

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Réseaux & Télécommunication

Présenté par

Ihssen Bousalem

&

Sid Ahmed Taounza

CloudAir Solution pour le Partage dynamique du spectre GSM-LTE

Proposé par : Malek GARET et Sifeddine ALREME (Djezzy)

Co-encadré par : Dr H. AIT SAADI (Université de BLIDA1)

Année Universitaire 2018-2019

Remerciements

Nous tenons, avant tout, à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la santé et la patience et de nous avoir aidé à surmonter toutes les dures épreuves et les moments difficiles pour aboutir à ce travail.

Nous adressons toute notre reconnaissance et nos plus vifs remerciements à notre promoteur, Monsieur Hocine AIT SAADI, Maître de conférences à l'université de Blida 1, pour nous avoir dirigé pendant cette année. C'était un honneur de travailler avec une précieuse assistance, disponibilité et soutien durant toute la période du déroulement de ce projet. Nous espérons avoir encore l'occasion de travailler avec lui dans le futur. Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.

Nous remercions aussi nos encadreurs, Messieurs Malek GARET et Sifeddine ALREME de l'opérateur de téléphonie mobile Djezzy. Nous tenons à leur exprimer notre gratitude pour leur disponibilité et d'avoir accepté de nous superviser et nous accueillir dans les locaux de l'entreprise Djezzy.

Nous remercions très vivement les membres du jury pour l'honneur et l'intérêt qu'ils nous ont accordé en acceptant d'examiner et d'évaluer ce mémoire.

Nos pensées vont vers nos chers parents, pour leurs sacrifices, leurs encouragements et surtout pour leurs prières. Nous leur souhaitons la bonne santé et la longue vie, Incha Allah.

Nos remerciements les plus sincères à tous nos amis et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

ملخص: في هذه المذكرة اهتمنا بالمشكلة التي يواجهها جميع المشغلين، وهي النمو الهائل في الطلب على شبكة LTE وموارد واجهة الراديو المحدودة. اقترحت Huawei خوارزمية Cloud Air، الذي يشترك في تخصيص الموارد الثابتة مع تقنيات راديو محددة للمشاركة الديناميكية عند الطلب. مكنت هذه الخوارزمية من استخدام الطيف الكامل، وتحسين إنتاجية المستخدم من خلال استغلال نطاق GSM1800 وتحسين سعة شبكة LTE بشرط ان يكون تداخل GSM-LTE في مستوى مقبول. تؤكد نتائج الاختبارات التي قمنا بها مقارنة بشبكة LTE باستخدام النطاق الترددي القياسي فعالية الخوارزمية المقترحة من Huawei.

كلمات المفاتيح: الاختبارات، الطيف، المشاركة الديناميكية، GSM، LTE، Cloud Air

Résumé : Dans ce mémoire, nous nous intéressons au problème rencontré par tous les opérateurs, à savoir la croissance spectaculaire de la demande en LTE et les ressources limitées en interfaces radio. Huawei a suggéré l'algorithme Cloud Air, qui partage l'allocation de ressources fixes avec des technologies radio spécifiques pour une participation dynamique à la demande. Cet algorithme a permis d'utiliser le spectre complet, d'améliorer la productivité des utilisateurs en utilisant la gamme 1800 GSM et d'améliorer la capacité du réseau LTE, à condition que le niveau de brouillage GSM-LTE soit acceptable. Les résultats de nos tests comparés au LTE avec une bande passante standard confirment l'efficacité de l'algorithme proposé par Huawei.

Mots clés : Cloud Air, participation dynamique, spectre, GSM, LTE, tests.

Abstract: In this thesis, we are interested in the problem faced by all operators, namely the spectacular growth of LTE demand and the limited resources in radio interfaces. Huawei suggested the Cloud Air algorithm, which shares fixed resource allocation with specific radio technologies for dynamic on-demand participation. This algorithm has made it possible to use the full spectrum, improve user productivity using the 1800 GSM range and improve the LTE network capacity, provided the GSM-LTE interference level is acceptable. The results of our tests compared to LTE with a standard bandwidth confirm the effectiveness of the algorithm proposed by Huawei.

Keywords : Cloud Air, Dynamic on-demand participation, Spectrum, GSM, LTE, tests.

Listes des acronymes et abréviations

3GPP	Third Generation Partnership Project
AMPS	Advanced Mobile Phone System
BCCH	Broadcast Control Channel
BE	BSC-ENodeB
BG	Border Gateway
BS	Base Stations
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem=BTS+BSC.
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CDR	call drop rate
CQI	Channel Quality Index
CSSR	call Setup Success Rate
DCS	digital communication system
DiffServ	Differentiated Service
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSP	Densité Spectral of Power
EDGE	Enhanced Data rates for the Global Evolution).
EIR	Equipment Identity Register
ENodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ERAB	EPS Radio access Bearer
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved UTRAN
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
G BTS	GSM base transceiver station
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GL	GSM and LTE
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
HO_Qual	handover optimum quality
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSR	handover success rate
HSS	Home Subscriber Service
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for the year
IS-136	Interim Standard-136
IS-95	Interim Standard-95
KPI	Key performance indicator

LTE	Long Term Evolution
ME	Mobile Equipment
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Message Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Station Subsystem
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSS	operations support system
PCC SINR	Policy and Charging Control
PCFICH	physical control format channel
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDN-GW	Packet Data Network GateWay
P-GW	Packet-Switch GetWay
PHICH	physical Hybrid Indicator Channel
PRB	Physical Resource Block
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Bloc
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RSRP	Reference Signals Received Power
SGSN	Serving GRPS Support Nom
SGW	Serving Gateway
SMS	Short Message Service
TACS	Total Access Communications System),
TCH	traffic channel
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TRX	total Resistance eXercise
TTI	Transmission Time Interval Network (réseau radio UMTS)
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UE-AMBR	User Equipment – AMBR
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
VLR	Visitor Location Register
VoD	Video On Demand
VoIP	Voice on IP
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Les différentes normes de la téléphonie mobile	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Les différentes normes téléphoniques.....	2
La première génération de la téléphonie mobile (1G).....	2
La deuxième génération des téléphones mobiles (2G).....	3
1.3 Modes de communication :.....	3
1.4 Le réseau GSM.....	4
1.5 La troisième génération de la téléphonie mobile 3G.....	6
1.5.1 L'UMTS	6
1.5.2 Architecture UMTS Release	7
1.5.3 HSPA.....	8
1.5.4 HSPA+	8
1.5.5 Principes du W-CDMA.....	9
1.5.6 Contrôle de puissance (power)	9
1.5.7 Élément de canal ou channellelement (CE)	10
1.5.8 Ressource d'élément de canal (CE) :	10
1.6 La quatrième génération de téléphonie mobile (LTE):	10
1.6.1 Architecture du réseau LTE:.....	11
1.6.2 La technique d'accès multipleOFDMA	12
1.6.3 Structure de trame de l'interface radio	13
1.6.4 Signaux de synchronisation (PSS et SSS).....	16
1.6.5 Les canaux	17
1.6.6 L'efficacité spectrale de LTE.....	18
1.7 Conclusion	18
Chapitre 2 Qualité de service QOS.....	19
2.1 Introduction.....	19
2.2 Qualité de service dans GSM.....	19
2.2.1 Indicateurs et compteurs de qualité de service	19
2.2.2 Critères de qualité de service QOS	20
2.3 Qualité de service dans UMTS.....	21

2.4	Qualité de service dans le réseau LTE	21
2.4.1	Dimensionnement de capacité	22
2.4.2	Capacité en nombre d'utilisateurs	22
2.4.3	But de la QOS	23
2.4.4	Les critères de la QOS	23
2.4.5	Les informations utilisées pour assurer la QOS	24
2.4.6	Procédés d'évaluation de la QOS	25
2.4.7	Mécanismes de QOS dans LTE	26
2.5	Conclusion	29
Chapitre 3 Cloud Air solution pour le Partage du spectre		30
3.1	Introduction.....	30
3.2	Définition.....	31
3.3	Principe de base	31
3.4	Partage de spectre.....	32
3.4.1	Multiplexage intra-fréquence GSM et LTE.....	34
3.4.2	La synchronisation horaire GSM	35
3.5	Suggestion de configuration du spectre	35
3.5.1	Réaménagement du spectre (Spectrum refarming) :	36
3.5.2	Interférence et solutions.....	36
3.6	Contrainte de puissance.....	37
3.7	Dépendance des fonctionnalités.....	40
3.8	Impact sur les différents réseaux	40
3.9	Conclusion :	41
Chapitre 4 Résultats et interprétation		42
4.1	Introduction.....	42
4.2	Les Différents paramétrages à effectuer coté LTE et GSM	42
4.2.1	Activation des fonctionnalités - du côté GSM	42
4.2.2	Exemples d'activation MML côté GSM	43
4.2.3	Activation des fonctionnalités – du côté LTE	43
4.2.4	Exemples d'activation MML côté LTE	43
4.3	Sites d'essai et sites de la zone tampon	44
4.3.1	Précautions	44

