

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. MIRA-BEJAIA

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie Electrique**

## *Projet de fin d'étude*

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication**

**Spécialité : Système des télécommunications**

*Thème :*

*Techniques de positionnement dans le réseau  
5G*

**Réalisée par :**

M<sup>elle</sup>: KADRI Zahia

M<sup>elle</sup>: DIB Souad

**Encadrées par :**

M<sup>me</sup>: MEZHOUD Naima

**Examineurs :**

M<sup>r</sup>: BELLAHSENE Hocine

M<sup>r</sup>: MOKRANI Karim

**Promotion  
2019/2020**

# Remerciement

On remercie en premier lieu le DIEU le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Nous remerciant M<sup>me</sup> MEZHOUD Naima pour avoir accepté de nous orienter.

Nous adressons nos chaleureux remerciements a M<sup>me</sup> Zenadji, pour ses remarques et ses conseils.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jury, Mr BELLAHSENE Hocine et Mr MOKRANI Karim, pour l'honneur qu'ils nous font d'assister à notre soutenances, de corriger et d'évaluer notre travail, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation surtout monsieur ALICHE.

Merci

# Dédicace

*Je remercie dieu de m'avoir donné le courage pour accomplir ce modeste travail que je dédie : à mes très chers parents qui sont la bougie qui illumine ma vie, j'exprime ma reconnaissance pour leur soutien, leurs sacrifices et leurs encouragements tout au long de mes études.*

*Que dieu les garde pour moi.*

*A Ma petite sœur Lina, qui a toujours été à mes côtés.*

*A mon mari Abd eslam : tes sacrifices, ton soutien moral m'en permet de réussir à mes études.*

*A mes frères Mustapha et Hamza.*

*A ma chère binôme au même temps amie Kadri Zahia avec qui j'ai partagé ce modeste travail.*

*A Mes chers amis : walid, Dyhia et lamia. Et a tous mes proches tels ma grande mère, ma tante Zoulikha, mes cousines :*

*Yasmine et Hanane.*

D.Souad

# Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents, ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et

Leurs encouragements.

À mon cher petit frère Rayane.

À mon cher ami Meziane Abdelghani

À ma binôme et amie Dib Souad

À toute ma famille, mes amis/es et camarades.

KADRI Zahia

# Table de matière

<b>Table de matière</b> .....	I
<b>Liste des figures</b> .....	II
<b>Liste des tableaux</b> .....	VII
<b>Liste des sigles</b> .....	VIII
<b>Introduction générale</b> .....	X

## **Chapitre 01 : La 5G, le réseau du futur**

I.1. Introduction .....	1
I.2 Le principe du réseau 5G .....	2
I.2.1 Architectures du réseau 5G .....	2
I.2.2 Les fréquences attribuées à la 5G .....	6
I.2.3 La transmission dans le réseau 5G New Radio .....	7
I.2.4 Déploiement du réseau 5G .....	8
I.3 Les technologies envisagées par le réseau 5G .....	9
I.3.2 Communication par onde mmWave .....	10
I.3.3 La communication device-to-device (D2D) .....	11
I.3.4 Le réseau ultra dense (UDN) .....	12
I.3.5 Principe de l'accès multiple non orthogonal (NOMA) .....	12
I.3.6 Réseaux hétérogènes (HetNet) .....	13
I.4. Conclusion .....	14

## **Chapitre 02 : Le positionnement dans un réseau cellulaire**

II.1 Introduction.....	15
II.2 Le système de localisation .....	16
II.2.1 Les types des systemes de localisation .....	16
II.2.1.1 Système de localisation radio .....	16
II.2.1.2 Système de localisation non radio .....	17
II.2.2 Les methode de l'estime de la position .....	18

II.2.2.1 Méthode d'angle d'arrivée (AOA) .....	18
II.2.2.2 Méthode relative au temps d'arrivée (TOA) .....	19
II.2.2.3 Méthode relative à la différence de temps d'arrivée (TDOA) .....	20
II.2.2.4 Méthode basée sur la puissance reçue(RSS) .....	21
II.2.2.5 Méthode basée sur le système d'identification de cellules (Cell ID) .....	22
II.3 Les systèmes 5G .....	22
II.3.1 La 5G pour une localisation précise .....	22
II.3.2 Architecture de localisation dans le réseau 5G .....	23
II.3.3 Les antennes Beamforming.....	25
II.3.4 Canal de propagation.....	26
II.3.4.1 Distribution Rayleigh.....	27
II.3.4.2 Distribution Nakagami-m.....	27
II.3.5 Model de propagation 5G.....	28
II.3.5.1 Le modèle Alpha-Beta-Gamma (ABG) .....	28
II.3.5.2 Le model Close-In (CI) .....	29
II.3.5.3 Le modèle Close-in pondéré en fréquence (CIF) .....	30
II.4 Conclusion .....	31

### **Chapitre 03 : La localisation RSSI**

III.1 Introduction .....	32
III.2 L'indicateur de force du signal reçu (RSSI) .....	32
III.3 Effet du canal de propagation sur le RSSI .....	34
III.4 Les structures des antennes pour la techniques RSSI.....	35
III.5 Méthodologie .....	36
III.5.1 présentation du logiciel utilisé.....	36
III.5.2 Le scénario de l'algorithme proposé.....	36
III.5.3 Modèle de perte de trajet utilisé .....	37
III.6 Simulation et interprétation des résultats .....	38

III.7 Comparaison avec un modèle de perte de trajet général .....	46
III.8 Conclusion.....	49
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>50</b>
<b>Référence bibliographique</b>	
<b>Annexe</b>	
<b>Résumé</b>	

# Liste des figures

## Figures du chapitre I

<b>Figure I.1:</b> L'architecture du réseau 5G .....	2
<b>Figure I.2:</b> l'interconnexion entre NG-RAN et 5GC.....	4
<b>Figure I.3:</b> Architecture fonctionnelle du réseau 5G .....	6
<b>Figure I.4:</b> Les trois catégories de fréquences utilisées par la 5G .....	7
<b>Figure I.5:</b> Les deux phases du déploiement.....	9
<b>Figure I.6:</b> Le système massive MIMO.....	10
<b>Figure I.7:</b> La communication device-to-device.....	11
<b>Figure I.8:</b> Principe de NOMA .....	13
<b>Figure I.9:</b> Architecture du réseau hétérogène .....	14

## Figures du chapitre II

<b>Figure II.1:</b> Localisation basée sur AOA avec deux BTS (Principe de triangulation) .....	18
<b>Figure II.2:</b> Localisation basée sur TOA avec trois BTS (Principe de trilatération) .....	19
<b>Figure II.3:</b> Localisation basée sur TDOA avec trois BTS (hyperboles) .....	20
<b>Figure II.4 :</b> Localisation basée sur RSS avec trois BTS .....	22
<b>Figure II.5 :</b> Procédure de positionnement dans le réseau 5G .....	24
<b>Figure II.6 :</b> Antennes Beamforming .....	25
<b>Figure II.7 :</b> Propagation NLOS .....	26
<b>Figure II.8 :</b> Propagation LOS .....	26

## Figures du chapitre III

<b>Figure III.1 :</b> Etapes d'une localisation RSSI .....	33
<b>Figure III.2 :</b> Les effets du canal de propagation sur le signal RSSI .....	34
<b>Figure III.3 :</b> L'algorithme de RSSI.....	37
<b>Figure III.4 :</b> La relation entre RSSI et la distance.....	39
<b>Figure III.5 :</b> Localisation à l'aide de RSSI avec un UE et trois BTS .....	41
<b>Figure III.6 :</b> Localisation à l'aide de RSSI avec un UE et 10 BTS .....	41
<b>Figure III.7 :</b> Localisation à l'aide de RSSI avec 25 UE et 16 BTS .....	42
<b>Figure III.8 :</b> Taux d'erreur de localisation RSSI avec 25 UE et 16 BTS .....	43
<b>Figure III.9 :</b> Localisation à l'aide de RSSI avec 25 UE et 36 BTS .....	43

<b>Figure III.10</b> : Taux d'erreur de localisation RSSI avec 25 UE et 36 BTS .....	44
<b>Figure III.11</b> : Localisation à l'aide de RSSI avec 50 UE et 36 BTS .....	44
<b>Figure III.12</b> : Taux d'erreur de localisation RSSI avec 50 UE et 36 BTS .....	45
<b>Figure III.13</b> :Localisation RSSI avec un modèle de perte général(25UE et 36BTS) .....	47
<b>Figure III.14</b> :Taux d'erreur RSSI avec un modèle de perte général(25 UE et 36 BTS) .....	47
<b>Figure III.15</b> :Localisation RSSI avec un modèle de perte général(1UE et 3BTS) .....	48

# Liste des tableaux

<b>Tableau III.1</b> : Paramètres de la première simulation.....	38
<b>Tableau III.2</b> : Paramètres de la deuxième simulation.....	40
<b>Tableau III.3</b> : Tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	45
<b>Tableau III.4</b> : Paramètres de simulation RSSI avec un modèle de perte général .....	46

# Liste des sigles

1G	Première génération des réseaux cellulaire.
2G	Deuxième génération des réseaux cellulaire.
3G	Troisième génération de réseaux cellulaire.
4G	Quatrième génération des réseaux cellulaire.
5G	Cinquième génération des réseaux cellulaire.
5G NR	Cinquième génération New Radio.
5GC	Cinquième génération Core Network.
5G SA	Cinquième génération Standalone (Autonome)
5G NSA	Cinquième génération Non-Standalone (Non-Autonome)
3GPP	3rd Generation Partnership Project.

## A

AF	Application Function.
AN	Access Network.
AOA	Angle Of Arrival.
ABG	Alpha-Bêta -Gamma.

## B

BTS	Base Transceiver Station (Station de base).
-----	---

## C

CP	Cyclic Prefix.
CD-NOMA	Codage NOMA
Cell-ID	Cell Identity
CI	Close-In

CIF Close-In Frequency

## **D**

DSS Dynamic Spectrum Sharing

D2D Device to Device

dB Décibel

## **E**

EM onde ElectroMagnétique

eNB evolved Node B

E-911 Enhanced 911

E-SMLC Evolved Serving Mobile Location Centre

## **G**

gNB gNodeB

gNB-CU Next Generation NodeB-Central Unit

gNB-DU Next Generation NodeB-Distributed Unit

gNB-CU-CP Next Generation NodeB-Central Unit-Control Plane

gNB-CU-UP Next Generation NodeB-Central Unit-UserPlane

GHz Gigahertz

GPS Global Positioning System

GNSS Global Navigation Satellite System

GSM Global System Mobile

## **H**

HetNet Heterogens Network

http Hyper Text Transfer Protocol

## I

IP	Internet protocol
IMSI	International Mobile Subscriber Identity

## L

LTE	Long Term Evolution
-----	---------------------

## M

MHz	Mégahertz
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
Mbps	Mega Bytes per seconds
MME	Mobility Management Entity
MEC	Multi-Access Edge Computing
MISO	Multiple Input Single Output
MIMO	Multiple Input Multiple Output

## N

NAS	Non-Access Stratum
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access
NLOS	Non-Line-Of-Sight propagation
NG-RAN	Next-Generation Radio Access
NR	New Radio
NGCN	Next Generation Core Network

## O

OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
------	--

## **P**

PDU	Protocol Data Unit
Plan-C	Control Plane (plan de contrôle).
Plan-U	User Plane (plan d'utilisateur).

## **Q**

QoS	Qualité de Service
-----	--------------------

## **R**

RSSI	Received Signal Strength Indicateur
RFID	Radio Frequency IDentification
RAT	Radio Access Technologies
RRH	Remote Radio Head

## **S**

S-GW	Serving Gateway
SIC	Successive Interference Cancellation
SUPI	Subscription Permanent Identifier
SIMO	Single Input Multiple Output
SF	Shadowing Fading

## **T**

TOA	Time Of Arrival
TDOA	Time Difference of Arrival

## **U**

USIM	Universal Subscriber Identity Module
------	--------------------------------------

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UDN	Ultra Dense Networks
UWB	Ultra Wide Band
UE	User Equipment
UMa	Macro-Urbains
UMi	Micro-Urbains

## **V**

VCGW	Virtual Converged Gateway
VLGW	Virtual Location Gateway
VMM	Virtual Manages Mobility

## **W**

WLAN	Wireless Local Area Network
WPS	WIFI Positionning System

# Introduction générale

### Introduction générale

Le domaine des télécommunications a connu un immense progrès technologique au cours de ces dernières années et cela grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Son évolution se traduit par le développement de différents systèmes qui offrent de plus en plus des services aux utilisateurs et une meilleure qualité de fonctionnement et de gestion. En outre, cette évolution s'est accompagnée par un développement rapide des techniques et technologies de localisation, qui est devenue un outil indispensable dans de nombreux domaines. La localisation a toujours été une des préoccupations de l'homme et divers moyens ont été exploités au cours des siècles pour fournir une bonne précision.

Aujourd'hui il existe plusieurs méthodes d'estimation de la position on trouve : la méthode d'angle d'arrivée (AOA), la méthode relative au temps d'arrivée (TOA), la méthode relative à la différence de temps d'arrivée (TDOA) et la méthode basée sur la puissance reçue (RSS) [31]..

Le but de notre travail est d'étudier une des méthodes de positionnement dans un réseau 5G, nous allons se baser sur la méthode RSSI en évaluant l'estimation de son taux d'erreur. Ensuite réaliser une comparaison entre une localisation RSSI avec un modèle de perte générale et celui de modèle CI (Close In). Pour atteindre cet objectif, le présent travail est scindé en trois chapitres.

**CHAPITRE I :** nous allons commencer par une introduction qui nous donne une vue générale sur l'évolution des réseaux cellulaires commençant de la première génération 1G, 2G, 3G, 4G jusqu'à l'arrivée de la nouvelle génération 5G, puis une présentation de son principe, de son architecture, son déploiement et on conclue avec les technologies envisagées par ce réseau.

**CHAPITRE II :** ce chapitre est consacré aux systèmes de positionnement, les types des systèmes de localisation, les méthodes d'estimation de la position, le positionnement dans les systèmes 5G et ses modèles de pertes de trajet.

**CHAPITRE III :** ce chapitre est consacré à la méthode RSSI et aux simulations des estimations de ses erreurs et on conclue avec une comparaison entre une localisation RSSI avec un modèle de perte générale et celui de modèle CI (Close In).

Enfin, le mémoire se termine avec une conclusion générale.

# Chapitre I

## La 5G, le réseau du futur

## **I.1. Introduction**

A la suite de ces dernières années, les exigences et besoins des individus ne cessent d'augmenter c'est pourquoi le secteur des télécommunications travaille ardemment pour améliorer les technologies des réseaux mobiles de génération en génération.

La prochaine génération de technologies sans fil sera dénommée la 5G, comme son nom l'indique, elle fait suite aux précédentes générations. La première génération était caractérisée par une transmission purement analogique, ensuite le passage vers le numérique était avec la deuxième génération (2G), dites GSM, Elle a offert à ses abonnés des services de type voix en mobilité. La troisième génération (3G), UMTS, a offert des services de communication plus rapides notamment pour la voix et l'internet de n'importe quel endroit et à tout moment, puis il y a eu la quatrième génération (4G), LTE, elle avait comme but de permettre le transfert de données à très haut débit avec une portée plus importante, un délai de latences plus réduites et un nombre d'appels par cellule supérieure [1]. Enfin la 5G sera conçue pour répondre à des besoins de connexion de différents secteurs grâce à des débits de données encore plus élevés, un temps de latence réduit à 1 milliseconde qui sera capable de supporter une multitude d'objets connectée.

Dans ce premier chapitre, nous allons pouvoir vous introduire en premier point le principe du réseau 5G, découvrir son architecture, son déploiement et en conclure avec les technologies envisagées par ce réseau.

## I.2 Le principe du réseau 5G

La 5G, ou la 5G NR (New Radio) va être le sujet phare de l'année 2020 et des années à venir, elle englobera un ensemble prometteur de technologies. Cette norme a pour but de gérer un grand nombre d'appareils connectés, pas uniquement des smartphones, mais aussi des ordinateurs, des voitures et tout un écosystème d'objets connectés, en particulier dans le monde professionnel. En bref, ça sera un système aux services exceptionnels qui va révolutionner le monde de la télécommunication [2].

### I.2.1 Architectures du réseau 5G

Un réseau 5G est composé d'un nouveau réseau d'accès radio, appelé Next Génération RAN (NG-RAN) qui utilise une nouvelle interface radio (New Radio ou NR), d'un nouveau réseau cœur appelé Next Génération Core (NGCN ou 5GC) et d'un non-3GPP (exemple WI-FI, XDSL, etc.) [3], représentée par la figure I.1.

Non-3GPP Interworking Function est responsable de l'interfonctionnement entre le réseau non approuvé (Intrusted WiFi) et le réseau 5GC [3].

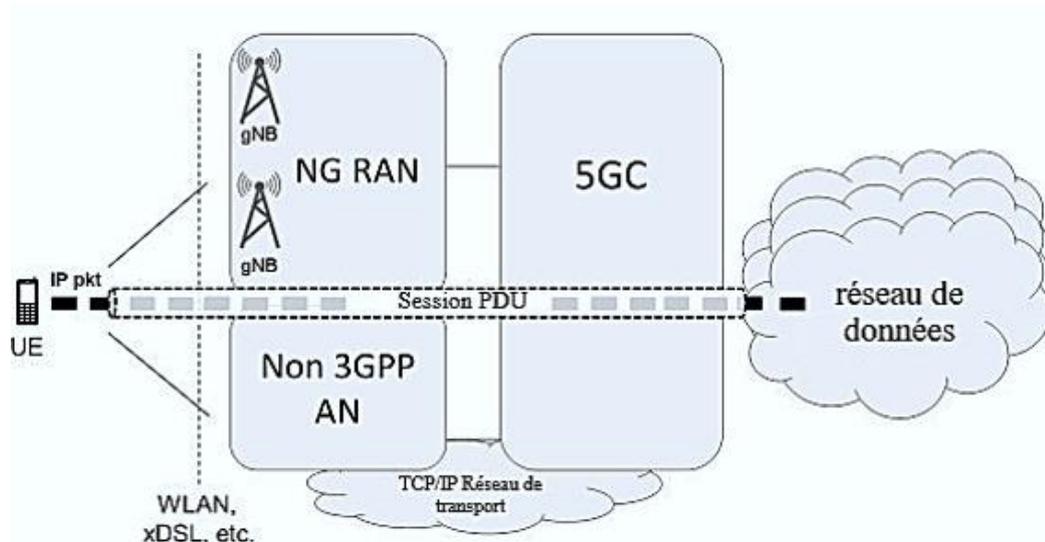


Figure I.1 :L'architecture du réseau 5G. [3]

**1. Les éléments constituant le réseau 5G sont :**

- Le mobile (User Equipment)

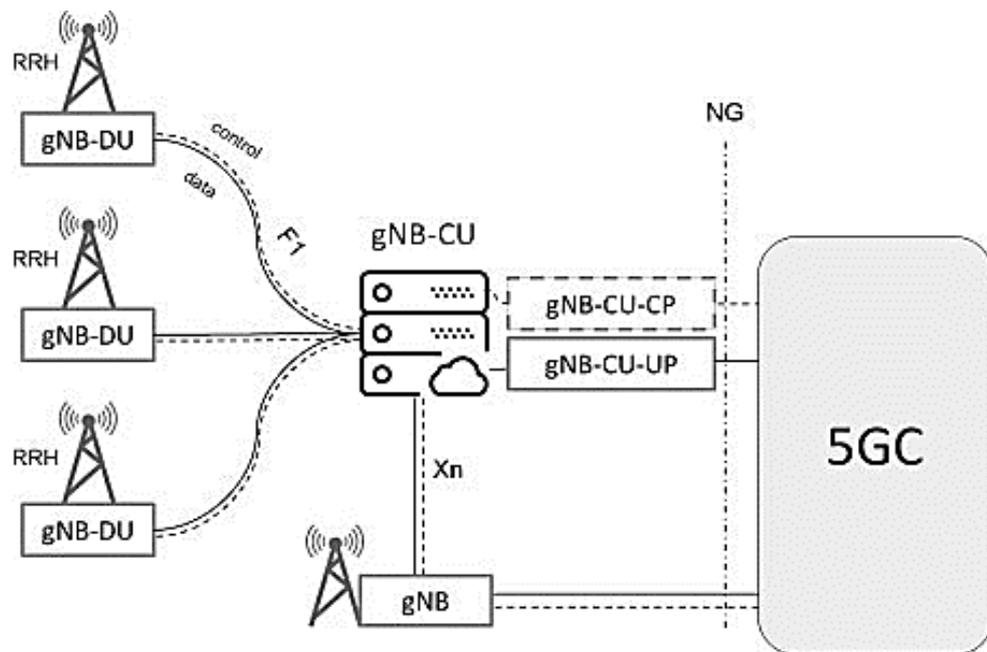
Le mobile ne peut pas dialoguer avec la 5GC que s'il supporte le protocole NAS (Non Access Stratum) qui est un ensemble de protocoles qui s'établit entre l'UE et le réseau cœur quel que soit l'accès radio et il a besoin aussi d'une USIM qui contient l'identité de l'abonnée, les fonctions de sécurité et des données d'abonnement. L'abonnée peut être identifiée par un identifiant unique appelé SUPI, c'est une extension de l'IMSI de la 4G et il n'est jamais modifié. Comme aussi l'UE peut établir deux supports radio avec deux stations de bases appelées 5G DUAL mode, c'est-à-dire, l'appareil est compatible à la fois avec la 5G SA et la 5G NSA [4].

