REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un Peuple – Un But – Une Foi

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE ET DE l'INNOVATION

UNIVERSITE GASTON BERGER DE SAINT-LOUIS

U.F.R DE SCIENCES APPLIQUEES ET DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE APPLIQUEE

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du

Master Ingénierie en Electronique et Télécommunications (MIETEL)

Sujet : Etude et intégration des solutions VoLTE dans les réseaux 4G

Présenté par :

M. Mouhamadou L. NIANG

Sous la direction de :

Dr. Chérif DIALLO

Jury :

Président : M.

Examinateur : M.

Examinateur : M.

Encadrant : M. Chérif DIALLO

Année Universitaire 2020-2021

☆ Remerciements ☆



Mes remerciements sont adressés :

A Dieu, le tout puissant pour m'avoir donné la santé, les conditions nécessaires pour accomplir ce travail et nous avoir permis de le mener à bien

A mon encadrant pour le soutien apporté tout au long de cette épreuve qui m'a beaucoup aidé à arriver à son terme.

A tous les professeurs de l'UFR SAT qui m'ont eu durant mon parcours à l'UGB.

A tous mes camarades de classes qui ont activement participer à notre épanouissement, persévérence ainsi que notre esprit d'équipe.

☆ Dédicaces ☆

Je dédie ce travail

A mes très chers et respectueux parents qui m'ont donné une bonne éducation et n'ont ménagé aucun effort pour m'accompagner dans toute épreuve.

En témoignage de tous les sacrifices que vous avez fait pour ma modeste vie et de vos affections immenses et profondes placées à mon égard, je vous offre ce travail avec beaucoup de plaisir, Que le tout puissant vous protège et vous accorde longévité, santé, bonheur et que vous puissiez assister à toute nos réussites.

A mes tantes et oncles

A mes sœurs

A mes frères

A mes amis

A mes proches et

A mes voisins

Sigles et abréviations

AAA (Authentication, Authorization, Accounting)

aSRVCC (alert SRVCC)

AS (Application Server)

ATCF (Access Transfer Control Function)

ATGW (Access Transfer GateWay)

AuC (Authentification centre)

BSC (Base station Controller)

BSS (Base station Sub-System)

BTS (Base tranceiver station)

CDMA (Code Divition Mutiple Access)

CP (Cyclic Prefix)

CSCF (Call session control Function)

CSFB (Circuit Switched Fall Back)

DNS (Domain Name System)

E-CSCF (Emergency-CSCF)

e-r-vSRVCC (Enhanced-Reverse-Video SRVCC)

E-UTRAN (Evolved-UTRAN)

EIR (Equipment Identity Register)

EPC (Evolved Packet Core)

EPS (Evolved Packet system)

ETSI (European Telecommunication Standard Institute)

FDD (Frequency Division Duplexing)

FFT (Fast Fourrier Transform)

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

FHoSS (FOKUS Home Subscriber Server)

GGSN (Gateway GPRS Support Node)

GMSC (Gateway mobile service Switching center)

GPRS (General Packet Radio Services)

GSM (Global système mobile communications)

GUTI (Globally Unique Temporary Identity)

HLR (HOME location Register**)**

HSxPA (High Speed Uplink/Downlink Packet Access)

HSS (Home Subscriber Server)

I-CSCF (Interrogating-CSCF)

IMEI (International mobile équipement Identity)

IMPI (Private User Identity)

IMPU (Public User Identity)

IMS (IP Multimedia Subsystem)

IMSI (international mobile Subscriber Identity)

IP (Internet protocol)

ISUP (Integrated Services Digital Network User Part)

LTE (Long Term Evolution)

LTE-A (LTE-Advanced)

MAP (Mobile Application Part)

MIMO (Multiple Input Multiple Output)

MS (Station mobile)

MSC (Mobile-service Switching center)

NSS (Network Sub-System)

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OSI (Open Systems Interconnection)

OSS (Operation Sub-System)

P-CSCF (Proxy-CSCF)

PCRF (Policy and Charging Rules Function)

PCU (Packet control unit)

PDN (Packet Data Network)

PLMN (Public land mobile Network)

PS (Packet Switched)

PSTN (Public Switched Telephone Network)

QoS (Quality of Service)

RAB (Radio Access Bearer)

RNC (Radio Network Controller)

RRC (Radio Resource Control)

RSRP (Reference Signal Received Power)

RSRQ (Reference Signal Received Quality)

RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RTP (Real Time Protocol)

S-CSCF (Serving-CSCF)

SAE (System Architecture Evolution)

SDP (Session Description Protocol)

SER (SIP Express Router)

SGSN (Serving GPRS Support Node)

SGW (Serving Gateway)

SIM (Subscriber Identifie module)

SIP (Session Initial Protocol)

SLF (Subscription Locator Functional)

SMS (Short Message Service)

SRVCC (Single Radio Call Control Continuity)

SS7 (System Sémaphore n°7)

TDD (Time Division Duplexing)

TDMA (Time Division Multiple Access)

UA (User Agent)

UIT (Union Internationale des Télécommunications)

UMTS (Universal mobile telecommunication system)

URI (Uniform Resource Identifier)

USIM (UMTS Subscriber Identity Module)

USSD (Unrestricted Supplementary Service Data)

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)

VLR (visitor location Register)

VoLTE (Voice over LTE via IP Multimedia Subsystem)

VSF-OFCDM (Variable Spreading Factor - Orthogonal Frequency and Code Division multiplexing)

WWAN (Wireless Wide Access Ne

Liste des figures

Figure 1:Architecture générale simplifiée des réseaux mobiles 7

Figure 2: Différentes tailles de cellules radio mobile 9

Figure 3: Motifs et distance de réutilisation..... 10

Figure 4: Liaison Mobile Station – Antenne émettrice..... 11

Figure 5: GSM 900 et DCS 1800 :Uplink et Downlink..... 12

Figure 6 : Ecart duplex de GSM 900 et DCS 1800..... 12

Figure 7 : Architecture réseau de la norme GSM[2]..... 15

Figure 8 : Les sous-systèmes du réseau GSM [4]..... 16

Figure 9 : Architecture protocolaire de la norme GSM [5]..... 18

Figure 10 : Architecture réseau de la norme GPRS[9] 21

Figure 11 : Architecture réseau de la norme UMTS[11] 25

Figure 12 : Architecture du système EPS[15]..... 35

Figure 13 : Architecture d'Evolved Packet System EPS 36

Figure 14 : Le graphe des états de l'UE [22] 37

Figure 15 : Le modulateur OFDM 45

Figure 16 : Nombre de sous porteuses par CC (Carrier Component)..... 46

Figure 17 : Espacement entre sous porteuses OFDM 46

Figure 18 : Codage radio FDMA et SC-FDMA 47

Figure 19 : Différentes techniques de modulation utilisées en LTE..... 48

Figure 20 : Répartition des voies montante et descendante des modes FDD et TDD 48

Figure 21 : Structure de trame en FDD et FDD half duplex..... 49

Figure 22 : Structure de trame en TDD..... 50

Figure 23 : Deux types de time slot suivant les deux tailles du CP d'un symbole OFDM..... 50

Figure 24 : Bloc de ressources (PRB) et élément de ressource (RE).....51
Figure 25 : Solution CSFB [23].....56
Figure 26 : Architecture LTE/IMS [22].....57
Figure 27 : Solution de VoLTE[24].....58
Figure 28 : Architecture de l'IMS [25].....60
Figure 29 : Eléments fonctionnels du réseau IMS [26].....62
Figure 30 : Modèle protocolaire [19].....67
Figure 31 : Création d'un dédicated bearer pour la VolLTE[28].....68
Figure 32 : Etapes d'enregistrement d'un terminal dans un réseau IMS [27].....70
Figure 33 : Mise en communication de deux terminaux IMS [27].....72
Figure 34 : La solution SRVCC.....74
Figure 35 : SRVCC Call Fow.....76
Figure 36 : L'évolution eSRVCC.....77
Figure 37 : Architecture d'OpenIMSCore [29].....80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les interfaces du coté NSS [4].....19
Tableau 2 : Le nombre de bloc de ressources par porteuse.....51

Table des matières

Remerciements 3
Dédicaces 4
Sigles et abréviations 5
Liste des figures 7
Liste des tableaux 8
INTRODUCTION GENERALE 12
Chapitre I : Etude des générations de réseaux mobiles pré LTE 4
I. Généralités des réseaux mobiles 5
I.1. Définition 5
I.2. Les défis majeurs des réseaux cellulaires 5
I.3. Architecture générale des réseaux cellulaires [9] 6
I.4. Le concept cellulaire 7
I.5. Architecture cellulaire 9
I.6. Cluster et distance de réutilisation 9
I.7. Les aspects cummuns aux réseaux mobiles 10
II. La première génération des réseaux mobiles (1G) 13
III. La deuxième génération de réseaux mobiles (2G) 13
III.1. Architecture de GSM 15
III.2. Station Mobile (SM) 15
III.3. Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem) 16
III.4. Le sous-système d'acheminement NSS (Network SubSystem) 16
III.5. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation SubSystem) 17
III.6. Architecture protocolaire 17
III.7. Les interfaces du BSS 18
III.8. Pile de protocole du BSS 18
III.9. Les interfaces du coté NSS 19
III.10. Pile de protocole coté NSS 20
IV. Les réseaux GPRS (General packet Radio Ressource) : 2.5G 20
IV.1. Définition 20
IV.2. Architecture de GPRS 21

IV.3. Les composants de GPRS 21
V. Les réseaux EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) : 2.75G 22
VI. La troisième génération de réseaux mobiles (3G-UMTS) 23
VI.1. Historique 23
VI.2. Définition 24
VI.3. Objectifs 24
VI.4. Architecture du réseau UMTS 24
VI.5. Les fréquences de l'UMTS 26
VI.6. Les débits de l' UMTS 27
VI.7. Les domaines du réseau cœur de UMTS 27
VII. Vers la 4G 28
Conclusion 29
Chapitre II : Etude détaillée de la quatrième génération (4G) des réseaux mobiles 30
I. Présentation de la quatrième génération (4G) 31
I.1. Préambule 31
I.2. Historique 31
I.3. Définition 32
I.4. Les objectifs de la 4G 32
I.5. Les caractéristiques du réseau EPS (Evolved Packet System) 33
II. Architecture générale de la 4G 34
III. Les entités du réseau EPS [10] 36
III.1. L'équipement utilisateur UE 36
III.2. L'entité eNodeB 37
III.3. L'entité MME (Mobility Management Entity) 38
III.4. L'entité Serving Gateway (S-GW) 40
III.5. L'entité PDN GW (Packet Data network Gateway) 41
III.6. L'entité HSS (Home Subscriber Server) 42
III.7. Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function) 42
IV. L'interface air de LTE 43
IV.1. OFDM (OFDMA et SC-FDMA) 44
IV.2. Modulation et codage adaptatif 47
IV.3. Les modes de transmission en LTE 48
IV.4. Structure de trame LTE 49
IV.5. Bloc de ressource (RB) et élément de ressource (RE) 50
Conclusion 52

Chapitre III : Etude des solutions de VoLTE 53
I. Préambule 54
II. La solution de CSFB (Circuit Switched Fall-Back) 55
III. VoLTE et IMS 56
III.1. La voix sur LTE (VoLTE) 57
III.1.1. Définition de voLTE 58
III.1.2. Ses avantages de voLTE pour les opérateurs 59
III.1.3. Ses bénéfices de voLTE pour les usagers[25] 59
III.1.4. Les défis contraignants de voLTE [25] 59
III.2. La plateforme IMS (IP Multimedia Subsystem) 60
III.2.1. Définition 60
III.2.2. Services proposés 61
III.2.3. Architecture fonctionnelle en couche 61
III.2.4. Eléments fonctionnels 62
III.2.5. Les protocoles principaux de l'IMS 65
III.2.6. Le modèle protocolaire dans l'IMS 67
III.2.7. Gestion des communications en VoLTE 67
III.2.8. Profil d'un abonné IMS 69
III.2.9. Enregistrement d'un abonné IMS 69
III.2.10. Mise en relation de deux abonnés 71
IV. La solution de SRVCC (Single Radio Voice Call Countinuity) 73
Conclusion 77
Chapitre IV : Mise en place de la plateforme OpenIMSCore 78
I. Préambule 79
II. Choix de la plateforme IMS 79
III. OpenIMSCore 79
III.1. Présentation de la plateforme 79
III.2. Configurations requises 80
IV. Installation de la plateforme 81
V. Lancement de la plateforme 90
VI. Administration de FHoSS et configuration des comptes clients 93
VII. Paramêtrage des clients IMS et test des services déployés 97
Conclusion 101
Conclusion Générale 102
Références Bibliographiques 104

INTRODUCTION GENERALE

Durant le début des années 80, les premières applications technologiques de réseaux mobiles ont vu le jour en Europe appelées globalement les réseaux de première génération alors qu'elles étaient conçues pour répondre à un besoin unanime des clients de l'époque de pouvoir passer et recevoir des communications téléphoniques entre entités distantes de quelques dizaines de mètres à des centaines de kilomètres.

Dès leur mise en service, on se rendit rapidement compte que le nombre d'abonnement disponible était très limité et on ne prévoyait pas que les demandes des clients ne resteront pas figées, elles vont évoluer progressivement avec le nombre d'abonnés exponentiellement croissant et avec l'accentuation des opérateurs sur la diversité des services offerts pour proposer des services accessoires à ceux téléphoniques (SMS, USSD, MMS…). Il fut observé des mutations rapides des exigences à satisfaire du côté de l'opérateur pour prendre en charge plus d'usagers et maintenir ses derniers sous bonne couverture radio avec une capacité de trafic satisfaisante. Autant de facteurs contraignants sur la sécurité et la capacité de trafic réseau mobiles qui se sont conjugués dans le temps pour ne plus se suffire des services offerts de la première génération qui ne pouvait plus soutenir le nombre de demandes d'appels des abonnés s'y ajoutant une variété de services quasi-inexistant, ont encouragé sa révision pour donner accès à un plus haut débit de transmission, plus de qualité de service, plus de sécurité et des services offerts de plus en plus variés. Considérés comme des défis à relever sur les court et long termes, qu'ont motivé le lancement de plusieurs générations de réseaux mobiles qui se sont succédées au fil des années et qui ont progressivement amélioré l'expérience d'utilisation leurs usagers.

Dans le travail qui suit il sera en partie question de faire une étude descriptive, structurelle et fonctionnelle des différentes générations de réseaux mobiles ainsi que leur chemin évolutif, outré par celle détaillée sur la quatrième génération, par la suite nous ferons une revue des solutions de prise en charge de la voix téléphonique sur un réseau mobile tout IP avant d'en proposer pour finir un cas de déploiement qui a été réussi et testé. En y procédant la première génération de réseau (1G) sera

abordée en premier lieu, caractérisée par un échange de signaux analogiques entre les entités communicants et le réseau cœur, une cause de sa renommée de réseau vulnérable, du coup elle fut aussitôt remplacé par la deuxième génération (2G) qui avait proposé pour la première fois une communication échangeant des signaux numériques et une possibilité de faire des transferts de données en plus de la voix sur des circuits dédiés, elle a eu beaucoup de réussite justifiant la longue durée de son temps de règne de plus d'une décennie avant d'être suppléé à son tour par la troisième génération de réseau (3G), spécifiée par la 3GPP en 1999 puis déployée à partir de 2000, a connu elle aussi un grand succès avec son débit plus élevé que celui de la précédente, ces atouts sont surtout marqués par introduction de services multimédia (appel vidéo, vidéo conférence) ainsi qu' une capacité de trafic accrue et en dernier citation la quatrième génération de l'anglais Long Term Evolution **LTE** lancée pour la première fois en 2010 pour proposer un réseau full IP plus simple que les générations précédentes avec une architecture cette fois ci orienté paquet conduisant à l'absence de prise en charge des services téléphoniques traditionnellement acheminés via un domaine de commutation de circuit que l'on reconnait dans les générations précédentes (2G/3G).

Face à la volonté des opérateurs de réduire les coûts de déploiement de leurs réseaux mobiles, sachant que l'installation de sites hybrides sont nécessaires pour fournir à la fois les nouveautés du LTE en services données et les services voix assurés par les anciennes génération **2G/3G**, des solutions sont vivement recherchées pour n'utiliser que le réseau de quatrième génération pouvant gérer à la fois les trafics voix et données. Ainsi un terme contextuel consacré à la prise en charge du transport de la voix par cette même génération de réseaux radio mobiles ayant été reconnu sous le nom de **voLTE** (voice over LTE) dont les études structurelles, fonctionnelles et d'intégration dans les réseaux de quatrième génération est l'objet central de ce mémoire qui comprend quatre chapitres présentés ci-dessous.

Le premier chapitre fait la présentation des éléments structurant et des mécanismes communs à toutes les générations de réseaux mobiles ainsi que les spécificités de chacune d'elles de la première à la troisième génération.

Le deuxième chapitre est principalement orienté sur une étude détaillée de la quatrième génération LTE, pour voir ses spécificités, ses apports technologiques, ses avantages et ses limites fonctionnelles

Dans le troisième chapitre il est question d'étudier les possibilités de solutions existant pour offrir des services téléphoniques via des réseaux tout IP et particulièrement ceux de la norme LTE.

Et le dernier chapitre sera consacré à la mise en place de la solution voLTE basée sur une plateforme IMS via un logiciel open source du nom de **OpenIMSCore**.

Comme tout travail, ces chapitres feront l'objet d'une conclusion qui résume les différentes parties du travail accompli de même que les éventuels résultats obtenus.

Chapitre I :
Etude des générations de réseaux mobiles pré LTE

I. Généralités des réseaux mobiles

I.1. Définition

Les réseaux cellulaires sont des technologies de réseaux sans fil classées dans les **WWAN** qui couvrent un territoire en le découpant en des zones de couverture radio juxtaposées appelées cellules représentant le réseau d'accès sans fil aux services depuis les terminaux mobiles des abonnés. Au sein de chacune d'elles les utilisateurs peuvent se déplacer librement suivant les motifs de mobilité prise en charge tout en disposant d'un niveau de signal réseau acceptable. Ainsi sur toute la surface couverte par ce type de réseau, les abonnés vont pouvoir satisfaire toute demande de services suivant que son opérateur puisse l'offrir en temp réel.

Le lancement des réseaux cellulaires les a permis de remplacer progressivement les réseaux fixes pour satisfaire des besoins que ces derniers ne pouvaient prendre en charge basés principalement sur le sans-fil, entre autres une gestion plus efficace des ressources, la mobilité et la simplification des terminaux abonnés, plus tard la succession presque effective des systèmes filaires téléphoniques par des systèmes sans fil en est une conséquence, entrainant le passage des usagers disposant d'un poste fixe à des usagers itinérants, des adressages réseaux physiques à des adressages logiques et en fin de citation le passage des contraintes de longueur filaire à des contraintes de portée radio.

I.2. Les défis majeurs des réseaux cellulaires

Ceux sont : la mobilité dans la couverture, la capacité et la qualité

- **La mobilité dans la couverture**

Le signal doit être disponible à n'importe quel endroit dans la zone de couverture où les utilisateurs souhaitent l'utiliser. Dans le souci de permettre une mobilité au-delà d'une cellule de couverture, la gestion des allocations de ressources entre cellules doit permettent une mobilité plus importante tout en maintenant une liaison fiable et de qualité. C'est ainsi que des mécanismes de passage de la gestion du signal radio d'un terminal sont instaurés entre les cellules avec la gestion des handover.

- **La capacité**

Avec l'arrivée de nouveaux abonnés qui viennent s'ajouter aux nombres des utilisateurs dans le système mobile, les ressources disponibles doivent augmenter en même temps que le nombre de demandes arrivant sur le spectre alloué qui augmente d'avantage.

Compte tenu de la ressource fréquentielle limitée en l'occurrence le nombre de canaux disponible, des motifs de cellules sont recourus pour réutiliser les canaux d'une cellule dans des cellules éloignées suivant une distance minimale à respecter appelée **distance de réutilisation D** sans quoi des possibilités de couverture des centaines de kilomètres ne sauraient exister.

Cette recherche de capacité adéquate justifie l'usage de plus en plus varié de largueur de bandes fréquentielles de (0.2, 1,4, 5, 10, 20…) Mhz selon la génération utilisée ainsi que l'importance du trafic à écouler.

- **La qualité**

Dans les systèmes cellulaires une des préoccupations des opérateurs est de fournir à la portée des abonnés mobiles tout comme ceux immobiles se trouvant sur une zone de couverture radio des services de haute disponibilité utilisables en bonne qualité. Cela permet de justifier l'utilisation des indices telles que **RSRP**, **SINR, RSPQ** et **RSSI** dans les tests de qualité du signal reçu par un terminal à un endroit donné.

I.3. Architecture générale des réseaux cellulaires [9]

Les systèmes mobiles peuvent offrir une couverture réseaux sur une grande zone géographique qui se divisent en plusieurs parties de surfaces limitées et juxtaposées appelées cellules. Ces dernières représentent une partie du réseau mobile appelée réseau d'accès. Elle se lie avec le réseau cœur généralement isolés des usagers pour assurer les fonctions à sa charge. La nécessité d'avoir un réseau d'accès et celui de cœur quelle que soit la génération est une caractéristique fondamentale qui

conditionne chaque architecture des différentes normes de réseaux mobiles. La figure ci-dessous donne une illustration sur les aspects généraux de leurs architectures.

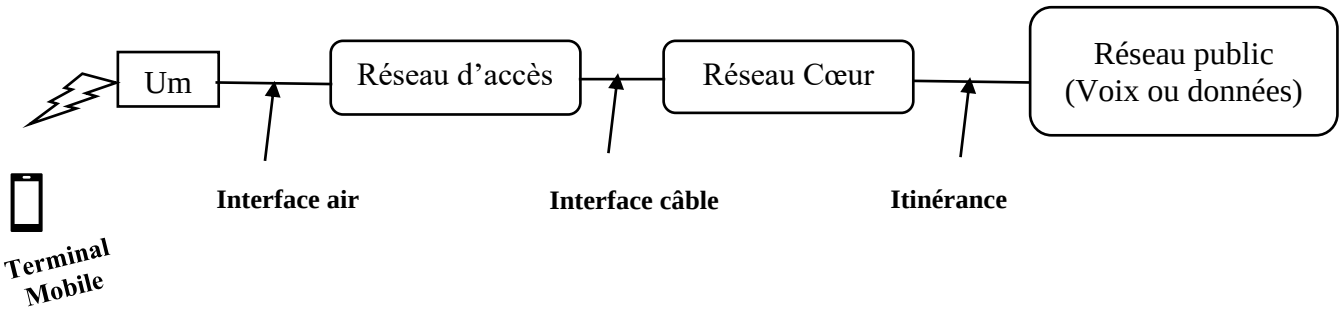


Figure 1:Architecture générale simplifiée des réseaux mobiles

I.4. Le concept cellulaire

Etant la base des réseaux cellulaires, il se veut une possibilité de couverture radio sans limite en régissant des motifs de plusieurs cellules à reproduire autant que nécessaire avec les mêmes fréquences déjà utilisées selon des contraintes règlementaires spéciale comme la distance de réutilisation D et le facteur de réutilisation des fréquences qui permettent d'éviter des interférences entre cellules et une gestion optimale des ressources spectrales disponibles.

Les cellules sont contrôlées par des stations de base et peuvent être déployées différemment dans une zone à couvrir entrainant une différence significative entre un site et une cellule. Un site peut contenir une cellule, dans ce cas une cellule représente un site, dans la plupart des cas un site contient 3 cellules ou secteurs d'où la dénomination de **site tri-sectorielle.**

Sans oublier que les cellules diffèrent selon plusieurs facteurs, et notamment de par leurs tailles ainsi que leurs formes suivant la morphologie de la région à couvrir (collines, plaine…) ou la densité de peuplement (carrefour, zone rurale, urbaine…). Le choix qui se fera sur les unes au détriment des autres conditionne les antennes déployées et la capacité de communication voulue. Ainsi on distingue des cellules macro, micro et pico que chacune d'elle sera expliquée dans les lignes qui suivent

- **Les cellules macro**

Appelées aussi cellules larges ont les rayons compris entre quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres qui ne doivent pas excéder les 30 km. Sa station de base devra être macro, c'est-à-dire qu'elle devra émettre une puissante élevée de l'ordre des 40W ou 46dBm pour une bande de 10 MHz. Elles sont déployées avec des antennes placées à haute altitude comme sur des toits d'immeuble ou sur de longs pylônes. Elles sont orientées couverture.

- **Les cellules micro**

Elles ont des rayons qui peuvent s'étendre de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètre qui ne doivent pas dépasser les 500 mètres. Elles sont utilisées dans des zones denses pour compléter les cellules macro ou pour augmenter la capacité réseau.

- **Les cellules pico**

Ces cellules étant de couverture encore plus petite que celle des précédentes ont une portée maximale de 100 mètres. Elles sont utilisées pour couvrir des espaces fermés (indoor) tels que les aéroports, des ports maritimes ou les espaces d'échanges internationales. Les antennes qu'elles utilisent sont placées sur des bâtiments ou contre le mur.

Les opérateurs font l'usage de ces cellules pour créer un réseau multicouche

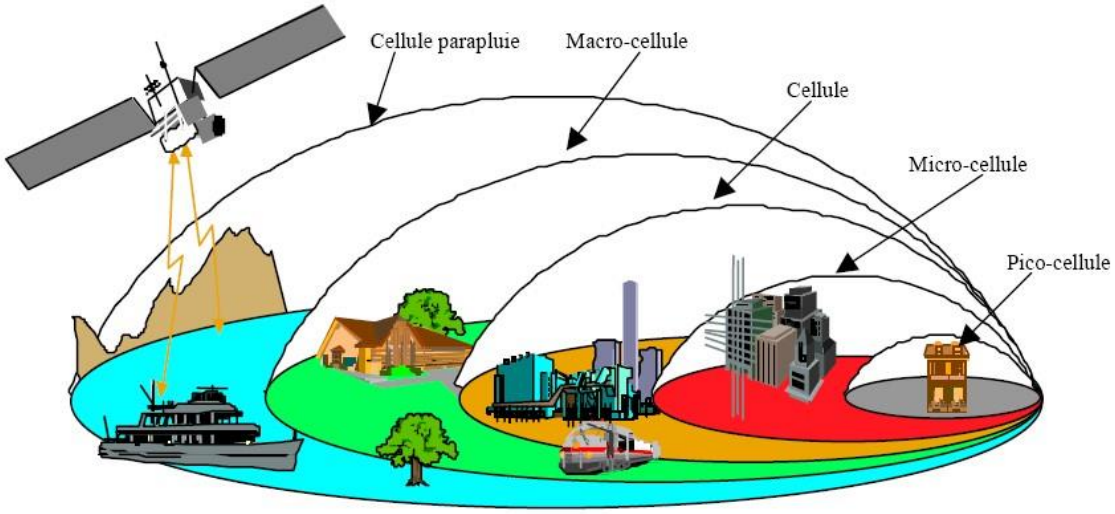


Figure 2: Différentes tailles de cellules radio mobile

I.5. Architecture cellulaire

Une zone à couvrir pour laquelle un opérateur a obtenu une licence est faite de maillage constitué de cellules de forme circulaire ou hexagonale au centre desquelles est placée une antenne. A l'intérieur de cette zone le réseau d'accès fournit un niveau radioélectrique acceptable pour maintenir une communication de qualité. On distingue :

- **Des cellules omnidirectionnelles** : qui équipent les BTS (Base Transceiver Station) avec des antennes omnidirectionnelles.
- **Des cellules sectorielles** : qui équipent les BTS avec des antennes directionnelles, elles sont utilisées pour multiplier d'un facteur au choix la capacité du réseau.[8]

I.6. Cluster et distance de réutilisation

Un cluster appelé aussi fréquemment motif dans les ouvrages de télécommunications est un ensemble de cellules juxtaposées utilisant chacune une ou plusieurs fréquences différentes des autres du même cluster. Ainsi un système cellulaire est un ensemble de motifs contenant chacun des cellules utilisant les mêmes fréquences que celles des cellules des autres clusters disponibles en maintenant une distance minimale entre deux cellules de même fréquence appelée distance de réutilisation **D**. Celle-ci dépend du motif **K** utilisé (ex 3, 4, 7, 9…) et du rayon **R** d'une cellule.

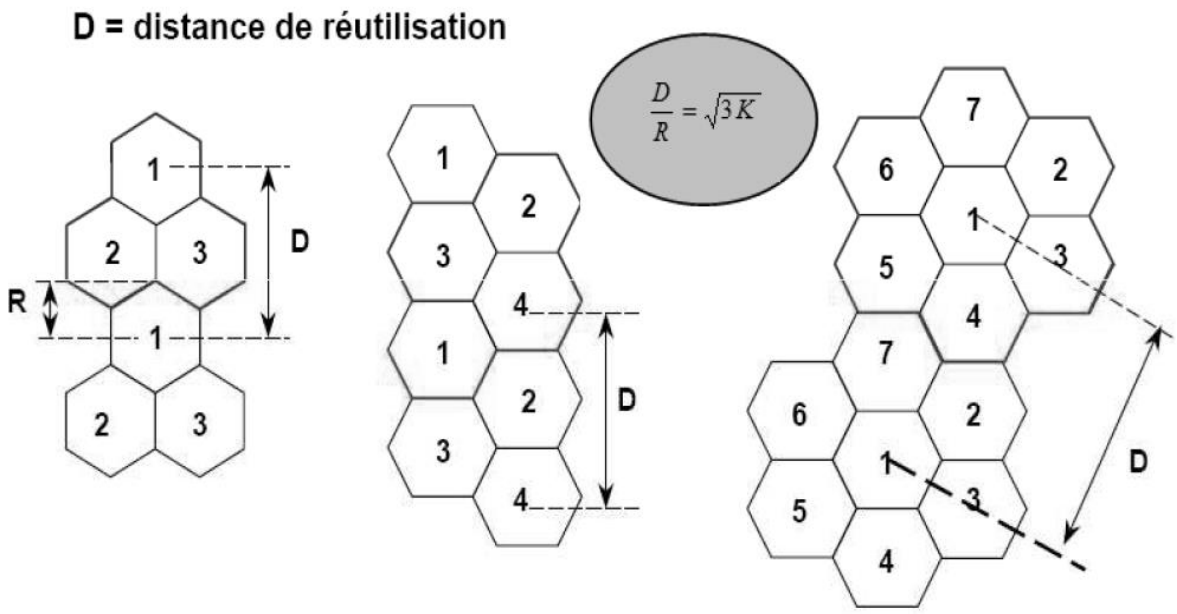


Figure 3: Motifs et distance de réutilisation

I.7. Les mécanismes cummuns aux réseaux mobiles

Elles sont nombreuses pour un bon fonctionnement du réseau. On peut noter :

- **Le handover ou le transfert intercellulaire**

Suivant les mouvements des postes d'abonnés le système doit assurer un service disponible à n'importe quel endroit où ceux-là voudraient entamer une communication ou utiliser un service. Ainsi avec ce mécanisme l'utilisateur en déplacement pourra maintenir une liaison radio qui peut passer d'une cellule à une autre.[7]

- **Le roaming ou itinérance**

L'itinérance est le mécanisme qui gère la délocalisation des abonnés dans le réseau tandis que L'itinérance international ou le roaming est la possibilité qu'un abonné garde son numéro reçu de son opérateur tout en bénéficiant des services d'un autre opérateur.

- **Liaison duplex : uplink et downlink**

Dans un réseau cellulaire les liaisons sont full duplex. C'est à dire qu'elles sont composées de deux voies, une montante ou uplink (du mobile Station à l'antenne émettrice) et une descendante (de l'antenne au terminal de l'abonné). Ces deux voies indépendamment des générations de technologie cellulaire utilisent des plages de fréquences distancées d'une bande de fréquence appelée **écart duplex**.

- Sens descendant (*downlink) (forward) : BS → Mobile.*
- Sens montant (*uplink) (reverse) : Mobile → BS.*

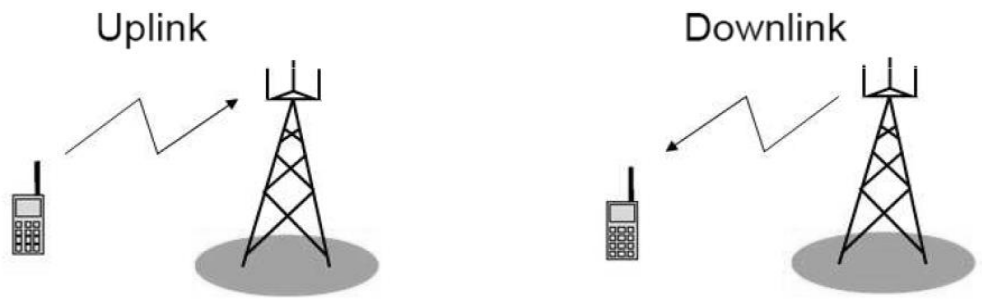


Figure 4: Liaison Mobile Station – Antenne émettrice

Prenons les exemples des normes GSM (Global Mobile System) et DCS (Digital Cellular System) pour illustrer les bandes de fréquences utilisées des voies montante et descendante de chacune des normes.