4.3.2	Évaluation de la couverture commune GSM & LTE	45
4.4	Résumé OSS(opérations support system)-4G-KPIs	45
4.4.1	L'analyse du nombre maximum de PRbvs l'utilisation de PRb	46
4.4.2	L'analyse du débit max DL pour un seul utilisateur (résultat de laboratoire-M2000)	46
4.4.3	L'analyse de débit moyenne des utilisateurs vs le nombre PRB (busyhour).....	47
4.4.4	L'analyse de Trafic en liaison descendante vs le nombre de PRb.....	48
4.4.5	L'analyse de CSSR (setup success rate).....	49
4.5	Résumé OSS-2G KPIs	49
4.5.1	L'analyse de CDR(Call_ Drop_Rate)	49
4.5.2	L'analyse HSR vs HO_Qual_Rate	50
4.6	Résumé des KPIs 4G du test de conduite (drive test)	51
4.6.1	RS Résultat-4G RSRP(Reference signals received power).....	51
4.6.2	Résultats 4G PCC SINR du Drive test (policy and chargingcontrol).....	53
4.6.3	Résultats 4G du Débit DL en drive test	54
4.6.4	Les résultats de débit en liaison descendante des tests statiques et dynamiques de 4G	55
4.7	Résumé du test de conduite (drive test) des KPIs de 2G	56
4.7.1	Résultats de l'intensité du signal-2G (Rxlev) à partir du drive test	57
4.7.2	DT Résultats-2G RxQual (la qualité du signal).....	58
4.8	Conclusion :	59
	Conclusion générale	60

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 le mode TDD et FDD et illustration des liaisons uplink et dowlink.....	4
Figure 1.2 Architecture du réseau GSM	6
Figure 1.3 Architecture du réseau GPRS.....	7
Figure 1.4 architecteur de l'UMTS.....	8
Figure 1.5 Modèle de référence du réseau LTE.....	13
Figure 1.6 Principe de l'OFDMA.....	14
Figure 1.7 Structure temporelle d'un slot avec 7 symboles OFDM et les CP.....	15
Figure1.8 Structure temporelle de la trame de 10ms en FDD.....	16
Figure 1.9 Ressource bloc et ressource élément pour un CP en mode normal	16
Figure.1.10 Cartographie du PSS	18

Chapitre 2

Figure 2.1 Perception de la QoS.....	23
Figure 2.2 Les déférentes bearers.....	28
Figure 2.3 Différents types de bearers.....	28

Chapitre 3

Figure 3.1Le nombre d'utilisateurs des trois technologies a évolué au fil du temps ...	31
Figure 3.2 Concepts de spectre GSM et LTE.....	32
Figure 3.3 Illustration du spectre dédié au LTE avant l'activation de la fonctionnalité.	32
Figure 3.4 Illustration du spectre partagé avec le GSM et utilisé par le LTE.....	33
Figure 3.5 Le spectre partagé est entièrement occupé par le GSM.....	33
Figure 3.6 Principe de fonctionnement de Cloud Air.....	34
Figure 3.7Principe de communication entre GSM et LTE.....	34
Figure 3.8 Multiplexage intra-fréquence GSM et LTE	35
Figure 3.9 Cas 1: LTE utilisant les ressources partagées.....	35
Figure 3.10 Cas 2: multiplexage intra-fréquence GL du spectre partagé.....	35
Figure 3.11 Cas 3: GSM utilisant les ressources partagées.....	36
Figure 3.12 Configuration actuelle	36
Figure 3.13 Configuration de la fréquence GSM asymétrique	37
Figure 3.14 Configuration de la fréquence GSM symétrique	37
Figure 3.15 Solution pour obtenir la meilleure solution.....	37
Figure 3.16 Les types d'interférences après l'activation de Cloud Air.....	38
Figure 3.17 Contrainte de puissance.....	39

Chapitre 4

Figure 4.1 la zone GL et la zone tampon.....	46
Figure 4.2 le nombre PRB vs l'utilisation de PRb (par heures).....	47
Figure 4.3 L'analyse du débit max DL pour un seul utilisateur.....	48
Figure 4.4 le débit moyenne des utilisateurs vs le nombre de PRB	49
Figure 4.5. Trafic vs le nombre de PRb(par heure).....	49
Figure 4.6. Trafic (par jour).....	49
Figure 4.7le CSSR observé en 4G.....	50
Figure 4.8kpi de 2G (Call_Drop_Rate).....	51
Figure 4.9kpi de 4G (HSR vs HO_Qual_Rate)	52
Figure 4.10 Résultat de RSRP 4G en drive test avant l'activation.....	53
Figure 4.11 Résultat du test de conduite de 4G (RSRP) après.....	53

Figure 4.12	Résultat du test de conduite de 4G (PCC SINR) avant.....	54
Figure 4.13	Résultat du test de conduite de 4G (PCC SINR) après.....	55
Figure 4.14	Résultat du test de conduite de 4G (débit) avant.....	55
Figure 4.15	Résultat du test de conduite de 4G (débit) après.....	56
Figure 4.16	Résultat du test de conduite de 2G (Rxlev) avant.....	58
Figure 4.17	Résultat du test de conduite de 4G (Rxlev) après.....	59
Figure 4.18	Résultat du test de conduite de 4G (RxQual) avant.....	59
Figure 4.19	Résultat du test de conduite de 4G (RxQual) après.....	60

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1	les interfaces de réseau GSM.....	6
Tableau 1.2	LTE entités.....	12
Tableau 1.3	LTE interfaces.....	13
Tableau 1.4	Paramètres de la couche physique d'un système LTE.....	15

Chapitre 2

Tableau 2.1	Principaux indicateurs de qualité de service.....	22
Tableau 2.2	Les 5 classes de mesure de KPI de la LTE.....	27
Tableau 2.3	Caractéristiques QCI	29

Chapitre 3

Tableau 3.1	Interférence et solutions du côté LTE et GSM.....	38
Tableau 3.2	Spécifications et contraintes matérielles.....	41

Chapitre 4

Tableau 4.1	Les 4 sites de couverture GL.....	46
Tableau 4.2	Les 3 sites de couverture GO.....	46
Tableau 4.3	résumé OSS-4G KPIs.....	47
Tableau 4.4	résumé OSS-2G KPIs.....	50
Tableau 4.5	résumé du test de conduite - KPI 4G.....	52
Tableau 4.6	les résultats de RSRP (avant).....	53
Tableau 4.7	les résultats de RSRP (après).....	53
Tableau 4.8	les résultats de PCC SINR (avant).....	54
Tableau 4.9	les résultats de PCC SINR (après).....	54
Tableau 4.10	les résultats de débit (avant).....	55
Tableau 4.11	les résultats de débit (après).....	56
Tableau 4.12	Test en point fixe.....	57
Tableau 4.13	Test de conduite dynamique.....	57
Tableau 4.14	résumé du test de conduite (drive test) des KPIs de 2G.....	57
Tableau 4.15	les résultats de Rxlev (avant).....	58
Tableau 4.16	les résultats de Rxlev (après).....	58
Tableau 4.17	les résultats de RxQual (avant).....	59
Tableau 4.18	les résultats de RxQual (après)	60

Introduction générale

Dans la plupart des applications modernes, le partage du spectre radioélectrique est une fonction statique, dans laquelle le spectre est attribué à un utilisateur principal dominant (ou titulaire d'une licence), pendant une longue période pour éviter les interférences et les collisions.

Pour répondre à la demande croissante des utilisateurs, il est nécessaire d'avoir une allocation dynamique du spectre pour les nouveaux réseaux sans fil. Le spectre radioélectrique exploité par les réseaux sans fil actuels ne contient pas assez de ressources pour tous les nouveaux réseaux sans fil. Il faut donc mener des recherches pour résoudre ce problème via un partage dynamique du spectre.

Une étude réalisée par Huawei a montré que certaines bandes de fréquences sont partiellement occupées dans des emplacements particuliers et à des moments particuliers. C'est pour toutes ces raisons que le Cloud AIR est apparu. L'idée de Cloud AIR est de partager le spectre entre un utilisateur GSM, et un utilisateur dit LTE. L'objectif principal de cette gestion du spectre consiste à obtenir un taux maximum d'exploitation du spectre radio. Pour que cela fonctionne, l'utilisateur LTE doit être capable de détecter l'espace blanc, de se configurer pour transmettre, détecter le retour de l'utilisateur GSM et ensuite cesser de transmettre et chercher un autre espace blanc.

