

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

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

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications

**Par** : DJELAD Sarra

**Sujet**

# **Optimisation du Handover dans le réseau 4G avec la logique flou**

Soutenu publiquement, le 14/09/2017, devant le jury composé de :

I. MERZOUGUI Rachid	MCA	Univ. Tlemcen	Président
I. BEMMOUSSAT Chems Idine	MCB	Univ. Temouchent	Directeur de mémoire
I. ZERROUKI Hadj	MCB	Univ. Tlemcen	Examinateur

# 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 mon mari mes deux frères ma sœur et ma cousine Radjaa

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

Toute la promotion RMST

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 mémoire.

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 M.Merzougui Rachid, Maitre de Conférence Classe A à l'Université Aboubakr Belkaid, 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 M.Zerrouki Hadj, Maitre de Conférence Classe B à l'Université Aboubakr Belkaid, qui me fait l'honneur d'être membre du Jury.

Je remercie tous les professeurs de la faculté sciences et technologie au Centre Universitaire Aboubakr Belkaid,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 communiquer 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.

## 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 la 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) .....	5
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 Multimédia 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
1.5.3 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 : l'intelligence artificielle.**

2.1 Introduction.....	26
2.2 Historique de la logique floue.....	26
2.3 Définition de la logique floue.....	26
2.4 Ensembles flous.....	27
2.5 Operateurs flous .....	28
2.6 Règles floues .....	30
2.7 Système d'inférence floue (SIF) .....	30
2.7.1 La fuzzification.....	31
2.7.2 Le moteur d'inférence .....	34
2.7.3 La défuzzification .....	34
2.8 Conclusion.....	35

## **Chapitre III : Résultats et interprétations**

3.1 Introduction .....	37
3.2 Choix d'un logiciel de simulation.....	37
3.3 Notion de base sur MATLAB .....	37
3.4 NOTRE MODEL .....	38
3.5 Notre système d'inférence floue .....	41

3.6 Ensemble des règles floues et le moteur d'inférence .....	41
3.7 Intégration de la logique floue dans la simulation .....	44
3.8 paramètres de simulation .....	45
3.9 Résultats de simulation .....	46
3.10 Résultats analyse et interprétation .....	50
3.11 Conclusion .....	52
Conclusion générale et perspectives .....	52
Références .....	53



# **Liste des Tableaux**

Tableau I.1 : Le nombre de PRB valables en fonction de la largeur de la bande.

Tableau I.2 : Les différentes interfaces en LTE.

Tableau III.1 : paramètres de simulation.

Tableau III.2 : exemples des règles du système flu.

Tableau III.3 : Les différents résultats.

# Liste des figures

- Figure I.1 : L'évolution des réseaux cellulaires.
- Figure I.2 : Architecture réseau GSM.
- Figure I.3 : Exemple d'architecture 2G/3G.
- Figure I.4 : Architecture générale du Réseau LTE.
- Figure I.5 : Réseau cœur SAE/(EPC).
- Figure I.6 : basculement à la 2G/3G.
- Figure I.7 : Adressage IP en 4G.
- Figure I.8 : Les techniques OFDMA et SC-FDMA.
- Figure I.9 : QAM à 16 états.
- Figure I.10 : Diagramme de constellation pour QPSK.
- Figure I.11 : Modèle d'un système MIMO à deux antennes émettrice réceptrice.
- Figure I.12 : Élément de ressource.
- Figure I.13 : comparaison entre 3G/4G.
- Figure I.14 : Diagramme de constellation pour QPSK.
- Figure I.15 : Mesures de puissance faites par le terminal.
- Figure II.1 : Représentation du sous-ensemble flou F des petits entiers.
- Figure II.2 : Exemple d'opérations sur des ensembles flous.
- Figure II.3 : Un système d'inférence floue.
- Figure II.4 : Degré d'appartenance du sous-ensemble flou « chaud ».
- Figure II.5 : Fonction d'appartenance pour une température de 23° degrés.
- Figure II.7 : Fonction d'appartenance pour une température de 17° degrés.
- Figure II.8 : Résultat par la méthode de la moyenne des maxima.
- Figure II.9 : Résultat par la méthode du centre de gravité.
- Figure III.1 : Distribution des utilisateurs dans la cellule.
- Figure III.2 : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour  $v=1.8$  km/h.
- Figure III.3 : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour  $v=90$  km/h.
- Figure III.4 : Distribution des utilisateurs à la fin de la simulation pour  $v=300$  km/h.
- Figure III.5 : Nombre des appels interrompus pour  $v=1.8$  km/h.
- Figure III.6 : Nombre des HO pour  $v=1.8$  km/h.
- Figure III.7 : Nombre des appels interrompus pour  $v=60$  km/h.
- Figure III.8 : Nombre des HO pour  $v=60$  km/h.
- Figure III.9 : Nombre des appels interrompus pour  $v=300$  km/h.
- Figure III.10 : Nombre des HO pour  $v=300$  km/h.
- Figure III.11 : Notre modèle pour la décision du HO.
- Figure III.12 : Processus d'inférence floue.
- Figure III.13 : Fonction d'appartenance des entrées RSRPs/RSRPs<sub>c</sub>.
- Figure III.14 : Fonction d'appartenance des CBW/TBW.
- Figure III.15 : Fonction d'appartenance de l'ER.
- Figure III.16 : Fonction d'appartenance de la sortie HO.
- Figure III.17 : Taux de HO avant et après l'optimisation pour  $v=1.8$  km/h.
- Figure III.18 : Taux de HO avant et après l'optimisation pour  $v=60$  km/h.
- Figure III.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 <sub>HOF</sub>	Handover Performance Indicator Handover Failure HPI <sub>HPP</sub>
	Handover Performance Indicator the Ping-Pong Handover
HPI <sub>RLF</sub>	Handover Performance Indicator the radio link failure
HPI <sub>DC</sub>	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 Acces

## 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.

Le deuxième 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 troisième 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**

# **Les différentes générations de la téléphonie mobile sans fil**

# Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

## I.1 Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour 1G, 2G, 3G, 4G (LTE Long Term Evolution) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de la téléphonie mobiles, et détailler la technologie 4G, son architecture et ces différentes caractéristiques, car c'est le but de notre travail.

## I.2 L'évolution des réseaux cellulaires

À chaque génération de réseau mobile (2G, 3G, 3G+, etc.) correspond une nouvelle technologie (GSM, GPRS, Edge, UMTS, LTE). 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].

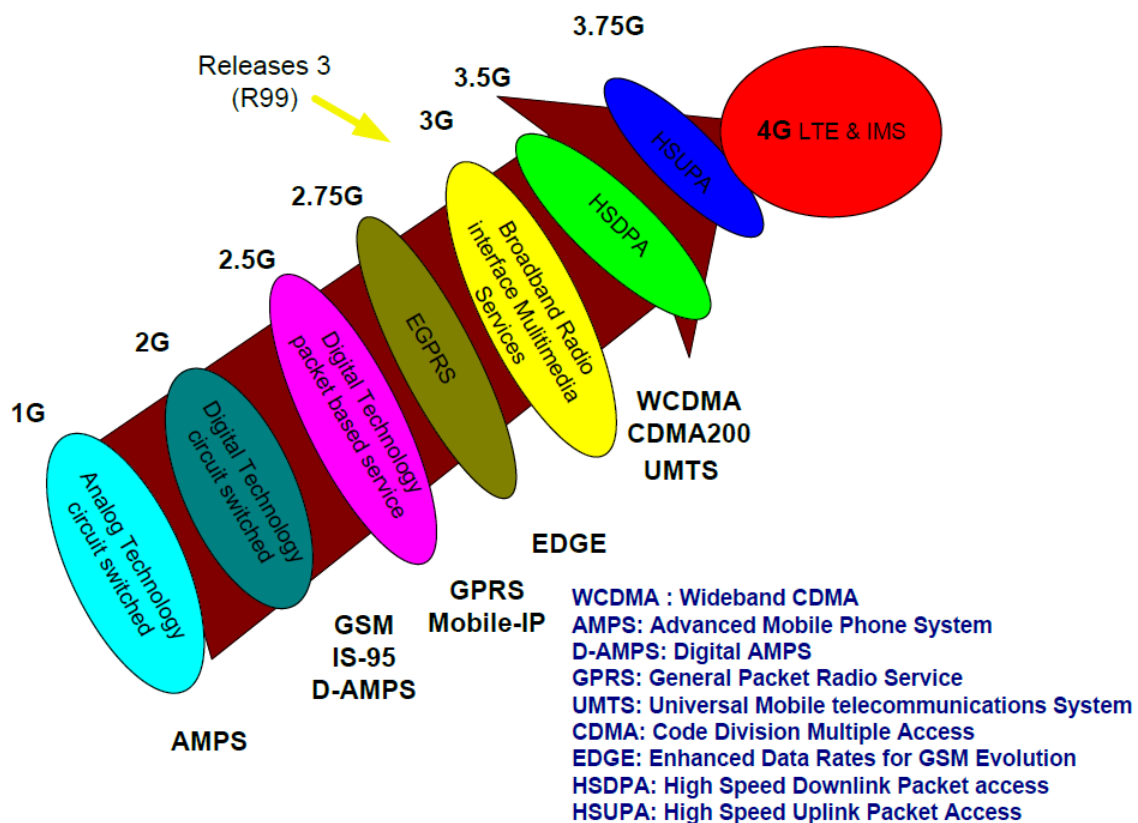


Figure 1.1 : L'évolution des réseaux cellulaires.



# Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

## **I.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G)**

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très coûteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur). 1G a un très faible nombre d'utilisateurs (60 000 utilisateurs de Radiocom2000 en 1988 en France). Par ailleurs, les dimensions importantes des terminaux limitaient significativement leur portabilité. [2].

## **I.2.2 Le réseau GSM (2G)**

La 2G a marqué, pour la téléphonie mobile, le passage de l'analogique vers le numérique. La 2G, qui s'appuie sur la norme GSM (Global System for Mobile Communication), se caractérise notamment par la possibilité d'avoir un échange vocal pour un débit maximal théorique de 9,6 kbit/s. Elle a également permis à l'utilisateur équipé d'un terminal mobile de transférer des données numériques de faible volume (principalement du texte, avec les SMS ou des photos, avec les MMS). Aujourd'hui, la plupart des téléphones portables et smartphones sont au minimum compatibles avec cette technologie. Les fréquences utilisées pour la 2G sont dans les bandes 900 MHz et 1800 MHz. [3]

## **I.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 classifier 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].

## **I.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. [3]

# Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

## **I.2.5 La troisième génération des téléphones mobiles (3G)**

La 3G est la troisième génération de téléphonie mobile. Elle englobe notamment les technologies *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), celle-ci étant utilisée dans un très grand nombre de pays, et CDMA2000, qui existe notamment aux États-Unis. Ces technologies permettent des débits beaucoup plus rapides que ceux de la génération précédente, et permettent des usages multimédias tels que la transmission de vidéos, la TV mobile, la visiophonie ou l'accès à internet haut débit.

L'UMTS se caractérise par des débits théoriques de l'ordre de 2 Mbit/s et pratiques de l'ordre de quelques centaines de kbit/s. [3]

## **I.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 [4].

## **I.2.7 La technologie HSUPA**

La technologie HSUPA suit HSDPA, elle permet de transférer des contenus multimédias volumineux. Elle 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 [4].

## **I.2.8 La technologie HSPA+**

• Le HSPA+ (High Speed Packet Access +), connu par génération 3,75G, qui se caractérise par un débit maximum théorique de 21 Mbit/s et pratique d'environ 5 Mbit/s. 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 [4].

# Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

## **I.2.9 La quatrième génération de la téléphonie mobile LTE**

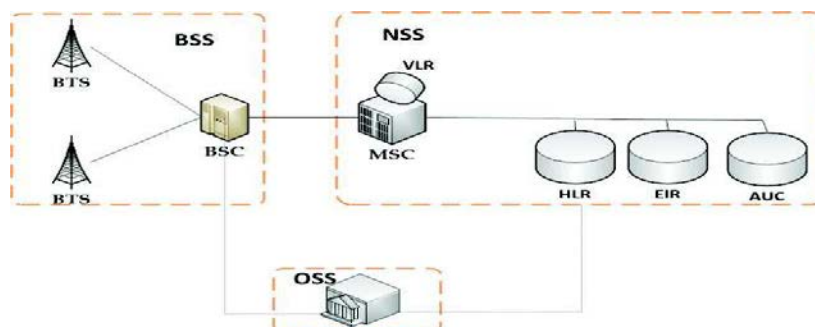
La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

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

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée. [5].

## **I.3 Architecture des réseaux cellulaires**

### **I.3.1 Architecture du réseau 2G (GSM)**



*Figure I.2: Architecture réseau GSM*

La figure précédente contient les équipements utilisés dans la 2G, qui sont :

#### Base Station SubSystem BSS:

##### **La BTS :**

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes. Ces antennes ont l'allure de paires de segments verticaux, disposées en triangle.

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Comme le multiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer tout au plus huit connections simultanées par cellule. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données.

En cas de besoin, on peut exploiter une station de base localement ou par télécommande à travers son contrôleur de station de base. [6].

### **Base Station Controller :**

Chaque BTS est raccordé à une BSC, et une seule, au moyen d'une liaison filaire MIC. Inversement, une BSC peut raccorder plusieurs BTS. Chaque BSC est également raccordée à un MSC, et un seul.

Contrairement à la BTS, la BSC est un organe intelligent.

- Elle gère les ressources radio (allocation/désallocation de canal) au niveau des BTS en fonction de l'établissement et de la libération des communications.
- Elle exploite les mesures réalisées par les BTS, notamment la mesure du signal radio émis par les mobiles. Cela permet d'asservir la puissance émise par le terminal en fonction de sa distance à l'antenne (plus il est proche, moins sa puissance d'émission est importante), et également de détecter la nécessité de faire un handover.
- Elle assure également la concentration des communications sur interface avec le MSC. Le monde téléphonique, généralement numérique, code la parole sur des circuits à 64 kbits/s (un IT MIC supporte un seul circuit de phonie). Un tel débit n'est pas réaliste sur l'interface air et par conséquent, la BSC gère également<sup>1</sup> le transcodage de la parole 64 kbits/s de/vers un codage 16 kbits/s utilisé entre la BSC et la BTS, afin d'optimiser les liaisons MIC entre la BTS et la BSC (un IT MIC supporte quatre circuits de phonie). Ce codage sera ensuite adapté par la BTS à 13 kbits/s sur l'interface air. [6].