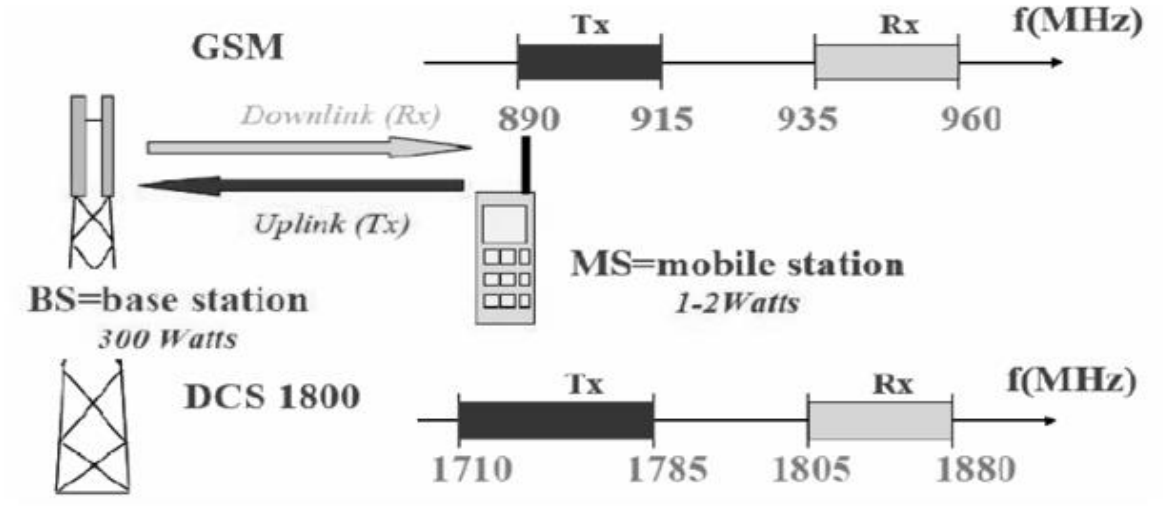


Figure 5: GSM 900 et DCS 1800 :Uplink et Downlink

Dans le cas de **GSM 900**, l'écart duplex est égal à 45 Mhz et 95 Mhz dans le cas de **DCS 1800**.Ils sont illustrés dans la figure suivante

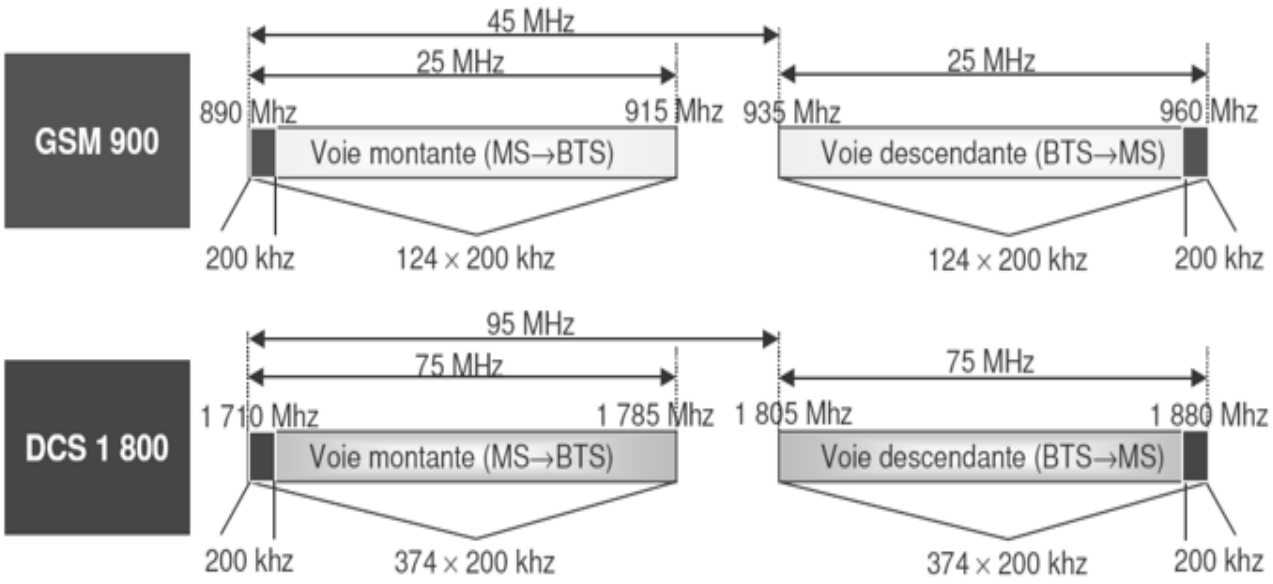


Figure 6 : Ecart duplex de GSM 900 et DCS 1800

II. La première génération des réseaux mobiles (1G)

Elle est apparue au cours des années 1980 en tant que premier système cellulaire de téléphonie mobile. Elle se distingue par des cellules de très grande couverture, une faible capacité de trafic et un service de trafic médiocre.

Parmi les technologies de cette génération qui était déployées parallèlement à travers le monde nous notons :

- **AMPS (Advanced Mobile Phone System) aux Etats-Unis**
- **TACS (Total Access Communication System) aux Royaume-Unis et au Japon**
- **NMT (Nordic Mobile Telephone) dans les pays scandinaves.**

Ces technologies ont en commun pour défaut :

- Des normes incompatibles d'une région à une autre
- Une transmission analogique non sécurisée (un appel pouvait être écouté)
- Impossible de bénéficier d'une itinérance internationale inter-technologie
- Capacité de trafic faible des cellules en raison de quelques appels voix simultanés disponibles
- Coûts élevés des terminaux

III. La deuxième génération de réseaux mobiles (2G)

Appelés communément les réseaux 2G, ils forment une nouvelle génération de technologies qui vient succéder à la première génération de réseaux radio mobiles. Leurs particularités incluent entre autres le nombre de normes de cette génération ayant été définies et déployées parallèlement à travers le monde parmi lesquelles nous pouvons citer :

- **Le GSM (Global System for Mobile communication) en Europe**
- **Le PDC (Personal Digital Communication) au Japon**

❖ L'IS-95 aux Etats-Unis

Ces normes introduisent pour la première fois un traitement numérique des signaux incluant l'introduction de techniques de codage et de modulation numériques approprié pour augmenter l'efficacité d'exploitation et la capacité de l'interface radio. Ainsi les informations échangées lors d'une conversation subissent un chiffrement de haute sécurité pour donner un train de bits compréhensibles par les terminaux concernés uniquement, ainsi cette génération fournit un niveau de sécurité supérieur que sa précédente.

Dans ce qui suit nous allons nous focaliser sur la norme GSM qui a eu plus de succès que ses rivaux avec un déploiement quasiment globale en 2012 avec un décompte de 212 pays possédant au moins un opérateur GSM [30].

La norme GSM est connue dans sa version initiale pour ses services de base que sont l'accès au services voix en mobilité avec une qualité satisfaisante, l'accès au service de messages courts plus connu sous le nom de SMS (Short Message Service) et des transferts de données à débits faibles. Quelques années après son déploiement, les objectifs étaient figés sur la réduction de la taille des terminaux pour une mobilité plus aisée et grâce aux évolutions technologiques en conception de dispositifs de traitement numérique du signal et de circuits intégrés nous avons assisté à l'accomplissement de ces défis.

Dans les lignes qui suivent nous allons présenter l'architecture de GSM ainsi que ses composants principaux.

III.1. Architecture de GSM

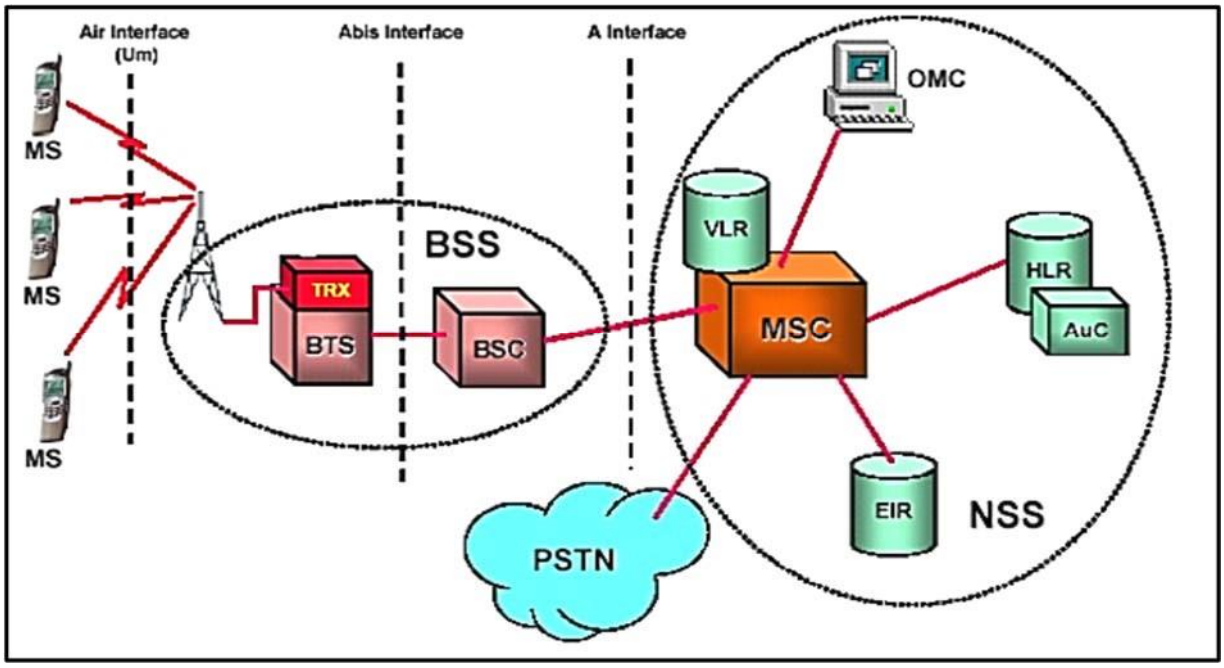


Figure 7 : Architecture réseau de la norme GSM [2]

III.2. Station Mobile (SM)

Dans un réseau GSM, le MS (Mobile Station) est l'équipement physique comprenant un terminal et une carte **SIM** (Subscriber Identity Module) que l'utilisateur est dans l'obligation de disposer depuis l'opérateur pour être sujet d'un abonnement pour bénéficier d'un service.

Pour des soucis de sécurité, chaque terminal est identifié par un numéro unique **IMEI** (International Mobile Equipment Identity) attribué par son constructeur tandis que la carte SIM contient le numéro d'identification de l'utilisateur dans le réseau hôte appelé **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) utilisé pour pouvoir communiquer sans encombre.[3]

Suivant son architecture, le réseau GSM comprend trois sous-systèmes que sont : **BSS, NSS** et **OMC** illustrés dans la figure qui suit.

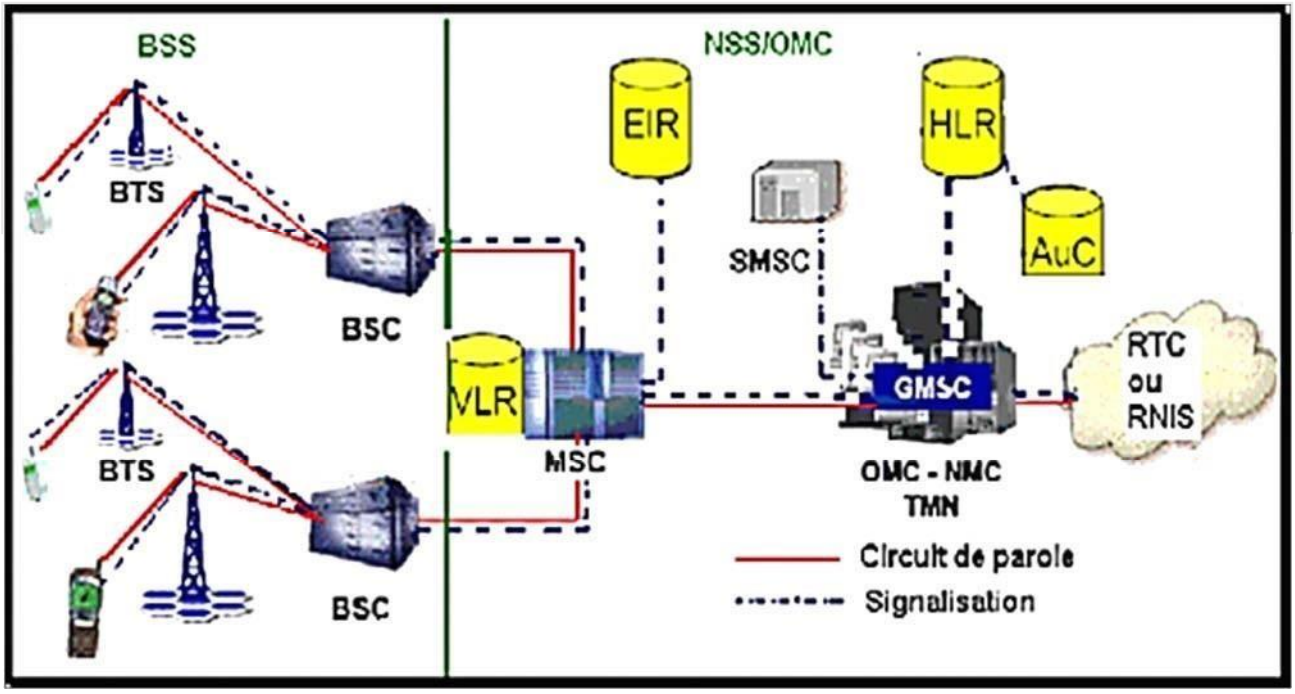


Figure 8 : Les sous-systèmes du réseau GSM [4]

III.3. Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem)

Il gère les ressources radio et assure la mobilité du Mobile Station.IL comprend des BTS et des BSC

- **BSC** (Base Station Controller) contrôle un ou plusieurs BTS
- **BTS** (Base Transceiver Station) sont des antennes émetteurs récepteurs qui assurent la transmission électrique avec le MS

III.4. Le sous-système d'acheminement NSS (Network SubSystem)

C'est le cœur du réseau, Il assure l'établissement, le maintien, la rupture d'un appel téléphonique et l'accès au réseau public. Il comprend des bases de données et des commutateurs téléphoniques.

- **Les commutateurs téléphoniques**

  - MSC (Mobile-service Switching Center) sont les éléments qui lient les réseaux d'accès aux réseaux cœurs de GSM. Il gère l'établissement, l'acheminement, le maintien et l'interruption d'une communication ainsi que l'envoi de SMS. Ils gèrent également les processus de handover lorsqu'il doit y avoir changement de cellule du MS.

➢ GSMS (Gateway Mobile Service Switching) est un commutateur intermédiaire entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique publique. Il est l'interface chargé d'acheminer les appels du réseau fixe à un usager mobile.

❖ **Les bases de données**

➢ **HLR (Home Locations Register)** est tune base données de localisation qui gère les informations et les identités des abonnés.

➢ **VLR (Virtual Location Register)** contient des informations temporaires des abonnés présents dans une zone gérée par un MSC. Cette base données contient entre autres le LAI (Local Area Identification) qui correspond au code de localisation identifiant la zone où se situe le MSC et regroupant plusieurs BTS. Elle permet au MSC de limiter leurs accès.

➢ **AuC (Authentification Center)** utilisée pour chaque abonné pour authentifier les demandes de services et pour crypter les communications.

➢ **EIR (Equipment Identity Register)** est une base de données qui contient la liste de tous les terminaux valides pouvant bénéficier d'un service réseau. En cas de nécessité un terminal se voit refuser tout accès service suite à une déclaration de vol ou de perte.[4]

III.5. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation SubSystem)

Est la partie du réseau qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau ayant pour fonction de gérer les éléments du BSS et du NSS

III.6. Architecture protocolaire

Les différents composants du BSS et du NSS communiquent entre eux au moyen des interfaces d'interconnexion qui utilisent quant' à elles des protocoles de la technologie RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Service) tout en étant structurées suivant les couches du modèle OSI (Open Systems interconnexion).

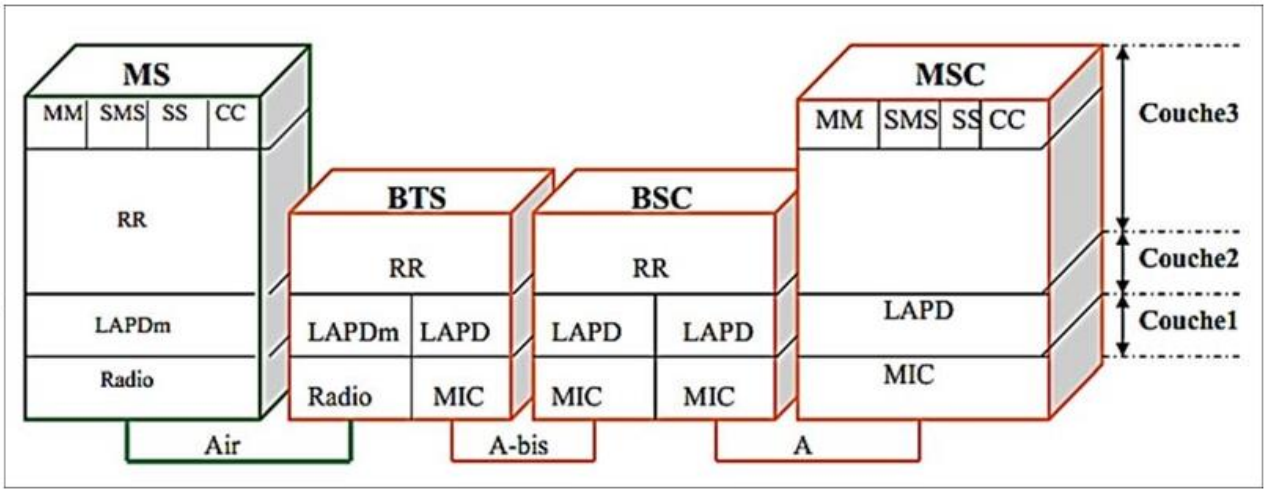


Figure 9 : Architecture protocolaire de la norme GSM [5]

III.7. Les interfaces du BSS

- **Interface Radio (Um)** : Elle lie les stations mobiles et le BTS. Elle est conçue pour prendre en charge la compatibilité entre les technologies du réseau mobile et les stations mobiles des abonnés
- **Interface A-BIS** : Elle lie les BTS au BSC
- **Interface A** : Cette interface est la liaison entre les BSC et le MSC [4]

III.8. Pile de protocole du BSS

Elle constitue un ensemble de protocoles que sont :

- Le protocole **LAPD (Link Access Procedure for the D-Channel)** s'établit entre **BTS** et **BSC** et **LAPDm (LAPD modifié**) qui opère entre **MS** et **BTS** et permet d'effectuer la fiabilisation et la transmission des données avec une prise en compte de la mobilité des MS.
- Le protocole **RR (Radio Ressource)** : Il interconnecte un BTS et un BSC pour la gestion de la liaison radio en ayant en charge l'attribution de fréquences dans une zone.

❖ Le protocole **MM (Mobility Management)** : Il gère l'identité, l'authenticité et la mobilité du terminal. Cette application se déploie entre MSC et MS qui doivent tous deux connaitre la position du MS.

❖ Le protocole **CM (Connexion Management)**

➢ **Le protocole CC (Call Control)** : Il a en charge le traitement des appels

➢ **Le protocole SMS (Short Message Service)** qui traite les services de la messagerie écrite

➢ **Le protocole SS (Supplementary Service)** qui se charge des éventuels services complémentaires

III.9. Les interfaces du coté NSS

Elles sont répertoriées dans le tableau suivant

Nom	**Localisation**	**Utilisation**
B	**MSC – VLR**	Divers (transfert de données)
C	**GMSC – HLR**	Interrogation HLR pour appel entrant
D	**VLR – HLR**	Gestion des informations d'abonnés et de localisation et les Services supplémentaires
E	**MSC – MSC**	Exécution des « handover »
F	**MSC –VLR**	Vérification de l'identité du terminal
G	**VLR – VLR**	Gestion des informations d'abonnés
H	**HLR – AuC**	Echange des données d'authentification

Tableau 1 : Les interfaces du coté NSS [4]

III.10. Pile de protocole coté NSS

Les équipements de ce sous-système sont entièrement reliés entre eux via les interfaces suivantes : B, C, D, E, F, et G. Ces derniers utilisent le protocole MAP (Mobile Application Part) basée sur la pile de protocole **SS7**.

- **Protocole MAP** : Elle a en charge la gestion de toutes les signalisations entre équipements du réseau cœur nécessaire pour offrir un service voix ou données dans le réseau mobile. Il est lié à toutes les fonctions rendant un UE itinérant.[6]
- **Le protocole ISUP** : Elle régit l'ensemble des procédures liées aux circuits ayant en charge le transport des signaux vocaux et de données pour les configurer, utiliser et les libérer.

Les réseau 2G avec tout le succès qu'ils ont eu présentent toutefois plusieurs limites d'ordres capacitaire et fonctionnelle. La première concerne un nombre de demande d'appels insoutenable par le réseau dû au nombre d'abonnés élevé et une capacité cellulaire limitée conduisant à des rejets d'appels fréquents et une coupure accidentelle des communications malgré la densification du réseau. En outre la seconde concerne une fourniture de services qui manquent de variété causée notamment par le très faible débit des services de données. Ils sont autant de raisons pour penser à l'évolution de cette génération à une autre pour apporter plus de capacité et de fonctionnalités tant attendus.

IV. Les réseaux GPRS (General packet Radio Ressource) : 2.5G

IV.1. Définition

Le réseau GPRS est le résultat des évolutions fonctionnelle et architecturale de GSM. Face aux besoins de mieux gérer les services de données, cette génération est approuvée non pas pour modifier le réseau d'accès de GSM mais plutôt pour inclure un nouveau système dans son réseau cœur. Cela signifie qu'il introduit dans ce dernier, plus précisément dans le NSS des supports nouveaux pour apporter des dispositions supplémentaires que ceux du transport de la voix. Cet apport va permettre d'améliorer les politiques d'utilisations des ressources qui ne permettait alors que des commutations en mode circuit à faible débit. L'utilisation de la commutation de paquet en est la principale nouveauté

de GPRS pour acheminer des trames IP entre entités du réseau de données et les **UE** (User Equipment) pour un débit plus important que celui de GSM.

IV.2. Architecture de GPRS

La figure suivante présente l'architecture du réseau GPRS

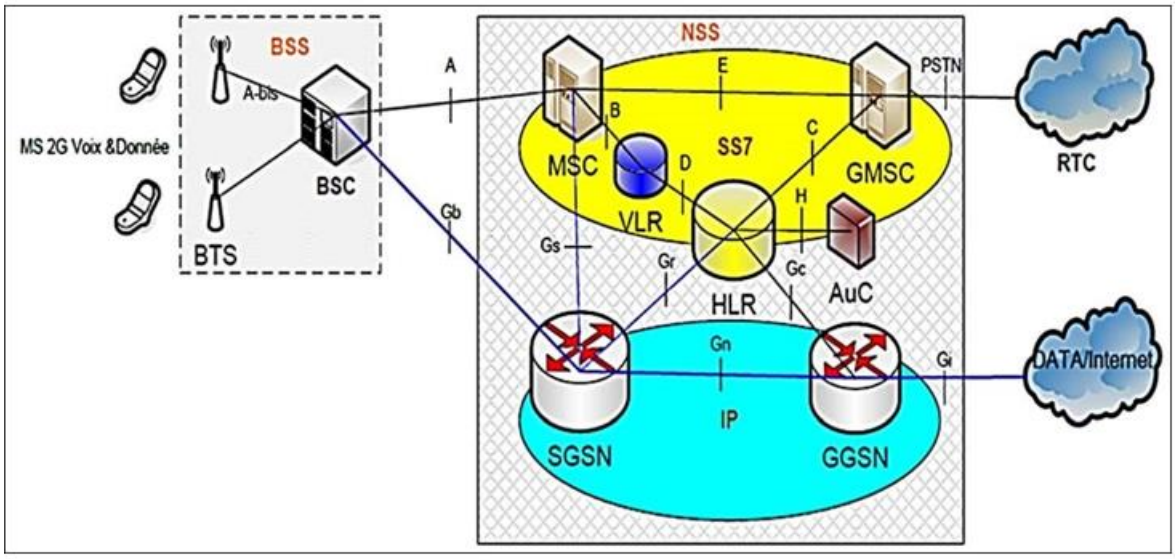


Figure 10 : Architecture réseau de la norme GPRS[9]

Dans son architecture on note l'introduction d'un sous-système GSS dans le réseau cœur de plus que celui du réseau GSM pour les routages des paquets.

IV.3. Les composants de GPRS

Ici les éléments que l'on retrouve dans un réseau GSM ne seront pas présentés et seront donc omis.

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) il agit en tant que passerelle entre le réseau d'accès et le réseau de données.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : il agit en tant que passerelle d'interconnexion aux autres réseaux IP tels que l'internet.
- **PCU** (Packet Control Unit) : Est un composant introduit dans le BSS qui gère l'attribution de la ressource radioélectrique au mobile.

- Le module **BG** (Border Gateway) : Il permet via un réseau fédérateur la gestion du routage de paquets des réseaux GPRS pour résoudre des questions de sécurité et d'intégrité dans ces réseaux.[10]
- Le protocole **IP (Internet Protocol)** : Il assure l'assignation d'adresses IP aux trames pour que les réseaux GPRS puissent être interconnectés et de permettre l'itinérance entre opérateurs.

Peu importe les apports de la 2.5G, il faut noter que les défauts restés intacts de son réseau d'accès hérité de GSM constitue un réel problème pour mieux tirer profit de GPRS avec son système de transfert à paquets IP. Ceci inspire les concepteurs à faire évoluer à son tour cette génération au niveau de son réseau d'accès plutôt que son réseau cœur. Ceci donne naissance à EDGE.

V. Les réseaux EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) : 2.75G

Comme le GPRS par rapport au GSM le besoin d'évolutions pour pallier à des soucis technologiques ont mené à la sortie de cette nouvelle révision de la deuxième génération approuvée engendrant son lancement sous le nom de EDGE. Cette évolution est reconnue de ses avantages en rendant possible d'atteindre pour la première fois des débits de l'ordre de **240 kbps**. Sans l'amélioration des techniques d'accès multiples aux supports de transmission l'obtention d'un tel débit pourrait prendre plus de temps.

Il faut admettre que ces révisions de la norme 2G n'ont pas pu empêcher de constater un réel déficit de cette génération de réseaux radio mobiles à cause des débits maximaux faibles rarement atteignables compte tenue de la politique d'accès aux services conformément à la **QoS** (Qualité of service). Les enjeux de ces handicaps porteront le sens du besoin de passage vers cette fois ci une nouvelle génération, finalement retenue comme la 3G réseaux.

VI. La troisième génération de réseaux mobiles (3G-UMTS)

Lors des premières années de son déploiement, elle a principalement regroupé deux familles de technologies qui ont toutes deux connues beaucoup de succès à savoir l'**UMTS** (provenant de GSM et largement déployé autour du monde et **CDMA2000** issu de l'IS-95. Ces deux branches de cette génération ont en commun l'utilisation de la même technique d'accès multiples aux canaux radio qui se distingue de celles des générations précédentes à savoir le **FDMA** et le **TDMA**. Il s'agit du **CDMA** (Code Division Multiple Access) ou l'accès multiple par division de codes. Dans le corps de cette partie sera consacré à l'étude de l'UMTS.

VI.1. Historique

Cette norme de remplacement de la 2G était initiée par les organes européens de régulation de cette industrie à la fin des années 80, quelques années plus tard ils seront rejoints par les autres organes du monde entier.

Dans ce contexte un consortum fédérant ses parties prenantes fût bâti en 1998 au nom de la 3GPP (Third Generation Partenership Project) dans le but de travailler sur une norme universelle de standardisation des prochaines générations de réseaux mobiles.

En 2001 une version de la famille UMTS de systèmes radio mobiles fût testé pour la première fois.

En Octobre 2001 sur le territoire japonais, a eu lieu le déploiement commercial du système FOMA (freedom Of mobile Multimedia Access) basée essentiellement sur les spécifications techniques de l'UMTS.

Dès l'année 2002 elle est testé sur quelques îles comme les îles de Manchester et de Monaco.

En 2003 eurent lieu les premiers déploiements de l'UMTS en Europe (Grande bretagne et Italie).[20]

VI.2. Définition

La technologie UMTS est l'acronyme d'Universal Mobile Telecommunication System qui est une famille de systèmes réseaux mobiles de troisième génération. Elle succède à la 2G suite à des besoins contraignant pour cette dernière qu'elle est chargée de résoudre en introduisant des possibilités accrues notamment avec plus de capacité de trafic, plus de réactivité réseau, un débit plus important (allant de 384 Kbps à 42 Mbps en downloink suivant ses évolutions) et une plus grande v ;ariété de services (voix, image, streaming, appel video…). Autant de changements qui ont amené à dire : de la 2G à la 3G on passe de réseaux de téléphonies mobile aux réseaux mobiles de télécommunications.

VI.3. Objectifs

Les objectifs de cette norme sont nombreux et nous allons en préciser les plus évidents.

Un d'eux est la continuité avec les services actuels de la 2G avec en même temps le support de nouveaux services de transmission de données à haut débit tels que ceux du multimédia (image, streaming, visiophonie …) pour des systèmes radio mobiles d'accès internet. Déployer une technologie d'accès CDMA ou accès multiple par division de codes en large bande (W-CDMA) afin d'augmenter les débits des flux de données et diminuer les latences du système pour assurer une meilleure QoS dans services offerts.[20]

VI.4. Architecture du réseau UMTS

Elle est constituée d'une partie radio appelée **UTRAN** et d'une partie réseau cœur constituée des composants de base de GSM et de GPRS. Cette dernière est séparé e en trois sous-groupes dont le CS (MSC, GMSC ,VLR) , le PS (SGSN, GGSN) et les entités communes aux deux (EIR, HLR, AuC).

La figure qui suit présente l'architecture du réseau UMTS

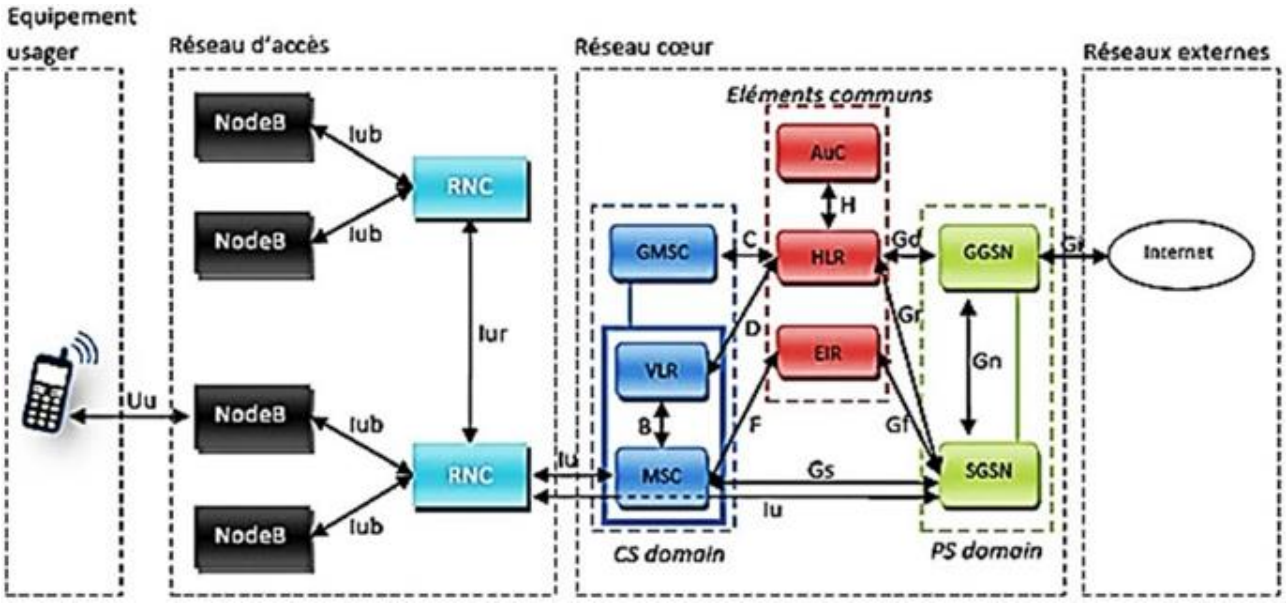


Figure 11 : Architecture réseau de la norme UMTS[11]

Le MS (Mobile Equipement)

Il est constitué d'un ME (Mobile Equipment) et d'une puce USIM.