Nous avons dans ce mémoire de fin d'études procédé à une étude puis une analyse de la qualité du réseau LTE-GSM avec un partage dynamique du spectre en appliquant la solution Cloud Air. Pour cela nous avons organisé le mémoire en quatre chapitres. Le premier chapitre, présente les différentes normes téléphoniques, les architectures, les techniques d'accès et les différentes interfaces. Le second chapitre traite les concepts de qualité de service dans le GSM et l'UMTS en générale, et la LTE en particulier. Le troisième chapitre concerne les concepts du Cloud Air et ses algorithmes, l'analyse du nombre maximal de Ressources blocs (RB), le débit maximal, ainsi que la comparaison entre les indicateurs clés de performances (KPI) de 2G et 4G. Pour finir, dans le dernier chapitre, résume les différents tests effectués avant et après l'activation du Cloud Air, les résultats des drives tests, l'impact sur les KPI de 2G et 4G, ainsi que sur le nombre de Rb et le débit.

Chapitre 1 : Les différentes normes de la téléphonie mobile

1.1 Introduction

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie avec la 2G (GSM) puis plus orientés vers le multimédia en utilisant la 3G (UMTS) et 4G (LTE). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que Wifi, Bluetooth, etc. La génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritable tournant dans le foisonnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois est certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. La qualité des services proposés par les opérateurs de réseaux mobile et leur couverture dans le domaine de la 4G pose un véritable problème. Ce qui nous fait beaucoup réfléchir par rapport à l'optimisation des techniques liées à cette technologie.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphonie mobile, leurs architectures ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires [2].

1.2 Les différentes normes téléphoniques

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

La première génération de la téléphonie mobile (1G)

La première génération de systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux. La première génération de système cellulaire 1G utilisait essentiellement les standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) lancé aux Etats-Unis, est un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- **NMT** (Nordic Mobile Téléphone) a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisés dans d'autres parties de la planète.
- **TACS** (Total Access Communications System), qui repose sur la technologie AMPS, a été fortement utilisé en grande Bretagne.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique [2].

La deuxième génération des téléphones mobiles (2G)

Elle est apparue au début des années 90 avec le mode de transmission numérique. Il devient ainsi possible de transmettre, en plus de la voix, des données numériques de faible volume telles que les SMS (Short Message Service) et les MMS (MultiMedia Message Service).

Les standards 2G les plus utilisés sont le GSM, l'IS-95 (Interim Standard-95) qui est basé sur le codage CDMA (Code Division Multiple Access) et l'IS-136 (Interim Standard-136) qui se base sur le codage TDMA (Time Division Multiple Access). Le GSM est cependant le standard ayant connu la plus grande percée avec l'utilisation de la bande des 1900MHz en Amérique du Nord et au Japon et de la bande des 900MHz et 1800Mhz sur les autres continents. C'est d'ailleurs sur ce standard que se basent les réseaux GPRS (General Packet Radio Service : 2.5G) et EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution : 2.75G) qui sont venus corriger les faibles débits du GSM. Le GPRS permettant la transmission simultanée de la voix et de données. L'utilisation des applications multimédias est rendue possible par EDGE qui offre des débits allant jusqu'à 384 kbps [2].

1.3 Modes de communication :

Le canal d'une station de base vers les mobiles dans sa cellule comme l'illustre la Figure 1.1 définit la liaison descendante (dowlink) de la cellule, et le canal des mobiles dans une cellule vers la station de base de cellule définit la liaison montante de la cellule (uplink).

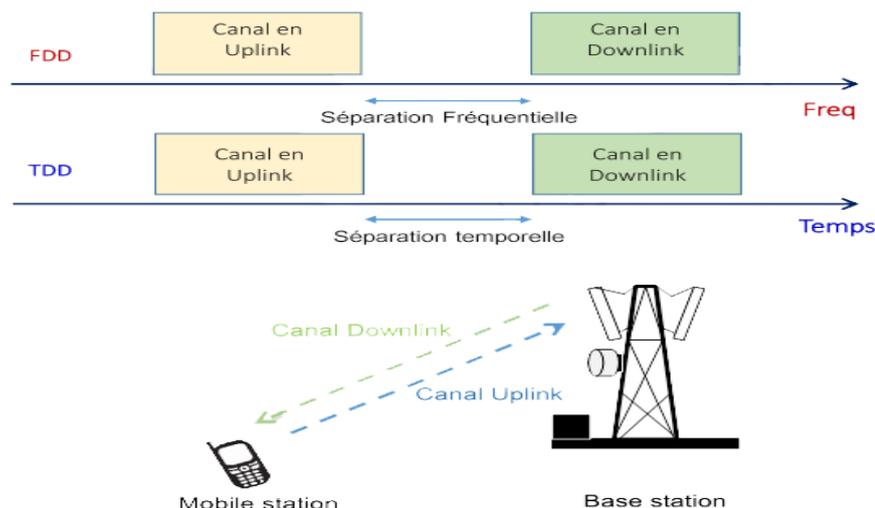


Figure 1.1. Le mode TDD et FDD et illustration des liaisons uplink et dowlink [1].

Alors on peut parler du mode de communication :

- **Simplex** – communication à sens unique (par exemple, diffusion AM)

- **Duplex** –communication bidirectionnelle
- **TDD** (Time Division Duplex), la liaison montante (uplink) et la liaison descendante (downlink) utilisent la même bande de fréquence, mais ne transmettent pas en même temps comme le montre la figure
- **FDD** (Frequency Division Duplex), une bande de fréquence pour la liaison montante et une autre pour la liaison descendante [1].

1.4 Le réseau GSM

Le GSM (Global system for mobile communication), est un système cellulaire, numérique de télécommunication radio-mobile. Son développement remonte aux années 80 mais son exploitation a commencé en 1992 après une longue phase de normalisation est de coopération internationale. Les premiers réseaux ouvrent en GSM 900 et deux ans plus tard, la norme GSM s'étend en DCS 1800 (digital communication system). La figure 1.2 présente l'architecture du réseau GSM.

Un réseau de radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonie commuté (RTC). Il s'interface avec le RTC et comprend des commutateurs. Il est caractérisé par un accès très spécifique la liaison radio. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance [3].

Le réseau GSM comme le montre la figure 1.2 est composé d'une partie accès au réseau et de la partie cœur du réseau, dont voici les principaux équipements :

1. **BSS : Base Station sub system**= BTS+BSC. sous-système radio qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio.
2. **Station de base (BTS-Base Transceiver Station)** : Assure la réception les appels entrant et sortant des équipements mobiles.
3. **Le contrôleur de base (BSC-Base Station Controller)** : Assure le contrôle des stations de bases.
4. **NSS : Network Station Sub system** : sous-système d'acheminement, qui réalise les fonctions d'établissements des appels et de la mobilité
5. **Commutateurs de service mobile (MSC-Mobile Switching Center)** : Assure la commutation dans le réseau.
6. **Registre des abonnés locaux (HLR-Home Location Register)** : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
7. **Registre des abonnés visiteurs (VLR-Visitor Location Register)** : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.
8. **GMSC**: Gateway Mobile Switching Centre.
9. **EIR : Equipment Identity Register** : base de données annexe contenant les Identités des terminaux IMEI.

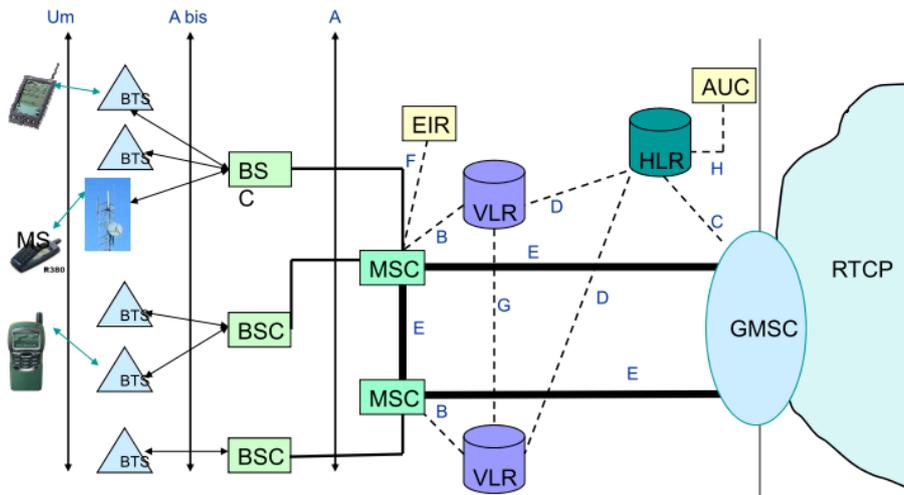


Figure 1.2. Architecture du réseau GSM [3].

Les interfaces de réseau GSM sont résumés dans le tableau suivant :

Nom	Localisation
Um	MS-BTS
A bis	BTS-BSC
A	BSC-MSC
B	MSC-VLR
C	GMSC-HLR
D	VLR-HLR
E	MSC-MSC MSC-GMSC
F	MSC-EIR
G	VLR-VLR
H	HLR-AUC

Tableau 1.1. Les interfaces du réseau GSM [3].

Le GPRS (General Packet Radio Service) dont l'architecture est donnée par la figure 1.3 peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération. En termes de service et de débits, il s'approche des spécifications de l'IMT 2000. Toutefois la transition du GSM au GPRS demande plus qu'une simple adaptation logicielle.