### 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[7].

#### **Le VLR (Visitor Location Register) :**

Est présent dans une zone géographique donnée, gérée par un MSC. Le MSC est raccordé au VLR qui le supporte.

Chaque VLR peut communiquer avec le HLR des autres MSC. Il contient les mêmes types d'informations que le HLR, mais cette fois relatives aux mobiles physiquement présents dans la zone géographique contrôlée par le MSC. En plus, il contient pour chaque mobile :

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

- Un identifiant temporaire TMSI qui sera utilisé à la place de son numéro IMSI, tout le temps qu'il restera sous contrôle du même VLR,
- Sa localisation complète (zone de localisation). [6].

### **Le HLR (Home Location Register) :**

Est une base de données qui centralise les caractéristiques et les informations de localisation des usagers du réseau GSM.

Le HLR contient :

- Toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification  $K_i$  –cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM–, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc
- Ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau. [6].

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

### **L'AUC (AUthentication Center) :**

Est l'unité qui authentifie les mobiles et qui détient toutes leurs clés d'authentification. Il est associé au HLR.

Le MSC s'adresse à lui lors d'une demande d'inscription pour valider l'accès du mobile au réseau. Il contient aussi les algorithmes d'authentification et de chiffrement utilisés par le réseau

### **L'EIR (Equipment Identity Register) :**

Est la base de données des abonnés. Elle est consultée pour s'assurer de la légitimité d'un mobile. C'est en particulier dans l'EIR que sont identifiés les mobiles volés et interdits d'accès au réseau. [6].

### 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 [7].

### **I.3.2 De la 2G à 3G**

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

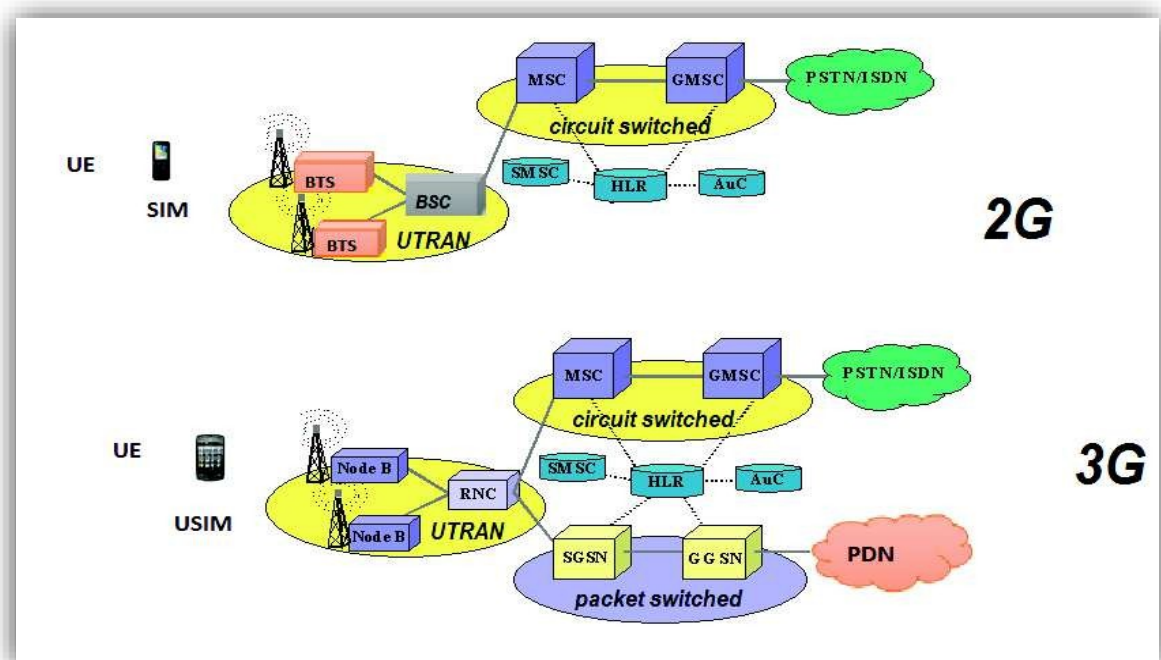


Figure I.3 : Exemple d'architecture 2G/3G

- La partie hardware :

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 compatibles à la 3G comme les smartphones.

- La partie software :

- 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.

### I.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.

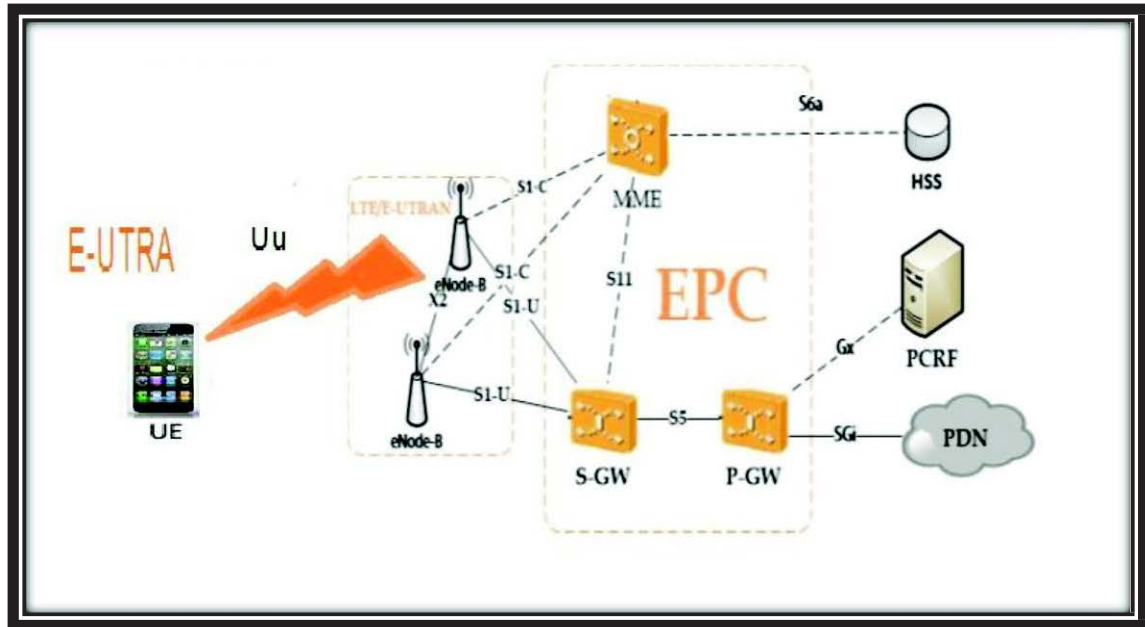


Figure I.4 : Architecture générale du Réseau LTE.

### I.3.3.1 Evolved – UMTS Terrestrial Access (E-UTRA)

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.

### I.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 porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

- **eNodeB**

L'eNodeB est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC. [8].

# Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

## I.3.3.3 Cœur de réseau SAE/EPC :

Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs éléments comme la montre la figure suivante

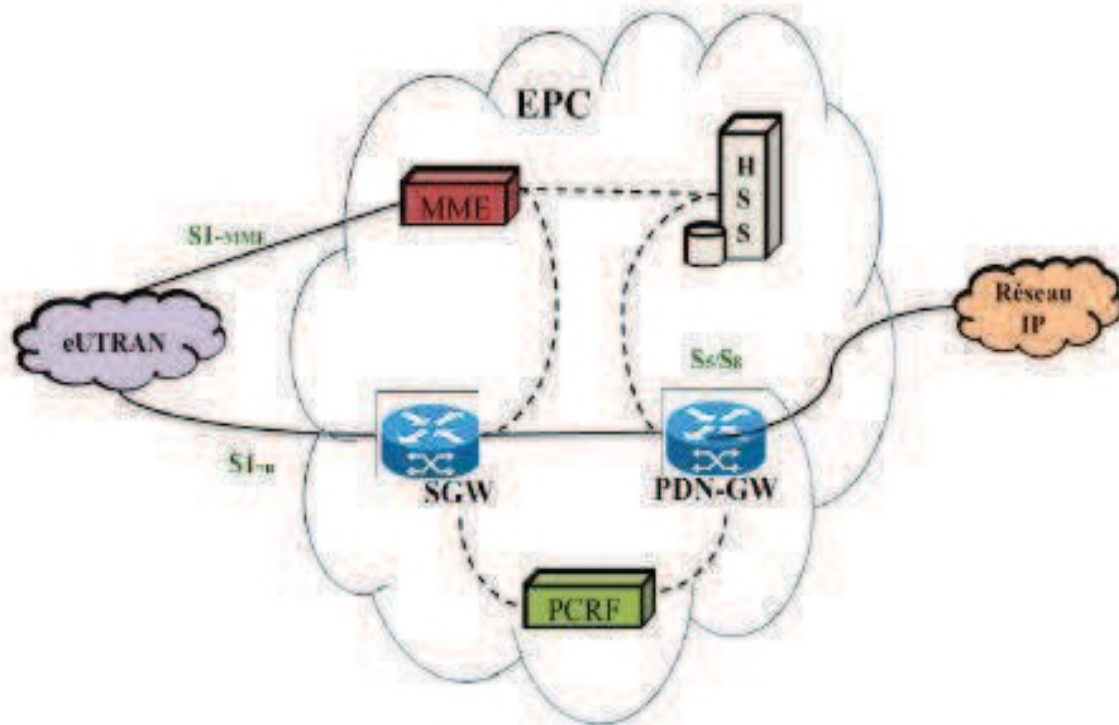


Figure I.6 : Réseau cœur SAE/(EPC).

EPC est l'élément principal de l'architecture SAE, il contient cinq principales entités énumérées ci-dessous :

- MME : Mobility Management Entity

Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services.

- Serving Gateway (SGW) Ou UPE (User Plane Entity)

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



## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

- PDN Gateway (PGW)

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

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

- Home Subscriber Server (HSS)

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

- Policy and Charging Rules Function (PCRF)

Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs. [5].

### 1.3.3.4 La partie IMS (IP Multimedia Sub-system)

- Définition

L'IP Multimedia 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 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.

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

- Un usager peut activer la sonnerie au niveau de tous ses appareils en fonction de l'appelant.
- Messagerie instantanée et vidéo conférence. [6].

### **I.4 Les caractéristiques du réseau LTE**

La 4G permet effectivement d'avoir des performances de Qos très fiables, en citant par la suite quelques paramètres :

#### **I.4.1 Largeur de la bande et débit**

L'établissement des standards de performances communément admis pour les réseaux 4G : 100 Mbit/s sur le lien radio descendant (antenne relais vers mobile), et 50 Mbit/s maximum sur le lien montant (mobile vers antenne relais). La technologie LTE fonctionne dans une variété de fréquences selon la zone géographique couverte : 700 MHz aux Etats-Unis pour le réseau de Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour le réseau japonais de NTT Docomo (opérateur japonais).

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont les suivants :

- 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 5 bit/s/Hz.
- 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz, soit une efficacité spectrale crête de 2,5 bit/s/Hz. [5].

#### **I.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 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 [9].

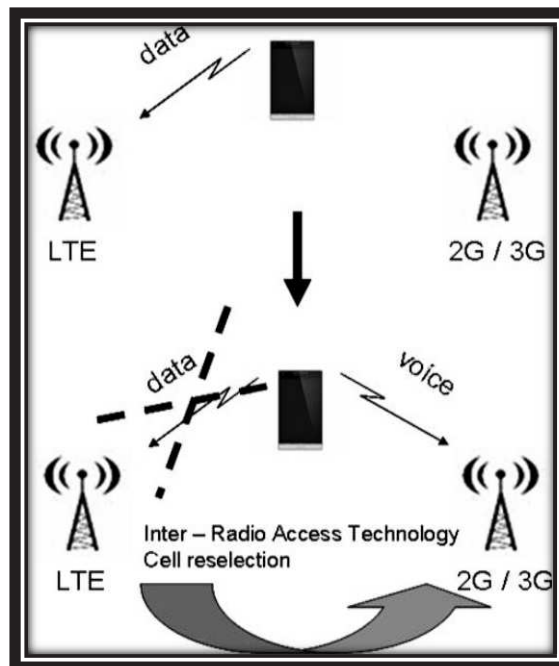


Figure I.7: basculment à la 2G/3G

## I.5 Techniques utilisées

### I.5.1 L'adressage IP au cœur de la 4G

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Comme illustré dans la figure suivante (1.8) :

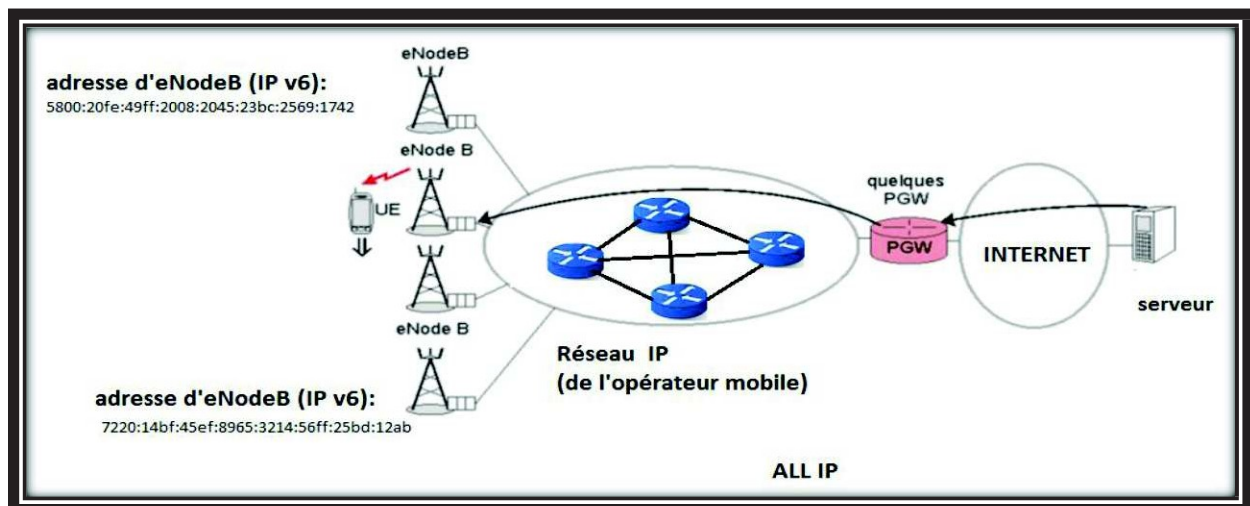


Figure I.8 : adressage IP en 4G

Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

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

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

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.) [9].