- Le Mobile Equipment ou l'équipement mobile est un terminal radio utilisé pour accéder à la couverture radio via l'interface **Um**
- L'USIM (UMTS Subscriber Identity Module) est l'équivalent de la carte SIM en GSM qui fournit l'identité de l'abonné.

Le réseau d'accès radio (UTRAN)

Il est composé du NodeB et du RNC

- **NodeB** : est une antenne du BTS de GSM qui exerce les réceptions et transmissions radio soit entre elle et ses voisins soit entre elle et des équipements usagers mobiles.
- **RNC** (Radio Network Controller) : Est un équipement qui contrôle les NodeB de sa zone d'action pour la gestion des ressources radio comparativement au BSC de GSM.

Le réseau cœur de l'UMTS

Cette partie du réseau maintient en principe les entités du réseau cœur de GSM et celles de GPRS pour avoir un sous-réseau cœur de voix appelé GSM-CS (Circuit Switched) et un autre sous-réseau de données appelé GPRS – PS (Packet Switched) regroupé pour former ce réseau cœur de l'UMTS. Ceux-ci montre la continuité des systèmes **2G** au sein de cette génération. Elles ont déjà été étudiées plus haut, on peut passer au titre suivant.

VI.5. Les fréquences de l'UMTS

Cette norme utilise des bandes de fréquences différentes qui sont explicitées comme suit :

Les bande 1900/2100 sont utilisées

- En duplex temporel TDD entre (1885 -1920) MHz en Uplink (35 MHz) et entre (2110 – 2025) Mhz en Downlink (15 MHz) .
- En duplex fréquentiel FDD entre (1920 – 1980) MHz Uplink (60 MHz) et entre (2110 – 2170) MHz Downlink (60 MHz).
- En liaison satellite entre (1980 – 2010) MHz en Uplink (30 MHz) et (2170 – 2200) MHz Downlink (30 MHz)

La bande 900 de GSM a plus tard été allouée à UMTS pour la partager avec GSM

Il faut noter que cette norme divise les bandes de fréquences en canaux radio de 5 MHz chacun avec une valeur nette de 4.685 MHz agissant en porteuses de signaux pour une cellule donnée.

En Amériques du Nord les bandes de fréquences 700 MHz [UL (746 – 764) ; DL (776 – 794)] et 1700 MHz sont allouées pour cette norme de troisième génération.

En 2008, l'arrivée sur le marché du **HSPA +** a permis de coupler deux canaux radio consécutifs pour doubler le débit du trafic écoulé par unité de temps de la voie descendante (Downlink).

VI.6. Les débits de l' UMTS

Cette norme a marqué ses usagers par un débit très évolutif, il a varié de manière croissante au fil de l'évolution de son évolution. On distingue le débit théorique et le débit réel alors que ce dernier était étudié plus haut.

Le débit théorique de l'UMTS « 3GPP R99 » en version initiale était de

- 144 Kbps pour un usager en mouvement rapide (Metro, TAXI
- 384 Kbps pour un utilisateur en mouvement piéton.
- Jusqu'à 2 Mbps pour un usager fixe dans des conditions idéales

❖ **Les releases 5** et **6** du **3GPP** ont permis d'introduire respectivement le **HSDPA** (High Speed Downlink Packet Acces) pour augmenter le débit de la liaison descendante puis le **HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access) pour améliorer le débit de la voie montante pour atteindre respectivement des débits théoriques de **14.4 Mbps** en **DL** et **5.76 Mbps** en **UL**.[22]

❖ Quant' aux **3GPP Rel-7** et **Rel-8** en 2008, l'évolution de la 3G a connu respectivement l'introduction du **HSPA+ MIMO** (Multiple Input Multiple Output), puis l'ajout du **CPC** (Continuous Packet Connectivity) et du DC-HSDPA pour l'amélioration du débit du DL qui peut être doublé grâce à l'agrégation de deux canaux **DC** (Dual carrier). Ils ont consécutivement fait passer le débit max théorique du **DL** à **21 Mbps** puis à **42 Mbps**

VI.7. Les domaines du réseau cœur de UMTS

Dans le réseau UMTS on note deux systèmes différents de commutation que sont : à commutation de circuit et de paquet.

❖ Le système à commutation de circuit CS (Circuit Switched)

Il traite les services à temps réel tels que les appels téléphoniques, les appels visio, la visioconférence et éventuellement des applications multimédia. Ils nécessitent tous un temps de transfert rapide pour que la liaison soit synchrone. Le débit de ce système peut atteindre les 384 kbit/s.

❖ Le système à commutation de paquet PS (Paquet Switched)

Il assure un traitement des services à temps différé tels que les téléchargements de données, la lecture de messages électroniques via une adresse mail ou un réseau social, les jeux en ligne et la navigation Web. Le temps de transfert de ce système n'est pas forcément rapide et dépend de la disponibilité des ressources. Le débit pourrait atteindre les 2Mbit/s.

VII. Vers la 4G

Alor s que la 3G était en plein succès depuis plusieurs années via à vis de ses apports spécifiques dans l'industrie notamment une plus grande capacité d'écoulement de trafic, grâce à l'optimisation de l'usage de la ressource fréquentielle avec l'amélioration du débit et l'introduction du de services multimédia comme les vidéos à la demande ainsi que des appels vidéo. Tous ces progrès ne sont pas le fruit du hasard, ils ont été impliqués dans le rang des bénéfices de la famille de norme UMTS par le biais de la révision de cette dernière pour donner naissance successivement aux HSDPA, HSUPA et HSPA,

C'est la technologie de réseau mobile qui a été désignée par des organismes de normalisation des télécommunications puis spécifiée et planifiée sous les propos de la **3GPP** visant qu'elle succède pour une fois dans l'histoire de cette industrie toutes les familles de générations précédentes et principalement celles de **(GSM, GPRS et UMTS)** et **(IS-95, CDMA2000)** des réseaux mobiles. Elle a été envisagée depuis Novembre 2004 par Future Evolution Workshop pour l'évolution sur le long Terme de l'UMTS d'où le nom qui lui est donné **LTE** (Long Term Evolution). Cette nouvelle norme de communication mobile apporte des changements radicaux par rapport à la 3G en termes de capacité d'écoulement de services simultanées (nombre d'abonnés et de trafic simultanés) et de vitesse de traitement des données (Débits et latences) que nous verrons en détails dans les parties qui suivent. Pour des choix techniques adaptés à ses promesses pour répondre convenablement aux attentes des usagers de cette norme, un nouveau système appelé **EPS** (Evolved Packet System) ou **SAE** (System

Architecture Evolution), incluant un nouveau réseau cœur **EPC** (Evolved Packed Core) et un nouveau réseau d'accès **LTE,** a été définie pour cette nouvelle norme. EPS = LTE+EPC.[13]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié en détail les générations de réseaux mobiles ayant précédé la 4G. Ceci a permis de voir les généralités conceptuelles, mécaniques et constitutives des réseaux mobiles suivies par l'étude de la norme GSM et ses particularités architecturales et fonctionnelles, ensuite l'étude de l'évolution de cette dernière occasionnée, celle de GPRS et EDGE. L'UMTS a également été traité en revue avec ses nouveautés sur entre autres une plus grande capacité réseau, l'introduction d'une plus grande variété de services avec ceux de multimédia et une efficacité plus optimale dans l'exploitation des ressources radio. Le chapitre suivant va traiter sur la quatrième génération de réseaux mobiles LTE qu'il compte examiner en détails suivant ses concepts nouveaux et ses atouts qu'elle apporte à l'industrie.

Chapitre II : Etude détaillée de la quatrième génération (4G) des réseaux mobiles

I. Présentation de la quatrième génération (4G)

I.1. Préambule

Pour mieux procéder à l'étude de la génération de succession des systèmes 2G/3G qu'est la norme **LTE**, nous allons passer respectivement par l'étude de son historique, sa définition, ses objectifs, ses caractéristiques, son architecture, ses entités, les fréquences qu'elle utilise, ses méthodes d'accès, ses débits et enfin ses latences.

I.2. Historique

Dès l'année 2002 l'UIT-R avait désigné l'IMT-Advanced comme une conception de projection vers la 4G. Plus tard en 2005 un choix tout nouveau sur la technique de transmission dédiée à HSOPA rebaptisé par la suite LTE par la 3GPP, a été porté sur l'OFDMA pour la voie descendante.[2]

Le projet de la norme de quatrième génération est piloté par la 3GPP à partir de janvier 2005.En effet cette date marque le début de ses études de faisabilité jusqu'en Septembre 2006, date à laquelle elles étaient concluses avec notamment la définition de ses grands principes de faisabilités. En février 2007 un prototype de 4G système **MIMO 4x4** appelé **VSF-OFCDM** a été testé par la société japonaise NTT DoCoMo (Nippon Telegraph & Telephone) et donne **100 Mbps** en déplacement et **1 Gbps** en position fixe..[2]

Pour concrétiser le défi, des travaux de spécification de cette nouvelle norme ont dû se poursuivre jusqu'en Décembre 2008, date qui correspond à la première version ayant été approuvée à la sortie du release 8 du **3GPP**.Celui-ci en guise de présentation est un consortum crée en 1998 à la demande de l'**ETSI** (European Telecommunications Standards Institute) dont les objectifs ont été d'une part de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de constructeurs différents et d'autre part à maintenir et développer les spécifications des systèmes. Il faut noter que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation à part entière, il s'appuie sur les faveurs des organismes de normalisation affiliés incluant ETSI pour mettre en vigueur et lancer normes et équipements sur les marchés des télécommunications.

En Décembre 2009 l'annonce de la 4G fut effective pour la première fois de la part de Sprint aux Etats Unis et celle du premier smartphone doté d'un module 4G l'Evo HTC 4G en Juin de cette même année.[19]

I.3. Définition

La technologie LTE est choisie officieusement par le 3GPP comme norme d'évolution de la 3G pour désigner la génération nouvelle de réseaux mobiles avec des spécifications indiquant des capacités largement au-dessus de celles de la troisième génération pour plus d 'abonnés simultanément actifs par cellule, une meilleure transmission de l'information, une meilleure gestion des requêtes en services des abonnés ainsi que des ressources, des services plus variés et une et pour proposer une technologie d'intégration pouvant se relier à d'autres normes. Ainsi elle est sensée fournir un débit plus élevé avec 50 Mbps pour un abonné en mouvement sur la voie montante (UpLink) et 100 Mbps sur la voie descendante (DownLink) pour une bande de fréquence de 20 Mhz. Pour un abonné fixe, les débits estimés sont respectivement de 75 Mbps pour la voie montante et 300 Mbps pour la voie descendante.

Etant insuffisant pour parler de la 4G conformément aux normes fixés par l'UIT-R (Union Internationale des télécommunications) à savoir le **LTE-Advanced** et la **Wireless MAN-Advanced** sur les **IMT** évolués en **Octobre 2010** à **Genève**, **3,99G** a été proposé pour désigner cette norme jugée intermédiaire à la vraie 4G puisque celle-ci demande des conditions plus exigeantes que la norme LTE avec notamment un débit de téléchargement minimum de100 Mbps par abonné en mouvement et 1 GHz par équipement utilisateur stationné.

Pour des raisons commerciales, les appellations 4G LTE et LTE-A ont été employées respectivement pour symboliser la 4G et la 4G+.[19]

I.4. Les objectifs de la 4G

Ils sont nombreux et ci-dessous seront listés les principaux parmi eux

- Augmenter la capacité des réseaux mobiles
- Assurer la continuité de la session en cours
- Réduire les délais et le trafic de signalisation
- Fournir une meilleure qualité de service
- Optimisation de l'utilisation des ressources pour un débit plus élevé
- Réduction du délai de relève, celui de bout en bout, la gique, et la perte de paquet
- Minimiser le cout de déploiement

I.5. Les caractéristiques du réseau EPS (Evolved Packet System)

Elles sont étudiées suivant les plans architectural et fonctionnel que nous verrons respectivement

- Au plan architectural :

➢ Une architecture simplifiée comparativement à celles de 2G et 3G étant donné que le contrôleur d'antennes a disparu par rapport à la 3G (RNC) et à la 2G (BSC).

➢ La seule entité présent dans le réseau d'accès est l'eNodeB , ce qui est synonyme de plus d'intelligence et de rôles pour ces antennes

➢ Le réseau est entièrement formé de systèmes de données à paquets comparativement aux 2G/3G qui admettent à la fois des systèmes voies et paquets. Voix non prise en charge.

➢ Avec ce réseau la connectivité est permanente (IP) comparé aux PDP (Packet Data Protocol) soit temporaire ou permanent en 2G.3G.

➢ L'interface radio est partagée entre tous les usagers en mode ACTIF.

➢ L'EPS permet des **Handover Hard** et **Soft** vers les anciennes générations 2G/3G et IS-95/CDMA2000 afin d'assurer une fourniture de services continue en milieu hétérogène.

- Au plan fonctionnel

- **Le contrôle d'accès au réseau** avec notamment l'identification et la localisation d'un usager voulant accèder au réseau. Tout ceux-ci assurant un échange de données fi able et sécurisé entre l'eNodeB et l'UE.

- **La gestion de la mobilité** en permettant à l'UE de s'attacher ou de quitter une zone de localisation en mettant à jour la sienne par le mécanisme de **Tracking Area.**

- **La gestion des ressources radio** en mettant à la disposition des UE des **default bearers** et des **dedicated bearers** utilisable**s** selon les sessions en établissant ou libérant des RAB (Radio Access Bearer) entre l'UE et le Serving Gateway.

- **La gestion de routage** avec l'acheminement de paquets depuis l'UE jusqu'au PDN-GW ainsi que dans le sens inverse.

II. Architecture générale de la 4G

Cette norme se particularise par son nouveau système **EPS** embarquant un nouveau réseau d'accès LTE et un nouveau réseau cœur EPC. Autant de changements qui inspirent certains à parler de révolution plutôt que d'évolution de la troisième génération de réseaux radio-mobiles.

Pour mieux repérer et connaitre ces nouveaux systèmes réseaux ainsi que leurs éléments de compositions, la figure suivante est l'architecture du **EPS**.

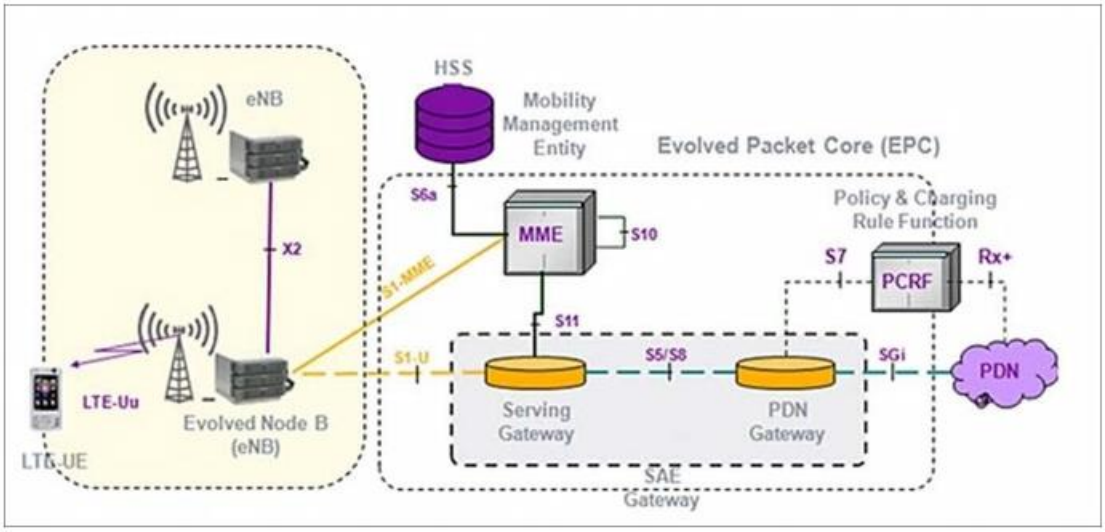


Figure 12 : Architecture du système EPS[15]

Les nouveaux blocs spécifiés de cette architecture dans le réseau cœur et celui d'accès justifient les noms attribués à ces derniers s'agissant d'**EPC (Evolved Packet Core)** pour le réseau cœur et **d'E-UTRAN (Evolved- UTRAN)** pour le réseau d'accès qui forment le réseau **EPS (Evolved Packet System).** La figure ci-dessus représente son architecture.

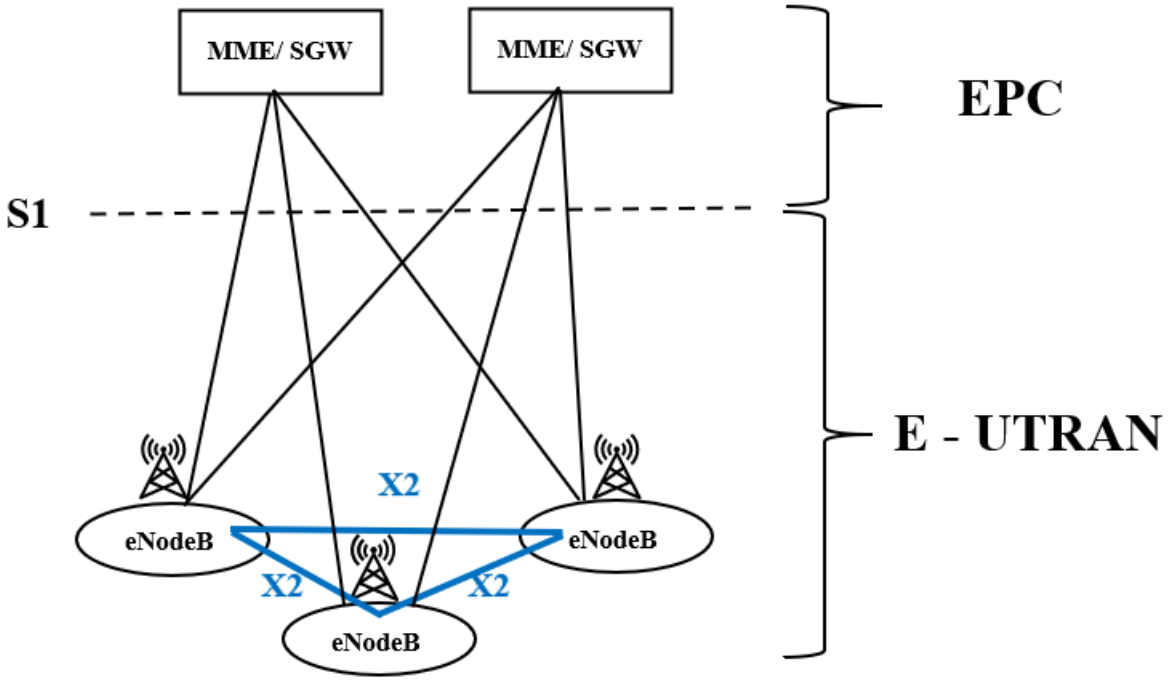


Figure 13 : Architecture d'Evolved Packet System EPS

III. Les entités du réseau EPS [10]

Elles constituent le réseau dans son ensemble. Elles sont réparties entre les sous-réseaux cœurs et d'accès du réseau EPS. Elles sont citées ci-dessous avant de les étudier chacune en détails un peu plus bas.

- **UE (User Equipment),**
- **eNodeB (l'antenne de liaison),**
- **MME (Mobility Management Entity),**
- **Serving Gateway,**
- **PDN GW (Packet Data Network Gateway),**
- **HSS (Home Subscriber Server),**
- **PCRF (Policy and Charging Rules Function).**

III.1. L'équipement utilisateur UE

C'est une nécessité pour l'abonné de pouvoir interagir avec le réseau afin de bénéficier de n'importe quel service de ce dernier selon les privilèges de son abonnement. Une des exigences de ce appareil est qu'il doit être équipé d'un terminal compatible (Smartphones, clé modem, tablettes et ou même ordinateurs) à cette nouvelle norme des années 2010 accompagnée d'une carte SIM (Carte SIM d'un opérateur ayant intégré la norme LTE) conçue pour la norme de quatrième génération. Ces conditions réunies permettent à l'abonné sous couverture d'une telle norme de réseau de pouvoir bénéficier d'un débit spécifiquement élevé et sommairement plus important de plusieurs fois que celui de sa précédente norme UMTS.

La figure qui suit montre les différents états que peuvent se trouver l'UE selon différents facteurs partagés entre lui et le réseau PLMN (Public Land mobile Network). L'UE se trouve dans l'état LTE_DETACHED, il passe immédiatement à LTE_ACTIVE dès son allumage dans la mesure où les

conditions nécessaires pour intégrer le réseau sont réunies. Il reste dans cet état tant qu'il est sujet de trafic entrant ou sortant sous sa demande ou d'une autre UE. En cas d'inactivité de trafic l'UE passe à l'état LTE_IDLE, et se trouve en quelque sorte dans un état de veille. De là, il peut rebasculer à son état précédant pour quelconque activité ou encore l'état LTE_DTACHED en cas de déplacement sur une zone non couverte se manifestant par un délai épuisé pour la mise à jour de son emplacement via le **Tracking Area UPDATE.**

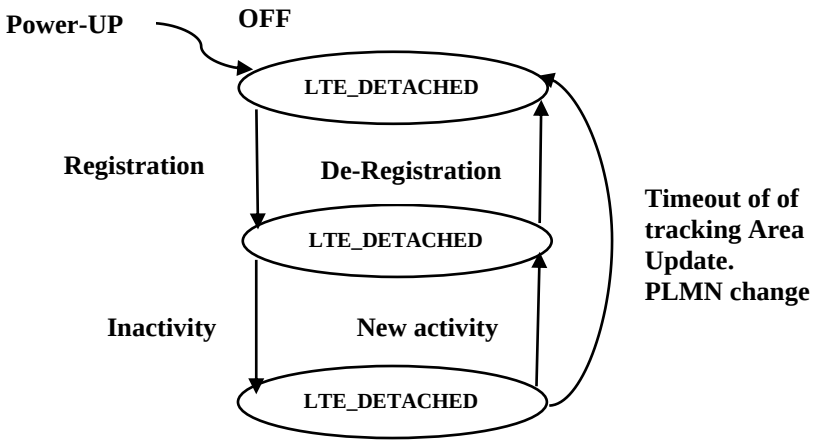


Figure 14 : Le graphe des états de l'UE [22]

III.2. L'entité eNodeB

Etant principalement la seule entité située dans le réseau d'accès E – UTRAN, elle a en charge d'assurer les mécanismes de transmission et réception radio entre ce réseau d'accès et l'équipement utilisateur UE. A la différence notable de la 3G comme l'exemple de l'UMTS, où l'on trouve au même endroit NodeB et RNC, de plus les fonctions qu'ont été prise en charge par le RNC ont été partagées entre l'eNodeB et les entités du réseaux cœur en l'occurrence le **Mobility Management Entity (MME)** et le **Serving GateWay (SGW).**

L'eNodeB dispose de deux interfaces que sont S1 et X2 utilisées comme suit :

- L'interface S1

IL contient l'interface S1-C (S1-Control) utilisé entre l'eNodeB et l'entité MME que nous tarderons pas de voir un plus bas, il contient également le S1-U (S1-Usager) situé entre l'eNodeB et le Serving GateWay.

- **L'interface X2**

C'est une autre interface qui relie les eNodeB adjacents. L'intérêt de son utilisation est principalement de minimiser les pertes de paquets lorsque l'UE en mode ACTIF est en déplacement.

Dans cette même optique, il sera possible à l'aide de cette interface, lors du changement d'eNodeB du fait de la mobilité de l'UE de continuer à faire transiter les paquets entrant via l'ancien eNodeB dans la mesure où celui-ci arrive à acheminer les données vers le nouveau eNodeB.

III.3. L'entité MME (Mobility Management Entity)

Elle est supportée dans le réseau cœur de LTE et agit principalement dans les processus de control (Signalisation, localisation) des activités des UEs. Ces principales fonctions seront ici étudiées.

- **La signalisation EMM et ESM**

Les protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) sont deux protocoles intégés dans les terminaux compatible 4G pour la signalisation et de permettre la gestion de leur mobilité au sein du réseau pendant leurs échanges de données avec le MME.

- **L'authentification**

L'identification de tous les abonnés du réseau, pourvu qu'ils soient légitimes pour pouvoir accéder aux services du réseau, s'effectue par le biais de l'exploitation des données recueillies depuis l'entité HSS.

- **La joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE incluant le Paging process**

Lors d'une demande de communication d'un UE émetteur vers un autre , l'équipement utilisateur destinataire trouvé dans un état LTE-IDLE fera l'objet de paging le temps de lui chercher dans le réseau et trouver son emplacement via le Tracking Area Update. Le processus par lequel le MME cherche l'UE destinataire en mode LTE-IDLE au sein du réseau s'appelle le **paging [13]**.

i[13] https://patents.google.com/patent/WO2017161568A1/en

- **La gestion de la liste de zone de localisation (Tracking Area List) _**

Cette étape s'opère au sein du réseau par l'intermédiaire du MME qui collectionne une dizaine ou une centaine de eNodeB au sein d'une liste de Tracking Area et envoie à chacun d'eux un **paging message** via un TA packet. L'UE IDLE sera informé via un eNodeB de cette liste de TA, la zone où il est localisé par le MME.

- **La sélection d'un autre MME lors de son changement**

Pendant que l'équipement utilisateur est impliqué dans une activité au sein du réseau tout en se déplaçant d'une zone sous contrôle d'un MME à une zone gérée par un autre, le mécanisme de handover devrait avoir lieu entre ces deux MME.

- **La sélection du S-GW et du PDN-GW**

Au moment du rattachement au réseau d'un UE, le MME sélectionne le S-GW et le PDN-GW pour l'établissement d'un **default bearer**. Dans une situation de besoin où l'UE se trouve plus proche d'un S-GW autre que celui actuellement relié, le MME peux demander au PDN-GW de changer de bearer résultant au choix d'un nouveau S-GW.

- **La sélection du SGSN (Serving GPRS Support Node) lors d'un handover LTE-2G/3G**

Lorsque l'UE se déplace d'une couverture LTE vers une autre 2G/3G, l'établissement d'un default bearer avec un SGSN ne devrait pas tarder à avoir lieu via la réaction du MME.

- **L'itinérance « Roaming » en collaboration avec le HSS (Home Subscriber Server)**

Quant 'à la demande d'un UE de se rattacher à un autre réseau, son MME demande via son PDN-GN de coupler avec le HSS du réseau d'appartenance de cet usager pour avoir les information de son profil. Si celles-ci donne autorisation à l'UE de rester dans le réseau etranger, son MME pourra lui donner un default bearer et mettre à jour sa localisation.

- **La gestion des bears avec notamment l'établissement des « dedicated bearers »**

Comme évoquer précédemment, le MME en plus d'établir des default bearer avec l'UE, se charge également dans une situation de besoin de mettre en lien des dedicated bearers avec l'usager.

- **L'interception légale de trafic de signalisation**

Etant donné que l'ensemble du trafic de signalisation passe par le MME, toutefois il pourrait l'archiver en guise de traçabilité.

III.4. L'entité Serving Gateway (S-GW)

Les fonctions de cette entité sont nombreuses parmi lesquelles on a :

- **Point d'encrage pour le handover LTE inter-enodeB**

Au moment d'un handover inter-eNodeB, le trafic qui transitait entre le Serving-GW et l'ancien eNodeB doit migrer entre le Serving-GW et le nouveau eNodeB.

- **Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G**

Lorsque l'UE se mobilise d'une zone LTE à une autre de 2G/3G paquet, le SGSN et le Serving-GW s'interface entre eux pour la continuité des services de données. Le Serving-GW pourra ainsi relayer les paquets entre le PDN-GW et les systèmes 2G/3G.

- **Mise en mémoire des paquets lorsque l'UE destinataire est dans un état ECM-IDLE**

Elle a lieu en plus d'une procédure de demande d'initialisation de service qui s'opère en réseau.

❖ **Interception légale**

Le Serving-GW est une partie prenante du chemin de signalisation pour l'établissement et le contrôle de bearers ainsi que du cheminement du flux media avec les échanges de paquets avec l'UE.IL est donc un moyen stratégique pour intercepter les flux media et contrôle.

❖ **Routage et relai des paquets**

Le S-GW route les paquets sortant vers le PDN-GW le plus approprié et relais les paquets entrant vers l'eNodeB servant l'UE.

❖ **Comptabilité par usager pour taxation inter-opérateurs**

Cette entité gère également la comptabilité des flux usagers entrant et sortant suivant une quantification en octet et ses multiples, utilisée par les opérateurs lors des échanges de tickets avant reversements.

❖ **Marquage des paquets dans les sens montant et descendant**

Dans un contexte de **QoS** (Quality Of Service), certains paquets auront plus de priorité sur d'autre. Avec le DiffServ Code point sur la base du **QCI** (QoS Class Identifier) et du bearer associé, les paquets se différencie en priorité au sens du DiffServ.

III.5. L'entité PDN GW (Packet Data network Gateway)

Les fonctionnalités de l'entité PDN-GW incluent

❖ **Interface vers les réseaux externes**

Le réseau mobile EPS se termine au niveau de cette entité, Il a en charge d'assurer l'interface avec les réseaux externes via son appui sur les protocoles IPv4 et IPv6.

❖ **Allocation de l'adresse IP de l'UE**

Lors de l'attachement de l'UE au réseau, ce dernier reçois une adresse IP de la part du PDN-GW avec l'établissement du **default bearer**. Ainsi il peut utiliser l'IPv4 ou l'IPv6 pour l'allocation d'adresse aux UEs.

- **Interception légale**

Le PDN-GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement de default ou dedicated bearer, de même que sur le chemin de transit des flux media, autant pour avoir un atout stratégique de pouvoir intercepter légalement les flux des UEs media et contrôle.

- **Marquage des paquets dans les sens montant et descendant**

Comme au niveau de l'entité S-GW, l'utilisation du DiffServ permet en cas de besoin d'ordre de la QoS d'associer les paquets entrant et sortant à des priorités au sens du DiffServ.

- **Taxation des flux de services montant et descendant**

Suivant les règles édictées par le PCRF (Policy and Charging Rules Functions) ainsi que des politiques locales des taxations auront lieu suivant le type de flux et l'abonnement des UEs.

III.6. L'entité HSS (Home Subscriber Server)

La base de données utilisée dans les générations antérieurs reste presque la même pour le LTE avec quelques évolutions pour se compatibiliser avec les nouveaux systèmes sauf que le nom est passé de HLR des systèmes 2G/3G à HSS des systèmes 2G/3G/4G. A la différence de la 2G et de la 3G où l'interface vers le HLR était assurer par le protocole MAP de SS7 (Système de Signalisation No 7), l'interface S6 s'appuie sur le protocole **DIAMETER** du monde IP.

HSS supporte à la fois les protocole MAP et DIAMETER puisqu'il prend en charge les systèmes LTE/EPS/IMS et 2G/3G.

III.7. Entité PCRF (Policy & Charging Rules Function)

Cette entité exerce deux fonctions :

❖ Elle délivre au PDN-GW les politiques liées à la taxation lors d'un établissement ou d'une libération d'un default bearer ou d'un dedicated bearer. Ces regles permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de services (Par exemple, flux Web taxé selon le volume en octet, flux streaming taxé selon la durée).

❖ Elle a également pour rôle de demander au PDN-GW d'établir, de maintenir, de modifier ou de libérer un dedicated bearer suivant la QoS souhaitée par l'usager. Par exemple si l'usager demande une session IMS, le PCRF dialogue avec le P-CSCF pour recevoir la QoS requise par l'usager suite à un message SIP reçu par ce dernier. Le PCRF dialogue avec le PDN-GW pour lui indiquer le dedicated bearer à établir.