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le nœud de service — le SGSN.
- Le nœud de passerelle — le GGSN.

Une troisième entité — le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité. Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM [3].

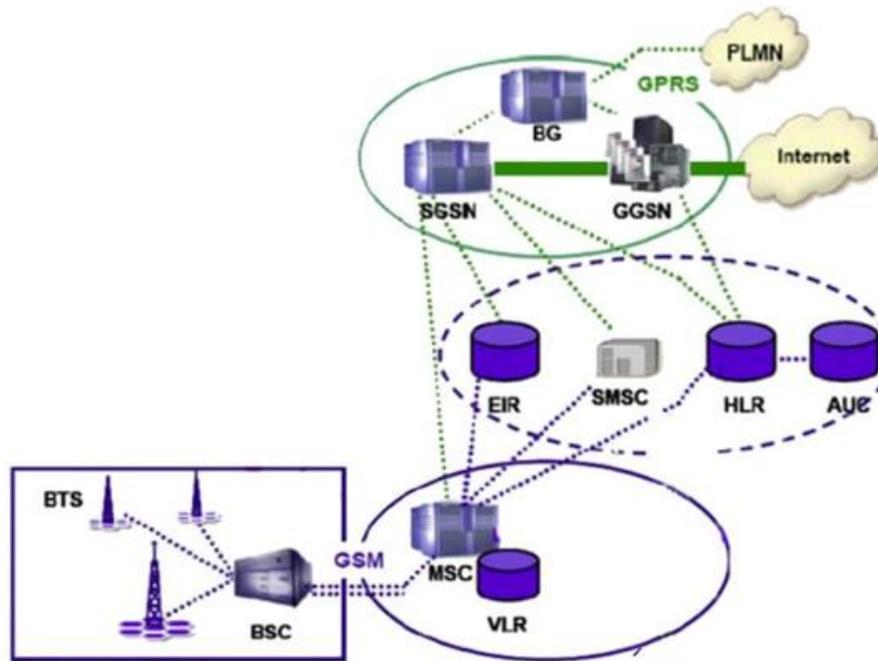


Figure1.3. Architecture du réseau GPRS [3].

1.5 La troisième génération de la téléphonie mobile 3G

Les spécifications IMT-2000 (International Mobile Télécommunications for the year 2000) de l'Union Internationale des Communications (UIT), définissent les caractéristiques de la **3G** (troisième génération de téléphonie mobile). La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visio-conférence ou l'accès à internet haut débit. Les réseaux 3G utilisent la bande de fréquence 2100 MHz.

La principale norme 3G utilisée en Europe s'appelle UMTS (Universal Mobile Télécommunications System), utilisant un codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). La technologie UMTS utilise une largeur de bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données. La technologie HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé « 3.5G » [5].

1.5.1 L'UMTS

La troisième génération des réseaux mobile (3G) est apparue pour établir des normes internationales afin de garantir une compatibilité mondiale, une mobilité globale, la compatibilité avec les réseaux (2G). Les principales normes (3G) sont le CDMA2000 et l'UMTS (Universal Mobile Télécommunication System). La norme CDMA2000 est une amélioration de la norme IS-95 et n'est pas compatible avec le GSM [5].

1.5.2 Architecture UMTS Release

On distingue dans l'architecture de l'UMTS donnée par la figure 1.4, le terminal utilisateur, le réseau d'accès radio (UTRAN), le core network ou cœur du réseau.

a Présentation du terminal utilisateur :

Le terminal utilisateur (UE) est composé des deux parties suivantes :

- Le terminal mobile (ME ou Mobile Equipment) correspond au terminal radio utilisé pour les communications radio sur l'interface Uu.
- La carte USIM (L'UMTS Subscriber Identity Module) est une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, les algorithmes et les clés d'authentification, les clés de chiffrement ainsi que certaines données relatives à l'abonnement de l'utilisateur qui sont nécessaires au niveau du terminal.

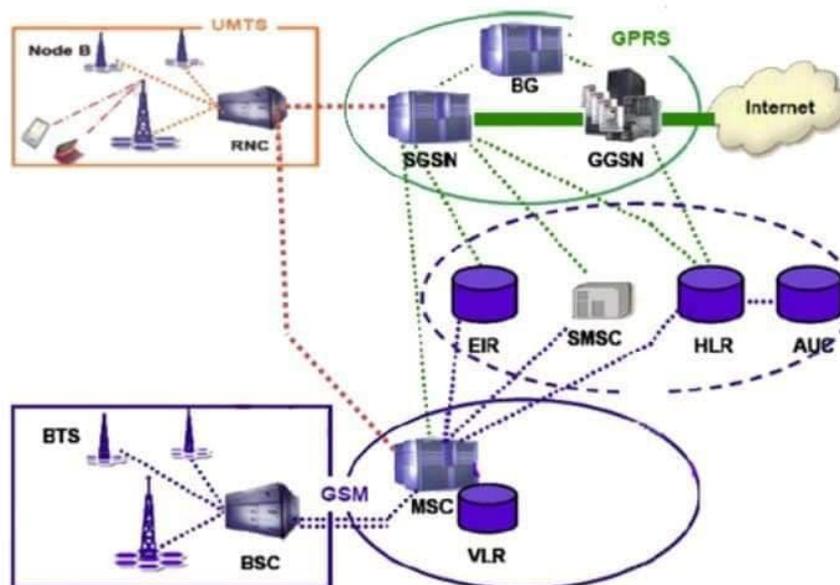


Figure 1.4. Architecture de l'UMTS [3]

b Le réseau d'accès radio (UTRAN) :

- Le **Node B** est un relais radio électrique qui assure la couverture d'une cellule pour les terminaux UMTS. Il convertit le flux de données entre les interfaces Iub et Uu et participe à la gestion des ressources radio. Notons que le terme « Node B » provient des spécifications du 3GPP et est équivalent au terme « station de base » que nous avons utilisé précédemment.
- Le **RNC** (Radio Network Controller) gère les ressources radio de la zone dont il a le contrôle, c'est-à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les Node B auxquels il est rattaché. Il assure la mobilité des usagers et la concentration du trafic. Le RNC est le point d'accès pour tous les services fournis par l'UTRAN au réseau cœur.

c Le réseau cœur (CN)

- Le **3G-SGSN** possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais est utilisé pour les communications paquet. La partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée domaine paquet.
- Le **3G-GGSN** possède des fonctionnalités très proches de celles du GMSC mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet [3].

d Les interfaces UMTS

- **L'interface Cu**: Correspond à l'interface électrique entre la carte USIM et le terminal. Cette interface suit le format standard des cartes à puces.
- **L'interface Uu** : Il s'agit de l'interface air WCDMA qui est le sujet de la majeure partie de mon projet et grâce à laquelle le terminal utilisateur a accès à la partie fixe du système. Cette interface est ouverte, ce qui permet à de nombreux constructeurs de terminaux de proposer leurs produits sans nécessairement développer leurs propres stations de base.
- **L'interface Iu** : Elle relie l'UTRAN au réseau cœur. Similaire aux interfaces A du GSM pour le domaine circuit et Gb pour le domaine paquet, l'interface Iu est ouverte et permet aux opérateurs d'employer des équipements UTRAN et CN de différents constructeurs.
- **L'interface Iur** : qui permet le soft Handover entre des RNC de différents constructeurs, Le protocole d'application du plan de contrôle est RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part).
- **L'interface Iub** : qui relie les Node B aux RNC, Le protocole d'application du plan de contrôle est NBAP (Node B Application Part) permettant la gestion des liens et des mesures radio.
- **Iu-CS** : qui relie RNC aux MSC/VLR, Le protocole d'application est RANAP (Radio Access network application Protocol)
- **Iu-PS** : qui relie RNC aux SGSN, le protocole d'application est RANAP (Radio Access network application Protocol) [5].

1.5.3 HSPA

D'autres améliorations ont été apportées plus tard en termes de débit à l'UMTS donnant lieu aux normes **HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access : 3.5G) qui offre un débit théorique maximum de **14.4 Mbps** pour **16 QAM** en ligne descendante et **HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access :3.75 G) débit théorique maximum en ligne ascendante de **5.76 Mbps**. Ces deux normes sont regroupées sous le nom de **HSPA** (High Speed Packet Access) [5].

1.5.4 HSPA+

Les versions R7 et R8 (rel-8 du 3GPP) appelées HSPA+ ou (3.75G), ont défini de nouvelles améliorations de la norme UMTS, permettant d'atteindre, pour la variante FDD utilisée en

Europe en 2013, des débits descendants pics de **21 Mb/s** pour **16QAM**, et **42 Mb/s** en « **Dual Carrier = double transporteur** » pour **64QAM**. Le débit montant crête est limité à **5,8 Mb/s**.

