

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de **Master** en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : Electronique
Spécialité: Génie Des Télécommunications
Thème

Optimisation du handover pour les réseaux LTE par l'intelligence artificielle

Présenté Par :

Mlle Rabahi Fatima Zahra

Devant les jurys composés de :

M ^{me} Ferouani Souhila	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
M ^r Bemoussat ChemsEddine	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
M ^{me} Abdelmalek Zohra	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice

Année universitaire 2015/2016

Dédicaces

Avec un énorme plaisir et un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail

J'adresse en premier lieu ma reconnaissance à notre DIEU tout puissant, de m'avoir permis
D'arriver là.

A tous ceux qui me sont chers, A ma **mère**, qui a toujours éclairé mon chemin et soutenue
tout au long de mes études.

A mon **père** qui a toujours été un exemple pour moi et qui a fait de moi ce que je suis
aujourd'hui.

A mes deux frères ma sœur et ma belle sœurs.

Tous mes amis, et tous ce qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Toute la promotion GT 2015/2016.

Tous mes enseignants durant mon cursus.

Remerciements

Le seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant en grand Merci aux personnes qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cet memoire.

Toute ma gratitude, grâce et remerciement vont à Dieu le tout puissant de m'avoir donné la foi, la force, la patience, le courage et la volonté pour arriver là.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à **M.ChemsEddine Bemmoussat** , Maitre de Conférence classe B au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent qui fut pour moi un directeur de mémoire attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris ,il été toujours une source inépuisable d'idées, de savoir et d'encouragement.

Je tiens à remercier **Mme.Ferouani**, Maitre de Conférence Classe B au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent, pour avoir accepté d'assurer la présidence de mon Jury. J'aimerais lui manifester ma profonde gratitude pour sa disponibilité et son attention.

Mes vifs remerciements sont aussi adressés à **Mme.Abdelmalek**, Maitre de Conférence Classe B au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent, qui me fait l'honneur d'être membre du Jury.

Je remercie tous les professeurs de la faculté sciences et technologie au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib,qui ont été une source de savoir pour moi.

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet de fin d'études.

Merci à tous...

Résumé

Actuellement, dans le réseau LTE, le nombre des communications augmente proportionnellement avec le nombre des utilisateurs mobiles, de ce fait le handover rend les choses plus facile pour communiqué ou envoyé des données sans interruption, le processus du handover garantit la communication même pour les grandes vitesses, ainsi que les paramètres radio en un impact direct sur ce déplacement, dans ce mémoire nous nous essayons de réduire le maximum ce phénomène.

L'utilisation de l'intelligence artificielle est dernièrement une nouvelle tendance dans le domaine des télécommunications, il existe quelques méthodes qui ont adaptés cette technologie pour prendre une décision et éliminer à la fois tout type du handover indésirable.

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'optimiser les paramètres radio du réseau LTE pour avoir un réseau plus stable à l'heure actuelle.

Mots-clés : LTE,Handover,optimisation, l'intelligence artificielle.

ABSTRACT

Presently, in the LTE network, the number of mobile communications increases proportionally with the number of users. Due to this fact, handover makes things easier to travel by communicating or sending a data session from one eNodeB to another without interrupting the communication. Therefore, Handover process is a very interesting point for communication which offers a communication with a high speed , however, the radio parameter could be severely affected by the handover performance. So as the number of handover points increases, more signaling traffic is cause. Hence, it is desired that handover should be done only when it is necessary.

Using artificial intelligence methods is becoming one of the most common solutions for mobile networks nowadays. Some fuzzy logic based methodologies have already been proposed to provide handover decision exactly and avoid all undesired handovers.

The aim of this end of study project work is to solve some of the limitations encountered at present in LTE network.

Keywords: *LTE,handover,optimization,fuzzy logic,intelligence artificial.*

ملخص

في وقتنا الحالي تشهد شبكة التطور طويل الامد ارتفاعا هائل في عدد المكالمات و هذا الارتفاع يتناسب طرديا مع مستعملي الهواتف النقالة و عليه فان ظاهرة الانتقال بين خلايا شبكة النقال تضمن المكالمات و ارسال المعطيات رقمية بدون انقطاع ومن جهة اخرى هذه الظاهرة لها ميزة خاصة وهي الحفاظ على المكالمات مهما كانت سرعة المتنقل لا ننسا أيضا عوامل الراديو التي لها دورا مباشرا على هذه الظاهرة في هذه الأطروحة سوف نعمل سعيا من اجل التقليل من ظاهرة التنقل بين الخلايا.

مؤخرا انظمة الذكاء الاصطناعي تعتبر من اكبر الحلول استعمالا يوجد بعض التطبيقات التي بادرة باستعمالها و ذلك من اجل اخذ قرار مناسب و التقليل من عملية التنقل الغير مرغوب فيها.

و الهدف من هذه الأطروحة هو ايجاد حلول امثل لبعض القيود التي تواجهها شبكة التطور طويل الامد.

الكلمات المفتاحية: التطور طويل الأمد, التنقل بين الخلايا, الأمثل, المنطق المضيب, الذكاء الاصطناعي.

Table des matières

Dédicaces.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé	iv
Abstract.....	v
Table des matières	vi
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Acronymes et abréviations	xi
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Différentes Générations de Téléphonie Mobile	
1.1 Introduction.....	3
1.2 L'évolution des réseaux cellulaires	3
1.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)	3
1.2.2 Le réseau GSM(2G).....	4
1.2.3 Le réseau GPRS (2.5G).....	4
1.2.4 Le réseau EDGE (2.75G).....	4
1.2.5 La troisième génération des téléphones mobiles (3G)	4
1.2.6 La technologie HSDPA	5
1.2.7 La technologie HSUPA	5
1.2.8 La technologie de HSPA+.....	5
1.2.9 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE.....	6
1.3 Architecture des réseaux cellulaires	6
1.3.1 Architecture du réseau 2G (GSM)	6
1.3.2 De la 2G à la 3G.....	8
1.3.3 Architecture du réseau LTE	9
1.3.3.1 Evolved - UMTS Terrestrial Access (E-UTRA).....	10
1.3.3.2 La partie radio eUTRAN.....	10
1.3.3.3 Cœur de réseau SAE/EPC :	11
1.3.3.4 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)	12
1.4 Les Caractéristiques du réseau LTE.....	13
1.4.1 Largeur de la bande et débit	13
1.4.2 Principe de la Téléphonie et les données en 4G	13
1.5 Techniques utilisées	14
1.5.1 L'adressage IP au cœur de la 4G.....	14
1.5.2 Les techniques d'accès.....	15
1.5.3 Modulation adaptative.....	17

1.5.4 Techniques multi-antennes	19
1.6 Propriétés du réseau LTE	20
1.6.1 Structure d'une trame LTE.....	20
1.6.2 Les interfaces	21
1.7 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G	22
1.8 Généralités sur le Handover	23
1.8.1 Le Handover En LTE.....	24
1.9 Qualité des services.....	25
1.10 Conclusion	25

Chapitre II : état de l'art des différentes solutions

2.1 Introduction.....	27
2.2 Motivation.....	27
2.3 Les principaux paramètres lors d'un handover	28
2.3.1 Les paramètres du système.....	29
2.3.2 Les paramètres de contrôle de handover	30
2.3.3 Les indicateurs de performance du handover.....	31
2.4 Les principaux algorithmes pour l'optimisation des paramètres radio	32
2.4.1 Les algorithmes de hard handover basés sur L'optimisation des paramètres	32
2.4.2 Les algorithmes pour minimiser les HPIs	33
2.4.3 Les algorithmes d'optimisation de la robustesse de la mobilité (MRO ET UMAA-MRO)	37
2.4.4 L'optimisation automatique par la logique floue	38
2.5 Conclusion.....	39

Chapitre III : l'intelligence artificielle.

3.1 Introduction.....	41
3.2 Historique de la logique floue.....	41
3.3 Définition de la logique floue.....	41
3.4 Ensembles flous.....	42
3.5 Operateurs flous.....	44
3.6 Règles floues.....	45
3.7 Système d'inférence floue (SIF).....	46
3.7.1 La fuzzification.....	46
3.7.2 Le moteur d'inférence.....	49
3.7.3 La défuzzification.....	49
3.8 Conclusion.....	55

Chapitre IV : Résultats et interprétations

4.1 Introduction.....	57
4.2 Choix d'un logiciel de simulation.....	57
4.3 Notion de base sur MATLAB.....	58
4.4 paramètres de simulation.....	59
4.5 Résultat de simulation.....	60
4.6 Interface graphique.....	64
4.6.1 Les éléments de base de l'interface graphique.....	65
4.7 Intégration de la logique floue dans la simulation.....	69
4.7.1 NOTRE MODEL.....	70
4.7.2 Notre système d'inférence floue	72
4.7.3 Ensemble des règles floues et le moteur d'inférence.....	72
4.7.4 Résultats analyse et interprétation	71
4.8 Conclusion	78
Conclusion générale et perspective	79
Références Bibliographique.....	80

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande.

Tableau 1.2 : Les différentes interfaces en LTE.

Tableau 3.1 : Les opérateurs logiques.

Tableau 4.1 : paramètres de simulation.

Tableau 4.2 : exemples des règles du système flou.

Tableau 4.3 : Les différents résultats.

Liste des figures

- Figure 1.1** : L'évolution des réseaux cellulaires.
- Figure 1.2** : Architecture réseau GSM.
- Figure 1.3** : Exemple d'architecture 2G/3G.
- Figure 1.4** : Architecture générale du Réseau LTE.
- Figure 1.5** : Réseau cœur SAE/(EPC).
- Figure 1.6** : basculement à la 2G/3G.
- Figure 1.7** : Adressage IP en 4G.
- Figure 1.8** : Les techniques OFDMA et SC-FDMA.
- Figure 1.9** : QAM à 16 états.
- Figure 1.10** : Diagramme de constellation pour QPSK.
- Figure 1.11** : Modèle d'un système MIMO à deux antennes émettrice réceptrice.
- Figure 1.12** : Élément de ressource.
- Figure 1.13** : comparaison entre 3G/4G.
- Figure 1.14** : Diagramme de constellation pour QPSK.
- Figure 1.15** : Mesures de puissance faites par le terminal.
- Figure 2.1** : Les principaux paramètres radio.
- Figure 2.2** : Les algorithmes d'optimisation des paramètres radio.
- Figure 3.1** : Représentation du sous-ensemble flou F des petits entiers.
- Figure 3.2** : Exemple d'opérations sur des ensembles flous.
- Figure 3.3** : Un système d'inférence floue.
- Figure 3.4** : Degré d'appartenance du sous-ensemble flou « chaud ».
- Figure 3.5** : Fonction d'appartenance pour une température de 23° degrés.
- Figure 3.7** : Fonction d'appartenance pour une température de 17° degrés.
- Figure 3.8** : Fonction d'appartenance du rapport cyclique.
- Figure 3.9** : L'agrégation des fonctions d'appartenance du rapport cyclique.
- Figure 3.10** : Résultat par la méthode de la moyenne des maximas.
- Figure 3.11** : Résultat par la méthode du centre de gravité.
- Figure 4.1** : Distribution des utilisateurs dans la cellule.
- Figure 4.2** : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour $v=1.8$ km/h.
- Figure 4.3** : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour $v=90$ km/h.
- Figure 4.4** : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour $v=300$ km/h.
- Figure 4.5** : Nombre des appels interrompus pour $v=1.8$ km/h.
- Figure 4.6** : Nombre des HO pour $v=1.8$ km/h.
- Figure 4.7** : Nombre des appels interrompus pour $v=60$ km/h.
- Figure 4.8** : Nombre des HO pour $v=60$ km/h.
- Figure 4.9** : Nombre des appels interrompus pour $v=300$ km/h.
- Figure 4.10** : Nombre des HO pour $v=300$ km/h.
- Figure 4.11** : Notre modèle pour la décision du HO.
- Figure 4.12** : Processus d'inférence floue.
- Figure 4.13** : Fonction d'appartenance des entrées RSRPs/RSRPs.
- Figure 4.14** : Fonction d'appartenance des CBW/TBW.
- Figure 4.15** : Fonction d'appartenance de l'ER.
- Figure 4.16** : Fonction d'appartenance de la sortie HO.
- Figure 4.17** : Taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=1.8$ km/h.
- Figure 4.18** : Taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=60$ km/h.
- Figure 4.19** : Taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=300$ km/h.

Acronymes et Abréviations

1G	1ère Génération
2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
4G	4ème Génération
5G	5ème Génération
3GPP	3rd Generation Partnership Project

A

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AUC	AUthentication Center

B

BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Transceiver Station

C

CDMA	Code Division Multiple Access
CDR	Call Dropping Ratio
CBR	Call Blocking Ratio

D

CDR	Call dropping ratio
CBR	Call blocking ratio

E

EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
eNodeB	evolved NodeB
EPS	Evolved Packet System
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRA	Evolved-Universal Terrestrial Radio Access
eUTRAN	evolved UTRAN

ER	l'énergie restante
-----------	--------------------

F

FDD	Frequency Division Duplexing
------------	------------------------------

G

GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication

H

HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Service
HOM	Handover margin
HPI_{HOF}	Handover Performance Indicator Handover Failure
HPI_{HPP}	Handover Performance Indicator the Ping-Pong Handover
HPI_{RLF}	Handover Performance Indicator the radio link failure
HPI_{DC}	Handover Performance Indicator dropped call
HSS	Home Subscriber Server
HSPA+	High Speed packet Access +

I

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Sub-system
IP	Internet Protocol
IPv6	IP version 6

L

LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
LCc	Largeur du Canal de la cellule cible
LCs	Largeur du Canal de la cellule serveuse
LTE	Long Term Evolution

M

MRO	Mobility Robustness Optimization
MME	Mobility Management Entity

N

NMC	Network and Management Centre
------------	-------------------------------

O

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operations and Maintenance Center
OSS	Operation Sub-System

P

PGW	Packet Switch-GetWay
Ps	puissance reçue

Q

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

R

RNC	Radio Network Controller
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRP	Reference Signal Received Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSRQ	Reference Signal Receive Quality
RS	Reference Signal
RB	Ressource block

S

SAE	System Architecture Evolution
SGW	Serving-Get Way
SC-FDMA	Single Carrier-Frenquency Division Multiplexing Access
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SINR	Signal Interference Noise Ratio
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
SON	self organized network

T

TDD	Time-Division Duplex
TMN	Telecommunications Management Network
TTT	Time To Trigger

TTI	Transmission Time Interval
------------	----------------------------

U

UE	User Equipment
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

UMAAMRO	User Mobility Analysis Assistive MRO
----------------	--------------------------------------

UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
-------------	---

V

VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP

W

WCDMA	Wide Coding Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Introduction générale

La 4G est la dernière génération de réseaux mobiles en date qui permet l'utilisation d'applications mobiles, ou plus largement d'accéder aux services du web, à très haut débit. Autrement dit, par rapport à la génération précédente, les échanges de données sont théoriquement plus rapides : les débits théoriques aussi bien pour les flux ascendants que descendants sont en augmentation par rapport à la 3G, et un gain de latence (c'est-à-dire sur les délais de réponse des demandes) est également attendu.

Concrètement, dans la pratique, la 4G est censée offrir un confort d'utilisation accru des différents services proposés sur les réseaux mobiles. Aujourd'hui, le streaming vidéo, gourmand en consommation de données, est le service qui est le plus susceptible de tirer profit de cette technologie. Grâce à la 4G, la lecture de vidéos en streaming est désormais supposée tenir éloignés les consommateurs des désagréments qu'ils sont susceptibles de rencontrer avec la génération mobile précédente : ralentissements, qualité de l'image pas toujours maximale, etc.

Le 3GPP a défini le LTE comme une nouvelle technologie qui devrait supporter les grandes vitesses allant jusqu'à 500 km/h tout en garantissant un haut débit, ce réseau mobile a donné une grande importance pour garantir un déplacement transparent d'une cellule à une autre. L'intégration de l'intelligence artificielle au sein de réseau est une énorme évolution qui lui a donné un esprit de décision optimale et une grande réduction dans l'utilisation de la ressource radio.

Dans ce contexte, ce mémoire sera organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre donne un aperçu général sur les différentes générations de la première génération à la quatrième génération.

Au chapitre deux, nous résumons les solutions apportant l'optimisation du handover, existant déjà dans la littérature pour choisir la meilleur et l'appliquer dans le quatrième chapitre.

Le troisième chapitre contient une présentation globale d'une méthode parmi les méthodes de classification, consistant à la logique floue, nous avons détaillé ces étapes et son principe de fonctionnement.

Le quatrième chapitre est une solution de notre recherche qui décrit les interprétations et l'analyse des résultats approuvés.

Enfin une conclusion générale regroupe les différentes conclusions, nous rappelons les principales contributions, le résultat de notre travail et nous citons les principales perspectives.

CHAPITRE I

Différentes Générations de Téléphonie Mobile

1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphones mobiles leurs caractéristiques ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires, de la première génération jusqu'à la quatrième génération (LTE Long Term Evolution), Ce dernier est l'objet de ce premier chapitre, où nous allons détailler cette technologie, son architecture et ces différentes caractéristiques.

1.2 L'évolution des réseaux cellulaires

À chaque génération de réseau mobile (2G, 3G, 3G+, etc.) correspond une nouvelle technologie (GSM, GPRS, Edge, UMTS). À chaque évolution technologique, le réseau mobile gagne en performance : les données transitent plus rapidement. Ces meilleurs débits améliorent la qualité du service existant et permettent de nouveaux usages (Internet mobile, visiophonie, télévision, etc.)[1].



Figure 1.1 : L'évolution des réseaux cellulaires.

1.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)

La première génération de réseaux mobiles émerge au cours des années 1980 et est caractérisée par une multitude de technologies introduites en parallèle à travers le monde. On peut citer les technologies suivantes :

- AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) aux États-Unis ;
- TACS (*Total Access Communication System*) au Japon et au Royaume-Uni.
- NMT (*Nordic Mobile Telephone*) dans les pays scandinaves.
- Radiocom2000 en France.
- C-NETZ en Allemagne.

D'un point de vue technique, ces systèmes étaient basés sur un codage et une modulation de type analogique. Ils utilisaient une technique d'accès multiples appelée FDMA (*Frequency Division Multiplex Access*) [2].

1.2.2 Le réseau GSM (2G)

C'est avec le **GSM** que tout a commencé. La norme **GSM** (*Global System for Mobile communications*) autorise un débit maximal de 9,6 kb/s. Ce débit permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS) ou des messages multimédias(MMS) [1].

1.2.3 Le réseau GPRS (2.5G)

Le standard GPRS (*General Packet Radio Service*) est une évolution de la norme GSM. On parle généralement de 2.5G pour classer ce standard. Cette norme autorise le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kb/s, 40 kb/s en pratique. Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. Le GPRS a permis d'initier l'Internet mobile [1].

1.2.4 LE RESEAU EDGE (2.75G)

Le passage de la 2G à la 3G est coûteux car il faut déployer un nouveau réseau physique. Les opérateurs ont donc cherché des alternatives. L'une d'entre elles est l'EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), technologie présentée comme la génération 2,75. L'EDGE vise à optimiser la partie radio d'un réseau mobile sur la partie « données » afin d'augmenter les débits de téléchargement. En théorie, EDGE permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 384 kb/s ; en pratique, 100 kb/s.

1.2.5 La troisième génération des téléphones mobiles (3G)

L'UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) est l'une des technologies de téléphonie mobile de troisième génération (3G) européenne. Le procédé employé pour faire transiter la voix et les données a été entièrement reconsidéré. Ce nouveau standard permet d'atteindre un débit de 10 Mb/s en réception et de 2 Mb/s en émission. Afin de faire transiter toutes ces données, une nouvelle bande de fréquences a été allouée à l'UMTS dans le spectre radio, aux alentours de 2100 MHz. En 2011, l'UMTS est déjà déployé sur plus de 95% de la population.

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

La norme UMTS offre des avantages qui s'appliquent aux communications vocales ainsi qu'aux transferts de données. Cette technologie exploite une bande de fréquences plus large, augmente le nombre d'appels et enfin permet le développement du domaine de la multimédia [1].

1.2.6 La technologie HSDPA

Le HSDPA a été proposé dans la version 5, appelée 3,5 G ou encore 3G+ (Dénomination commerciale). Elle annonce des débits pouvant atteindre au-delà de 14 Mbps pour le DownLink qui permet d'accroître les taux de transfert de données et augmente la capacité des réseaux 3G. Il offre des performances dix fois supérieures à l'UMTS. En revanche, l'inconvénient de l'évolution HSDPA est le débit montant Uplink qui reste inchangé 384 Kbit/s.

L'évolution de cette nouvelle norme se présente comme suit :

Raccourcissement du TTI (Transmission Time Interval) de 10 ms à 2 ms.

Utilisation d'un type de modulation 16QAM.

Répétition du message (retransmission) avec codage modifié.

Avec l'apparition du HSUPA le problème de la liaison montant est résolu [3].

1.2.7 La technologie HSUPA

La technologie HSUPA suit HSDPA, elle permet de transférer des contenus multimédias volumineux. IL porte le débit montant à 5,8 Mbit/s et offre une voie montante qui assure un transfert plus rapide et plus efficace. et le débit descendant à 14 Mbit/s.

Allocation des ressources par le NodeB. Au niveau des interfaces radio, HSUPA n'utilise pas de canal partagé les ressources de codes et de puissance sont gérées de manière ce qui autorise une transmission haut-débit [3].

1.2.8 La technologie HSPA+

L'évolution se succède jusqu'au la combinaison de la technologie HSDPA et HSUPA pour permettre l'apparition HSPA (High Speed packet Access +).

Cependant, l'évolution de l'UMTS n'a pas atteint sa fin pour enfin arriver à un débit de 21 Mbit/s avec le HSPA+ connu par 3GPP version 7 et 8. Il permet de :

- Diminuer le temps d'échange des messages entre le RNC et le NodeB.
- Réduire les coûts de déploiement en réduisant le nombre d'éléments.
- Maximiser le taux de transmission de données en ajustant la modulation et le codage.
- Améliorer l'efficacité spectrale et le taux maximum de latence [3].

1.2.9 La quatrième génération des téléphones mobiles LTE

L'évolution des systèmes 3G vers la 4G est dictée par la création et le développement de nouveaux services pour les terminaux mobiles. Afin de répondre à la croissance rapide du trafic mobile de données, les organismes de normalisation ont proposé dès 2005 des évolutions des systèmes existants : deux technologies sont entrées en compétition dans le cadre d'une évolution de la 3G. D'une part le WiMAX, standardisé par IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) et développé pour des accès sans fil à internet à haut débit (jusqu'à 70 Mbit/s), et d'autre part, le Long Term Evolution (LTE), standardisé par le 3GPP (Third Generation Partnership Project), pour les futurs réseaux de téléphonie mobile[4].

1.3 Architecture des réseaux cellulaires

1.3.1 Architecture du réseau 2G (GSM)

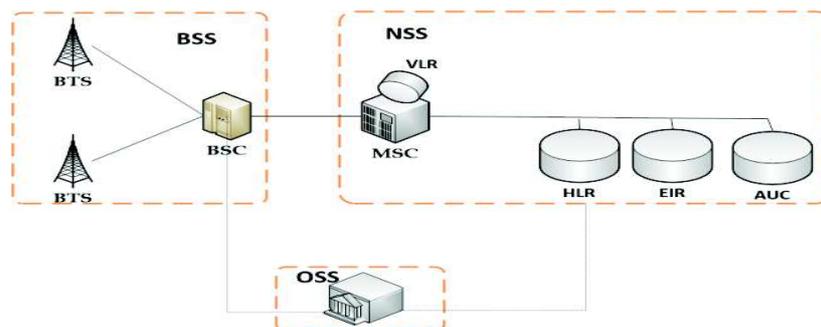


Figure 1.2: Architecture réseau GSM.

La figure 1.2 contient Les équipements utilisé dans la 2G sont :

Base Station SubSystem BSS

➤ **La BTS** (Base Transceiver Station) est un ensemble d'émetteurs-récepteurs qui gère la transmission radio, le multiplexage temporel (une fréquence radio est subdivisée en 8 time slots dont 7 sont alloués aux utilisateurs), modulation, démodulation, égalisation, codage, correcteur d'erreur. Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules. Elle réalise aussi des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement (évaluation de la distance et de la puissance du signal émis par le terminal de l'abonné) : Ces mesures sont directement transmises à la BSC [5].

➤ **Base Station Controller**

Un ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est relié à un contrôleur de stations (en anglais Base Station Controller, noté BSC), chargé de gérer la répartition des ressources et aussi le transfert intercellulaire des communications (Handover).

L'ensemble constitué par le contrôleur de station et les stations de base connectées constitue le sous-système radio (en anglais BSS pour Base Station Subsystem)[5].

Network Sub-System NSS

➤ **Le MSC** (Mobile-service Switching Center) c'est un commutateur qui gère l'établissement, le contrôle (signalisations) et les flux de voix des communications entre MS. Il est souvent couplé au VLR. Il peut posséder une fonction passerelle GMSC (Gateway MSC) qui gère les interconnexions avec d'autres réseaux comme X25[5].

➤ **Le VLR** (Visitor Location Register) c'est une base de données qui contient les informations sur les abonnés présents dans une zone géographique. Il est souvent rattaché au MSC.

➤ **Le HLR** c'est une base de données qui gère les abonnés d'un réseau donné. Dans un HLR, chaque abonné est décrit par un enregistrement contenant le détail des options d'abonnement et des services complémentaires accessibles à l'abonné. Il contient son numéro d'annuaire MSISDN, l'identité internationale utilisée sur le réseau et le profil d'abonnement. De plus il enregistre aussi le numéro du VLR dans lequel se trouve l'abonné. Le HLR contient par ailleurs la clé secrète de l'abonné qui permet au service d'authentifier l'abonné [5].

➤ **L'AuC** est associé à un HLR et sauvegarde une clé d'identification pour chaque abonné mobile enregistré dans ce HLR. Il permet l'authentification des demandeurs de services ainsi que le chiffrement des communications [5].

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

- L'EIR est une base de données annexe contenant les identités des terminaux

Un terminal est identifié par un numéro de série dénommé IMEI (IMEI= numéro de série. Numéro d'identifiant. Numéro du terminal). La base EIR est consulté lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si le terminal utilise est autorisé à fonctionner sur le réseau [5].

Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS

OSS (Operation Sub-System) permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant [5].