IV. L'interface air de LTE [33]

L'interface radio du système tout IP LTE apporte des améliorations par rapport aux générations précédentes 2G/3G sur différents aspects tels qu'entre autres l'efficacité spectrale grâce à l'utilisation de la technique MIMO (Multiple input Multiple Output) et de celle de l'OFDM qui a permis, pour la liaison descendante, l'emploi de l'OFDMA et SC-FDMA pour la liaison montante. Ces techniques d'accès multiples ont largement contribué à la réussite d'une meilleure gestion des ressources radio occasionnant une meilleure performance réseau avec une latence plus faible. Avec cette norme, la capacité du réseau se voit largement augmenter par rapport à ses prédécesseurs grâce à l'adoption de plusieurs largeurs de bandes allant de 1,4 à 20 MHz et de l'agrégation de porteuses. LTE a le choix de fonctionner avec des canaux fréquentiels appariés ou non appariés suivant les techniques de partage de ressources **FDD** et **TDD**.

Une des avantages de ce nouveau réseau d'accès de réseaux mobile radio est sa retro compatibilité avec ceux des systèmes 2G/3G pour permettre aux opérateurs d'éviter une rupture de l'usage de leur ancienne antenne d'installation. Ainsi LTE contribuera à élargir la couverture de l'opérateur avec l'utilisation de la mutualisation d'antennes 4G/3G/2G.

IV.1. OFDM (OFDMA et SC-FDMA)

L'**OFDM** (Orthogonal frequency Division Multiple) est une technique de partage de ressource radio utilisée par le réseau d'accès eUTRAN. Elle offre une grande immunité contre l'interférence inter-symbole. L'**OFDMA** (Orthogonal Frequency Multiple Access) est utilisée pour la transmission en liaison descendante (Downlink) et le **SC-FDMA** (Single carrier-Frequency Division Multiple Access) pour celle en liaison montante. Lorsqu'un signal radio transite au moyen de canaux radio entre émetteur-récepteur , il peut subir des déformations ou accusé du retard en empruntant des trajets multiples par reflexion suite au contact avec des obstacles aux passage de l'information via un chemin direct (Line Of Sight, LOS). Il va y avoir autant de différences de phases que de trajets multiples pouvant affecter l'ordre de réception des blocs d'information. En ce sens l'usage de l'OFDM trouve toute son importance puisqu'il bénéficie d'une grande immunité inter-symboles.

Le principe de cette technique consiste principalement à distribuer à un grand nombre de porteuses le signal numérique à transmettre. Ces porteuses sont assimilables à des émetteurs indépendants de fréquences différentes.

Chaque modulateur correspond à un sou porteur OFDM $\mathbf{x_k(t)}$ modulés avec une fréquence $\mathbf{f_k = K*\Delta f}$ et $\mathbf{a_k}$ **est** le symbole appliqué à $\mathbf{f_k}$. L'ensemble de ces $\mathbf{x_k(t)}$ forme **x(t)** tel que

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

La figure ci-dessous donne une description d'un modulateur OFDM qui se compose de **Nc** modulateurs complexes.

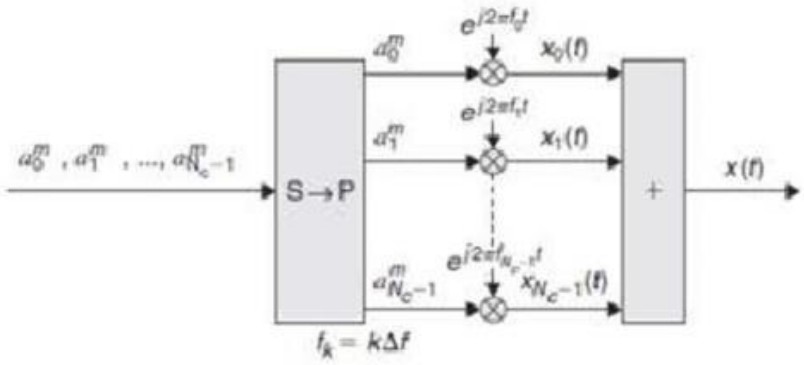


Figure 15 : Le modulateur OFDM [33]

Ce modulateur se base sur des blocs, impliquant qu'au cours de chaque intervalle de symboles Nc symboles sont parallèlement transmis sur une variété d'alphabets au choix entre autres (QPSK, 16 QAM, ou 64 QAM).

- **L'OFDMA**

Derrivé de l'OFDM, cette technique de transmission est dédiée à la liaison descendante (Downlink) pour que plusieurs usagers réceptionnent simultanément au même instant symbole OFDM. Elle résout les problèmes de sélectivité en fréquences radio en découpant un canal en sous canaux de largeurs inférieure à la bande de cohérence. Générées grace à l'IFFT (Inverse fast Fourier Transform) plusieurs sous porteuses orthogonales se chargent de transmettre l'information dont le nombre dépend de la largeur de bande allouée à l'opérateur.

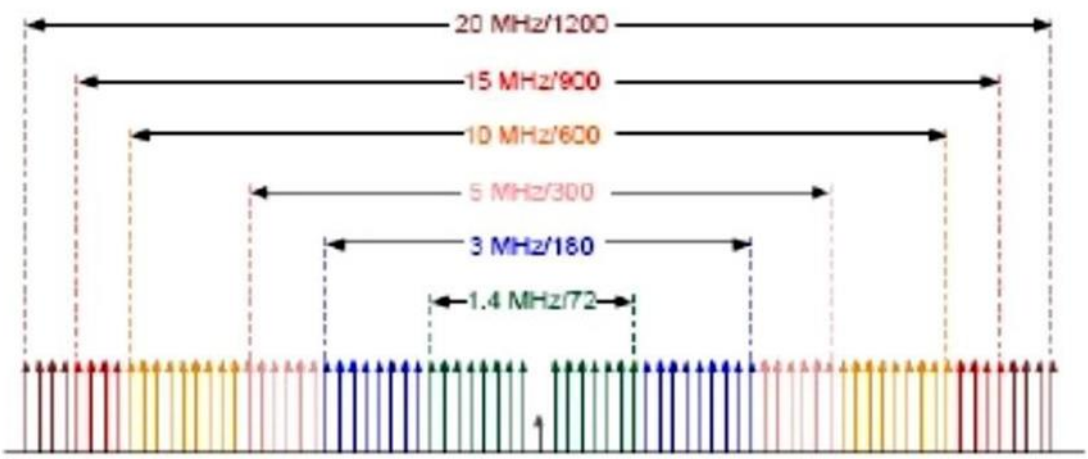


Figure 16 : Nombre de sous porteuses par CC (Carrier Component) [33]

Les sous porteuses consécutives sont espacées de 15 KHz. La figure suivante en fait l'illustration.

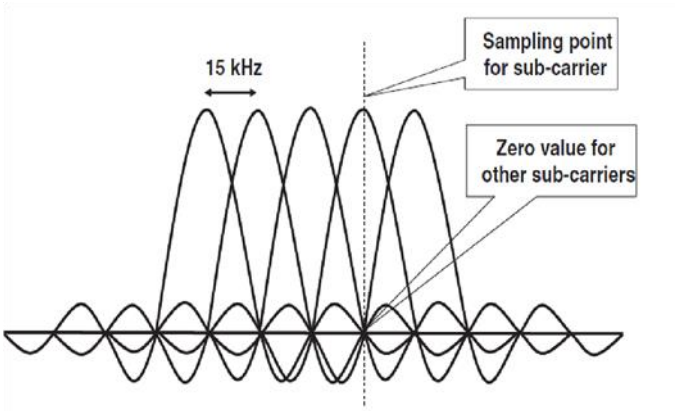


Figure 17 : Espacement entre sous porteuses OFDM [33]

Le récepteur aura autant de fenêtres de captures que de sous porteuses, ainsi avec un nombre **N** de sous porteuses, la bande passante **B = N*Δf.** L'OFDM admet l'avantage d'une flexibilité de bande allouée ajustable selon les besoins, elle conditionne directement cette bande passante.

Pour éviter d'éventuelles interférences inter-symboles causées par le canal multi-trajets, il faut ajouter un préfixe cyclic aux sous porteuses dont la taille dépend du milieu de propagation. LTE compte deux **CP (Cyclic Prefixe)**, l'un de taille normale **(5,21 µSec)** , l'autre de taille étendue **(16,67 µSec)** pour les milieux très dispersifs. Un filtrage des symboles adjacents n'est pas nécessaire pour recevoir un symbole du signal émis par le biais du FFT (Fast Fourier Transform) qui se charge de séparer les dous porteuses (i.e 1200 SP pour 20 Mhz de largeur de bande). Il faut noter que chaque symbole de 15 KHz dure 66,7 µSec en LTE.

- **Le SC-FDMA**

Pour des contraintes de puissance énergétiques très élevées imposées par l'OFDM avec une puissance d'émission égale à la somme des puissances élémentaires de chaque sous-porteuse, ce mécanisme de transmission serait inadapté compte tenu des faibles capacités des batteries des UE. Dans cette dite

perspective le SC-FDMA est utilisé dans la liaison montante (Uplink) pour optimiser la puissance d'émission à fournir des UEs. Comparé à l'OFDMA où chaque symbole est transmis sous une sous-porteuse, le SC-FDMA étale un symbole à transmettre sur une sous-porteuse correspondant à l'ensemble des sous porteuses.

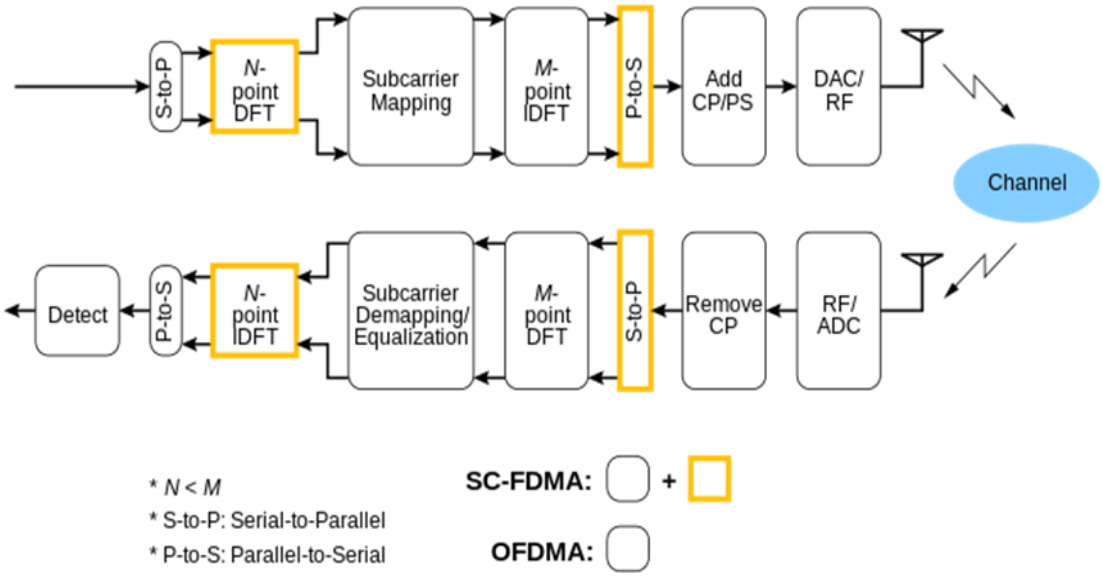


Figure 18 : Codage radio FDMA et SC-FDMA [33]

IV.2. Modulation et codage adaptatif

L'AMC (Adaptative Modulation and Coding) est tune technique d'optimisation de l'efficacité spectrale par codage et modulation selon l'état du canal, d'où l'aspect adaptatif. Dès l'envoi du CQI (Channel Quality indicator) de l'UE au eNodeB, celui-ci pourra sélectionner un MCS (Modulation and Coding Sheme) pour avoir un BLER (Block-Error Rate) faible (10% en général).Si l'on considère que le canal est réciproque, dans le sens montant , le même MCS ou un autre qui lui est inférieur est utilisé dans l'eUTRAN.

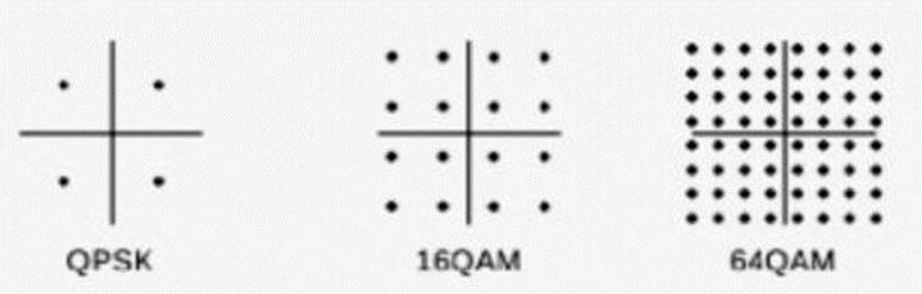


Figure 19 : Différentes techniques de modulation utilisées en LTE [33]

IV.3. Les modes de transmission en LTE

Dans ses exigences, l'E-UTRAN supporte plusieurs modes de transmission que l'opérateur pourrait adapter selon les ressources fréquentielles disponibles. En effet il prend en charge les modes (FDD, TDD, FDD/TDD et FDD half-duplex). En FDD le flux au sens montant et descendant sont acheminés via des porteuses séparés par des bandes de garde. En TDD les flux sont transmis des deux sens la même porteuse avec un délai temporel de séparation de chaque transmission sur une séquence temporelle appelée sous-trame en LTE.

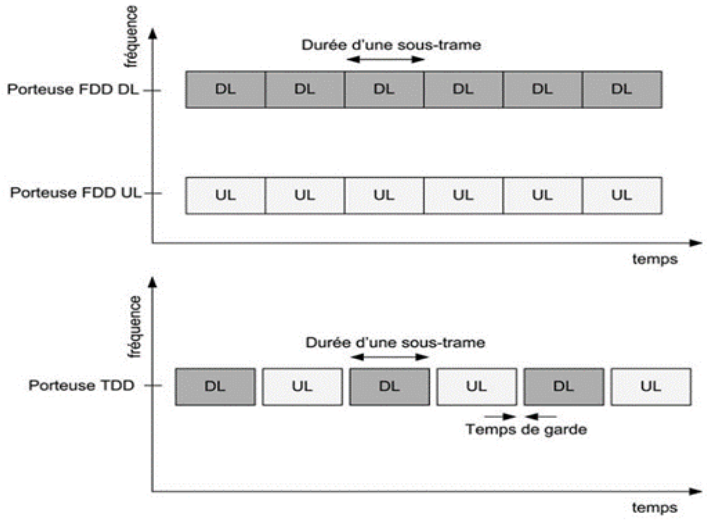


Figure 20 : Répartition des voies montante et descendante des modes FDD et TDD [33]

IV.4. Structure de trame LTE

Il existe deux types de trames l'un pour FDD et l'autre pour TDD. Celui-ci utilise des trames radio de 10 ms de durée. Chacune des divisée en 10 sous-trames de 1 ms correspondante chacune à un TTI (Transmission time intervalle) qu'on peut allouer à un UE.

En FDD une sou trame est divisé en deux slots de 0.5 ms sachant que 10 sous trames sont utilisés en Uplink et 10 autres sous trames en Downlink en mode duplex. A la différence du half duplex qui note comparativement un nombre de sous trames inférieurs du fait de l'absence de transmission simultanée dans les deux sens.

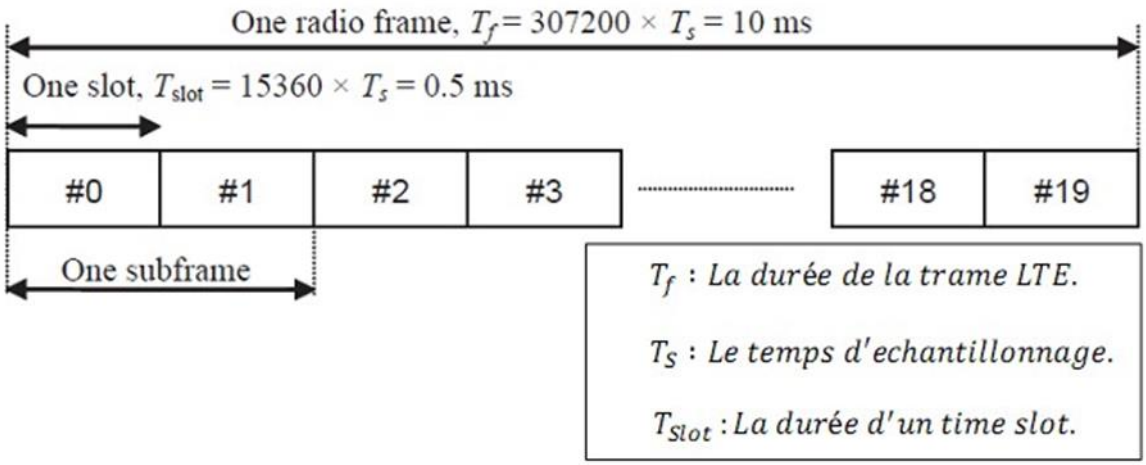


Figure 21 : Structure de trame en FDD et FDD half duplex [33]

En TDD, il faut un interval de temps nécessaire à l'eNodeB pour basculer de l'émission à la réception des sous trames appelé **GP** (Guard Period) égale à 20 µSec. L'UE est avisé du décalage de GP pour ^être synchrone avec l'eNodeB.

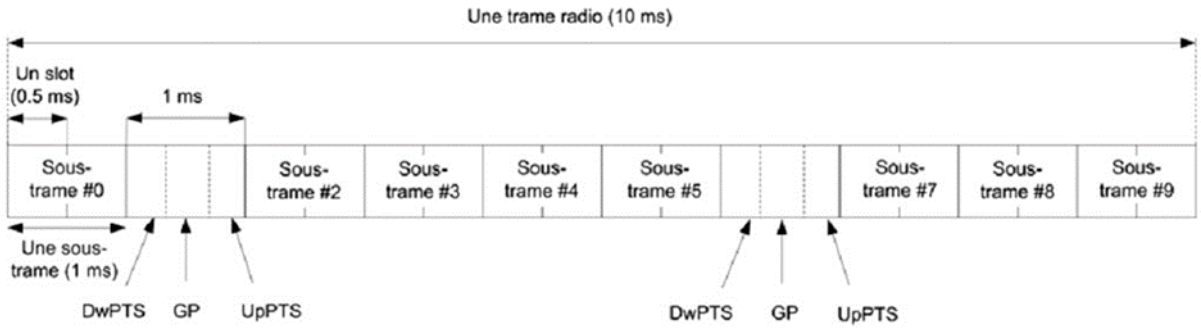


Figure 22 : Structure de trame en TDD [33]

La taille du Cyclic Prefix , d'un symbole OFDM correspondant à l'ensemble des symboles M-QAM portés chacun par une sous porteuse sinusoïde, selon qu'elle soit normale ou étendue conditionne la structure d'un time slot. Ainsi on en compte deux types de time slot que nous allons présenter chacun dans la figure ci-dessous.

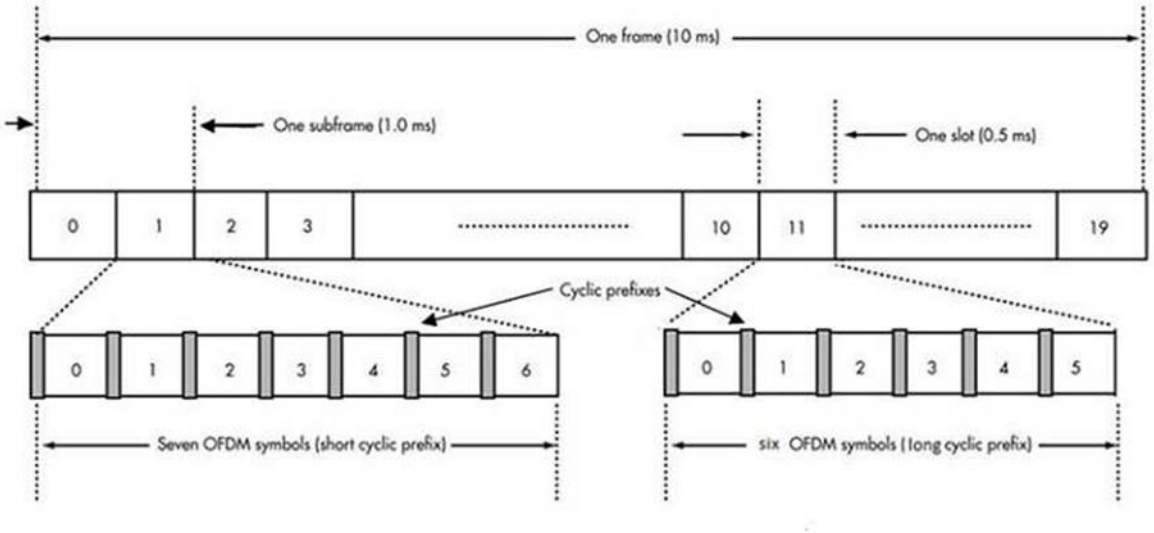


Figure 23 : Les times slots du short CP et Long CP d'un symbole OFDM [33]

IV.5. Bloc de ressource (RB) et élément de ressource (RE)

Un bloc de ressource PRB (Physical Ressource Block) est formé d'éléments de ressource RE (Ressource Element). Un time slot équivaut à 0,5 ms et correspond à un PRB qui compte 12 sous porteuses de 15 kHz de largeur de bande. Chaque sous trame est soit 7 ou 6 symboles selon respectivement le normale CP ou l'Extended CP. Le PRB compte quant 'à lui soit 84 RE ou 72 RE. Chaque RE correspond à une sous-porteuse et un symbole issu d'une de ces modulations (QPSQ, 16-QAM, 64-QAM).

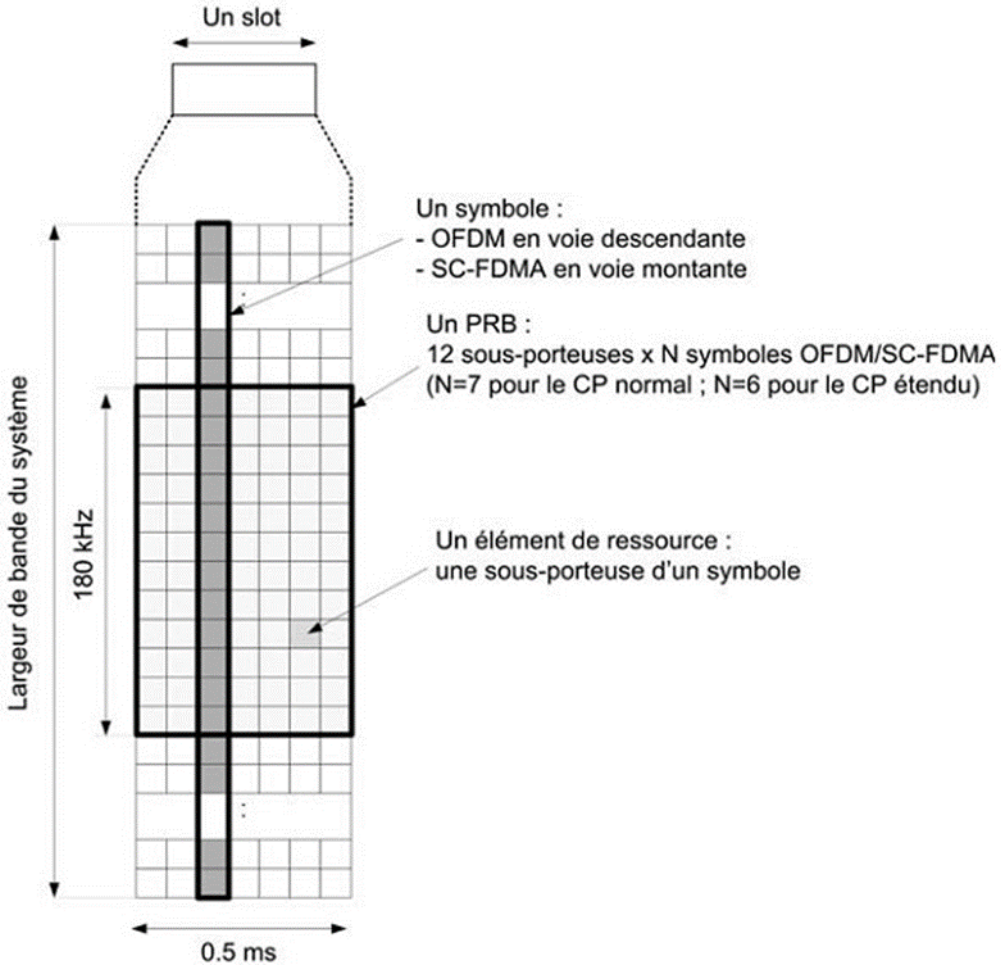


Figure 24 : Bloc de ressources (PRB) et élément de ressource (RE)

Dans le tableau qui suit on a présenté le nombre de PRB par CC (Component carrier)

Bande (MHZ)	Nombre de PRB
1.4	6
3.0	15
5.0	30
10.0	50
15.0	75
20.0	100

Tableau 2 : Le nombre de bloc de ressources par porteuse [33]

Conclusion

Dans ce chapitre qui arrive à terme nous avons pu étudier la quatrième génération de réseaux mobile en passant de ses concepts généraux jusqu'aux particuliers. Cela nous a permis de découvrir et de reconnaitre les véritables prouesses de son lancement sur le marché des télécoms. Ainsi elle est reconnue pour sa plus grande simplicité architecturale et fonctionnelle en même temps qu'elle procure plus de satisfaction aux abonnés sous sa couverture qu'à ceux des normes précédentes. Le choix de lui désigner pour remplacer toutes les familles de normes de troisième génération prend ainsi tout son sens et les enjeux d'une telle décision sont énorme et comprennent l'idée de trouver une solution de la rendre autonome sur la gestion des services téléphoniques. Le chapitre qui va suivre s'inscrit dans ce sens et consacre l'étude des solutions pour la gestion la voix téléphonique pour des usagers de la 4G.

Chapitre III :

Etude des solutions de VoLTE

I. Préambule

Nous avons vu dans le chapitre précédant les spécificités de la 4G LTE et notamment ses apports dans l'expérience de déploiement et d'utilisation des réseaux radio mobiles qui concernent d'une part la simplicité de son architecture avec l'absence du domaine de commutation de circuit (CS) au profit d'un seul domaine de commutation de paquet (PS) qui gère tous les services de données IP de ses UEs, lui attribuant le nom de réseau tout IP (full IP), d'autres part la modularité de son architecture qui peut interagir avec d'autres systèmes de réseaux à paquet ou circuit, d'où une raison fondée de son adoption par les concepteurs de systèmes réseaux de cette industrie comme norme de succession des deux plus grandes familles de normes dont l'une part de **GSM** déployé principalement en Europe et l'autre de **IS-95** déployé en Amérique du Nord.

Malgré tous ses privilèges, en termes de choix, ce réseau full IP n'admet pas de support pour la gestion des trafics téléphoniques à temps réel de ses usagers. Or le but d'origine des réseaux mobiles était principalement de donner accès aux services de téléphonie à ses abonnés.

Dans ce contexte, il serait aisé de voir que la norme LTE n'est pas à elle seule capable de gérer tous les types de demandes venant des UEs sous sa couverture radio. Ceci a suscité l'intérêt d'étudier les mécanismes auxquels elle pourrait faire recours pour arriver à la résolution de ce problème. Ces derniers se distinguent suivant deux grands principes ; soit le réseau tout IP se mutualise avec les systèmes à domaine de commutation de circuit tels que le 2G/3G les conférant la gestion des trafics voix, soit il intègre l'architecture **IMS** (IP Multimedia Subsystem) pour offrir la voix IP sur LTE ou la solution de **VoLTE** (Voice over LTE). Celle-ci à la particularité de faire de la norme LTE un système tout IP désormais autonome des anciens systèmes de téléphonie mobile.

Dans ce chapitre allons étudier différentes solutions qui permettent à un abonné sous couverture d'un réseau radio de quatrième génération de satisfaire ses demandes de services téléphoniques. Pour cela nous allons voir suivant l'ordre respectif **CSFB**, **VoLTE et IMS** et **SRVCC**.

II. La solution de CSFB (Circuit Switched Fall-Back)

Dès le lancement de la norme LTE, les opérateurs ont vite compris l'importance de maintenir les infrastructures existantes du fait de son incapacité à fournir des services téléphoniques de bout en bout. Il se résigne alors d'adopter un plan moyen court terme qui mène droit à la solution de CSFB.

Etant la première solution retenue par les fournisseurs de services téléphoniques déployant la nome LTE, CSFB se résume par l'utilisation des systèmes 2G/3G pour la transmission de la voix et de la 4G pour tout service lié à la transmission de données IP.

Avec cette solution un UE peut basculer entre 4G et 2G/3G selon les services qu'ils désirent s'offrir. Il est nécessaire pour cela que le cœur du réseau 4G (EPC via MME) et le cœur du réseau du domaine circuit 2G/3G (NSS, via MSC) échangent des flux de signalisation par le biais de l'interface SGs définie principalement pour abriter ce mécanisme[25].

Il faut noter que le basculement du Mobile Station de la 4G à la 3G n'interrompe pas ses sessions data qui sont alors maintenues avec la même adresse IP pendant que des flux de voix sont échangés avec lui. A la fin des cessions voix coïncidant à la fin du mécanisme de CSFB, l'UE se contente de services de données à très haut débit.

A la différence du basculement vers la 3G, de la 4G à la 2G, les sessions data sont suspendues pendant que les sessions voix s'établissent. A la fin de ces dernières, l'UE reprend sa cession data pour se contenter des services de données à très haut débit.

Le temps de basculement pour un appel sortant ou entrant est dans les meilleurs conditions inférieur à 1 seconde.

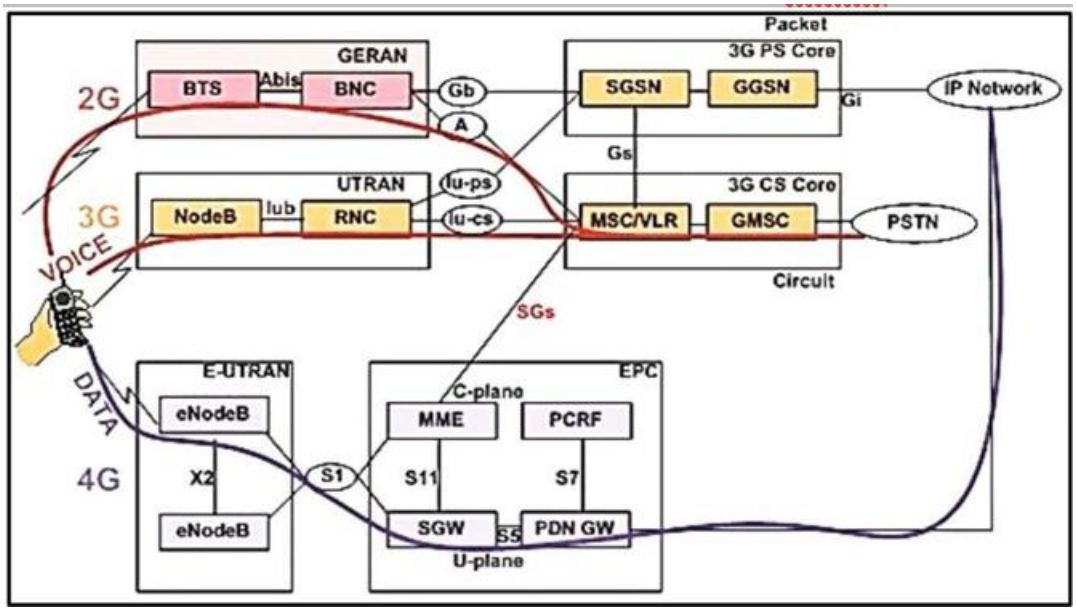


Figure 25 : Solution CSFB [23]

Il faut noter que la solution de CSFB présente des avantages comme des inconvénients

- **Avantages**
  - Accès aux services téléphoniques d'un UE depuis un réseau LTE
  - Maintien des antennes sur place (2G/3G) rendant la couverture 4G optionnelle
- **Inconvénients**
  - Le temps de basculement peut prendre un délai plus long que prévu (une seconde) pouvant créer des perturbations lors d'une émission ou d'une réception d'appel.
  - Déploiement de la 4G plus couteux par l'absence d'autonomie
  - Avec ce mécanisme la succession de la 2G/3G par la 4G devraient prendre plus de temps que prévu sachant que cette dernière ne se déploie pas toute seule.