L'implémentation qui en est faite sur les réseaux 3G français en 2014 et qui est supportée par les terminaux récents (Smartphones et tablettes) correspond à la variante dite « DC-HSPA+ (=3.75G) » qui implique d'utiliser deux cellules radio simultanément (deux bandes de fréquence UMTS adjacentes de 5 MHz) ; elle permet un débit pic descendant de **42 Mb/s**[5].

1.5.5 Principes du W-CDMA

Le W-CDMA utilise le mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplex). W-CDMA utilise deux bandes passantes de 5 Mhz, l'une pour le sens montant (uplink), l'autre pour le sens descendant (Downlink). Les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour supporter un débit de 2 Mbit/s.

Le W-CDMA se base sur une technique plus ancienne qui est le CDMA (Code Division Multiple Access). Afin de comprendre les concepts du W-CDMA, il est important de comprendre la technique du CDMA [5].

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. En utilisant deux types de code pour séparer les utilisateurs et les services :

a Code de canalisation (Channelization Codes) or codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor):

Chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code orthogonal propre à cet utilisateur. Cette méthode s'appelle l'étalement du spectre c'est-à-dire rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour cet utilisateur en question, et constitue la clé de codage [5].

b Scrambling code ou code d'embrouillage :

L'embrouillage réalisé par l'émetteur, permet de séparer les différents signaux des stations de base en Downlink ou des terminaux en Uplink sans modifier ni le débit, ni la bande passante. Pour le uplink, on notera essentiellement qu'il existe 224 scrambling codes. Ces "codes" ou "séquences", vont donc séparer les mobiles entre eux. Pour le Downlink, il existe 512 codes, qui vont donc séparer les stations de base entre elles [5].

1.5.6 Contrôle de puissance (power)

Les systèmes WCDMA sont connus pour la sensibilité de leur interface air aux interférences. Ceci est dû au fait que tous les utilisateurs transmettent à la même fréquence en utilisant les

scrambling codes. Pour remédier à cette sensibilité, une bonne gestion de cette interface s'avère nécessaire. En effet, le contrôle de puissance surveille d'une façon continue la qualité du lien radio en ajustant la puissance du Nœud B et du UE. Le but de cette fonction est de s'assurer que chaque utilisateur dans le réseau ne reçoit et transmet que l'énergie suffisante au maintien d'une connexion. En UMTS, deux boucles de contrôle de puissance fonctionnent en parallèle. Une première boucle ouverte assez lente permet d'initialiser la transmission. Mais c'est surtout une deuxième boucle de contrôle de puissance, dite fermée, transmettant des commandes d'ajustement, qui constitue une avancée importante [5].

1.5.7 Élément de canal ou Channel Element (CE)

L'élément de canal (CE) décrit les ressources de capacité sous licence logicielle requises pour un canal dédié (DCH ou E-DCH). Le nombre d'éléments de canal requis dans un RBS dépend du type de trafic et dépend des supports radio à utiliser, ainsi que du nombre d'utilisateurs simultanés pour chaque support radio spécifique [5].

1.5.8 Ressource d'élément de canal (CE) :

Les ressources CE sont un type de ressource matérielle NodeB. Le nombre de CE pris en charge par une seule NodeB, indique la capacité de démodulation de canal de la NodeB. Plus grand le nombre des CE pris en charge par une NodeB, plus puissante est la capacité de démodulation de canal et le traitement de service pour servir les clients. Des services à des débits différents nécessitent un nombre différent de CE pour assurer une démodulation de canal appropriée. Dans un RAN, les ressources CE sont gérées à la fois par le RNC et par NodeB. La NodeB rapporte sa capacité CE au RNC. Le contrôleur RNC détermine s'il convient d'admettre un nouveau service en fonction du nombre d'éléments de configuration qui doivent être consommés et contrôle les ressources de l'entité pendant les encombrements. Cela garantit la bonne utilisation des ressources CE. La NodeB gère de manière dynamique les ressources CE et ajuste rapidement le nombre de CE pouvant être consommés en fonction du débit de service réel. Cela augmente l'utilisation des ressources CE [5].

1.6 La quatrième génération de téléphonie mobile (LTE):

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit. Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant dépasser les 100 Mbit/s en Downlink, alors que Le LTE advanced offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s. La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en

minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà a utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [4].

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

1.6.1 Architecture du réseau LTE :

La figure 1.5 donne l'architecture de base d'un réseau LTE, composé d'entités LTE (UE et eNB) et d'EPC (S-GW, P-GW, MME, HSS, PCRF). Le tableau 1.2 ci-dessous présente les fonctions des différentes entités LTE. Le tableau 1.3 répertorie les points de référence du modèle de référence de réseau LTE et décrit les interfaces entre les entités EPS[7].

Entité	La description
MME	Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les services et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) a travers une connexion.
s-GW	Un s-GW termine l'interface vers un E-UTRAN
p-GW	Packet-Switch GetWay (P-GW) Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM systèmes et le non 3GPP système.
HSS	Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du suscriber-related (les abonnés voisins), et porte l'appel de control et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.
PCRF	Responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.
UE	Un UE se connecte à un eNB via l'interface LTE-Uu.
Enb	Un eNB fournit aux utilisateurs les interfaces radio (partie radio) et exécute des fonctions de gestion des ressources radio (RRM) telles que l'allocation dynamique des ressources.

Tableau 1.2. Les entités LTE [7].

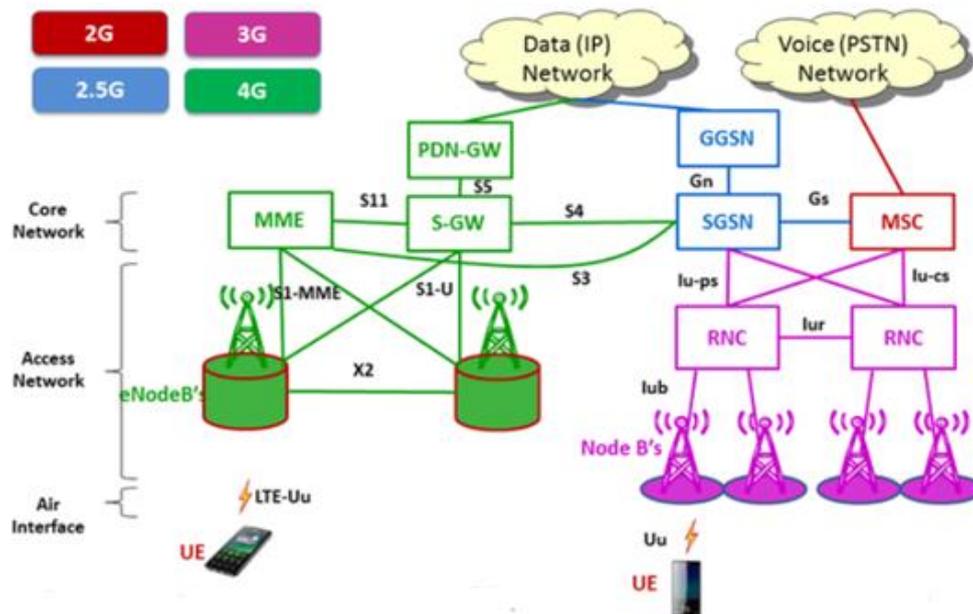


Figure 1.5. Modèle de référence du réseau LTE [5][6].

Référence point	PROTOCOL	La description
LTE-Uu	E-UTRA	Interface de commande et d'utilisateur entre un UE et un E-UTRAN (eNB).
X2	X2-AP GTP-U	Une interface pour les plans de contrôle et d'utilisateur entre deux eNB. Il est utilisé lors du transfert X2 et / ou pour une fonction auto-organisée par le réseau (SON).
S1-U	GTP-U	Point de référence entre E-UTRAN et Serving GW pour le tunneling de plan d'utilisateur par support et la commutation de chemin inter eNodeB pendant le transfert.
S1-MME	S1-AP	Point de référence pour le protocole de plan de contrôle entre E-UTRAN et MME.
S11	GTP-C	Point de référence entre MME et Serving GW.
S5/S8	GTP-5 GTP-U	S5 / S8 - C'est l'interface entre le S-GW et le P-GW. En principe, S5 et S8 constituent la même interface.
S6a	Diamètre	Une interface pour le plan de contrôle entre un HSS et un MME. Il échange des informations d'abonnement et d'authentification d'utilisateur.
Gx	Diameter	Une interface pour le plan de contrôle entre un PCRF et un P-GW.
S3, S4, S5, S8, S10, S11 et S16	GTPv2-C	GTPv2-C est utilisé pour contrôler la signalisation pour la gestion de support entre les éléments de l'entité de gestion de la mobilité (MME), de la passerelle de desserte (SGW) et des éléments de la passerelle du réseau de données par paquets (PGN) dans un réseau EPC.

Tableau 1.3. Les interfaces LTE [7].

1.6.2 La technique d'accès multiple OFDMA

Dans l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Modulation/Access), un multiplexage fréquentiel avec chevauchement est réalisé avec des sous porteuses orthogonales. Les sous-

porteurs peuvent être réparties sur différents utilisateurs. Le principe de la distribution est basé sur les conditions du canal (adaptation) et le débit souhaité.