- L'accès radio 5G (NG-RAN)

Constitué de stations de bases de nouvelle génération qui forment les nœuds de connexion des mobiles avec le réseau cœur 5G via un ensemble d'interfaces logiques. Les mobiles (UEs) communiquent avec les stations de base soit par un lien radio 5G, soit par un lien radio 4G. Si la communication est en 5G, la station de base se nomme gNB (next génération Node Base Station), si la communication est en 4G, la station de base est une station 4G eNB évoluée pour s'interconnecter avec le réseau cœur 5G nommé ng-eNB (Next Generation eNB). Les fonctions de la station de base gNB sont assez similaires avec l'entité eNB. Cependant, les différences concernent la gestion de la qualité de service par flux et non par support et la gestion des tranches de réseau (Slices) sur l'interface radio. Un slice est composé d'instances logiques du réseau mobile permettant de garantir la sécurité, les performances et la qualité de service propres à chaque usage [5].

Les gNBs peuvent être interconnectées à travers l'interface Xn, elle permet la mobilité en mode actif avec les ng-eNBs dans le but d'améliorer les fonctions de mobilité et de gestion (coordination d'interférences intercellulaires) [5].

Le fonctionnement de la gNB est parfois devisé, dans ce cas l'architecture résultante est formée par une unité centrale (gNB-CU) qui nécessite une ou plusieurs unités distribuées (gNB-DU) connectées à une carte radio distante (RRH). L'unité centrale (gNB-CU) est encore divisée en deux parties, une pour les fonctions de plan de contrôle (gNB-CU-CP) et l'autre pour les fonctions de plan d'utilisateur (gNB-CU-UP) [3].



**Figure I.2 :** l'interconnexion entre NG-RAN et 5GC. [3]

- Le réseau cœur 5G (NGCN ou 5GC) :

Le réseau cœur 5G est adapté pour la virtualisation des fonctions réseau aidé par l'utilisation du protocole http entre les entités fonctionnelles du réseau cœur 5G et le serveur. Il s'appuie sur le découpage du plan de contrôle (Control Plane) et du plan utilisateur (User Plane) [5].

L'architecture 5GC consiste en les fonctions réseau (Network Function) suivantes [3] :

## 2. Blocs fonctionnels au sein de l'architecture du réseau 5G :

- User Plane Function (UPF) : les gNB relaient les flux de données à des UPF qui réalisent une interconnexion avec le réseau de données.
- Access and Mobility management Function (AMF) : permet de traiter la gestion de la mobilité et la joignabilité de l'UE et la gestion de connexion.
- Session Management Function (SMF) : il contrôle les UPF, gère les sessions (établissement, libération et modification de session), il échange de la signalisation avec l'UE en passant par l'AMF et le gNB et il alloue une adresse IP à l'UE.
- Network Slice Selection Function (NSSF) : permet d'identifier la fonction AMF appropriée pour la prise en charge de la gestion de la mobilité de l'UE.

- Unified Data Management (UDM) : traite la gestion de l'abonnement, sert d'interface à l'ensemble des fonctions de réseau qui nécessitent d'accéder aux données de souscription de l'UE et mémorise les AMF qui gèrent chaque UE.
- Authentication Server Function (AUSF) : contrôle la gestion des authentifications des UE et des clés de sécurités.

Les fonctions de gestion des messages courts [3] :

- Short Message Service Function (SMSF) : c'est une passerelle entre le serveur de message court externe et le réseau 5G, il dialogue avec l'UDM pour consulter le profil de l'abonné.

Les fonctions qui gèrent la qualité du service [3] :

- Policy Control Function (PCF) : traite la gestion de tout type de politique applicable à l'UE (politique de gestion de mobilité, gestion de QOS, gestion de sélection de la technologie d'accès, etc.) en les indiquant aux UPF.
- La fonction d'application (AF) : il définit une gestion particulière des flux des données pour une session d'application et il l'indique aux PCF.

Les fonctions du service annuaire [3] :

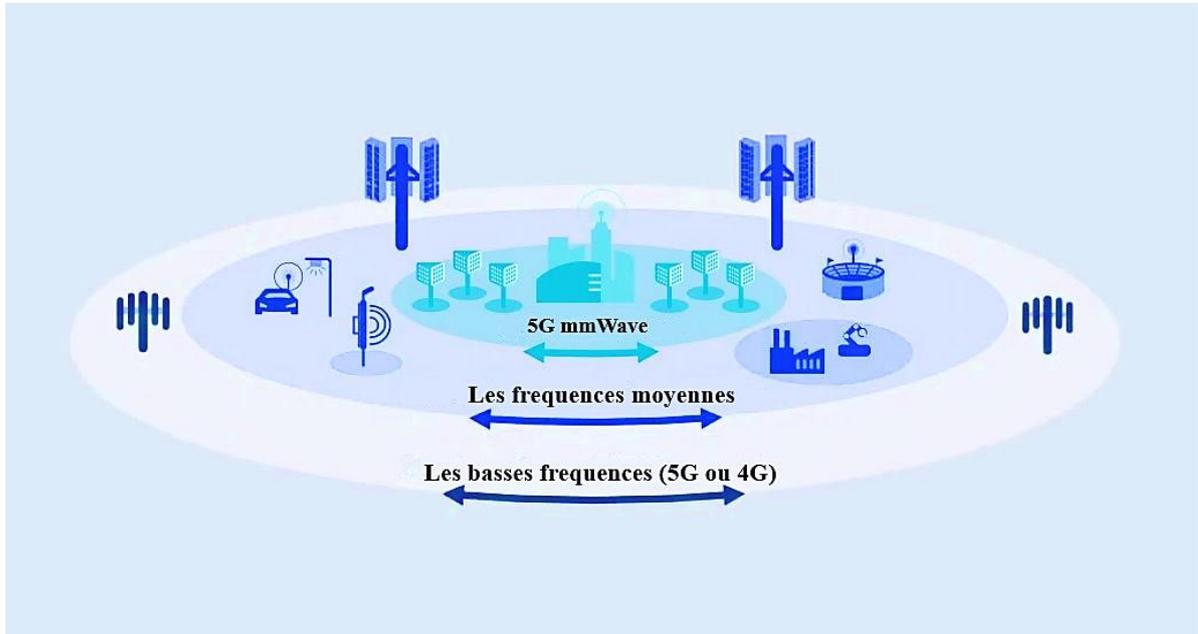
- Network-function Repository Function (NRF) : il permet à une entêtée fonctionnelle de déterminer les entêtées fonctionnelles disponibles. Donc toutes les entêtes qui deviennent actives doivent s'enregistrer auprès du NRF.

Les fonctions du service externe [3] :

- Network Exposure Function (NEF) : pour des raisons de sécurité, une entêtée externe ne doit pas avoir un accès direct aux fonctions de contrôle du réseau, elle dialogue seulement avec le NEF, c'est une sorte de pare feu.



plus petite que celle utilisée classiquement pour les ondes radio. L'exploitation de ces hautes fréquences permet d'obtenir de très hauts débits, mais les faibles longueurs d'onde sont plus sensibles aux perturbations et pénètrent difficilement les bâtiments et leurs portées est limitée (<1Km) [2].



**Figure I.4 :** Les trois catégories de fréquences utilisées par la 5G.

### I.2.3. La transmission dans le réseau 5G New Radio

Les techniques de modulation multi porteuses sont sélectionnées pour le développement des systèmes de communication sans fil moderne tel que la 5G, leurs principes consistent à transmettre les données de manière simultanées sur N porteuses modulées à un débit global inchangé [7].

La transmission en 5G NR est basée sur l'OFDM qui est une technique de transmission de données analogiques, elle divise la bande du système en un grand nombre de porteuse individuelle appelée sous-porteuse, dites orthogonale. Avec cette technique, on envoie énormément d'informations très vite, mais aussi énormément d'énergie. Son principe est la transmission en parallèle de multiple sous porteuse occupant une certaine largeur de bande  $\Delta f$ , espacement de sous-porteuse, ce qui nous mène au concept de numérologie [4].

En 4G, chaque sous-porteuse est transmise sur une largeur de bande de 15kHz, en 5G NR l'espacement possible des sous-porteuses est en fonction de  $15kHz \times 2^{\mu}$ . On déduit donc les numérologies de transmissions prises en charge [7] :

- $\mu = 0$      $\Delta f = 15kHz$
- $\mu = 1$      $\Delta f = 30kHz$
- $\mu = 2$      $\Delta f = 60kHz$
- $\mu = 3$      $\Delta f = 120kHz$
- $\mu = 4$      $\Delta f = 240kHz$

On obtiendra des largeurs de bande plus grandes par conséquent la durée des symboles sera plus courte car  $T = \frac{1}{\Delta f}$  ; Donc en doublant les fréquences, le temps sera réduit de sa moitié aussi. En OFDM, on a un paramètre appelé le CP, il est l'entête de chaque sous porteuse, son rôle est de recopier la fin d'un symbole au début dans le but d'éviter les interférences inter symboles. Du même sa durée sera aussi divisé par deux pour s'adapter aux différentes fréquences porteuses [4].

#### 1.2.4 Déploiement du réseau 5G

La course mondiale est déjà lancée entre les pays afin d'être le premier à mettre en œuvre leurs expérimentations sur la 5G ainsi que de lancer leurs services commerciaux. Comme les générations précédentes, le déploiement de la 5G sera très progressif, plusieurs pays comme les États-Unis, la Corée du Sud, la Chine ou encore le Royaume-Uni, ont déjà commencé le déploiement de la 5G avec des réseaux 5G NSA sub-6 [8]. Son déploiement sera visiblement étalé sur deux phases :

5G NSA ou 5G Non-standalone ou non-autonome, dans le but d'accélérer et faciliter le déploiement on va utiliser le réseau cœur de la 4G LTE tout en ajoutant petit à petit des antennes 5G c'est-à-dire dans les premiers temps la 5G est simplement une nouvelle interface radio NR avec un haut débit et une faible latence, on garde les stations de base eNB, les terminaux en technologie 4G et utiliser l'interface NR en complément pour transmettre le flux de données [4].

5G SA ou 5G Standalone ou Autonome représente l'idéal du déploiement de la 5G, où un appareil peut utiliser les technologies 5G aussi bien sur les basses et les hautes fréquences, avec des stations de bases gNB 100% 5G et un réseau cœur (5GC) entièrement migré vers la 5G NR.

Toutefois les opérateurs ont gardé l'accès pour les terminaux en technologie 4G en ayant des stations de base ng-eNB qui gèrent une interface radio 4G mais relient au réseau cœur 5G [4].

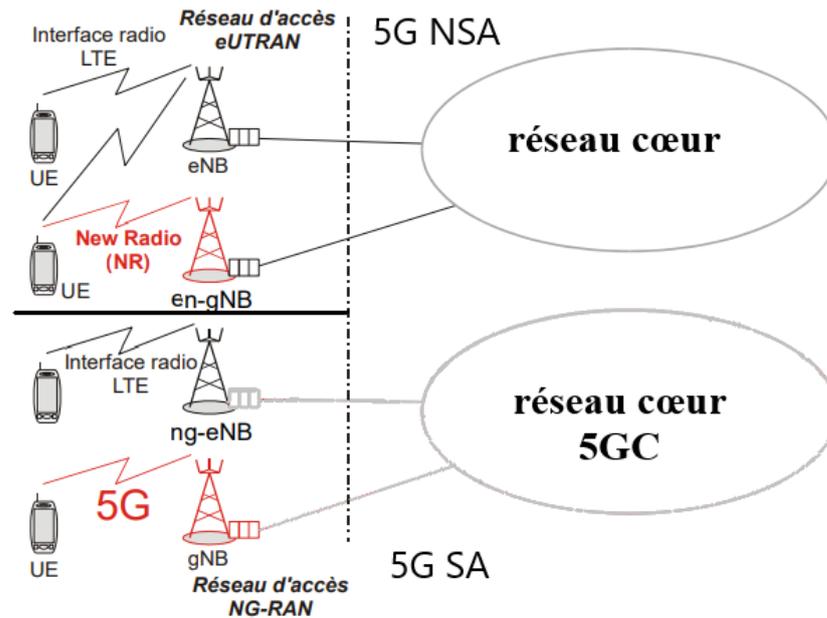


Figure I.5 : Les deux phases du déploiement. [4]

### I.3 Les technologies envisagées par le réseau 5G

Compte tenu de l'évolution des réseaux cellulaires, diverses technologies prometteuses ont été envisagées pour les réseaux 5G et potentiellement bénéfiques pour la localisation.

#### I.3.1 Le système massive MIMO

MIMO en français signifie « entrées multiples, sorties multiples », cela veut dire qu'une antenne réseau peut simultanément recevoir des données de plusieurs appareils mais également en envoyer à différentes destinations au même temps. Pour que ça fonctionne, chaque réseau utilise plusieurs antennes donc divers modes de propagation pour envoyer plus de données avec une meilleure fiabilité. Avec la 5G, c'est devenu massive MIMO, c'est le même concept mais avec plus d'antennes. Les MIMO peuvent utiliser environ quatre transmetteurs, tandis que les massive MIMO comprendront plutôt 100 antennes, un nombre excessif d'antennes, de telle façon que le nombre de transmetteurs dépasse le nombre d'utilisateurs [9]. Les systèmes massive MIMO peuvent se révéler très pertinents pour la localisation de haute précision, en effet, un réseau massif d'antenne permet d'estimer précisément les AOA de chaque composant multi trajets. C'est-à-dire, en analysant les canaux de liaison montante à l'aide des signaux envoyés par les UEs, la BTS peut estimer le AOA avec une précision élevée et à un faible effet d'interférence inter-utilisateurs [10]. Mais comme le montre la figure I.6, la localisation dans les systèmes massive MIMO reste

uniquement efficace dans la mesure où on peut identifier la ligne de vue direct (LOS) par contre c'est plus difficile dans des environnements à trajet multiples où y a plusieurs obstacles qui bloquent le LOS.

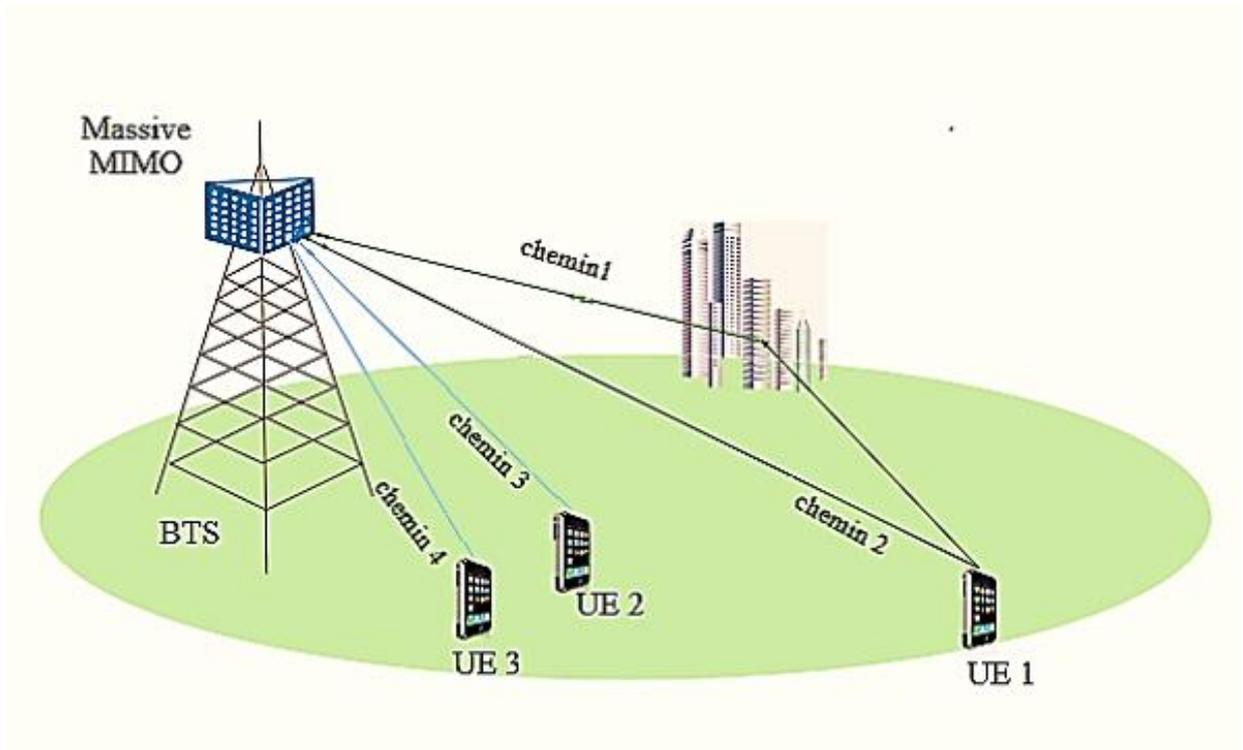


Figure I.6 : Le système massif MIMO

### I.3.2. Communication par onde mmWave

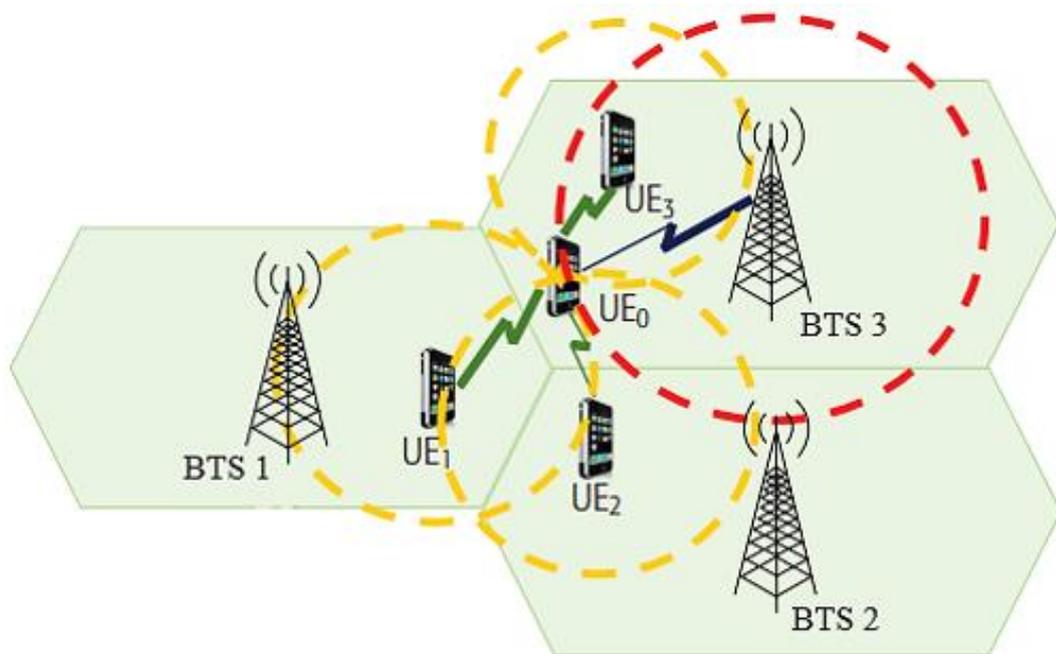
L'utilisation de la technologie mmWave apporte de nombreux avantages pour les systèmes 5G, une large bande passante, la possibilité d'emballer un grand nombre d'antenne dans une petite zone, un débit de données élevées, une communication à faible latence et offre aussi un grand potentiel pour améliorer les performances de localisation dans des environnements complexe.

