au lieu de la puissance, mais cette solution aura besoin d'installer de nouveaux équipements pour la synchronisation de l'horloge des stations de base (BTS) entre elles.

De plus on peut exploiter aussi la technique des AOA. Pour cela, il faut doter la base de données de l'application des informations sur les azimuts de chaque secteur d'antenne pour chaque BTS.

Pour les deux techniques, l'intervention de l'opérateur sur l'équipement est nécessaire, afin de pouvoir développer des applications Android de géolocalisation avec une meilleure précision.

Bibliographie

[1]: RAMDANI Djawed, KEFFOUS Mohammed, Mouanes Housseem Eddin, 2009, Réduction des erreurs de poursuite causées par les multitrajets au niveau d'un récepteur GALILEO.

[2]: Global positioning system standard positioning service signal spécification, 2nd Edition, June 2, 1995

[3]: AZZOUZ Abdellah, RAHOU Mohammed, 2009, Contribution au positionnement en temps réel par GPS, Projet de Fin d'Etude pour l'obtention du: Diplôme d'ingénieur d'état, INTTIC- Algérie

[4]: Calcul position GPS, <http://mecaspa.cannes-aeropatrimoine.net>, Site consulté le 28.02.2017 12 :49.

[5]: Cédric Demoulin, Marc Van Droogenbroeck ; "Principe de base du fonctionnement du réseau GSM".

[6]: Alain Charbonnier, Charles Hartmann, Rémi Thomas ; "Les architectures des réseaux mobiles".

[7]: Jean Philippe Muller ; Le réseau GSM et le mobile ; version 07/2002.

[8]: Stéphane Girodon ; Réseaux GSM, GPRS, UMTS pour une stratégie services, www.girodon.com ; Juin 2002.

[9]: GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I et KASMIRAN.J, "Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants", Académie mondiale des sciences, 2011.

[10]: Yannick Bouguen, Éric Hardouin, François - Xavier Wolff ; LTE et les réseaux 4G, Groupe Eyrolles, 2012.

[11]: Baassou Choukri ; Thèse dimensionnement et caractérisation des réseaux mobiles ; 2011/2012.

[12]: W. GILLES, 'Radiolocalisation en milieu confiné non stationnaire'. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître des sciences, université de Laval, Mai 2005.

[13]: M. SADOK, 'Poursuite d'un Mobile dans un Réseau UMTS-FDD'. Mémoire de Magister, Université de l'USTO-MB, 2009.

[14]: H. BENOUDNINE, ‘Poursuite Adaptative Multicibles : Applications Radars et Réseaux sans fil mobiles’. Doctorat Es-Sciences en Electronique, Université des Sciences et de Technologie, (USTO) Mohamed Boudiaf, 2008.

[15]: R.MANNINGS, ‘Ubiquitous Positioning’. ARTECH Ed, 2008.

[16]: T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Second Edition 2002, Prentice Hall PTR.

[17]: A. Roxin, J. Gaber, M. Wack and A. Nait-Sidi-Moh - “Survey of Wireless Geolocation Techniques”, IEEE Globecom Workshops, 1-9, 2007.

[18]: B. DENIS, ‘Exploitation des Capacités de Radiolocalisation des Transmissions Ultra-Large Bande dans les Réseaux Sans-Fil’. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, 2005.

[19]: M. SIMIC et P. PEJOVI, ‘Positioning in Cellular Networks’. Université de Belgrade, Serbia, 2009.

[20]: S. GEZICI, ‘A Survey on Wireless Position Estimation’. Wireless Personal Communication vol. 44, pp. 263-282, 2008.

[21]: Michel Chilowicz, Introduction à Android, Master 2 Informatique, Université Paris Est (Marne La vallée), 2012-2013.

[22]: Mark Murphy Beginning Android 3.sl: Apress 2011.

[23]: Frédéric Espiau, Créer des applications pour Android, Cour en ligne, disponible sur le lien : <https://openclassrooms.com/courses/creez-des-applications-pour-android/l-architecture-d-android> [Consulté le : 22.09.2017].

[24]: Mark Murphy, Beginning Android 3, e-book, Apress, 2011.

[25]: Structure du projet android, site web, [Consulté le: 21.09.2017], lien: <http://tutorielandroid.francoiscolin.fr/structproj.php>.

[26]: Sofien Azouzi, Cycle de vie d’une application android, SiteWeb, lien : <http://epiandroidlab.blogspot.com/2015/04/cycle-de-vie-dune-activity-android.html>, [Consulté le 21.09.2017].