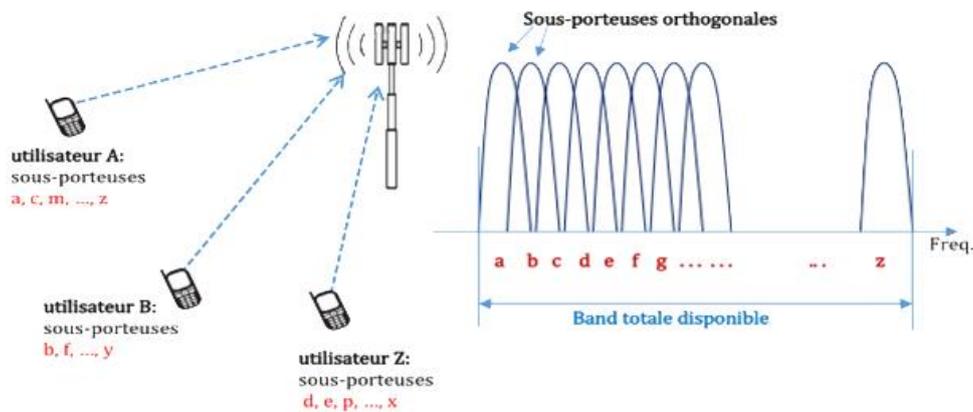


Figure 1.6. Principe de l'OFDMA [4].

L'OFDM permet de réduire les interférences entre symboles sur des canaux à trajets multiples sélectif en fréquence. Grace notamment à l'utilisation du préfixe cyclique dont la durée est supérieure à l'étalement des retards. L'espacement entre sous-porteuses est de $\Delta f = 15kHz$, la fréquence d'échantillonnage varie selon la bande utilisée.

1.6.3 Structure de trame de l'interface radio

L'opération de l'interface radio dans le domaine temporel est découpée en trames radio consécutives de 10ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames de 1ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame formée de deux slots constitue un TTI, c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE.

- Trame Radio : 10 ms (= 20 slots)
- Sous-trame : 1 ms (= 2 slots)
- Slot: 0.5 ms
- TTI: 1 ms

La structure temporelle d'un seul slot en LTE est illustrée par la figure 1.7. Un slot est durée de 0.5 ms et il constitué de 7 symboles OFDM incluant le préfixe cyclique (CP). Il existe deux types de structures de trame :

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

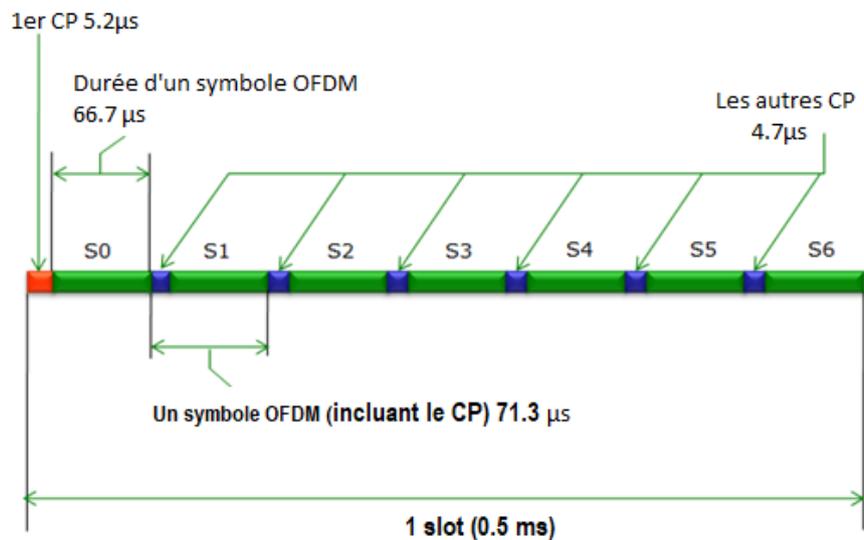


Figure 1.7. Structure temporelle d'un slot avec 7 symboles OFDM et les CP[1].

Dans la structure de trame de type 1 qui dure 10ms est donnée par la figure 1.8. Cette trame est découpée en 10 sous-trames de 1ms chacune. Chaque sous trame est scindée en 2 slots de 0, 5ms. Chaque slot contient 6 ou 7 symboles OFDMA (selon le type de CP). La partie codante d'un symbole OFDMA dure 66.7µs.

Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante et dix sous-trames pour la voie descendante par période de 10ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes. La figure suivante représente une trame FDD [6][7]. Les différents paramètres de la couche physiques sont résumés par le tableau 1.4.

Largeur de bande (Mhz)	1.4	3	5	10	15	20
Durée de la Trame (ms) = 20 slots	10	10	10	10	10	10
Durée de la sous-trame (ms) = 2 slot	1	1	1	1	1	1
Durée du slot (ms)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nombre de ressources blocs	6	15	25	50	75	100
Largeur de bande occupée (Mhz)	1.095	2.715	4.515	9.015	13.515	18.015
Efficacité de la bande	78.2%	90%	90%	90%	90%	90%
Nombre de symboles OFDM par sous-trame (un CP court)	7	7	7	7	7	7
Durée du préfixe cyclique pour un CP court (in µs)	5.2 pour le 1 ^{er} symbole /4.69 pour les autres symboles					

Tableau 1.4. Paramètres de la couche physique d'un système LTE[1]

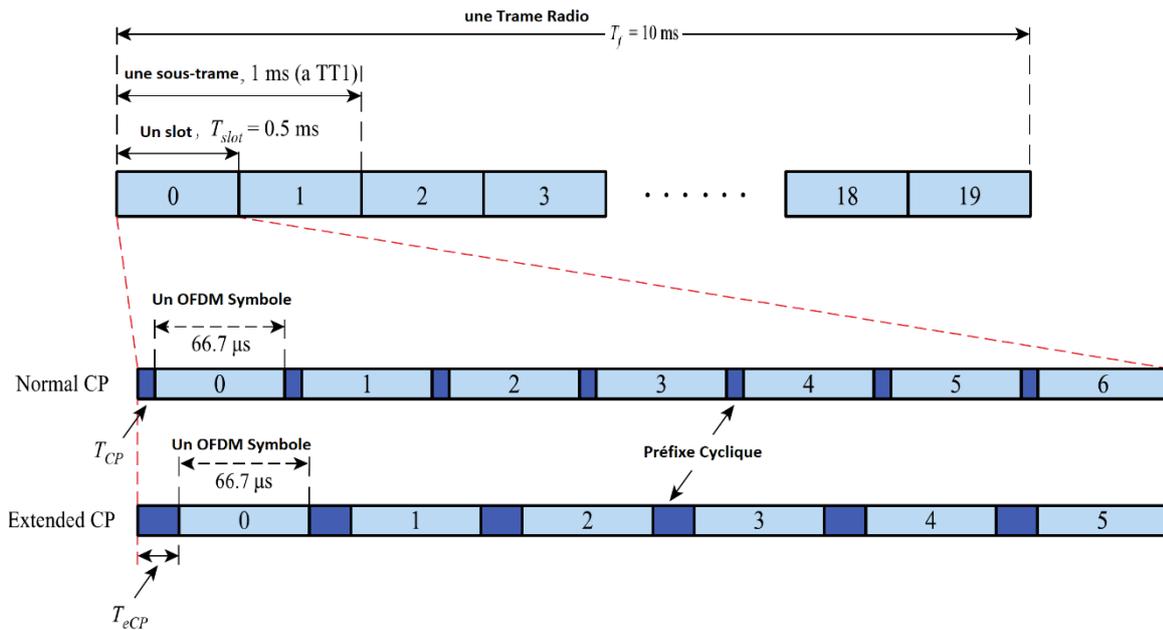


Figure 1.8. Structure temporelle de la trame de 10ms en FDD[6].

La transmission des données numériques se fait en parallèle à travers un ensemble de sous-porteuses, dont chacune transporte une part des données. Ces sous-porteuses sont organisées de manière à définir : les ressources block (RB), les ressources élément (RE) :

- RE (Resource Element) :est la plus petite unité d'une ressource qui représente une sous-porteuse dans un symbole OFDM.
- RB (Resource Block) : qui représente 12sous-porteuses par symbole OFDM dans un Slot, pour $\Delta f = 15kHz$, un RB occupe donc 180 kHz.
- L'élément de base est le RE, un RB comprend ainsi $12 \times 7 = 84$ RE dans le cas d'un préfixe cyclique normal, et $12 \times 6 = 72$ RE's dans le cas du préfixe cyclique étendu. Dans ce qui suit nous considérons un CP normal avec un RB est composé de 84REs [5].
 - Une bande de 1,4 MHz, alors 6 RB.
 - Une bande de 3 MHz, alors 15 RB.
 - Une bande de 5 MHz, alors 25 RB.
 - Une bande de 10 MHz, alors 50 RB.
 - Une bande de 15 MHz, alors 75 RB.
 - Une bande de 20 MHz, alors 100 RB.