1.3.2 De la 2G à la 3G

La figure suivante (figure 1.3) nous montre les principaux changements dans l'architecture de la 2G en allant vers la 3G

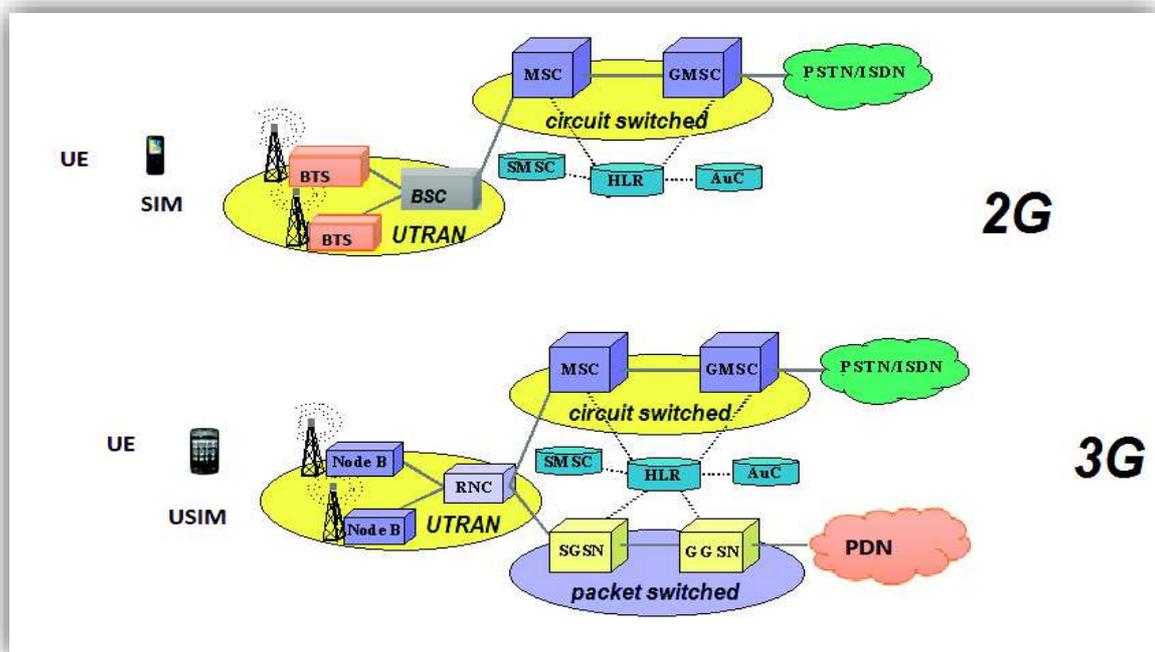


Figure 1.3 : Exemple d'architecture 2G/3G

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

❖ La partie software :

C'est la partie radio qui est complètement changée la carte SIM est remplacée par la carte USIM, les BTS par les NodeB, les BSC par les RNC et l'UE par des téléphones mobiles plus compatible a la 3G comme les smartphones.

❖ La partie hardware :

- L'augmentation du débit 2 Mbps(UMTS) par contre en GSM le débit atteint 9.6 kbps.
- L'augmentation de la largeur du canal 5 Mbps au lieu 200 KHz.
- Changement de la technique d'accès WCDMA au lieu la TDMA.
- Plusieurs services sont offerts par la 3G tel que la visiophonie l'internet à haut débit.

1.3.3 Architecture du réseau LTE

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA (de la base vers le terminal) et SC-FDMA (du terminal vers la base). Ceci permet d'affecter à chaque cellule une largeur spectrale plus importante qu'en 3G, variant de 1.4 à 20 MHz et donc d'avoir une bande passante plus importante et plus de débit dans chaque cellule.

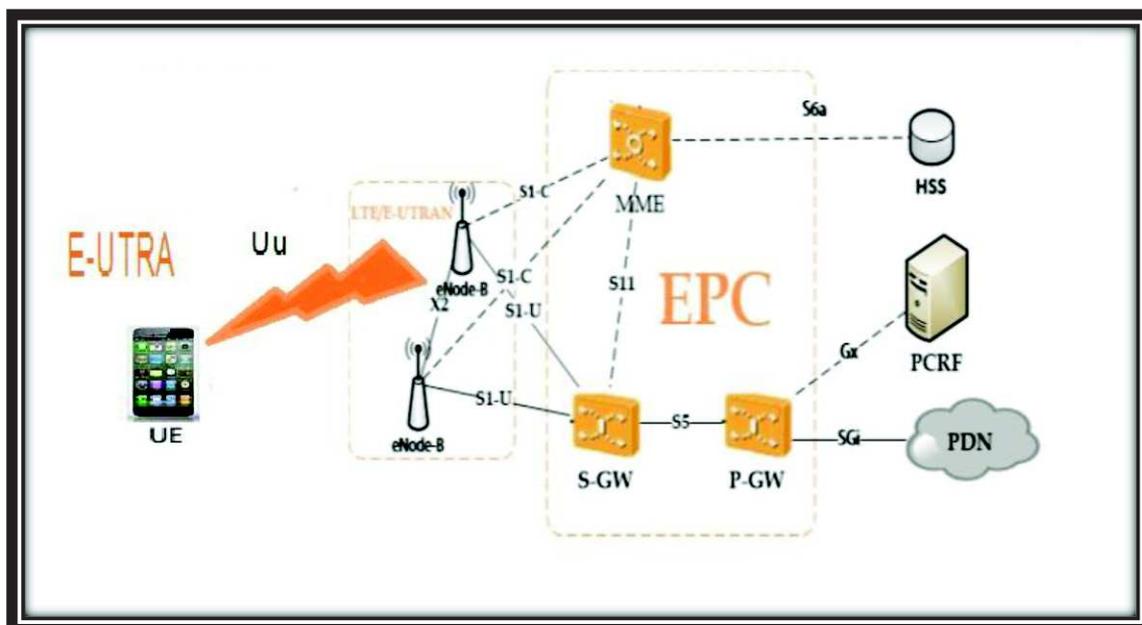


Figure 1.4 : Architecture générale du Réseau LTE.

Le réseau est constitué de trois parties :

1.3.3.1 Evolved - UMTS Terrestrial Access (E-UTRA)

➤ Équipement de l'utilisateur

Le dispositif mobile, comme dans le réseau UMTS il est appelé l'UE (équipement utilisateur) et cela fournit les services du LTE pour les applications et les fonctionnalités résidant sur le dispositif.

1.3.3.2 La partie radio eUTRAN

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2). Ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3G UMTS. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

➤ eNodeB

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS. La fonctionnalité du handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les interfaces Uu. Ainsi qu'ils fournissent la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, leurs résultats sont plus efficaces, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par l'eNodeB à la place de BSC ou RNC.

1.3.3.3 Cœur de réseau SAE/EPC :

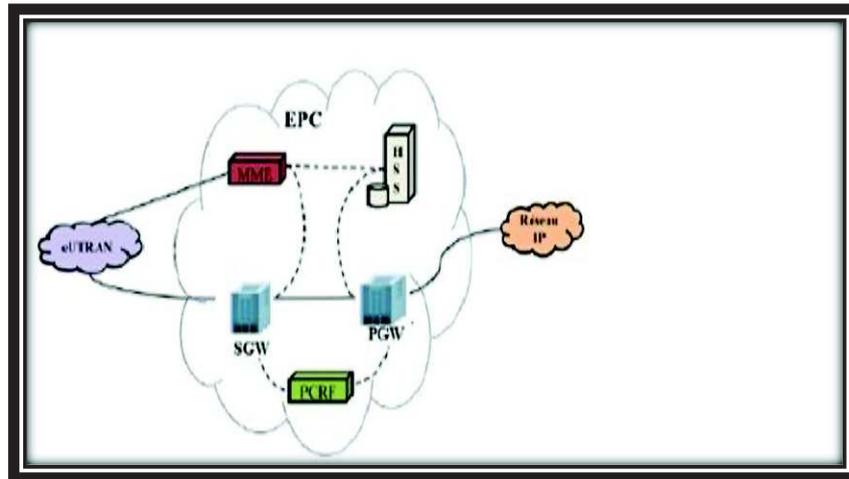


Figure 1.6 : Réseau cœur SAE/(EPC).

❖ Les entités de l'EPC

Le réseau coeur évolué EPS consiste comme le montre la figure (1.6) en les cinq principales entités énumérées ci-dessous :

➤ **Mobility Management Entity (MME) :**

MME est le noeud principal de contrôle du réseau d'accès LTE. Elle manipule un certain nombre de fonctionnalités telles que :

- Permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation).
- Elle gère le Handover inter-domaines et inter-réseaux.
- Elle est responsable aussi du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif.
- L'authentification, le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS.

➤ **Serving Gateway (SGW) Ou UPE (User Plane Entity)**

Joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux. Responsable du routage des paquets.

Il sert aussi à la collecte des données envoyées par les terminaux mobiles à travers différents eNodeB, et la distribution des données venant des serveurs vers les eNodeB où se trouvent les terminaux mobiles.

➤ **PDN Gateway (PGW)**

Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6. Elle permet aussi l'allocation de l'adresse IP de l'UE. L'UE peut disposer d'une connectivité avec plus d'un PGW pour l'accès à des PDNs multiples. Il permet aussi le marquage des paquets dans les sens montant et descendant permettant d'appliquer la QOS [5].

➤ **Home Subscriber Server (HSS)**

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé HSS. Le HSS est donc un HLR évolué qui est utilisé simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE appartenant au même opérateur. Elle contient le profil de l'abonnée et sa localisation précise.

➤ **Policy and Charging Rules Function (PCRF)**

La PCRF est le nom générique de l'entité au sein de la LTE/EPC qui détient les règles de taxation permettant au PDNGW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée [5].

1.3.3.4 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

L'IP multimédia Sub-system (IMS) est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture utilise la technologie VoIP ainsi qu'une implémentation 3GPP standardisée.

Les systèmes téléphoniques existants (commutation de paquets et commutation de Circuits) sont pris en charge. L'objectif d'IMS n'est pas seulement de permettre de nouveaux services, existants ou futurs, proposés sur Internet, les utilisateurs doivent aussi être capables. D'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Pour cela, l'IMS utilise les protocoles standards IP. Ainsi, une session multimédia, qu'elle s'effectue entre deux utilisateurs IMS, entre un utilisateur IMS et un internaute, ou bien encore entre deux internautes, est établie en utilisant exactement le même protocole. De plus, les interfaces de développement de services sont également basées sur les protocoles IP. C'est pour cela qu'IMS fait véritablement converger l'Internet et le monde de la téléphonie cellulaire ; Il

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

utilise les technologies cellulaires pour fournir un accès en tout lieu, et les technologies Internet pour fournir les services.

❖ Exemples de services de l'IMS

- Echange de fichiers pendant un appel.
- Un usager peut créer une règle qui le montre connecté après une certaine heure et rejette tous les appels en provenance d'un appelant de son groupe professionnel.
- Un usager peut couper lorsque ses collègues professionnels appellent et les rediriger vers une page Web spécifique présentant l'hôtel où il passe ses vacances.
- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence.

1.4 Les Caractéristiques du réseau LTE

1.4.1 Largeur de la bande et débit

La technologie LTE offre un débit de 100 Mbit/s pour le flux descendant et de 50 Mbit/s pour le flux ascendant. Pour ce qui est de l'interface radio E-UTRAN, elle doit avoir la possibilité de supporter un débit maximum. L'allocation d'une bande passante 20 MHz supporte un débit de 100 Mbit/s pour le sens descendant et de 50 Mbit/s pour le sens ascendant. Les technologies utilisées pour atteindre ces objectifs sont OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour le sens descendant et SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) pour le sens ascendant.

La technologie LTE, nous donne la possibilité d'opérer avec une bande de fréquence comprise entre : 1.4, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz. et de permettre un déploiement en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer [6].

1.4.2 Principe de la Téléphonie et les données en 4G

Dans un premier temps, l'IMS pour offrir la voix sur IP via l'accès 4G ne sera pas mise en œuvre compte tenu de sa complexité. La solution retenue à court moyen terme pour offrir les services de la téléphonie aux clients 4G est CSFB (Circuit Switched FallBack).

Lorsque le client 4G est couvert par la radio 4G, il se rattache à la 4G où le réseau ne lui offre que l'accès Internet/Intranet mais à haut débit. Lorsque le client désire établir un appel

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

ou recevoir un appel, il est alors basculé de la 4G vers la 3G ou la 2G. (Il est à noter que pour éviter un DAS (Débit d 'Absorption Spécifique) élevé et une batterie qui s'épuise trop rapidement, une seule radio peut être active à l'instant T (Radio 2G ou Radio 3G ou Radio 4G). Lorsque le client est basculé de la 4G à la 3G, ses sessions data sont maintenues avec la même adresse IP et l'appel voix peut être établi en parallèle des sessions data. A la fin de l'appel, le terminal retourne en 4G pour disposer du meilleur débit possible pour ses sessions data sans interruption de ces sessions. Par contre, lorsque le client est basculé de la 4G à la 2G, ses sessions data sont suspendues et l'appel voix peut être établi. A la fin de l'appel, le terminal retourne en 4G pour disposer du meilleur débit possible pour ses sessions data qui sont alors reprises. Le temps de basculement lors d'un appel sortant ou entrant est inférieur à 1 seconde [6].

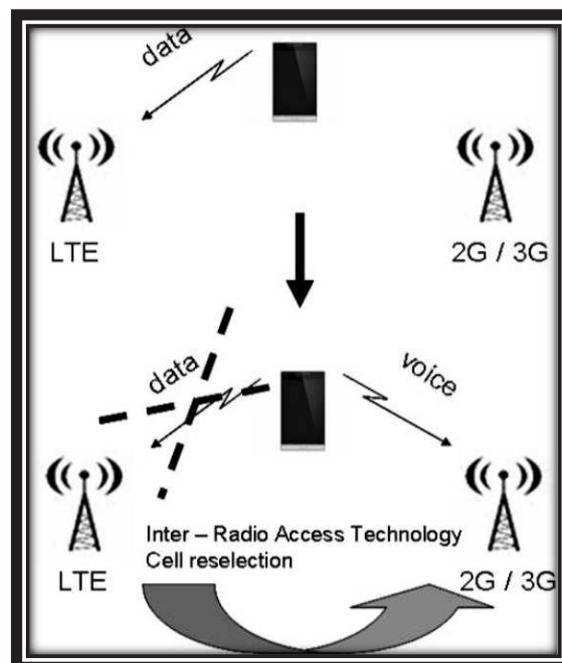


Figure 1.7: basculement à la 2G/3G.

1.5 Techniques utilisées

1.5.1 L'adressage IP au cœur de la 4G

LTE est basé sur l'adressage IP. Il n'y a plus de mode commuté tant et si bien que les communications téléphoniques se font en VoIP (Voice over Internet Protocol).comme illustré dans la figure suivante (1.8) :

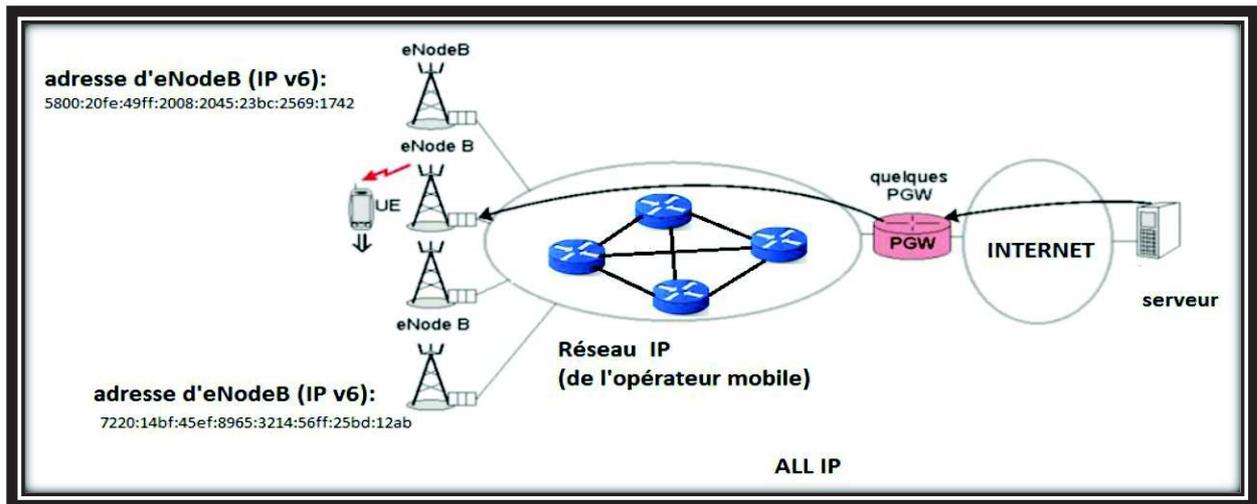


Figure1.8 : adressage IP en 4G.

La tendance des opérateurs est d'offrir au client un accès large bande associé à un bundle de services incluant la téléphonie sur IP et la télévision sur IP (télévision broadcast et vidéo à la demande). Ceci devient possible à la fois sur le fixe et le mobile. Les accès large bande fixes sont FTTx, xDSL, le câble, WiMAX alors que les accès large bande mobiles sont HSPA, HSPA+ (3G+), EPS (4G), et EVDO (Evolution Data Only). Le même réseau IP connecte l'ensemble des accès large bande et fournit des architectures de service IP. IMS (IP Multimedia Subsystem) est une architecture de service normalisée capable de fournir des services multimedia (IP TV téléphonie sur IP, présence, conférence, riche Communication Suite, IP Centrex, messagerie etc.) à tout client large bande. Indépendamment de l'architecture de service de l'opérateur de service, le client peut accéder à tout service sur Internet (Web, mail, transfert de fichier, streaming, téléphonie sur internet, etc.) [6].

1.5.2 Les techniques d'accès

Pour tout système radio mobile, il faut définir une technique d'accès qui permet une gestion des ressources radio disponibles. Pour les réseaux LTE, la technique OFDMA est utilisée dans le sens descendant et la technique SC-FDMA est appliquée dans le sens montant.

L'OFDMA

L'OFDMA (ou *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) est une technique de multiplexage et de codage des données utilisée principalement dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^e génération. Ce codage radio associe les multiplexages en fréquence et temporel c'est-à-dire les modes « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais *FDMA*) et « Accès multiple à répartition dans le temps » (AMRT ou en anglais *TDMA*).

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

Il est notamment utilisé dans les réseaux de téléphonie mobile 4G LTE ,LTE Advanced et WiMAX mobile (IEEE 802.16e).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivées du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL, et dans certains réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA permet le partage de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre de nombreux utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO .

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses les données numériques que l'on veut transmettre, ce qui induit, pour un même débit global, un débit binaire beaucoup plus faible sur chacun des canaux de transmission ; la durée de chaque symbole est ainsi beaucoup plus longue (66.7 μ s pour le LTE) que s'il n'y avait qu'une seule porteuse. Cela permet de limiter les problèmes d'interférences inter-symboles et de *fading* (forte atténuation du signal) liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées car quand le débit binaire sur une porteuse est élevé l'écho d'un symbole arrivant en retard à cause d'une propagation multi-trajets perturbe le ou les symboles suivants ; plus la durée du symbole est longue, moins les symboles suivants sont perturbés.

SC-FDMA

Le **Single-Carrier FDMA** (en anglais « *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access* » ou **SC-FDMA**) est une technologie de codage radio numérique utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^e génération LTE ; elle utilise simultanément les techniques de multiplexages de type accès multiple par répartition en fréquence et celui par accès multiple à répartition dans le temps (multiplexage fréquentiel et temporel).

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDM et à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant (terminal vers antenne-relais) des réseaux mobile 4G LTE et LTE-Advanced.

Le SC-FDMA a été adopté pour les liaisons uplink (dans le sens : terminal vers station de base) de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio (eUTRAN) des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc contribue à l'augmentation de l'autonomie de sa batterie [7].

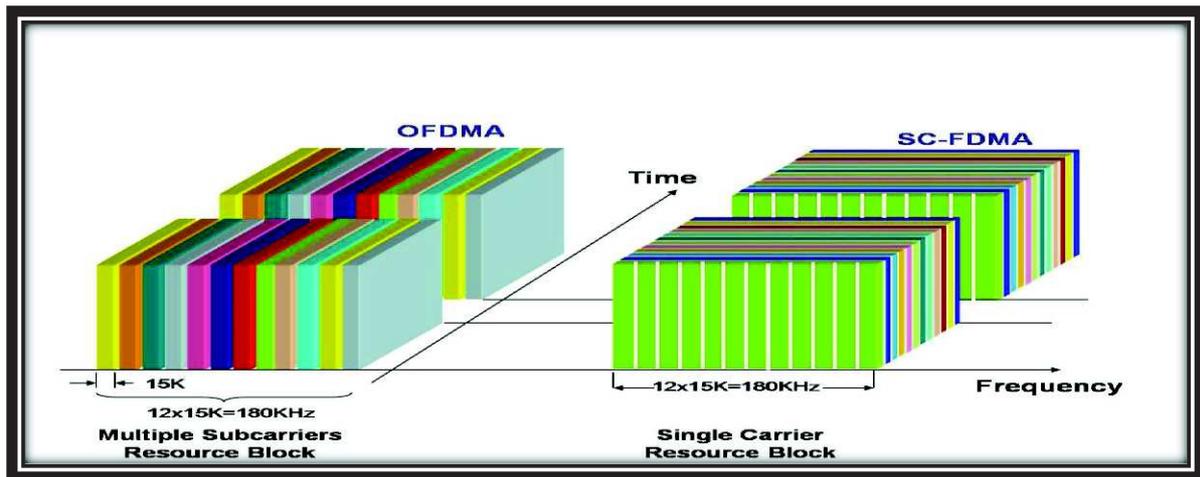


Figure 1.9 : Les techniques OFDMA et SC-FDMA

1.5.3 Modulation adaptative

Principalement par la mise en œuvre de la modulation 16 QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation à 16 états). Cette modulation permet de doubler la capacité de transfert par rapport à la modulation utilisée pour l'UMTS, la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) qui est basée sur deux porteuses de même fréquence déphasées de 90 degrés, soit 2 puissance 2 = 4 états d'information. Pour sa part, la 16 QAM combine deux niveaux d'amplitude avec deux porteuses en quadrature, soit 2 puissance 4 = 16 états d'information. Chaque une de ces modulations est utilisée pour un lien précis tel que :

Les Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM.

Les Modulations Uplink : QPSK et 16QAM [8].

❖ La modulation 16QAM

La modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est une forme de modulation d'une Porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature (une onde déphasée de 90° avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.

Voici un exemple (figure 1.10) de répartition pour le codage 16QAM qui permet de représenter 4bits par symbole.

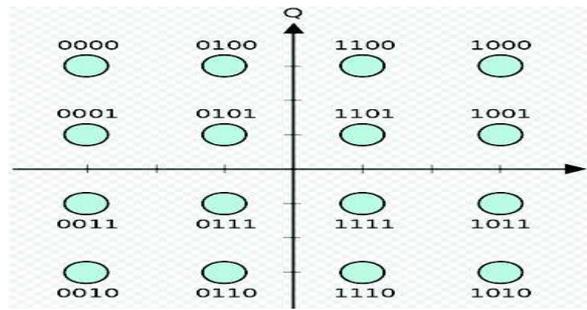


Figure 1.10 : QAM à 16 états.

La figure montre la constellation, qu'elle est en conséquence le nombre de bits pouvant être transmis en une fois, peut être augmentée pour un meilleur débit binaire, ou diminuée pour améliorer la fiabilité de la transmission en générant moins d'erreurs binaires. Le nombre de points de la constellation est indiqué avant le type de modulation QAM.

Le format de modulation QAM est étudié de plus en plus sérieusement dans le domaine des télécommunications par fibre optique afin de répondre à l'augmentation du débit [8].

❖ La modulation QPSK

Souvent connue sous le nom de 4-PSK ou QPSK, cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, à équidistance autour d'un cercle. Avec quatre phases, QPSK peut coder deux bits par symbole, schéma code de Gray Cela permet de soit multiplier le débit binaire par deux comparé à un système BPSK tout en maintenant la bande passante du signal ou alors de maintenir le débit en réduisant la bande passante utilisée par deux.

Bien que le QPSK puisse être vu comme une modulation en quadrature, il est aussi simple de le considérer comme deux modulations indépendantes. Avec cette interprétation, les bits pairs (ou impairs) sont utilisés pour moduler la composante In-Phase(I), tandis que les bits impairs (ou pairs) sont utilisés pour la Quadrature-phase (Q). BPSK est utilisé sur les deux porteuses et peuvent être démodulées indépendamment.

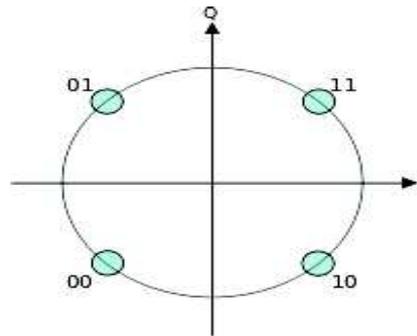


Figure 1.11 : Diagramme de constellation pour QPSK.

1.5.4 Techniques multi-antennes : MIMO (Multiple-Input Multiple Output)

La technique MIMO consiste en l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission et à la réception. Le but de la technique MIMO était d'améliorer le débit, d'augmenter l'efficacité Spectrale, de diminuer la probabilité de coupure du lien radio, etc.

Vu que les progrès en codage se sont rapprochés de la limite de capacité de Shannon pour les liens radio, des progrès significatifs en efficacité spectrale sont effectués à travers l'augmentation du nombre d'antennes à la fois à l'émetteur et au récepteur.

En effet, MIMO répond au besoin de la norme LTE en termes de capacité de transmission. Cette dernière limite le nombre d'antennes à utiliser en raison de contraintes technologiques exigées [9].

La figure suivante (1.12) illustre un modèle MIMO à deux antennes émettrices et quatre antennes réceptrices :

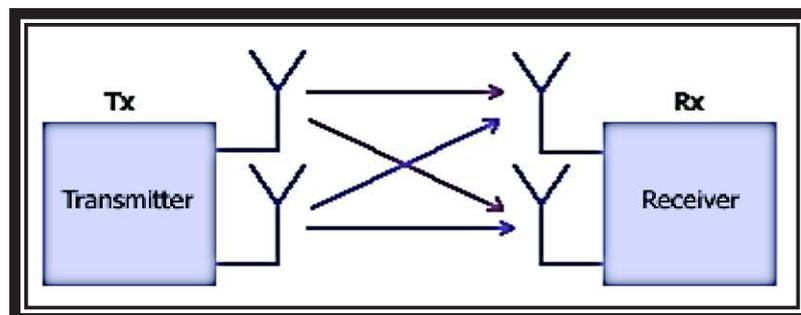


Figure 1.12 : Modèle d'un système MIMO à deux antennes émettrice réceptrice.