### **1.5.2 Les techniques d'accès**

- L'OFDMA :

L'utilisation du codage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » (AMRF ou en anglais FDMA) pour la liaison descendante et du SC-FDMA (Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence pour la liaison montante au lieu du W-CDMA en UMTS).

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple, c'est-à-dire le partage simultané de la ressource spectrale (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs distants les uns des autres. L'OFDMA est compatible avec la technique des antennes MIMO .

Ce codage (tout comme le CDMA utilisé dans les réseaux mobiles 3G) permet un facteur de réutilisation des fréquences égal à « 1 », c'est-à-dire que des cellules radio adjacentes peuvent réutiliser les mêmes fréquences hertziennes.

Le codage OFDMA consiste en un codage et une modulation numérique d'un ou plusieurs signaux binaires pour les transformer en échantillons numériques destinés à être émis sur une (ou plusieurs) antennes radio ; réciproquement le signal radio reçoit le traitement inverse en réception.

Le principe de l'OFDMA est de répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre ce qui permet, pour un même débit global, d'avoir sur chaque canal un débit plus faible et donc un temps d'émission de chaque symbole plus long (66.7  $\mu$ s pour le LTE); cela limite les problèmes d'interférences inter-symboles et de fading liés aux « chemins multiples de propagation » qui existent dans les liaisons radio de moyenne et longue portées (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) : [10].

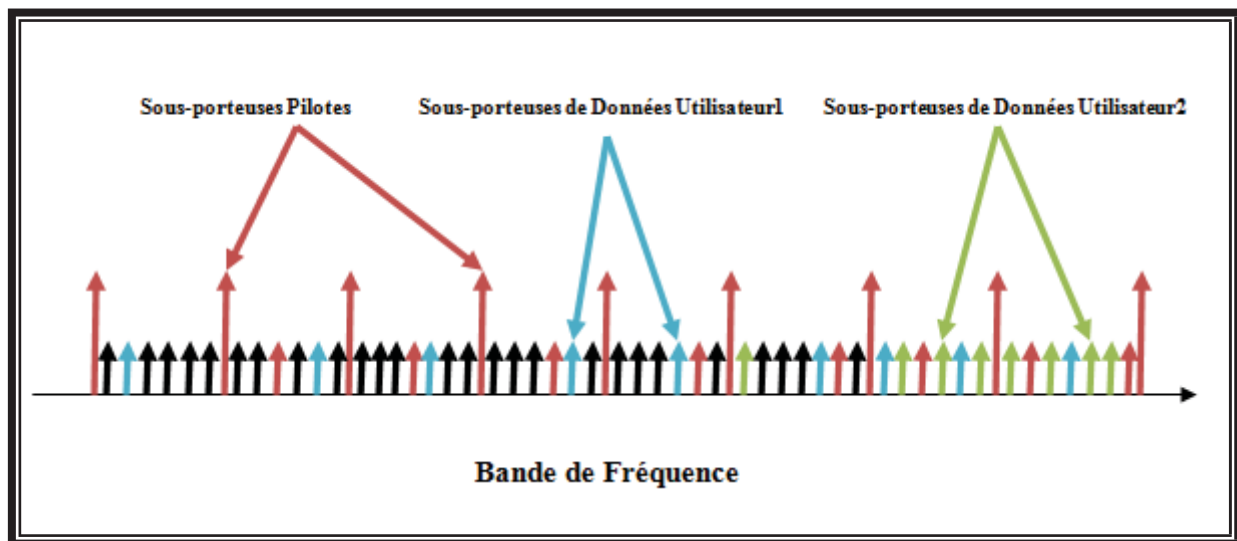


Figure I.9 : Les porteuses de l'OFDMA.

- SC-FDMA

Le single-carrier FDMA est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4<sup>ème</sup> génération LTE.

Comme pour d'autres techniques à schéma d'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), le but est l'attribution et le partage d'une ressource radio commune (bande de fréquence) entre plusieurs utilisateurs. Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses du signal numérique, mais il utilise en complément, une « DFT » (Transformation de Fourier discrète du signal) supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante à l'OFDMA, particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (smartphone ou tablette tactile).

Il a été adopté pour les liaisons uplink 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 d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé.

Codage radio OFDMA et SC-FDMA : conversion numérique/analogique[10].

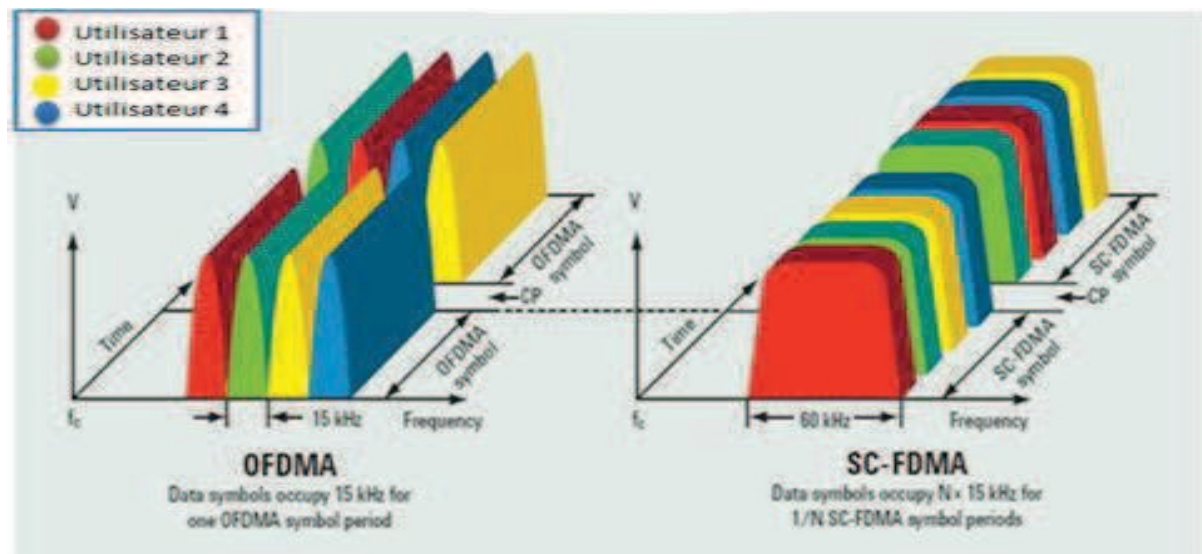


Figure 1.10 : Les techniques OFDMA et SC-FDMA

### 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 :

Modulations Downlink : QPSK, 16QAM et 64QAM

Modulations Uplink : QPSK et 16QAM

- 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  $90^\circ$  avec la porteuse) selon l'information transportée par deux signaux d'entrée [11].

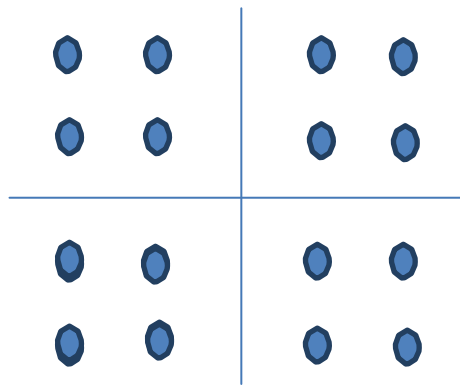


Figure 1.11 : QAM à 16 états.

L'amplitude et la phase de la porteuse sont simultanément modifiées en fonction de l'information à transmettre.

La figure 1.11 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

- La modulation QPSK

Deux signaux FI en quadrature sont générés à partir d'un oscillateur local à la fréquence quadruple. Le train de donnée binaire est séparé en deux "sous trains" appelés I et Q. La paire de valeur, constitue ce que l'on appelle un symbole.

Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés sur 0V. On peut donc considérer que I et Q prennent symboliquement deux niveaux +1, -1 correspondant aux états binaires.

Chacun attaque un multiplieur. Le résultat de chaque multiplication est sommé en sortie de façon à obtenir un signal modulé  $v_s(t)$  :  $V_s(t) = I \cos \omega t + Q \sin \omega t$

Les états de phases du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan I, Q. Suivant les combinaisons de ces derniers, on obtient alors le diagramme de communément constellation [11].

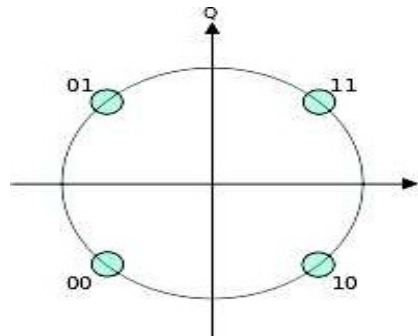


Figure I.12 : Diagramme de constellation pour QPSK.

### I.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 [12].

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

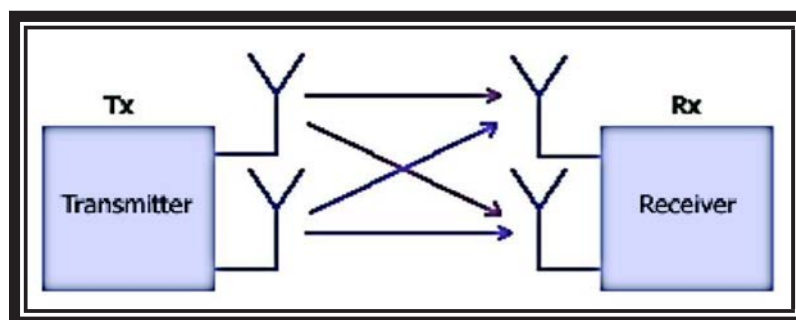


Figure I.13 : Modèle d'un système MIMO à deux antennes émettrice réceptrice.

## 1.6 Propriétés du réseau LTE

### 1.6.1 Structure d'une trame LTE

- Éléments 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).



## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

- 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 [13].

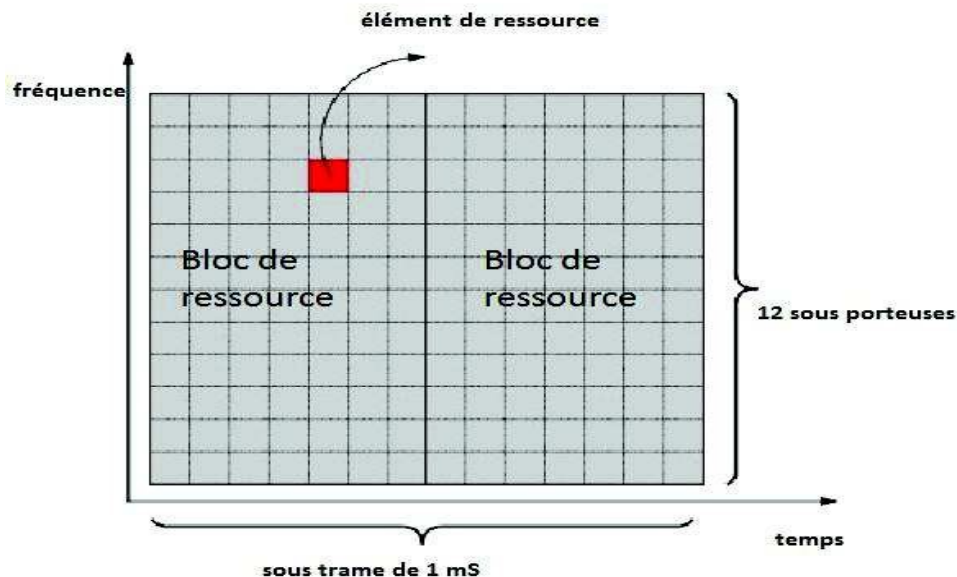


Figure I.14: Élément de ressource.

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 I.1) :

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 I.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.

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

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

### **I.6.2 Les interfaces 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 entre 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 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 I.2 : Les différentes interfaces en LTE*

### **I.7 Comparaison entre les réseaux 3G et 4G**

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

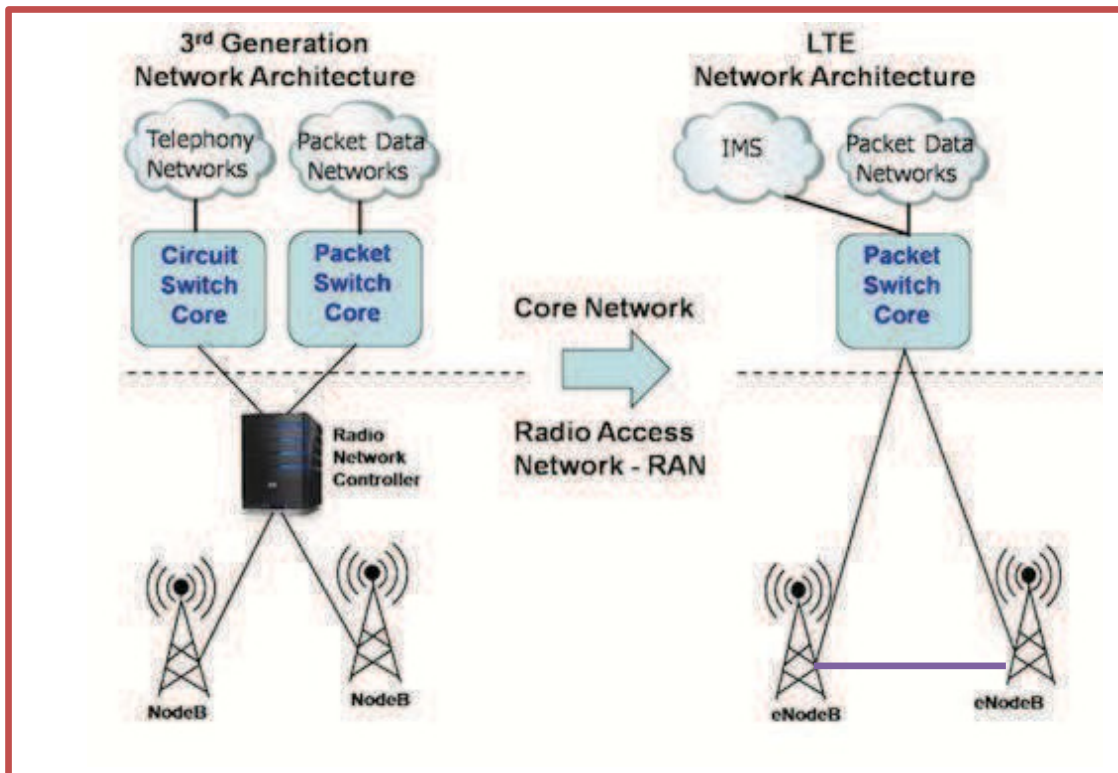


Figure I.15 : Comparaison 3G / 4G.