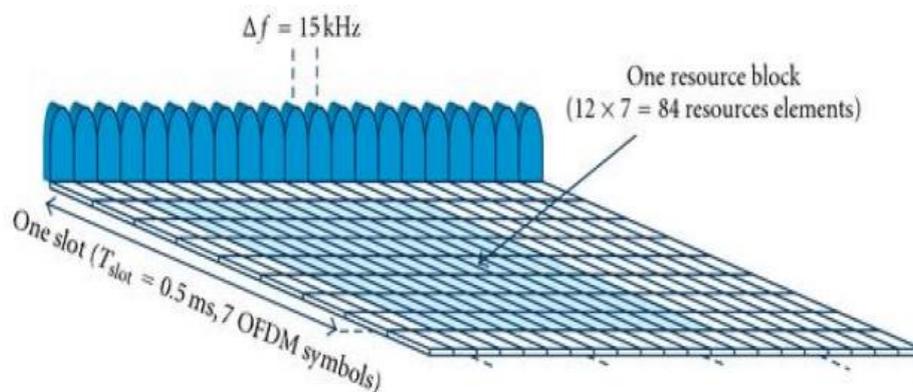


Figure 1.9. Resource bloc et ressource élément pour un CP en mode normal [6]

La bande de fréquence totale est découpée en RB ou PRB qui est l'unité de base permettant le partage des ressources en OFDMA.

Débit maximum avec bande passante maximale 20Mhz

Plusieurs paramètres déterminent le débit brut maximum de transmission, par exemple la largeur de bande ou la modulation numérique utilisée. La taille de la modulation dépend de la qualité du signal mesurée par le SINR. En LTE pour 20 Mhz, il existe 100 ressources blocs chacun sur $12 \times 7 = 84$ RE par slot de 0.5 ms dans le cas d'un CP normal. Donc sur 2 slots de 1 ms nous avons un total de $84 \times 100 \times 2 = 16800$ symboles par ms. Si le SINR le permet et la modulation 64 QAM (6 bits par symbole), le débit sera de $16800 \times 6 \times 15 / 10 \text{ms} = 151,2$ Mbits/s pour une seule liaison. Pour un système LTE avec MIMO 4X4, le débit sera de deux fois supérieur à celui d'un canal unique, c'est-à-dire 302,4 Mbps. Il faut noter que 25% des ressources sont utilisés pour le contrôle et la signalisation [6].

$$\text{Débit} = \frac{\text{Nbr RB} \times \text{Nbr de RE par RB} \times \text{la fréquence de chaque sous porteuse} \times 2 \text{ slots} \times \text{Nbr de bits par symbole (type de modulation)}}{10 \text{ ms.}}$$

1.6.4 Signaux de synchronisation (PSS et SSS)

La procédure de recherche de cellule dans LTE commence par une procédure de synchronisation qui utilise deux signaux physiques spécialement conçus qui sont diffusés dans chaque cellule : le signal de synchronisation primaire (PSS) et le signal de synchronisation secondaire (SSS). La division en deux signaux vise à réduire la complexité du processus de recherche de cellules [8][9].

L'identité de la cellule physique, ou encore PCI (Physical Cell ID) est défini par l'équation :

$$PCI = 3 \times SSS + PSS$$

- PSS pour Primary Synchronisation Signal qui représente le groupe d'identité de cellule de couche physique (0 à 167).
- SSS pour Secondary Synchronisation Signal est l'identité au sein du groupe (0 à 2).

Cet arrangement crée 504 identités de cellules physiques uniques [8][9]

$$\text{Avec } PCI = 3 \times 167 + 3 = 504$$

Cartographie du PSS :

Le PSS est une séquence de symboles complexes de 62 symboles. Le PSS est mappé dans les 31 premières sous-porteuses de part et d'autre de la sous-porteuse CC. Par conséquent, le service PSS utilise six blocs de ressources avec cinq sous-porteuses réservées de chaque côté, comme indiqué dans la figure 1.10.

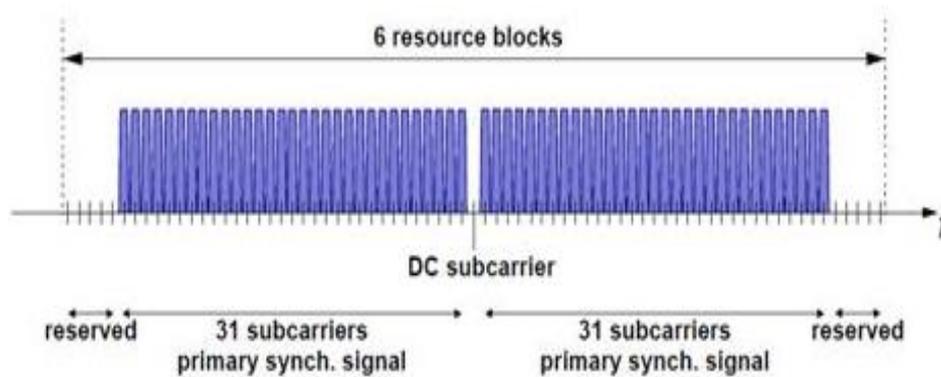


Figure 1.10. Cartographie du PSS [8][9].

RS (Signal de référence) - Spécifique à la cellule :

La plupart des canaux (par exemple, PDSCH, PDCCH, PBCH, etc.) sont destinés à transporter une information spéciale (une séquence de bits) et sont reliés à un canal de couche supérieure, mais le signal de référence est un signal spécial qui n'existe que dans la couche PHY. Ceci n'est pas destiné à fournir des informations spécifiques. Le but de ce signal de référence est de fournir le point de référence pour l'alimentation de liaison descendante.

1.6.5 Les canaux

Les canaux physiques du mode Downlink LTE :

- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)** : contient les données des utilisateurs.
- **PDCCH (Physical Downlink Control Channel)** : contient les informations de contrôle.
- **PHICH (Physical Hybrid Automatic Repeat Request Indicator Channel)**: utilisé pour ACK/ NACK.
- **PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)** : contient l'information concernant le nombre de symboles contenus dans le signal PDCCH.
- **PBCH (Physical Broadcast Channel)** : Utilisé pour donner des informations globales sur l'eNodeB comme le MIB (Master Information Block) contenant la configuration actuellement utilisée.

Les canaux physiques du mode Uplink:

- **PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)** : contient les données de l'utilisateur.
- **PUCCH (Physical Uplink Control Channel)** : utilisée pour ACK / ACKs, RI (Rank Index), CQI (Chann 1 Quality Indicator) et SR (Scheduling Request) .
- **PRACH (Physical Ranal om Access Channel)** : transporte un préambule aléatoire pour demander l'accès au réseau [7].

1.6.6 L'efficacité spectrale de LTE

En transmission numérique, l'**efficacité spectrale** η se définit comme étant le rapport entre le débit binaire (en bit/s) et la bande passante (en Hz). Nous pouvons aussi dire que c'est le nombre de données binaires envoyés sur le canal de communication par ressource temps-fréquence (par accès au canal ou channel use).

L'efficacité spectrale d'une modulation se définit par le paramètre $\eta = D / B$ et s'exprime en "bit/seconde/Hz". La valeur D est le "débit binaire" (en bps) et B (en Hz) est la largeur de la bande occupée par le signal modulé [7].

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre introductif, nous avons présenté les différentes générations de la téléphonie mobile et les principales caractéristiques d'un réseau cellulaire. Ainsi, la mise en œuvre du service GPRS a impliqué une évolution matérielle et logiciel s'ajoutant au réseau GSM déjà existant. L'évolution du GSM vers GPRS a préparé l'introduction des Réseaux de troisième génération (l'UMTS). En ce qui concerne l'infrastructure, des modifications ont été effectuées pour l'intégration du GPRS ou l'UMTS par l'ajout d'autres équipements et logiciels. Pour les réseaux 4G (LTE), nous avons présenté le réseau LTE d'une manière assez détaillée, et nous avons mis en avant ses performances, ses caractéristiques, ses améliorations, l'architecteur, les interfaces, les protocoles de LTE et les ressources radio. Nous allons dans le chapitre 2, discuter les paramètres qui déterminent la qualité de service ou QOS.

Chapitre 2 Qualité de service QOS

2.1 Introduction

Parmi les grands défis de chaque opérateur mobile est celui d'augmenter son taux de popularité. Pour cela, son objectif est de regrouper le plus grand nombre d'abonnés (capacité) pour pouvoir augmenter son chiffre d'affaires, tout en fournissant une meilleure qualité de service (QOS) et des bonnes performances en encourageant de nouveaux types d'usages tels que la voix sur IP, la visiophonie et la vidéo streaming. Ces nouveaux usages, incitent une utilisation plus intensive des réseaux.