1.6 Propriétés du réseau LTE

1.6.1 Structure d'une trame LTE

- **Élément de ressource** : La bande de fréquence est structurée en bloc dit bloc de ressource c'est à dire eux même sont découpée en sous porteuse de très petite taille dénommé (Resource Element (RE)) qui ont une largeur de 15 KHZ et un intervalle du temps de 0.66 us, Chacune contient un symbole (de 1 bit à 16 bits).
- **Bloc de ressource** : Nous trouvons 12 sous porteuses de 15kHz forment un bloc de ressource de (180 kHz) et dans le temps Soit, 7 symbole de 0.5 mS comme montre la figure suivante.
- **Sous trame** : C'est une paire de bloc de ressource d'une durée de 1 ms c'est l'unité de base pour l'allocation des ressources radio [10].

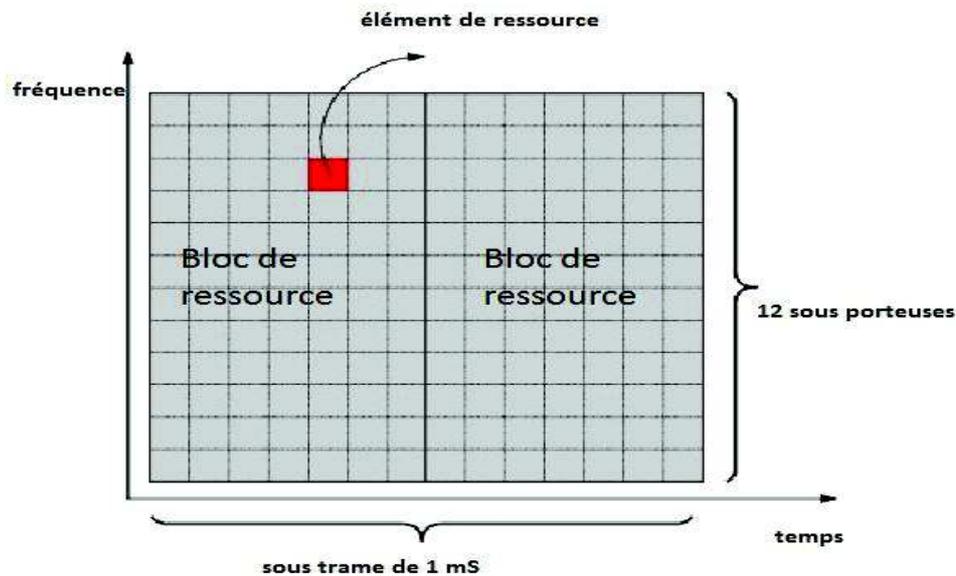


Figure 1.13: Élément de ressource.

Le nombre total de sous porteuses disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système. Les spécifications LTE définissent les paramètres de bande passante à partir de 1.4 MHz jusqu'à 20 MHz comme le montre le tableau suivant (tableau 1.1) :

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

Largeur de la BP [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Durée de la sous-trame.	10 mS					
Largeur de RE	15KHZ					
Nombre de bloc de ressources	6	15	25	50	75	100

Tableau 1.1 : Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande.

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en *trames radio* consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix *sous-trames* de 1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (*Transmission Time Interval*), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame.

- Le type 1 est adapté au FDD
- Le type 2 est adapté au TDD.

1.6.2 Les interface radio

Les interfaces	Interfaces Description
X2-U	(X2 User plan interface) elle est responsable du transport des paquets de donnée entre les eNodeBs.
X2-C	(X2 Control plan interface) c'est une interface de signalisation.
S1-U	(S1 User plan interface) elle est responsable du transport des paquets de données des utilisateurs entre le eNodeB et le SGW.
S1-C	utiliser pour la signalisation entres eNodeB et MME, elle assure donc la fiabilité de transmission de donnée.
S6	C'est une liaison entre le MME et la base de données globale HSS.
S13	C'est l'interface entre l'entité MME et l'entité EIR dans le réseau LTE.
GX	C'est l'interface permettant à l'entité de commutation par paquet dans

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

	LTE appelée PDN-GW d'obtenir des règles de taxation auprès de l'entité PCRF et ainsi taxer l'utilisateur sur la base des flux de services et non pas sur le volume.
GY	C'est l'interface de taxation online entre le PDN-GW et l'Online Charging System.
GZ	C'est l'interface de taxation offline entre le PDN-GW et l'Offline Charging System.
S9	C'est une liaison entre le PCRF du réseau visité et le PCRF du réseau nominal dans le cas où la taxation est prise en charge par le réseau visité.
S5/S8	C'est une liaison entre le PCRF du réseau visité et le PCRF du réseau nominal dans le cas où la taxation est prise en charge par le réseau visité.

Tableau 1.2 : Les différentes interfaces en LTE

1.7 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G

Appréhender les évolutions et le fonctionnement des réseaux mobiles en évolution vers des technologies LTE (Long Terme Evolution). La figure suivante (figure 1.14) montre une simple comparaison entre l'architecture du réseau de troisième génération et celui de la quatrième génération.

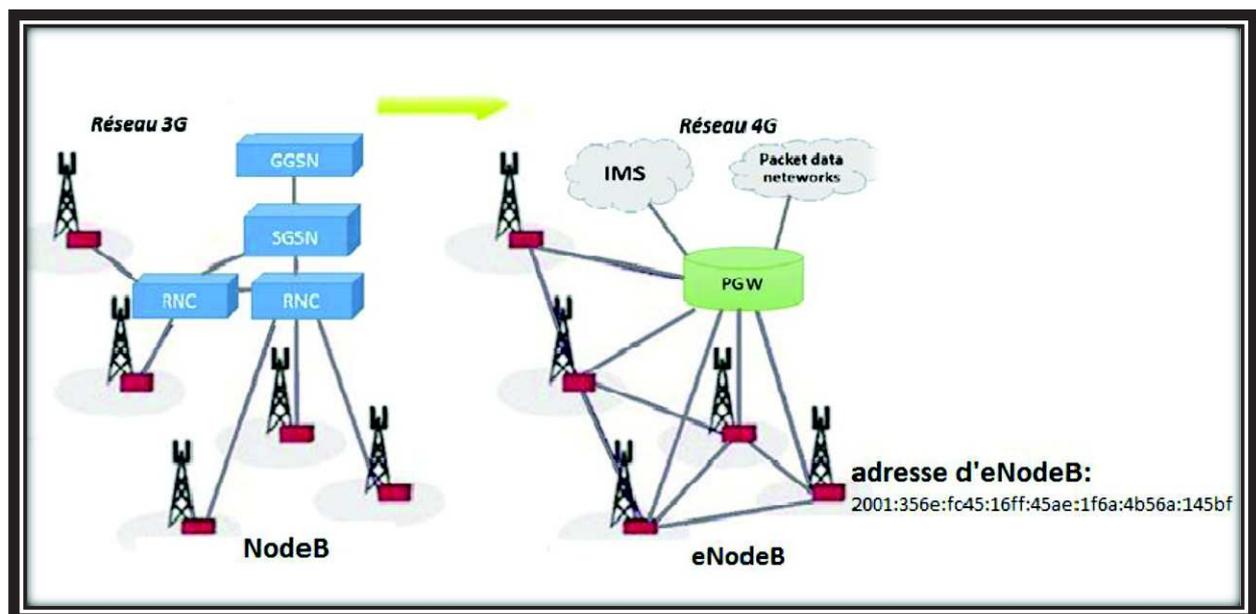


Figure 1.14: Comparaison entre 3G et 4G.

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

Les MME (Mobility Management Entity) remplacent les dispositifs PDSN / SGSN et BCS/RNC.

Les eNodeBs remplacent les BTS / NodeB Seving.

Les PDN (Packet Data Network) remplacent les GGSN.

- Contrairement à la 3G qui nécessite d'allouer une bande de fréquence de 5 MHz, le LTE propose plusieurs bandes de fréquences allant de 1.4 jusqu'à 20 MHz. Cela lui permettra de couvrir de grandes surfaces.
- couvrir de grandes surfaces. un débit de données trois à quatre fois plus important que celui de l'UMTS/HSPA.
- une efficacité spectrale (nombre de bits transmis par seconde par hertz) trois fois plus élevée que la version de l'UMTS appelée HSPA .
- un temps de latence RTT (*Round Trip Time*) proche de 10 ms contre 70 à 200 ms en HSPA et UMTS.
- l'utilisation du codage OFDMA pour la liaison descendante et du SC-FDMA pour la liaison montante (au lieu du W-CDMA en UMTS).
- des performances et des débits radios améliorés par l'utilisation de la technologie multi-antennes MIMO du côté équipement terrestre (eNodeB) et du côté terminal (en réception uniquement).
- la possibilité d'utiliser une bande de fréquence allouée à un opérateur variant de 1,4 MHz à 20 MHz, permet une plus grande souplesse (par rapport à la largeur spectrale fixe de 5 MHz de l'UMTS / W-CDMA).
- Un bon support des terminaux en mouvement rapide. De bonnes performances ont été enregistrées jusqu'à 350 km/h, voire jusqu'à 500 km/h, en fonction des bandes de fréquence utilisées. Contrairement aux normes 3G HSPA et HSPA+, qui utilisent la même couverture radio que l'UMTS, le LTE nécessite des fréquences radio et des antennes qui lui sont propres mais qui peuvent être colocalisées avec celles d'un réseau 2G ou 3G.

1.8 Généralité sur le Handover

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

Le handover désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre pour permettre qu'un téléphone mobile ou un smartphone (dénommés station mobile - MS en GSM, ou user equipment dans les

Chapitre I : Les Différentes Générations de Téléphonie Mobile

réseaux 3G et 4G) change de cellule radio sans interruption de la conversation ou du transfert des données.

Ce mécanisme peut être complété par un service d'itinérance, qui se manifeste dans le cas où la station mobile quitte une cellule gérée par un opérateur pour une autre appartenant à un autre opérateur, qu'il y ait, ou pas, une conversation en cours.

Le processus de handover permet à un terminal mobile de maintenir la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet lorsque le signal de transmission entre un téléphone et une station de base (BTS) s'affaiblit, le logiciel du téléphone mobile cherche une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui soit capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions.

1.8.1 Le Handover En LTE

Le réseau LTE est plus simple qu'un réseau UMTS : voix (VoLTE) et données utilisent les mêmes chemins (IP) et il n'y a plus de RNC (intégré au Node B). Un user equipment (généralement un smartphone) a déjà des ressources radio dans une cellule radio (gérée par un eNode B) ; lorsque le signal reçu s'affaiblit, il migre vers une nouvelle cellule ; il n'existe plus que deux types principaux de handover :

- **Handover intra-eNode B** : de nouvelles ressources radio (resource blocks) sont attribuées au terminal mobile dans une autre cellule (ou un autre "secteur") gérée par le même eNode B.
- **Handover inter-eNode B** : de nouvelles ressources radio (Resource blocks) sont attribuées au terminal dans une autre cellule gérée par un autre eNode B. le dialogue entre les 2 eNode B se fait par les liens X2 du réseau EUTRAN de l'opérateur mobile[10].

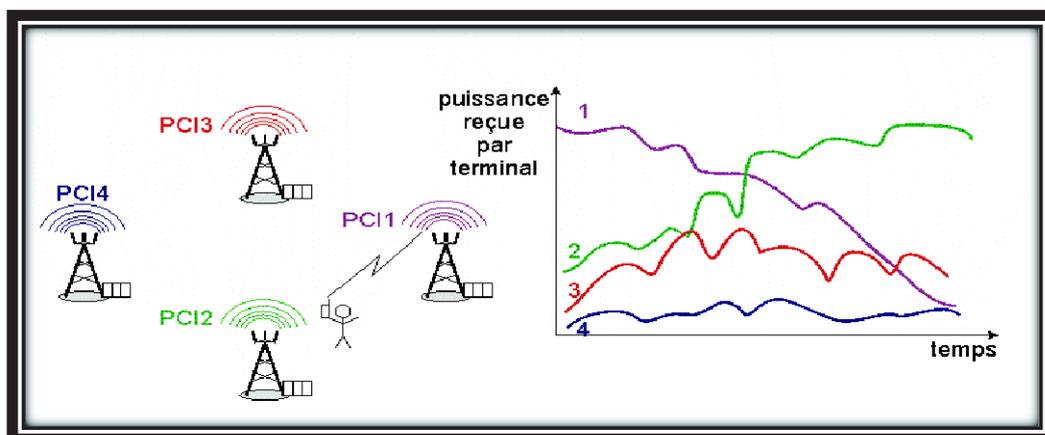


Figure 1.15: mesures de puissance faites par le terminal.

1.9 Qualité des services

✓ Les services LTE

Une nouvelle génération de systèmes mobiles permet habituellement une introduction de nouveaux services et une amélioration de certains services vis-à-vis des les générations précédentes.

Le premier changement apporté par le LTE en termes d'expérience utilisateur est donc un confort d'utilisation des services en ligne :

Navigation Web: naviguer sur Internet.

Vidéo streaming: les applications streaming : regarder les vidéos.

Transfert de fichiers: téléchargement de fichiers à partir de la Internet.

Voix: la voix sur IP (VoIP) comme «Skype» : envoyer et recevoir des appels vocaux sur Internet.

Le LTE a défini les classes de services qu'il peut offrir et qui dépendent de la QoS désirée par l'utilisateur

La qualité de service est généralement définie par les critères suivants :

***Délai:** temps écoulé entre l'envoi d'un paquet et sa réception.

***Gigue sur le délai:** variation du délai de deux paquets consécutifs.

***Bande passante minimum:** taux de transfert minimum pouvant être maintenu entre deux points terminaux.

***fiabilité:** taux moyen d'erreurs d'une liaison [8].

1.10 Conclusion

En effet avoir une connaissance sur l'évolution des réseaux cellulaires et l'architecture du réseau LTE en détaille c'est quelque chose de primordiale pour un chercheur dans les réseaux cellulaires car celle-ci lui permet de gérer les ressources, savoir comment optimiser cette nouvelle technologie et avoir une bonne qualité de service qui est l'objectif de chaque opérateur mobile, le chapitre suivant ça sera un état de l'art de tout sur l'optimisation du réseau LTE.

CHAPITRE II :

Etat de l'art des différentes solutions

2.1 Introduction

L'une des objectifs principales du réseau LTE, ou n'importe quel autre système du réseau sans fil est de fournir lors d'un handover un déplacement transparent d'une cellule serveuse à une cellule cible qui garantit un débit favorable sans perte de données, ceci est particulièrement applicable dans le réseau LTE, l'amélioration de la mobilité est un aspect important afin de supporter des grandes vitesses de l'utilisateur jusqu'à 350 km/h ou même jusqu'à 500 km/h, c'est la raison pour laquelle la nécessité d'un handover devient plus crucial en particulier pour les services en temps réel.

Le handover à son tour doit être optimisé afin d'éliminer l'effet de pingpong et le nombre totale des handovers lors d'un déplacement.

Dans le cadre de ce chapitre nous avons essayé de rassembler l'ensemble des travaux promulgués qui ont une visée directe sur l'optimisation du handover dans la 4^{ème} génération.

2.2 Motivation

De nos jours, se déplacer à très grande vitesse sans rupture de la liaison radio est quelque chose de primordiale pour les utilisateurs mobiles ceci qui était invraisemblable d'être accompli dans le temps, actuellement dans les réseaux next générations mobiles (IEEE802.11n), comme le réseau LTE, de nouvelles techniques qui ont été incorporées pour résoudre ses impasses.

Les réseaux appelés Next generation, sont de plus en plus mobiles, l'utilisateur devient très gourmand en terme de qualité de service, ce qui pousse les chercheurs de satisfaire les demandes des utilisateurs mobiles, en offrant un réseau très stable et dynamique au même temps, le handover est l'une des choses essentielles dans un environnement de communication mobile. Dans le réseau LTE, il attribue une liaison en continuant tout en garantissant une meilleure qualité de services (QoS). Pour cela nous avons opté de focaliser nos recherches sur ce phénomène (Handover).

D'autre part, la migration de la technologie vers l'internet des objets et le cloud ont connu un essor dans ces dernières décennies, nous avons constaté que les travaux promulgués ont donné un grand mérite à l'intelligence artificielle qui est la ruée vers l'or, une de ces parties la logique floue connaît une naissance formidable au sein des réseaux mobiles afin d'assurer la

liaison radio dans le réseau LTE. Pour nous, l'intelligence artificielle va apporter à notre réseau une certaine intelligence pour gérer les ressources de notre réseau LTE.

Plusieurs travaux dans la littérature ont proposé des solutions en s'attaquant à des aspects différents, résumés dans les points suivants:

- Proposer des algorithmes pour améliorer la liaison dans le réseau LTE.
- Combiner entre plusieurs algorithmes existants pour faire un algorithme hybrid, plus robuste.
- Etendre des algorithmes existants pour en améliorer le fonctionnement.
- Toutes ces contributions sont validées, soit par des modèles mathématiques, soit par des simulations sous des environnements variés (LTE –SIM, MATLAB ,NS3, OPNET etc.).

Dans notre état de l'art nous avons fait un tour d'horizon sur toutes les solutions suggérées pour améliorer les performances du réseau LTE lors du handover, pour résumer les solutions existantes et choisir la nôtre pour optimiser les paramètres radio de notre réseau LTE et avoir à la fin un réseau plus stable et robuste.

2.3 Les principaux paramètres lors d'un handover

Dans le schéma ci-dessous (figure 2.1), nous avons résumé les principaux paramètres radios dans le réseau LTE mobile, ensuite nous allons définir chaque paramètre.

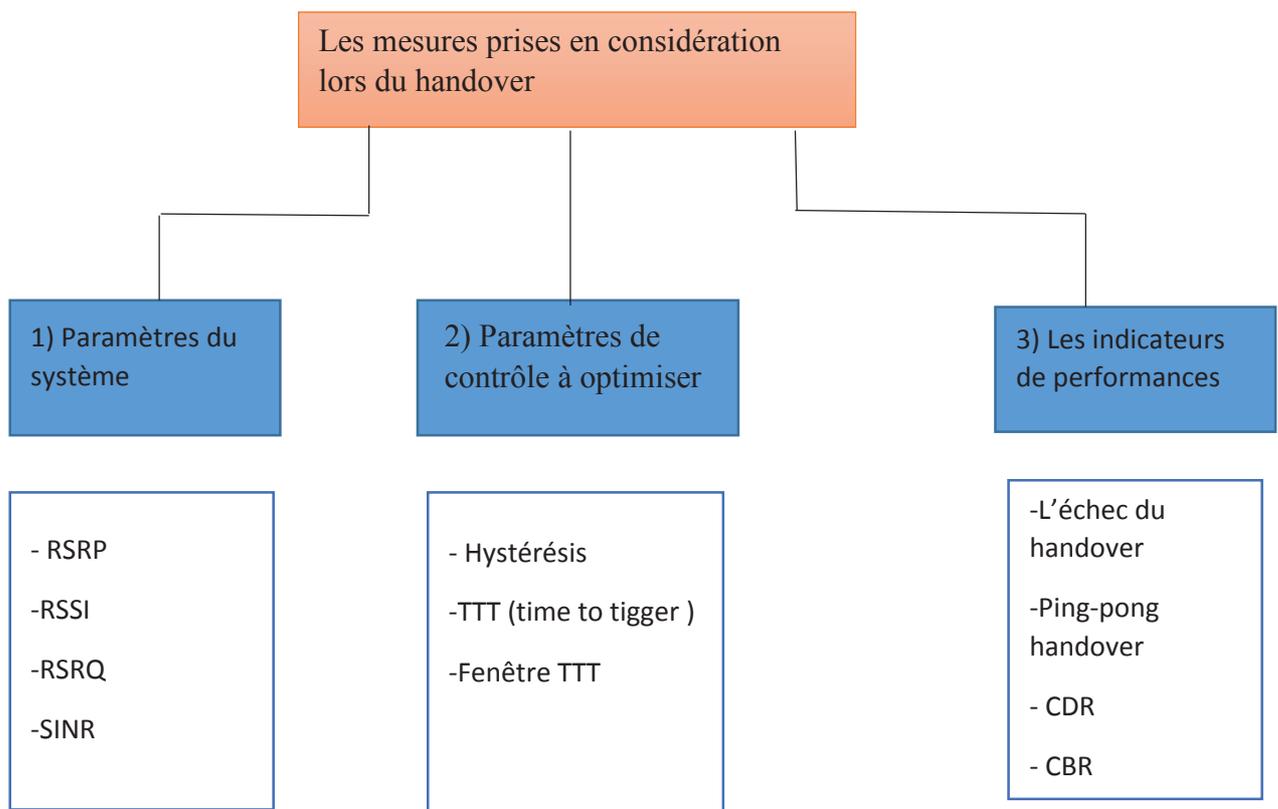


Figure 2.1 : les principaux paramètres radio.

2.3.1 Les paramètres de système

RSRP : Reference Signal Received Power (RSRP) est la mesure la plus basique réalisée par la couche physique de l'UE, permettant d'obtenir une valeur moyenne de la puissance reçue du signal de référence (RS) émise par la station de base. L'unité de mesure s'exprime en Watt ou en dBm, nous pouvons calculer le RSRP à partir de la puissance reçue par l'UE (P_s), les pertes dues au multi trajets (PL_{UE}), et les phénomènes d'évanouissement plus un écart-type de 3 dB (L_{fad}), d'où l'équation pour calculer le RSRP est la suivante :

$$RSRP_{S, UE} = P_s - PL_{UE} - L_{fad}$$

RSSI : Received Signal Strength Indicator est la puissance total reçus, elle est absorbée par l'UE à partir de toutes les sources, y compris les Co-canaux de cellule serveuse et non serveuse, l'interférence de canal adjacent, le bruit thermique et ainsi de suite. RSSI peut être calculé comme suit :

$$RSSI = RSRP_{S,UE} + RSRP_{int,noise}$$

RSRQ : Bien que le RSRP est une mesure importante, il ne donne aucune information sur la qualité de la transmission. Le LTE s'appuie alors sur l'indicateur RSRQ (Reference Signal Receive Quality), défini comme le rapport entre le RSRP et le RSSI (Received Signal Strength Indicator).

Il fournit des informations supplémentaires quand le RSRP n'est pas suffisant pour faire le choix d'un handover ou d'une re-sélection de cellules. RSRQ peut être calculé comme suit :

$$RSRQ = N * \frac{RSRP}{RSSI}$$

Où N est le nombre de RB (bloc de ressource).

SINR: Signal Interférence plus Noise Ratio, cette mesure est utilisée pour l'optimisation de la puissance d'émission afin d'obtenir une bonne qualité de service et qui permettra au système de prendre une décision du handover. Si le SINR d'un appel est en dessous du seuil minimum (-10dB) l'appel est interrompu, une estimation de SINR précise fournit à un système une efficacité et une meilleure qualité de service perçue par l'utilisateur, SINR est défini comme étant le rapport de la puissance du signal reçu par l'eNodeB de la cellule serveuse sur l'ensemble bruit plus puissance d'interférence des autres eNodeBs [11].

2.3.2 Les paramètres de contrôle de handover

TTT : time to trigger limite l'action du handover d'être déclenché dans une durée de temps, une action du handover peut être effectuée si le TTT est accompli, les valeurs du TTT pour les réseaux LTE sont définies par le 3GPP (0 0.04 0.064 0.08 0.1 0.128 0.16 0.256 0.32 0.48 0.512 0.64 1.024 1.280 2.560 5.120) en seconde (s). Ces 16 valeurs sont les seules valeurs valables du TTT, Par conséquent, il y a 336 combinaisons de paramètres valides entre l'hystérésis et les valeurs du TTT [12].

La marge d'hystérésis (HOM)

La marge d'hystérésis est le principal paramètre utilisé pour l'optimisation du handover. Un transfert intercellulaire est déclenché lorsque la condition suivante est réalisée : le RSRP de la

cellule voisine est supérieure au RSRP de la cellule cible plus l'hystérésis (Hys). Les valeurs d'hystérésis valides varient entre 0 et 15 dB avec un pas de 0,5 dB, ce qui entraîne 21 valeurs d'hystérésis valides [13].

La longueur et la forme de la fenêtre TTT

L'effet du changement de la liaison radio causé par la chute de puissance doit être réduit au minimum durant la période de la décision de HO, d'où cette fenêtre permet de filtrer ce type de phénomène. La longueur et la forme de la fenêtre peuvent influencer sur le lancement du handover, la longueur réduit le nombre du handover mais augmente le délai ainsi que La forme de la fenêtre, quelle que soit rectangulaire ou exponentielle peut aussi influencer sur le nombre du handover et la probabilité d'avoir des handovers inutiles.

2.3.3 Les indicateurs de performance du handover

L'échec du handover : Nous pouvons définir ce terme comme le nombre du handover échoué divisé par le nombre total de HO (handover échoué+ handover réalisé).

$$HPI_{\text{HOF}} = \frac{N_{\text{Hofail}}}{N_{\text{Hofail}} + N_{\text{Hosucc}}}$$

Le Ping-Pong Handover:

Nous pouvons définir cet indicateur comme le nombre de HO_{PP} divisé par le nombre total d'essais du handover :

$$HPI_{\text{hpp}} = \frac{N_{\text{HOpp}}}{N_{\text{HOpp}} + N_{\text{HOpp}} + N_{\text{Hofail}}}$$

Ou N_{HOpp} est le nombre des ping-pongs handover.