Dans les zones intérieures ou urbaines à des trajets multiples, l'UE peut recevoir des signaux mmWave provenant de multiples chemins transmis par une ancre physique (point d'accès ou BTS), qui peuvent être réfléchis par différents obstacles lors de la transmission[11].

### I.3.3 La communication device-to-device (D2D)

Dans la communication D2D, deux appareils à proximité peuvent communiquer et échanger des données sans l'implication des BTSs. Une telle technique peut également aider à localiser le UE dans le réseau 5G et simuler de nouveau mécanisme de positionnement. Pour un UE cible, via une communication D2D, il peut obtenir les distances relatives ou les angles d'azimut par rapport à d'autre UE, appelés UE assistés qui pourraient communiquer avec le UE cible. Si l'UE cible a un accès suffisant aux BTSs pour la localisation, la communication D2D peut aider à améliorer la précision de localisation avec des UEs assistés agissant comme des ancres supplémentaires [10].

Dans les environnements urbains ou intérieurs denses, on peut trouver un UE cible qui n'est pas sur la ligne de vue directe ou qui n'a pas un accès direct aux BTSs, dans ce cas, un UE assisté peut jouer en tant qu'un pseudo BTS ou aider à établir un lien avec la BTS [12].



**Figure I.7 :** La communication device-to-device. [10]

Comme on le constate sur la figure I.7, grâce à la communication D2D, l'UE<sub>1</sub>, l'UE<sub>2</sub> et l'UE<sub>3</sub> jouent comme des pseudos BTSs et fournissent des informations supplémentaires liées à l'emplacement pour la localisation de l'UE<sub>0</sub> qui est la cible. Cette méthode est efficace pour la localisation de l'UE cible mais néanmoins le problème de confidentialité sur les côtés émissions et réceptions ne peut pas être négligé car en assurant la sécurité des données on peut affecter la précision de localisation.

**I.3.4 Le réseau ultra dense (UDN)**

C'est une technique engageante pour répondre aux exigences d'un trafic de données explosif dans les communications mobile 5G. Les petites cellules à faible puissance (femtocellules et picocellules) peuvent améliorer la couverture et la capacité des réseaux cellulaires en exploitant la réutilisation spatiale du spectre [16]. Avec une couverture et une capacité élevées, les performances de positionnement des UE peuvent être améliorées et cela à travers de nombreuses méthodes de positionnement. Par exemple, dans les méthodes basées sur la distance, la densité élevée des BTSs augmentera la probabilité de propagation LOS, par conséquent cela augmentera la précision des mesures liées aux techniques de localisation (AOA, TOA, etc) [10].

**I.3.5 Principe de l'accès multiple non orthogonal (NOMA)**

Les systèmes NOMA ont fait l'objet d'une attention particulière pour le réseau 5G, la principale raison est sa compatibilité avec les autres technologies envisagées par la 5G et sa capacité d'utiliser la même ressource en termes de temps, de fréquence et de puissance. Les techniques NOMA disponibles peuvent être globalement divisées soit en domaine de la puissance où la superposition de plusieurs utilisateurs se fait en exploitant la différence de gain de canal entre les utilisateurs. Soit en codage (CD-NOMA) donc la détection des multi-utilisateurs peut être effectuée en utilisant des algorithmes [13].

NOMA exploite le codage par superposition au niveau de l'émetteur et l'annulation des interférences successives (SIC) au niveau du récepteur, multiplexant ainsi les utilisateurs dans le domaine de la puissance. L'UE avec un gain de canal plus élevée (UE fort) soustrait le signal de l'UE avec un gain inférieur (UE faible) via SIC, puis décode son propre signal, l'UE faible considère le signal de l'UE fort comme du bruit et détecte directement son propre signal. Avec un gain de canal inférieur et plus d'interférences, l'UE faible se voit attribuer plus de puissance dans NOMA [14].

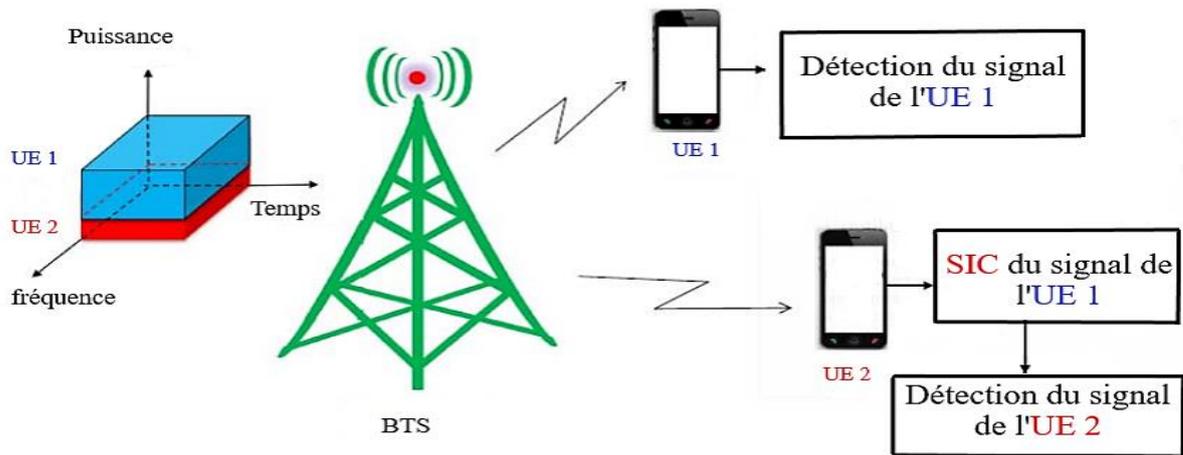


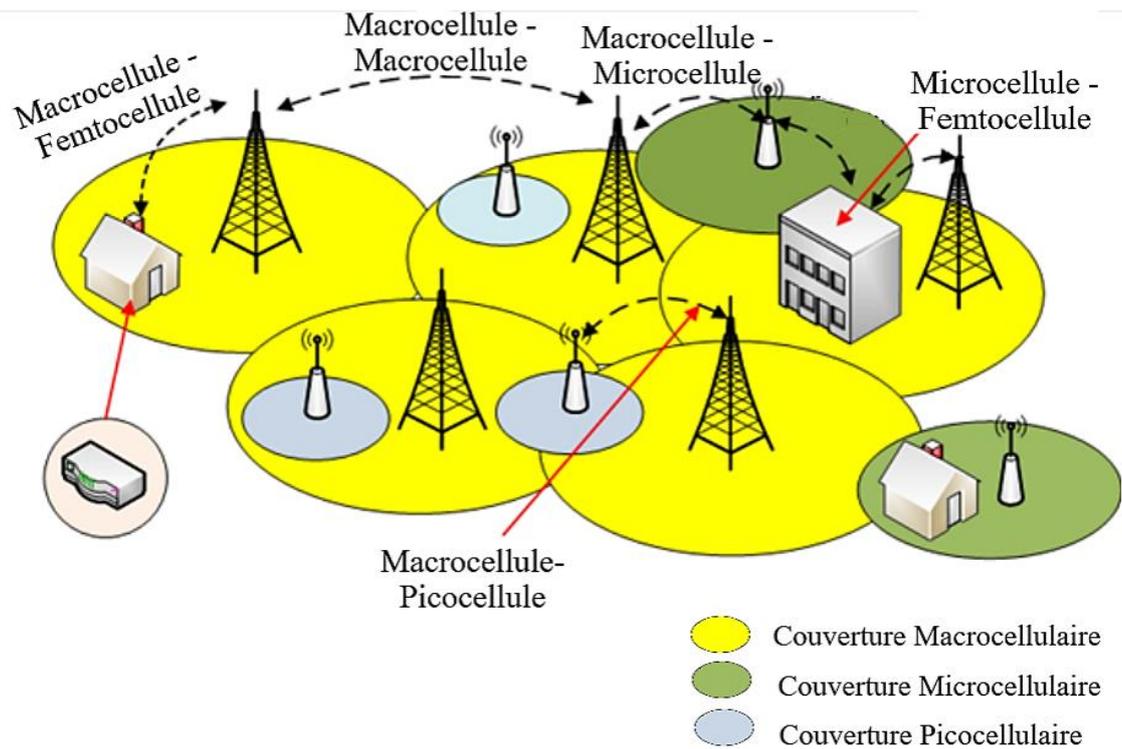
Figure I.8 : Principe de NOMA. [13]

Les systèmes NOM offrent un ensemble d'avantages tels qu'une efficacité spectrale améliorée, une latence réduite avec une fiabilité élevée, une connectivité massive et surtout ils garantissent l'équité de l'utilisateur grâce à un contrôle de puissance flexible entre les utilisateurs forts et faibles [13].

### I.3.6 Réseaux hétérogènes (HetNet)

L'utilisation d'un réseau RAN standard composé uniquement de stations de base de type microcellule désigne un réseau homogène. Cependant, si le RAN est constitué de différents types de stations de base, tels que des macros cellules et différents types de petites cellules, on parle dans ce cas de réseau hétérogène [15], ou réseau multi-RAT2. Le concept de cette technologie repose sur un mélange des cellules de tailles différentes (macro, micro, pico et/ou femto) dans le but d'accroître la proximité entre les cellules et les UEs [16]. C'est-à-dire, sa mise en œuvre nécessitera une combinaison d'une variété de petites cellules relais avec des niveaux de puissance différents sous la couverture d'une macro cellule.

Comme le montre la figure I.9, dans le déploiement du réseau hétérogène la microcellule fournit une couverture étendue tandis que les petites cellules sont déployées de manière plus ciblée pour atteindre les zones de couverture mortes.



**Figure I.9** : Architecture du réseau hétérogène.[16]

Considéré comme une solution attrayante pour les réseaux 5G, les opérateurs seront en bonne position pour fournir des services de 5G à valeur élevée. Constitué de plusieurs technologies fonctionnant simultanément sur des bandes de fréquences pouvant différer, le réseau HetNet va nécessiter une grande flexibilité de la part des récepteurs afin qu'ils puissent, dans un premier temps, commuter rapidement d'une bande à une autre et dans un second temps, utiliser toutes les bandes en parallèle et ainsi accroître considérablement le débit utilisateur [16].

## I.4. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons donné dans l'introduction un bref aperçu sur l'évolution des quatre générations en commençant de la 1G à la 4G de la téléphonie mobile. Par la suite, nous avons enchaîné, d'une façon plus détaillée avec la 5G en expliquant son architecture, son déploiement ainsi que ses technologies envisagées. Pour conclure, la 5G sera une révolution industrielle, prête à venir bouleverser notre quotidien.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter les systèmes et techniques de localisation qui existe

# **Chapitre II**

## **Le positionnement cellulaire**

## **II.1 Introduction**

La localisation a été considérée comme une fonctionnalité facultative dans la normalisation, la mise en œuvre et l'exploitation des réseaux cellulaires existants. Néanmoins, la grande infrastructure de communication cellulaire déployée dans le monde peut être réutilisée à des fins de positionnement, apportant une valeur ajoutée à la gestion et au service de réseaux. Ainsi il y a eu des contributions de recherche pertinentes sur le positionnement pour chaque génération de technologie cellulaire [17].

On désigne par la localisation le procédé qui permet de se situer appelé aussi la géolocalisation, il consiste en la capacité d'un système de communication à déterminer la position géographique, l'emplacement et la distance d'un terminal, tel qu'un téléphone portable, dans le but d'offrir à son utilisateur des informations relatives du lieu où il se trouve[18].

Aujourd'hui, le processus de géolocalisation peut être effectué par l'utilisateur lui-même pour saisir son propre emplacement géographique et pour des sévices de guidage, par une autre personne afin de le localiser ou par un tiers fournisseur de service. Il existe plusieurs systèmes et méthodes de localisation qui diffèrent des unes des autres, nous allons les présenter en première partie dans ce deuxième chapitre. Par la suite, nous allons s'intéresser plus précisément aux systèmes 5G en évoquant l'architecture et processus de localisation prévu pour ce réseau, ainsi que ses modèles de propagation.

## **II.2 Le système de localisation**

Nous allons commencer d'abord par présenter le principe d'un système de positionnement car en effet, quel que soit le type de géolocalisation souhaité, la position est déterminée à partir de trois étapes principales qui sont : les capteurs de signaux reçus, l'algorithme de positionnement et le système d'affichage [23].

Pour la première étape les capteurs de signaux reçus englobent les différentes technologies et techniques de détections qui consistent à déterminer la distance ou l'angle entre deux points. Par exemple : entre des antennes relais et un mobile ou entre un satellite et un récepteur GPS. Ensuite l'algorithme de positionnement, c'est l'étape la plus importante, elle définit la manière de traiter les données reçues et d'effectuer les calculs afin d'estimer la position. Enfin le système d'affichage consiste à convertir les calculs effectués auparavant en coordonnées de longitude et d'altitude puis fixer une position géographique sur un système de cartographie [19].

### **II.2.1 Les types des systèmes de localisation**

#### **II.2.1.1 Système de localisation radio**

On trouve dans ce système :

La localisation par satellite GNSS qui est un système de navigations satellitaires fournissant une couverture globale de géo positionnement, son objectif est de donner la position d'un mobile et sa vitesse en tout lieu du globe. Cette méthode est effectuée par une constellation de 24 satellites et d'un système GPS qui envoie des signaux vers les téléphones mobiles qui les captent et déterminent sa position [18].

La localisation par réseaux cellulaires principalement conçus pour fournir des communications aux utilisateurs mobiles. En outre l'application principale est la détermination de l'emplacement des utilisateurs c'est-à-dire offrir des services basés sur la localisation (LBS). Cette idée est née aux États-Unis pour prendre en charge les appels d'urgence et fournir un service de sécurité aux abonnés (E-911) [18].

Les systèmes de positionnement par réseaux locaux WLAN appelé aujourd'hui sous son nom commercial, WIFI, pratiquement il permet de relier des ordinateurs, des machines, des assistants personnels ou tout types de périphériques à une liaison haute débit (11Mbps ou plus) [20].

Les systèmes de localisation par réseaux personnels WPAN, ce sont des réseaux à faible portée de l'ordre de quelques mètres mais toutefois on peut les utiliser pour positionner un mobile, parmi ses technologies on trouve : le Bluetooth- L'ultra-large bande UWB-Le Zigbee.

Le système de localisation par RFID c'est la technologie la plus répandue ces dernières années, elle permet d'identifier un objet ou des personnes et d'en suivre la trajectoire. Son système est constitué d'une étiquette (Tag), attachée ou incorporé à l'objet ou à la personne, d'un lecteur d'étiquettes avec une antenne et d'un logiciel qui l'accompagne [20].

### **II.2.1.2 Système de localisation non radio**

On trouve dans ce système :

Systeme de localisation par infrarouge, Il est possible de localiser un mobile par des capteurs infrarouges qui seront équipés d'un tag émettant périodiquement (chaque 10 secondes) un signal, reçu par la suite par des capteurs à des positions connues. Ses récepteurs sont reliés entre eux pour former un réseau permettant de détecter le tag actif ainsi que son signal et repérer la position de l'utilisateur par rapport à un point fixe [20].

Systeme de localisation par l'ultrason, dans ce cas le mobile aussi peut estimer sa position à partir du temps de propagation d'un signal provenant des émetteurs ultrasons dont les positions sont connues. Il possède une bonne précision, mais cependant, l'ultrason ne pénètre pas les murs et se reflète sur la plupart des obstacles [15].

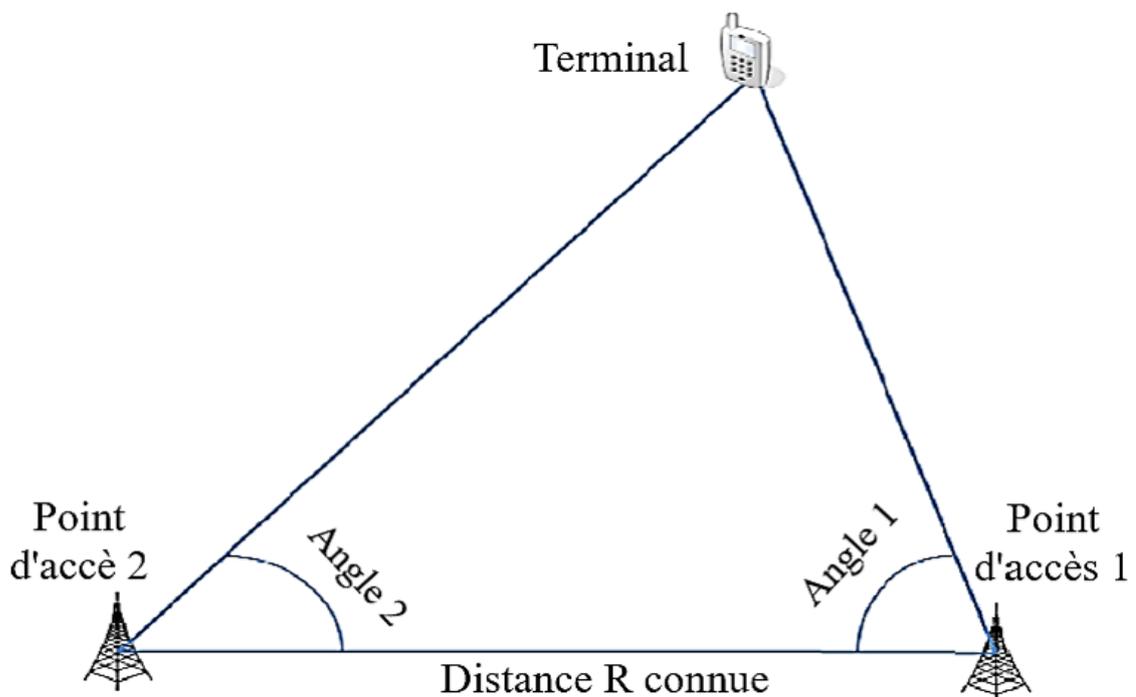
Vidéo/Image, la reconnaissance visuelle de l'environnement est également une piste pour la localisation des mobiles. Des images et des vidéos sont enregistrées pour caractériser l'environnement des positions connues, ce système est composé d'une caméra vidéo, d'un système d'enregistrements et d'un programme d'analyse d'image pour prédire le positionnement et l'identité des objets [20].