- 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.

### I.8 Généralités sur le Handover

Le Handover est l'ensemble des algorithmes et des procédures qui assurent la continuité de la connexion entre un MS et le réseau en mobilité et des conditions de congestion.

Le Handover vous donne une voix sans coupure. Il est une composante essentielle dans un système de communication cellulaire. La mobilité cause des variations dynamiques dans la qualité de liaison et le niveau d'interférence.

Le Handover garantit la continuité des services sans fils lorsqu'un MS se déplace entre les frontières cellulaires. Le handover en WCDMA est très intelligent et efficaces avec des nouveaux mécanismes garantissent la bonne qualité de services.

Un Handover se produit lorsqu'une MS, à l'état connecté, change la cellule. Au cours de la communication, le mobile va aussi être amené à changer le canal pour des raisons essentiellement radio. La BSC prend la décision de changer la cellule, basée sur le résultat des calculs faits par l'algorithme de localisation (Locating Algorithm). Ce dernier évalue l'intensité du signal de la cellule propre du MS et l'intensité des signaux des cellules voisines.

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

On distingue plusieurs types de Handover (transfert automatique) selon la relation entre la cellule serveuse et la cellule cible. [14].

### 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 [13].

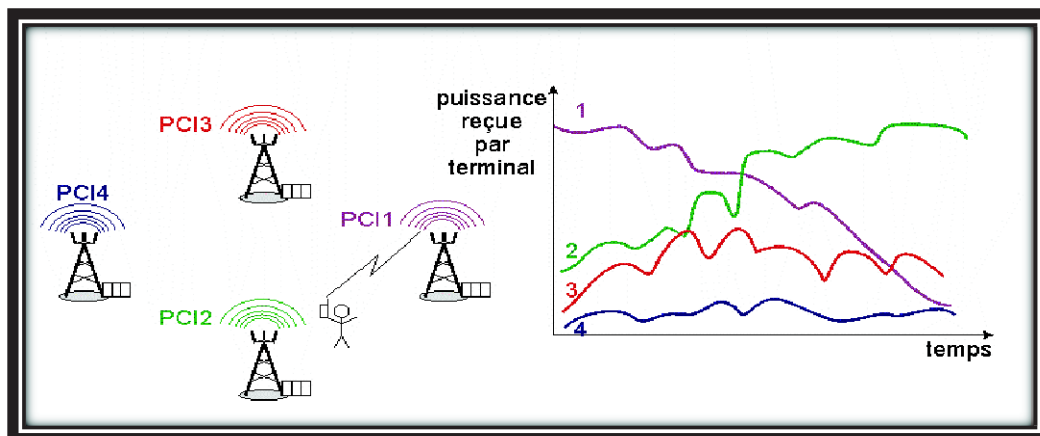


Figure I.16: mesures de puissance faites par le terminal.

## 1.9 Qualité des services

La 4<sup>ème</sup> génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP.

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4<sup>ème</sup> génération sont les suivants :

## Chapitre I : Les Différentes Générations de La Téléphonie Mobile

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relèvements, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.
- Minimiser le coût de signalisation.

Le développement du réseau Internet et le nombre d'utilisateurs pouvant se connecter à ce réseau impose le recours à des niveaux importants de 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].

### **I.10 Conclusion**

En effet avoir une connaissance sur l'évolution des réseaux cellulaires et l'architecture du réseau LTE en détail 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 :

## Intelligence Artificielle

### II.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.

### II.2 Historique de la logique flou

Les racines de la logique floue se trouvent dans le principe d'incertitude de Heisenberg. Dans les années 20, les physiciens ont introduit la troisième valeur  $1/2$  dans le système binaire  $\{0,1\}$ .

Au début des années 30, le logicien polonais Jan Lukasiewicz a développé le système de la logique avec trois valeurs puis l'a étendu à tous les nombres rationnels entre 0 et 1. Il a défini la logique floue comme une logique qui utilise la fonction générale de vérité. Dans les années 30, Max Black a appliqué la logique floue aux ensembles d'éléments ou de symboles. Il a appelé l'imprécision l'incertitude de ces ensembles. Il a dessiné la première fonction d'appartenance (*membership function*) d'un ensemble flou.

En 1965 Lotfi Zadah a publié l'article "*Fuzzy sets*" dans le quel il a développé la théorie des ensembles flous dans la littérature technique. C'est le début des tentatives des modélisations de systèmes par des relations floues. Les premières investigations de Zadah étaient l'utilisation de la logique floue pour représenter le langage naturel. Il a été le premier à formaliser les règles floues (*fuzzy rules*) et à suggérer l'approche "système expert" au régalage automatique, où la règle de commande est remplacée par des règles floues.

Les premiers résultats en commande floue ont été publiés par Mandani et Assilian en 1975, ce qui a encouragé les différentes recherches en Angleterre, au Danemark et en France.

Après 1980, les recherches en Europe mais les Japonais les reprennent. Leur industrie a lancé des nombreux produits basés sur la logique floue, notamment des appareils électroménagers et du matériel audio-. La logique floue est considérée comme un outil de base au Japon, et les principales directions de recherche sont la combinaison de la logique floue, des algorithmes génétiques et des réseaux de neurones[17].

### II.3 Définition de la logique floue

La logique floue a connu un intérêt important dans la communauté scientifique au cours de ces dernières années. L'une des raisons principales est l'énorme succès des équipements domestiques produits par l'industrie japonaise. Les systèmes flous appartiennent à la classe des "système à base de connaissance" leur but principal consiste implémenter un savoir-faire humain, ou des règles heuristiques, sous la forme d'un programme informatique. La logique floue fournit un formalisme mathématique pour réaliser ce but. Les systèmes flous modélisent l'expérience humaine sous la forme de règles linguistiques 'if...then...'.

Les algorithmes basés sur la logique floue sont considérés comme une solution très intéressante pour la commande ou le réglage des systèmes non linéaires ou les systèmes pour lesquels il n'existe pas de modèle mathématique.

Les opinions sont très divisées sur l'importance de la théorie floue. D'une part, il y a des gens qui pensent que cette théorie est un simple exercice sur la généralisation. D'autre part de nombreux chercheurs y travaillent et apportent des contributions importantes dans les différents domaines scientifiques (diagnostics médical, robotique, mathématique, ect..). D'où vient l'idée de la logique floue (*fuzzy logic*) ? La science s'appuie sur la notion de mesure.

Mais, comment représenter les valeurs non mesurables ? Comment représenter ce qui incertaines ? Comment représenter les termes de langage humain ? Les descriptions linguistiques d'un système sont souvent vagues. Mais le flou n'est pas imprécis. Si une donnée n'est pas connue précisément, elle peut être exprimée par un intervalle de confiance précis. Cet intervalle est un ensemble de leurs possibles pour la donnée.

En raison d'une large utilisation de la logique floue dans plusieurs applications peuvent être résumées comme suit :

- a) l'incorporation directe des informations floues et linguistiques, provenant d'un expert humain, dans le système flou.
- b) la logique flou est une approche à modèle libre, c'est à dire, elle ne nécessite pas un modèle mathématique du système.
- c) la logique floue est facile à comprendre par ceux qui ne sont pas des spécialistes, car elle limite la stratégie du raisonnement humain[15] .

### II.4 Ensembles flous

Dans la théorie des ensembles classiques, la fonction d'appartenance  $\mu_F(x)$  est définie comme suit :

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in F \\ 0 & \text{si } x \notin F \end{cases}$$

Cette définition signifie que l'élément  $x$  a deux possibilités : est un élément de  $F$  si  $\mu_F(x) = 1$ , et non si  $\mu_F(x) = 0$ . donc l'ensemble classique est un ensemble dans le quelle l'appartenance



## Chapitre II : Intelligence artificielle

est brusque. Cependant, dans plusieurs classifications il n'est pas claire qu'un élément  $x$  appartient à un ensemble  $F$  ou non, par exemple,  $F$  représente les PCs trop cher pour le budget des étudiants, le prix de PC est fixé au 2500\$, mais les bornes de cet ensemble ne sont pas bien définies, que ce qu'on peut dire sur les PCs de prix 2495\$ et 2502\$? Ces deux PCs sont trop chers ou non? Il claire qu'on doit déterminer la limite au-dessus de quelle le prix de PC est trop cher pour le budget moyenne de l'étudiant. Dans cet intervalle, une classification graduelle doit être utilisée pour les prix partiellement trop cher. Cette classification est *l'ensemble flou* dans le quel l'appartenance est graduelle dans l'intervalle[0,1].

L'ensemble flou, a été introduit par Zadah en 1965, est un ensemble dans le quel l'appartenance est graduelle mais non brusque dans l'intervalle :  $\mu_F(x) \in [0,1]$   
L'ensemble fou  $F$ , est un sous ensemble de  $U$ , défini par l'ensemble des paires ordonnées :  
 $F = \{ (u, \mu_F(u)) / u \in U \}$

Ou  $\mu_F(u)$  : est une fonction qui prend des valeurs comprises entre 0 et 1, appelée la *fonction d'appartenance*. Elle caractérise l'ensemble flou  $F$  et fournit une mesure du degré d'appartenance d'un objet  $u$  de  $U$  dans  $F$ . [15]

$U$  est appelé *l'univers de discours*, il peut contenir des valeurs discrètes ou continues  
Généralement,  $F$  s'écrit sous la forme :

$$F = \int \mu_F(u) / u \text{ Si } U \text{ est continu}$$
$$F = \sum \mu_F(u) / u \text{ Si } U \text{ est discret}$$

Un simple exemple d'un ensemble flou qui représente les PCs cher pour le budget de l'étudiant comme le montre la figure (II.1).

On peut observer que le prix de PC au-dessus de 1000\$ sont certainement non trop cher, et les prix de PC au-dessus de 2500\$ sont entièrement classifiés comme des prix trop cher. Les prix entre les deux, on peut observer une augmentation de degré d'appartenance dans l'ensemble trop cher.

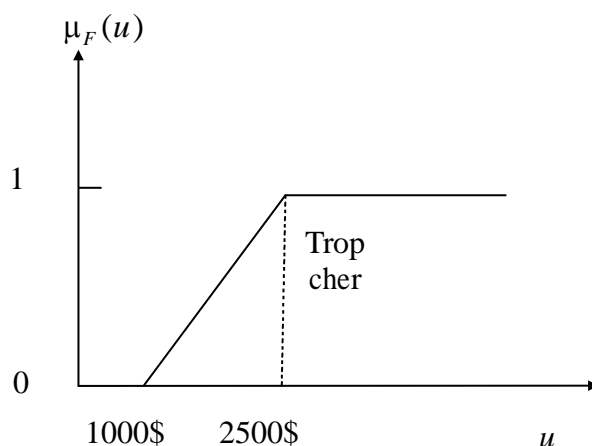


Figure II.1. La fonction d'appartenance d'ensemble flou qui représente les prix des PCs trop cher pour le budget des étudiants

## II.5 Opérateur flou

Dans la théorie des ensembles classiques, on utilise différentes opérations tel que compliment, union, intersection. Les mêmes opérations sont également définies dans la théorie des ensembles flous. Comme donc, la valeur de la fonction d'appartenance ne sont pas limiter au valeur  $\{0,1\}$  mais peut prendre n'importe valeur de l'intervalle  $[0,1]$ . Ces opérations ne peuvent pas être définies de la même manière que celles dans les ensembles classiques. Dans ce qui suit va expliquer ces opérations.

Soient A, B et C des ensembles flous dans U décrits par leurs fonctions d'appartenances

$\mu_A(u)$ ,  $\mu_B(u)$ ,  $\mu_C(u)$  respectivement

L'union de A et B, noté par  $A \cup B$ , est définie par :

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

L'intersection de A et B, noté par  $A \cap B$ , est définie par :

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

Le complément de A, noté par  $\bar{A}$ , définies par :

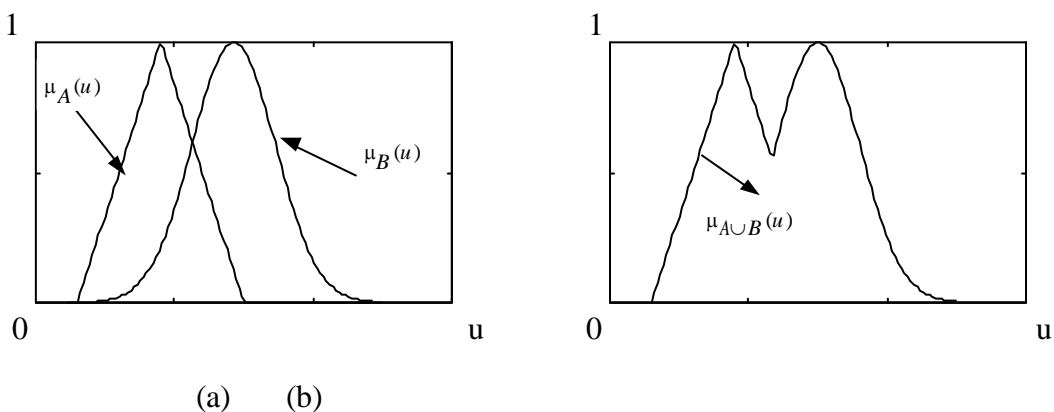
$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u)$$

Des exemples très simples sur les opérations sont représentés sur la figure II.2.