La défaillance de la liaison radio :

On peut définir cet indicateur par le nombre d'appels interrompus sur le nombre d'appels acceptés [16].

$$HPI_{\text{DC}} = \frac{N_{\text{dropped}}}{N_{\text{accepted}}}$$

Taux de blocage des appels :

Le **CBR** est un indicateur très important dans les algorithmes d'optimisation il est défini comme suite :

$$CBR = \frac{N_{blocked}}{N_{offered}} = N_{blocked} / (N_{blocked} + N_{accepted}).$$

2.4 Les principaux algorithmes pour l'optimisation des paramètres radio :

L'organigramme suivant (figure 2.2) représente les différents algorithmes utilisés pour optimiser les paramètres radio :

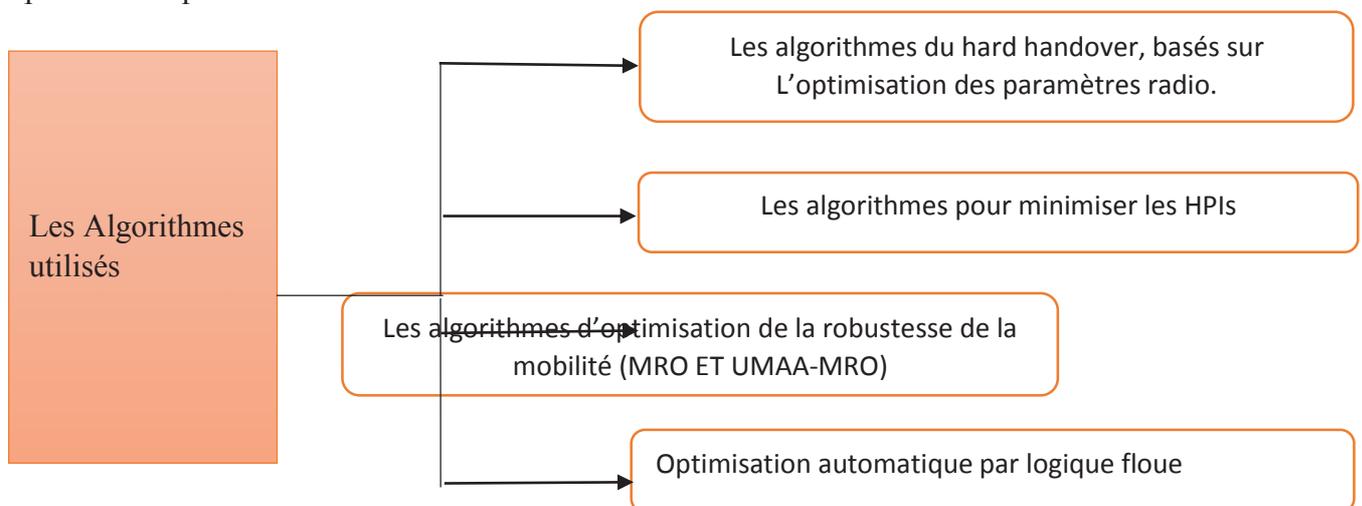


Figure 2.2 : les algorithmes d'optimisation des paramètres radio.

2.4.1 Les algorithmes du hard handover basés sur L'optimisation des paramètres radio

Lin et al [14] ont montré que la quasi-totalité des handovers dans le réseau LTE sont des hard handover, dans leurs études, ils ont optimisé trois algorithmes de handover bien connus dans le système LTE. Le premier nommé PBHA (power budget handover algorithme) où le handover est déclenché lorsque la condition de déclenchement $RSRP_T > RSRP_s + HOM$ est vérifiée pour la durée entière du TTT. Le deuxième est un algorithme de la Fenêtre TTT basé sur l'intensité du signal reçue où il fait la collecte d'information nécessaire à l'étape de traitement, et puis il effectue la comparaison sur la base de ces informations à l'étape de décision suivie par l'étape d'exécution. Le troisième algorithme connu sous le nom d'algorithme intégrateur car dans son

concept principal il consiste à prendre la décision du handover par la différence d'intensité du signal précédente.

Luna et al [15] évaluent les performances du hard handover par le biais de deux algorithmes, un algorithme rapide pour différentes vitesses de l'utilisateur et le deuxième concernant l'optimisation du TTT, ces algorithmes sont basés sur le RSRP et la qualité du signal reçu RSRQ dans différentes vitesses, les deux méthodes proposées surpassent l'évènement A3 classique, l'échec de la liaison radio peut se produire lorsque l'UE change sa vitesse en allant vers des vitesses plus élevées.

Un tableau comparatif, va résumer les algorithmes du hard handover basés sur l'optimisation des paramètres en fonction des critères des paramètres radio du réseau 4G, les signes (+ ou -) signifie que l'article a abordé le critère en question lors de ses résultats ou non

Articles	Hystérisis	Temps de déclenchement	Fenêtre TTT	Commentaires
Lin et al [14]	+	+	+	Optimisation des algorithmes du handover en LTE
Luna et al [15]	-	+	-	-Algorithme du handover basé sur la vitesse de l'utilisateur. -Algorithme du handover basé sur TTT

2.4.2 Les algorithmes pour minimiser les HPIs :

Jansen et al [16] proposent une technique d'optimisation des performances du handover normalisé pondéré, l'algorithme choisit la meilleure valeur du hystérisis et TTT pour réduire à la fois l'échec du handover et les appels interrompus, Jansen a fait une comparaison entre les paramètres non optimisés et en utilisant la fonction de pondération pour tester l'interaction entre les indicateurs de performance du handover, d'où la formule est comme ci-dessous :

$$HP = W_1 HPI_{HOF} + W_2 HPI_{HPP} + W_3 HPI_{DC} .$$

Ils ont fixé les seuils ciblés des performances du handover pour toutes les HPI à des valeurs qui augmentent la probabilité des performances de plus en plus convenable.

Les seuils cibles sont augmentés ou diminués de 33% , si les HPI restent en dessous des seuils cibles pendant un bon temps de performance, ou au-dessus du seuil pour un mauvais temps de performance, après cela le seuil est augmenté de 33%, et le point de fonction de la cellule est modifiée.

Dans cet article Jansen et al ont mis en œuvre une topologie du réseau, après l'optimisation de ces performances, les valeurs du pingpong handover et l'échec du handover vaut à zéros, mais le rapport des pertes d'appel n'a plus été optimisé.

Irina et al [17] ont proposé une nouvelle technique pour éliminer les handovers inutiles, afin d'atteindre cet objectif les auteurs ont choisi des valeurs bien précises quel que soit pour la marge du handover, le temps de déclenchement et aussi le temps de convergence, les auteurs ont suggéré d'introduire un seuil supplémentaire qui permet à l'optimisation d'intervenir si les performances se dégradent.

Ghanem et al [18] ont suggéré une technique dans laquelle la liaison entre l'Enode B source et MME/SGW est maintenue aussi longtemps que possible pendant l'effet de ping-pong c'est ce qu'on appelle le délai du handover.

Le modèle utilise la mobilité de l'utilisateur partout dans la cellule, les indicateurs utilisés sont le taux d'appels interrompus et le taux de ping-pong.

L'algorithme utilisé a deux phases :

- 1) Conception du HO : une nouvelle liaison entre l'équipement utilisateur et la cellule cible est établie, et au même temps l'ancienne interface S1 est conservée.
- 2) Accomplissement HO : la liaison S1 est annulée et S2 est au cours d'utilisation ou l'intervalle du temps doit être choisi précisément afin d'éliminer l'apparence des effets de ping pong. Et diminuer le nombre des appels interrompus.

Toshikor et al [19] suggèrent une technique pour la sélection d'une cellule la plus convenable prenant en compte à la fois la liaison montante et la liaison descendante. Les étapes utilisées pour appliquer cette méthode sont les suivantes :

-L'EnodeB mesure l'interférence entre la cellule serveuse et les cellules voisines et envoie en suite un rapport au serveur SON.

- le serveur SON à son tour sélectionne la cellule la plus convenable pour atteindre une bonne qualité lors de la transmission montante

Cette technique permet de réduire le taux d'échec du handover.

Sinclair et al [20] proposent un autre algorithme pour améliorer l'efficacité du handover au sein d'un environnement intérieur, l'algorithme a été fait pour optimiser à la fois le temps de déclenchement et l'hystérésis afin de minimiser les handovers trop tôt et les handovers trop tard, son avantage principal réside dans sa flexibilité dans les femto-cellules pour pouvoir s'adapter automatiquement à son environnement et améliorer l'efficacité du handover d'une manière rapide et efficace.

Xiao et al [21] ont vu que les paramètres du handover dans le td-LTE ne sont pas optimales, car l'UE effectue des passages de la cellule serveuse vers la cellule cible d'une manière répétitive comme il fait aussi des exécutions rapides du handover de la cellule A à la cellule B puis de la cellule b vers la cellule C. Pour optimiser le nombre de ces handovers et leurs échecs, l'auteur de cet article a mis en œuvre sa propre méthode qui donne le choix à la cellule cible s'il s'agit d'un handover utile, la cellule cible va l'accepter et dans le cas contraire le handover va être éliminé.

Kim et al [22] suggèrent une nouvelle procédure pour les handovers au sein du réseau LTE concernant les utilisateurs mobiles de grande vitesse, l'objectif major est de régler le temps de déclenchement en utilisant la puissance du signal reçu(RSSI), afin d'obtenir des performances accrues Toutefois, les auteurs n'ont pas pris en considération l'échec de la liaison radio par contre ils ont basé que sur le TTT.

MIZAMU et al [23] ont proposé un nouveau algorithme SON (self organized network) qui prend en considération l'indicateur de performance pingpong pour changer la procédure d'optimisation, cependant leurs résultats ont montré une légère augmentation de HOF mais les auteurs ne la considèrent comme une diminution des graphes dans les bonnes régions mais une augmentation dans les mauvaises régions. Mizamu et al ont employé dans leurs études l'indicateur de performance (HPIPATM) handover performance indicator parameter threshold choisi par l'opérateur du réseau.

Hassan et al [24] ont proposé une nouvelle technique qui permettra de minimiser la dégradation des appels l'effet de pingpong et aussi améliorer les indicateurs des performances HPI. Leur algorithme utilise différentes techniques soit par une pondération linéaire exponentielle ou bien par la moyenne pondérée mobile. Les résultats ont montré que la meilleure technique est la pondération exponentielle en donnant des meilleures performances quoi ce soit pour HOF ou

Chapitre II : Etat de l'art des différentes solutions

HOPP. L'auteur a donné une valeur pour alpha bien précise dans la pondération exponentielle qui est 0.3 et il a prouvé que l'application de la pondération sur la valeur de RSRP donne des meilleures performances.

Articles	Echec du handover	Ping-pong Handover	CDR	CBR	commentaires
Jansen et al [16]	+	+	+	-	-réduire les indicateurs de performances
Irina et al [17]	+	+	+	-	-Optimisation du handover en LTE
Ghanem et al [18]	-	+	+	-	-Minimiser le Ping-pong handover
Toshihiko et al [19]	+	-	-	-	-une Nouvelle procédure pour le choix d'une cellule est proposée
Sinclair et al [20]	+	+	-	-	-Evaluation de la robustesse du handover dans les femtocellules
Xiao et al [21]	+	-	-	-	-le choix d'une méthode pour éliminer les handovers inutiles
Kim et al [22]	-	-	-	-	- Choix d'un temps de déclenchement convenable pour l'handover
MIZANUR et al [23]	+	+	-	-	-Procédure proposée pour minimiser le pingpong handover
Hassan et al [24]	+	+	-	-	-Utilisation des indicateurs de performance et la puissance reçue du signal .pour optimiser les paramètres de contrôle

Dans le tableau comparatif, nous remarquons que le critère Ping-Pong est le critère le plus étudié par les chercheurs, et cela est dû à son comportement qui est néfaste pour le réseau LTE en particulier et les réseaux mobiles en générale.

2.4.3 Les algorithmes d'optimisation du robustesse de la mobilité (MRO ET UMAA-MRO)

Mwanje et al [25] ont fait une modélisation de procédure du handover, pour déterminer la sensibilité des performances du handover au paramètre de contrôle, durant leurs études, les auteurs ont proposé un algorithme où il peut sélectionner de manière autonome les paramètres optimales d'un handover pour un scénario donné, ceci est applicable quel que soit pour une cellule, un sous réseau ou un réseau entier, en se basant sur la MRO (optimisation du robustesse de la mobilité) qui a pour but de détecter et réduire la rupture de la liaison radio pendant ou après le handover et éviter les handovers vers les cellules indésirables.

Zhang et al [26] ont utilisé un nouveau algorithme qui est une extension de la MRO dénommée UMAA-MRO (user mobility analysis assistive MRO) ou la mobilité de l'utilisateur et le module de fonction correspondant sont configurés pour analyser la mobilité des utilisateurs ainsi l'itinéraire, la fréquence, la période du temps et la vitesse ... etc. cette méthode aide les eNodeBs de sélectionner le TTT et l'hystérisis adaptative, et au niveau d'utilisateur, cette méthode nous permet de réduire les handovers inutiles et la rupture de la liaison radio. les résultats obtenus vont être stockés dans des bases de données pour analyser et sélectionner les paramètres du handover dans les mêmes conditions, les auteurs dans [26] ont utilisé l'algorithme UMAA MRO car il permettra de fournir un moyen précis pour configurer les paramètres du handover pour l'UE qui est en mobilité ainsi que les performances sont acceptables.

Articles	Temps de déclenchement	hystérisis	Fenêtre TTT	commentaires
----------	------------------------	------------	-------------	--------------

Mwanje et al [25]	+	+	-	-optimisation de la robustesse de mobilité
Zhang et al [26]	+	-	-	-L'analyse de la vitesse de l'utilisateur pour optimiser la mobilité

2.4.4 L'optimisation automatique par la logique floue

J. Ruiz et al [27] résolvent le problème de partage du trafic dans le réseau LTE ,ils ont utilisé des femto-cellules au sein d'une entreprise où ils ont pris en considération plusieurs algorithmes du partage de trafic basés sur le réglage automatique des paramètres par la logique floue concernant les femto-cellules, Les algorithmes proposés sont appliqués en utilisant les contrôleurs de la logique floue .leur article évolue l'effet des différentes stratégies de partage de trafic sur la performance des femto-cellules. L'algorithme utilisé change les services des femto-cellules par la modification de la marge et aussi leur puissance d'émission afin de résoudre le problème de congestion. Pour cette raison, le but de partage de trafic est d'équilibrer la charge entre les femto-cellules afin d'éliminer les blocages des appels mais cette technique peut aussi diminuer la qualité de la connexion.

P. Munoz et al [28] ont fait une analyse de sensibilité des paramètres du handover pour différentes vitesses de l'utilisateur et différentes concentrations dans le réseau LTE, comme ils ont utilisé aussi des contrôleurs de la logique floue pour modifier la marge de handover, les résultats de l'analyse de la sensibilité ont montré que le réglage de cette marge est une solution efficace pour l'optimisation du HO.

Tsai et al [29] proposent un système de décision de HO simple et rapide nommé FPEHS (système de l'handover pour des faibles effets de ping-pong basé sur la logique floue), son but principal est de réduire l'effet de ping-pong dans LTE, ce système utilise cinq paramètres d'entrer, rapport signal sur bruit actuel, rapport signal sur bruit de la cellule-cible; Largeur de la bande disponible de la cellule serveuse, largeur de la bande disponible de la cellule-cible, et l'énergie restante dans l'UE sont inclus dans le moteur d'inférence flou pour déterminer si un handover est nécessaire ou non, Quatre fonctions d'appartenance différentes sont également

adaptées, à savoir la forme S , gaussien, en forme Z, et les fonctions triangulaires, après l'étape de la fuzzification les résultats de simulation montrent que le FPEHS peut réduire 68,79% de handover et de 92,94% de l'effet ping-pong en moyenne. Les résultats confirment que la logique floue utilisée pour l'handover atténuer efficacement les effets de ping-pong.

Article	Echec du handover	Ping pong handover	CDR	CBR	commentaires
J. Ruiz et al [27]	-	-	-	+	-le partage du trafic par la logique floue
P. Munoz et al [28]	-	-	+	-	-Introduction des opérations automatiques dans les réseaux NGMN
TSAI et al [29]	+	+	-	-	-réduction de l'effet de pingpong pas la logique floue.

Les techniques de l'intelligence artificielle (I.A) sont devenues une des solutions employées dans les réseaux mobiles en générale, comme expliqué lors de nos motivations au début du chapitre, nous remarquons que les solutions les plus récentes [25 et 26] essayent d'optimiser les paramètres les plus indésirables pour le réseau 4 G, comme le Ping-Pong.

2.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons résumé les solutions de l'état de l'art aux nombreux défis posés dans la garantie d'un handover optimal pour le réseau LTE. Nous avons divisé notre état de l'art en deux grandes parties qui sont respectivement : les paramètres radio et les algorithmes utilisés ; dans la deuxième partie nous avons développé les solutions et les approches existantes dans la littérature.

Nous sommes arrivés à une conclusion que, si nous voulons optimiser les paramètres radio, le moyen le plus idéal est de combiner les solutions les plus efficaces au sein de réseau LTE et faire intervenir l'intelligence artificielle pour des rendements adéquats.

CHAPITRE III :

L'intelligence Artificielle

3.1 Introduction

Les connaissances sur lesquelles se base le raisonnement humain sont presque toujours entachées d'une quantité d'incertitudes et d'imprécisions, cette caractéristique est en réalité inhérente à l'homme et au monde puisqu'aucun de nos sens, ni de nos instruments de mesures, ne nous permet de décrire avec justesse et certitude ce que nous percevons du monde extérieure.

Ce chapitre présente une méthode moderne de contrôle parmi les méthodes de l'intelligence artificielle, qui est la logique floue.

Notre objectif consiste à concevoir un système d'aide au discision du handover qui prend en charge ces critères sans modifier ni occulter la réalité sur les choses, en essayant de se rapprocher le plus possible des raisonnements que nous faisons tous les jours et qui vont des tâches les plus anodines aux décisions les plus conséquentes.

3.2 Historique de la logique floue

Apparition de la logique floue Le terme d'ensemble flou apparaît pour la première fois en 1965 lorsque le professeur Lotfi A. Zadeh, de l'université de Berkeley aux USA, publie un article intitulé « Ensembles flous » (Fuzzy sets). Il a réalisé depuis de nombreuses avancées théoriques majeures dans le domaine et a été rapidement accompagné par de nombreux chercheurs développant des travaux théoriques.

Parallèlement, certains chercheurs se sont penchés sur la résolution par logique floue de problèmes réputés difficiles. Ainsi en 1975, le professeur Mamdani à Londres développe une stratégie pour le contrôle des procédés et présente les résultats très encourageants qu'il a obtenus sur la conduite d'un moteur à vapeur.

En 1978,La société danoise F.L.Smidth réalise le contrôle d'un four à ciment. C'est là la première véritable application industrielle de la logique floue.

C'est au Japon, où la recherche n'est pas seulement théorique mais également très applicative, que la logique floue connaît son véritable essor.

A la fin des années 1980, c'est d'un véritable boum qu'il faut parler.

des produits grand public, machines à laver, appareils photographiques et autres caméscopes estampillés « fuzzy logic » ne se comptent plus.

Dans l'industrie, le traitement des eaux, les grues portuaires, les métros, les systèmes de ventilation et de climatisation sont touchés.

Enfin, des applications existent dans des domaines très différents tels que la finance ou le diagnostic médical.

A partir de 1990, c'est en Allemagne que des applications apparaissent en grand nombre ainsi qu'à une moindre échelle aux USA.

Enfin en France, la logique floue devient aujourd'hui une réalité [32].

3.3 Définition de la logique floue

La logique floue est une branche des mathématiques qui permet à un ordinateur de Modéliser le monde réel de la même façon que les personnes. Elle est préoccupée par la quantification et le raisonnement en utilisant un langage qui permet des définitions ambiguës, comme beaucoup, peu, petit, haut, dangereux. Elle s'occupe de situations où la question qui est posée et la réponse obtenue contiennent des concepts vagues.

Selon la logique floue, le raisonnement exact est un cas limite du raisonnement approximatif ; tout n'est qu'un degré. Tout système logique peut être rendu flou. Les connaissances sont interprétées comme une collection de contraintes élastiques ou floues d'un ensemble de variables. L'inférence est un processus de propagation de contraintes élastiques.

La logique booléenne est un sous-ensemble de la logique floue.

La logique floue permet d'accommoder le concept de vérité partielle : des valeurs entre complètement vrai et complètement faux sont admises. On supporte des modes de raisonnement approximatifs plutôt qu'exactes. Son importance provient du fait que le raisonnement humain est approximatif [30].

3.4 Ensembles flous

En logique floue, un ensemble flou contient plusieurs valeurs. L'ensemble flou est concerné par un degré d'appartenance (ou degré de vérité). On utilise un continuum de valeurs logiques entre 0 (complètement faux) et 1 (complètement vrai).

Une fonction d'appartenance est utilisée pour mapper un item X dans le domaine des nombres réels à un intervalle de 0 à 1, ce qui permet un degré de vérité.

L'appartenance à un ensemble représente une valeur entre 0 et 1.

Un ensemble flou peut-être défini comme un ensemble ayant des frontières floues. Un ensemble flou est défini comme suit : soit S un ensemble et x un membre de cet ensemble. Un sous ensemble flou F de S est défini par une fonction d'appartenance $\mu_F(x)$ qui mesure le degré auquel x appartient à F [30].

Un exemple : Soit S un ensemble des entiers positifs et F un sous-ensemble flou de Petits entiers. Des entiers peuvent avoir une distribution de probabilité qui indiquent leur appartenance au sous-ensemble flou F : $\mu_F(1) = 1.0, \mu_F(2) = 1.0, \mu_F(3) = 0.9, \dots, \mu_F(30) = 0.01$. La figure montre cette fonction d'appartenance

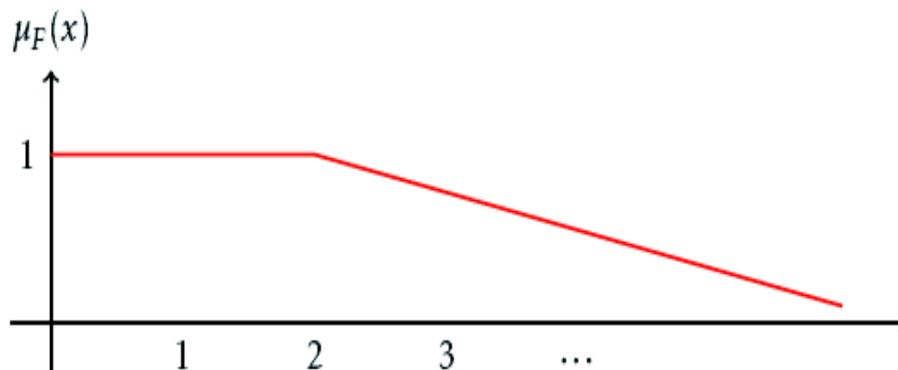


Figure 3.1:Représentation du sous-ensemble flou F des petits entiers

-Dans la théorie des ensembles flous, l'ensemble flou A de X (ou X est l'univers d'étude).est défini comme une fonction :

$$\mu_A(x) : X \longrightarrow 0,1$$

Ou $\mu_A(x) = 1$ si x est totalement dans A , $\mu_A(x) = 0$ si x n'est pas dans A et $0 < \mu_A(x) < 1$ si x est partiellement dans A . La fonction d'appartenance est une mesure :

- _ Du degré auquel un élément est membre d'un ensemble
- _ Du degré d'appartenance
- _ De la valeur de l'appartenance
- _ Du degré de confiance

La logique floue permet de transformer plusieurs valeurs réelles en quelques variables floues avec différentes appartenances.

3.5 Opérateurs flous

Les opérateurs flous décrivent comment des ensembles flous interagissent ensemble. On regardera certaines opérations communes, comme le complément, l'intersection et l'union.

Le complément permet de vérifier de combien un élément n'appartient pas à un ensemble.

Par exemple, si on a l'ensemble des températures élevées, le complément

est l'ensemble des températures qui ne sont pas élevées. Si A est l'ensemble flou, son complément est $\neg A$:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

L'intersection de deux ensembles, en logique floue, est un peu différente des méthodes classiques. On cherche à savoir de combien un élément est-il dans les deux ensembles. On utilise alors la valeur minimale d'appartenance pour calculer l'intersection.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

En logique floue, l'union est le contraire de l'intersection. On cherche à savoir de combien un est-il dans l'un des deux ensembles. On utilise la valeur maximale d'appartenance.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

La figure 3.2 résume ces opérations, de façon graphique [30].

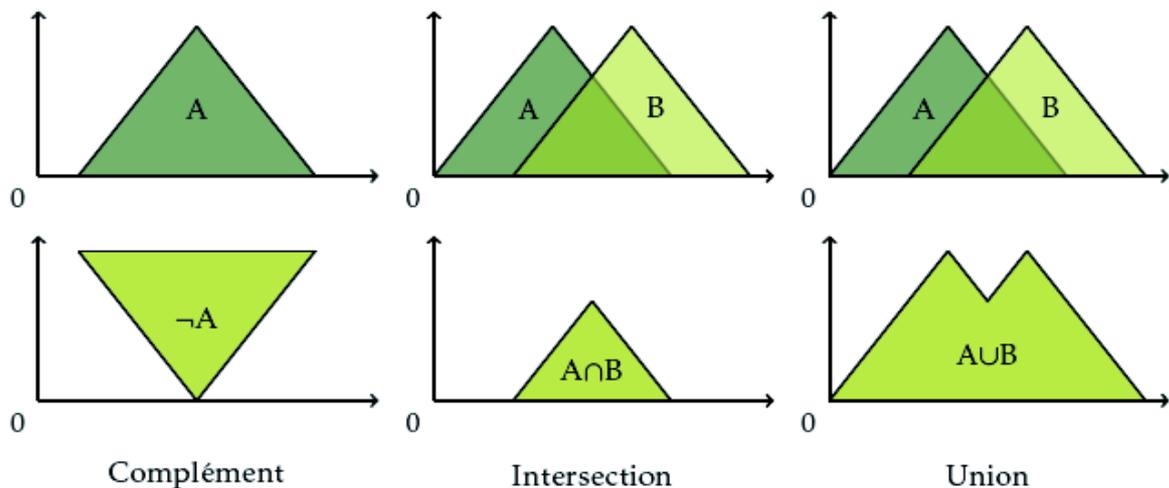


Figure 3.2 : Exemple d'opérations sur des ensembles flou

Dénomination	Intersection ET : $\mu_{A \cap B}(x)$	Réunion OU : $\mu_{A \cup B}(x)$	Complément NON : $\mu_{\bar{A}}(x)$
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$1 - \mu_A(x)$

Tableau 3.1 : Les opérateurs logiques.

3.6 Règles floues

Une règle floue est une déclaration de la forme suivante :

SI x est A ALORS y est B

Où x et y sont des variables linguistiques, et A et B sont des valeurs linguistiques, déterminées par les ensembles flous sur les ensembles X et Y . Une variable linguistique est une variable floue.

Par exemple : La tension est haute. La variable linguistique *tension* prend la valeur linguistique *élevée*. La plage de valeurs linguistiques possibles d'une règle représente l'univers de cette variable. Un exemple de règle floue est :

SI *vitesse* est *lente* ALORS *arrêt* est *court*

La variable *vitesse* peut avoir une plage de valeurs entre 0 et 220 km/h. On peut inclure des sous-ensembles flous (très lent, lent, moyenne, rapide, très rapide) pour modifier cette règle. Chaque sous-ensemble flou représente une valeur linguistique pour la variable.

La logique classique (SI – ALORS) utilise la logique binaire. La logique floue permet d'associer une plage de valeurs (un ensemble flou) à des variables linguistiques.

On peut réduire le nombre de règles jusqu'à 90% en utilisant la logique floue [30].