## II.2.2 Les méthodes d'estimation de la position

Une forte recherche sur les méthodes de localisations s'est développée, l'objectif étant de fournir une bonne précision de l'emplacement des utilisateurs afin de leur assurer une bonne qualité de services. Parmi ces méthodes nous allons évoquer celles qui sont généralement retenus pour la localisation dans les réseaux mobiles :

### II.2.2.1 Méthode d'angle d'arrivée (AOA)

L'angle d'arrivée était le premier paramètre exploité pour déterminer la position des émetteurs radios, tels qu'ils sont utilisés dans les méthodes goniométriques. La mesure d'AOA consiste à estimer l'angle d'incidence du signal provenant du mobile au niveau des BTSs en utilisant des antennes directionnelles ou un réseau d'antennes [21]. La figure ci-dessous montre qu'il est évident qu'au moins deux BTSs sont nécessaires pour déterminer l'emplacement d'un mobile comme aussi on peut utiliser plus de deux points d'accès pour augmenter la précision. Avec l'AOA, la position est calculée en termes des coordonnées des BTSs, c'est-à-dire la distance entre chacune, les angles d'arrivés et aussi l'intersection des droites passant par chaque BTS, via un système simple d'équations qui est le principe de la technique de triangulation [22].

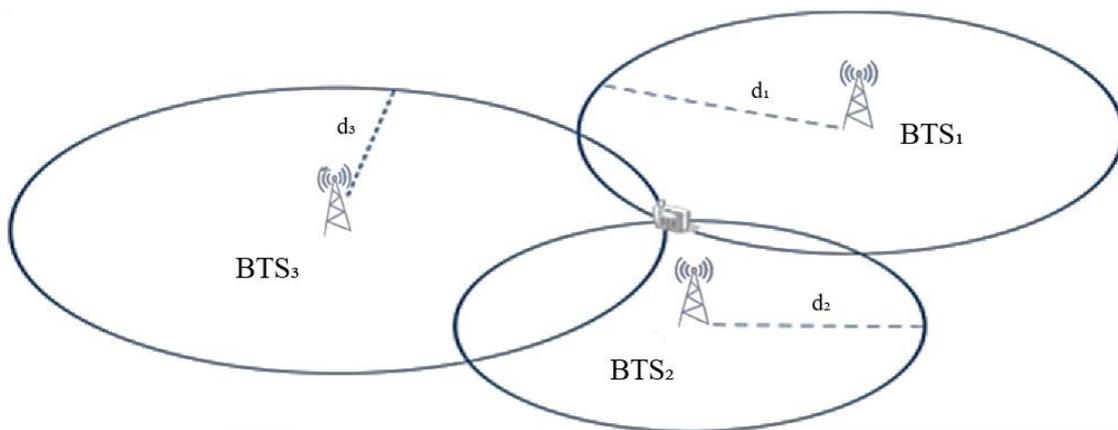


**Figure II.1** : Localisation basée sur AOA avec deux BTS (Principe de triangulation). [21]

Le principe de la triangulation : en géométrie, la triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point à partir des points de référence dont la position est connue, elle permet aussi de trouver une distance simplement en calculant la longueur entre deux points du triangle et en mesurant les deux angles de ces points. Ce qui correspond, dans notre cas, aux angles d'incidence du signal mobile au niveau de deux BTSs ainsi que la distance qui les sépare et on déduit les coordonnées du mobile [23].

### II.2.2.2 Méthode relative au temps d'arrivée (TOA)

La mesure du temps d'arrivée des signaux ou TOA (pour Time of Arrival), est l'une des techniques les plus utilisées, elle est liée à l'emplacement des BTSs et à l'heure d'arrivée c'est-à-dire le temps de propagation du signal, qui peut être un signal de la liaison montante, du mobile à la BTS ou de liaison descendante émis des BTSs et reçu par le mobile. Pour une localisation précise du mobile, le TOA repose sur la technique de trilatération, son principe est l'intersection de trois cercles dont leurs rayons est la distance qui sépare le mobile des stations de bases [23].



**Figure II.2** : Localisation basée sur TOA avec trois BTS

(Principe de trilatération). [23]

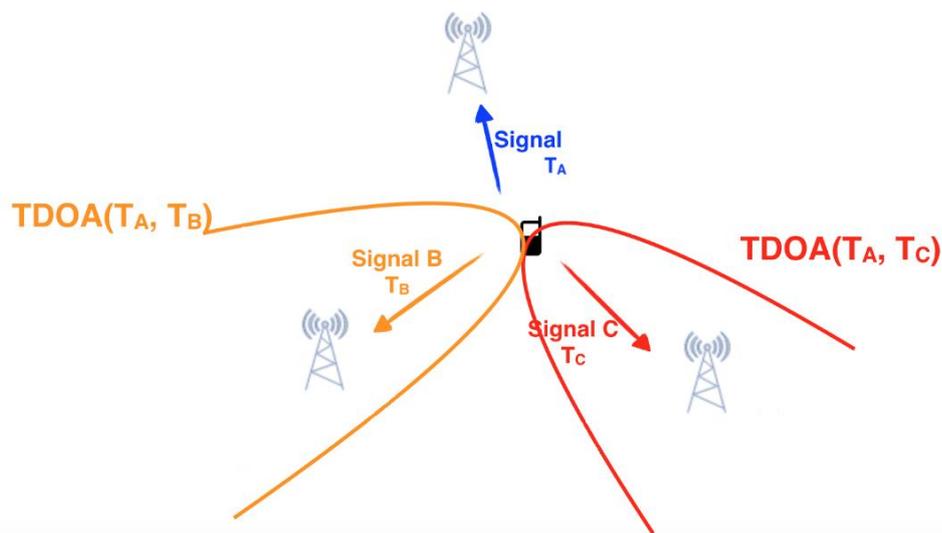
Le principe de trilatération : c'est une méthode mathématique permettant de déterminer la position relative d'un point en utilisant la géométrie des triangles tout comme la triangulation, mais en se servant uniquement des distances et non des angles. Son principe est basé sur la connaissance de la vitesse de propagation de l'onde, du mobile vers les BTSs. Le temps de la transmission est chronométré, le calcul de la distance devient alors simple :

$$v = \frac{d}{t} \Rightarrow d = v * t \quad (\text{II.1})$$

Pour déduire les coordonnées du mobile, il suffit de tracer des cercles dont les centres sont les BTSs et des rayons égaux aux distances trouvées. Le point d'intersection de ces cercles indique la position du mobile [24]. Cependant, cette méthode est efficace seulement dans le cas où la propagation est en ligne de visée, dans le cas contraire elle fournit de fausses informations sur la distance étant plus grande qu'elle ne l'est réellement [21].

### II.2.2.3 Méthode relative à la différence de temps d'arrivée (TDOA)

Cette technique est basée sur la méthode des hyperboles, l'idée consiste à estimer la différence de temps d'arrivée entre deux signaux provenant ou reçu par les BTSs. C'est-à-dire un mobile envoie un signal radio aux stations de bases environnantes qui le reçoivent avec un temps de retard  $T_n$  (dont  $n$  est pas le numéro de la BTS). Par la suite, cette différence est convertie en distance décrivant ainsi une hyperbole dont le foyer est la BTS et l'intersection de deux hyperboles indique la position du mobile [25]. Pour le cas de trois BTSs, on aura deux estimations de TDOA, donc plus de précision, dont chacune d'elles définit une hyperbole traversant le mobile.



**Figure II.3** : Localisation basée sur TDOA avec trois BTS (hyperboles). [25]

D'après la figure, nous avons [15] :

$$\text{TDOA}(T_A, T_C) = T_A - T_C = \frac{d_A - d_C}{c} \Rightarrow d_A - d_C = (T_A - T_C) \times c \quad (\text{II.2})$$

$$\text{TDOA}(T_A, T_B) = T_A - T_B = \frac{d_A - d_B}{c} \Rightarrow d_A - d_B = (T_A - T_B) \times c \quad (\text{II.3})$$

Tel que  $T_A, T_B, T_C$  représentent le temps d'arrivée du signal pour chaque récepteur et  $c$  est la vitesse de la lumière.

Pour chaque mesure TDOA, l'émetteur doit se trouver sur une hyperbole avec une différence de distance constante entre les deux unités de mesures.

#### II.2.2.4 Méthode basée sur la puissance reçue (RSS)

Cette technique s'appuie sur la force du signal reçu au niveau d'un ou plusieurs points d'accès, typiquement utilisée dans la radiolocalisation cellulaire et la radiolocalisation WIFI [31]. Son principe est qu'à partir de l'atténuation du signal on peut obtenir la distance qui sépare les BTSs du mobile, la puissance du signal reçu est liée à la distance  $r$  entre la station de base et l'UE par [21] :

$$P(r) = P(r_0) \left(\frac{r_0}{r}\right)^m \quad (\text{II.4})$$

$m$  correspond aux pertes de trajets,  $R_0$  est la distance à un point de référence et  $P(r_0)$  est la puissance à la distance de référence.

Le  $P(r_0)$  est obtenu soit par les mesures de champ à  $r_0$  ou soit par l'équation d'espace libre [22] :

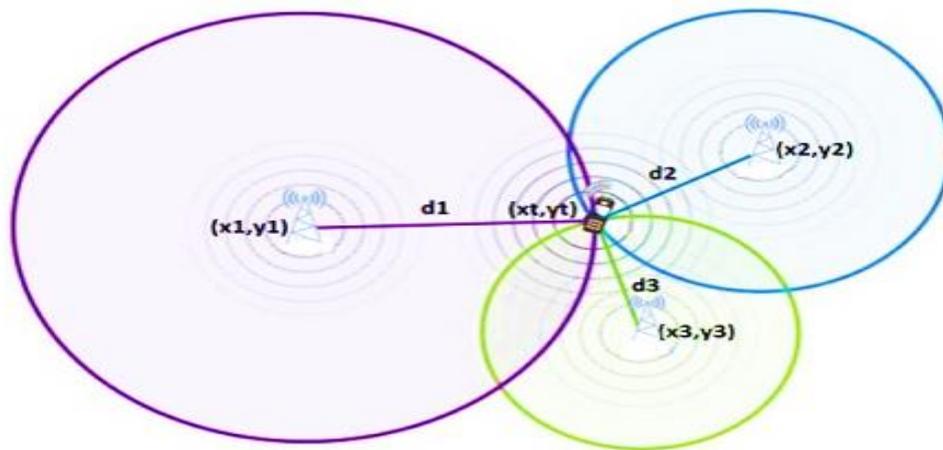
$$P(r_0) = \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 r_0^2} P_t G_t G_r \quad (\text{II.5})$$

$\lambda$  est la longueur d'onde,  $P_t$  est la puissance émise,  $G_t$  est le gain de l'antenne émettrice et  $G_r$  est le gain de l'antenne réceptrice.

La puissance du signal reçu dépend du gain de l'antenne émettrice et ce gain dépend de la position angulaire relative au UE par rapport à l'antenne émettrice. Dans l'équation (II.5), on suppose que la propagation des ondes soit directe, on peut donc calculer  $r$  à partir de l'équation (II.4) [21] :

$$r = r_0 \left(\frac{P(r_0)}{P(r)}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (\text{II.6})$$

En prenant cette distance comme rayons des cercles et les BTSs leurs centres on obtiendra la position du mobile au point de leurs intersections.



**Figure II.4** : Localisation basée sur RSS avec trois BTS. [22]

### II.2.2.5 Méthode basée sur le système d'identification de cellules (Cell ID)

C'est la technique de géolocalisation la plus simple, elle consiste à relever la position géographique de la station de base de la cellule, c'est-à-dire la zone de couverture, à laquelle est connecté le téléphone mobile, lui permettant ainsi de récupérer les identifiants des antennes GSM. À l'aide de cette information, il est possible de faire le lien entre les identifiants des cellules et le positionnement géographique des antennes et permettre ainsi au terminal d'estimer approximativement son emplacement. L'exactitude de cette estimation dépendra de la taille de la cellule [19].

## II.3 Les systèmes 5G

La 5G sera la première génération à bénéficier d'informations de localisation suffisamment précises pour être exploitée dans la conception et l'optimisation des réseaux sans fil, ce qui fait d'elle la plus prometteuse pour le positionnement cellulaire en vue des développements technologiques existants et prévus.

### II.3.1 La 5G pour une localisation précise

Les systèmes 5G présenteront un certain nombre de propriétés utiles pour fournir des informations de positionnement précises, parmi elles on cite [3] :

Des fréquences porteuses élevées (environ 30GHz et plus), dans la bande d'onde mm, la petite longueur d'onde du signal (10mm à 30GHz) permet de regrouper des centaines d'antennes dans une petite zone, ce qui permet de réaliser des faisceaux hautement directionnels. On aura ainsi l'absence de diffraction, diffusion limitée et peu de réflexion [26].

Une large bande passante, car avec l'utilisation de fréquences porteuses plus élevées, il est possible d'utiliser des bandes passantes beaucoup plus grandes dans les signaux 5G. On peut s'attendre qu'elle utilise des canaux de fréquences avec des largeurs de l'ordre de centaine de MHz dépassant largement les canaux de 20MHz en LTE. L'effet d'une large bande est double : une latence réduite en raison du temps de symboles plus courte et une précision accrue des mesures basées sur le temps, en raison d'une résolution de retard plus fine [26].

Un grand nombre d'antenne ce qui signifie des faisceaux de signaux proches peuvent être utilisés au niveau de l'émetteur et/ou récepteur, la formation de faisceaux peut améliorer la qualité de la communication en réduisant les interférences. Des études préliminaires aux fréquences cellulaires conventionnelles montrent qu'il est possible d'atteindre une précision de positionnement au centimètre près avec une bande passante de 40MHz en ayant de nombreuses antennes à la station de base [27].

Une densification du réseau avec une hiérarchie de station de base, associées à des différentes tailles de cellules et connectées à des liaisons de retour à haut débit. Dans les réseaux denses, les appareils peuvent se connecter à plusieurs nœuds d'accès ce qui fournit des débits de données plus élevés avec moins de consommation d'énergie. A condition que les problèmes d'interférences et de mobilités soient résolus. Les réseaux ultras denses peuvent permettre un positionnement ultra précis [27].

### **II.3.2 Architecture de localisation dans le réseau 5G**

Afin de répondre aux exigences de performances de positionnement plus élevés, une architecture générale intégrant les techniques de communication émergentes est nécessaire. Une présentation d'une architecture de positionnement prospective pour les réseaux 5G a été donnée comme suite [12] :

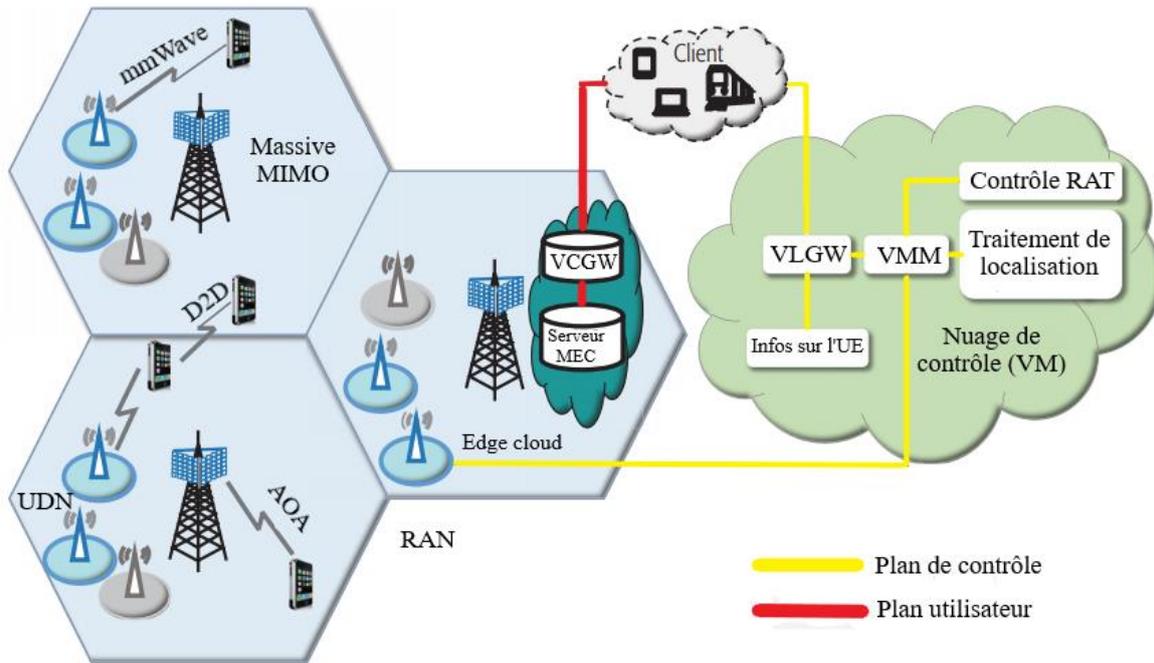


Figure II.5 : Procédure de positionnement dans le réseau 5G. [12]

Tout comme dans le positionnement LTE, en 5G aussi se fait en deux possibilités, le client peut avoir la position soit sur le plan U ou sur le plan C.

Sur le plan C, ses fonctions sont intégrées dans le contrôle cloud, contrairement aux architectures des réseaux précédents, les entités liées au positionnement (MME, HSS, E-SMLC) ont été supprimées du CN et les fonctions correspondantes sont implémentées sur des machines virtuelles VM. La procédure de positionnement sur le plan C commence, comme dans les générations précédentes, par l'envoi d'une demande de positionnement aux virtual locations gateway (VLGW) qui obtient les informations liées à la localisation de l'UE par le module virtual manages mobility (VMM), ensuite le serveur de localisation choisit un RAT approprié, recueille les mesures de plusieurs BTS et estime l'emplacement de l'UE [10].

Quant au plan U, on remarque que le RAN se compose d'un réseau à technologies d'accès radio (RAT) et des nuages de périphérie. Le RAT ou réseau multi-RAT, il détermine en partie la méthode de positionnement la plus souhaitable et celle-ci doit être choisie en tenant compte des capacités de l'UE et de la qualité de service de positionnement (QoS) [10].

Le nuage de périphérie, dite Edge cloud, il est situé au bord de RAN, il prend en charge le positionnement sur le plan U, il se compose du : VCGW qui est responsable des fonctions

du plan U, par exemple, la gestion du QoS, l'hébergement de divers réseaux d'accès et il intègre certaines fonctions des passerelles traditionnelles (P-GW et S-GW dans LTE). MEC sert à faire face aux demandes de calcul croissantes des UE, il surmonte la limitation des grandes latences en traitant de gros volumes de données et de charges en bordure du réseau, ce qui se traduit par un positionnement en temps réel [27].

### II.3.3 Les antennes Beamforming

Le Beamforming, appelé aussi filtrage spatial ou formation de faisceaux, c'est une technique de traitement de signal qui permet de modifier la phase et l'amplitude afin d'envoyer les signaux dans des directions particulières. Cette technique permet, dans les zones urbaines, de limiter les interférences en optimisant l'orientation du signal en fonction de la position des UEs. Les antennes macro de la 5G seront donc des antennes directives qui agiront tel un phare directionnel. Leurs signaux seront dirigés dans des directions précises plutôt que d'être dirigés dans toutes les directions [2].

L'avantage du beamforming pour les UEs est la réduction de la latence et pour les antennes relais est de ne pas émettre en permanence mais seulement quand c'est nécessaire. Cela représente donc un gain d'énergie considérable [28].