Le produit cartésien de A, B, et C, noté  $A \times B \times C$ , et définie par :

$$\mu_{A \times B \times C}(u_1, u_2, u_3) = \min[\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u)]$$

Ces définitions préservent plusieurs propriétés des ensembles classiques, par exemples, l'intersection est commutative :  $\mu_{A \cap B}(u) = \mu_{B \cap A}(u)$  . Mais, l'existence de la contradiction est propriété principale de la théorie des ensembles flous[15]



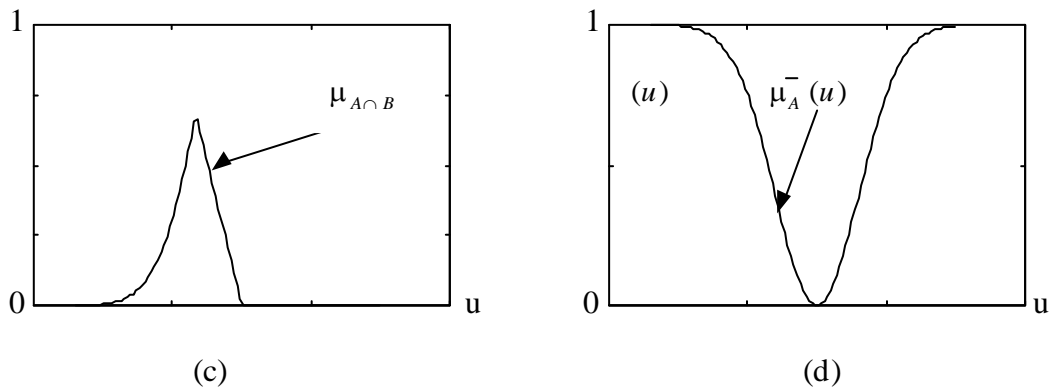


Figure II.2 Les fonctions d'appartenance des ensembles flous :

(a) A et B, (b)  $A \cup B$ , (c)  $A \cap B$ , (d)  $\bar{A}$

Cela veut dire qu'on rejette la règle Aristotelienne de la non-contradiction et de tiers exclus afin d'admettre les nuances du langage humain  $\mu_{F \cap F}$  n'est pas l'application nulle, et  $\mu_{F \cup F}$  n'est l'application unité.

Dans le langage humain, on utilise très souvent les opérateurs linguistiques comme : *très, près de, presque, plus ou moins, etc.* ces opérateurs s'appellent les modificateurs des ensembles flous. La définition de ces opérateurs est subjective, ce qui donne comme résultat une infinité d'opérateurs proposés par différents auteurs. Les opérateurs les plus utilisés sont la *concentration* et la *dilatation*.

La *concentration* de A, notée  $\text{con}(A)$ , est définie par:

$$\mu_{\text{con}(A)}(u) = \mu_A^2(u)$$

la *dilatation* de A, notée par  $\text{dil}(A)$ , est définie par :

$$\mu_{\text{dil}(A)}(u) = \sqrt{\mu_A(u)}$$

### II.6 Règle flou

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 [15].

### II.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 [18].

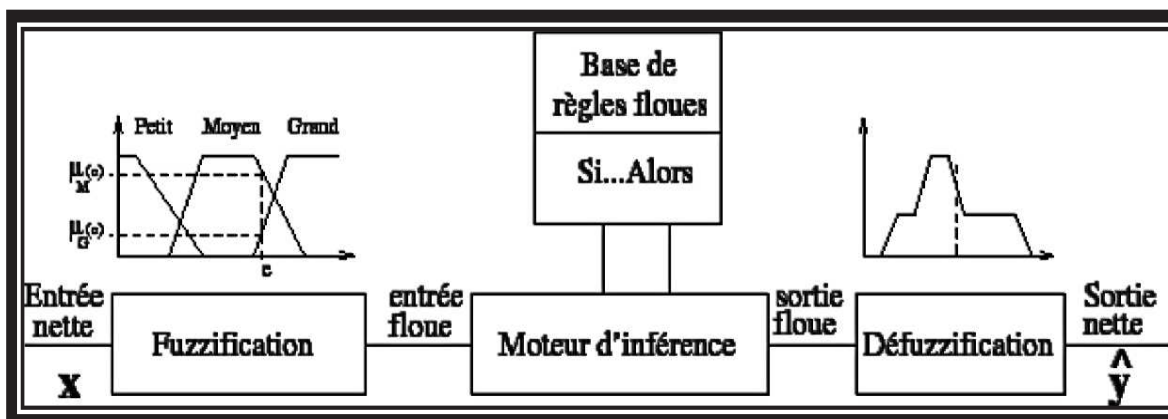


Figure II.3 : Un système d'inférence floue

#### 2.7.1 La fuzzification

La fuzzification est le premier traitement qui entre en compte dans la structure d'un système flou. Elle consiste à donner un degré d'appartenance à une valeur réelle d'entrée en fonction des ensembles flous. Dans un système flou, il faut rendre flous (fuzzifier) les entrées et les sorties du système. Pour le système flou, la fuzzification des variables est une étape importante du processus de mise en œuvre. Les caractéristiques de cette étape sont habituellement déterminées par des experts ou des opérateurs qualifiés travaillant sur le processus et recourant le plus souvent à leurs connaissances. De plus, les performances du système flou seront influencées par la fuzzification. Les étapes de la fuzzification consistent à :

## Chapitre II : Intelligence artificielle

---

1. Etablir les variables linguistiques;
2. Établir les quantificateurs flous (nombre de valeurs linguistiques);
3. Attribuer une signification numérique à chaque quantificateur flou : fonction d'appartenance [19]

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"

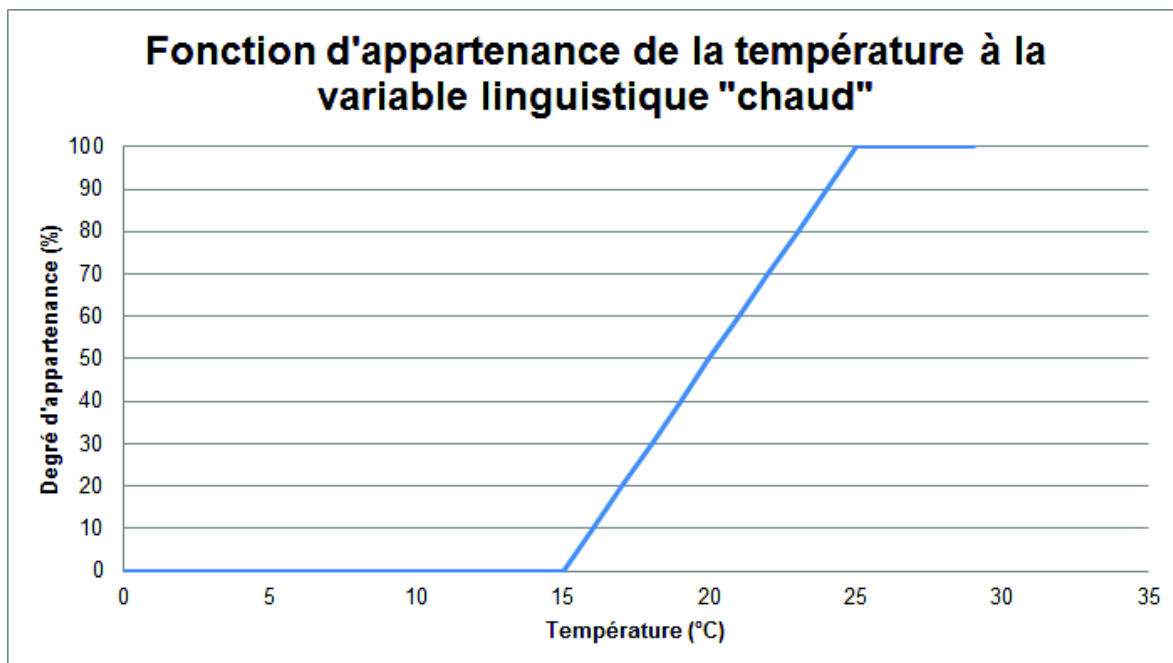


Figure II.4 : degré d'appartenance du sous-ensemble floue «chaud»

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

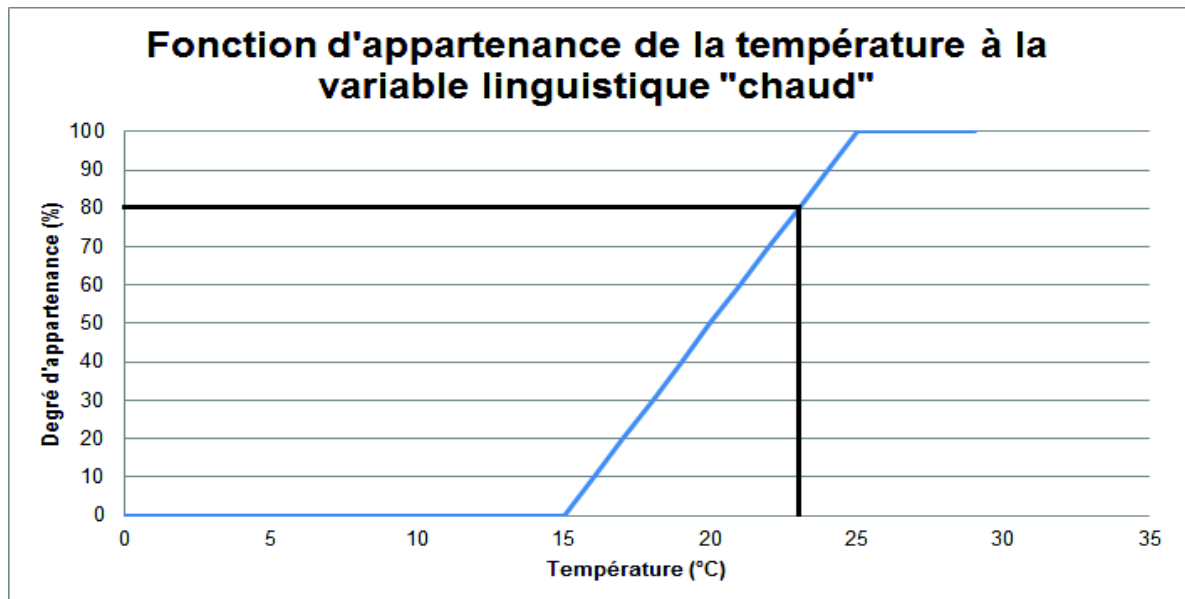


Figure II.5 : fonction d'appartenance pour une température de 23°  
degré.

Bien évidemment, nous pouvons 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 [19].

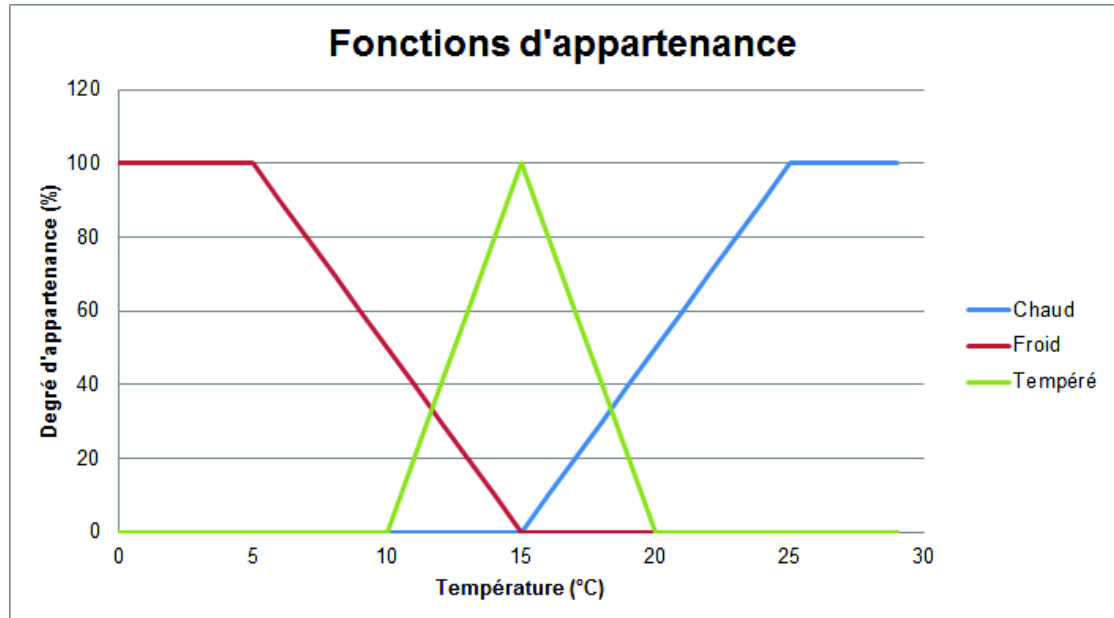


Figure II.6 : Fonction d'appartenance des sous-ensembles « chaud-froid-tempéré ».

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

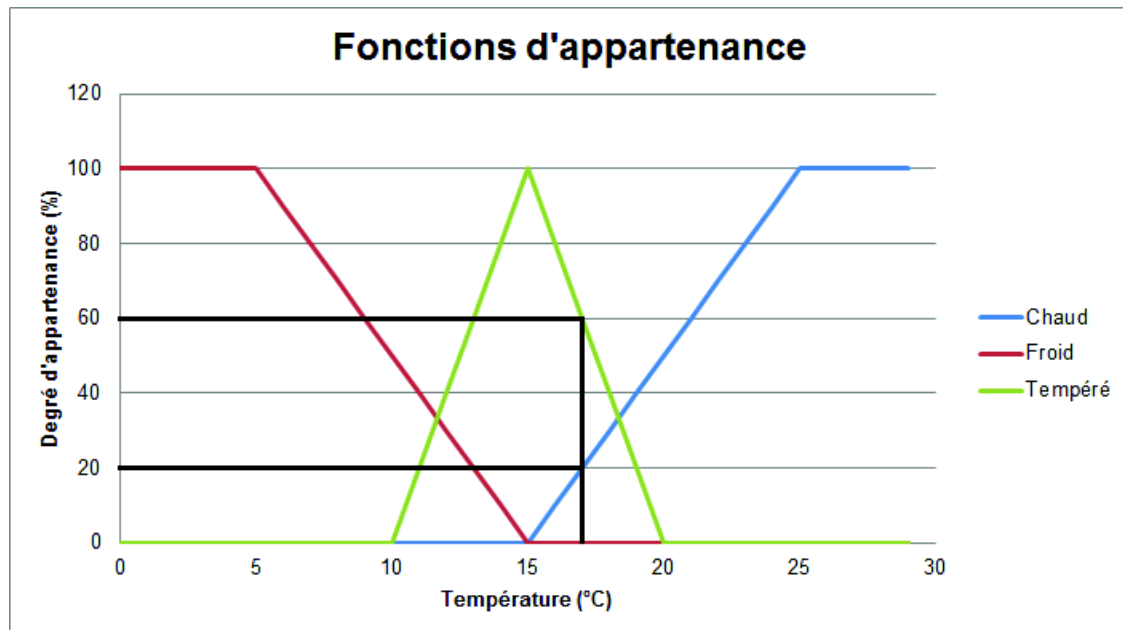


Figure II.7 : fonction d'appartenance pour une température de 17° dégré.