3.7 Système d'inférence floue (SIF)

Un système d'inférence floue est formé de trois blocs comme indiqué sur la figure. Le premier, l'étage de fuzzification transforme les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition. Le second bloc est le moteur d'inférence, constitué de l'ensemble des règles. Enfin, un étage de défuzzification permet, si nécessaire, d'inférer une valeur nette, utilisable en commande par exemple, à partir du résultat de l'agrégation des règles [33].

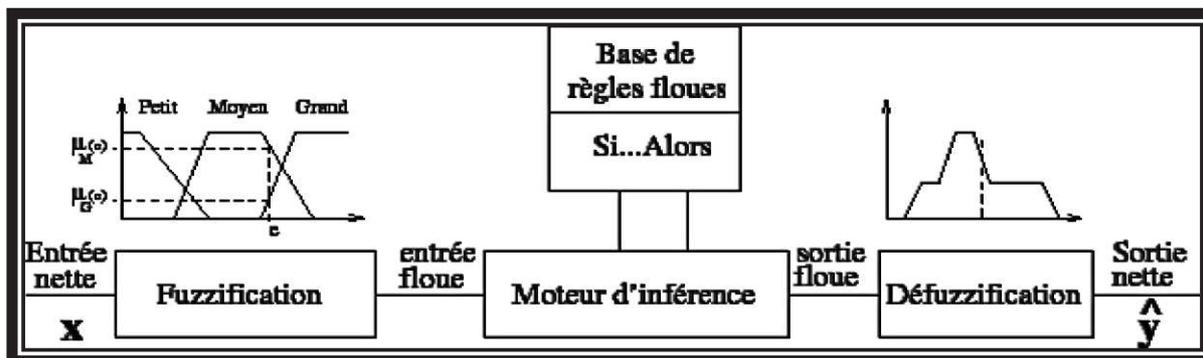


Figure 3.3 : Un système d'inférence floue

3.7.1 La fuzzification

L'étape de fuzzification a pour but de transformer une donnée numérique en variable linguistique. Pour cela, le concepteur du système flou doit créer des fonctions d'appartenance. Une fonction d'appartenance est une fonction qui permet de définir le degré d'appartenance d'une donnée numérique à une variable linguistique [34].

Prenons par exemple une température en degré Celsius provenant d'un capteur. On veut transformer cette donnée numérique en variable linguistique. On peut trouver plusieurs variables linguistiques qualifiant une température : chaud, froid, très froid, tempéré, très chaud, etc.

Maintenant, il suffit de créer une fonction d'appartenance de la température à chacune de ces variables. Créons la fonction d'appartenance de la température à la variable linguistique "chaud"

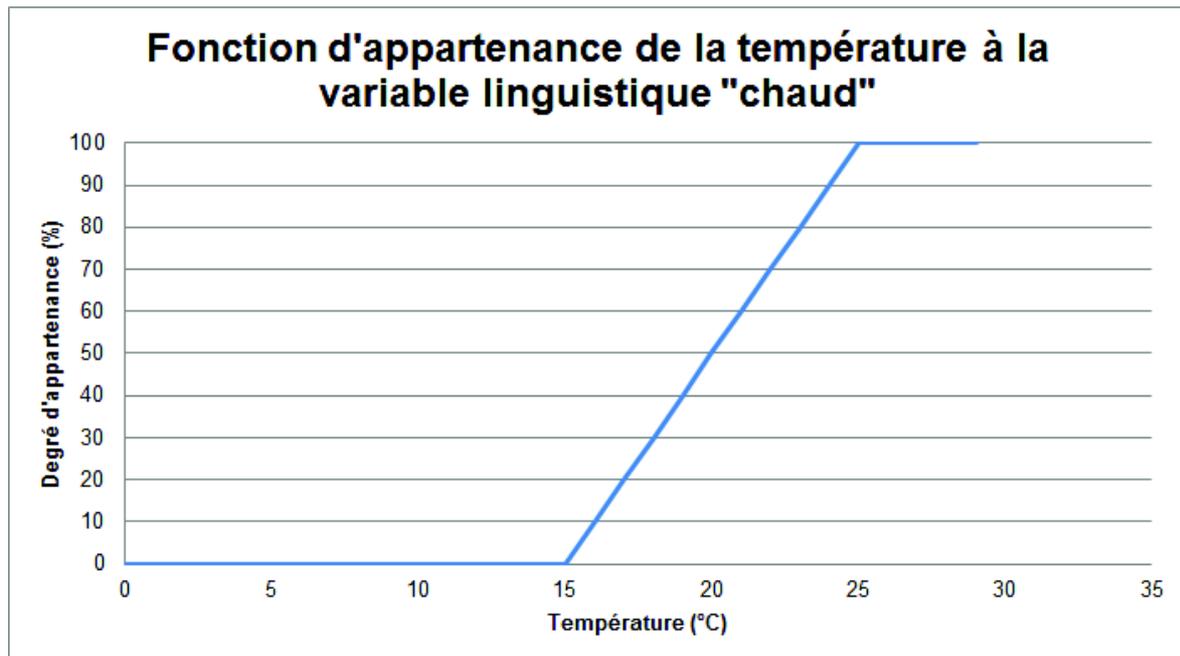


Figure 3.4 : degré d'appartenance du sous- ensemble floue « chaud ».

Ici, si notre capteur de température nous indique 23°, la fuzzification nous dira que la température est chaude à 80%.

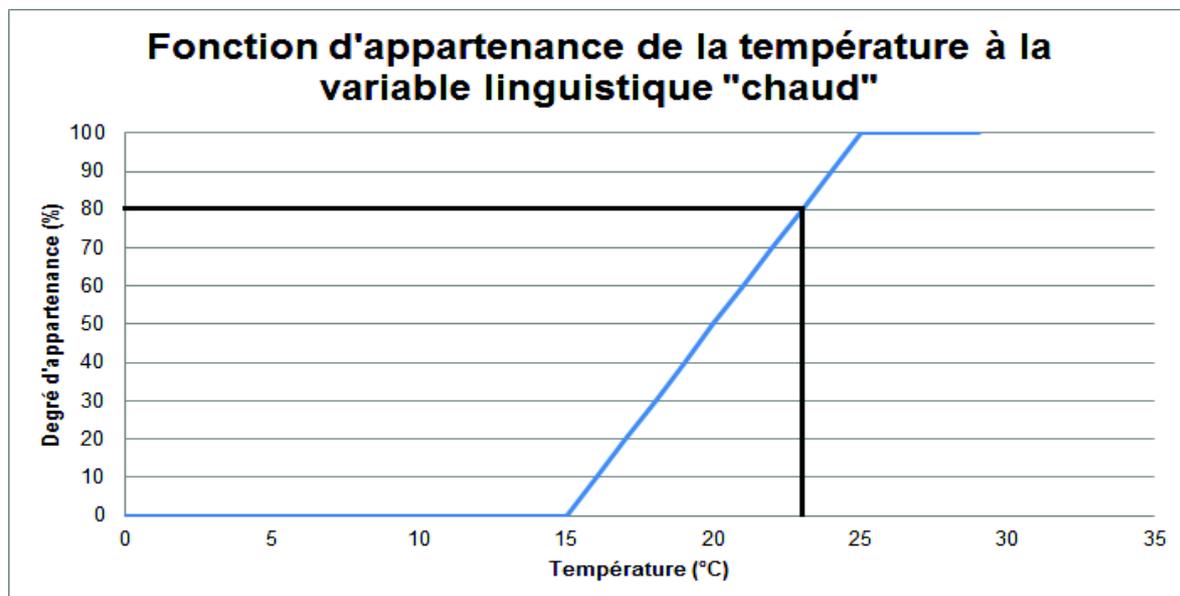


Figure 3.5 : fonction d'appartenance pour une température de 23° degré.

Bien évidemment, on peut utiliser plusieurs variables linguistiques pour caractériser un seul type de données. Ici, nous choisirons trois variables linguistiques pour qualifier la température : chaud, froid et tempéré. Pour cela, il faut créer une fonction d'appartenance pour chaque

variable. Comme ces fonctions d'appartenances qualifient un même type de données, on peut les représenter sur le même graphique [34].

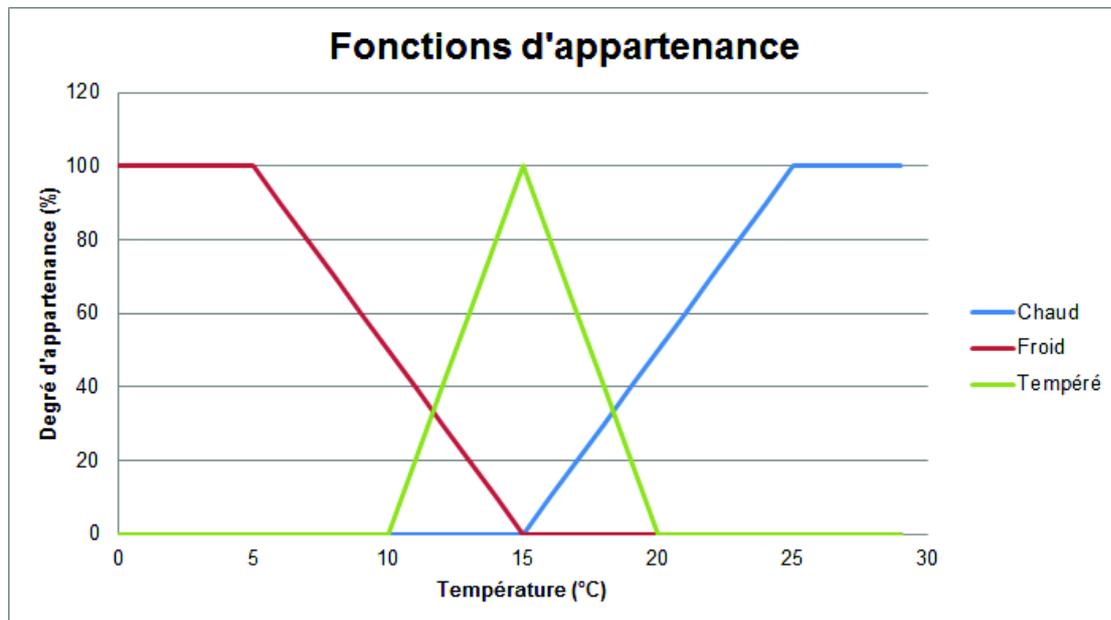


Figure 3.6 : Fonction d'appartenance des sous-ensembles « chaud-froid-tempéré ».

Si le capteur nous renvoie 17°C, après fuzzification, la température sera chaude à 20% tempérée à 60% et froide à 0%.

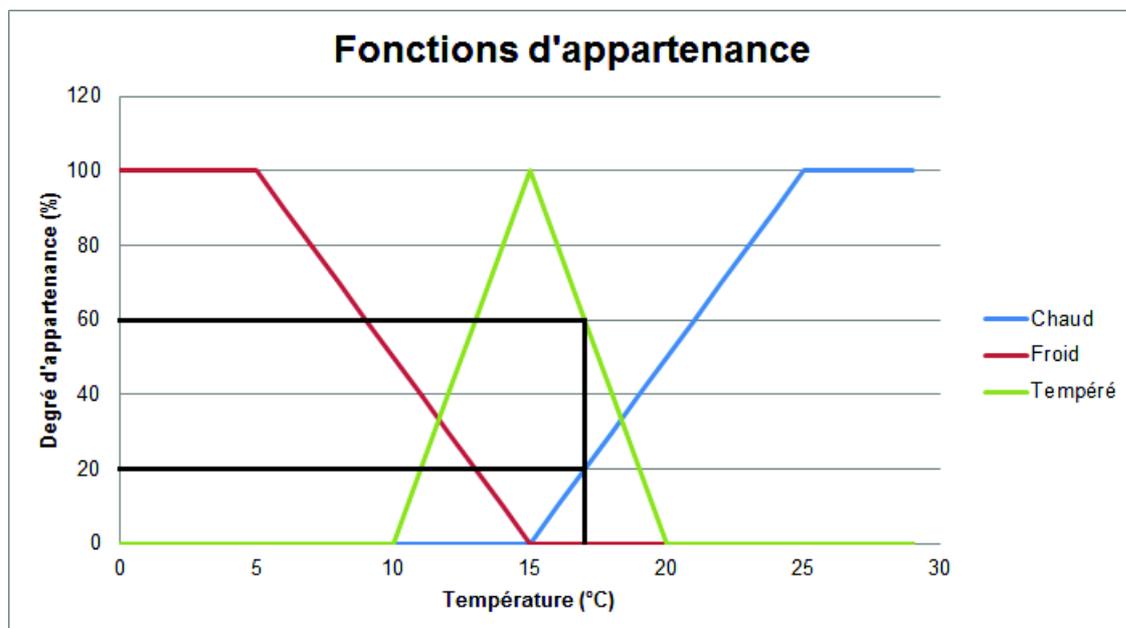


Figure 3.7 : fonction d'appartenance pour une température de 17° degré.

Pour l'exemple, on a choisi des fonctions d'appartenances relativement simples. Elles sont linéaires ou en forme de triangle. Mais libre au concepteur du système de choisir une fonction d'appartenance plus complexe s'il estime que le gain de performance est non négligeable. Les fonctions d'appartenances les plus courantes ont une forme de triangle, de trapèze ou de cloche[34].

3.7.2 Le moteur d'inférence

La seconde partie est le moteur d'inférence qui se chargera d'appliquer chacune des règles d'inférences. Ces règles d'inférences représentant les connaissances que l'on a du système dû à l'expertise humaine. Chaque règle générera une commande de sortie.

3.7.3 La défuzzification

La dernière étape pour avoir un système flou opérationnel s'appelle la défuzzification. Lors de la seconde étape, on a généré un tas de commandes sous la forme de variables linguistiques (une commande par règle). Le but de la défuzzification est de fusionner ces commandes et de transformer les paramètres résultants en donnée numérique.

L'étape de défuzzification se déroule en deux temps :

D'abord, il faut fusionner les variables linguistiques communes à l'aide d'un opérateur de la logique floue choisi par le concepteur du système. Si on a plusieurs règles d'inférences qui génèrent plusieurs valeurs de la même variable linguistique, on peut choisir un opérateur pour combiner les valeurs de la variable. Cet opérateur sera dans la grande majorité des cas, le OU logique utilisant l'opérateur de maximalité. Par exemple, si on a trois règles qui génèrent la variable linguistique *accélère fortement* à 20%, 25% et 35%. Il en résultera que la variable *accélère fortement* aura pour valeur finale 35%.

Dans un second temps, nous pouvons réellement entamer la partie délicate de la défuzzification. On a une série de variables linguistiques qui caractérisent une seule et même donnée. Par exemple, on peut avoir trois variables linguistiques : *accélération forte* à 35%, *accélération moyenne* à 80% et *accélération faible* à 0% qui qualifie l'accélération. Ces variables linguistiques possèdent chacune une fonction d'appartenance. Défuzzifier la donnée d'accélération revient donc à trouver la meilleure valeur quantitative en fonction des fonctions d'appartenances des variables linguistiques.

Il existe plusieurs méthodes pour défuzzifier. Parmi les plus utilisés, on peut citer la méthode de la moyenne des maximas et la méthode du centre de gravité [34].

La méthode de la moyenne des maximas

Elle revient à prendre l'abscisse correspondant à la moyenne des abscisses ayant pour ordonnée la valeur maximale des fonctions d'appartenance. Dans le cas précédent, le maximum de la fonction d'appartenance, c'est 80% pour la variable linguistique *accélération moyenne*. Il faut donc faire la moyenne des abscisses pour lesquels la fonction d'appartenance *accélération moyenne* est supérieure ou égal à 80%.

D'un point de vue formel, la méthode de la moyenne des maximas s'exprime de cette façon :

$$Décision = \frac{\int_S y \cdot dy}{\int_S dy}$$

où $S = \{y_m \in R, \mu(y_m) = SUP_{y \in R}(\mu(y))\}$

La seconde méthode est la méthode du centre de gravité. Elle consiste à prendre l'abscisse correspondant au centre de gravité de la fonction d'appartenance. Formellement, on l'exprime comme :

$$Décision = \frac{\int_S y \cdot \mu(u) \cdot dy}{\int_S \mu(u) \cdot dy}$$

avec S, le domaine de la fonction d'appartenance.

Pour illustrer ces deux méthodes de défuzzification, prenons un exemple. L'on souhaite régler le rapport cyclique d'un moteur à l'aide d'un système flou. On fournit au système des données brutes et un ensemble de règles d'inférence. Le système calcul automatiquement les sorties sous forme de variables linguistiques. On suppose que les variables linguistiques de sorties sont *rapport cyclique faible* à 0%, *rapport cyclique moyen* à 80% et *rapport cyclique fort* à 30%.

L'on considère que l'on a choisi les fonctions d'appartenances suivantes pour chacune des trois variables linguistiques [34]:

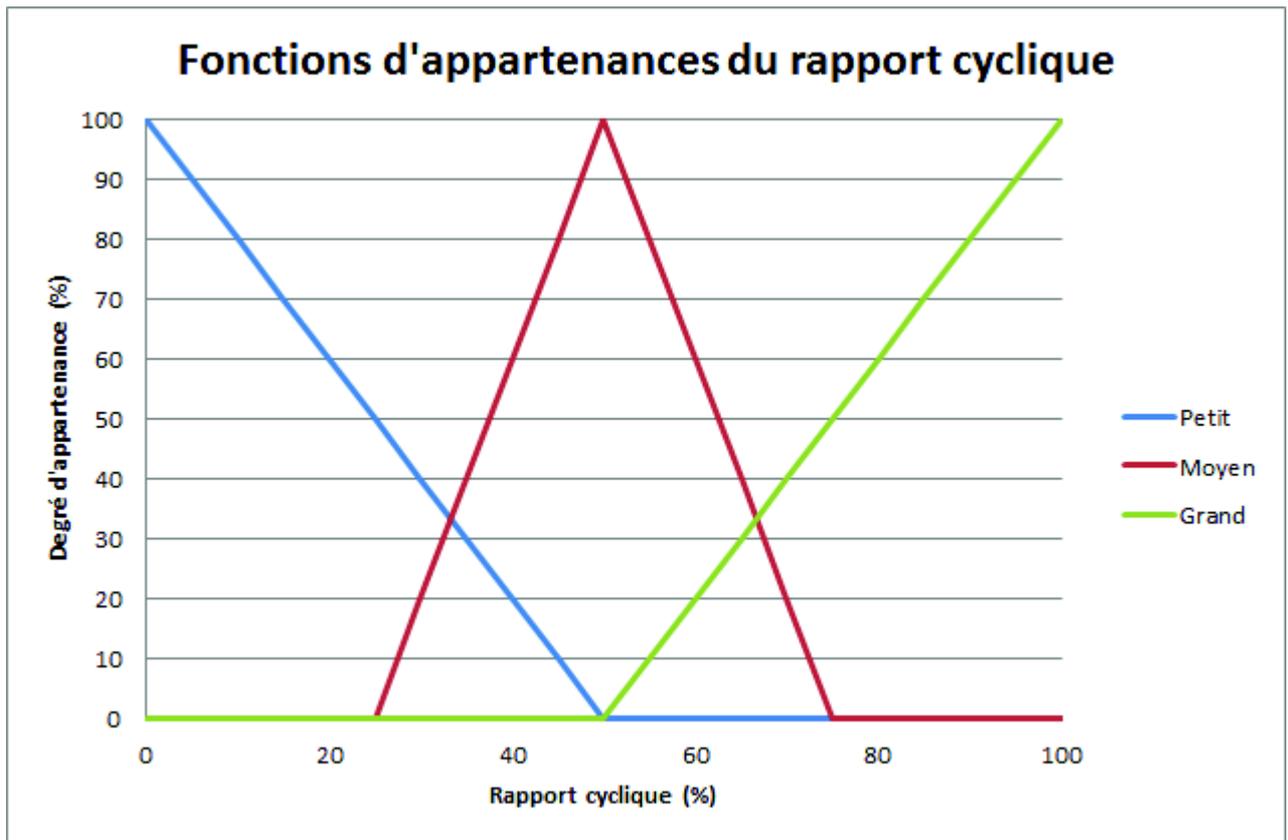


Figure 3.8 : fonction d'appartenance du rapport cyclique.

Avec les données en sortie du moteur d'inférence, on est capable de générer la nouvelle fonction d'appartenance :

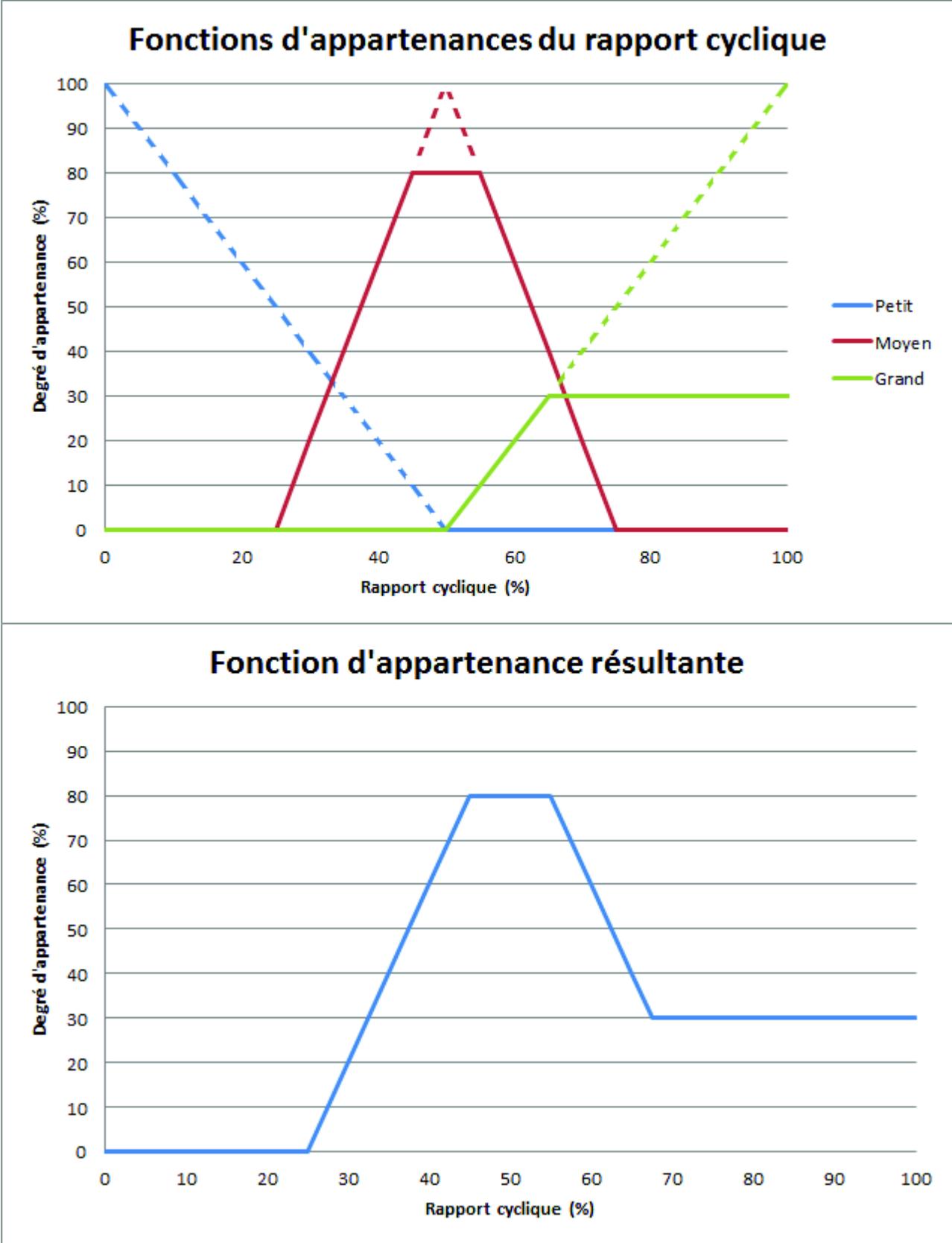


Figure 3.9 : l'agrégation des fonctions d'appartenance du rapport cyclique.

Ainsi, pour défuzzifier, si l'on applique la première méthode de la moyenne des maxima, on remarque que la fonction d'appartenance résultante est maximale pour un rapport cyclique compris entre 40 et 60%. Il suffit de faire la moyenne sur l'intervalle [40,60] pour trouver le rapport cyclique résultant. Ici, le résultat de la défuzzification vaudra 50%.

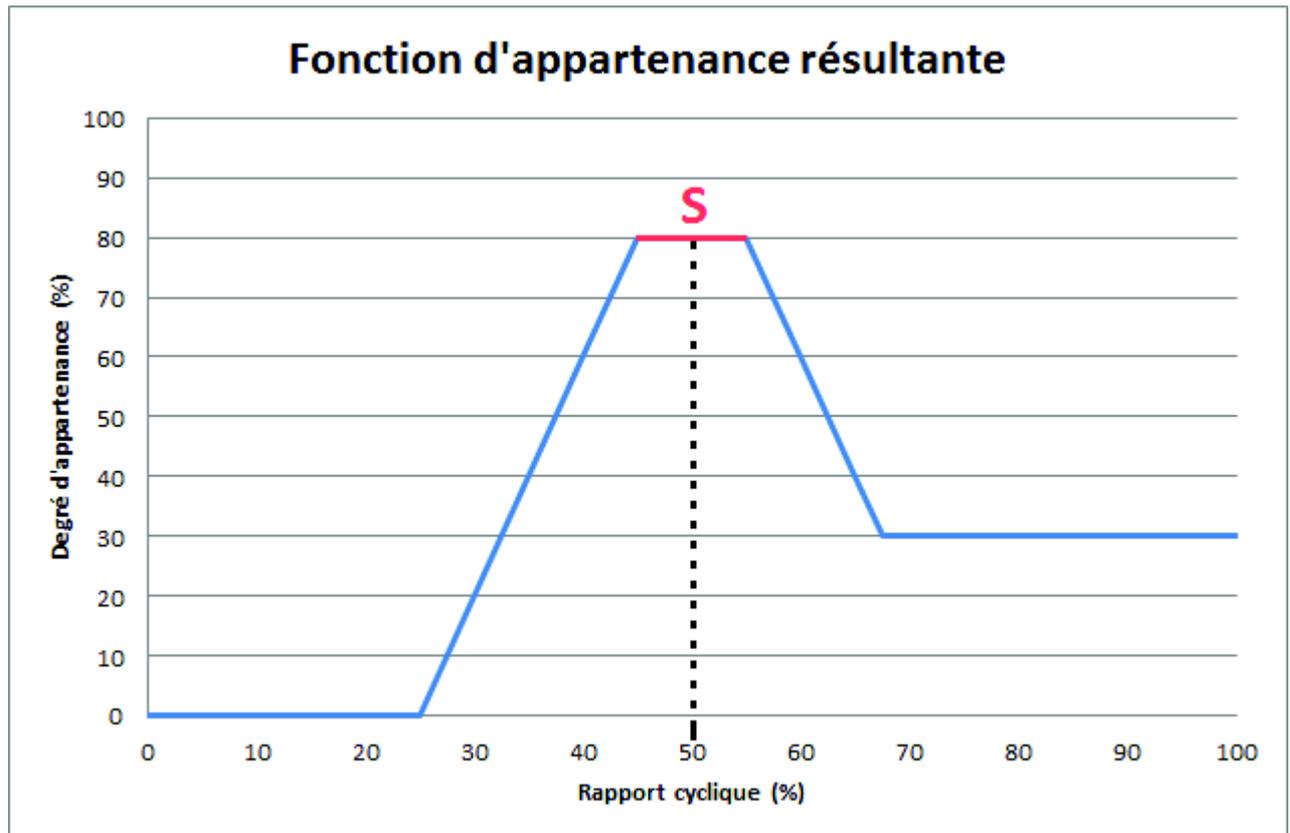


Figure3.10 : résultat par La méthode de la moyenne des maxima.