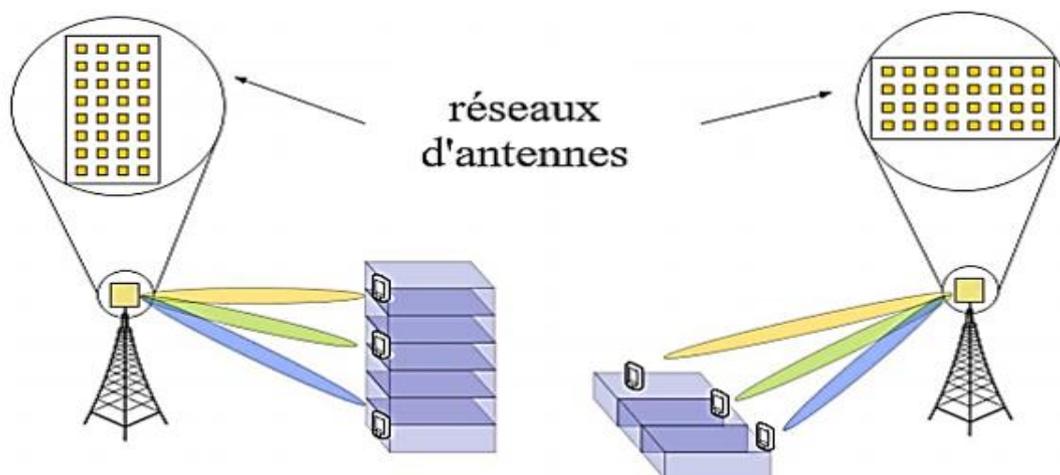


Figure II.6 : Antennes Beamforming. [28]

### II.3.4 Canal de propagation

Un canal de propagation est l'endroit où l'onde EM subit des transformations, d'un signal émis en un signal reçu. Néanmoins ce dernier est influencé par les interactions du signal émis avec l'environnement de propagation. En espace libre, la propagation se fait de l'émetteur jusqu'au récepteur en ligne directe, représentant ainsi un cas idéal, mais en la plupart du temps la propagation se fait dans des endroits à multi trajets causés par les différents obstacles. On distingue donc deux types de propagations :

NLOS (None Line Of Sight) qui désigne là où il n'y a pas de ligne de vue direct vers le récepteur, le signal atteint le récepteur à travers des réflexions et diffractions [4].

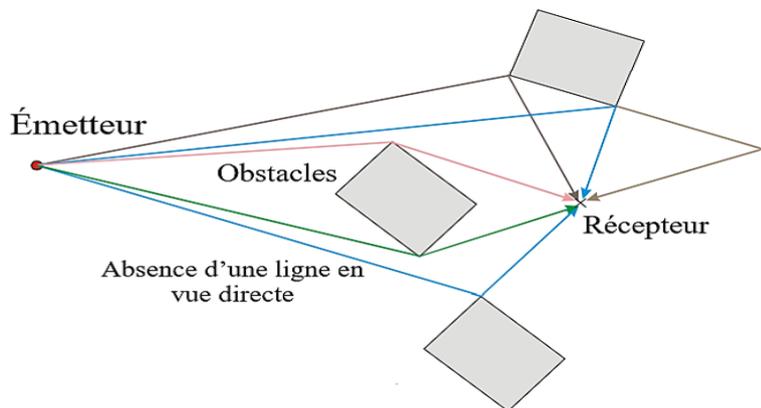


Figure II.7 : Propagation NLOS. [4]

Et le LOS qui est une liaison qui ne rencontre aucun obstacle sur son trajet, c'est-à-dire une ligne de vue direct vers le récepteur [4].

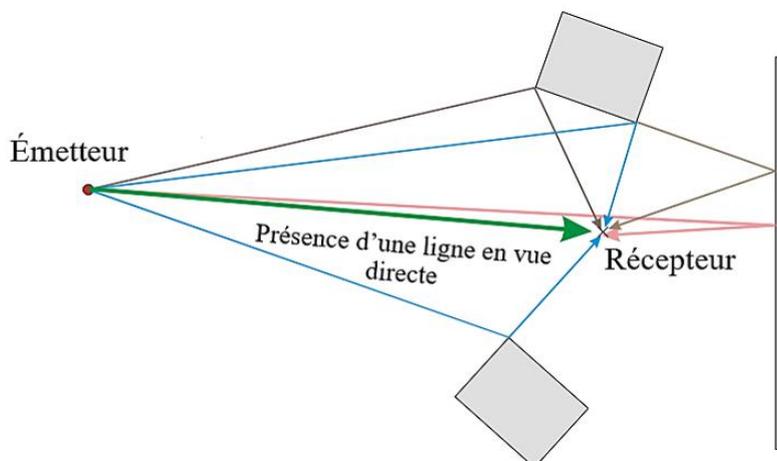


Figure II.8 : Propagation LOS. [4].

A cause de ces différents trajets, il en résulte un signal reçu constitué de multiples signaux élémentaires avec des amplitudes et temps de propagation différents représentant ainsi des déphasages qui peuvent conduire à la disparition du signal original, ce phénomène est appelé Fading ou évanouissement du signal et on distingue trois types de canaux Fading [29] :

Affaiblissement de parcours est un phénomène macroscopique qui modélise la diminution de l'amplitude du signal ou l'affaiblissement de la puissance de l'onde EM lorsqu'elle parcourt une certaine distance.

Evanouissement lents (Slow Fading), il représente un phénomène plus local, ses lentes variations sont dues aux atténuations successives produites par des gros obstacles locaux qui causent de la diffraction.

Evanouissement rapides (Fast Fading) c'est un phénomène très local caractérisé par des variations rapides causé par les trajets dus à l'addition constructive ou destructive des signaux qui ne peut être déterministe.

Comme l'amplitude du signal reçu varie très rapidement sur des distances très courtes, une présentation statistique s'impose. L'amplitude d'évanouissement du signal peut suivre plusieurs distributions telles que : Rayleigh et Nakagami-m.

#### II.3.4.1 Distribution Rayleigh

Une distribution Rayleigh est souvent observée lorsque l'amplitude totale d'un vecteur est liée à ses directions. C'est-à-dire dans le cas d'une propagation multi trajets indirects (NLOS) ayant des amplitudes et des phases aléatoires, le signal suit la loi de Rayleigh [30] :

$$P(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{II.7})$$

Pour :  $r \geq 0$

$r$  Représente l'enveloppe du signal complexe reçu  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  .

#### II.3.4.2 Distribution Nakagami-m

C'est une distribution de probabilité qui modélise d'une manière générale l'évanouissement à petite échelle pour les diffusions de signaux denses et c'est l'une des distributions les plus courantes car elle couvre plusieurs types d'évanouissement. Son équation est représentée par [31] :

$$P(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m r^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} r^2\right) \quad (\text{II.8})$$

Pour :  $r \geq 0$  et  $m \geq 0.5$

$\Gamma(\cdot)$  Représente la fonction gamma.

$\Omega = E\{r^2\}$  Représente la valeur quadratique moyenne

$m = \frac{E^2\{r^2\}}{\text{var}\{r^2\}}$  Représente le paramètre d'évanouissement.

$r$  Est l'enveloppe du signal complexe reçu.  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

### II.3.5 Model de propagation 5G

Les systèmes 5G émergents devraient utiliser des technologies révolutionnaires, de nouveaux spectres potentiels et de nouveaux concepts architecturaux. Par conséquent, il est essentiel de développer des canaux fiables et il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des caractéristiques du canal de propagation sur toutes les fréquences afin d'aider les ingénieurs dans la conception et la réalisation de ces systèmes.

Trois modèles de propagation peuvent être utilisés sur les bandes de fréquences envisagées par la 5G, comme la bande mmWave. Le modèle ABG, CI et CIF et ce sont des modèles statistiques multi fréquences c'est-à-dire stochastiques qui décrivent la différence entre le niveau du signal émis, mesuré sur la face de l'antenne émettrice et le niveau du signal reçu, mesuré sur la face de l'antenne réceptrice. La perte de trajet ne prend pas en compte les gains d'antennes ou les pertes de câbles mais elle représente le niveau d'atténuation du signal présent dans l'environnement en raison des effets de la propagation (la réflexion, diffraction ou diffusion en espace libre).

#### II.3.5.1 Le modèle Alpha-Beta-Gamma (ABG)

Ce modèle est une simple extension du modèle AB actuellement utilisé dans la 3GPP, où un paramètre d'optimisation dépendant de la fréquence a été rajouté [35].

L'équation de ce modèle est donnée :

$$PL^{ABG}(f, d)[dB] = 10\alpha \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \beta + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{f}{1\text{GHz}}\right) + \mathcal{X}_{\sigma}^{ABG} \quad (\text{II.9})$$

Où  $d \geq d_0$  et  $d_0 = 1\text{m}$

Avec

$PL^{ABG}(f, d)[dB]$  : Perte de trajet en décibel sur la fréquence et la distance.

$\alpha$  et  $\gamma$  : Ce sont des coefficients montrant, respectivement, la dépendance de la perte de trajet sur la distance et la fréquence.

$\beta$  : Est une valeur de décalage optimisée pour la perte de chemin en dB.

$d$  : La distance en 3-D entre l'émetteur et le récepteur en mètre.

$f$  : La fréquence porteuse en GHz.

$\mathcal{X}_\sigma^{ABG}$  : Une variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle avec un écart-type  $\sigma$  en dB, décrivant l'ombrage autour de la perte moyenne sur la distance et la fréquence.

Ce modèle a quatre paramètres,  $\alpha, \beta, \gamma$  ainsi que l'écart-type d'ombrage, pour déterminer la perte moyenne sur le trajet en fonction de la distance et de la fréquence. Lorsqu'il est utilisé à une seule fréquence il devient le modèle (AB) existant avec trois paramètres et  $\gamma$  mis à 2.

### II.3.5.2 Le model Close-In (CI)

Le modèle Close-In est le deuxième modèle candidat de pertes de chemin de propagation à grande échelle et c'est le plus simple. Alors que le modèle ABG nécessite quatre paramètres, le CI ne nécessite qu'un seul paramètre, à savoir le PLE, pour déterminer la perte moyenne sur le trajet avec la distance et la fréquence tout en offrant une simplicité substantielle et une meilleure stabilité et précision grâce à travers les fréquences et distances [32].

L'équation de ce modèle est donnée :

$$PL^{CI}(f, d)[\text{dB}] = FSPL(f, d_0)[\text{dB}] + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathcal{X}_\sigma^{CI} \quad (\text{II.10})$$

Où  $d \geq d_0$

$n$  : Paramètre de modèle unique, désignant l'exposant de perte de chemin (PLE) et  $10n$  décrit la perte de chemin en dB.

$f$  : La fréquence porteuse en GHz.

$d_0$  : La distance de référence en espace libre proche.

$\mathcal{X}_\sigma^{CI}$  : Une variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle avec un écart-type  $\sigma$  en dB.

$d$  : La distance entre l'émetteur et le récepteur en mètre.

Le CI a sa dépendance en fréquence exprimée principalement par le terme :

$FSPL(f, d_0)$  qui désigne la perte de trajet en espace libre en dB à une distance de séparation émetteur-récepteur de  $d_0$  et de fréquence porteuse  $f$ . Donné par [35] :

$$FSPL(f, d_0)[dB] = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi f d_0 \times 10^9}{c}\right) \quad (II.11)$$

Où  $c$  représente la vitesse de la lumière.

De (II.10) et (II.11), on déduit :

$$PL^{CI}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_0)[dB] + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathcal{X}_\sigma^{CI} \quad (II.12)$$

$$PL^{CI}(f, d)[dB] = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi f d_0 \times 10^9}{c}\right) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathcal{X}_\sigma^{CI} \quad (II.13)$$

$$PL^{CI}(f, d)[dB] = 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0 \times 10^9}{c}\right) + 20 \log_{10}(f) + \mathcal{X}_\sigma^{CI} \quad (II.14)$$

$$PL^{CI}(f, d)[dB] = 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \eta + 20 \log_{10}(f) + \mathcal{X}_\sigma^{CI} \quad (II.15)$$

Où  $d \geq d_0$  Et  $\eta = 20 \log_{10} \frac{4\pi d_0 \times 10^9}{c}$

### II.3.5.3 Le modèle Close-in pondéré en fréquence (CIF)

Un modèle récent de perte de trajet a également été adapté à la modélisation multi fréquence, il représente la forme générale du modèle CI, appelé le modèle Close-in pondéré en fréquence. L'équation de ce modèle est donnée [36] :

$$PL^{CIF}(f, d)[dB] = FSPL(f, d_0)[dB] + 10n\left[1 + b\left(\frac{f-f_0}{f_0}\right)\right] \log_{10}(d) + \mathcal{X}_\sigma^{CIF} \quad (II.16)$$

$n$  : Désigne la dépendance à la distance de la perte de trajet (similaire à la PLE en CI).

$b$  : Paramètre du modèle qui capture la quantité de dépendance de fréquence linéaire de la perte de trajet par rapport à la moyenne de toutes les fréquences considérées dans le modèle.

$\mathcal{X}_\sigma^{CIF}$  : Une variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle avec un écart-type  $\sigma$  en dB.

$f_0$  : La fréquence moyenne, sert de point d'équilibre pour la dépendance de fréquence linéaire du PLE, c'est-à-dire :

$$f_0 = \frac{\sum_{\mathcal{K}} f_{\mathcal{K}} N_{\mathcal{K}}}{\sum_{\mathcal{K}} N_{\mathcal{K}}} \quad (\text{II.17})$$

Où  $\mathcal{K}$  est le nombre de fréquences uniques et  $N_{\mathcal{K}}$  le nombre de points de données de perte de trajet correspondant à la  $\mathcal{K}^{\text{ème}}$  fréquence  $f_{\mathcal{K}}$ .

## II.4 Conclusion

Au cours de ce deuxième chapitre, nous avons défini le système de positionnement en général tout en citant ses différents types utilisés jusqu'à aujourd'hui pour localiser soit un objet, une personne ou même des animaux. Par la suite, nous nous sommes étalées sur un de ces types, le positionnement cellulaire, en évoquant les méthodes d'estimation et leurs principes. Ensuite, nous avons donné un aperçu de l'architecture et processus de localisation prévu pour la 5G, en introduisant un peu plus largement, ses modèles de propagation ainsi que les antennes utilisées.

Le chapitre qui suit, sera consacré pour la localisation dans le réseau 5G, en se basant sur une de ses technologies envisageable pour offrir des avantages complémentaires à une localisation précise.

# **Chapitre III**

## **La localisation**

**RSSI**

### III.1 Introduction

Le problème de localisation dans les systèmes de communication consiste à l'estimation d'une position précise, compte tenu de l'emplacement connu des stations de bases, il existe plusieurs méthodes, que nous avons déjà citées dans notre deuxième chapitre, section II.2.2, qui peuvent être utilisées pour localiser le mobile. Reposant sur des calculs des délais de propagation, la TOA, sur le principe des hyperboles la TDOA, sur les principes géométriques l'AOA ou sur la mesure de la puissance transmise le RSSI [33].

Dans ce troisième chapitre notre choix s'est porté sur la méthode RSSI, afin d'obtenir la localisation de notre mobile dans une propagation 5G. Dans un premier temps, nous allons exposer une analyse plus détaillée de cette méthode en s'intéressant à ses caractéristiques et aux structures des antennes pouvant être utilisées. Puis présenter la méthodologie suivie pour la réalisation de notre simulation. Enfin nous allons effectuer une comparaison basée sur la variation du nombre des nœuds de transmission et réception, ainsi qu'entre le modèle de perte de trajet qu'on a utilisé et un modèle standard.

### III.2 L'indicateur de force du signal reçu (RSSI)

De nombreux protocoles de localisation sont basés sur la puissance du signal reçu ou RSSI ses mesures représentent la qualité relative d'un signal qui sera reçue, c'est-à-dire le niveau de puissance qui est reçu après toute perte possible au niveau de l'antenne et du canal. Par conséquent, plus la valeur du RSSI est élevée, plus le signal est fort [34].

Cette méthode est populaire du fait de la possibilité de déterminer la distance entre un émetteur et son récepteur, lorsque cette distance augmente, la valeur RSSI diminue et lorsque la distance diminue le RSSI augmente. Sur la base de la théorie, la valeur du signal reçu est une fonction décroissante de manière monotone. La formule citée dans le deuxième chapitre, section II.2.2.4 représente un cas d'idée à utiliser pour la mesure de la distance. Cependant, utiliser le RSSI comme estimateur de distance conduit à des erreurs de précisions à cause de l'instabilité liée au canal radio par conséquent il est difficile de déterminer le gain d'antenne, c'est pourquoi la formule suivante est utilisée pour mieux expliquer la relation entre la distance et la force du signal reçu [35] :

$$P_r(d) = P_t(d_0) - PL(d) \quad (\text{III.1})$$

Où  $P_r(d)$  représente la puissance reçue à une distance spécifique,  $P_t(d_0)$  la puissance transmise,  $PL(d)$  est le paramètre de perte de trajet et  $d$  la distance entre l'émetteur et le

récepteur. Si la puissance de transmission est connue, on peut mesurer la puissance reçue et calculer le degré de perte en se basant sur une distance de référence de  $d_0=1m$  [35].

$$P_r(d_0) = P_t - PL(d_0) \tag{III.2}$$

Cette équation représente la puissance reçue à une distance de référence de  $d=1m$ . La distance entre l'émetteur et le récepteur peut alors être obtenue à partir de ces mesures. C'est-à-dire à partir des valeurs RSSI collectées on peut retrouver les paramètres environnementaux appropriés, ils sont généralement fixés lors de la localisation à moins que des changements considérables ne se produisent dans l'environnement. Puis en utilisant les techniques d'améliorations, d'optimisation et de filtrage du signal RSSI, nous pouvons mesurer les distances en utilisant le modèle de perte de chemin qui convient. Enfin, une fois que les distances sont trouvées l'algorithme de mesure peut ensuite être appliqué pour estimer la position à l'aide des techniques géométriques telles que la latéralisation [34].