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[19].

### II.7.2 Le moteur d'inférence

Consiste à utiliser le moteur d'inférence, qui est un mécanisme permettant de condenser l'information d'un système à travers d'un ensemble de règles définies pour la représentation d'un problème quelconque. Chaque règle délivre une conclusion partielle qui est ensuite agrégée aux autres règles pour fournir une conclusion (agrégation). Les règles constituent le système d'inférence floue, dans la suite de ce chapitre nous donnons une description de règles floue dans un cadre plus formel

### II.7.3 La défuzzification

La dernière étape, mais non la moindre, est la défuzzification. Le système d'inférence fournit une sortie floue par l'évaluation des règles à la suite d'une ou plusieurs entrées réelles. Se pose alors le problème de lui donner une représentation floue approximative ou une valeur précise, c'est la défuzzification. La défuzzification est généralement l'une des tâches les plus gourmandes en temps d'opération du traitement flou. Il existe de nombreuses méthodes de défuzzification, mais seulement quatre sont pratiquées. Les méthodes les plus couramment utilisées sont : [19]

## Chapitre II : Intelligence artificielle

- la méthode de la moyenne des maximas MM
- la méthode du centre de gravité

### la méthode de la moyenne des maximas MM

La défuzzification MM définit la sortie (d'écision du montant du pourboire) comme étant la moyenne des abscisses des maxima de l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions.

$$\text{Décision} = \frac{\int_S y \cdot dy}{\int_S dy}$$
  
où  $S = \{y_m \in R, \mu(y_m) = \text{SUP}_{y \in R}(\mu(y))\}$   
et R est l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions. [20]

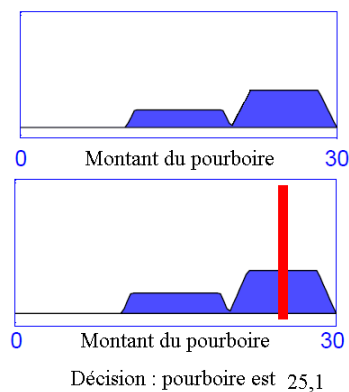


Figure II.8: Défuzzification avec la méthode moyenne des maxima (MM)

### Méthode du centre de gravité COG

La défuzzification COG est plus couramment utilisée. Elle définit la sortie comme correspondant à l'abscisse du centre de gravité de la surface de la fonction d'appartenance caractérisant l'ensemble flou issu de l'agrégation des conclusions. [20]

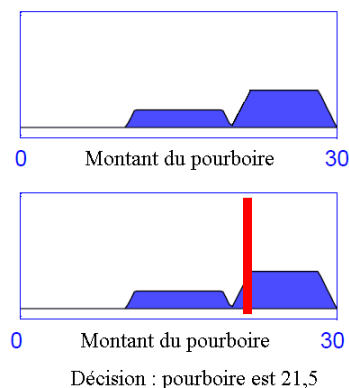


Figure II.9: Défuzzification avec la méthode centre de gravité (COG)

Cette définition permet d'éviter les discontinuités qui pouvaient apparaître dans la défuzzification MM, mais est plus complexe et demande des calculs plus importants. Certains travaux tel [Madau D., 1996] cherchent à améliorer les performances en cherchant d'autres méthodes aussi efficaces mais avec une complexité algorithmique moindre. Comme nous le voyons sur les 2 figures montrant les méthodes de défuzzification MM et



COG appliqué à notre exemple, le choix de cette méthode a un effet important sur la décision finale

### **II.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'appartenance, 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 III**

## **Résultats et interprétations**

### III.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.

### III.2 Choix d'un logiciel de simulation

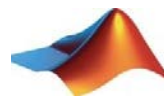
L'optimisation des paramètres radio pour les systèmes de communications représente une tâche complexe où des outils de simulation spécialisés doivent être utilisés.

Dans notre étude, sachant que nous nous intéressons aux systèmes cellulaires actuels qui fait parti 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].

### III.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

## Chapitre III : Résultats et interprétations

---

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
- 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 [21].

### III.4 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.

$$RSRPC > RSRPS + HOM.$$

La figure III.1 montre les étapes de décision d'un transfert intercellulaire, dans laquelle le processus d'inférence floue est l'élément clé de la décision du transfert, lorsque le RSRP

## Chapitre III : Résultats et interprétations

de la cellule cible et supérieur à celui de la cellule serveuse plus la marge , le processus d'inférence flou sera appelé avec cinq paramètres d'entrée, qui sont : RSRPC, RSRPS, la bande passante actuelle (LCs), la bande passante de l'eNodeB cible (LCc), et l'énergie de l'utilisateur (ER). La sortie du system d'inférence flou, sera envoyée immédiatement à l'eNodeB , ensuit ce dernier décide si y'aura un déplacement intercellulaire ou non.

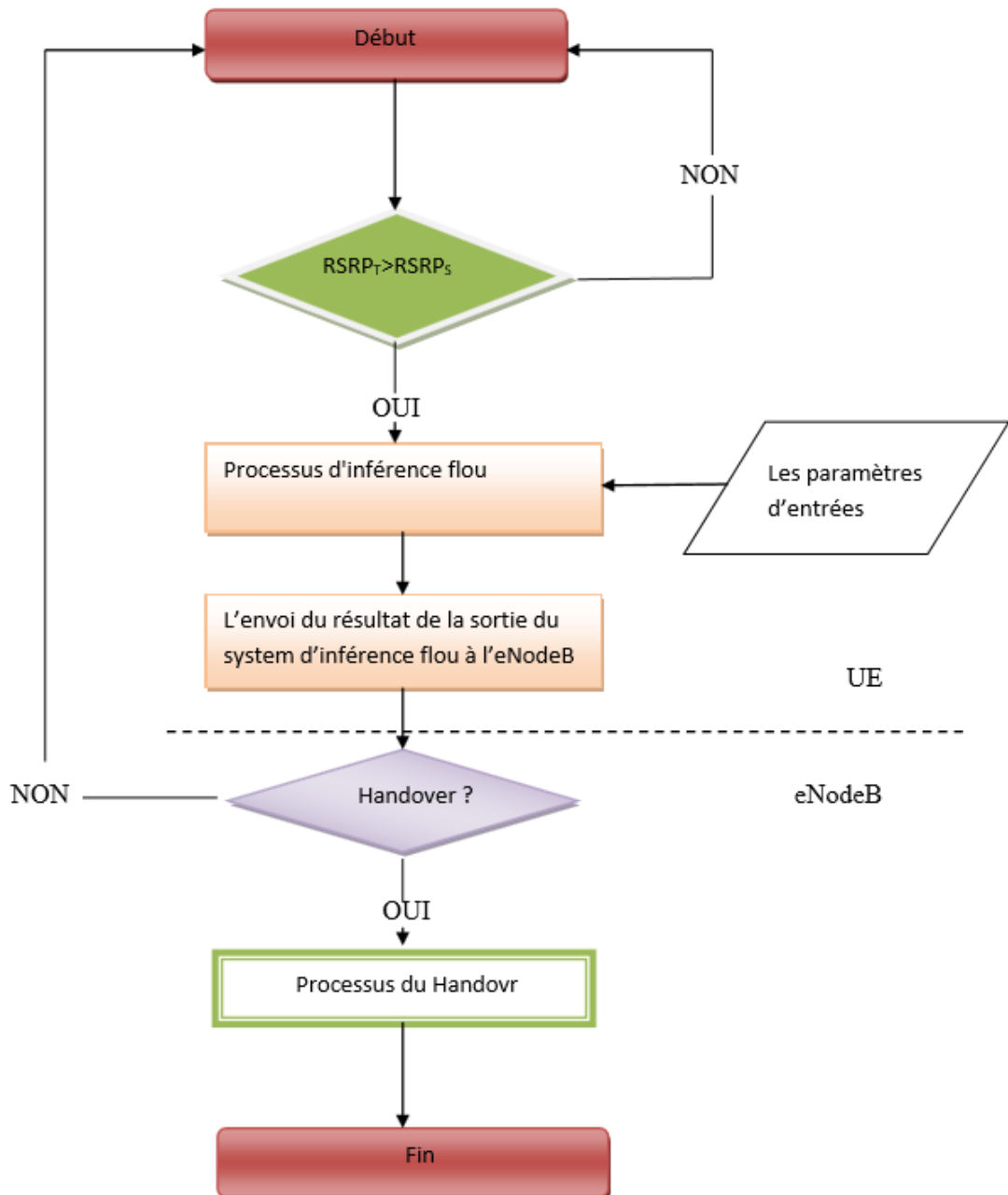


Figure III.1 : notre model pour la décision du HO

### III.5 Notre système d'inférence floue

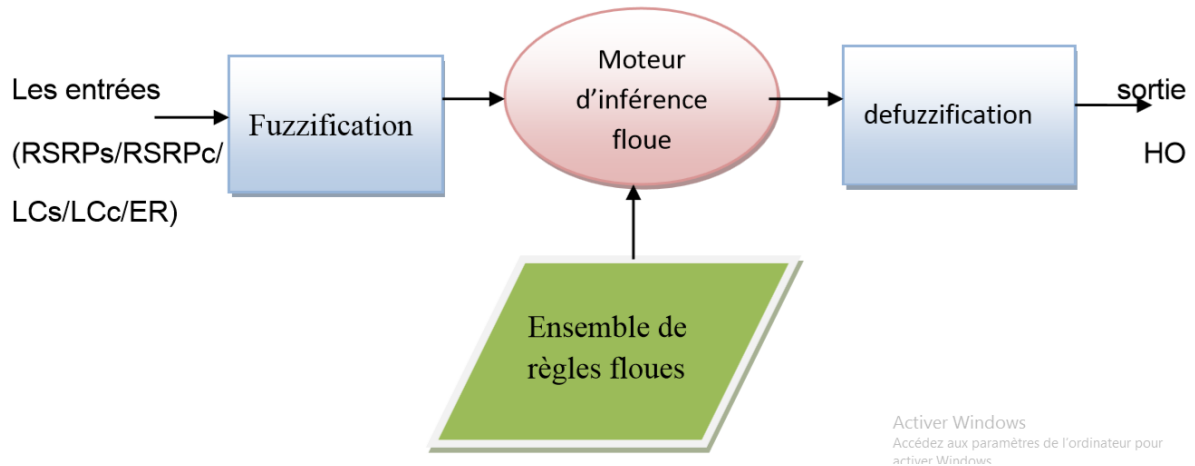


Figure III.2 processus d'inférence floue

la figure III.2 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.

### III.6 Ensemble des règles floues et le moteur d'inférence

L'ensemble de règle floue permet de donnée toutes les relations possible entre les fonctions d'appartenances des 5 paramètres d'entrées et la sortie, elles ont une forme de condition Si-Alors, puisque chaque paramètres 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	RSRPs	LCs	LCc	ER
mauvais	Mauvais	faible	élevé	faible
mauvais	Excellent	faible	faible	moyen
mauvais	Excellent	faible	moyen	moyen
bien	Excellent	moyen	élevé	élevé

Tableau III.1: 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 :

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

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

## Chapitre III : Résultats et interprétations

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

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.

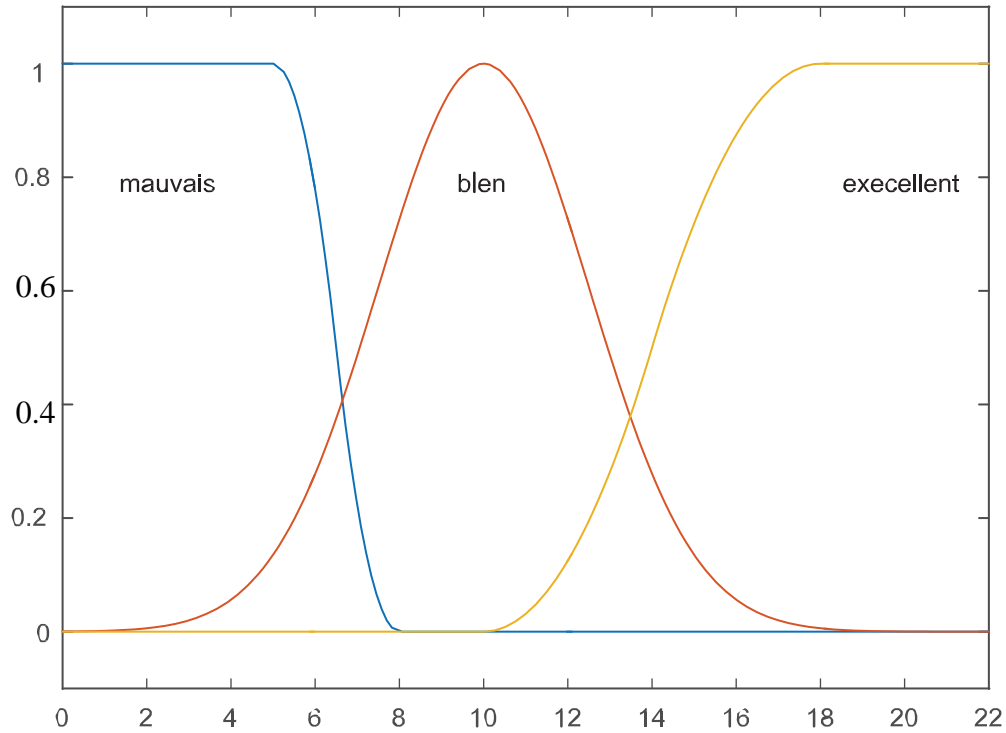


Figure III.4 : fonction d'appartenance des entrées RSRPs/RSRPe

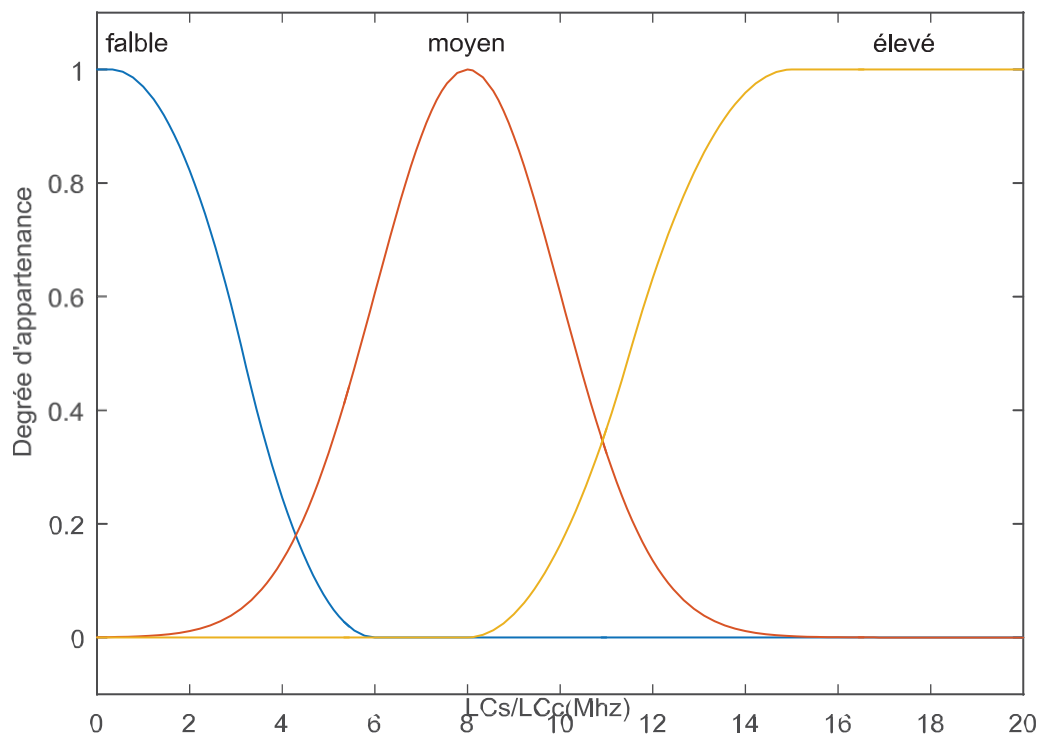


Figure III.5 : fonction d'appartenance des LCs/LCc.