Méthode du centre de gravite

Cette méthode donne des résultats bien meilleurs et est largement utilisée dans les systèmes flous. Néanmoins, elle possède l'inconvénient d'être très couteuse. En effet, pour appliquer cette méthode de défuzzification, il faut calculer le centre de gravité de la surface sous la fonction d'appartenance et de prendre l'abscisse de ce centre de gravité. Pour cela, il faut décomposer la fonction d'appartenance en petits morceaux et intégrer sur chacun des morceaux.

$$\left\{ \begin{array}{ll} \mu(x) = (x - 25\%) / 20\% & x \in [25\% - 45\%] \\ \mu(x) = 80\% & x \in [45\% - 55\%] \\ \mu(x) = 80\% - (x - 55\%) / 12.5\% & x \in [55\% - 67.5\%] \\ \mu(x) = 30\% & x \in [67.5\% - 100\%] \end{array} \right.$$

Il suffit maintenant d'appliquer l'intégrale du centre de gravité :

$$valeur = \frac{\int_{25\%}^{45\%} \mu(x) \cdot x \cdot dx + \int_{45\%}^{55\%} \mu(x) \cdot x \cdot dx + \int_{55\%}^{67.5\%} \mu(x) \cdot x \cdot dx + \int_{67.5\%}^{100\%} \mu(x) \cdot x \cdot dx}{\int_{25\%}^{45\%} \mu(x) \cdot dx + \int_{45\%}^{55\%} \mu(x) \cdot dx + \int_{55\%}^{67.5\%} \mu(x) \cdot dx + \int_{67.5\%}^{100\%} \mu(x) \cdot dx} = 58\%$$

La valeur du rapport cyclique calculée à l'aide de la défuzzification par centre de gravité vaut donc 58%, ce qui est une valeur plus réaliste.

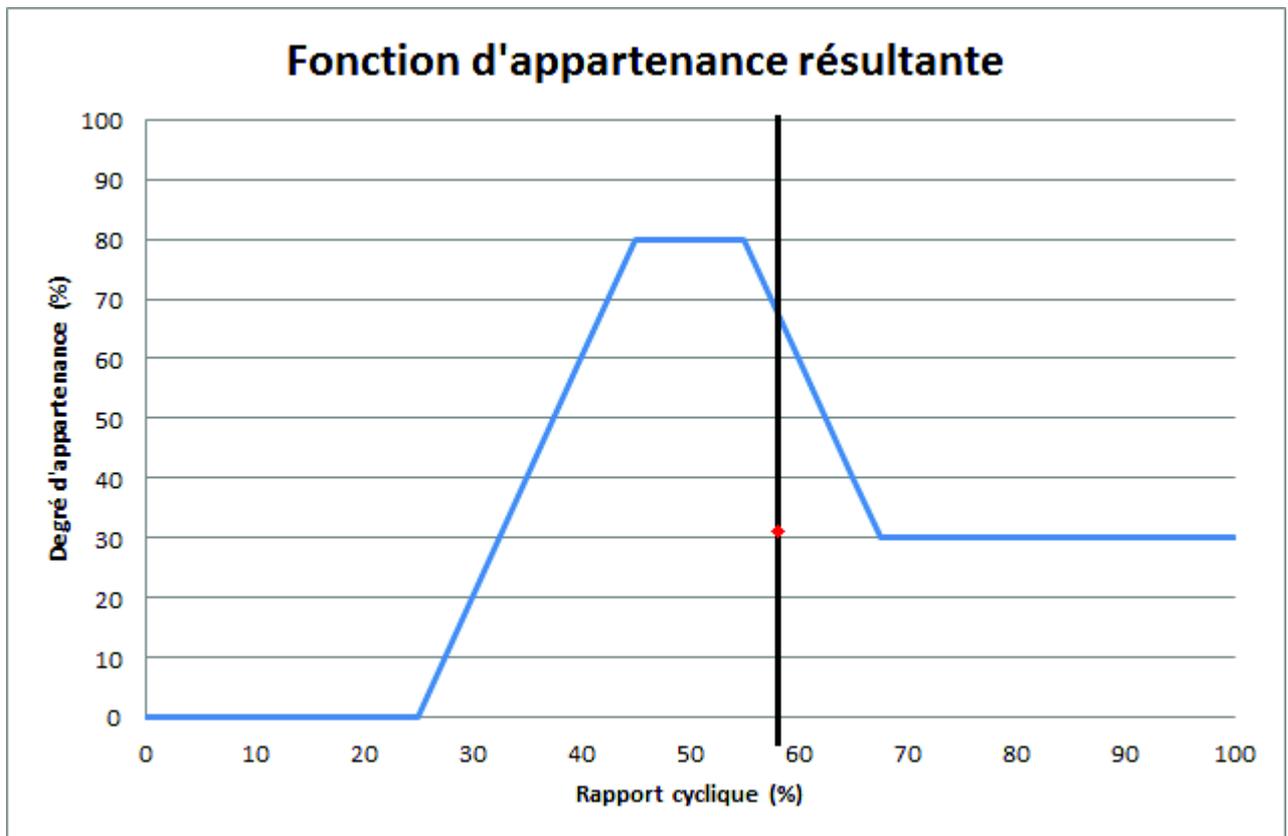


Figure 3.11 : résultat par La méthode du centre de gravité.

La défuzzification est une partie délicate à implémenter dans un système flou. En effet, elle consomme généralement pas mal de ressource informatique pour pouvoir transformer les variables linguistiques en données numériques, car dans cette partie, on manipule des fonctions. Ceci peut être un point critique dans un système embarqué et le choix de la méthode de défuzzification y est donc crucial [34].

3.8 Conclusion :

Les systèmes flous sont à l'évidence meilleurs que les systèmes linéaires à partir du moment où ils génèrent des résultats assez proches du raisonnement humain, sous réserve d'avoir au préalable bien défini les trois parties qui structurent son fonctionnement ,à savoir : la modélisation des données d'entrées en variables linguistiques grâce à des fonctions d'appartenances, la définition d'une liste de règles d'inférences qui représentent les connaissances que l'on a du système et enfin, le choix de l'opérateur logique utilisé et le type de Défuzzification choisie .

Dans le prochain chapitre, nous mettrons en pratique les concepts étudiés ci-avant, ensuite nous présenterons le système réalisé et tenterons d'évaluer et expliquer les résultats obtenus au cours de ce travail.

CHAPITRE IV :

Résultats et interprétations

4.1 Introduction

Les réseaux mobiles connaissent une expansion importante grâce à plusieurs moyens qui ont pu se développer au cours du temps, donc il est coûteux de déployer un banc d'essai complet contenant plusieurs eNodeBs, des MME des SGW/PGW et des liaisons de données pour valider et vérifier un protocole de réseau ou un certain algorithme spécifique. C'est pour cela que les simulateurs de réseaux sont utilisés.

La simulation des réseaux offre beaucoup d'économie, de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches de simulation, ils sont également utilisés pour que les Concepteurs des réseaux mobiles puissent tester les nouvelles procédures ou modifier les procédures déjà existants d'une manière contrôlée et productive.

La problématique étudiée dans ce mémoire étant la simulation du phénomène de handover dans le réseau LTE, tout en intégrant la logique floue pour la décision s'il s'agit vraiment d'un déplacement inter cellulaire ou non.

Nous présentons dans ce qui suit le déroulement des étapes de simulation que nous avons menée dans ce travail de fin d'études.

4.2 Choix d'un logiciel de simulation

L'optimisation des paramètres radio pour les systèmes de communications représente une tâche complexe où des outils de simulation spécialisés doivent être utilisés.

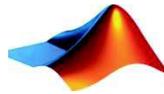
Dans notre étude, sachant que nous nous intéressons aux systèmes cellulaires actuels qui fait partie des réseaux (NGMN, une prise en charge du modèle LTE est d'une importance primordiale. Nous traiterons par la suite, le choix du simulateur réseau retenu pour produire les résultats et, selon différents scénarios.

En général, un logiciel de simulation est composé d'un large éventail de technologies et aide les utilisateurs à construire des réseaux complexes à partir des toolbox.

Il existe une variété de simulateurs, nous allons présenter par la suite l'ensemble des logiciels de simulation que nous pouvons les utiliser, tel que : LTE-SIM, MATLAB, OPNET, NS3.

Puisque nous voulons introduire l'IA (l'intelligence artificielle) à notre réseau LTE, le choix du MATLAB est le plus raisonnable. Car nous avons tout un toolbox spécialement pour la logique floue [8].

4.3 Notion de base sur MATLAB



MATLAB est un logiciel commercial de calcul numérique/scientifique, visualisation et programmation performant et convivial développé par la société The MathWorks Inc. À ne pas confondre cependant avec les outils de calcul symbolique ou formel (tels que les logiciels commerciaux Mathematica ou Maple, ou le logiciel libre Maxima).

Le nom de MATLAB vient de MATrix LABoratory, les éléments de données de base manipulés par MATLAB étant des matrices de dimension quelconque (tableaux n-D, pouvant se réduire à des matrices 2D, vecteurs et scalaires) qui ne nécessitent ni déclaration de type ni dimensionnement (*typage dynamique*). Contrairement aux langages de programmation classiques (scalaires), les opérateurs et fonctions MATLAB permettent de manipuler directement ces tableaux (donc la plupart du temps sans programmer de boucles), rendant ainsi MATLAB particulièrement efficace en calcul numérique, analyse et visualisation de données en particulier.

Mais MATLAB est aussi un environnement de développement (*progiciel*) à part entière : son langage de haut niveau, doté notamment de structures de contrôles, fonctions d'entrée-sortie et de visualisation 2D et 3D, outils de construction d'interface utilisateur graphique (GUI)... permet à l'utilisateur d'élaborer ses propres fonctions ainsi que de véritables programmes (*M-files*) appelés scripts vu le caractère interprété de ce langage.

MATLAB est disponible sur les systèmes d'exploitation standards (Windows, GNU/Linux, Mac OS X...). Le champ d'application de MATLAB peut être étendu aux systèmes non linéaires> et aux problèmes associés de simulation avec le produit complémentaire SIMULINK. Les capacités de MATLAB peuvent en outre être enrichies par des fonctions plus spécialisées regroupées au sein de dizaines de *toolboxes* (boîtes à outils qui sont des collections de *M-files*) couvrant des domaines nombreux et variés tels que :

- analyse de données, analyse numérique
- statistiques
- traitement d'image, cartographie

Chapitre IV : Résultats et interprétations

- traitement de signaux et du son en particulier
- acquisition de données et contrôle de processus (gestion ports série/parallèle, cartes d'acquisition, réseau TCP ou UDP), instrumentation
- logique floue
- finance
- etc...

Une interface de programmation applicative (API) rend finalement possible l'interaction entre MATLAB et les environnements de développement classiques (exécution de routines C ou Fortran depuis MATLAB, ou accès aux fonctions MATLAB depuis des programmes C ou Fortran).

Ces caractéristiques (et d'autres encore) font aujourd'hui de MATLAB un standard incontournable en milieu académique, dans la recherche et l'industrie [35].

4.4 paramètres de simulation

<i>Paramètres</i>	<i>La valeur</i>
Rayon de la cellule	1 Km
Puissance d'eNodeB	21db
Le gain pour l'antenne de l'utilisateur mobile	1 dbi
Le gain de L'EnodeB	10 db
La fréquence utilisée par l'opérateur	1900 MHz
Seuil de puissance pour le déclenchement d'un handover	-110 dbm
Nombre des utilisateurs	100
Nombre d'eNodeBs	3
Temps de simulation	70 S
Les vitesses des utilisateurs	1.8 Km/h ,60Km/h ,300 Km/h

Tableau 4.1 : paramètres de simulation.

4.5 Résultat de simulation

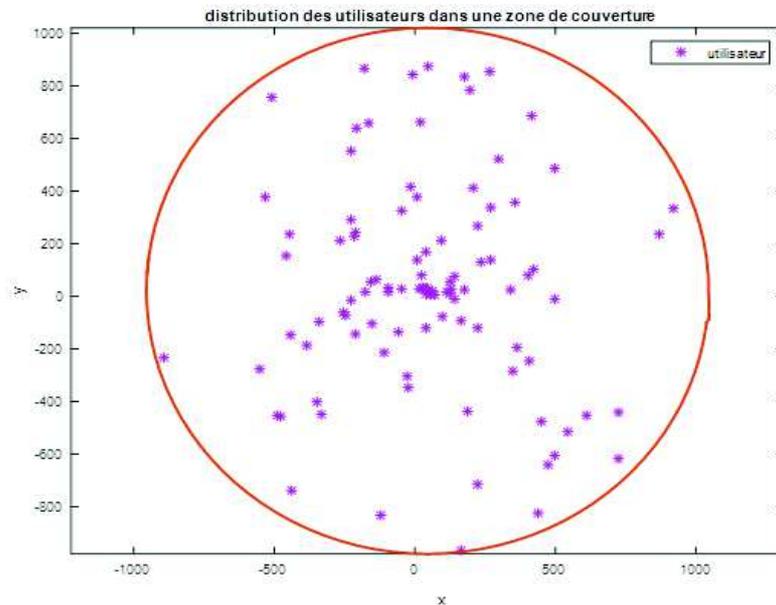


Figure 4.1 :distribution des utilisateurs dans la cellule.

La figure 4.1 montre l'ensemble des utilisateurs à l'instant $t=0$ S, à l'intérieur d'une cellule dans un endroit urbain, leur distribution est faite d'une manière aléatoire. Nous constatons que l'ensemble des utilisateurs sont concentrés dans le centre et plus on s'éloigne vers l'extrémité de la zone de couverture plus leurs nombres diminuent.

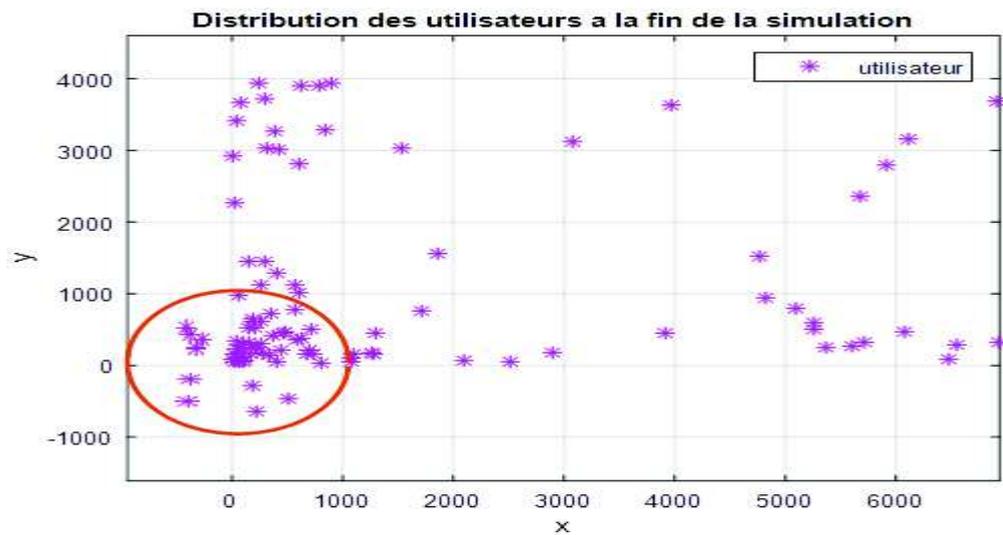


Figure 4.2 : distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour $v=1.8$ km/h.

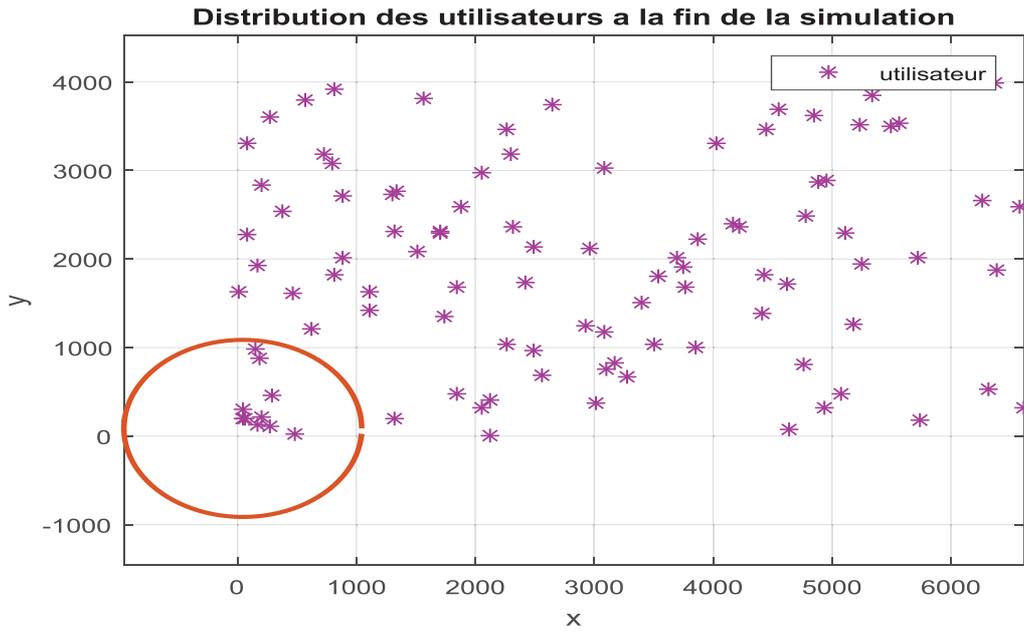


Figure 4.3: distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour $v=90$ km/h.

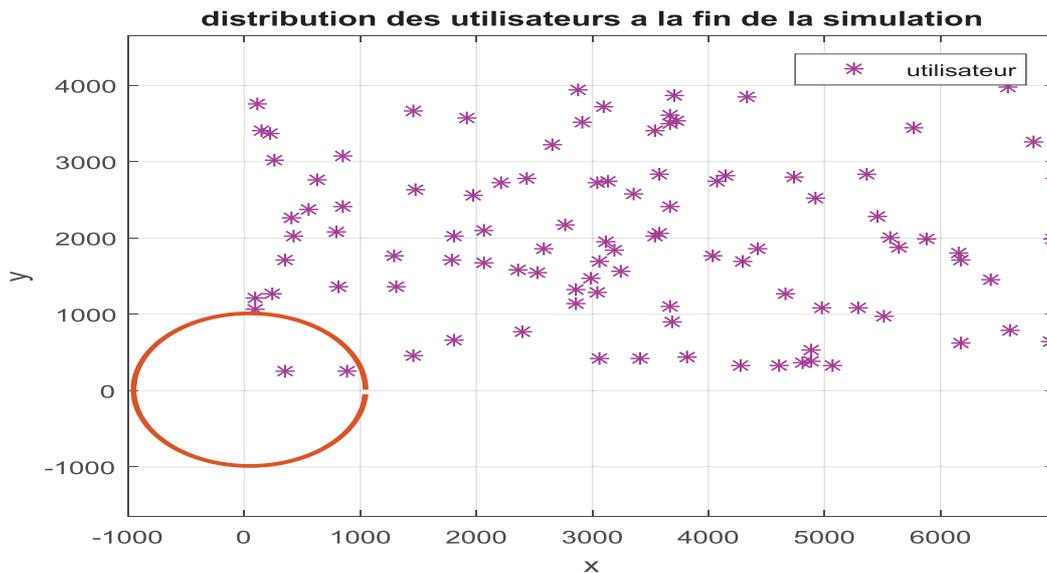


Figure 4.4: distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour $v=300$ km/h.

La figure 4.2 montre la distribution des utilisateurs à la fin de la simulation dans le cas où l'ensemble des utilisateurs sont des piétons avec une vitesse de 1.8 Km/h.

Nous constatons que nous avons un taux moyen de 35% des utilisateurs se sont déjà déplacés de la cellule serveuse vers d'autres cellules cibles, ce déplacement est accompagné par le changement d'EnodeB comme montre la figure 4.2.

- Pour le cas d'un utilisateur mobile en voiture avec une vitesse de 60 Km/h, comme le montre, la figure 4.3, la plupart des utilisateurs sont déjà à l'extérieur de la cellule serveuse d'autre part

le reste des utilisateurs sont à l'extrémité de la cellule ce qui veut dire qui sont prêts de faire un déplacement intercellulaire vers l'extérieur.

- Pour un utilisateur à grand vitesse par exemple celui qui prend un train avec une vitesse $v=300$ Km/h dans le cas de la figure 4.4 la cellule en question est presque vide, car leur grande vitesse les permet de se déplacer dans les micros cellules dans un petit laps de temps.

Donc après l'analyse des trois figures nous constatons que le déplacement est proportionnel avec la vitesse des UEs.

Après avoir vu l'impact de la vitesse sur la distribution des utilisateurs LTE dans la même cellule, dans les graphes suivant nous allons montrer l'impact du HO et la vitesse pour la mesure de la qualité du réseau LTE.

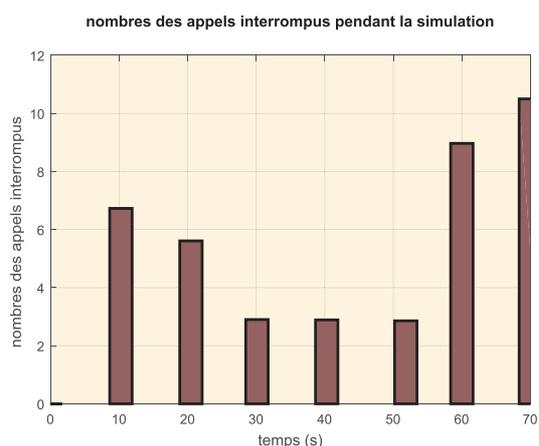


Figure 4.5 : nombre des appels interrompus pour $v=1.8$ km/h

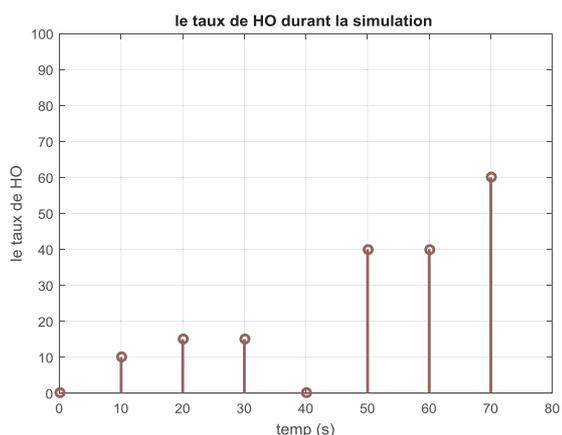


Figure 4.6 : nombre des HO pour $v=1.8$ Km/h.

-Les figures 4.5 et 4.6 montrent respectivement le nombre des appels interrompus et le nombre de HO issus en fonction du temps de la simulation, à l'instant $t=10$ S le nombre des appels interrompus est environ 7 appels et le taux du HO atteint la valeur 10%, entre 30 S et 50s les appels interrompus diminue parallèlement avec le taux du HO, ensuite dans les dernières secondes de la simulation, y'aura une augmentation du nombre du HO accompagné par le nombre d'interruption des appels et ça c'est carrément logique puisque au centre de la cellule y'avait une concentration massique des utilisateurs après il vont s'orienté vers les extrémités

- A partir de ces illustrations nous constatons que malgré l'existence de phénomène de HO mais il existe toujours des appels interrompus qui vont perturber notre réseau LTE.

- Pour l'intervalle du temps entre 30 S et 50 S nous remarquons qu'il y a des appels interrompus malgré qu'il n'y a pas un déplacement intercellulaire (voir Figure 4.5) ce qui veut dire que la connexion entre L'UE et L'EnodeB est influencée par d'autres phénomènes dans le réseau LTE, comme le multi trajet, l'effet de masquage, le fading ...etc.

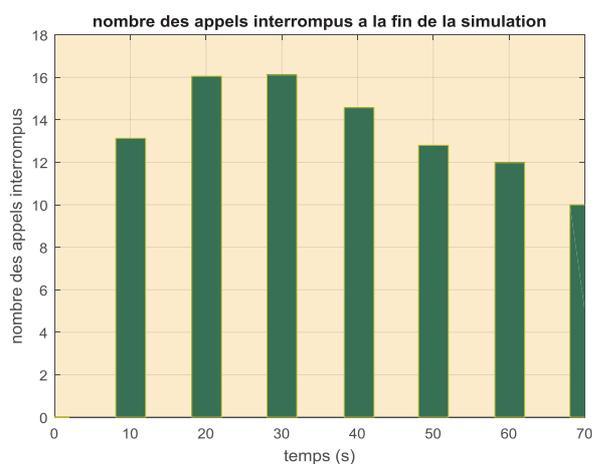


Figure 4.7 : nombre des appels interrompus pour v=60 km/h.

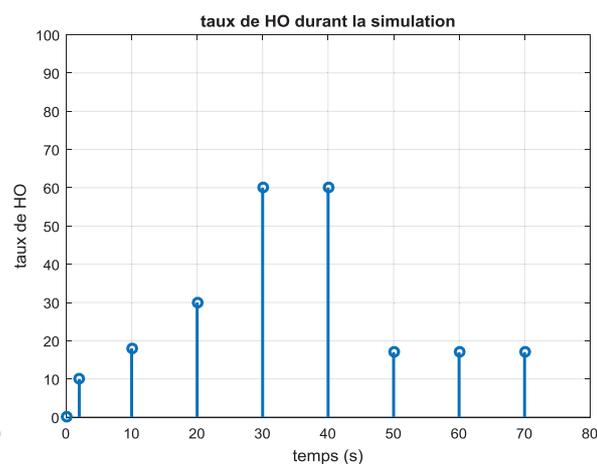


Figure 4.8 : nombre des HO pour v=60 Km/h.