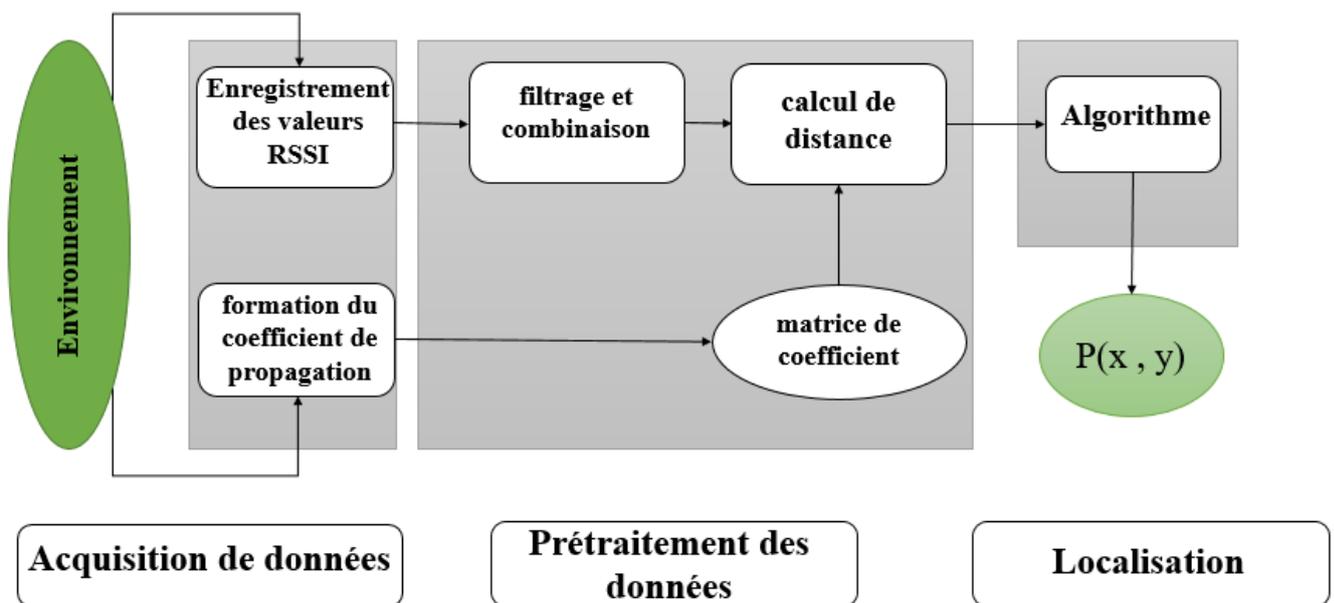
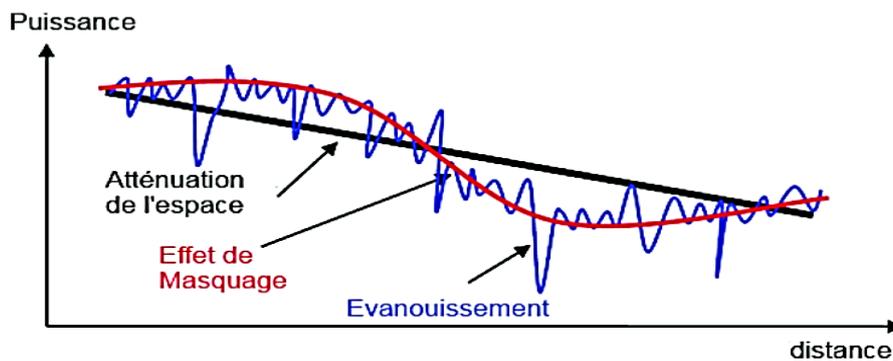


Figure III.1 : Etapes d'une localisation RSSI.[34]

### III.3 Effet du canal de propagation sur le RSSI

Pour comprendre les caractéristiques de RSSI, il faut prendre en compte la propagation du signal entre l'émetteur et le récepteur et les effets d'évanouissement par trajets multiples. Comme nous l'avons déjà expliqué dans le deuxième chapitre, section II.3.4, les ondes EM empruntent des chemins différents de longueur variable et de temps d'arrivée différents en raison des obstacles sur son chemin. Ainsi de l'interaction de ces ondes en résulte des évanouissements multiples qui affectent la force du signal [31].

Des études montrent qu'en modifiant légèrement la position, les formes d'ondes des signaux vont changer et étant donné dans un environnement réel les valeurs RSSI sont affectées et restent sans régularité, donc ses signaux ne sont pas périodiques et la variance RSSI n'est pas directement liée à sa force mais les deux dépendent des conditions de l'environnement.



**Figure III.2 :** Les effets du canal de propagation sur le signal RSSI. [31].

D'après la figure III.2, on distingue trois phénomènes qui ont une influence sur l'onde EM, la perte de chemin qui désigne la réduction de la densité de puissance de l'onde lorsqu'elle se propage dans l'espace. Cette atténuation est représentée par l'exposant de perte de chemin  $n$  dont la valeur est généralement comprise entre 2 et 6. En espace libre, nous considérons que l'exposant  $n$  est égale à 2 et dans certain environnement, tels que les bâtiments ou d'autres environnement intérieur,  $n$  peut atteindre des valeurs comprises entre 4 et 6 [30].

L'évanouissement qui est une déviation de l'atténuation que subit le signal, il varie selon la position géographique et la fréquence radio, souvent modélisé comme un processus aléatoire. En conséquence, l'évanouissement peut créer des interférences destructives ou constructives, amplifiant ou atténuant la puissance du signal vu au niveau du récepteur.

Enfin, l'ombrage ou effet de masquage représente la perte du signal due à des obstacles (murs, bâtiments, arbres, voiture, personnes, etc.) entre l'émetteur et le récepteur [31].

### **III.4 Les structures des antennes pour la techniques RSSI**

La précision est une métrique importante dans le contexte de la localisation et différentes méthodes tentent de l'améliorer. Outre les différentes techniques, le matériel et plus particulièrement le type d'antenne a un effet considérable sur la précision de la position.

La technique de diversité est une approche courante qui aide à atténuer les effets dégradants. Différents types de diversités sont généralement utilisés dans les communications sans fil tel que la diversité temporelle, la diversité fréquentielle et diversité spatiale. Cette dernière est la plus intéressante, son concept est que le récepteur reçoit plusieurs copies du signal transmis via différents chemins de sorte qu'ils subissent des évanouissements indépendants et cela en utilisant trois modèles de liaison de communication [36].

Le système Single Input Multiple Output (SIMO) également appelé diversité de réceptions, son émetteur est équipé d'une seule antenne et le récepteur a plusieurs antennes, ce qui fait que le récepteur reçoit plusieurs copies indépendantes du signal transmis pour surmonter les effets de l'évanouissement.

Le système Multiple Input Single Output (MISO), connu sous le nom de diversité de transmission, utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et une seule antenne au niveau du récepteur. Par rapport au système SIMO, en MISO le traitement est déplacé du récepteur vers l'émetteur. La puissance d'émission totale est répartie entre toutes les antennes. Le système Multiple Input Multiple Output (MIMO) dans ce modèle plusieurs antennes sont déployées à la fois sur l'émetteur et sur le récepteur.

### **III.5 Méthodologie**

Parmi les technologies envisagées par les systèmes 5G nous avons le réseau ultra dense, qui comprend l'utilisation d'un nombre important et de différents types de stations de bases, des macro-urbains BTSs (UMa) et des micro-urbains BTSs (UMi). En raison des effets de propagation, les obstacles, les interférences et le bruit du récepteur, les performances d'un positionnement précis diminuent, d'où l'état LOS/NLOS du signal cellulaire doit être déterminé avant d'effectuer la localisation [37].

#### **III.5.1 présentation du logiciel utilisé**

L'outil de programmations, MATLAB est un langage de programmation utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société Mathworks, il permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes et de créer des interfaces utilisateurs [38].

#### **III.5.2 Le scénario de l'algorithme proposé**

- (1) L'initialisation du mode de réseau des stations de bases.
- (2) Le mobile envoie périodiquement ses propres informations à la station de base, ensuite cette dernière enregistre la valeur de mesure RSSI du même mobile dans le tableau RSSI PL qui convient.
- (3) Ensuite grâce aux mesures RSSI et aux pertes de trajet un calcul sera effectué pour estimer la distance entre la station de base et le mobile.
- (4) Enfin, avec les distances estimées et la connaissance des coordonnées de la station de base, un calcul géométrique sera effectué pour estimer les coordonnées du mobile.

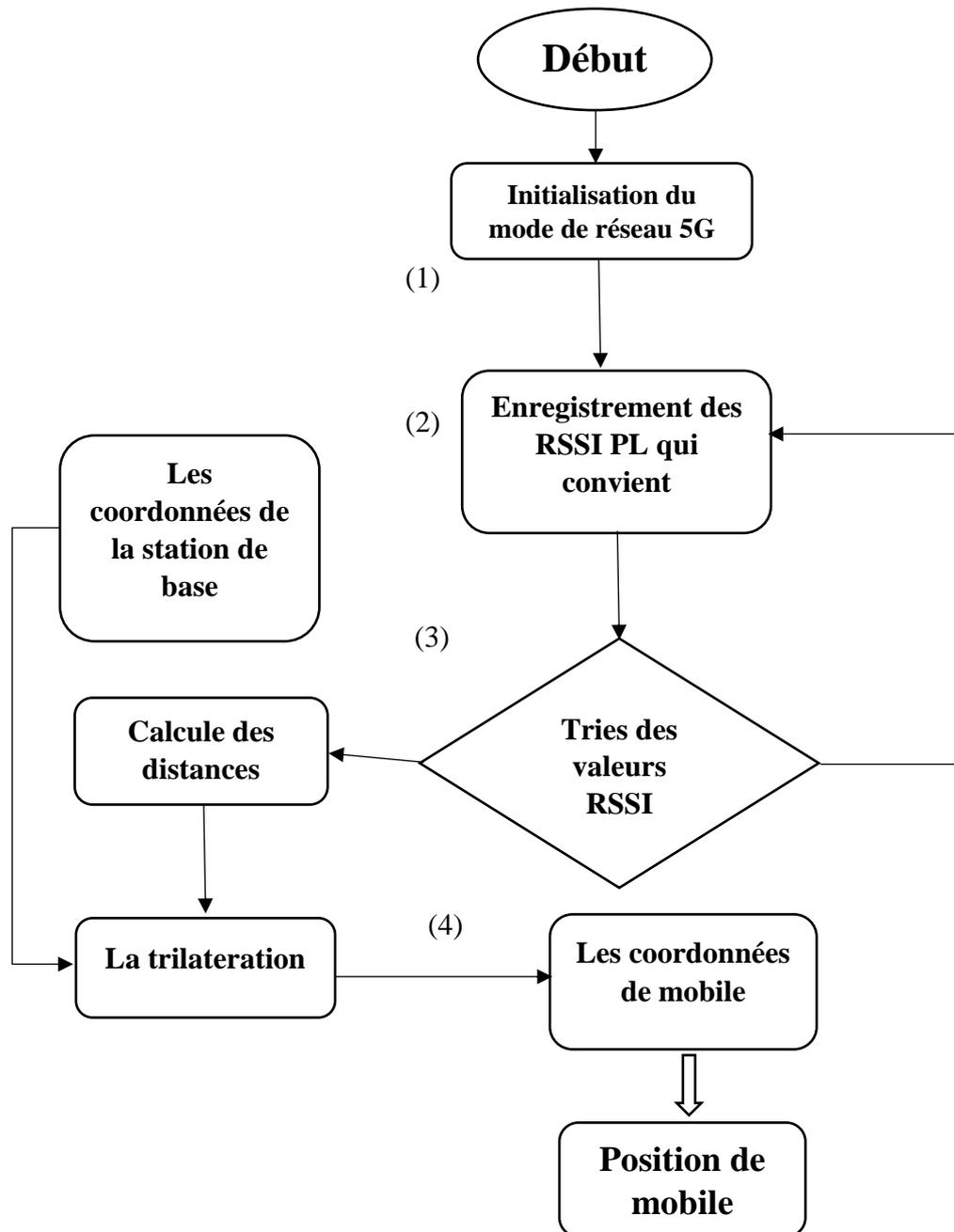


Figure III.3 : L'algorithme de RSSI.

### III.5.3 Modèle de perte de trajet utilisé

Afin de calculer la puissance reçue et modéliser la perte de chemin pendant la propagation, un modèle de perte de trajet de distance de référence en espace libre (model CI) est utilisé, c'est l'un des trois types de bases de modèles de perte de trajet à grande échelle qui sont utilisés pour prédire la force du signal sur des distances, déjà mentionné dans la section II.3.5.2 [32].

$$PL^{CI}(f, d)[\text{dB}] = \text{FSPL}(f, d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathcal{X}_{SF} \quad (\text{III.3})$$

L'expression du model CI avec une distance de référence de  $d_0 = 1\text{m}$  [32] :

$$PL^{CI}(f, d)[\text{dB}] = \text{FSPL}(f, 1\text{m}) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{1\text{m}}\right) + \mathcal{X}_{SF} \quad (\text{III.4})$$

$$\text{FSPL}(f, 1\text{m}) = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi f \times 10^9 \times 1}{3 \times 10^8}\right) \quad (\text{III.5})$$

$$PL^{CI}[\text{dB}] = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi f \times 10^9}{3 \times 10^8}\right) + 20 \log_{10}(1\text{m}) + 10n \log_{10}(d) - 10n \log_{10}(1\text{m}) + \mathcal{X}_{\sigma}^{CI} \quad (\text{III.6})$$

### III.6 Simulation et interprétation des résultats

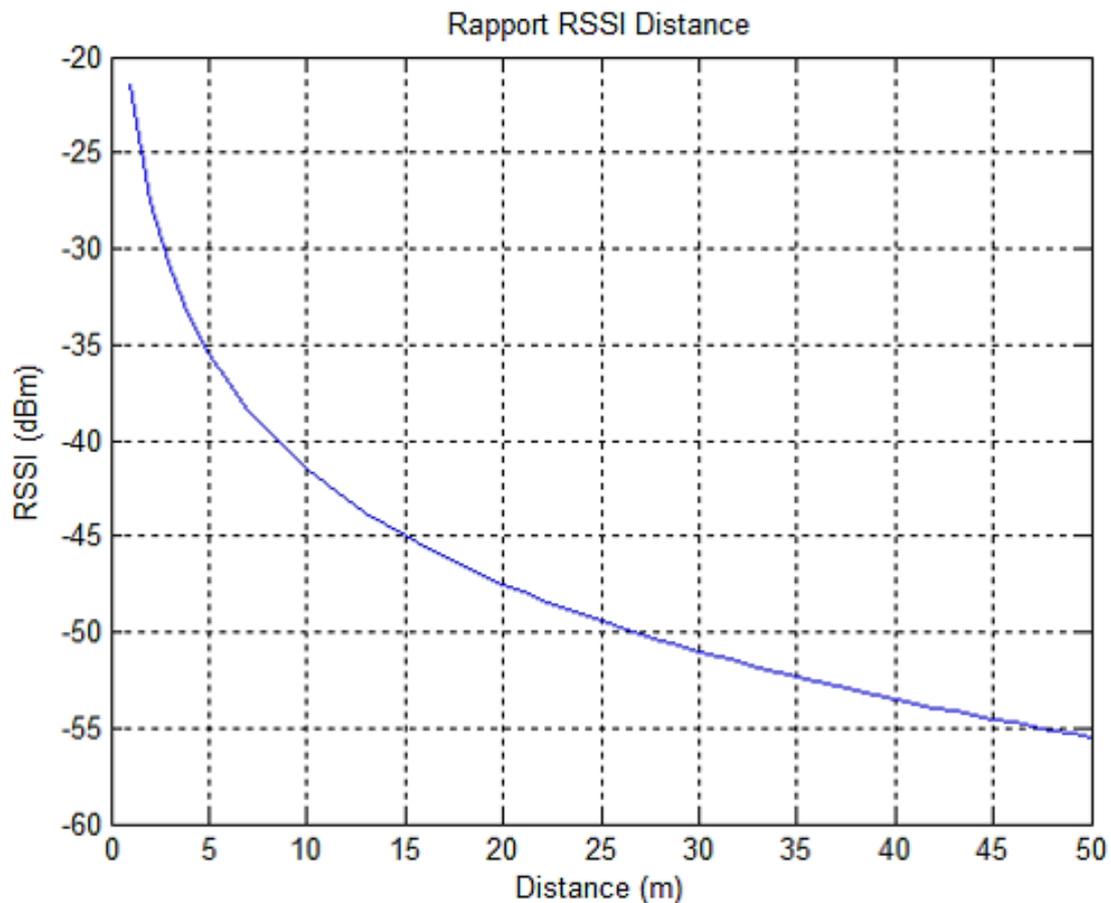
#### Etape 01

Dans cette première simulation, nous allons étudier la relation entre RSSI et la distance qui sépare l'émetteur du récepteur. En effet la propagation théorique d'un signal est exprimée par la force du signal reçu en fonction de la puissance émise, des pertes et de la distance.

Paramètres de la simulation :

Paramètres	Valeurs
La fréquence	28GHz
La distance de référence $d_0$	1m
La puissance émise en watt	10000 w
La puissance émise en dB	$P_{abw} = 10 \log_{10}\left(\frac{10000}{1\text{w}}\right) = 40\text{dB}$
L'exposant de perte $n$	2.0
L'écart type $\sigma$	4.1dB
La vitesse de la lumière $c$	$3 \times 10^8\text{m/s}$

**Tableau III.2** : Paramètres de la première simulation.



**Figure III.4 :** la relation entre RSSI et la distance.

D'après la figure III.4 nous constatons que la relation entre le RSSI et la distance est inversement exponentielle, lorsque la distance entre le nœud transmetteur et le nœud récepteur augmente, la valeur RSSI diminue progressivement. Cette diminution est due aux effets de perte de chemin.

### **Etape 02**

Dans cette étape nous avons localisé un mobile dans une zone extérieure d'une surface  $100 \times 100$  en sorte que la communication soit en ligne direct c'est-à-dire dans un environnement LOS. Nous avons utilisé le modèle de perte de chemin Close In et mesuré pour chaque station de base l'indicateur de force du signal reçu. Ainsi la distance estimée entre l'émetteur et le récepteur va être calculée sur la base de la valeur RSSI.

Paramètres de la simulation :

Les paramètres	Leurs valeurs
La fréquence	28GHz
La distance de référence $d_0$	1m
La puissance émise en watt	10000 w
La puissance émise en dB	$P_{abw} = 10 \log_{10}\left(\frac{10000}{1w}\right) = 40dB$
L'exposant de perte $n$	2.0
L'écart type $\sigma$	4.6dB
La vitesse de la lumière $c$	$3 \times 10^8$ m/s
Les coordonnées initiales du mobile	UE (50,40)

**Tableau III.3 :** Paramètres de la deuxième simulation.

La distance entre les nœuds émetteurs et récepteurs peut être calculée avec la puissance transmise du nœud, la valeur RSSI et le modèle de perte.

$$P_r = P_t - PL^{CI} \quad (III.7)$$

$$P_r = P_t - (FSPL + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \chi_{\sigma}^{CI}) \quad (III.8)$$

$$d = 10^{\left(\frac{P_r - P_t + FSPL - \chi_{\sigma}^{CI}}{10 \times n}\right)} \quad (III.9)$$

Une fois que les distances entre les émetteurs et récepteurs sont déterminées à l'aide du modèle de perte de trajet CI, les coordonnées de la position estimée peuvent être calculées en utilisant la latéralisation [42] :

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \quad (III.10)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \quad (III.11)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \quad (III.12)$$

Les coordonnées  $x$  et  $y$  peuvent être estimées en soustrayant (III. 10) – (III. 11) et

(III. 10) – (III. 12) Et en résolvant l'équation.

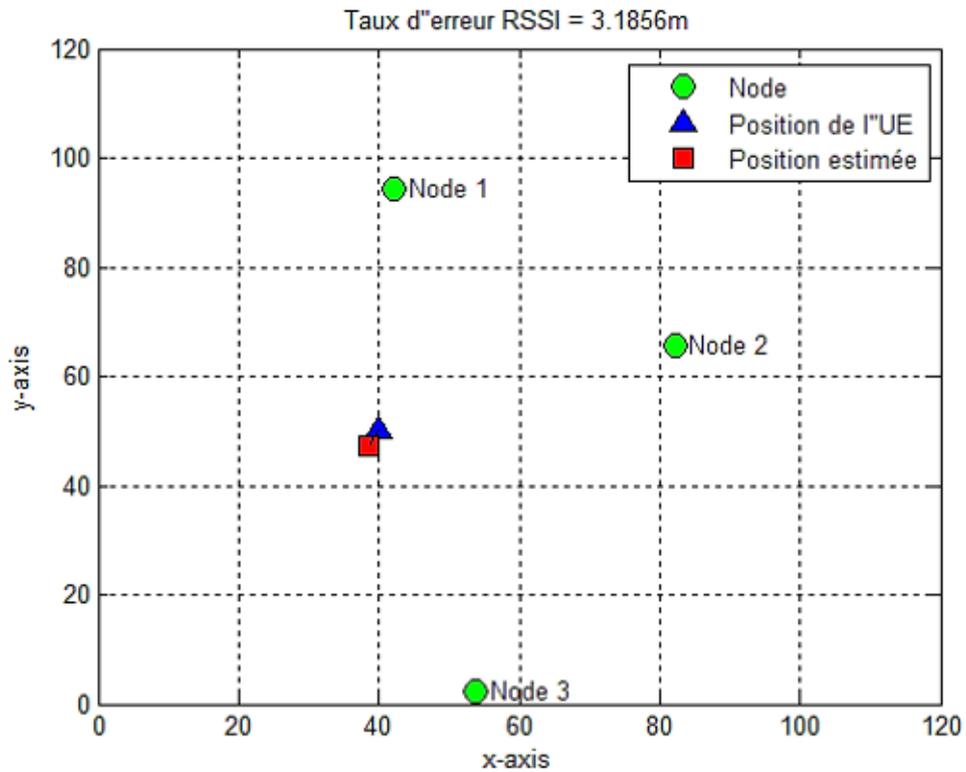


Figure III.5 : localisation à l'aide de RSSI avec un mobile et trois BTS.