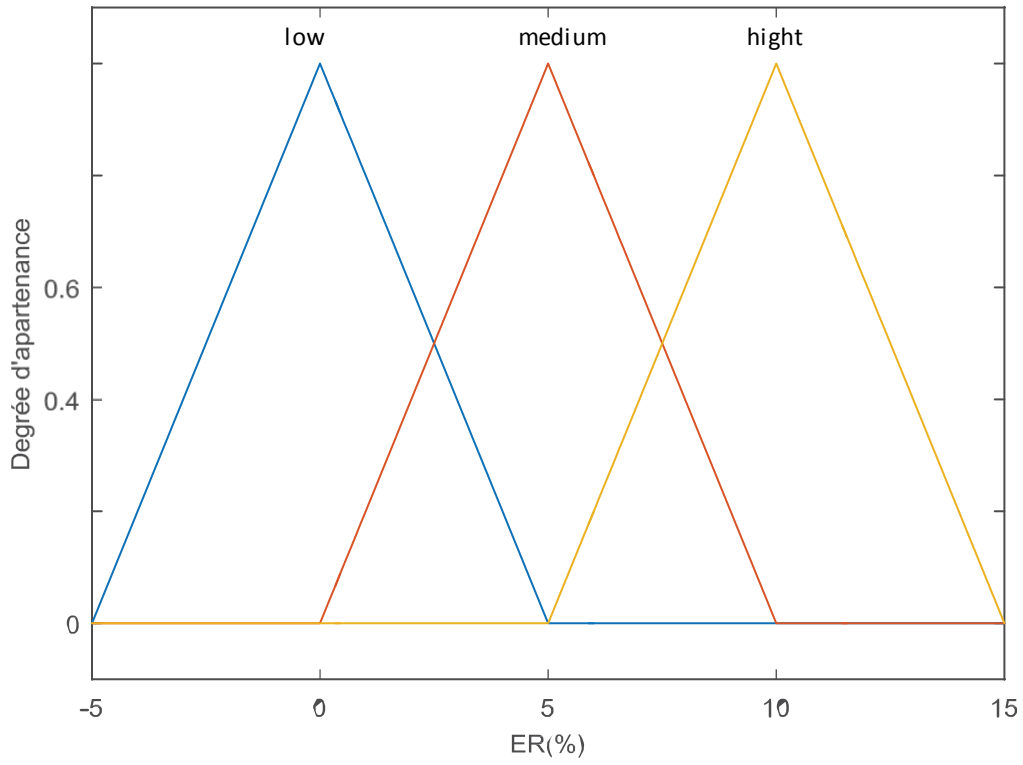


Figure III.6: fonction d'appartenance de l'ER.

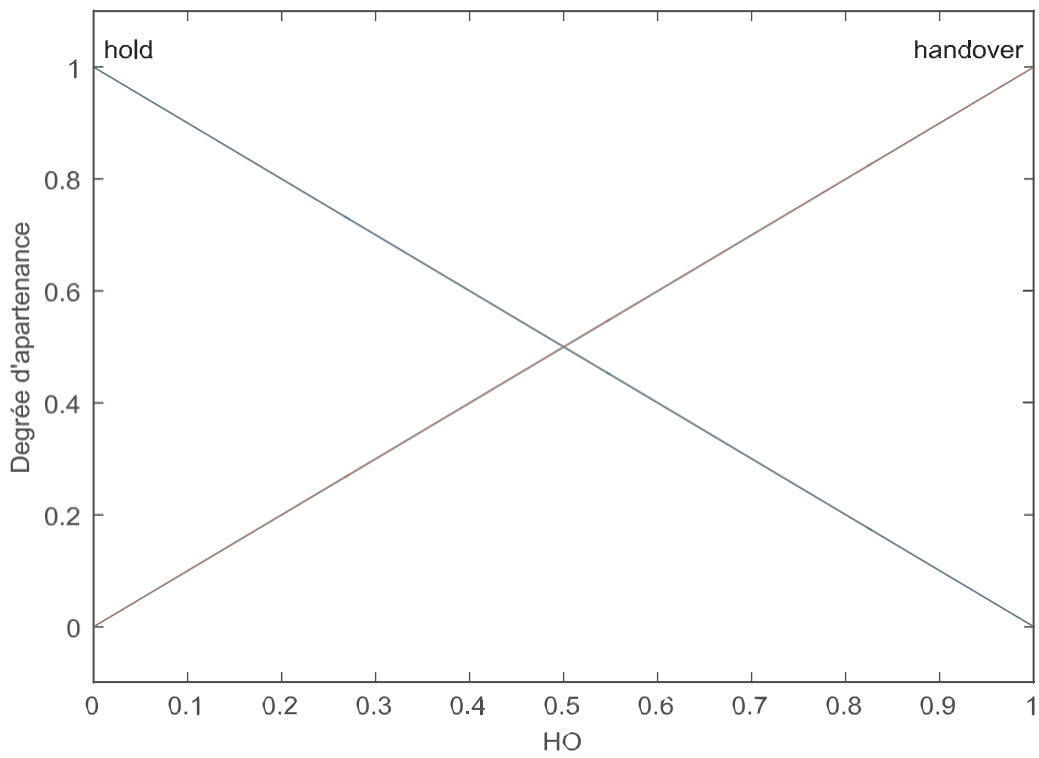


Figure III.7 : fonction d'appartenance de la sortie HO.



## Chapitre III : Résultats et interprétations

Les figures III.4 III.5 III.6 et III.7 montrent respectivement les degrés d'appartenance 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'appartenance des figures III.4 et III.5 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 tel que la forme gbel et trapèze mais tout dépend du scénario que nous voulons schématisé .

### III.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.

### III.8 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	18 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 III.1 : paramètres de simulation

## III.9 Résultat de simulation

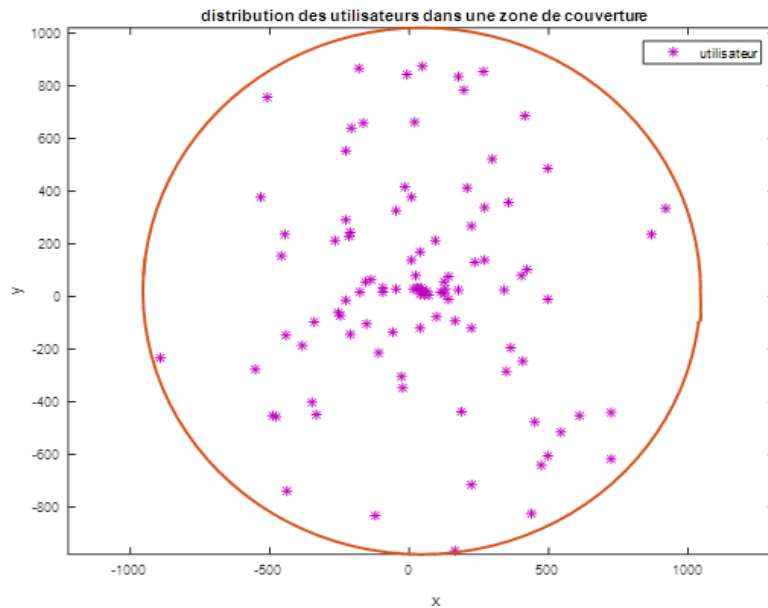


Figure III.8 : distribution des utilisateurs dans la cellule.

La figure III.8 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.

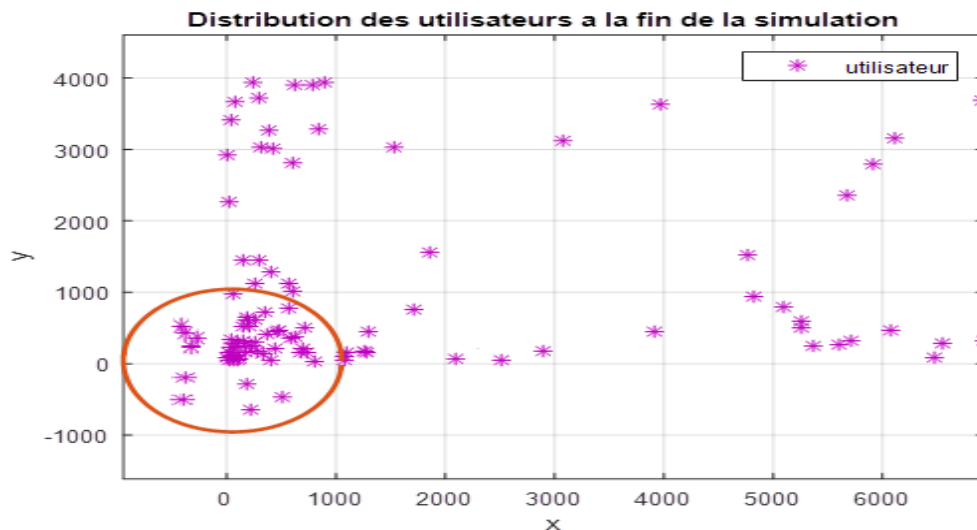


Figure III.9 : distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour  $v=1.8$  km/h.

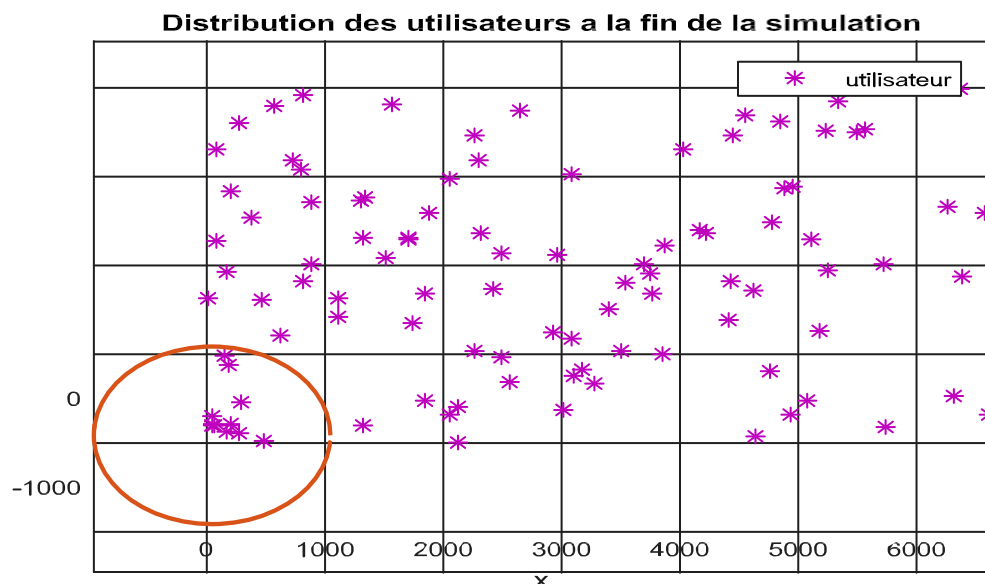


Figure III.10: distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour  $v=60$  km/h.

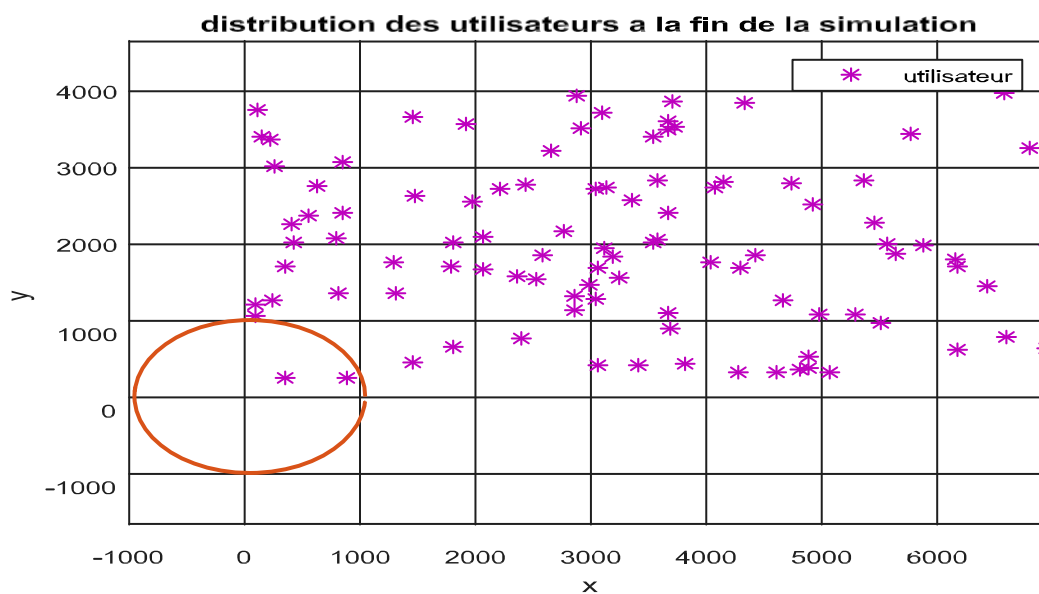


Figure III.11: distribution des utilisateurs à La fin de la simulation pour  $v=300$  km/h.