III. La solution VoLTE et IMS

Dans cette partie de la rédaction nous allons nous appesantir sur la présentation de **VoLTE** (Voice over LTE) et son support de mise en œuvre **IMS** (IP Multimedia Subsystem), de ses généralités aux aspects les plus particuliers

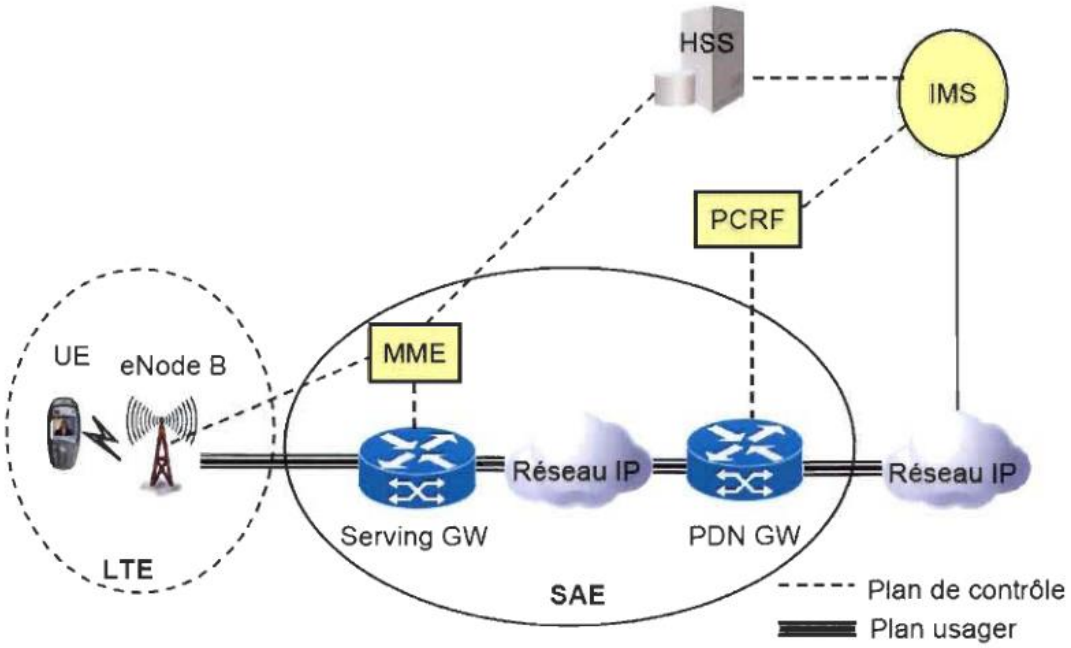


Figure 26 : Architecture LTE/IMS [22]

III.1. La voix sur LTE (VoLTE)

De 1992 à 1999, la 2G plus connue avec GSM avait été la meilleure génération disponible pour être déployée par les opérateurs de cette époque. L'année 1998 marque l'arrivée de GPRS et 1999 l'arrivée d'EDGE qui sont des versions évolutives de la 2G sans pour autant modifier le support de la voix . Son successeur qu'est l'UMTS plus connue avec la 3G a vu le jour dès l'année 2000 avant de commencer rapidement à le remplacer sur le marché sous le motif des soulagements qu'elles apportent aux usagers sur la disponibilité, la capacité et la rapidité des services avec notamment sur le débit d'internet qui passe à 384 kbps et une réduction notable des temps de latence pour une quelconque demande. Le réseau d'accès de cette norme a été amélioré respectivement par la sortie du HSPA en 2002 et du HSPA+ en 2007 pour un plus haut débit d'internet et des services de données.

Cependant même face à ces améliorations bien notables de l'UMTS, il a maintenu le même support téléphonique que son prédécesseur 2G pour véhiculer les voix, les appels téléphoniques, les sms et l'**USSD** en incluant de plus les appels vidéo. Le CS (Circuit Switched) en est le nom pour indiquer

que c'est un support dédié, une ressource qui est quantifiée sous les coups des demandes fortes de liaisons dédiées dans des zones denses de couverture radio conduisant ainsi à un prix exorbitant de leur déploiement.

En 2008 la 4G a été annoncée avec l'objectif de se débrasser des supports de la voix hérités de GSM aux profits des opérateurs qui voudraient se débrasser de l'entité CS au profit d'une autre entité IMS.

Mais face à la complexité de l'architecture de cette dernière, ils se sont opposés à son adoption pour qu'en 2010 la norme LTE soit commercialisée sans IMS.

En 2014 face à son couteux prix certains opérateurs ont finalement réussi de donner un coup de grâce à l'entité CS de l'architecture des technologies 2G/3G au profit de l'entité IMS.

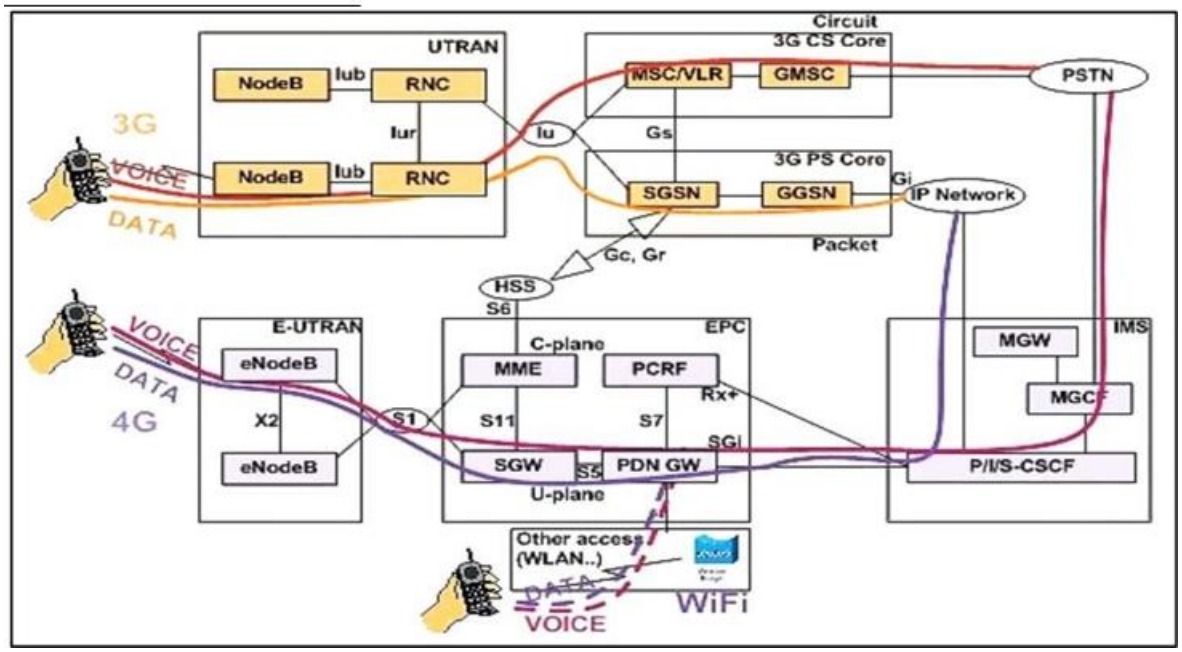


Figure 27 : Solution de VoLTE[24]

III.1.1. Définition de voLTE

VoLTE ou voice over LTE. Autrement dit c'est le passage de la voix téléphonique par le réseau cœur de données tout IP de LTE. Le principe de déroulement de l'appel avec cette technologie reste le même que d'habitude et ne nécessite aucun frais tarifaire supplémentaire. C'est du support utilisé que sa particularité se situe qu'est le réseau cœur de données. Grace à cette technologie les opérateurs de

réseaux mobiles vont pouvoir améliorer la qualité de leur services téléphoniques avec plus de flexibilité dans l'usages des paquets IP sous différents niveaux de priorité

III.1.2. Avantages de voLTE pour les opérateurs

Les bénéfices de VoLTE pour les opérateurs sont nombreux, On note

- L'accroissement considérable de l'efficacité spectrale dans l'usage des bandes de fréquences allouées.
- La possibilité d'intégration de nouveaux services faisant l'objet de facturation
- Coût des appels plus faible par l'usage des paquets IP pour les acheminer
- Déploiement plus simple et moins couteux des réseaux mobiles avec notamment le fait de pouvoir se débarrasser des antennes des systèmes 2G/3G.

III.1.3. Bénéfices de voLTE pour les usagers[25]

- Qualité des appels haute définition HD
- Plus de basculement permanente hors de la 4G
- Durée de la procédure de lancement et de rupture d'un appel plus faible
- Meilleure autonomie de la batterie de l'usager
- Choix de services plus largex

III.1.4. Défis contraignants de voLTE [25]

- Tous les opérateurs ne supportent pas VoLTE
- La plupart des équipements utilisateurs ne supportent pas non plus VoLTE
- Son déploiement s'appuie sur IMS, un système très complexe
- On peut avoir un accès VoLTE sans une couverture LTE
- Les opérateurs offrant VoLTE sont à interconnecter, ce qui est peineux
- Un opérateur désirant la déployer doit tester toutes les variétés de terminaux mobiles

III.2. La plateforme IMS (IP Multimedia Subsystem)

III.2.1. Définition

IP Multimedia Subsystem est la plateforme de convergence vers des réseaux de télécommunications tout IP. Elle doit permettre aux opérateurs de flexibiliser leurs limites en variétés de services multimedia disponibles et de compatibilité entre réseaux IP .

Dans le contexte de notre sujet qu'est la voLTE, cette plateforme a été désigné pour émuler les fonctionnalité du domaine de commutation de circuit des systèmes 2G/3G et permettre son exploitation en liaison avec le système SAE pour fournir entre autre la voix téléphonique.

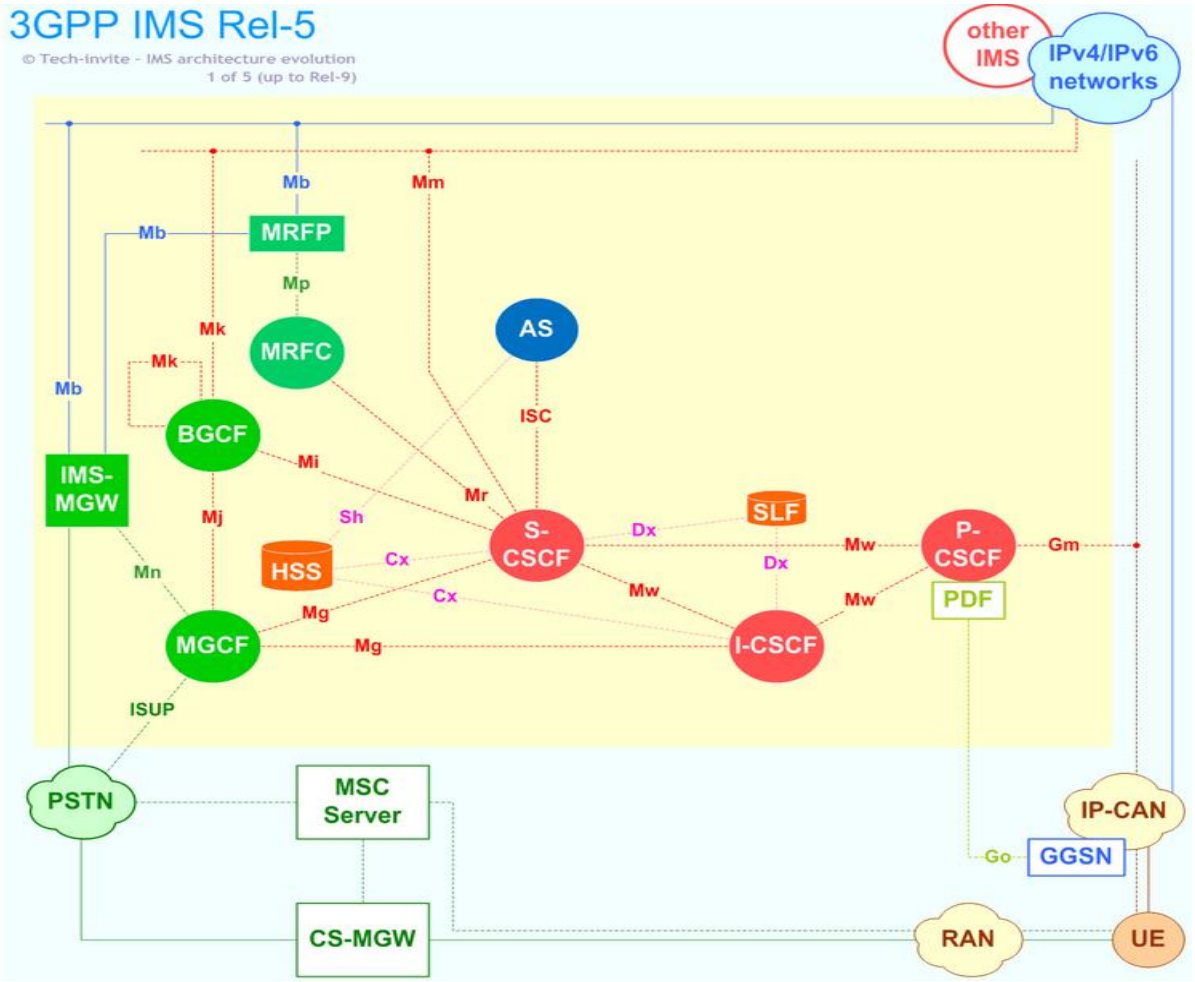


Figure 28 : Architecture de l'IMS [25]

III.2.2. Services proposés

Les services proposés sont tous IP de catégories multimédia partagés principalement entre la téléphonie, la visiophonie, la conférence, la messagerie instantanée et le partage de données.

III.2.3. Architecture fonctionnelle en couche

Les couches de fonction du système IMS sont au nombre de quatre, distinctes et autonomes. Il s'agit respectivement de la couche accès, transport, contrôle et application.

Ce qui est plus important à retenir à propos de ces couches est l'absence de dépendance entre elles, autrement dit, l'on peut déployer un service dans la couche application sans tenir compte du réseau d'accès utilisé, de même que du type de terminal en question à condition qu'il soit compatible.

- **La couche d'accès**

Elle conditionne la manière dont les utilisateurs se lient à la plateforme IMS menant à une prise en charge d'une large variété de terminaux de ce dernier, y compris ordinateurs, smartphones, modems….

- **La couche de transport**

Elle détermine les mécanismes d'acheminement employés pour le transfert correct des données des utilisateurs IMS de(s) l'émetteur(s) jusqu'à ou aux récepteur(s). Dans ce processus les routeurs jouent un grand rôle, surtout dans le choix de la bonne route à faire transiter l'information selon le destinataire désigné par son émetteur.

- **La couche contrôle**

Cette couche fait appel à des contrôleurs de session du nom de CSCF (Call Session Control Function) qui assurent la gestion de contrôle de toutes les fonctions de signalisation permettant d'ouvrir, de maintenir, de modifier, et de fermer les sessions des utilisateurs.

- **La couche d'application**

Elle est l'interface de fourniture de tout service multimédia disponible. Celui-ci pourrait concerner des données audio, images, vidéos ou textuelles. Cette couche est libre de possibilité puisque IMS ne spécifie pas les services mais offre un support

III.2.4. Eléments fonctionnels

Ils constituent dans leur ensemble la plateforme IMS et sont illustrés dans la figure ci-dessous

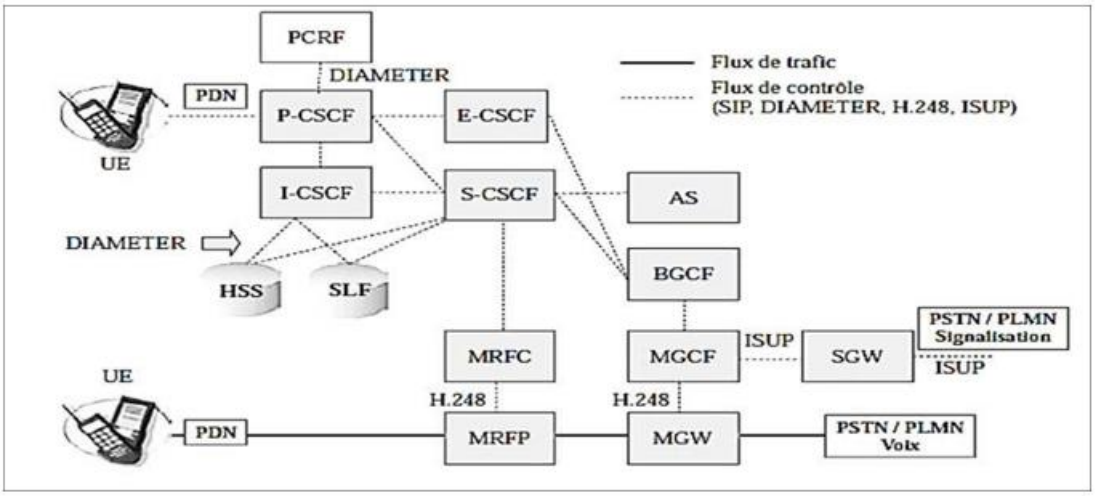


Figure 29 : Eléments fonctionnels du réseau IMS [26]

- **Bloc de contrôle de session CSCF**

Ceux sont des serveurs de contrôle de session SIP (Session Initiation Protocole) entre entités.

❖ **P-CSCF (Proxy-CSCF)**

Le proxy-CSCF constitue le premier nœud de contact avec le réseau par session SIP depuis un terminal utilisateur. Il relaye les messages vers le destinataire et met à terme un appel entre utilisateurs. Il assure les fonctions suivantes

➢ Il ajoute un en-tête au message SIP REGISTER contenant l'adresse IP du correspondant puis l'achemine du terminal à l'entité I-CSCF.

➢ Routage des méthodes SIP du terminal à l'entité S-CSCF engendrés par la réponse à la procédure d'enregistrement.

- L'acheminement des réponses SIP au terminal

❖ **I-CSCF (Interrogating-CSCF)**

C'est une des entités de contrôle de session qui assure les rôles ci-dessous

- L'affectation du S-CSCF à un terminal en cours d'enregistrement
- L'acheminement des méthodes SIP venant d'un autre réseau vers le S-CSCF
- Récupération de l'adresse IP du S-CSCF au près du HSS

❖ **S-CSCF (Serving CSCF)**

Cette entité maintient une session pour pouvoir invoquer des services. Les fonctions qu'elle assurent sont :

- L'émulation de la fonction REGISTRAR puisqu'il accepte les méthodes SIP et met à jour le HSS
- L'émulation de la fonction PROXY puisqu'il accepte les méthodes SIP et les achemine
- L'interaction avec des serveurs d'application après avoir analysé les critères de déclenchement des services correspondant

❖ **E-CSCF (Emergency-CSCF)**

Cette entité ne gère que les services d'urgences que sont le plus souvent des appels transmis du P-CSCF vers le centre de traitement d'urgence le plus proche.

Bloc de bases de données

IL comprend principalement deux bases de données que sont le **HSS** et le **SLF**

❖ **HSS (Home Subscription Server)**

Cette base de données gère le stockage des informations de chaque terminal. Plus précisément leur identité, paramètres d'accès et règles d'invocation des serveurs d'applications pour le S-CSCF.

❖ **SLF (Subscription Locator Functional)**

Une des rôles de cette base de données consiste à donner aux entités CSCF l'adresse IP de l'entité HSS affectée à un terminal lorsque qu'elle n'est pas la seule déployée.[27]

- **Bloc de routeurs**

Le passage des messages entre sous-réseaux IMS et entre ce dernier et d'autres réseaux sont gérés par :

- **BGCF (Breakout Gateway Control Function)**

Il est utilisé pour passer d'un réseau IMS à un réseau de commutation de circuit

- **MGCF (Media Gateway Controller Function)**

Cette entité gère le contrôle du Media Gateway et s'interface avec l'entité SGW pour l'échange de signalisation. Elle permet la conversion de flux multimédia entre des usagers IMS et d'autres du domaine de commutation de circuit CS.

- **IMS-ALG et TrGW**

La passerelle IMS-ALG effectue la translation d'adresse sur les flux de signalisation et la passerelle TrGW gère celle des flux de données.

- **MRF (Multimedia Ressource Function)**

C'est une entité qui permet de mettre en service un pont de conférence entre utilisateurs de réseau IMS en facilitant l'exploitation des flux via un choix de type de ces derniers.

Elle comprend logiquement deux composantes :

- **MRFC (Multimedia Resource Function Controller)** : Gère la partie signalisation et négocie les réquisitions des utilisateurs pour pour participer ou animer une conférence.
- **MRFP (Multimedia Resource Function Processor**) : Gère la partie flux de données en mélangeant les flux média pour fournir le service de conférence.

Les serveurs d'applications

Les serveurs d'applications ou **AS** (Application Server) sont basés sur le protocole SIP pour fournir différents types de services aux UEs auxquels ils se connectent par l'intermédiaire du S-CSCF.

On en distingue trois grandes familles de serveurs d'application. Ils s'agissent de :

- **SIP AS (SIP Application Server) :** qui fournissent des services nativement implémentés pour fonctionner avec SIP tels que Service de présence, messagerie instantanée, messagerie vocale, etc
- **IM-SSF (IP Multimedia - Service Switching Function) :** Pour garantir une fourniture de service aux abonnés en toute mobilité même dans la couverture d'une infrastructure réseau qui n'est pas de son opérateur ou le **roaming**. Pour ce dernier une passerelle IM-SSF établie va permettre de connecter l'abonné au serveur d'application de son opérateur.
- **Passerelle OSA SCS (OSA Service Capability Server)** : est un type de serveur d'application qui se particularise par son rôle de mettre fin à une signalisation SIP.

III.2.5. Les protocoles principaux de l'IMS

- **Protocole SIP (Session Initiation Protocole)**

C'est un protocole de signalisation qui permet qui assure la gestion de l'attachement du mobile au service multimédia et l'établissement d'une session. Il a en charge de régir l'établissement, la modification et la fin d'une session multimédia.

Ce protocole est à la base un couple de requête/réponse de type **HTTP** (Hyper Text Transfer Protocol) où chaque transaction fait appel à une requête qui interpelle une méthode particulière sous la forme d'une ou de plusieurs réponses.

- **Protocole SDP (Session Description protocole)**

Il donne des descriptions du flux de données auquel est liée la session à établir par le protocole SIP.

Le message SDP constitue le corps de message attaché au message SIP et apparait généralement dans la requête **INVITE** et la **réponse 200 OK.** Les paramètres qui caractérisent le flux média sont :

- Le type de media
- Le protocole de transport (exemple RTP)
- Le format du media (type de codec pour les voix et vidéos)
- L'adresse IP à laquelle le media doit être transmis
- Le numéro du port de destination

❖ **Le protocole DIAMETER**

Etant une évolution du protocole **AAA** (Authentication Autorization Accounting), c'est un protocole principalement déployé dans la quatrième génération de réseaux mobiles pour la gestion des signalisations des usagers entre les entités SGW et HSS du réseau cœur SAE. Avec un accès sur une plateforme IMS reliée avec la 4G, ce protocole intervient lors des échanges entre serveurs d'applications et serveurs HSS pour la vérification de l'intégrité des informations des profils des utilisateurs.

Les messages DIAMETER sont échangés dans plusieurs contextes tels que entre les entités CSCF du réseau IMS, avec le serveur de base données HSS lors de l'enregistrement de l'entité UA, lors du routage de la requête SIP et avec l'entité PCRF pour le contrôle du media

❖ **Protocole RTP (Real-time Transport Protocol)**

Permet de transporter des données soumises à des contraintes de temps réel (audio, vidéo, etc.) au moyen d'un réseau à paquets IP. Il assure l'identification de l'information a transporter et l'ajout de numéro de séquence à cette dernière afin de détecter et d'agir éventuellement sur l'occurrence de paquets perdus en retransmettant les paquets de séquences concernées à son destinataire.

❖ **Protocole RTCP (RTP Control Protocol)**

Ce protocole a pour mission principale de contrôler les flux RTP. Dans ce sens il collecte des informations inhérentes aux participants d'une session et d'autres sur la qualité de service et les encapsule dans 5 types de paquets RTCP selon le type de l'information échangée entre les UA

émetteur et récepteur. La QoS (Quality of Service) du dedicated bearer oriente le choix de la politique d'émission de ces paquets.

III.2.6. Le modèle protocolaire dans l'IMS

Pour une ouverture de session entre une entité client LTE et un serveur d'application IMS, les paquets échangés doivent suivre la pile de référence protocolaire suivante

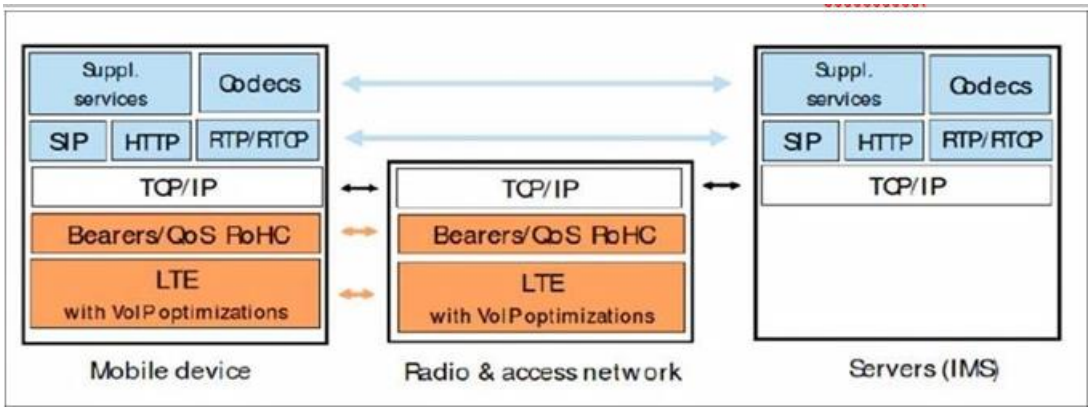


Figure 30 : Modèle protocolaire [19]

Ce modèle comprend trois couches superposées comme suit :

- La première est celle physique définissant les protocoles d'accès à l'interface radio LTE
- La deuxième couche coïncide avec celle de transport où le protocole IP se charge de transporter les données échangées de bout en bout entre entités communicant.
- La troisième couche ou la couche d'application abrite plusieurs protocoles tels que celui de la signalisation SIP, de gestion de flux multimedia RTP/RTCP, des codecs (AMR, AAC, H264, etc.)

III.2.7. Gestion des communications en VoLTE

❖ **Notion de bearer**

L'utilisation combiné du réseau LTE avec la plateforme IMS permet d'établir des tunnels virtuels appelé EPS bearer suivant lesquels est défini comment les données transitent en réseau.

Lorsque l'usager se rattache au réseau EPS, ce dernier lui attribue un default bearer pour garder une liaison permanente, symbole de son attachement au réseau à condition d'être sous couverture radio.

Lorsque l'usager souhaite établir une conversation demandant une certaine qualité de service telle qu'un appel voix ou visiophonique, le réseau devra établir en cas de permission un dedicated bearer pour la durée de ce dernier. Ce bearer devra supporter la qualité de service souhaitée par le flux de service pour assurer un débit garanti. Ainsi le mode circuit aura été bien émulé par le mode paquet.

- **Etablissement de dedicated bearer pour les services IMS**

L'établissement, la modification et la libération de session dans l'IMS sont assujettis à un échange de message SIP de bout en bout pendant lequel le terminal de l'usager négocie des flux media spécifique à la demande qui seront autorisés par le P-CSCF à travers son PCRF. Cette dernière translate les informations descriptrices du protocole SDP en des contraintes de QoS qui seront passées au PCEF par le PCRF par l'usage du protocole DIAMETER.

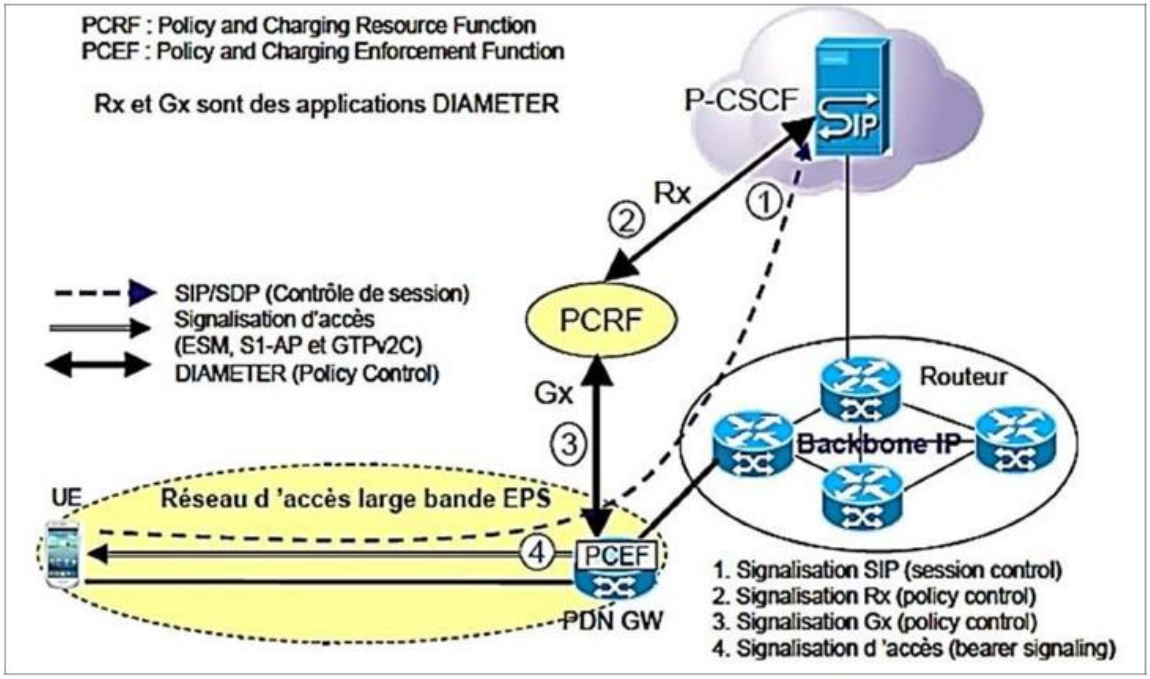


Figure 31 : Création d'un dédicated bearer pour la VolLTE[28]

Suite à l'émission d'une requête SIP INVITE d'un terminal IMS au P-CSCF, ce dernier émet une requête AAR au PCRF qui à son tour émet un GX RAR et l'achemine vers le PCEF pour l'indiquer les détails des flux media autorisés (RTP/RTCP).

III.2.8. Profil d'un abonné IMS

Un terminal IMS est une application sur un équipement usager assurant l'émission et la réception de requêtes SIP. Dans tout réseau, il est nécessaire de pouvoir l'identifier distinctement avec des informations uniques pour qu'il soit routable depuis n'importe quel réseau. Dans ce sens il admet deux types d'adresses que sont publique et privé.

- **Identité publique IMPU (Public User Identity)**

C'est une adresse publique qui est allouée à l'utilisateur IMS pour pouvoir le joindre. Il se présente sous la forme suivante « sip : username@domaine ».

- **Identité privé IMPI (Private User Identity)**

C'est une adresse privée que possède impérativement tout usager IMS pour permettre à ce dernier de s'authentifier et s'enregistrer dans le réseau IMS. Son format est la suivante « username@domaine »

III.2.9. Enregistrement d'un abonné IMS

Pour pouvoir bénéficier des services IMS l'utilisateur doit d'abord s'enregistrer. Ainsi il pourra s'authentifier pour n'importe quelle autre situation de rattachement au réseau. La méthode dédiée à la fonction d'enregistrement est REGISTER du protocole SIP.