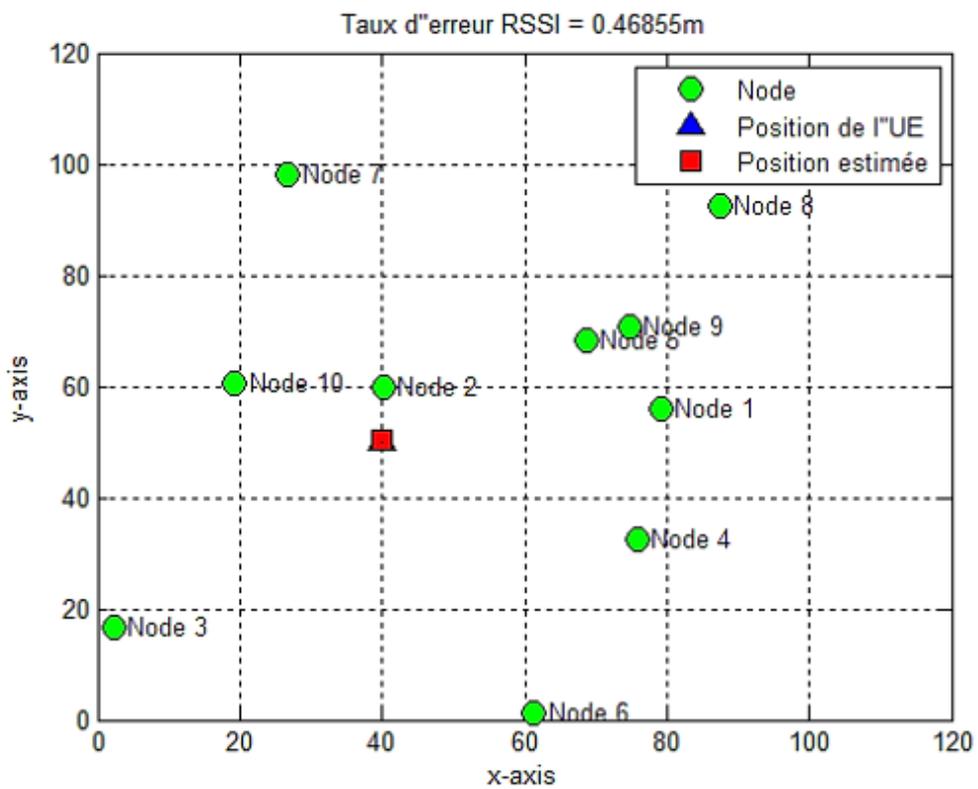


Figure III.6 : localisation à l'aide de RSSI avec un mobile et 10 BTS.

D'après les deux figures (III.5 et III.6) ci-dessous, on constate que l'erreur a diminué de 3.1856 à 0.46855.

Une distance d'erreur  $e_{ij}$  est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$e_{ij} = d_{ij} - d \tag{III.13}$$

Tel que :  $d_{ij}$  est la distance estimée et  $d$  est la distance réelle entre les nœuds de transmission et de réceptions. Ainsi le taux d'erreur est calculé :

$$ERR = \sqrt{(x - x_{ij})^2 + (y - y_{ij})^2} \tag{III.14}$$

Pour notre troisième simulation, nous avons augmenté le nombre des stations de base une fois à 16 et une autre fois à 36, avec un nombre total de mobile M=25. Nous avons retenu uniquement les résultats obtenus dans les meilleures conditions de performance.

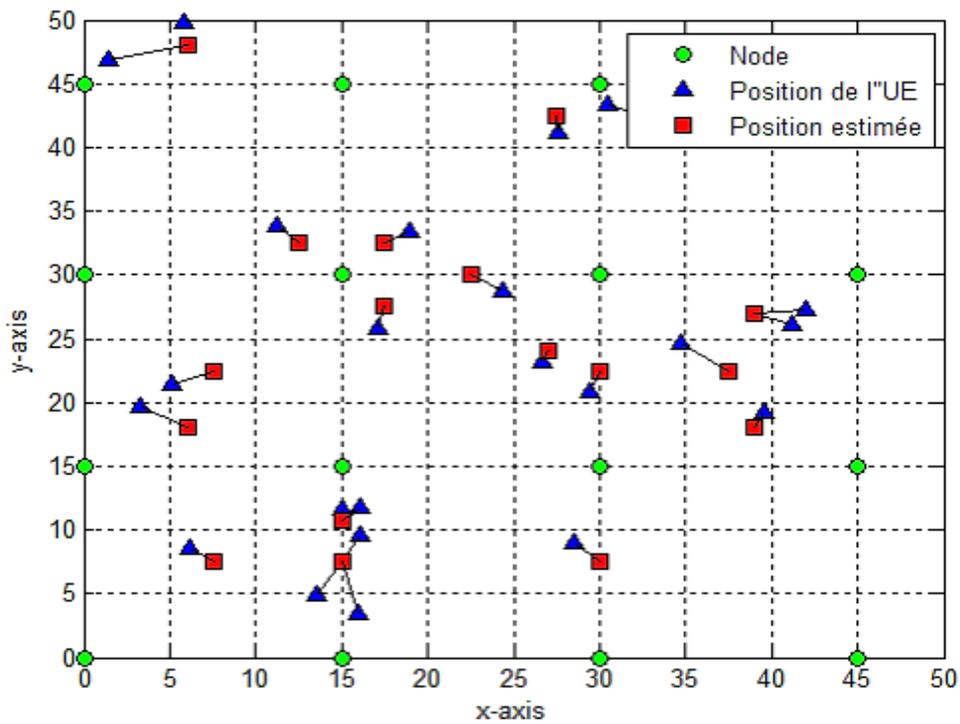


Figure III.7 : localisation à l'aide de RSSI avec 25 mobiles et 16 BTS.

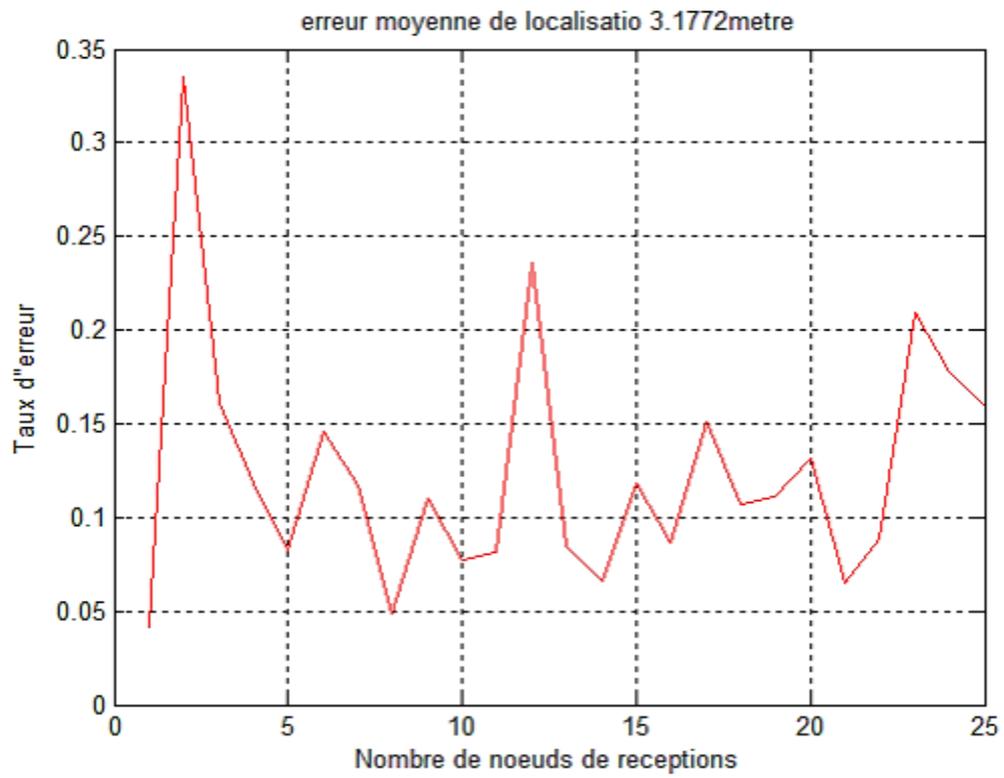


Figure III.8 : L'erreur de localisation RSSI avec 25 mobiles et 16 BTS.

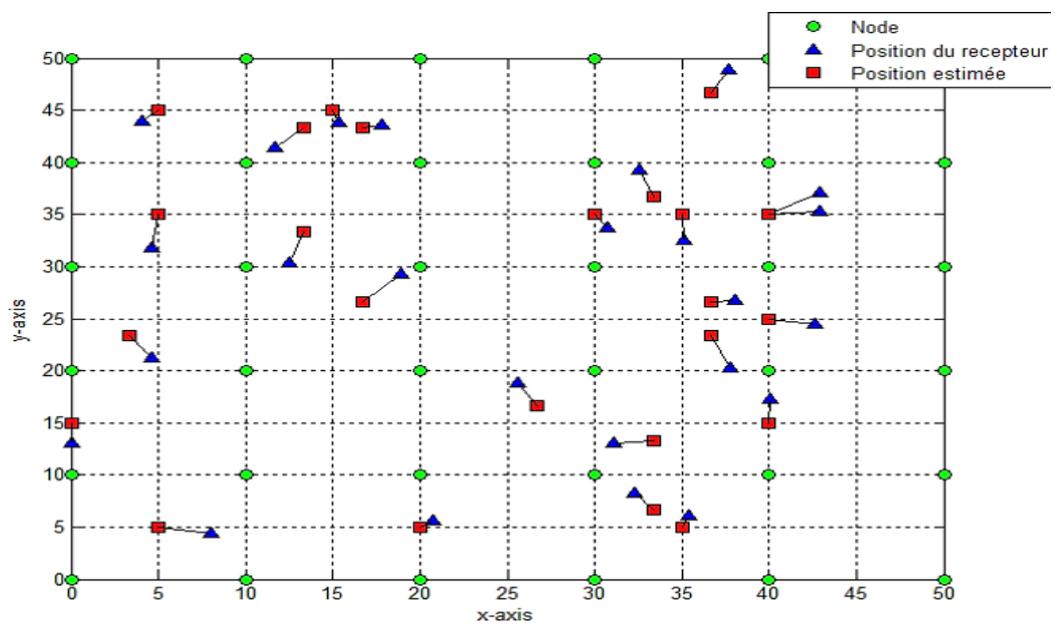


Figure III.9 : localisation à l'aide de RSSI avec 25 mobiles et 36 BTS.

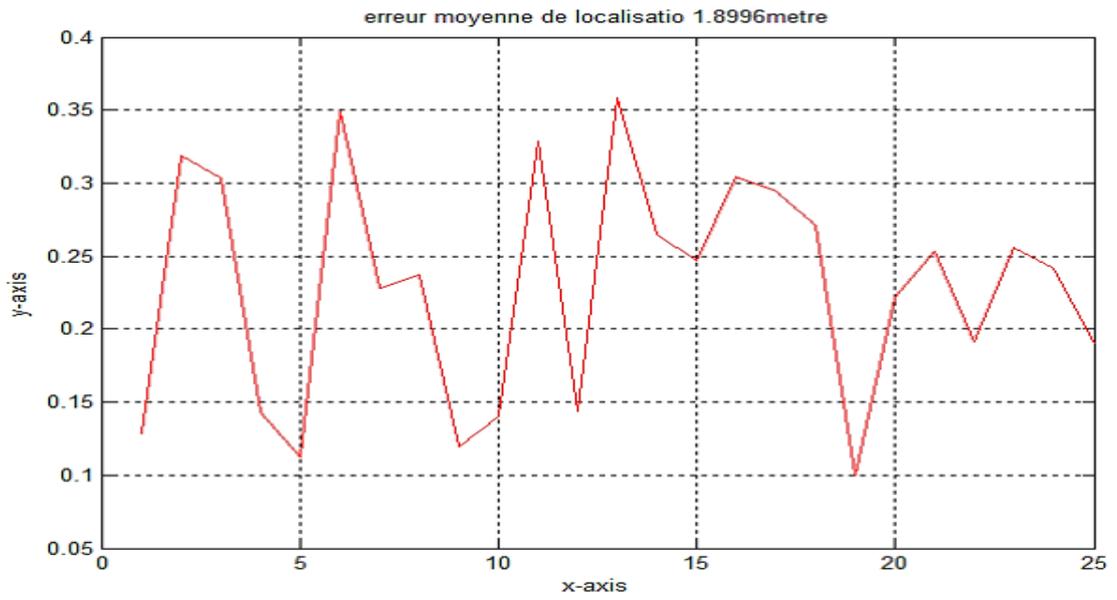


Figure III.10 : Taux d'erreur de localisation RSSI avec 25 mobiles et 36 BTS.

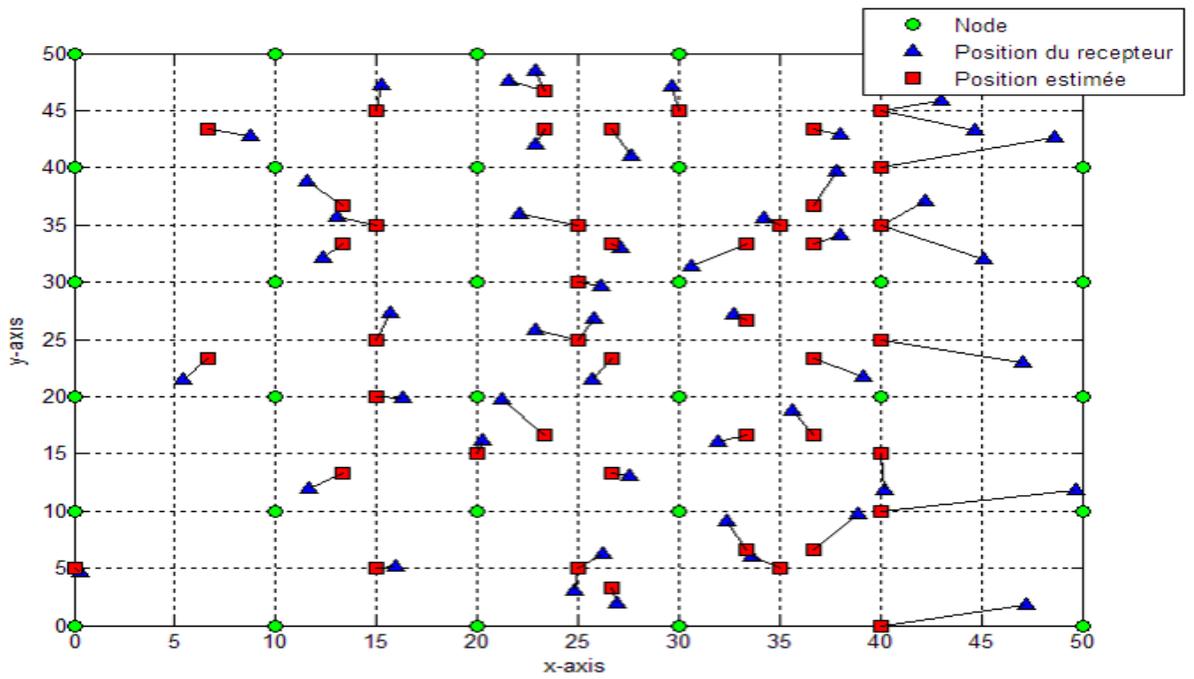


Figure III.11 : localisation à l'aide de RSSI avec 50 mobiles et 36 BTS.

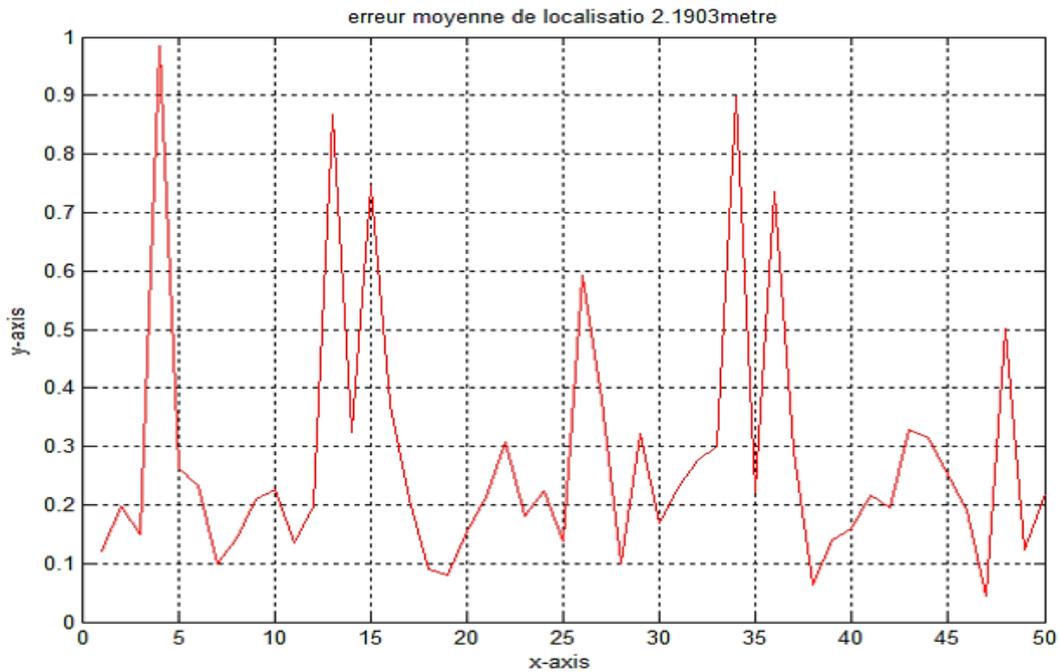


Figure III.12 : L’erreur de localisation RSSI avec 50 mobiles et 36 BTS.

Discussion des résultats :

	Nombre des stations de base	Nombre des mobiles	L’erreur(m)
Première simulation	03	01	3.1856m
	10		0.46855m
Deuxième simulation	16	25	3.1772m
	36		1.8996m
Troisième simulation	36	50	2.1903m

Tableau III.3 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus

➤ D’après les figures obtenues dans l’étape deux et le tableau ci-dessous, nous remarquons qu’à chaque fois que nous augmentons le nombre de stations de base, nous aurons une erreur moyenne moins élevée, par conséquent pour obtenir des mesures plus fiables et une localisation plus précise, il est important de transmettre plusieurs puissances c’est-à-dire augmenter le nombre des stations de base.

➤ D’après les résultats des deux figures III.8 et III.9 nous constatons que l’erreur moyenne diffère lorsque nous avons varié le nombre de mobile cela est dû à leur surcharge.