-pour la vitesse 60 km/h c'est-à-dire une person qui se déplace en voiture , Les deux graphes connaissent un changement dans leurs formes au cours du temps .

Dans la figure 4.7, après 20 s, nous remarquons que le taux des appels interrompus atteint déjà son maximum qui est de 16 appels , idem pour le graphe du nombre des HO (figure 4.8) ce dernier augmente au fur et à mesure dans l'intervalle du temps (entre 0s à 40s) et après une certaine durée de stabilité il diminue .

- Si nous faisons une comparaison entre le nombre des appels interrompus à t=10s pour les deux vitesses v=1.8 km/h et v=60 km/h , nous déduisons que pour la vitesse 60km/h le taux des appels interrompus connaît une augmentation légère par rapport à la vitesse d'un piéton en plus de cela nous remarquons que le nombre des appels interrompus atteint son maximum dans un temps réduit pour une vitesse supérieure . Cette augmentation est carrément logique car la petite taille de la cellule et aussi la grande vitesse des utilisateurs les permettent de sortir de la cellule servante vers d'autres cellules voisines rapidement.

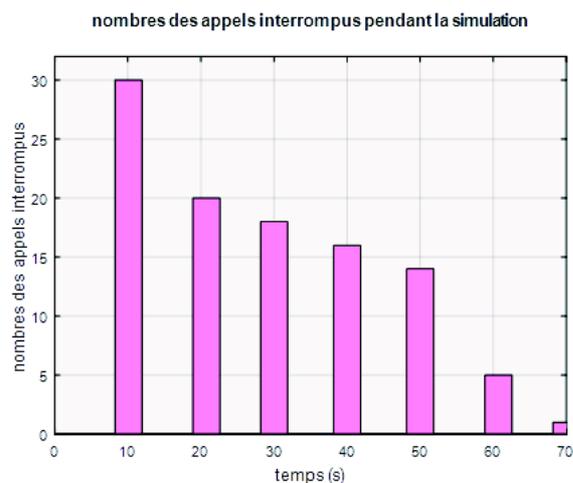


Figure 4.9 : nombre des appels interrompus pour $v=300$ km/h.

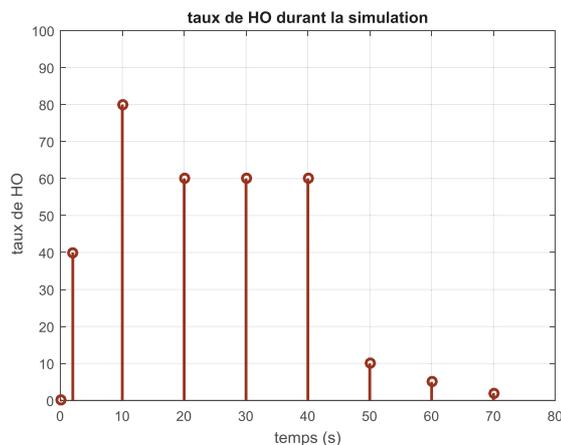


Figure 4.10 : nombre des HO pour $v=300$ Km/h.

-Pour $v=300$ Km/h par exemple un utilisateur qui est en train, dès que nous lançons la simulation le nombre des appels interrompus augmente jusqu'à la valeur 30 à l'instant $t=10$ s et aussi y'aura une augmentation au niveau du HO.

En comparant ces résultats avec les résultats obtenus au paravent nous observons à $t=10$ S que le nombre des appels interrompus est 7,12,30 pour les vitesses respectivement 1.8 km/h,60 km/h,300 km/h ce qui veut dire que le nombre des appels interrompus est proportionnelle à la vitesse.

D'après l'analyse des résultats nous constatons que malgré la présence du HO mais il existe toujours des ruptures d'appels et nous remarquons ça dans la plus grande vitesse c'est la raison pour laquelle nous nous orientons vers l'optimisation et la gestion du HO pour diminuer tous les effets indésirables dans les réseaux mobiles comme étant les ruptures des appels, et ce qui est notre objectif principal dans la partie suivante.

Pour faire changer les paramètres d'entrés nous avons créé une interface graphique sous matlab.

4.6 Interface graphique

Une interface graphique est formée d'une ou plusieurs fenêtres qui contiennent divers Composants graphiques (*widgets*).

Les interfaces graphiques sont souvent appelés **GUI** d'après l'anglais *Graphical User Interface*, elles comprennent des menus, des boutons, des "ascenseurs", des cases à cocher des listes de choix, des zones de texte. Exemple d'interface :

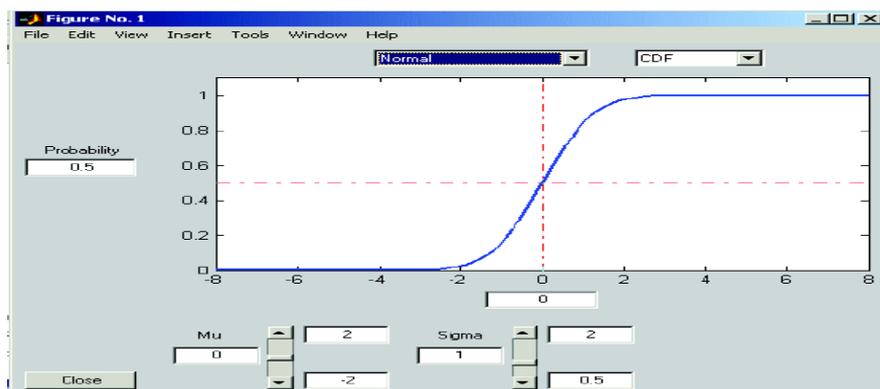


Figure 4.11 : Exemple de fenêtre d'une interface graphique.

Il ya deux méthode pour créer une interface graphique sous MATLAB :

1er méthode : MATLAB possède l'outil GUIDE, qui permet de créer facilement des interfaces graphiques. Il suffit pour cela de taper dans la ligne de commande de MATLAB `guide` et on a alors accès à ses différentes fonctions. Pour chaque nouvelle interface créée, nous avons due réfléchir aux différentes composantes dont nous avons besoin (champs d'affichage simples, champs ou l'utilisateur peut écrire, boutons, panneaux d'affichage, etc.) et les mettre en place en les sélectionnant dans la liste de composants située a gauche de la fenêtre et en déplaçant sur l'interface a créer.

2eme Méthode : Toutes les fonctions sont écrites directement sur le champ **Editor** (subrouting) que ce soit pour les fenêtres principales ainsi que pour les fonctions de création des composantes, c'est avec cette méthode que nous avons créé notre interface graphique.

4.6.1 Les éléments de base de l'interface graphique : Création d'une nouvelle fenêtre :

A noter que tout dessin graphique ou affichage d'image (résultat de plot, mesh, imshow) peut servir de fenêtre de base. Tout objet graphique se voit attribué à un *handle*; ce handle sert de référence à cet objet dans l'application.

Les principales propriétés sont : le titre, la position et la dimension dans l'écran, la couleur de fond, la présence et le type de menus, le redimensionnement...

Insertion d'un Objet dans la fenêtre :

- **Texte :**

L'insertion d'un objet dans une fenêtre se fait par la fonction "**uicontrol**", dont le premier paramètre est le **handle** de la figure de référence. Le deuxième paramètre précise le "**style**" ou type d'objet à insérer.

Exemple:

```
text1 = uicontrol( fig1 , 'style' , 'text' , 'position' , ...  
[100,150,170,30], 'string', 'Bonjour', 'fontsize',15).
```



Figure 4.12 : l'affichage du texte sur une interface graphique.

Bouton radio :

Les boutons radio destinés pour le choix des opérations.

Exemple:

```
radiol = uicontrol( fig1 , 'style' , 'radio' , 'String' , ...  
'Option1', 'Position', [30,30,60,30]).
```

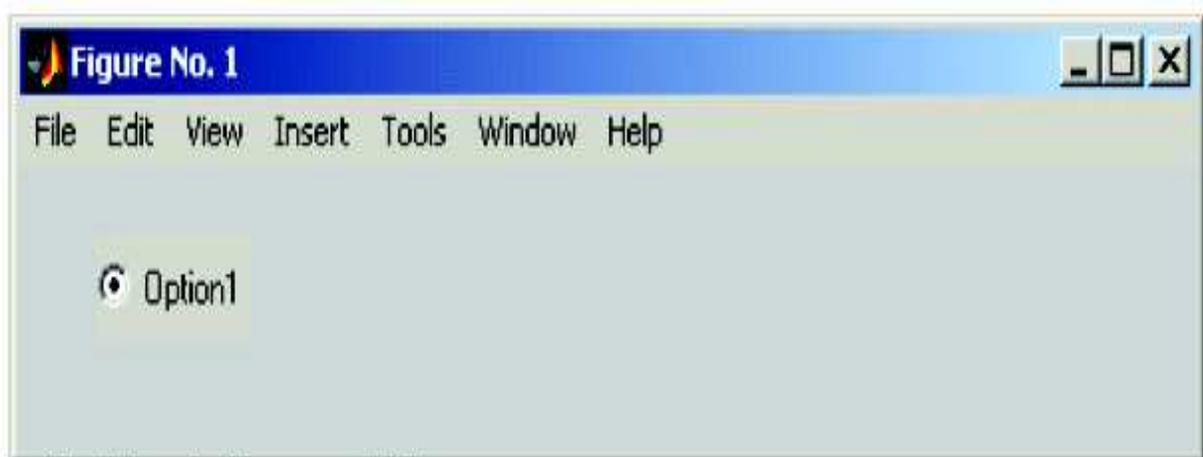


Figure4.13 : L'insertion de bouton radio sur l'interface graphique.

Bouton:

Activer lors le clic sur ceci tel que l'exemple suivant :

```
handle(3)=uicontrol('pos',[250,500,140,40],'style',...  
'pushbutton','callback',démarrer) .
```



Figure 4.14 : L'insertion de bouton sur l'interface graphique.

Texte Editable :

Permet à l'utilisateur de saisir une valeur.

Exemple:

```
Text1=icontrol
```

```
('style','edit','position',[250,550,150,20],'Max',1,'string',...','fontsize',12,'BackgroundColor',  
'w').
```

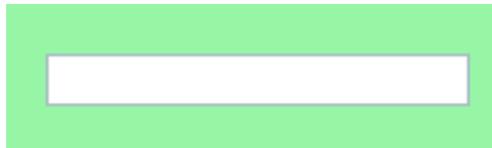


Figure 4.15 : champ de texte éditable.

Liste de choix :

La liste de choix ou pop-up menu permet de sélectionner une valeur parmi une liste.

Généralement, cette valeur est un texte comme le montre l'exemple suivant :

```
handle(9)= uicontrol('pos',[900,530,140,40],'style',...  
'popupmenu','string',{'800MHZ','1900MHZ','1920MHZ','1980',  
'2110',2170'}).
```

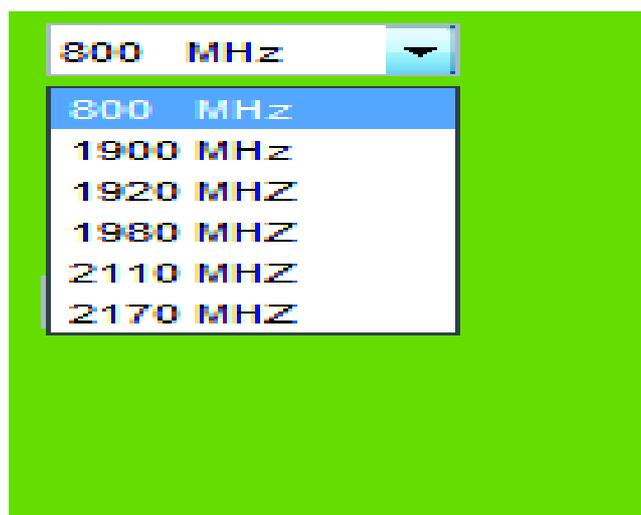


Figure 4.16 : L'insertion d'une liste de choix sur l'interface.

Voici un exemple d'une interface graphique que nous avons créée :

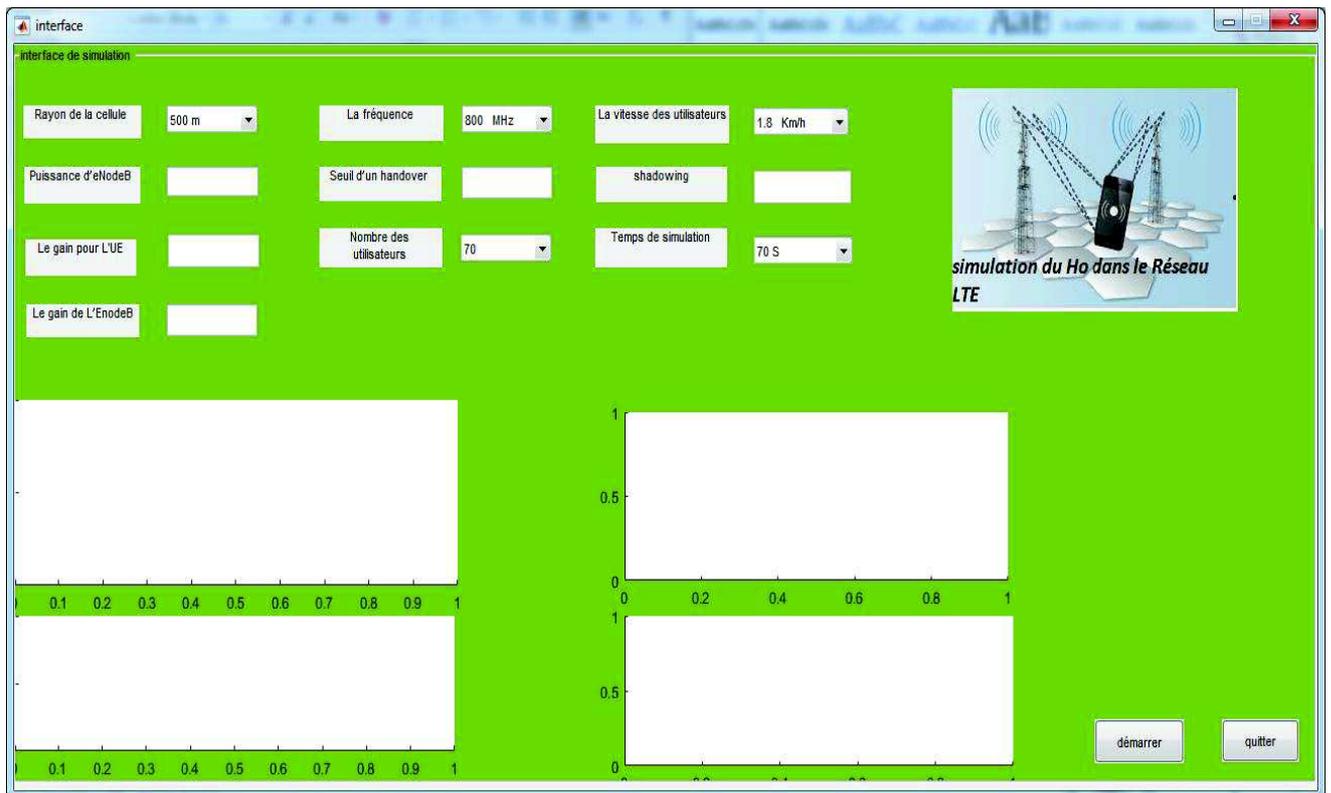


Figure 4.17 : création d'une interface graphique sous Matlab.

Lorsque nous cliquons sur le push bouton démarrer de l'interface, nous obtenons les résultats de la simulation qui sont la distribution des utilisateurs avant la simulation, la distribution des utilisateurs après la simulation, le nombre des appels interrompus et aussi le taux du HO.

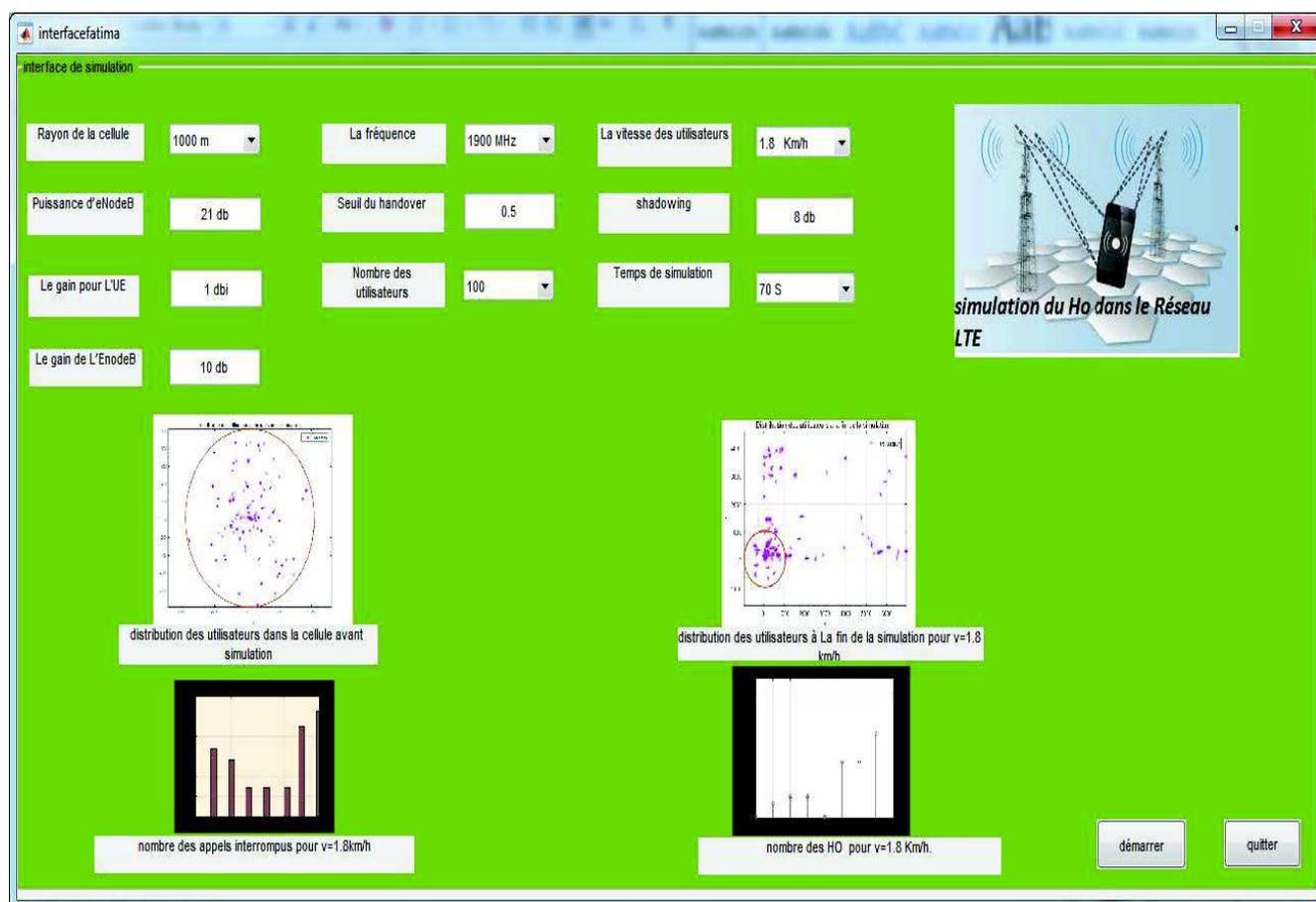


Figure 4.18 : résultats de simulation sous l'interface graphique.

La figure ci-dessus montre le résultat de simulation dans notre interface graphique pour le cas d'un piéton avec une vitesse environ de 1.8 km/h.

4.7 Intégration de la logique floue dans la simulation

Actuellement l'utilisateur mobile utilise de très grande vitesse pour se déplacé d'un endroit a un autre dans le cas où il est connecté au réseau il est nécessaire que cette connexion soit maintenu afin d'éviter tous les effets indésirables. D'autre part son besoin de garantir la QoS augmente par le temps avec les révolutions des réseaux, c'est les raisons pour lesquels nous avons penché vers la gestion du handover et l'optimisation de ces paramètres.

4.7.1 NOTRE MODEL

Dans la norme LTE le processus de décision du handover est basé sur la valeur du paramètre RSRP (la puissance reçue d'eNodeB), Lorsque le système répond à l'équation suivante le transfert intercellulaire sera déclenchée.

$$\mathbf{RSRP_C > RSRP_S + HOM.}$$

La figure 4.1 montre les étapes de décision d'un transfert intercellulaire, dans laquelle, dans notre cas le processus d'inférence floue est l'élément clé de la décision du transfert, lorsque le RSRP de la cellule cible est supérieur à celui de la cellule serveuse plus la marge, le processus d'inférence flou sera appelé avec cinq paramètres d'entrée, qui sont : RSRP_C, RSRP_S, la bande passante actuelle (LCs), la bande passante de l'eNodeB cible (LCc), et l'énergie de l'utilisateur (ER). La sortie du système d'inférence floue, sera envoyée immédiatement à l'eNodeB, ensuite ce dernier décide si y'aura un déplacement intercellulaire ou non.

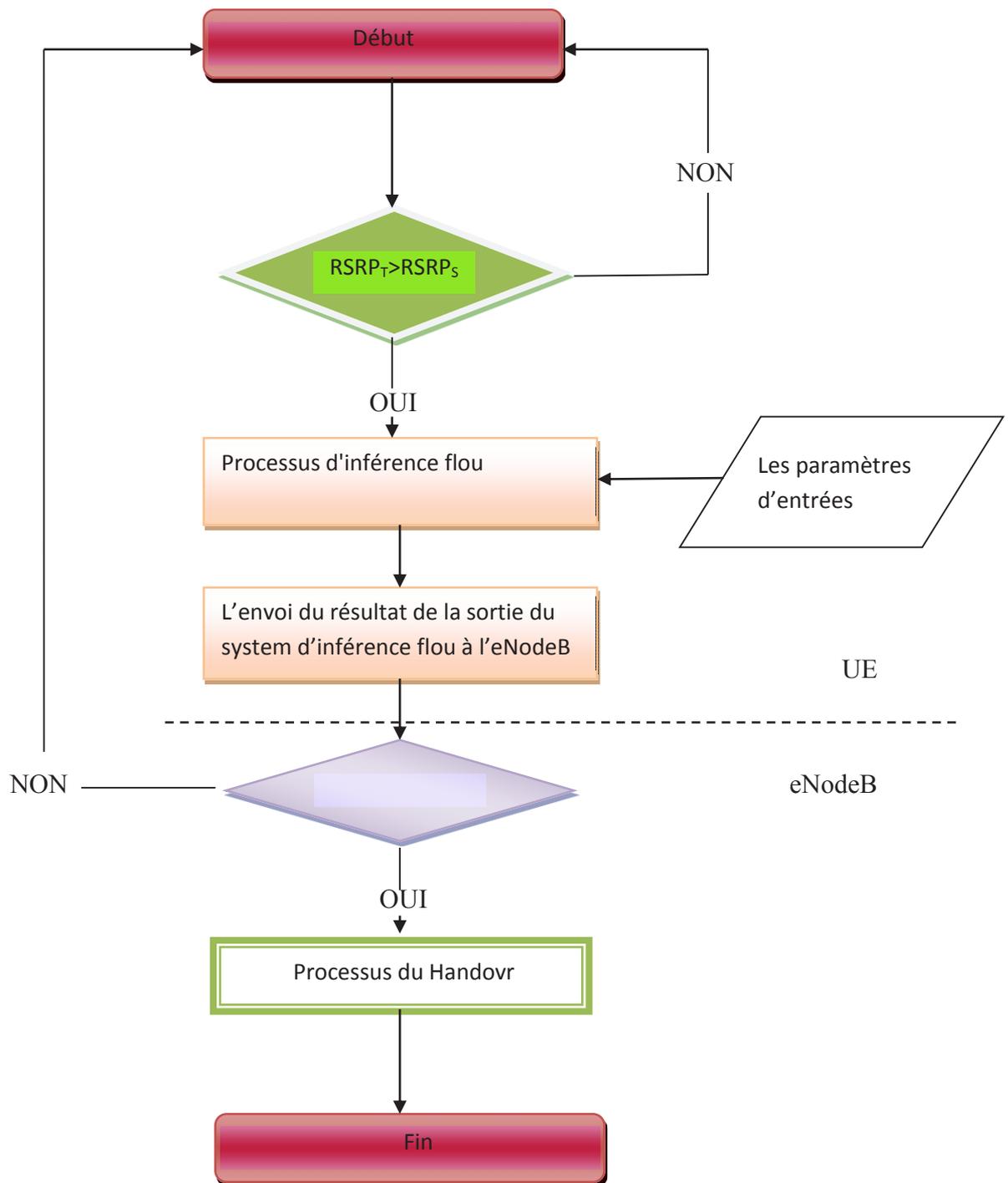


Figure 4.19 : notre modèle pour la décision du HO.

4.7.2 Notre système d'inférence floue

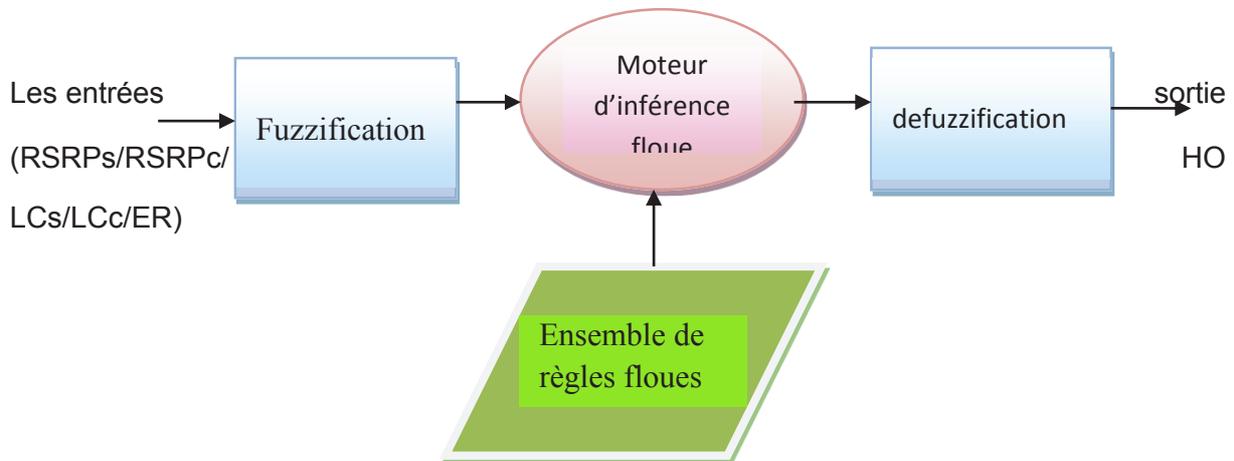


Figure 4.20 : processus d'inférence floue.