La figure ci-dessous montre les procédures d'enregistrement dans le réseau IMS

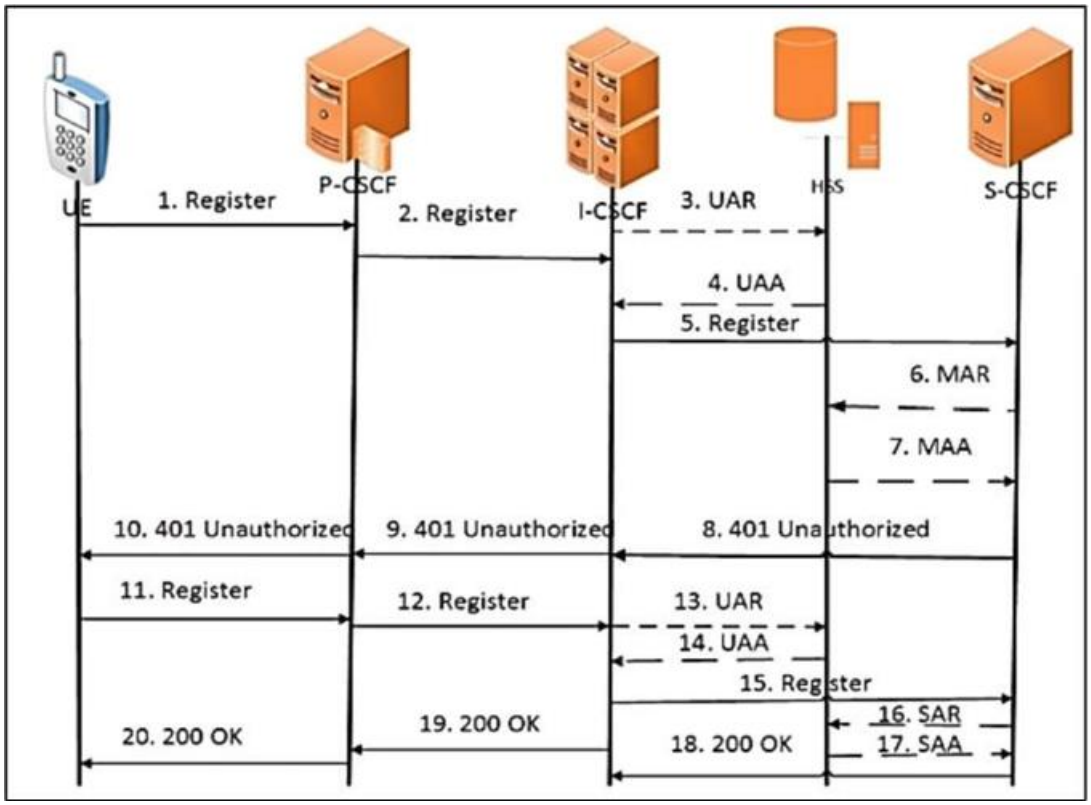


Figure 32 : Etapes d'enregistrement d'un terminal dans un réseau IMS [27]

Dans cette figure deux étapes SIP se sont succédées correspondant à la succession de deux requêtes suivant les différences de leurs réponses.

❖ **Première phase d'enregistrement**

- Le terminale IMS envoie une première requête REGISTER contenant son identité privée au P-CSCF
- A partir du nom de domaine fourni par l'utilisateur pour localiser I-CSCF, le P-CSCF procède à une requête DNS.
- Le I-CSCF contacte le HSS pour sélectionner le S-CSCF et lui transmet la requête REGISTER (UAR).
- Le HSS répond par un (message UAA) contenant les S-CSCF disponibles à l'I-CSCF qui en choisit.

- Le S-CSCF envoie une (requête MAR) au HSS pour récupérer les informations d'authentification du mobile et reçoit une (réponse MAA) de confirmation de l'enregistrement de S-CSCF.
- Le S-CSCF répond par un message (401 Unauthorized) contenant le challenge sous forme d'un champ d'en-tête WWW-authenticate.
- L'adresse IP de S-CSCF est stocké dans le HSS et celle du P-CSCF dans le S-CSCF.
- L'UE s'authentifie sur le réseau IMS dès la réception du message (401 Unauthorized).

❖ **Deuxième phase d'enregistrement**

- L'UE envoie une seconde requête REGISTER contenant l'identité privé et la réponse RES au P-CSCF.
- Le P-CSCF transfère le message REGISTER au serveur I-CSCF.
- Le serveur I-CSCF envoie une requête UAR au HSS pour récupérer l'adresse IP du S-CSCF dans la réponse UAA et lui transmet la requête REGISTER.
- Le profil de l'UE est demandé au HSS par le S-CSCF avec la requête SAR.
- Le serveur S-CSCF récupère le profile via la réponse SAA contenant la valeur XRES. Cette dernière sera comparée avec la valeur RES reçue de l'UE et celle-ci est authentifiée en cas d'égalité et répond avec un message 200 Ok en incluant son adresse IP dans l'en-tête Service Route.
- A ce stade l'UE à récupérer l'adresse IP du S-CSCF qui a créé un lien entre son identité publique et l'adresse IP correspondant.

III.2.10. Mise en relation de deux abonnés

Dans ce scénario nous considérons que l'appelant et l'appelé appartiennent à des opérateurs différents et se trouve dans des réseaux visités. Le principe suivi se résume en trois étapes que sont respectivement la recherche des abonnés, la vérification des autorisations d'accès et mise en relation des demandeurs de correspondance.

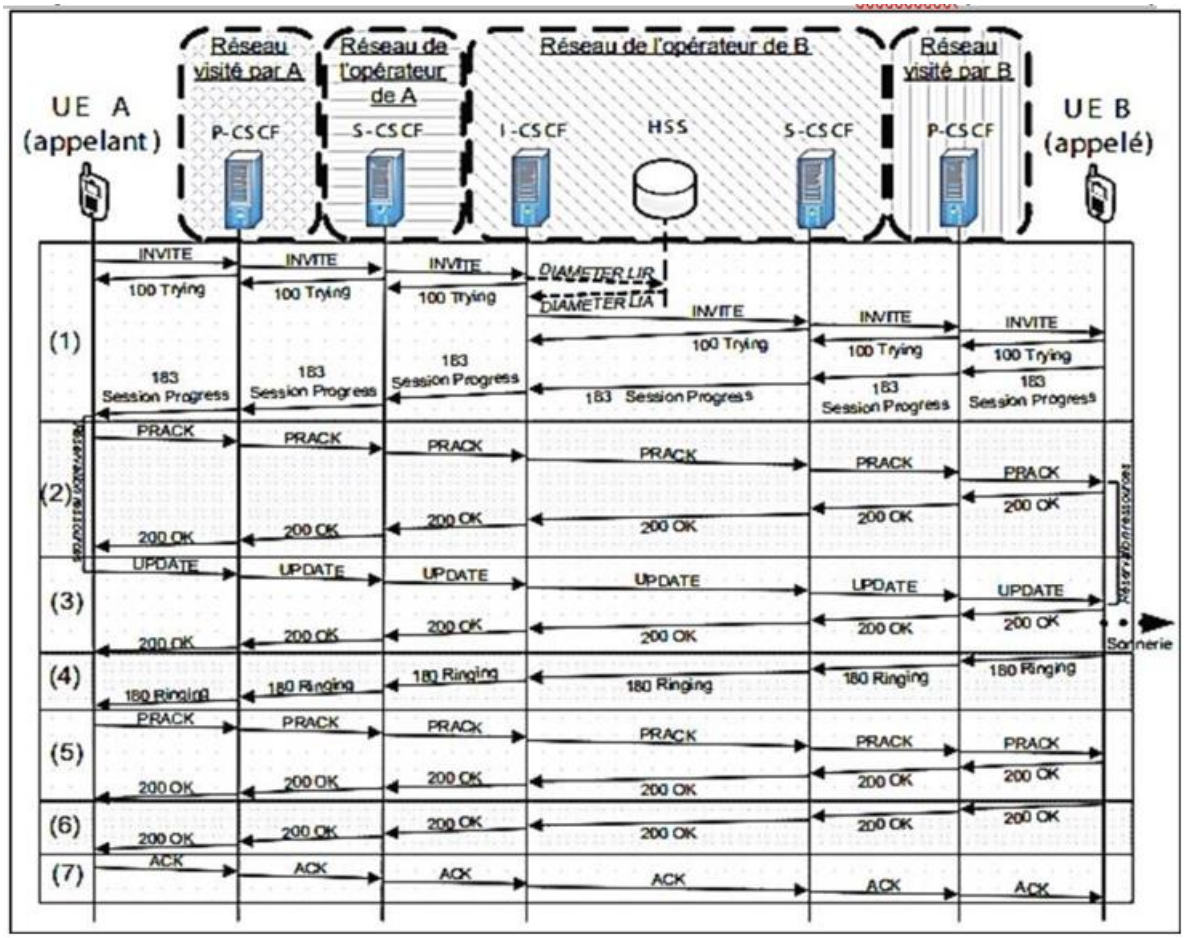


Figure 33 : Mise en communication de deux terminaux IMS [27]

Les étapes de ce processus peuvent être divisés au nombre de sept que nous allons présenter dans les lignes ci-dessous.

- **Etape 1**

Envoi d'un message d'invitation de A vers B suivi de deux réponses 100 et 183 indiquant respectivement la confirmation de la tentative et la négociation des paramètres de la liaison Le terminal appelant A sollicitant B s'adresse au I-CSCF de ce dernier que le localise suite à une requête DIAMETER.

- **Etape 2**

Pour confirmer d'avoir bien reçu la réponse 183, l'émetteur A a envoyé impérativement un acquittement temporaire en réponse à celle reçue.

➢ **Etape 3**

Cette étape consacre une négociation des terminaux A et B pour leur allocation dédiée de bandes passantes conformément à la qualité de service escomptée des correspondants. Ils vont vérifier et confirmer la bonne gestion de cette contrainte sachant que la qualité de service occupe une importance non habituelle dans le réseau IMS.

➢ **Etape 4**

Arrivé à ce stade l'UE B commence à sonner, et une réponse 180 émise de sa part vient compléter la requête d'invitation temporaire.

➢ **Etape 5**

Pour confirmer la réception de la réponse 180 de l'UE B, le terminal A émet un message d'acquittement qui sera lui aussi répondu par un autre de 200 OK.

➢ **Etape 6**

Dans cette étape le terminal B donne une réponse 200 OK définitive au message initial d'invitation suite à l'ouverture de la session reliant les deux utilisateurs.

➢ **Etape 7**

Le terminal A envoie un acquittement final qui met fin à l'initialisation de la commutation qui peut dès lors débuter pour que les deux terminaux concernés puissent échanger des flux multimédias.

IV. La solution de SRVCC (Single Radio Voice Call Countinuity)

Précédemment nous avons étudié la solution CSFB qui impose la cohabitation d'au moins deux générations de technologie radio mobile en permanence dont l'une est la 4G et les autres optionnellement 2G ou 3G. C'est une technique de maintien des services téléphoniques dérivée de l'absence du domaine CS dans l'architecture du LTE.

Le Single Radio Voice Control Continuity est une autre solution qui arrive dans un autre contexte que celui du CSFB dans la mesure où le réseau 4G intègre déjà la plateforme IMS et assure bien la fourniture de services multimedia incluant VoLTE devenant ainsi autonome.

SRVCC est un processus de continuité de session en cours gérée par IMS plus précisément par le serveur d'application **SCC- AS** (Service Centralization and Continuity – Application Servier). Elle consiste en deux phases que sont le handover entre réseau 4G et 2G/3G et un transfert de session entre MME et le MSC.[31].

La figure suivante donne un aperçu du SRVCC

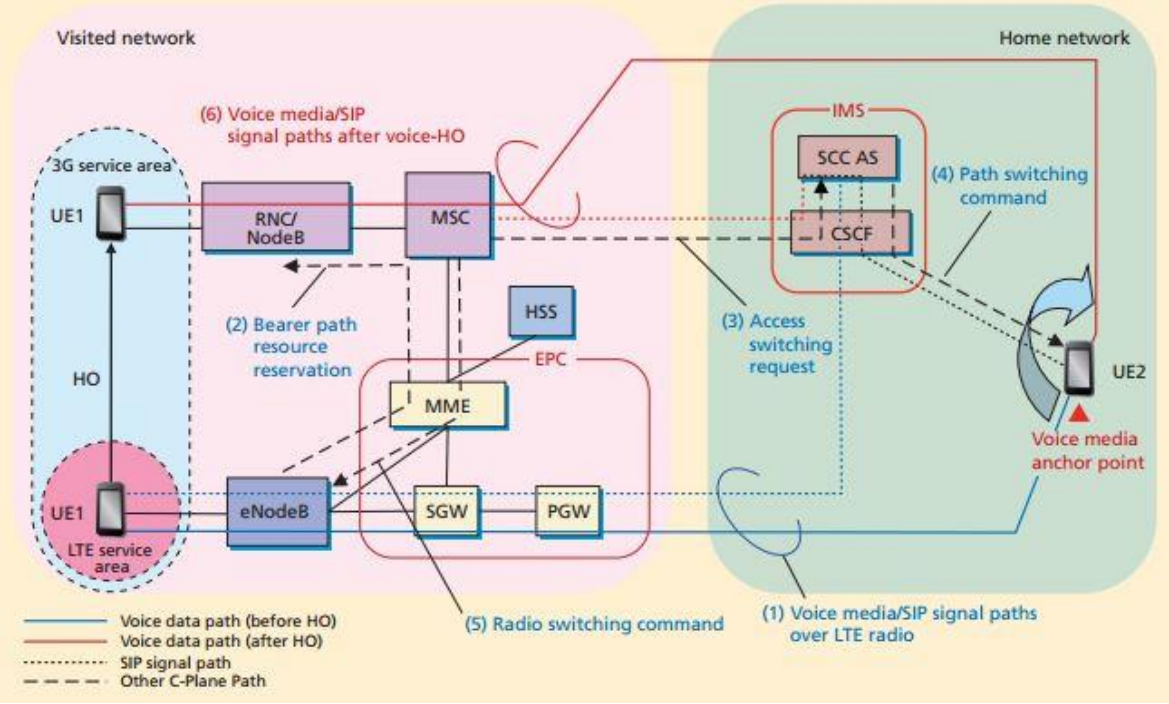


Figure 34 : La solution SRVCC [31]

SRVCC est spécifié par la 3GPP pour la première fois dans son Release 8 (TS 23.216) puis amélioré dans les Release 10 et 11 avec l'introduction du **aSRVCC** qui déclenche le processus dans la phase d'alerte qui améliore les délais de basculement, du **eSRVCC** du **vSRVCC** pour la gestion des appels vidéo et vidéos conférence et du **rSRVCC** pour la gestion du processus de la 2G/3G vers la 4G.

❖ **Avantages**

- Maintien des sessions téléphoniques d'un abonné IMS via les systèmes 2G/3G.
- Augmente la disponibilité des services radiophoniques aux abonnés LTE.

❖ **Inconvénients**

- Le nombre de basculements occasionné entre sortie/entrée d'un réseau LTE pourrait perturber la communication.
- Diminue la qualité de la voix dû aux codecs du GERAN moins performants que ceux d'IMS

❖ **Procédure**

Nous allons illustrer le mécanisme SRVCC avec l'exemple de cas ci-dessous

On suppose que l'UE1 (sur un réseau 4G/IMS visité) souhaite contacter l'UE2 (sur un réseau 4G/IMS Home)

L'UE1 est compatible avec le mécanisme SRVCC et l'appel est évidemment contrôlé par le réseau IMS. Ainsi, après un échange de signalisation SIP, après avoir construit les bearers, l'appel s'effectue. L'UE1 se déplace dans le réseau visité et s'éloigne du eNB, la puissance reçue s'affaiblit.

- L'eNb décide alors de mettre en oeuvre le mécanisme SRVCC en envoyant une requête au MME
- A partir de cette requête, le MME transmet la demande au MSC afin que ce dernier alloue les ressources au niveau du domaine CS autrement dit avec le RNC puis le Nb.
- Le MSC demande la création d'une connexion avec le SCC AS dans l'objectif de transférer la voix (paquet IP) du réseau LTE vers le réseau 3G donc pour transférer la session du PGW vers le MSC
- Le SCC-AS demande à l'UE2 de changer le destinataire de ses messages SIP de l'UE1 vers MSC
- En même temps le MSC informe le MME de la réservation de ressource dans le domaine CS
- Le MME demande à l'UE de basculer vers le Nb du réseau 3G le plus proche

- Le Handover est lancée et l'UE1 se retrouve dans le réseau 3G

La figure suivante illustre le Call Flow du SRVCC

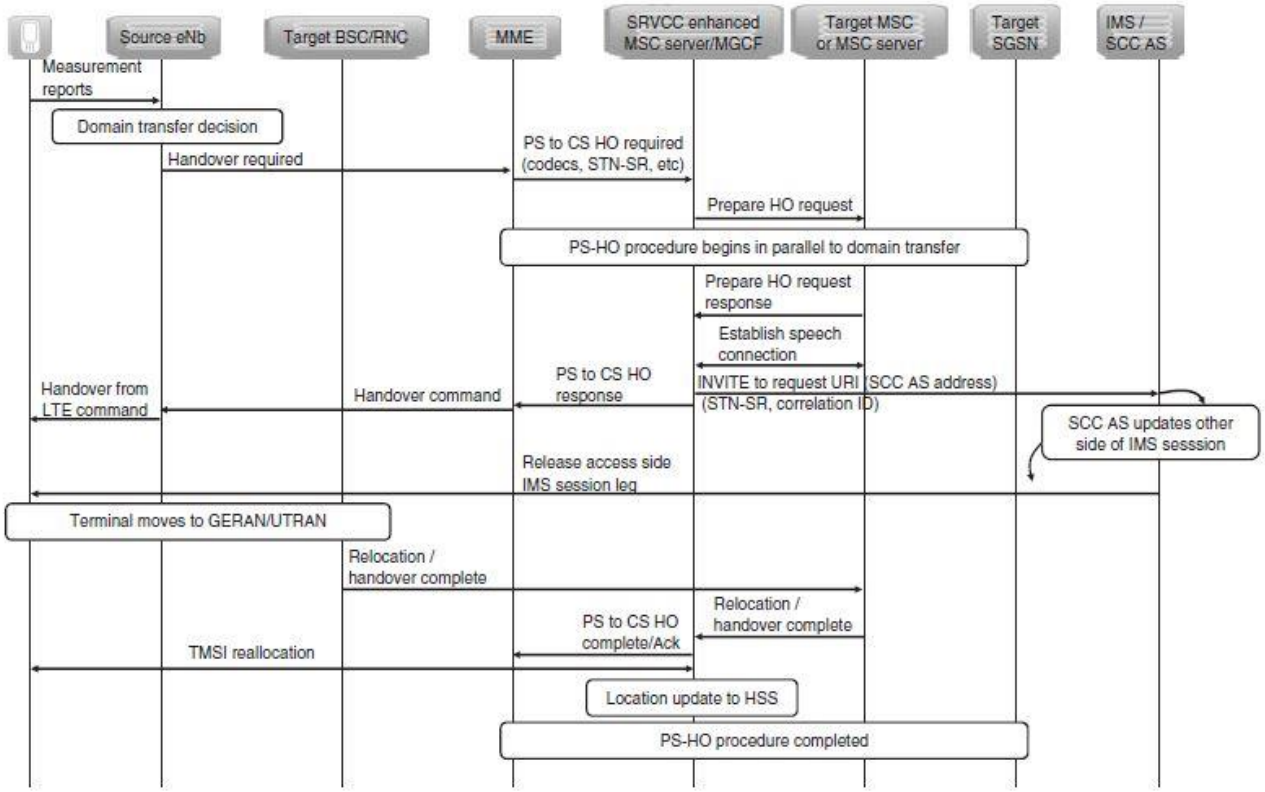


Figure 35 : SRVCC Call Fow [32]

Le souci du SRVCC du Release 8 est le manque de transparence des flux de signalisation et de données échangées entre l'UE1 du réseau visité et UE2 du réseau Home IMS. Le lancement du éSRVCC par le Release 10 s'inscrit dans ce contexte pour ajouter dans le réseau visité de l'UE1 des points d'ancrage de signalisation SIP et de données RTP que sont respectivement ATCF (Access Transfer Contrôle Function) et ATGW (Access Transfer GateWay). La figure ci-dessous illustre le eSRVCC.

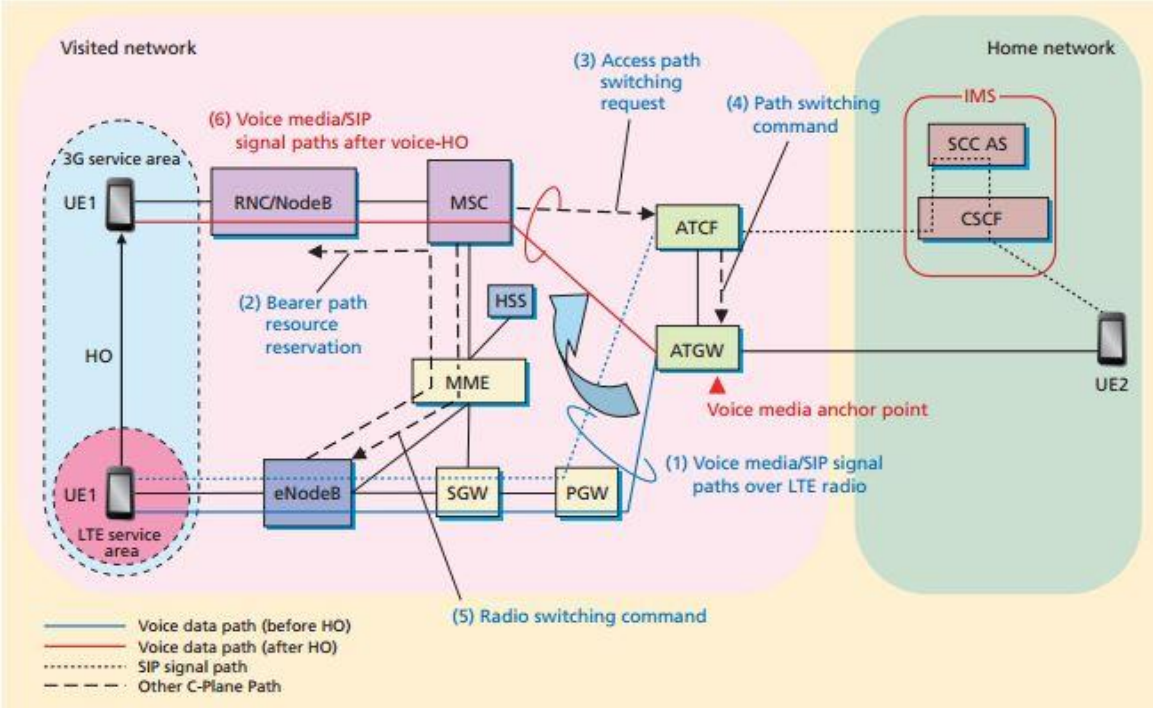


Figure 36 : L'évolution enhanced SRVCC [31]

Conclusion

A ce stade l'étude de la voix sur LTE tire à sa fin. De passage nous avons l'occasion de voir en détails la plateforme IMS avec notamment ses éléments constitutifs ainsi que les fonctionnalités qu'ils ont chacun en charge. Cette étape franchie va nous permettre de mieux aborder la partie qui suit, s'agissant du déploiement d'une plateforme IMS sur une distribution Linux.

Chapitre IV :
Mise en place de la plateforme OpenIMSCore

I. Préambule

Dans cette partie de ce mémoire il sera question de choisir, de présenter et de mettre en place une plateforme IMS au moyen de logiciels libres au choix déployables dans une distribution linux. Le chapitre précédant nous a présenté avec précision les spécificités structurelles et fonctionnelles de la plateforme IMS que nous comptons entamer le déploiement d'une de ses applications.

II. Choix de la plateforme IMS

Aujourd'hui avec l'ampleur de la tendance qui se profilait autour des systèmes IMS depuis l'avènement de LTE, pourvu que cette norme devienne autonome pour la gestion des services téléphoniques, plusieurs solutions logicielles ont vu le jour ayant généralement un seul but, celui d'émuler le fonctionnement des systèmes IMS en fournissant la quasi-totalité de ses services multimédia. Dans cette perspective KAMALIO-IMS et OPENIMSCORE sont les plus connus du marché des logiciels Open Source. Dans la suite de ce chapitre nous allons utiliser la solution **OpenIMSCore** pour le déploiement de notre solution IMS.

III. OpenIMSCore

III.1. Présentation de la plateforme

L'OpenIMSCore est une implémentation Open Source qui incarne un cœur fini de réseau IMS physique en assurant l'utilisation de certaines de ces fonctionnements via un client IMS. Elle a vu le jour dans une université allemande de franhaufer par le biais des travaux du laboratoire R&D. Dans un contexte d'une solution IMS presque inexistante par contrainte de complexité pour les opérateurs 4G, cette plateforme IMS vient élargir l'audience des solutions de fournitures de services téléphoniques à base d'IMS pour un meilleur avenir des réseaux tout IP.

Composée d'un complexe de serveurs de contrôle de session d'appel **CSCF** (Call Session Contrôle Functions) et une base de données légère **FHoSS** (Fokus Home Subscriber Server) nésszire pour répondre aux fonctionnalités escomptées à savoir celle de **proxy,** d'**interrogating** et de **serving**

Comme spécifiés dans les normes 3GPP, 3GPP2, ETSI et TISPAN, ces serveurs sont en mesure de satisfaire lesdites normes.

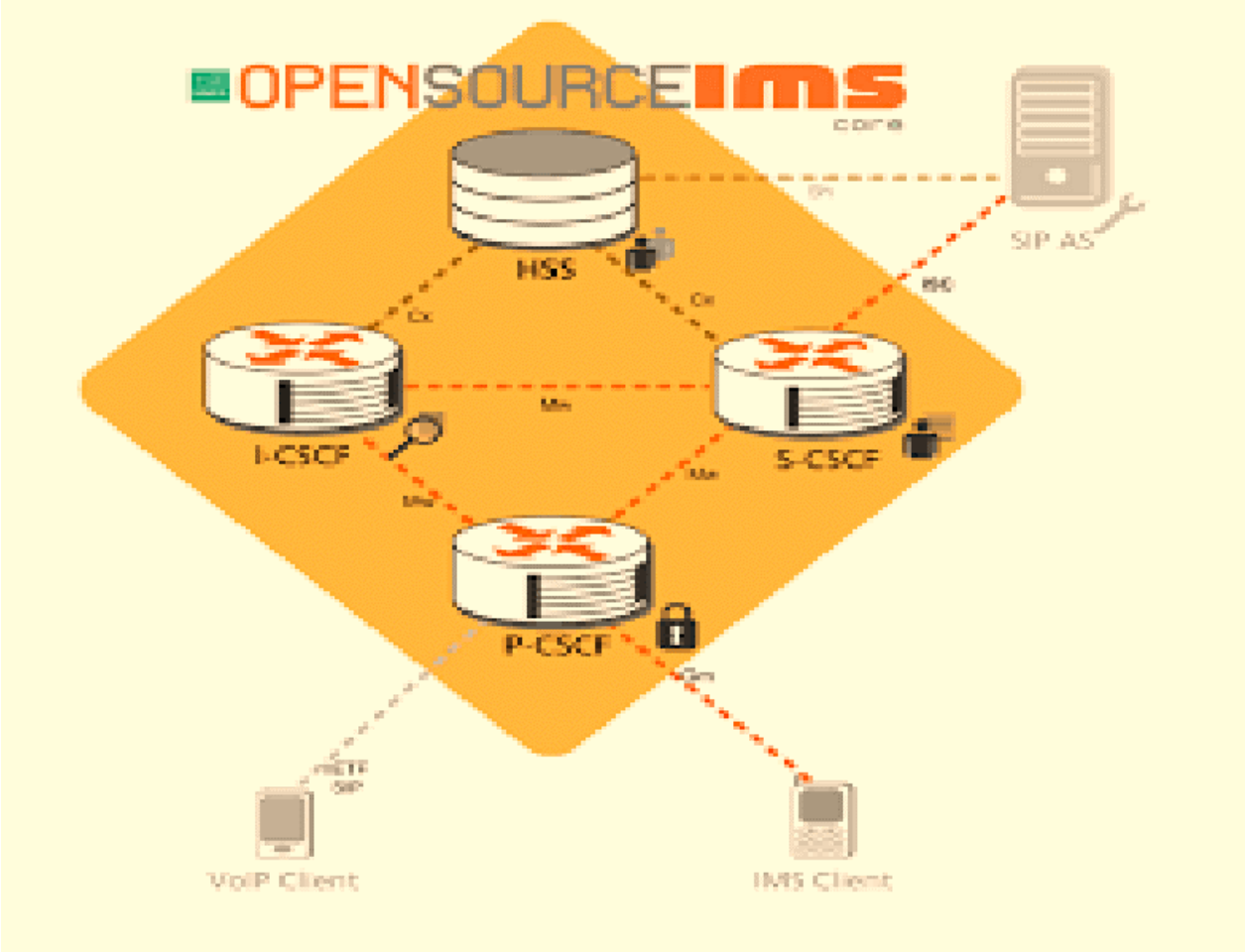


Figure 37 : Architecture d'OpenIMSCore [29]

III.2. Configurations requises

❖ **Besoins matériels**

- ✓ Une machine virtuelle (pour mon cas VMware) ou physique
- ✓ Mémoire disque alloué de 14 Giga
- ✓ Une mémoire vive (RAM) de 4 Giga (2 Giga minimum)
- ✓ Avoir une bonne connexion internet pour le téléchargement des paquets
- ✓ Accès réseau par pont bridge à la carte réseau

❖ **Besoins logiciels**

- ✓ Un système d'exploitation Ubuntu Desktop 64 bit, version 14.04 LTS
- ✓ Utilisation d'un logiciel au choix pour les clients IMS
- ✓ Un serveur DNS
- ✓ Un serveur de base de données
- ✓ Un serveur Web

IV. Installation de la plateforme

Cette étape est la plus importante de ce chapitre du fait de son rôle capital dans la satisfaction des attentes pratiques de ce mémoire. Nous avons parlé précédemment de la plateforme open source à déployer pour laquelle OpenIMSCore a été choisie. Ainsi la suite de ce travail va consacrer la prédisposition de ses prérequis suivie de son installation un peu avant son déploiement qui se termine avant de tester son bon fonctionnement au moyen des serveurs et utilisateurs en son interne.