La figure III.9 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 III.9.

- Pour le cas d'un utilisateur mobile en voiture avec une vitesse de 60 Km/h, comme le montre, la figure III.10, 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 qu'ils sont prêts de faire un déplacement intercellulaire vers l'extérieur.

## Chapitre III : Résultats et interprétations

- 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 III.11 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.

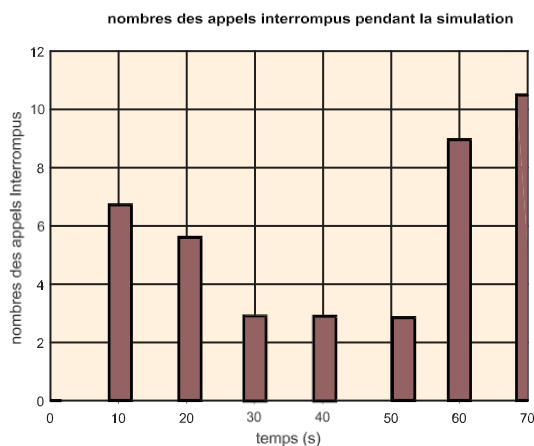


Figure III.12 : nombre des appels interrompus pour  $v=1.8$ km/h

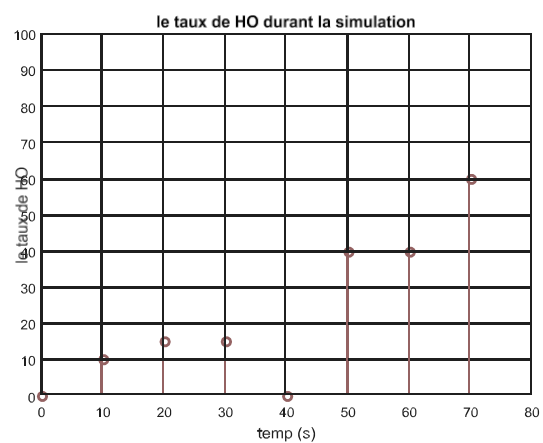


Figure III.13 : nombre des HO pour  $v=1.8$  Km/h.

- Les figures III.12 et III.13 montrent respectivement le nombre des appels interrompus et le nombre de HO issus en fonction du temps de la simulation, a 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'orienter 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 FigIII.3) 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...

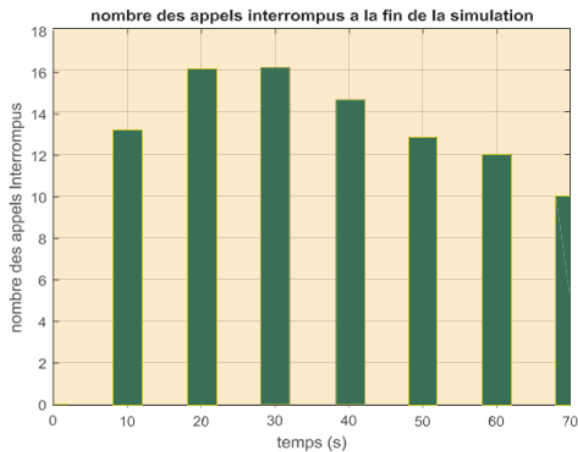


Figure III.14 : nombre des appels interrompus pour  $v=60$  km/h.

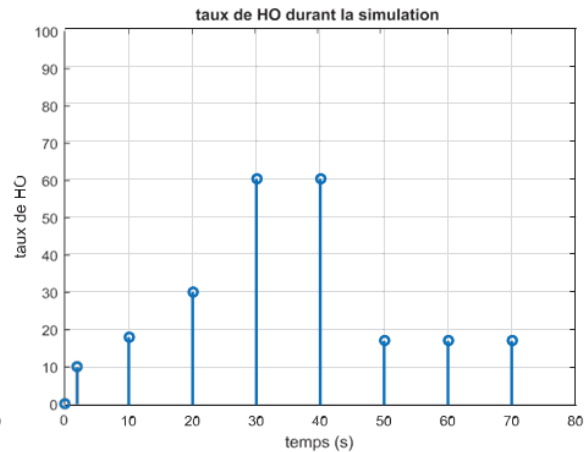


Figure III.15 : nombre des HO pour  $v=60$  Km/h

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

Dans la figure III.14, 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 III.15) 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 comparaisons entre le nombre des appels interrompus à  $t=10$ s pour les deux vitesse  $v=1.8$  km/h et  $v=60$  km/h ,nous déduisons que pour la vitesse 60km/h le taux des appels interrompus connait une augmentation légère par rapport a la vitesse d'un piétons 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 serveuse vers d'autre cellule voisines rapidement.

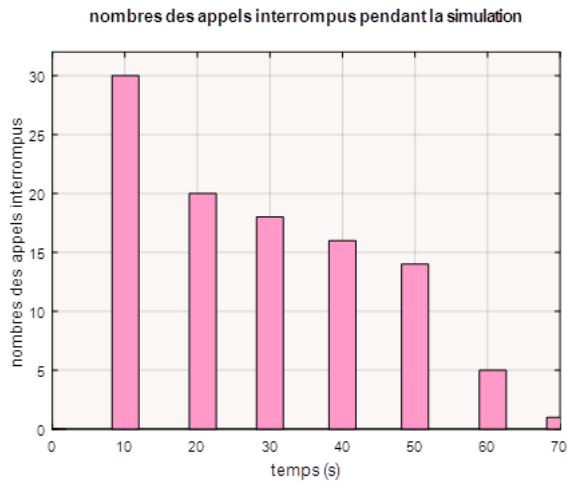


Figure III.16 : nombre des appels interrompus pour  $v=300$  km/h.

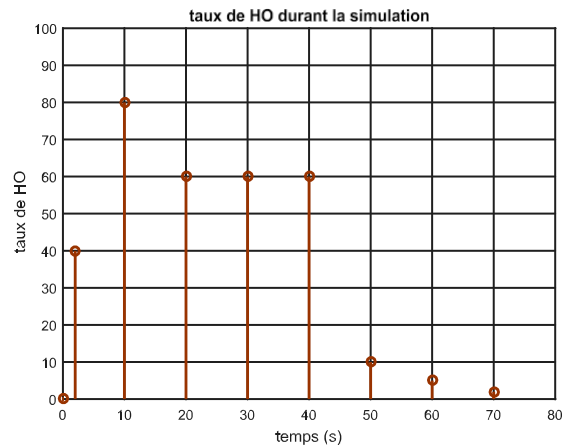


Figure III.17 : nombre des HO pour  $v=300$  Km/h.

- 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 appel interrompus est 7,12,30 pour les vitesse respectivement 1.8 km/h,60 km/h,300 km/h ce qui veut dire que le nombre des appels interrompus est proportionnelle a 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 tout les effets indésirable dans les réseaux mobiles comme étant les ruptures des appels, et ce qui est notre objectif principal dans la partie suivante.

### III.10 Résultat 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 ,grace a cette méthode ils ont pu faire la réduction de l'effet de ping pong et le HO avec un pourcentage de 68%,a 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%
<b>Notre méthode (2016)</b>	71.12%

Tableau III.3 : Les différents résultats.

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 quelque 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.

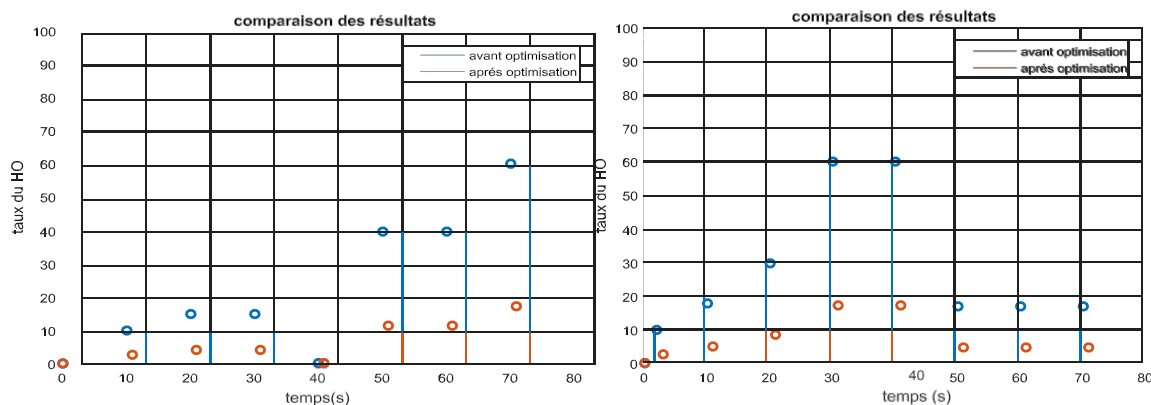


Figure III.18 : taux de HO avant et après l'optimisation pour  $v=1.8\text{Km/h}$     Figure III.19 : taux de HO avant et après l'optimisation pour  $v=60\text{Km/h}$

## Chapitre III : Résultats et interprétations

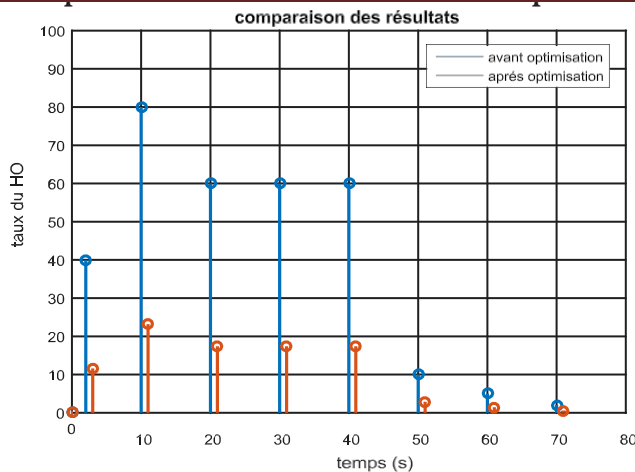


Figure III.20 : taux de HO avant et après l'optimisation pour  $v=300\text{Km/h}$

Nous constatons dans les figures III.18, III.19, et III.20 une diminution considérable dans le taux de HO quelque soit pour les grandes vitesses ( $v=300\text{ km/h}$ ) ou bien les petites vitesses ( $v=1.8\text{ km/h}$ ).

Cette réduction dans le taux de HO montre l'impact positif de l'intelligence artificielle dans les réseaux mobile. 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.

### III.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu intégrer la deuxième et la troisième couche du model 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, où nous avons approfondi dans tous les travaux qui ont été faits depuis l'apparition de ce réseau jusqu'à maintenant pour sortir avec une connaissance potentielle faite pendant notre travail nous avons essayé de combler plusieurs points et solutionné les problèmes engendrés lors du déplacement des UEs d'une zone à une autre, notre réseau a été doté par l'intelligence artificielle pour lui aider à prendre une décision convenable s'il s'agit vraiment d'un handover ou non.

Ce mémoire de fin d'étude nous a permis d'exploiter 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.

## Référence :

- [1] : 2G,3G quelle différence ? ,document PDF,2013.
- [2] : TONYE.E et EWOUSSAOUA.L, « Planification Et ingénierie Des Réseau De Télécoms », mémoire pro 2 de télécommunication, Université de Yaounde I, 2011
- [3] : GHASSEN.A.A, MAHAMOD.I et KASMIRAN.J, “Modeling and Performance Evaluation of LTE Networks with Different TCP Variants”, Académie mondiale des sciences,2011.
- [4] : Eya Jammazi, « optimisation d’un réseau pilote 4G pour tunisie télécom », Mémoire de projet de fin d’étude 2003
- [5] : URDAREANU.A, « Réseau de 4<sup>ème</sup> Génération », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [6] : SEIDE.G, « Planification d’un réseau de quatrième génération à Partir D’un Réseau De Troisième Génération », Mémoire en vue de l’obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées (génie informatique), Université de MONTREAL, 2011.
- [7] : 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.
- [8] : Bouchentouf Hadjer,Boudghene Stambouli Riyad «Etude des performances des réseaux 4G (LTE) »,université de tlemcen,2013.
- [9] : Evolution\_Mobile\_Efort, «Evolution des Réseaux Mobiles Vers La 4G », Document PDF, 2014.
- [10] : YOES.H et ALWIS, « Evaluation des Performances Des Techniques D’Accès OFDMA et SC-FDMA Dans La Technologie LTE », Mémoire pour l’obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.
- [11] : « [http://sensitive-home.googlecode.com/svn/trunk/Documentation/modulation%20numérique %20QPSK.doc](http://sensitive-home.googlecode.com/svn/trunk/Documentation/modulation%20numérique%20QPSK.doc) », Date de consultation juin 2013.
- [12] : 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.
- [13] : X.Lagrange, «S4G support Global »,Institut Mines-Télécom,02/11/2015.
- [14] : BENZAADA«étude de mécanisme du HANDOVER du réseau UMTS », Institue de télécommunication soutenu juin 2009

- [15] : Gabriel cormier,"Logique Floue",université de Moncton,Document PDF
- [16] : Benchrif Farah Nezha,"évaluation du risqué d'accident vasculaire cérébrale à l'aide De la logique floue",Mémoire de fin d'études,Université de Tlmcen,24/06/2014
- [17] : F.chevrie,F.Guély,"Logique Floue",Cahier Technique Schneider n° 191,1998.
- [18] : L.A.Zadeh,"Is there a need for fuzzy logic?", Information Science,178(13):2751-2856,2008.
- [19] : Ferdinand piette, science et technique,,[Enligne].Adresse URL [www.ferdinandpiette.com](http://www.ferdinandpiette.com)
- [20] : Mémoire de FCS2-Raisonnement. la logique floue : entre raisonnement humain et intelligence artificielle
- [21] : Jean-daniel,Introduction à Matlab et GNU Octave,Adresse URL:[Http//www.enacit1.epfl.ch](http://www.enacit1.epfl.ch)