**III.7 Comparaison avec un modèle de perte de trajet général**

1) Dans cette simulation, nous allons comparer le modèle de perte de trajet utilisé dans la simulation de l’étape une et deux qui est le modèle CI avec un modèle d’ombrage normal de perte de chemin, illustré par la formule suivante [42] :

$$PL(d) = PL_{d_0} + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathcal{X}_\sigma \tag{III.15}$$

$$PL_{d_0} = -10 \log_{10}\left(\frac{G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times d_0}\right) \tag{III.16}$$

Avec PL(d) représente les pertes de trajet à une distance spécifique en dB, PL<sub>d0</sub> les pertes de trajet pour la distance d<sub>0</sub> = 1m , n l’exposant de perte, X<sub>σ</sub> est l’effet d’ombrage aléatoire avec une moyenne nulle et une variance tel que X<sub>σ</sub> ~ N(0, σ<sup>2</sup>), G<sub>t</sub> est le gain de transmission et G<sub>r</sub> le gain de réception.

Paramètres de la simulation :

Les paramètres	Leurs valeurs
La fréquence	28GHz
La distance de référence d <sub>0</sub>	1m
La distance qui sépare l’émetteur du récepteur	0 jusqu’à 50 m
La puissance émise en watt	10000 w
La puissance émise en dB	$P_{dbw} = 10 \log_{10}\left(\frac{10000}{1w}\right) = 40dB$
L’exposant de perte n	2.0
L’écart type σ	11.8
La vitesse de la lumière c	$3 \times 10^8 m/s$
Gain de transmission	1dB
Gain de réception	1dB
Longueur d’onde λ	$\frac{c}{f}$

**Tableau III.4 :** Paramètres de la simulation RSSI avec un modèle de perte général.

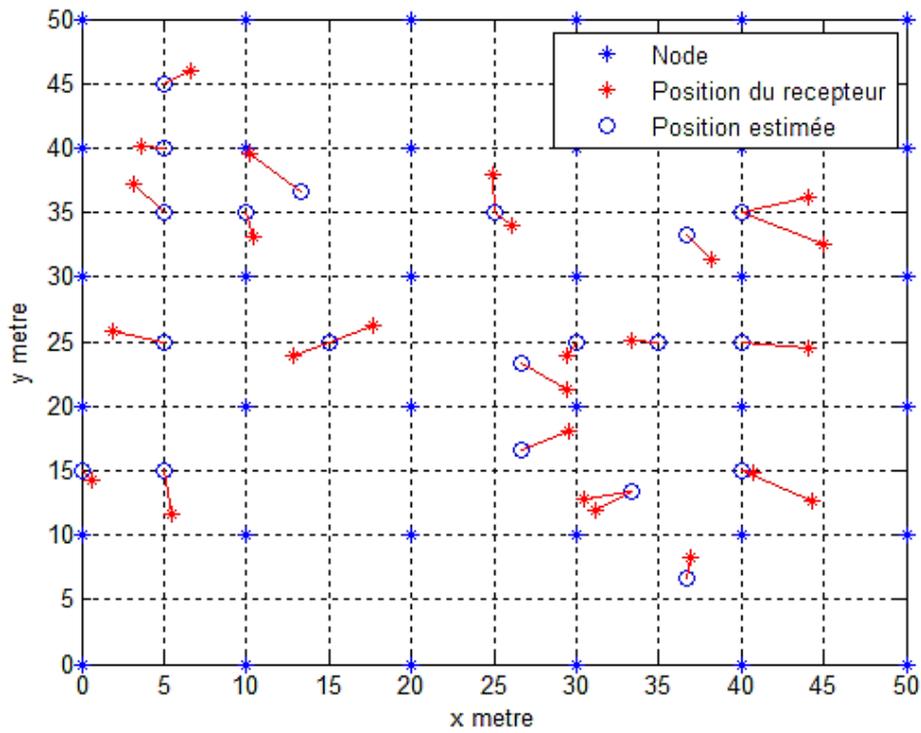


Figure III.13 : localisation RSSI avec un modèle de perte général (25 mobiles et 36 BTS).

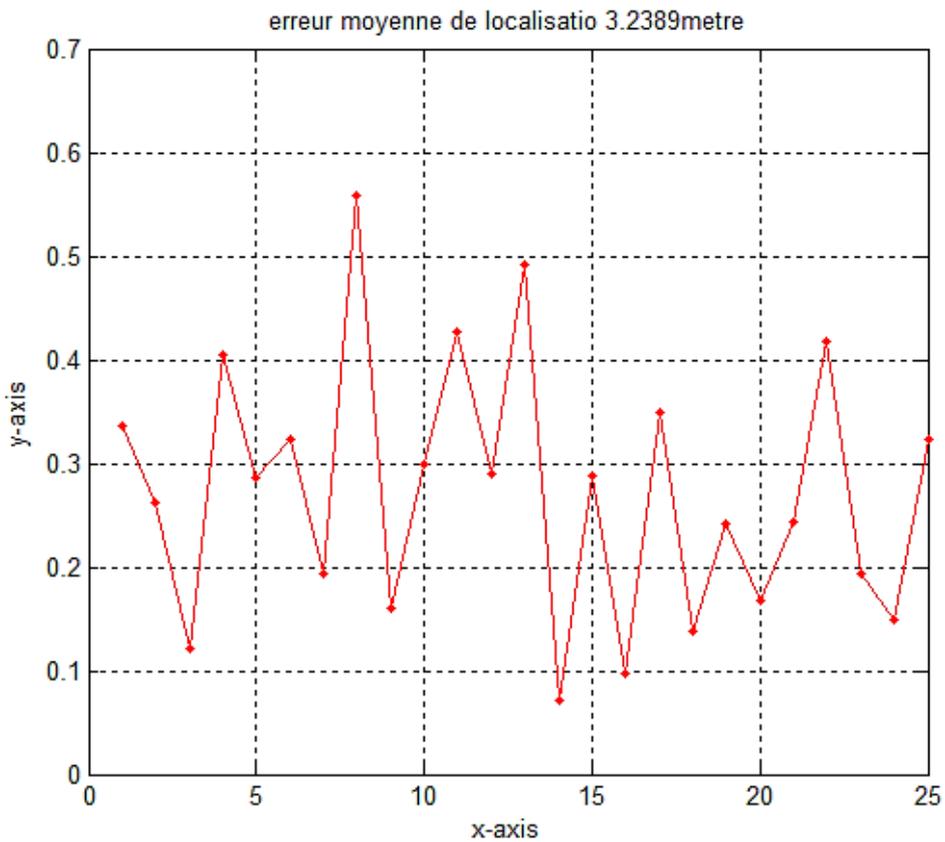


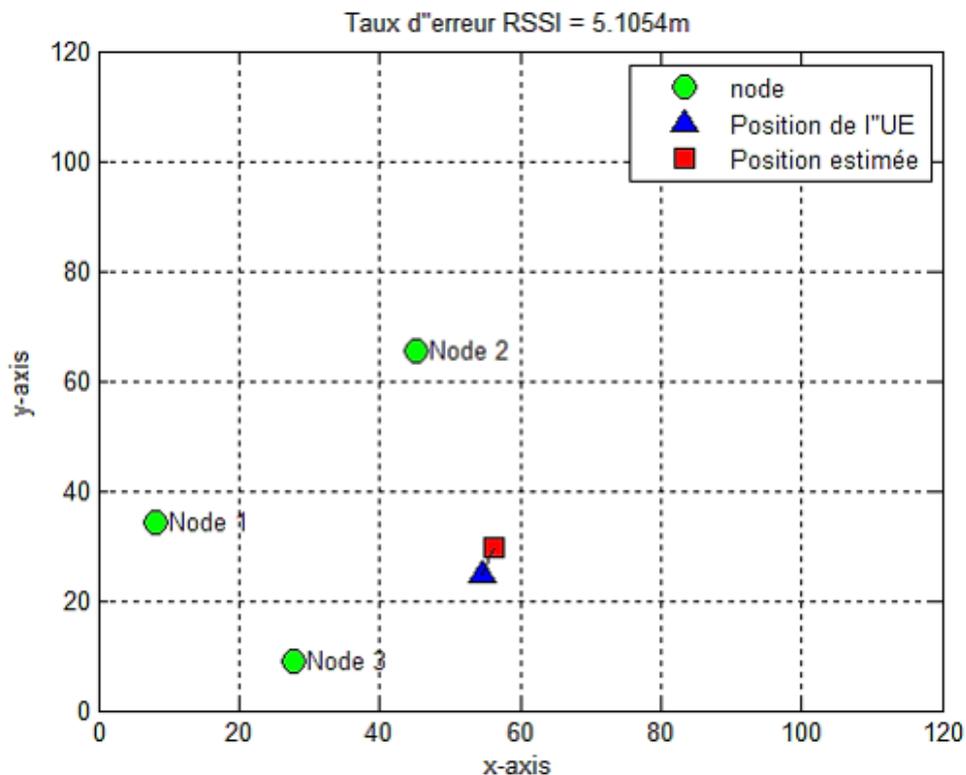
Figure III.14 : L'erreur de localisation RSSI avec un modèle de perte de trajet général (25 mobiles et 36 BT).

### Discussion des résultats

D'après les résultats de la simulation, on remarque qu'avec le modèle Close In l'erreur est moins important qu'avec un modèle de perte de chemin générale, d'où le choix d'utiliser le Close In en 5G pour des performances prometteuse dans le domaine de la localisation.

2) Dans cette simulation nous avons pris les mêmes paramètres que ceux de l'étape 02 et changer uniquement le modèle de perte de trajet tel que [40] :

$$RSSI = Pt - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (\text{III.17})$$



**Figure III.15** : localisation RSSI avec un modèle de perte général avec trois BTS

D'après le résultat, il s'est avéré que le meilleur modèle de perte de chemin en termes de précision est celui de Close-In. En effet, dans la simulation de l'étape 02 avec les mêmes paramètres et un modèle de perte CI nous avons estimé le taux d'erreur à 3.1856, alors que dans cette simulation nous l'avons estimé à 5.1054.

### **III.8 Conclusion**

Ce dernier chapitre présente l'ensemble des simulations effectuées dans notre projet d'étude, en commençant par une évaluation sur l'estimation d'erreur pour la méthode RSSI, pour avoir une bonne précision. Les résultats de la simulation montrent que la variation du nombre des stations de base et des mobiles influence sur la précision, on déduit qu'il est important de transmettre plusieurs puissances. Et avec l'utilisation du modèle de trajet close In, il fournit des meilleurs résultats comparant à un modèle standard.

# Conclusion générale

### Conclusion générale

Durant ce travail, Nous nous sommes intéressées à la localisation d'un terminal mobile dans les réseaux cellulaires 5G. Défini comme le réseau du futur, cette génération promet des performances meilleures et importantes dans divers domaines notamment dans le secteur de la localisation. En effet elle présentera un certain nombre de propriétés utiles pour fournir plus de précision.

Pour ce faire nous avons étudié dans notre premier chapitre l'architecture du réseau 5G, nous l'avons présenté en détail avec ses fréquences ainsi que certaines de ses technologies. Ensuite, nous nous sommes penchés à définir le positionnement dite localisation dans le deuxième chapitre, en citant ses différents types utilisés jusqu'à aujourd'hui, puis nous nous sommes étalées sur un de ses types qui est le positionnement cellulaire et évoqué les différentes méthodes d'estimation de position d'un mobile.

Dans notre troisième chapitre, nous avons choisi la méthode RSSI, qui s'avère être la plus appropriée pour notre étude, elle est basée sur le signal reçu et elle est en possibilité de déterminer la distance entre l'émetteur et son récepteur et aussi estimer ses coordonnées.

Sur ce fait, dans notre pratique, nous avons utilisé le logiciel MATLAB pour générer un programme qui peut estimer les coordonnées d'un seul et plusieurs mobiles avec une variation du nombre des stations de base dans une propagation 5G, cela en choisissant le modèle de perte de trajet Close-In. Considéré, d'après les résultats de simulation, comme le modèle le plus performant pour une localisation meilleure et précise.

Ce travail a été très bénéfique pour conclure notre formation et cela tant sur le plan personnel que professionnel, nous avons saisi cette opportunité pour acquérir de nouvelles connaissances théoriques et pratiques.

# **Référence bibliographique**

# Bibliographie

- [1] marche-public.fr. s.d. <http://www.marche-public.fr/>
- [2] Blondet, Maxime. ariase. 9 mars 2020. <https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g>
- [3] Detti, Andrea. 5G Italy White eBook Functional Architecture. University of Rome Tor Vergata, s.d.
- [4] Lagrange, Xavier. «Explorer la 5G.» Mooc. 2020. <https://www.fun-mooc.fr>
- [5] DEHEMCHI, MARWA, et ASMA BOUHAFER. Etude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs. Mémoire de fin d'étude, Guelma: Université 8 Mai 1945, juillet 2019.
- [6] frandroid. mai 2020. <https://www.frandroid.com>
- [7] Fehizoroniaina, RATSIMBAZAFY Orimbato. «ETUDE DES FORMES D'ONDES UTILISEES EN 5G NR.» MEMOIRE Master, Lundi 05 Août 2019
- [8] Fatimah, Al-Ogaili, et M.Shubair Raed. Millimeter-Wave Mobile Communications for 5G:Challenges and Opportunities. UAE: Khalifa University, s.d
- [9] «Les avantages du MIMO massif pour l'infrastructure cellulaire 5G.» altium. 24 August 2017. <https://resources.altium.com>
- [10] Ying Liu, Xiufang Shi, Shibo He, and Zhiguo Shi. «Prospective Positioning Architecture and Technologies in 5G Networks.» s.d.
- [11] Fatimah, Al-Ogaili, et M.Shubair Raed. Millimeter-Wave Mobile Communications for 5G:Challenges and Opportunities. UAE: Khalifa University, s.d.
- [12] Laurenti, Nicola. «Positioning in 5G cellular networks.» July 27, 2018.
- [13] «NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency.» futurenetworks.ieee. June 2017. <https://futurenetworks.ieee.org/>
- [14] Hikmet, Sari. «Multiple Access for 5G – A New Look on NOMA.» Catania, Italy, 2018.
- [15] RAKOTOMANANA, Edenalisoa. Association optimale d'utilisateurs dans un réseau cellulaire hétérogène. THÈSE DE DOCTORAT, MONTRÉAL: ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC , 29 NOVEMBRE 2017.
- [16] Roze, Antoine. «Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs.» 27 Mar 2017.
- [17] Peral-Rosado, Jos ´e A. del, et Ronald Raulefs. «Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods: from 1G to 5G.» s.d.
- [18] Roula, Iness Ahriz. «Application des techniques d'apprentissage à la géolocalisation par radio fingerprint.» 15 Dec 2010.
- [19] Denby, Bruce. Geolocalisation in Cellular Telephone Networks. Paris VI: Université Pierre et Marie Curie , s.d.

- [20] SEGHIER, Nor El Houda. Localisation d'un mobile dans un réseau UMTS. DIPLÔME DE MAGISTER, Oran: Université des Sciences et de la Technologie , 29/01/2013.
- [21] Melikov, Dr. Agassi. Cellular Networks - Positioning, Performance Analysis, Reliability. InTech, 26, April, 2011.
- [22] Öktem, Turgut Mustafa. «Fingerprinting based Localization of Mobile Terminals.» 14 Feb 2012.
- [23] «Le principe de triangulation.» Les systèmes de guidage missile. s.d. <http://tpe-missile.e-monsite.com/pages/le-principe-de-triangulation.html>
- [24] «Trilatération.» Se repérer dans l'espace. 23 Janvier 2013. <https://thuzhen.wordpress.com/2013/01/23/triangulation-par-les-distances>
- [25] Wymeersch, Henk. 5G Localization: Unlocking new Dimensions in Radio-based Positioning . Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2019.
- [26] Henk, Wymeersch, Seco-Granados Gonzalo, et Giuseppe Destino. «5G mm-Wave Positioning for Vehicular Networks.» 2017.
- [27] Lav, Gupta, et Jain Raj. «Mobile Edge Computing – An Important Ingredient of 5G Networks.» IEEE SOFTWARE DEFINED NETWORKS. s.d. <https://sdn.ieee.org/> (accès le 2020).
- [28] «reseau5g.info.» LA TECHNOLOGIE 5G. s.d. <http://www.reseau5g.info>
- [29] COULON, Martial. «Canal de Propagation.» 2007-2008.
- [30] CHOUMANE, Alaa. Synthèse d'un canal de propagation par système multi antennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité. Thèse de doctorat, UNIVERSITE DE LIMOGES : ECOLE DOCTORALE Science – Technologie – Santé-FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES - INSTITUT DE RECHERCHE XLIM-UMR CNRS 6172, Juin 2011.
- [31] CHEHRI, HAMOU. ÉTUDE ET CARACTÉRISATION D'UN CANAL DE PROPAGATION POUR LES RÉSEAUX VANET. COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LAMAÎTRISE EN INGÉNIERIE, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE, JUIN, 2014.
- [32] Shu, Sun, S. Rappaport Theodore, Rangan Sundeep, A. Thomas Timothy, et Ghosh Amitava. Propagation Path Loss Models for 5G Urban Microand Macro-Cellular Scenarios. IEEE, May 2016.
- [33] SAIDI, Mohammed, et Nihel BEKHCHI. Développement d'une application Android pour la géolocalisation en exploitant les données du réseau GSM. MEMOIRE MASTER, Tlemcen: Université Aboubakr Belkaïd, 26/09/2017.
- [34] Ismail1, Mohd Ismifaizul Mohd, Rudzidatul Akmam Dzyauddin2, Shafiqa Samsul3, et Nur Aisyah Azmi4. An RSSI-based Wireless Sensor Node Localisation using Trilateration and Multilateration Methods for Outdoor Environment. Yahya Petra, 54100 Kuala Lumpur, Malaysia.: Universiti Teknologi Malaysia Kuala Lumpur, Jalan Sultan , s.d.

- [36] Shojaiifar, Alireza. Evaluation and Improvement of the RSSIbased Localization Algorithm Karlskrona Sweden : Faculty of Computing, 2015.
- [37] Sun, Shu, Theodore S. Rappaport, Timothy A. Thomas, Amitava Ghosh, et Huan C. Nguyen. Investigation of Prediction Accuracy, Sensitivity, and Parameter Stability of Large-Scale Propagation Path Loss Models for 5G Wireless Communications. IEEE, 16 March 2016.
- [38] Présentation de matlab. s.d. [www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT2425/Matlab.pdf](http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT2425/Matlab.pdf).
- [39] Réjane, DALCE. «Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur.» Thèse de doctorat, Toulouse, 26 juin 2013
- [40] Paul, STEFANUT. «Application des algorithmes de hautes resolution à la localisation de mobiles en milieu confiné.» Thèse de doctorat , Lille, 24 juin 2010.

## **Résumé**

Ce travail présente une étude sur la localisation d'un terminal mobile dans les réseaux cellulaires 5G, dans une zone extérieure, sachant que la communication était dans un environnement LOS, en évaluant la méthode de l'indicateur de force du signal reçue RSSI, nous avons utilisé un modèle de perte de trajet (Close In) du fait il est le plus qualifié pour les réseaux 5G. Le but de cette étude est de prouver les performances de réseaux 5G dans la localisation.

## **Abstract**

This work presents a study on the localization of a mobile terminal in 5G cellular networks, in an outdoor area, knowing that the communication was in a LOS environment, by evaluating the method of the strength indicator of the received signal RSSI, we used a path loss model (Close In) because it is the most qualified for 5G networks. The aim of this study is to prove the performance of 5G networks in localization.