❖ Installation des dépendances

```
$ sudo apt-get install -y mysql-client mysql-server libmysql++-dev bison flex php5-curl php5-cli php5-mysql php-pear php-db build-essential linux-headers-`uname -r`php5-gd phpmyadmin curl sox libncurses5-dev libssl-dev libmysqlclient15-dev mpg123 libxml2-dev libnewt-dev sqlite3 libsqlite3-dev pkg-config automake autoconf git subversion uuid uuid-dev libtool
```

❖ Téléchargement et compilation des modules de la plateforme

Il faut d'abord créer le dossier **/opt/OpenIMSCore**, dans le dossier OpenIMSCOre, créer un dossier **ser_ims**, et dans ce dernier télécharger le module de fonction de contrôle de session d'appels

```
$ sudo mkdir /opt/OpenIMSCore
$ cd /opt/OpenIMSCore
$ sudo mkdir ser_ims
```

❖ **Téléchargement du module de fonction de contrôle de session d'appels : ser_ims**

```
$ sudo svn checkout
https://svn.code.sf.net/p/openimscore/code/ser_ims/trunk/
ser_ims
```

```
A    ser_ims/md5.h
A    ser_ims/modparam.c
A    ser_ims/onsend.h
A    ser_ims/profile/launch.sh
A    ser_ims/pt.h
A    ser_ims/re.h
A    ser_ims/script_cb.c
A    ser_ims/ser.cfg.5
A    ser_ims/stats.h
A    ser_ims/timer.c
A    ser_ims/tsend.h
 U   ser_ims
Révision 1198 extraite.
root@vip:/opt/OpenIMSCore#
```

On obtient la capture ci-dessus en cas de réussite de la commande

❖ **Compilation du module de fonction de contrôle de session d'appels : ser_ims**

Dans le dossier OpenIMSCore,

```
$ cd ser_ims
$ sudo make install-libs all
```

```
gcc -fPIC -DPIC -g -O9 -funroll-loops -Wcast-align -Wall     -DNAME='"ser"' -DVE
RSION='"2.1.0-dev1 OpenIMSCore"' -DARCH='"x86_64"' -DOS='linux_' -DOS_QUOTED='"l
inux"' -DCOMPILER='"gcc 4.04.4"' -D__CPU_x86_64 -D__OS_linux -DSER_VER=2001000 -
DCFG_DIR='"/usr/local/etc/ser/"' -DPKG_MALLOC -DSHM_MEM  -DSHM_MMAP -DDNS_IP_HAC
K -DUSE_IPV6 -DUSE_MCAST -DUSE_TCP -DDISABLE_NAGLE -DHAVE_RESOLV_RES -DDBG_QM_MA
LLOC -DUSE_DNS_CACHE -DUSE_DNS_FAILOVER -DUSE_DST_BLACKLIST -ggdb  -DUSE_TLS -DT
LS_HOOKS -DFAST_LOCK -DADAPTIVE_WAIT -DADAPTIVE_WAIT_LOOPS=1024  -DCC_GCC_LIKE_A
SM -DHAVE_GETHOSTBYNAME2 -DHAVE_UNION_SEMUN -DHAVE_SCHED_YIELD -DHAVE_MSG_NOSIGN
AL -DHAVE_MSGHDR_MSG_CONTROL -DHAVE_ALLOCA_H -DHAVE_TIMEGM -DHAVE_EPOLL -DHAVE_S
IGIO_RT -DSIGINFO64_WORKARROUND -DHAVE_SELECT -c xlog.c -o xlog.o
In file included from ../../parser/msg_parser.h:54:0,
                 from ../../sr_module.h:47,
                 from xlog.c:37:
../../parser/../ip_addr.h: In function ‘matchnet’:
../../parser/../ip_addr.h:206:6: warning: variable ‘ret’ set but not used [-Wunu
sed-but-set-variable]
  int ret;
      ^
gcc -shared  -Wl,-O2 -Wl,-E   xl_lib.o xlog.o   -o xlog.so
make[1]: quittant le répertoire « /opt/OpenIMSCore/ser_ims/modules/xlog »
root@vip:/opt/OpenIMSCore/ser_ims#
```

S’il n’a pas d’erreur d’exécution on a ci-dessus la capture du résultat obtenu

- **Téléchargement du module de serveur de base données léger : FHoSS**

Dans le dossier OpenIMSCore**,**

$ sudo mkdir FHoSS

$ sudo svn checkout

https://svn.code.sf.net/p/openimscore/code/FHoSS/trunk/

FHoSS

```
A    FHoSS/tomcat/webapps/manager/manager.xml
A    FHoSS/tomcat/webapps/manager/manager-howto.html
A    FHoSS/tomcat/lib/commons-el.jar
A    FHoSS/tomcat/lib/commons-modeler.jar
A    FHoSS/tomcat/lib/tomcat-util.jar
A    FHoSS/xsd/CxDataType.xsd
A    FHoSS/tomcat/lib/jasper-compiler.jar
A    FHoSS/tomcat/lib/naming-factory.jar
A    FHoSS/tomcat/lib/tomcat-coyote.jar
A    FHoSS/xsd/ZhDataType.xsd
A    FHoSS/.externalToolBuilders/andbuilder.launch
A    FHoSS/tomcat/lib/jasper-compiler-jdt.jar
A    FHoSS/tomcat/lib/servlets-default.jar
A    FHoSS/xsd/CxDataType_Rel7.xsd
A    FHoSS/xsd/ShDataType.xsd
 U   FHoSS
Révision 1198 extraite.
root@vip:/opt/OpenIMSCore#
```

On obtient la capture ci-dessus en cas de réussite de la commande

- **Compilation du module de serveur de base données léger : FHoSS**

$ cd FHoSS

$ sudo ant compile

$ sudo ant deploy

S'il n'a pas d'erreur d'exécution on a ci-dessus la capture du résultat obtenu

```
deploy:
     [copy] Copying 47 files to /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy
     [echo] Install the hss.web.console
    [mkdir] Created dir: /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/logs
    [mkdir] Created dir: /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/webapps/hss.web.console
     [copy] Copying 133 files to /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/webapps/hss.web.c
onsole
    [mkdir] Created dir: /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/webapps/hss.web.console/c
lasses
     [copy] Copying 211 files to /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/webapps/hss.web.c
onsole/WEB-INF/classes
     [copy] Copying 1 file to /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/lib
     [copy] Copying 28 files to /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/lib

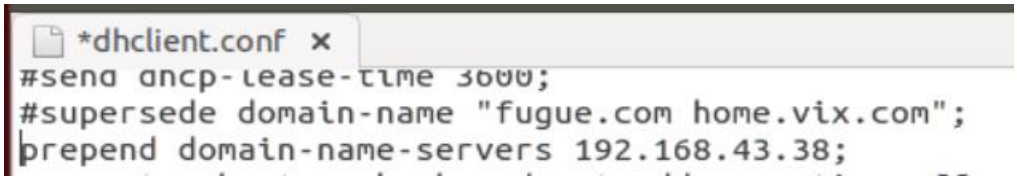
BUILD SUCCESSFUL
Total time: 5 seconds
root@vip:/opt/OpenIMSCore/FHoSS#
```

❖ **Configuration du serveur DHCP**

```
$ sudo gedit /etc/dhcp/dhclient.conf
```

Editons le fichier dhclient.conf comme suit

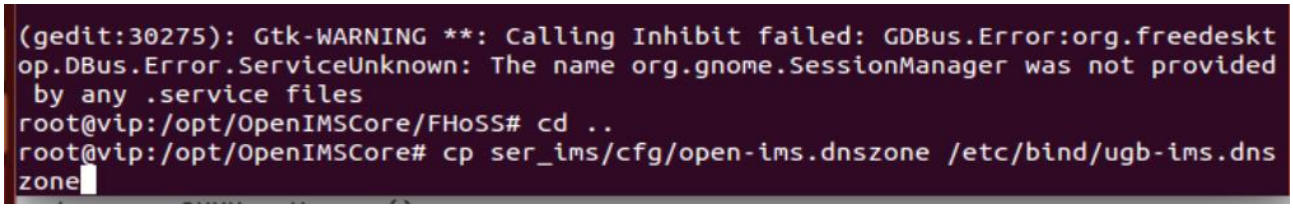
Dans le fichier ajoutons notre adresse IP à l'option **domain-name-servers** comme sur la capture ci-dessous



❖ **Copie et renommage de la zone de DNS du projet**

Dans la plateforme **open-ims.dnszone** est la zone de DNS par défaut que nous allons changer dans notre cas par **ugb-ims.dnszone** comme zone de DNS de notre projet.

```
$ sudo cp ser_ims/cfg/open-ims.dnszone  /etc/bind/ugb-ims.dnszone
```



❖ **Changement du nom de domaine et de son adresse dans le fichier ugb-ims.dnszone**

Ici notre adresse IP est **192.168.43.38** et notre nom de domaine **ugb-ims.sn**

```
$ cd /etc/bind
$ sudo sed -I s/openimscore.test/ugb-ims.sn/g ugb-ims.dnszone
$ sudo sed -I s/127.0.0.1/192.168.43.38/g ugb-ims.dnszone
```

```
root@vip:/opt/OpenIMSCore# cd /etc/bind
root@vip:/etc/bind# sed -i s/open-ims.test/ugb-ims.sn/g ugb-ims.dnszone
root@vip:/etc/bind# sed -i s/127.0.0.1/192.168.43.38/g ugb-ims.dnszone
```

- **Ajout de la zone ugb-ims.sn dans les zones par défaut**

Editons le fichier named.default-zones

```
$ sudo gedit /etc/bind/named.default-zones
```

Puis ajoutons tout en bas les lignes suivantes

```
zone “ugb-ims.sn” {
        type master ;
        File “/etc/bind/ugb-ims.dnszone“ ;
```

```
zone "ugb-ims.sn" {
        type master;
        file "/etc/bind/ugb-ims.dnszone";
};
```

- **Configuration des hosts**

```
$ sudo gedit /etc/host.conf
```

Le fichier est à modifier comme sur la capture suivante

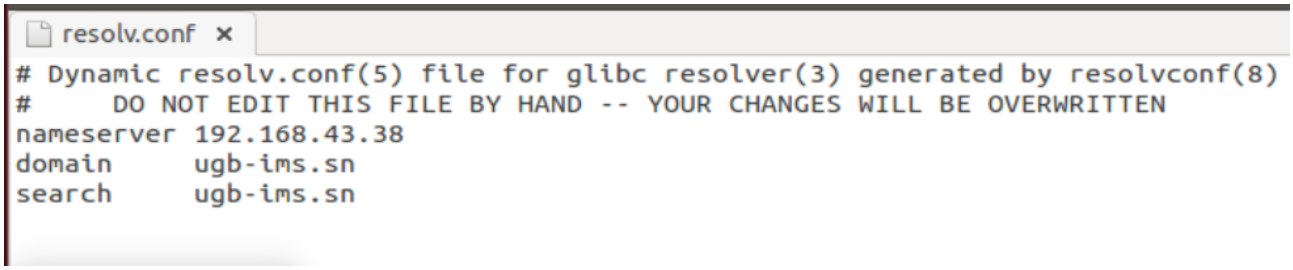
```
hosts ×
127.0.0.1       localhost
127.0.0.1       vip
192.168.43.38 ugb-ims.sn mobicents.ugb-ims.sn ue.ugb-ims.sn  presence.ugb-ims.sn
icscf.ugb-ims.sn scscf.ugb-ims.sn pcscf.ugb-ims.sn hss.ugb-ims.sn asterisk-gw.ugb-
ims.sn

# The following lines are desirable for IPv6 capable hosts
::1     ip6-localhost ip6-loopback
fe00::0 ip6-localnet
ff00::0 ip6-mcastprefix
ff02::1 ip6-allnodes
ff02::2 ip6-allrouters
```

Si cette étape s’achève bien, conduit à la capture ci-dessus

❖ **Configuration du fichier resolv.conf**

```
$ sudo gedit /etc/resolv.conf
```



❖ **Redémarrage du serveur de nom de domaine bind**9

```
$ sudo service bind9 restart
```



❖ **Test de notre serveur DNS**

Test du bon fonctionnement de notre serveur de nom de domaine bind9 avec **dig** et **nslookup**

```
$ dig ugb-ims.sn
```

```
root@vip:/etc/bind# dig ugb-ims.sn

; <<>> DiG 9.9.5-3ubuntu0.19-Ubuntu <<>> ugb-ims.sn
;; global options: +cmd
;; Got answer:
;; ->>HEADER<<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 22499
;; flags: qr aa rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 1, AUTHORITY: 1, ADDITIONAL:

;; OPT PSEUDOSECTION:
; EDNS: version: 0, flags:; udp: 4096
;; QUESTION SECTION:
;ugb-ims.sn                     IN      A
Amazon
;; ANSWER SECTION:
ugb-ims.sn.             86400   IN      A       192.168.43.38

;; AUTHORITY SECTION:
ugb-ims.sn.             86400   IN      NS      ns.ugb-ims.sn.

;; ADDITIONAL SECTION:
ns.ugb-ims.sn.          86400   IN      A       192.168.43.38
```

$ nslookup

- **set type=any**
- **ugb-ims.sn**

```
root@vip:/etc/bind# nslookup
> set type=any
> ugb-ims.sn
Server:         192.168.43.38
Address:        192.168.43.38#53

Name:   ugb-ims.sn
Address: 192.168.43.38
ugb-ims.sn      naptr = 10 50 "s" "SIP+D2U" "" _sip._udp.ugb-ims.sn.
ugb-ims.sn      naptr = 20 50 "s" "SIP+D2T" "" _sip._tcp.ugb-ims.sn.
ugb-ims.sn
        origin = localhost
        mail addr = root.localhost
        serial = 2006101001
        refresh = 10800
        retry = 900
        expire = 604800
        minimum = 86400
ugb-ims.sn      nameserver = ns.ugb-ims.sn.
```

- Ping du serveur proxy-cscf

```
root@vip:/etc/bind# ping pcscf.ugb-ims.sn
PING ugb-ims.sn (192.168.43.38) 56(84) bytes of data.
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=1 ttl=64 time=0.018 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=2 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=3 ttl=64 time=0.065 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=4 ttl=64 time=0.061 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=5 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=6 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from ugb-ims.sn (192.168.43.38): icmp_seq=7 ttl=64 time=0.063 ms
```

- **Importation des bases de données de la plateforme IMS dans le serveur Mysql**

```
root@vip:/etc/bind# cd /opt/OpenIMSCore
root@vip:/opt/OpenIMSCore# service mysql status
mysql start/running, process 1188
root@vip:/opt/OpenIMSCore# mysql -u root -p < ser_ims/cfg/icscf.sql
Enter password:
root@vip:/opt/OpenIMSCore# mysql -u root -p < FHoSS/scripts/hss_db.sql
Enter password:
root@vip:/opt/OpenIMSCore# mysql -u root -p < FHoSS/scripts/userdata.sql
Enter password:
root@vip:/opt/OpenIMSCore#
```

- **Copie de tous les fichiers d'extension .cfg .xml et .sql contenus dans /opt/OpenIMSCore/ser_ims dans un fichier au choix pour les configurer par la suite**

```
root@vip:/opt/OpenIMSCore# cp ser_ims/cfg/*.cfg .
root@vip:/opt/OpenIMSCore# cp ser_ims/cfg/*.xml .
root@vip:/opt/OpenIMSCore# cp ser_ims/cfg/*.sh .
root@vip:/opt/OpenIMSCore#
```

- **Configuration de tous les fichiers précédemment copiés avec le script Configurator.sh**

```
root@vip:/opt/OpenIMSCore# ./configurator.sh
Domain Name:ugb-ims.sn
IP Adress:192.168.43.38
File to change ["all" for everything, "exit" to quit]:all
changing: ecscf.cfg icscf.cfg icscf.thig.cfg icscf.xml lrf.cfg mgcf.cfg pcscf.cfg
 pcscf.xml scscf.cfg scscf.xml TGPPGq.xml TGPPRx.xml trcf.cfg
root@vip:/opt/OpenIMSCore#
```

```
<Peer FQDN="icscf.open-ims.test" Realm="open-ims.test" port="3869" />
<Peer FQDN="scscf.open-ims.test" Realm="open-ims.test" port="3870" />

<Acceptor port="3868" bind="192.168.43.38" />

<Auth id="16777216" vendor="10415"/><!-- 3GPP Cx -->
<Auth id="16777216" vendor="4491"/><!-- CableLabs Cx -->
<Auth id="16777216" vendor="13019"/><!-- ETSI/TISPAN Cx -->
<Auth id="16777216" vendor="0"/><!-- ETSI/TISPAN Cx -->
<Auth id="16777217" vendor="10415"/><!-- 3GPP Sh -->
<Auth id="16777221" vendor="10415"/>
```

❖ **Configuration du fichier hss.proprieties contenu dans**

/opt/OIpenIMSCore/FHoSS/script

```
*hss.properties ×
# FOKUS HSS Properties file
#-------------------------------------------------


# host & port : specify the IP address and the port
e.g. host=127.0.0.1; port=8080;
Amazon
host=192.168.43.38
port=8080
```

V. Lancement de la plateforme

Le lancement de la plateforme ne peut s'effectuer d'une seule étape du fait des différents serveurs qui la constituent. C'est pour cela que les quatre serveurs suivants sont à démarrer successivement le Proxy-CSCF, le Serving-CSCF, interrogating-CSCF et la base de donné FHoSS avec une fenêtre à part pour chacun d'eux.

❖ **Lancement du serveur P-CSCF**

```
root@vip:/opt/OpenIMSCore# ./pcscf.sh
Listening on
             udp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:4060
             tcp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:4060
Aliases:
             tcp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:4060
             tcp: hss.ugb-ims.sn:4060
             tcp: scscf.ugb-ims.sn:4060
             tcp: icscf.ugb-ims.sn:4060
             tcp: presence.ugb-ims.sn:4060
             tcp: ue.ugb-ims.sn:4060
             tcp: mobicents.ugb-ims.sn:4060
             tcp: ugb-ims.sn:4060
             udp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:4060
             udp: hss.ugb-ims.sn:4060
             udp: scscf.ugb-ims.sn:4060
             udp: icscf.ugb-ims.sn:4060
             udp: presence.ugb-ims.sn:4060
             udp: ue.ugb-ims.sn:4060
             udp: mobicents.ugb-ims.sn:4060
             udp: ugb-ims.sn:4060
Visionneur de documents  ugb-ims.sn:4060
```

❖ **Lancement du serveur S-CSCF**

```
root@vip:/opt/OpenIMSCore# ./scscf.sh
Listening on
             udp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:6060
             tcp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:6060
Aliases:
             tcp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:6060
             tcp: hss.ugb-ims.sn:6060
             tcp: pcscf.ugb-ims.sn:6060
             tcp: icscf.ugb-ims.sn:6060
             tcp: presence.ugb-ims.sn:6060
             tcp: ue.ugb-ims.sn:6060
             tcp: mobicents.ugb-ims.sn:6060
             tcp: ugb-ims.sn:6060
             udp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:6060
             udp: hss.ugb-ims.sn:6060
             udp: pcscf.ugb-ims.sn:6060
             udp: icscf.ugb-ims.sn:6060
             udp: presence.ugb-ims.sn:6060
             udp: ue.ugb-ims.sn:6060
             udp: mobicents.ugb-ims.sn:6060
             udp: ugb-ims.sn:6060
             *: scscf.ugb-ims.sn:6060
```

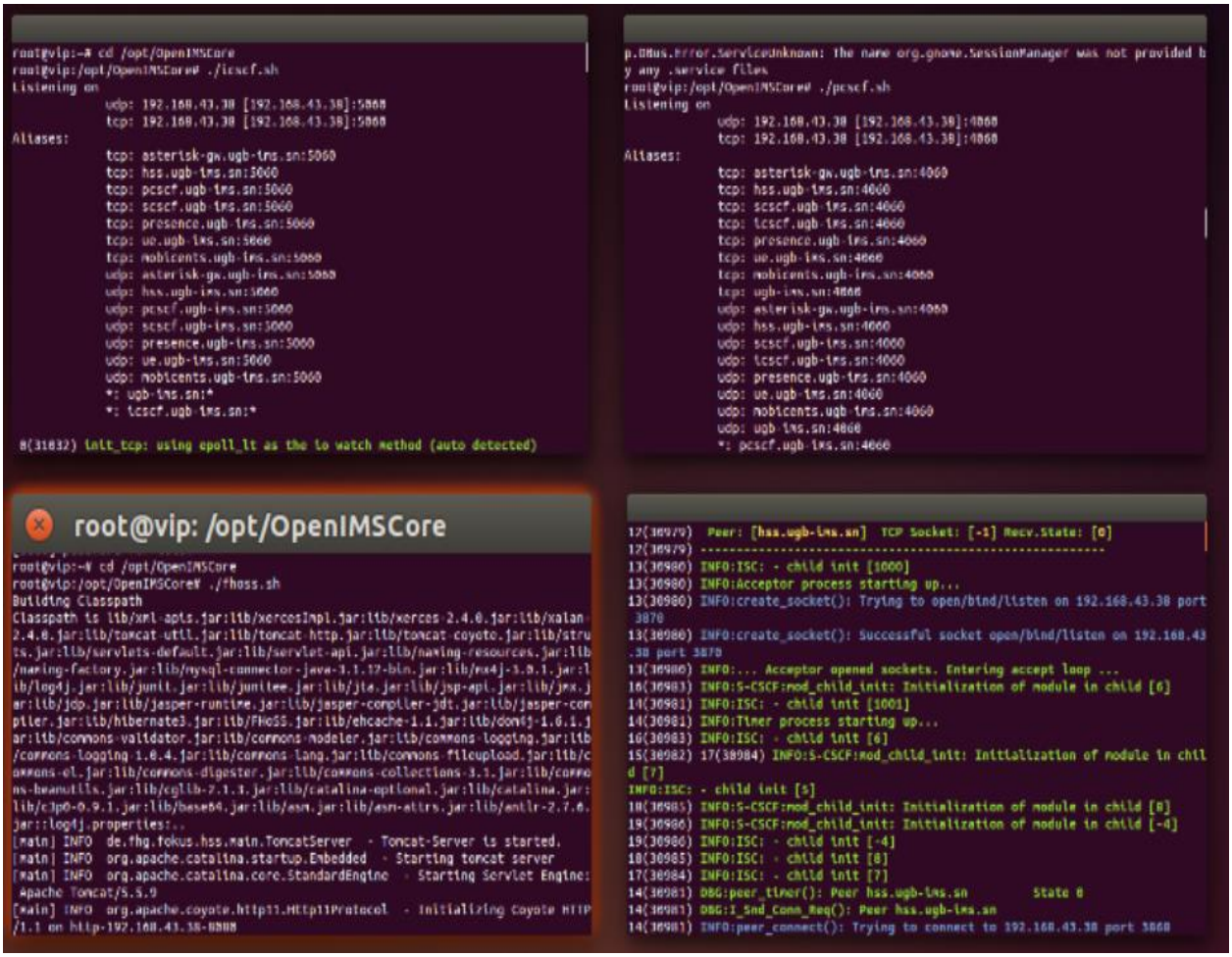
❖ **Lancement du serveur I-CSCF**

```
root@vip:~# cd /opt/OpenIMSCore
root@vip:/opt/OpenIMSCore# ./icscf.sh
Listening on
             udp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:5060
             tcp: 192.168.43.38 [192.168.43.38]:5060
Aliases:
             tcp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:5060
             tcp: hss.ugb-ims.sn:5060
             tcp: pcscf.ugb-ims.sn:5060
             tcp: scscf.ugb-ims.sn:5060
             tcp: presence.ugb-ims.sn:5060
             tcp: ue.ugb-ims.sn:5060
             tcp: mobicents.ugb-ims.sn:5060
             udp: asterisk-gw.ugb-ims.sn:5060
             udp: hss.ugb-ims.sn:5060
             udp: pcscf.ugb-ims.sn:5060
             udp: scscf.ugb-ims.sn:5060
             udp: presence.ugb-ims.sn:5060
             udp: ue.ugb-ims.sn:5060
             udp: mobicents.ugb-ims.sn:5060
             *: ugb-ims.sn:*
             *: icscf.ugb-ims.sn:*
```

❖ **Lancement du serveur de base de données FHoSS**

```
root@vip:~# cd /opt/OpenIMSCore
root@vip:/opt/OpenIMSCore# ./fhoss.sh
Building Classpath
Classpath is lib/xml-apis.jar:lib/xercesImpl.jar:lib/xerces-2.4.0.jar:lib/xalan-
2.4.0.jar:lib/tomcat-util.jar:lib/tomcat-http.jar:lib/tomcat-coyote.jar:lib/stru
ts.jar:lib/servlets-default.jar:lib/servlet-api.jar:lib/naming-resources.jar:lib
/naming-factory.jar:lib/mysql-connector-java-3.1.12-bin.jar:lib/mx4j-3.0.1.jar:l
jar:lib/junit.jar:lib/junitee.jar:lib/jta.jar:lib/jsp-api.jar:lib/jmx.j
p.jar:lib/jasper-runtime.jar:lib/jasper-compiler-jdt.jar:lib/jasper-com
piler.jar:lib/hibernate3.jar:lib/FHoSS.jar:lib/ehcache-1.1.jar:lib/dom4j-1.6.1.j
ar:lib/commons-validator.jar:lib/commons-modeler.jar:lib/commons-logging.jar:lib
/commons-logging-1.0.4.jar:lib/commons-lang.jar:lib/commons-fileupload.jar:lib/c
ommons-el.jar:lib/commons-digester.jar:lib/commons-collections-3.1.jar:lib/commo
ns-beanutils.jar:lib/cglib-2.1.3.jar:lib/catalina-optional.jar:lib/catalina.jar:
lib/c3p0-0.9.1.jar:lib/base64.jar:lib/asm.jar:lib/asm-attrs.jar:lib/antlr-2.7.6.
jar::log4j.properties:..
[main] INFO  de.fhg.fokus.hss.main.TomcatServer  - Tomcat-Server is started.
[main] INFO  org.apache.catalina.startup.Embedded  - Starting tomcat server
[main] INFO  org.apache.catalina.core.StandardEngine  - Starting Servlet Engine:
 Apache Tomcat/5.5.9
[main] INFO  org.apache.coyote.http11.Http11Protocol  - Initializing Coyote HTTP
/1.1 on http-192.168.43.38-8080
```

❖ **Vue d'ensemble des serveurs lancés**

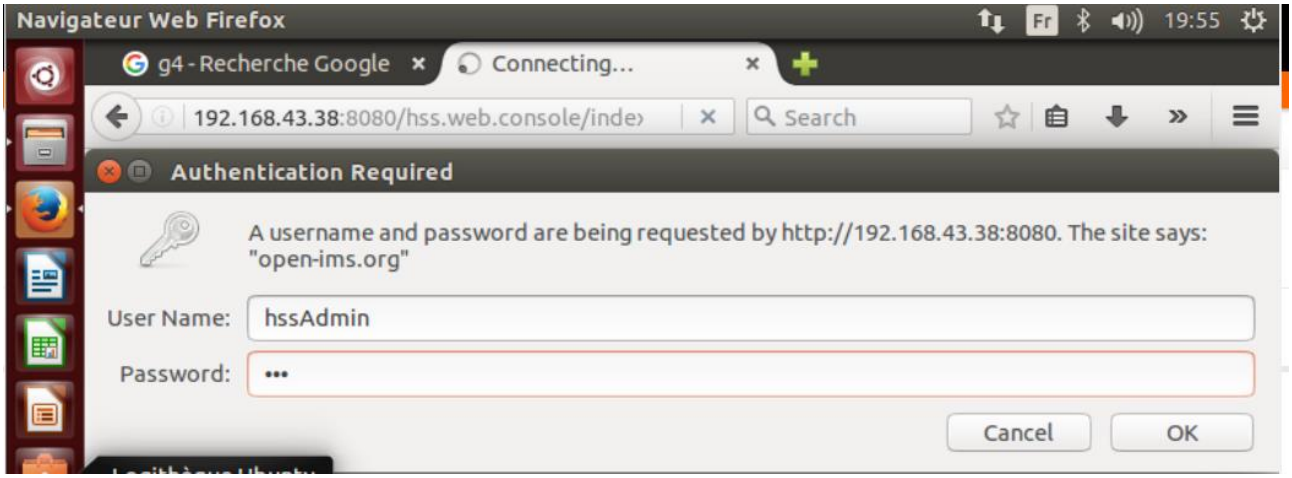


VI. Administration de FHoSS et configuration des comptes clients

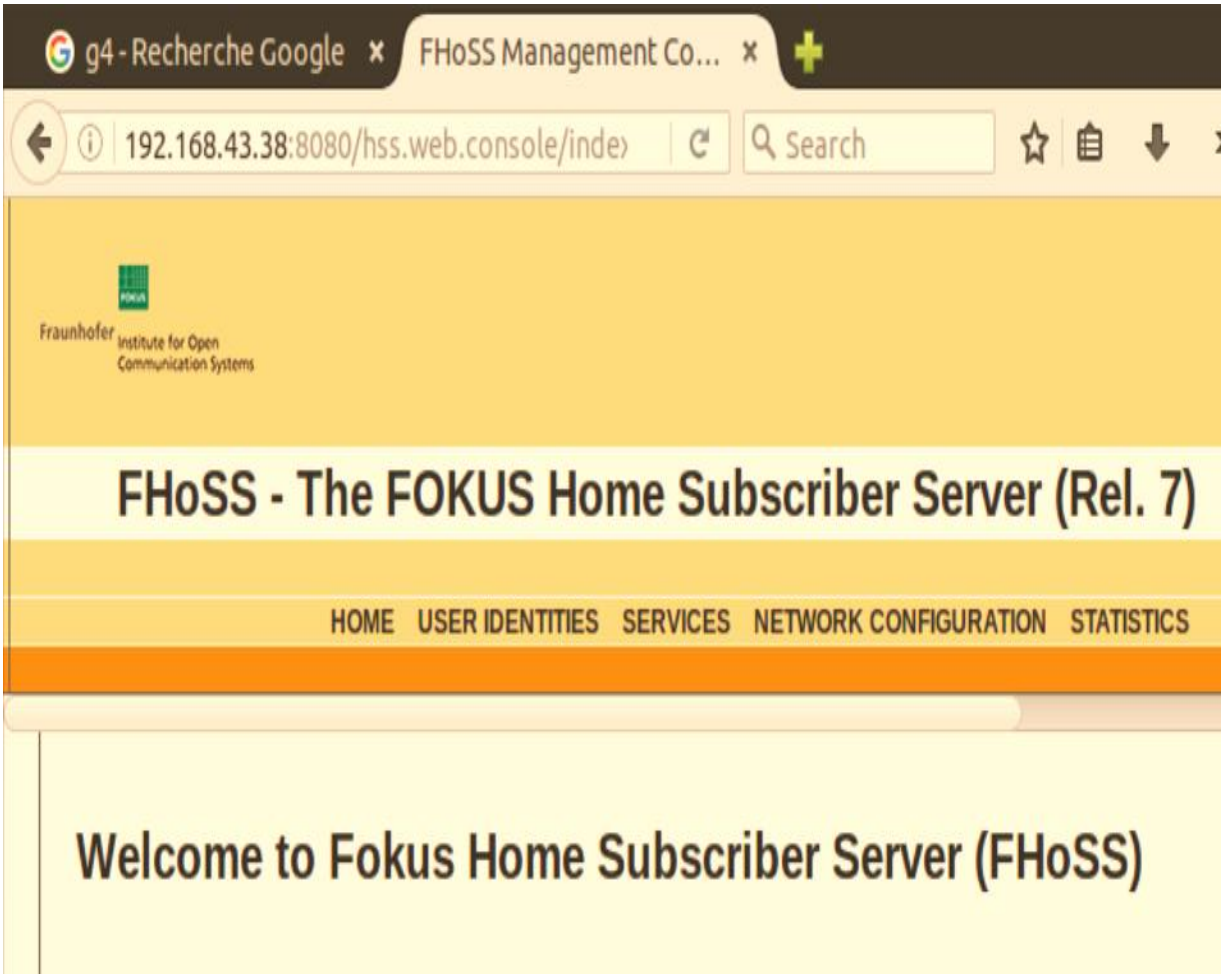
❖ Accès à l'interface de FHoSS

Pour se diriger vers la page web de la base de données HSS, taper sur la barre de recherche du navigateur : **adresse_IP :8080/hss.web.console/index.jsp**