La figure 4.12 illustre la structure du processus d'inférence floue, qui se compose de quatre parties, y compris la fuzzification, base de règles floues, moteur d'inférence floue et la défuzzification, le processus d'inférence floue contient cinq paramètres d'entrée et un paramètre de sortie, ce qui est une valeur approximative.

4.7.3 Ensemble des règles floues et le moteur d'inférence

L'ensemble de règle floue permet de donnée toutes les relations possibles entre les fonctions d'appartenances des 5 paramètres d'entrées et la sortie, elles ont une forme de condition Si-Alors, puisque chaque paramètre a trois fonction d'appartenance donc nous pouvons avoir $3^5=243$ possibilités qui veut dire les règles floues, le tableau ci-dessous contient quelques règles ou le handover est vraiment nécessaire :

RSRPs	RSRPc	LCs	LCc	ER
mauvais	Mauvais	faible	élevé	faible
mauvais	Excellent	faible	faible	moyen
mauvais	Excellent	faible	moyen	moyen
bien	Excellent	moyen	élevé	élevé

Tableau 4.21: exemples des règles du système flou.

Pour le moteur d'inférence floue nous avons choisi la méthode de Mamdani pour l'agrégation entre les fonctions d'appartenances :

$$\mu_{HO} = \min [\mu_{RSRPs}, \mu_{RSRPc}, \mu_{LCs}, \mu_{LCc}, \mu_{ER}].$$

-pour la defuzzication nous avons choisi la méthode de centre de gravité (Takagi Sugeno)

$$HO = \frac{\int x \mu_{HO}(x) dx}{\int \mu_{HO}(x) dx}.$$

Après le choix du SIF (système d'inférence floue) Nous avons fait la fuzzification de nos 5 entrées dans le but d'avoir le degré d'appartenance de chaque paramètre.

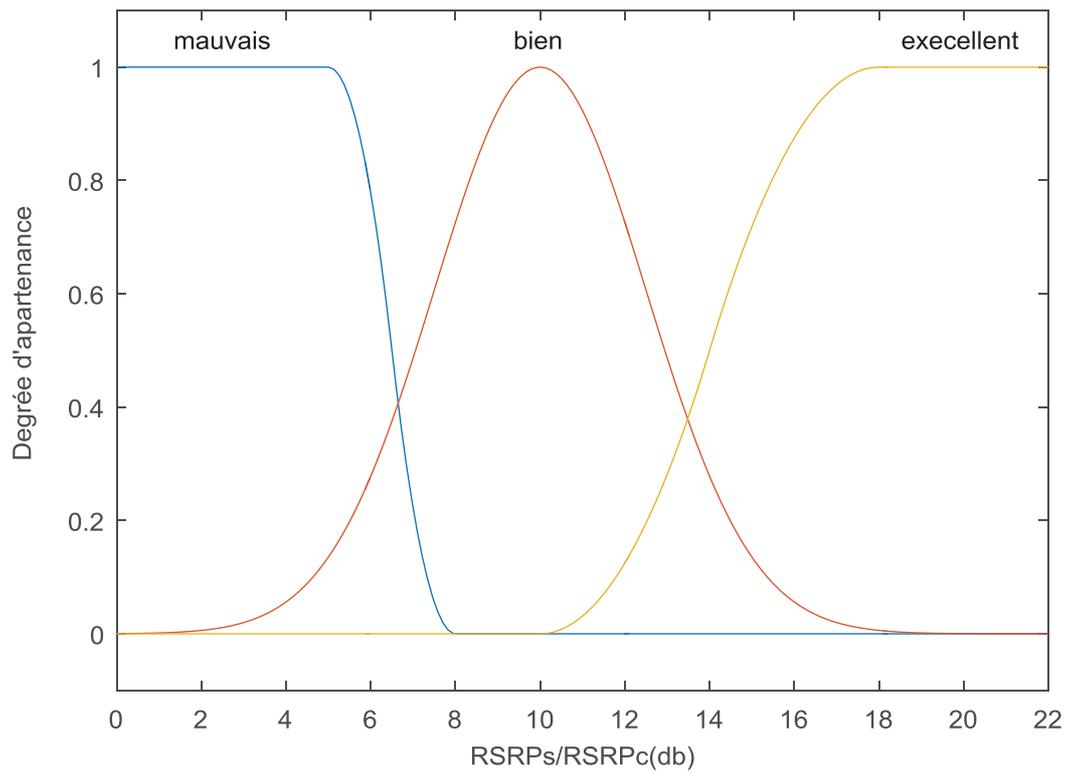


Figure 4.21 : fonction d'appartenance des entrées RSRPs/RSRPc .

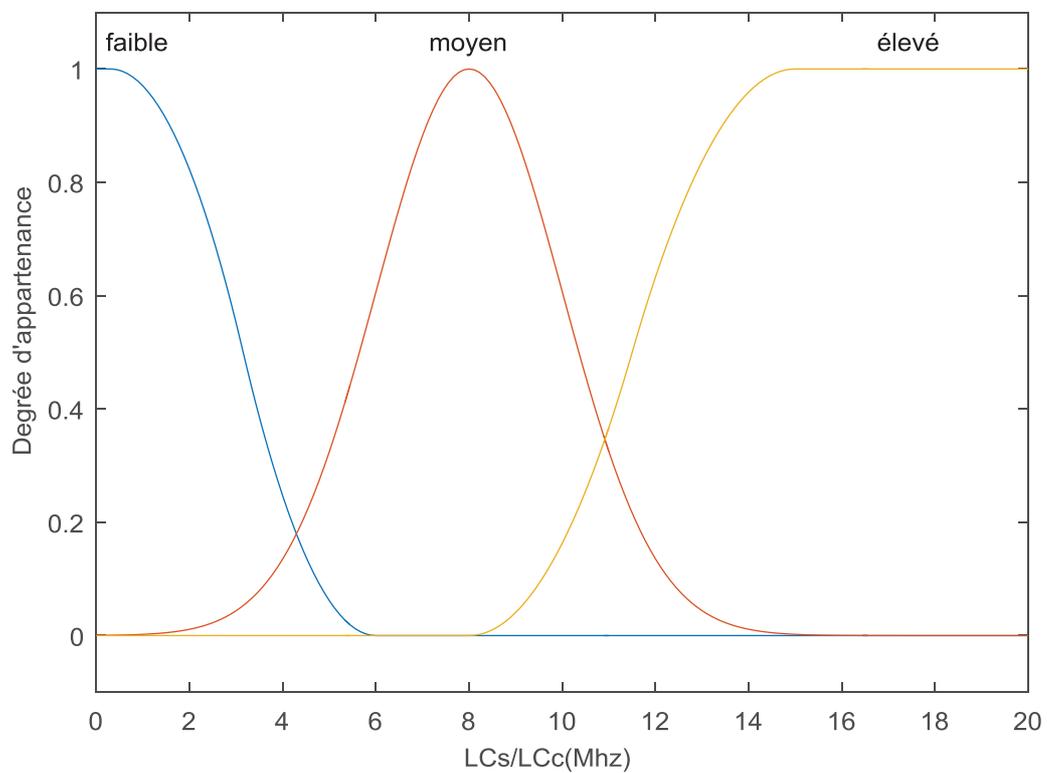


Figure 4.22 : fonction d'appartenance des CBW/TBW.

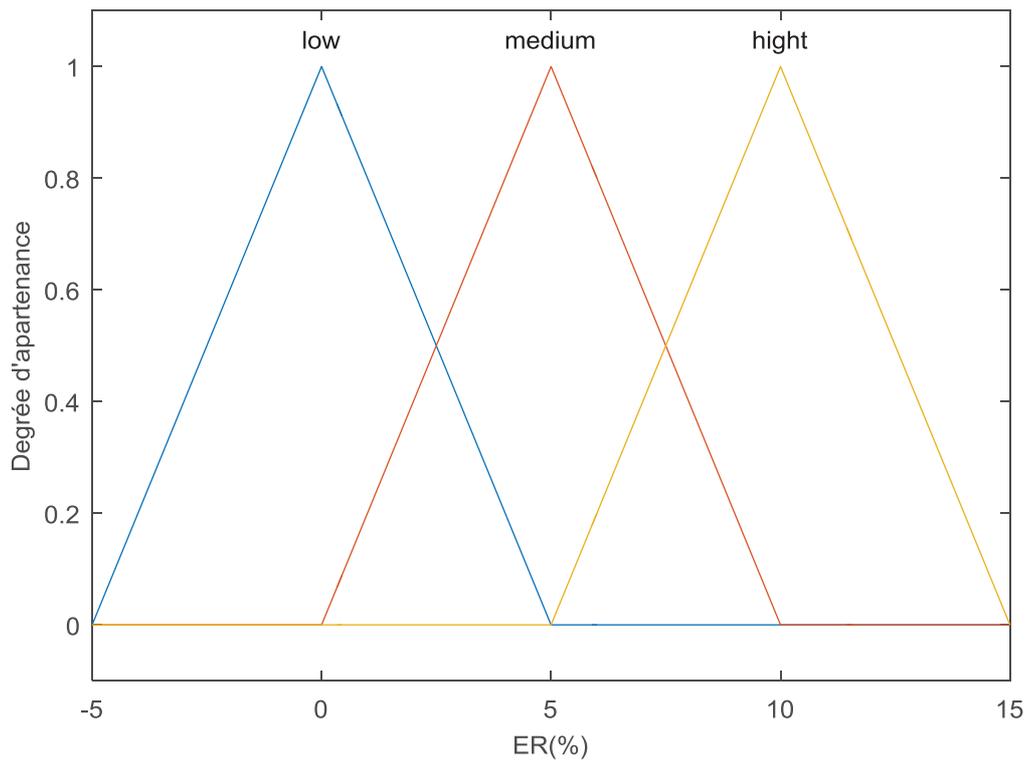


Figure 4.23: fonction d'appartenance de l'ER.

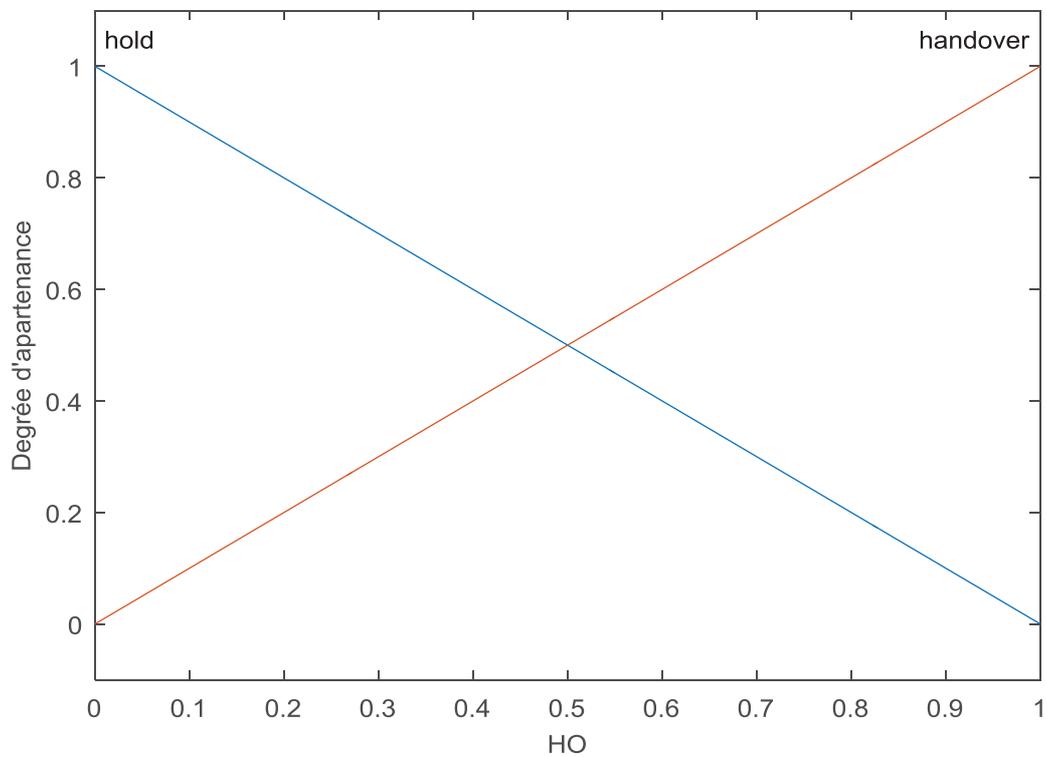


Figure 4.24 : fonction d'appartenance de la sortie HO.

Les figures 4.13 4.14 4.15 et 4.16 montrent respectivement les degrés d'appartenances des entrées et la sortie HO ,pour les entrées nous constatons que chaque figure contient trois fonctions d'appartenance pour les deux premier fonction d'appartenances des figures 4.13 et 4.14 nous avons choisis la formes Z pour présenter le RSRP mauvais et le CL faible ainsi que la forme gaussien pour un bon RSRP ou un moyen CL et la forme S pour les fonctions excellente et élevée ,et pour le 5 éme paramètre d'entrée (ER) et la sortie (HO) nous avons choisi la forme triangulaire pour les présenter .comme nous pouvons choisir d'autre formes telque la forme gbel et trapèze mais tout dépend du scénario que nous voulons schématisé .

4.7.4 Résultats analyse et interprétation

comme déjà discuté dans l'état de l'art plusieurs auteurs ont penché vers l'optimisation du HO si nous prenons exemple l'article de Ghanem et al ils ont fait la réduction de l'indicateur de performance le plus indésirable qui est l'effet de ping pong durant leurs études ils ont choisis un algorithme de simulation pour l'optimisation de ce dernier sans utilisé la logique floue ,leurs résultat était acceptable car la moitié du taux de ping pong a été éliminé d'autre part dans l'article de Tsai et al (2015) ils ont incorporé l'intelligence artificiel plus concrètement la logique floue dans leurs méthode ils ont utilisé comme paramètres d'entrée le SNRs,SNRc,LCs,LCc et ER et à la sortie la décision du HO/ou non ,grâce à cette méthode ils ont pu faire la réduction de l'effet de ping pong et le HO avec un pourcentage de 68%, à notre tour nous avons pris le principe utilisée dans l'article de Tsai et al et par la suit nous avons changé dans le processus d'inférence floue dans le but d'avoir des résultats plus performant comme illustrés dans le tableaux ci-dessous.

Tableau comparative

Méthode	Pourcentage de réduction du HO
k.Ghanem et al [18]	52%
K.Tsai et al [29]	68.71%
Notre méthode (2016)	71.12%

Tableau 4.3 : Les différents résultats.

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Dans notre système nous avons pris en considération le paramètre de puissance RSRP avant et durant le processus d'inférence floue vu son influence direct sur la liaison radio de l'utilisateur avec l'eNodeB quel que soit en mode connecté ou bien en veille car l'utilisateur est en mobilité aléatoire (faire un aller-retour de la cellule serveuse vers la cellule cible puis de la cellule cible vers la cellule serveuse) c'est la raison pour la quel nous avons pris en considération l'impact de ce dernier dans notre système.

Après l'analyse et l'interprétation des résultats de notre méthode nous avons fait une comparaison entre les résultats de simulation obtenue avant et après l'intégration de la logique floue comme montre les figures ci-dessous.

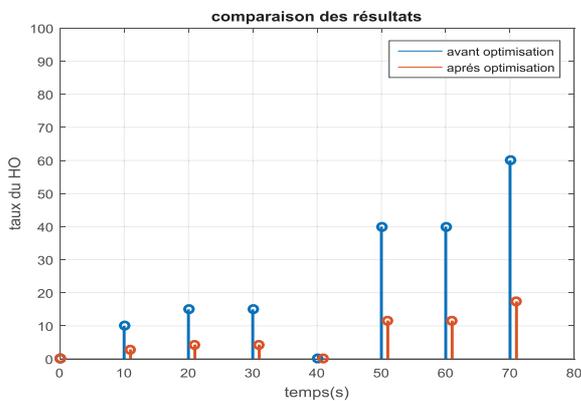


Figure 4.25 : taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=1.8\text{Km/h}$

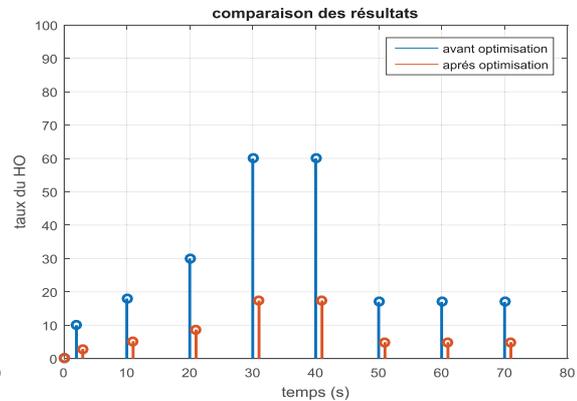


Figure 4.26 : taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=60\text{Km/h}$

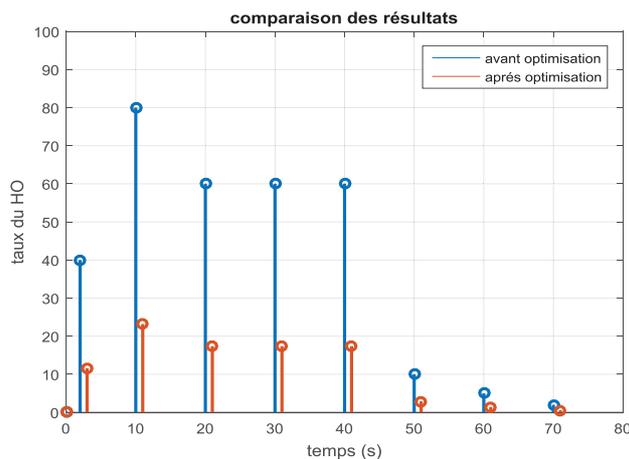


Figure 4.27 : taux de HO avant et après l'optimisation pour $v=300\text{Km/h}$

Nous constatons dans les figures 4.17, 4.18, et 4.19 une diminution considérable dans le taux de HO quel que soit pour les grandes vitesses ($v=300$ km/h) ou bien les petites vitesses ($v=1.8$ km/h).

Cette réduction dans le taux de HO montre l'impact positif de l'intelligence artificielle dans les réseaux mobiles. Nous déduisons d'après nos travaux que faire introduire de l'intelligence artificielle au sein du réseau LTE est le processus le plus convenable pour l'obtention des résultats optimal lors de l'optimisation des paramètres radio d'un réseau cellulaire.

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu intégrer la deuxième et la troisième couche du modèle OSI dans notre programme, en raison de la complexité de présenté un tel réseau sous matlab.

L'ajout de l'intelligence artificiel a donnée des résultats plus fiables en termes de qualité de service au sein de notre réseau.

Dans cette étude, nous avons concentré nos discussions, nos simulations et nos interprétations, sur l'utilité de l'intelligence artificielle dans la technologie LTE.

Nous déduisons que cette optimisation a mené à notre réseau de la robustesse de l'efficacité et la minimisation du cout qui est l'objectif de chaque opérateur mobile.

Conclusion générale et perspective

Durant les études faites dans notre projet nous avons constaté que les générations de téléphonie mobile ont été développées au cours du temps pour garantir de meilleure performance et une variété de service, tout ça en apportant de nouvelles applications, de meilleure gestion, ainsi une bonne qualité de service.

Ce projet de fin d'études appartient à l'axe de recherche des réseaux mobiles, ou nous avons approfondi dans tous les travaux qui ont été faite depuis l'apparition de ce réseau jusqu'à maintenant pour sortir avec une connaissance potentielle faites pendant notre travaille nous avons essayé de combler plusieurs points et solutionné les problèmes engendré lors du déplacement des UEs d'une zone a une autre, notre réseau a été doté par l'intelligence artificielle pour lui aider à prendre un décision convenable s'il s'agit vraiment d'un handover ou non.

Ce mémoire de fin d'étude nous a permis d'exploité tous nos acquis obtenus durant notre cursus universitaire, il a été une expérience qui pourra nous ouvrir les portes vers le monde de la recherche.

Notre projet de fin d'étude a eu un rendement presque parfait comme il peut bénéficier de plusieurs améliorations tel que :

- L'intégration des réseaux mobile sous matlab.
- L'ajout d'une autre méthode de classification comme le réseau de neurone ou faire de l'hybridation entre les deux dans le but d'avoir un bon système.
- Augmentation des paramètres d'entrées pour avoir plus de précision.
- L'optimisation des indicateurs de performances.

- [1] Fiche_différence_2g_3g, «2G,3G quelle différence ?»,document PDF,2013.
- [2] Y.Bouguen,E.Hardouin,F.Wolff, «LTE et les réseaux 4G »,Eyrolles,04/10/2012.
- [3] Eya Jammazi, « optimisation d'un réseau pilote 4G pour tunisie télécom », Mémoire de projet de fin d'études,2013.
- [4] Adrien TUFFERY, « Conception d'amplificateurs de puissance reconfigurables en technologie CMOS avancée pour une application 4G LTE », thèse de doctorat, université de Bourdeaux,2012.
- [5] Diby Okoma Alex-Valery, «Etude de l'évolution du cœur paquet vers l'EPC : cas d'Orange Cote d'Ivoire »,Mémoire de fin de cycle, Institut national polytechnique, Cote d'Ivoire,2014.
- [6] Evolution_Mobile_Efort, «Evolution des Réseaux Mobiles Vers La 4G », Document PDF, 2014.
- [7] Yvon Sosthène Yameogo ,« Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptées au système SC-FDMA »,thèse de doctorat,Université de Rennes,2011.
- [8] Bouchentouf Hadjer,Boudghene Stambouli Riyad « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) »,université de tlemcen,2013.
- [9] Lassoud, «outil de planification et dimensionnement dans l'E-UTRAN LTE-Advanced », rapport de projet de fin d'études, école supérieure des communications de Tunisi,2012.
- [10] X.Lagrange, «S4G support Global »,Institut Mines-Télécom,02/11/2015.
- [11] F. Afroz, R.Subramanian, R. Heidary, K. Sandrasegaran and S. Ahmed” SINR, RSRP, RSSI AND RSRQ MEASUREMENTS IN LONG TERM EVOLUTION NETWORKS” International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 7, No. 4, August 2015.
- [12] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 9), Technical Report TR 36.331 v9.1.0, available at <http://www.3gpp.org>.
- [13] I.Balan, T.Jansen, B.Sas,I.Moerman” Enhanced weighted performance based handover optimization in LTE Future Network and MobileSummit”, Conference Proceedings Paul Cunningham and Miriam Cunningham (Eds),IIMC International Information Management Corporation, 2011.
- [14] C.Chung Lin, K. Sandrasegaran, H.A.M. Ramli” ,Optimization of Handover Algorithms in 3GPP Long Term Evolution System”, IEEE 2011.
- [15] L.Luna ,MuqinWu,YuhanChen”,handover parameter optimization of LTE system in variation velocity environment”,IEEE 2011.
- [16] T.Jansen, I.Balan, J.Turk, Ingrid Moerman”Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks”,IEEE 2010.
- [17] B. Irina, “Enhanced weighted performance based handover optimization inlte,” in *Future Network and Mobile Summit (FutureNetw)*, 2011 IEEE, 2011.
- [18] K. Ghanem, H. Alradwan, A.Motermawy, A.Ahmad.“Reducingping-pong handover effects in intra eutra networks” ,Communication Systems, Networks and Digital SignalProcessing, 2012 8th International Symposium on. IEEE, 2012.
- [19] K. Toshihiko, T.Yamamoto, S.Konishi “A proposal of cell selection algorithm for lte handover optimization”, Computers and Communications (ISCC), 2012 IEEE Symposium. IEEE, 2012.
- [20] N.Sinclair, D.Harle, I. A. Glover” A Proposal of Cell Selection Algorithm for LTE Handover Optimization”, IEEE, 2013.

Références

- [21] L.Xiao-wen, W.Jing” The Optimized Method of Reducing Unnecessary Handover in LTE System”, Proceeding of the IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, IEEE, 2013.
- [22] J.Kim “Adaptive ttt scheme for optimizing lte handover,” International Journal of Control and Automation, vol. 7, 2014.
- [23] M.Shahnoor Islam Khan, M.Mizanur, K.Raahemifar” Self-Optimizing Control Parameters for Minimizing Ping-Pong Handover in Long Term Evolution (LTE)” Communications (QBSC), 2014 27th Biennial Symposium on. IEEE, 2014.
- [24] N.Hassan, K.Elkhazeen, K.Raahemiafar” Optimization of Control Parameters Using Averaging of Handover Indicator and Received Power for Minimizing Ping-Pong Handover in LTE, Proceeding of the IEEE 28th ,Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering,IEEE,2015.
- [25] S.Mwanje, N.Zia, A.Mitschele-Thiel” Self-Organized Handover Parameter Configuration for LTE”,IEEE,2012.
- [26] H. Zhang S.Researcher” A User Mobility Analysis Assistive MRO Algorithm for Handover Parameters Optimization in LTE SON System”,IEEE,2012.
- [27] J.Ruiz-Avil’es, S.Luna-Ram’irez, M. Toril “Fuzzy Logic Controllers for Traffic Sharing in Enterprise LTE Femtocells”, IEEE,2012.
- [28] P. Munoz, R. Barco, I. de la Bandera “On the Potential of Handover Parameter Optimization for Self-Organizing Networks”, IEEE ,2012.
- [29] K.Lin Tsai,H. Liu , Y.Liu” Using fuzzy logic to reduce ping-pong handover effects in LTE networks”,springer 2015.
- [30] Gabriel cormier,”Logique Floue”,université de Moncton,Document PDF.
- [31] Benchrif Farah Nezha,”evaluation du risqué d’accident vasculaire cérébrale à l’aide De la logique floue”,Mémoire de fin d’études,Université de Tlmcen,24/06/2014.
- [32] F.chevrie,F.Guély,”Logique Floue”,Cahier Technique Schneider n° 191,1998.
- [33] L.A.Zadeh,”Is there a need for fuzzy logic?”, Information Science,178(13):2751-2856,2008.
- [34] Ferdinand Piette,*science et technique*,,[En ligne],Adresse URL: [Http//WWW.Ferdinandpiette.com](http://WWW.Ferdinandpiette.com),(page consultée le 04/04/2016).
- [35] Jean-daniel,Introduction à Matlab et GNU Octave,Adresse URL:[Http//www.enacit1.epfl.ch](http://www.enacit1.epfl.ch)