User Name : **hssAdmin**
Password : **hss**

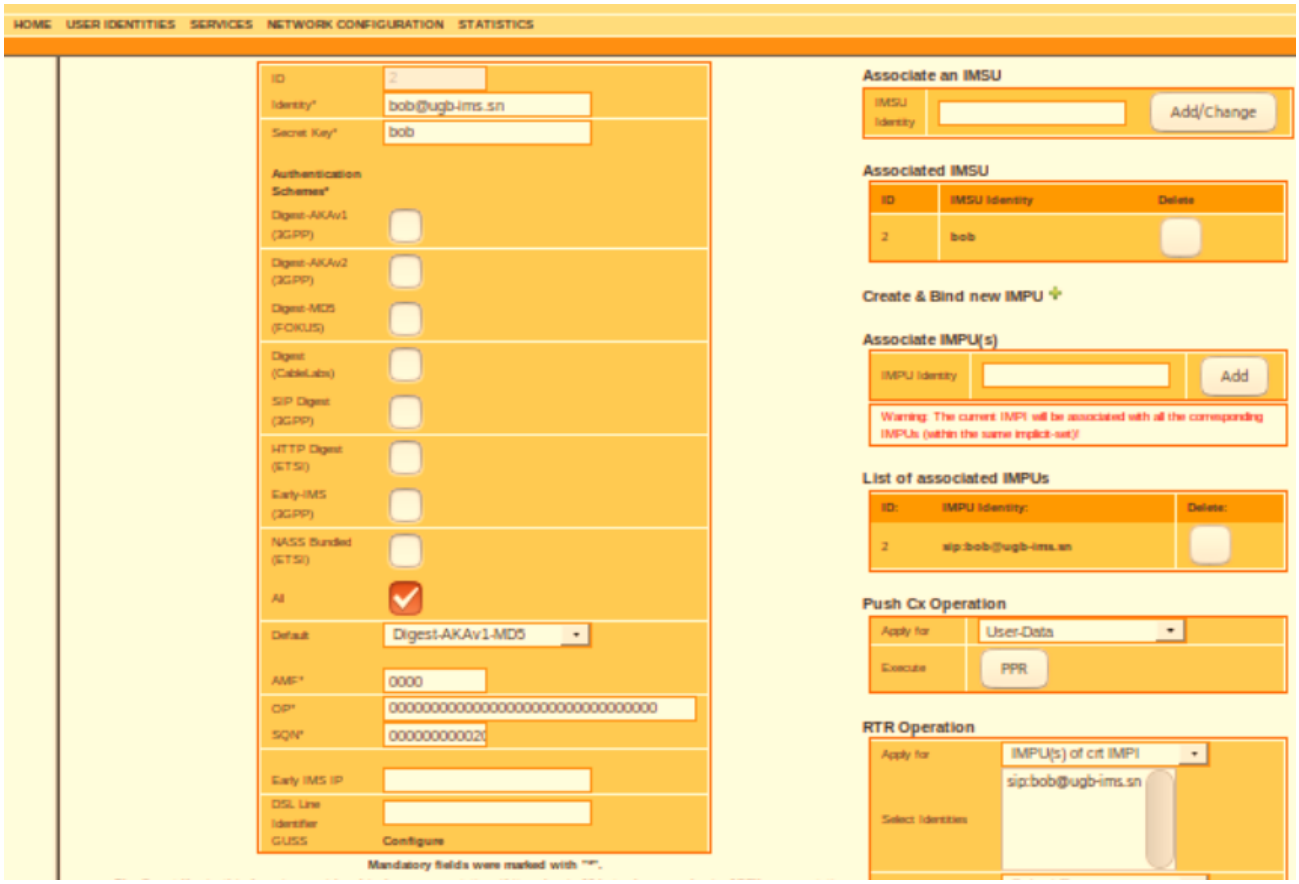


❖ **Accès à l'interface de la base données Fokus Home Subscriber Server FHoSS**

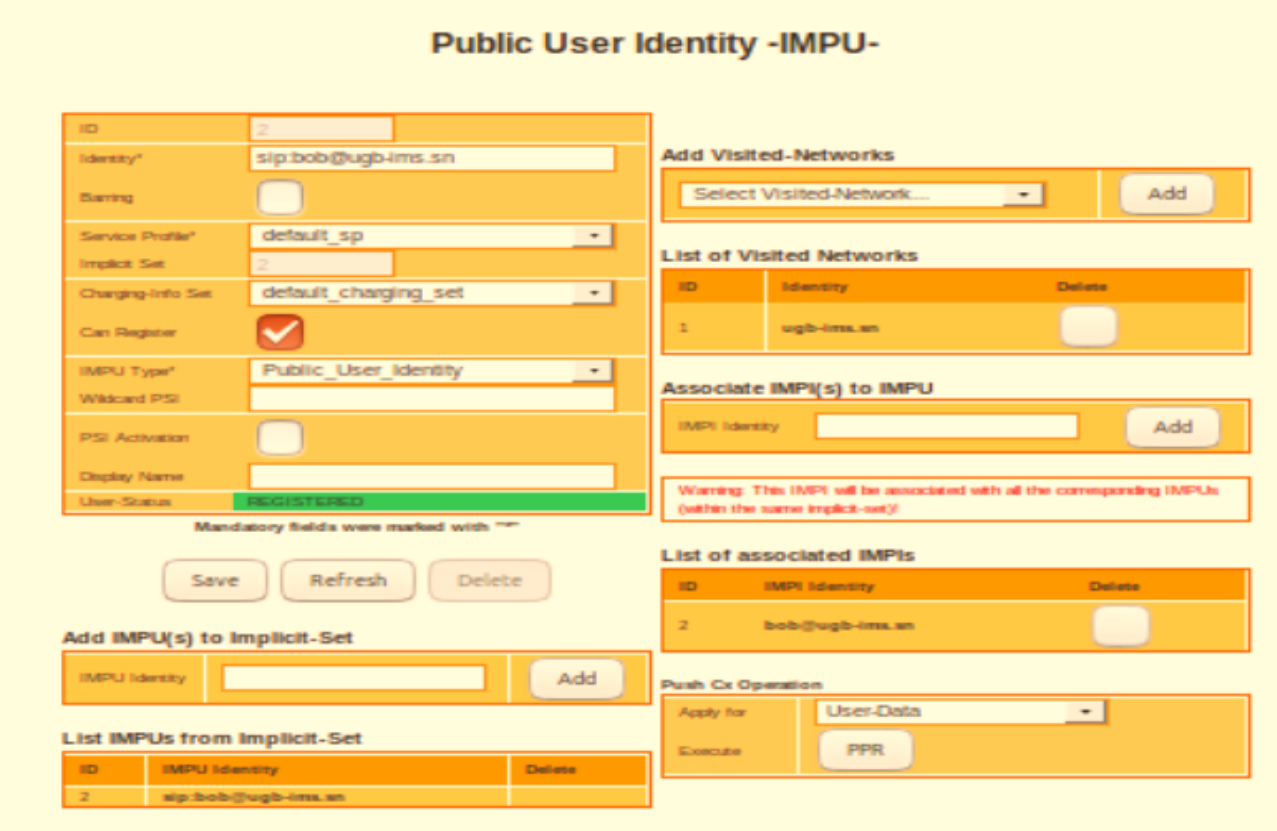


❖ **Configuration de l'utilisateur bob dans le réseau ugb-ims.sn**

➢ Pour l'identité privé en appuyant > USER IDENTITIES > IMPI

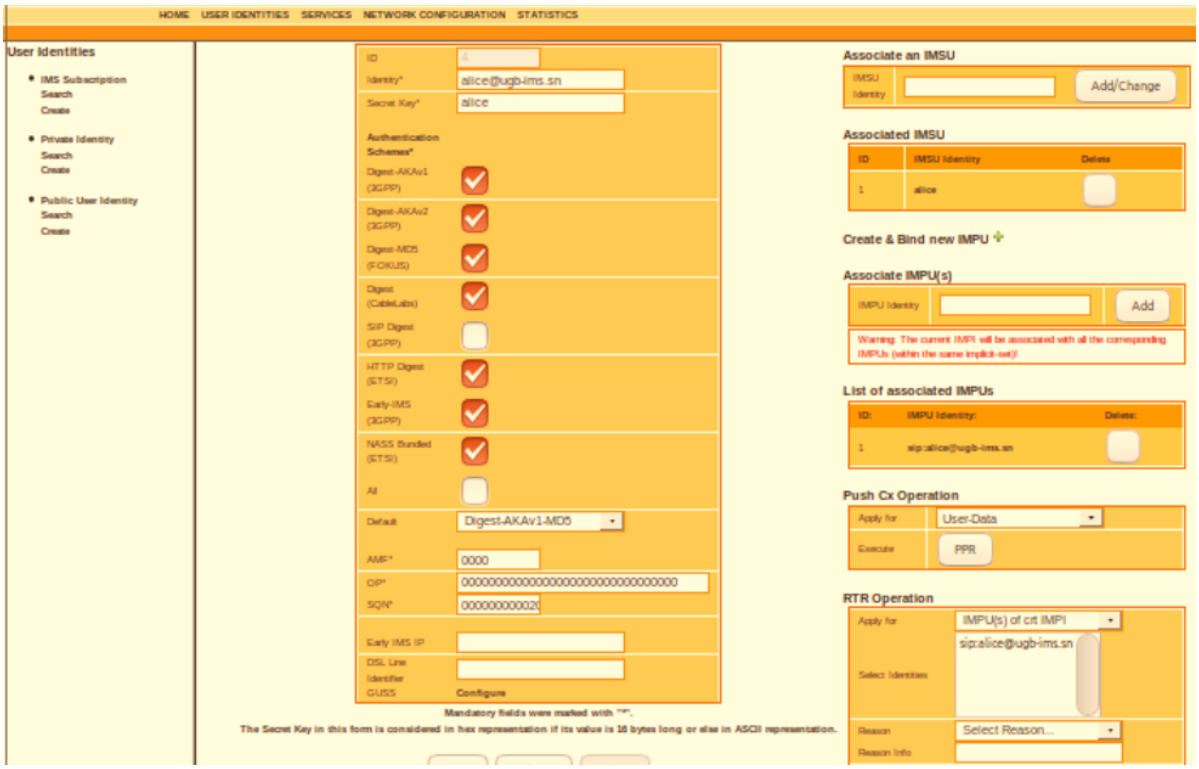


➢ Pour l'identité privé en appuyant > USER IDENTITIES > IMPU

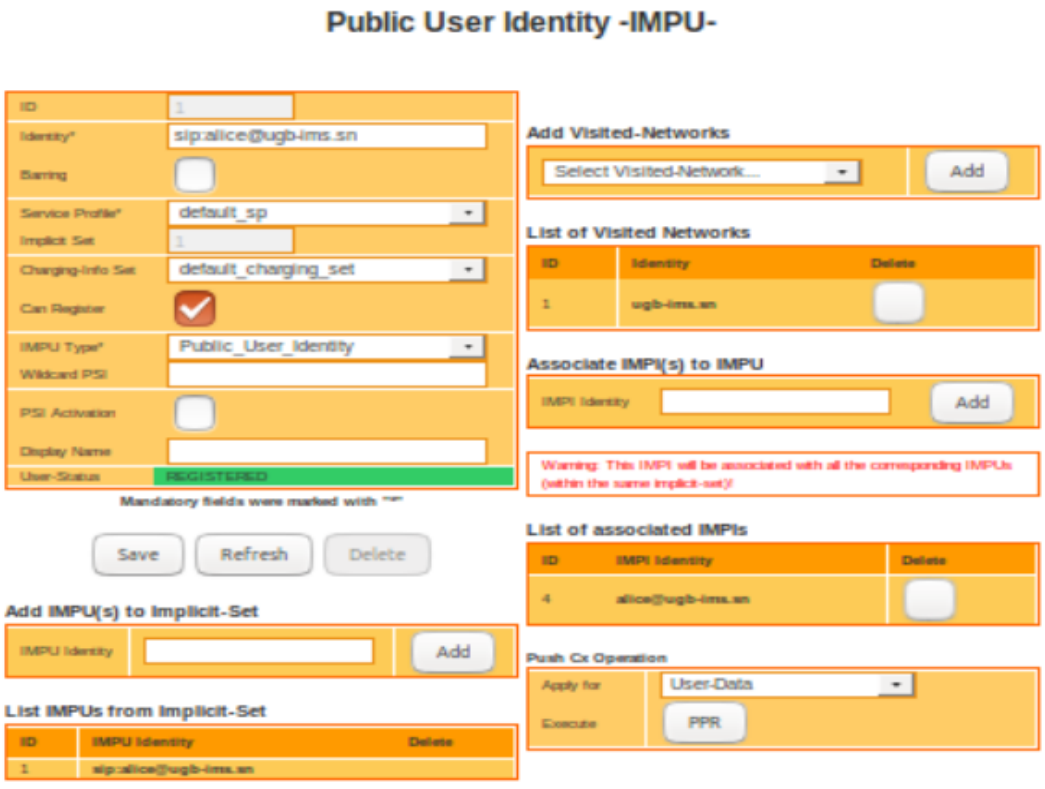


❖ **Configuration pour alice**

➢ Pour l'identité privé en appuyant > USER IDENTITIES > IMPI



➢ Pour l'identité publique en appuyant > USER IDENTITIES > IMPU



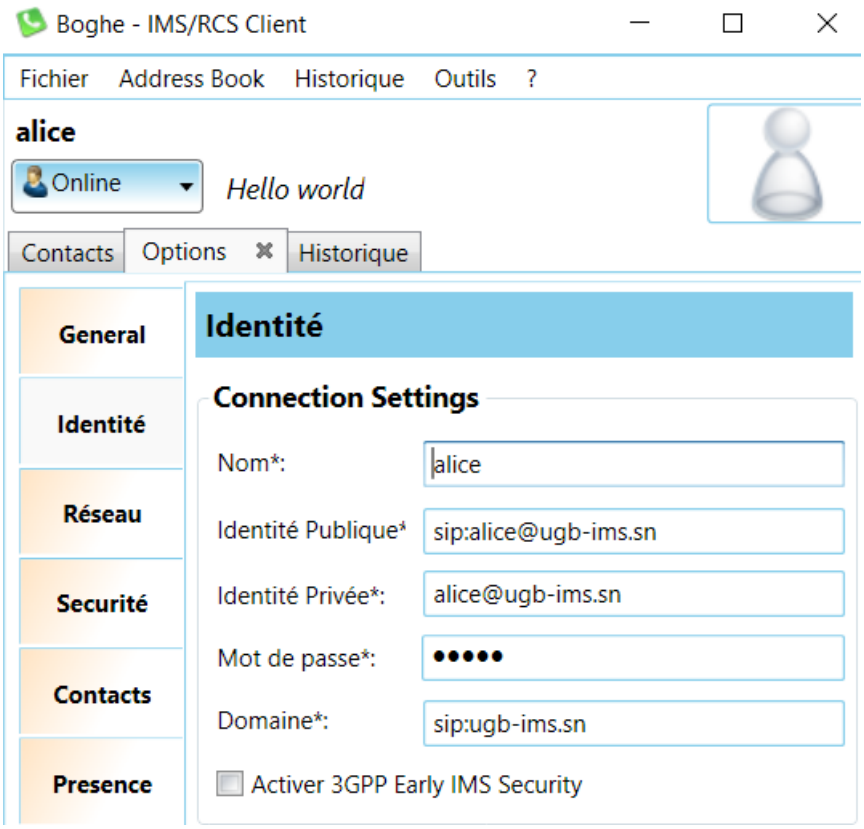
VII. Paramêtrage des clients IMS et test des services déployés

Nous avons utilisé le logiciel Boghe pour les clients IMS sous système Windows.

Il va nous permettre d'utiliser les comptes **bob** et **alice** précédemment configuré dans le FHoSS

- **Configuration du logiciel pour les comptes clients**
  - ✓ **Remplissage des informations de paramètrage pour le compte alice**

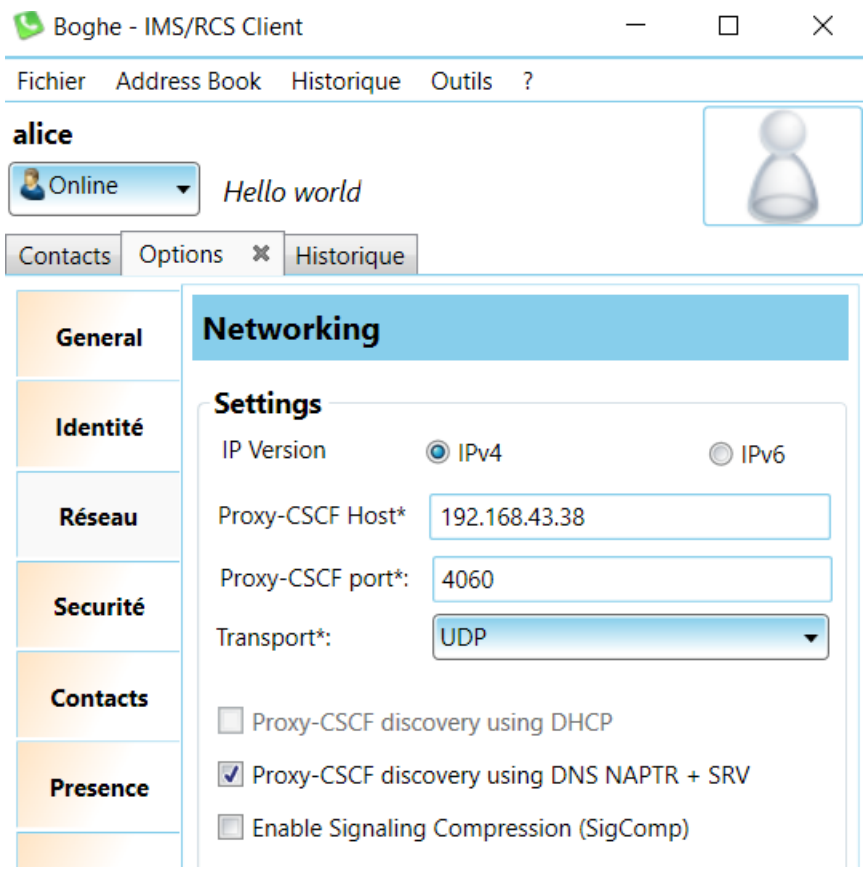
Ici on va donner les infrmation sur son identité en appuyant sur outils > options > identité



- **Remplissage des informations sur le réseau déployé en appuyant sur :**

Outils > Options > Réseau

Les champs sont à remplir comme sur le capture ci-dessous

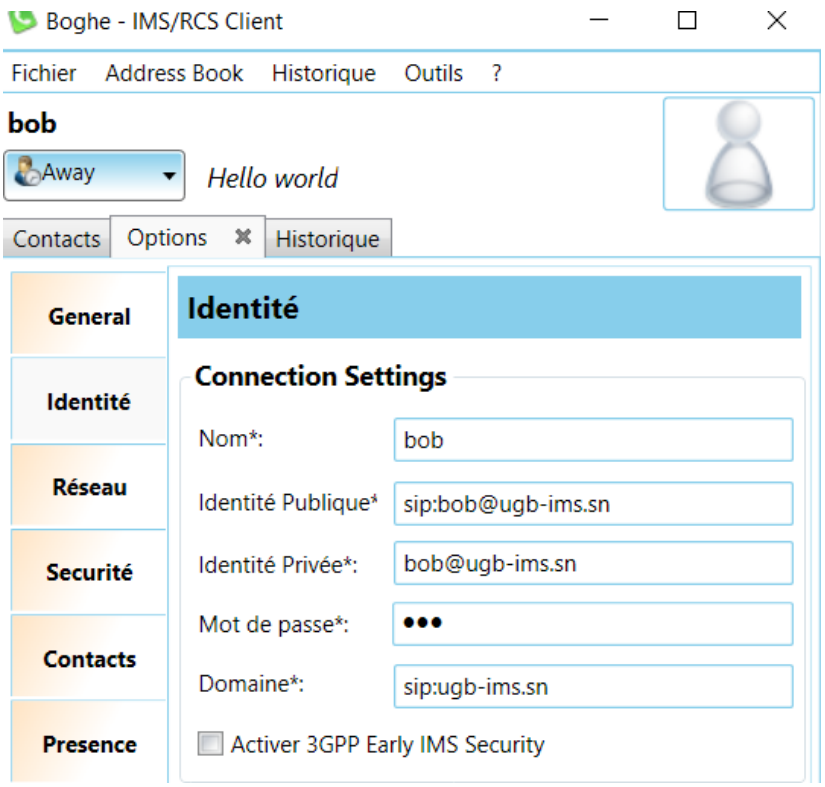


❖ **Remplissage des informations de paramètrage pour le compte bob**

Ici on va donner les infrmation sur son identité en appuyant sur :

Outils > Options > Identité

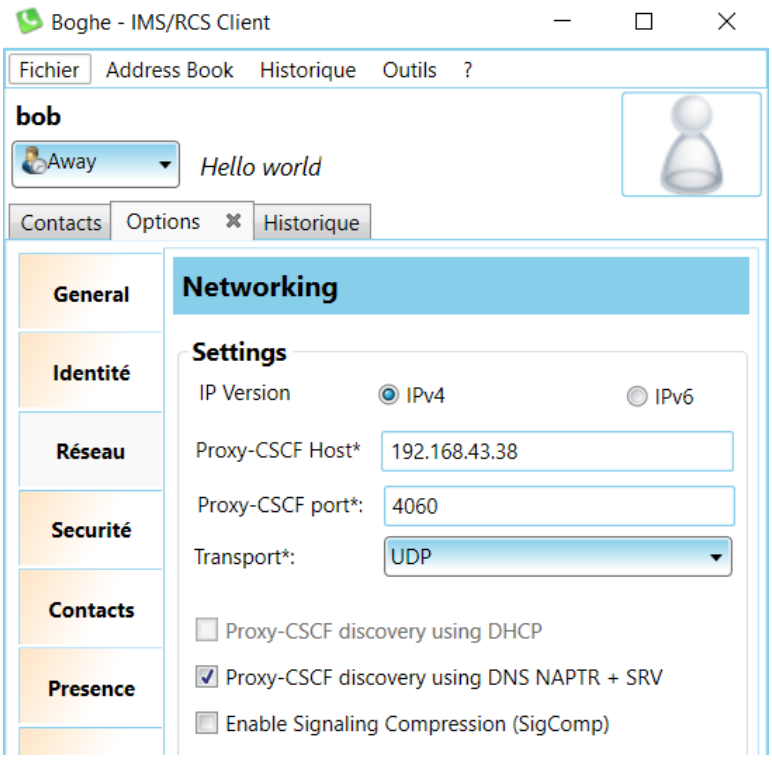
Les champs sont à remplir comme sur le capture ci-dessous



❖ **De même que les informations sur le réseau déployé en appuyant sur :**

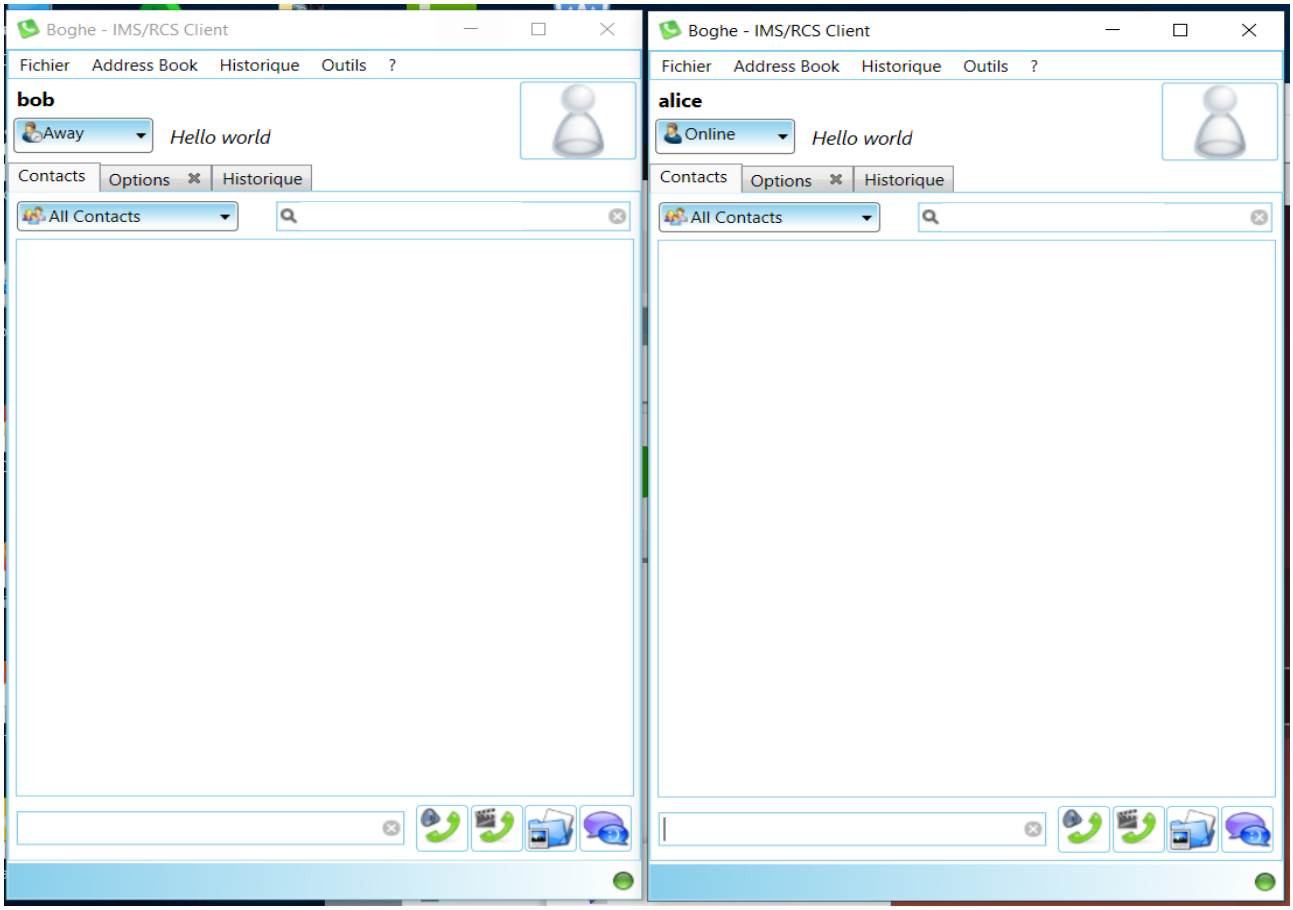
Outils > Options > Réseau

Les champs sont à remplir comme sur le capture ci-dessous

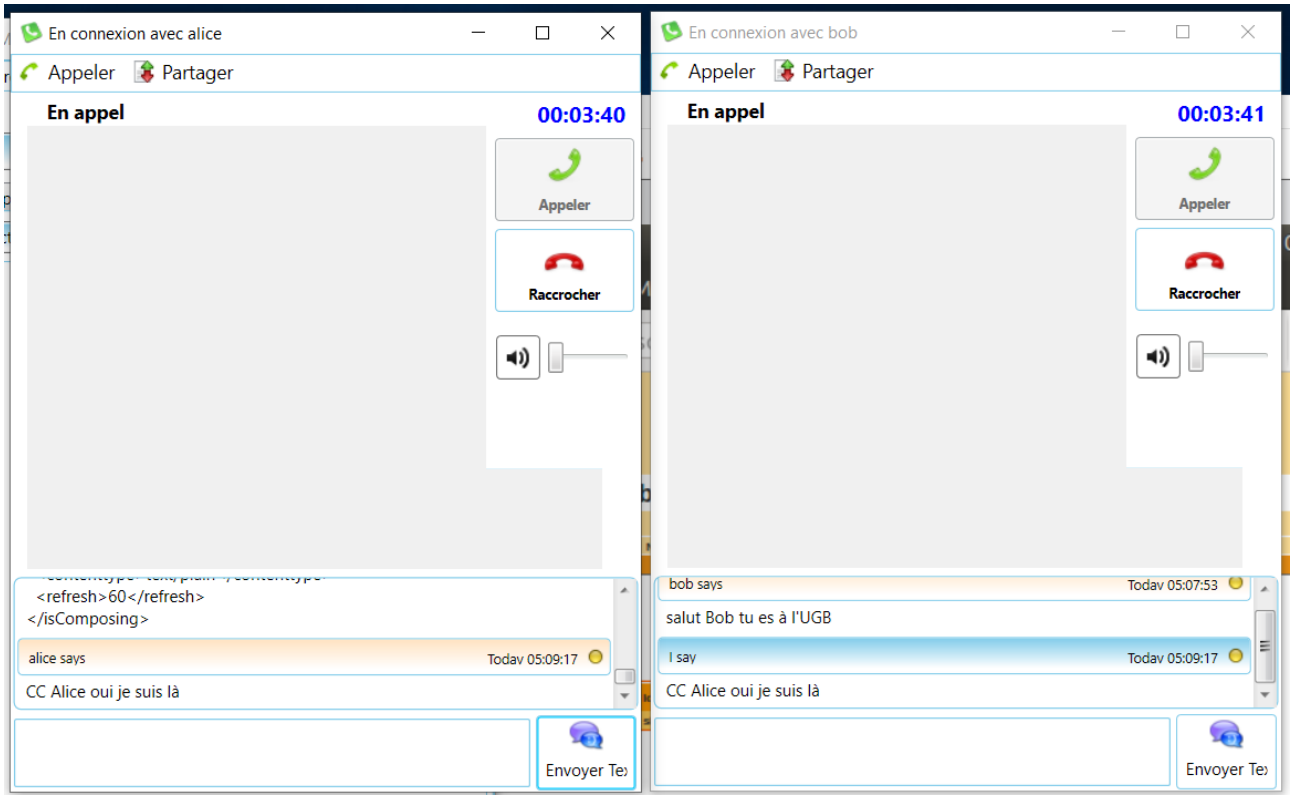


Puis cliquons sur la bouton connexion

Après avoir remplie toutes les informations concernant les deux comptes cités , la connexion de ces derniers au serveur IMS a eu un succès illustré par le capture suivant. Maintenent nous allons pouvoir tester la joignabilité des clients IMS **bob** et **alice** dans le domaine **ugb-ims.sn** de la plateforùme IMS déployée.



On voit sur les options disponibles qu'un utilisateur a la possiblité de faire un appel vocal comme visio et en plus échanger des messages pandant une communication. Le capture ci après nous en donne la preuve.



Appel de Alice par Bob en même temps que des échanges de messages ecrits

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons porté notre choit sur une plateforme OpenSource qu'est OpenIMSCore, nous avons identifier ses contraintes logicielles et matérielles avant de les braver, nous l'avons par la suite installé et tester avec succès au moyen du logiciel Boghe IMS/RC.

Conclusion Générale

Nous en sommes à la fin de ce travail portant sur l'étude de la téléphonie sur LTE ou en un seul mot VoLT E. Il a suscité l'intérêt d'aborder quatre chapitres .

Dans le premier chapitre nous avons revu les systèmes 2G/3G avec leur spécificités architecturales et fonctionnelles, leurs apports et leurs limites de capacités.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudier en détails la quatrième génération de réseaux mobile mandataire de VolTE en passant par ses objectifs, ses apports nouveaux sur le plan technologique mais aussi suivant l'expérience de l'utilisateur avec notamment ses débits plus élevés et sa plus grande capacité de trafic

En chapitre trois nous avons aborder l'étudie des solutions de VoLTE et en particulier la plateforme IMS de ses aspects généraux aux plus particuliers qui fournit au réseau LTE les flux voix sur IP.

En dernier lieu nous avons déployé et testé la plateforme OpenIMSCore dont notre choix était porté pour émuler la technologie IMS dans le domaine choisi ugb-ims.sn avec les utilisateurs bob et alice configurés.

Nous admettons avoir beaucoup appris au travers de ce travail qui nous a aussi beaucoup marqué surtout avec les perspectives de réseau fédérateur de la 4G qu'il met en exerce pouvant permettre l'intégration de tous les réseaux IP sans fil 3GPP et non 3GPP dans un immense réseau IP grâce au concept modulaire de ses sous-réseaux composants. Ainsi avec un travail plus approfondi sur les possibilité d'intégration de l'IMS dans les technologies sans fil comme IEEE 802.11 ou WIFI et le IEEE 802.16m pourrait fournir un bon nombre de ses services à leur usagers.

Références Bibliographiques

[1]. ALAGHA kHALDOUN, Réseaux de mobiles et réseaux sans fil, Edition Eyrolles, (2001)

[2]. GSM Architecture overview, edition AIRCOM INTERNATIONAL

[3]. Globale system for mobile communication Architecture, interface et identités copyright EFORT(2008) http://WWW.efort.com

[4]. Globale system for mobile communication, copyright EFORT(2008), op.sit

[5]. HANICHE Lynda, TIKENTERT Fazia, (2010), op.sit

[6]. ENDRER PEREZ (2011), op.sit

[7]. ALLAOUI HAYAT, AREZKI SONIA, 2016.op.sit

[8]. ALLAOUI HAYAT, AREZKI SONIA,(2016), Dimensionnement et caractéristique d'un réseau mobile 3G, Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

[9]. GSM : Global System for Mobile Communications Architecture, Interfaces et Identités Copyright EFORT

[10]. ALLAOUI HAYAT, AREZKI SONIA, 2016.op.sit.

[11]. Harri Holma, Antti Toskala, "UMTS 2000.op.sit

[12].

[13]. Lassaad Elaabidi, UMTS (Universal mobile telecommunications System), 2010, Synapsis Software Engineering, https://fr.slideshare.net/Cynapsys/formation-umts?

[14] ([2])

[15]. Habib CHAGOUR, la téléphonie Mobile & Architecture réseau 4G Edition SUPINFO, 2016, http:// www.supinfo.com

[16]. ([3])]

[17]. ([10])

[18] GSMA,2012

[19]. Yannick Bouguen - Eric Hardouin-françois Xavier Wolff , « LTE et les réseaux 4G », ,editions Eyrolles, 2012

[20]. https://vdocs.tips/doc/chapitre-5-reseaux-mobiles-satellitaires-45xn70vye3, visité 30/12/2021

[21]. Eunice Adjarath Lemamou , « Planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération »,Thèse de doctorat, Université de Montréal ,Avril 2014

[22]. AMAZIT ABDELGHANI, « Impact des interférence de la couche physique sur la couche MAC dans la technologie LTE, Mémoire en Mathématique et informatique appliquées, Université du Québec,Juin 2011

[23]. Frédéric launay, 4G TLE, université de Poitiers, 2012, http : www.univ-postiers.fr

[24]. Frédéric Launay, 2012, op.sit

]25]. https://www.tech-invite.com/3a/tinv-3gpp-imsarch-105.html, consulté 30/12/2021

[25]. Vikas Shoken,Volte, https://www.telecomtutorial.info/post/what-is-volte-ims-overview-basics-fundamentals, Consulté le 20/12/21

[26]. ENDRER PEREZ, la voix sur LTE (réseau 4G et architecture IMS), Edition Lavoisier, (2013).

[27]. Laurent ouakil-guy pujolle , .2012.op.sit

[28]. Voix sur LTE (VoLTE) Impacts sur l'accès LTE, Copyright EFORT, (2013), http://www.efort.com

[29]. OpenIMSCore, Copyright (C) 2004-2008 FhG Fokus, http://openimscore.sourceforge.net/, consulté le 25/12/21

[30] GSMA, 2012

[31] Fréderic Launay, SRVCC, https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/volte/, Consulté le 22/12/21

[32] Fréderic Launay, SRVCC, https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/2015/06/24/srvcc-single-radio-voice-call-continuity-suite/, Consulté le 22/12/21

[33] Driss ohkoh, Etude et simulation de l'interface radio LTE-Advanced dans un env, 2013