Avant l'arrivée de la LTE, la capacité du réseau se traduisait par le nombre maximal de communications téléphoniques pouvant être maintenues simultanément par une même cellule. Désormais avec la normalisation de LTE, la capacité se matérialise par le nombre d'utilisateurs pouvant être connectés simultanément, et se caractérise par le débit total maximal pouvant être écoulé par une cellule fortement chargée [10].

A travers ce chapitre, nous allons donner un aperçu général sur la capacité et la qualité de service dans les réseaux cellulaires, puis nous allons citer et étudier les différentes technologies qui augmentent la capacité et qui influent sur la QOS des réseaux 4G/LTE.

2.2 Qualité de service dans GSM

La qualité de service est définie comme étant « l'effet global produit par la qualité de fonctionnement d'un service qui détermine le degré de satisfaction du service ». Les mesures réalisées sont liées à des événements (dérangement, rétablissement, etc.) à des états (panne, disponibilité, indisponibilité, interruption, etc.) ou à des activités (maintenance par exemple) et à leur durée. Ces mesures affectent permettent d'évaluer la qualité de service et à la qualité de fonctionnement du réseau » [10].

2.2.1 Indicateurs et compteurs de qualité de service

Les indicateurs de qualité de service peuvent être classés en deux catégories :

- Indicateurs globaux : Ils permettent de déterminer l'efficacité d'une procédure particulière par exemple taux de blocage, taux d'interruption de communication, etc. Ils sont utilisés pour quantifier la qualité globale du réseau, estimer l'impact de la qualité sur les usagers ou bien comparer les réseaux entre eux.
- Indicateurs intermédiaires : Ils permettent de déterminer l'efficacité d'une sous procédure par exemple le nombre d'appels satisfaits. Ils permettent de détecter, d'identifier et de localiser un problème dans le réseau et d'en déterminer la cause éventuelle [11].

2.2.2 Critères de qualité de service QOS

La qualité de service d'un réseau cellulaire perçue par les usagers du réseau est une notion qui regroupe plusieurs aspects qui peuvent être appréhendés à travers les critères suivants :

a Couverture du réseau (puissance du signal reçu en tout point de la couverture) :

L'état de la couverture du réseau est évalué par l'abonné directement sur son terminal qui affiche le nombre de barrettes indiquant la puissance du signal reçu. Un faible niveau de champ ou l'absence du champ se traduit par la présence d'une ou deux barrettes sur l'écran du terminal ou par l'indication d'absence du signal. L'indicateur de couverture du réseau exprime en tout point de service la probabilité d'établir une communication de bonne qualité.

Les principales causes d'une mauvaise qualité de service du point de vue couverture sont :

- Nombre insuffisant de stations de base.
- Mauvais paramétrage des stations de base.
- Types d'antennes et qualité d'installation (pertes dans les câbles, etc) ou de maintenance (humidité des feeders, dégradation des câbles, etc.).
- Qualité du terminal de l'utilisateur (sensibilité) ou détérioration de la partie émission/réception RF.

b Facilité d'établissement d'appel (taux de congestion du réseau) :

Cet indicateur reflète la disponibilité des ressources, il donne la probabilité que toutes les ressources soient occupées lors d'une demande de canal. Au niveau d'abonné, une mauvaise qualité de service, pour cet indicateur, se traduit par la difficulté d'établir des appels : l'abonné doit tenter plusieurs fois son appel avant d'obtenir une ressource.

c Qualité des communications (taux d'erreurs binaires et microcoupures) :

La qualité des communications est également un indicateur très important pour l'abonné. Les principales raisons à l'origine des problèmes qui conduisent à la perception d'une mauvaise qualité de service par l'abonné sont :

- Niveau d'interférences externes trop élevé :
 - Interférences dues à des émissions Co-canal ou sur canal adjacent par des équipements autres que ceux du réseau).
 - Interférences Co-canal ou sur canal adjacent trop élevées (mauvais plan de fréquences).
- Mobile situé hors couverture du réseau.
- Mauvaise installation des équipements radio.
- Problème de transmission.
- Paramétrage inadéquat du Handover.

d Interruption de communications (perte totale de communication en cours) :

La coupure d'une communication (call drop) a plusieurs origines. Elle est particulièrement désagréable pour l'abonné. Les principales raisons qui conduisent la perception d'une

mauvaise qualité de service par l'abonné et pour l'indicateur d'interruption des communications sont les suivantes :

- Mauvaise couverture (trou de couverture ou zone de couverture insuffisante);
- Interférences élevées ayant entraîné l'impossibilité de maintenir les liens de signalisation et/ou de trafic.
- Problème de Handover.
- Mauvais paramétrage radio (liste des cellules voisines incomplète par exemple) [11].

Du côté opérateur, la QOS est évaluée par les moyens ci-dessous :

Indicateurs de qualité de service	Mode d'évaluation
Couverture	Mesures radio et plaintes des abonnés
Taux d'appels réussis	Mesures système
Taux de coupure d'appels	Mesures système
Qualité de la communication Pendant l'appel	Mesures radio Mesures système Analyseurs de qualité vocale

Tableau 2.1. Principaux indicateurs de qualité de service [10].

2.3 Qualité de service dans UMTS

L'UMTS propose 4 classes de qualité de services selon les applications :

- ✚ **La classe Conversationnel** qui permet aux conversations vocales de proposer une bande passante contrôlée avec échange interactif en temps réel et un minimum de délai entre les paquets.
- ✚ **La classe Streaming** qui permet aux services de streaming de fournir une bande passante continue et contrôlée afin de pouvoir transférer la vidéo et l'audio dans les meilleures conditions.
- ✚ **La classe Interactive** destinée à des échanges entre l'équipement usager et le réseau comme la navigation Internet qui engendre une requête et une réponse par le serveur distant.
- ✚ **La classe Background**, qui affiche la plus faible priorité, permet des transferts de type traitements par lots qui ne demandent pas de temps réel et un minimum d'interactivité (envoi et réception de messages électroniques) [11].

2.4 Qualité de service dans le réseau LTE

La qualité de service (QOS) est la capacité de transmission d'un certain nombre de paquet dans de bonnes conditions et dans une connexion entre un émetteur et un récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tel que la disponibilité, débit, délais de transmission, gigue, taux de perte de paquets [10].

2.4.1 Dimensionnement de capacité

Le dimensionnement de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supportée par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre de sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée. La capacité théorique du réseau est limitée par le nombre d'eNodeB installé dans le réseau. La QoS (Quality of service) ou QoS (Qualité de service) exprime la capacité d'un réseau à pouvoir garantir un niveau de service acceptable. Sa gestion peut être simplifiée et classifiée selon quatre points de vue :

- Besoins de QoS du client : Ils déterminent le niveau de qualité nécessaire pour un service donné, niveau qui peut être exprimé en langage non technique. Le client ne se soucie pas de la manière dont un service donné est fourni ou des aspects de la conception interne du réseau mais de la QoS de bout en bout qui en résulte.
- QoS offerte par le fournisseur : Les critères ou paramètres qui définissent la qualité offerte par le prestataire, peuvent varier selon différentes circonstances.
- Perception du client : Elle s'exprime généralement en termes de degré de satisfaction et est évaluée aux moyens d'enquêtes et commentaires reçus sur le niveau de service. Cet élément indique ce que le consommateur pense de la qualité reçue ou perçue et peut intervenir dans des comparaisons de qualité fournie (mise en évidence des causes d'ambiguïté).
- QoS obtenue ou fournie : Cet élément peut intervenir :
 - Comme base de comparaison entre la qualité assurée et la qualité proposée.
 - Base de mesure corrective pour les fournisseurs de services.

La figure suivante met en évidence la QoS sous différents points de vue.

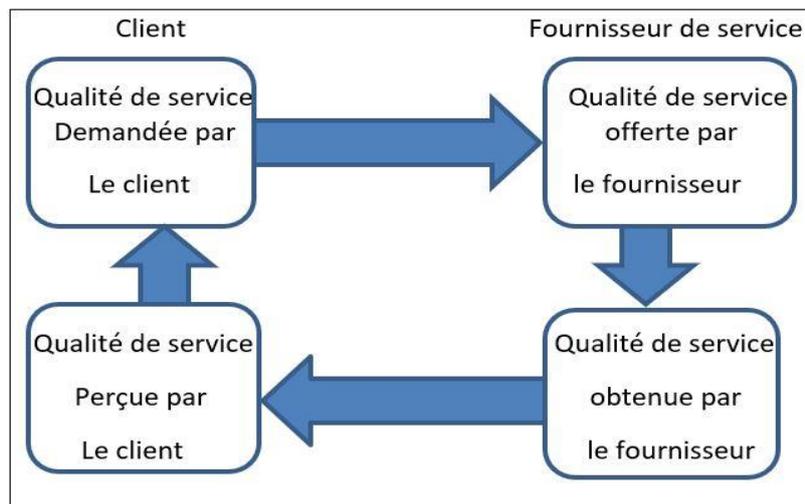


Figure 2.1. Perception de la QoS [11].

2.4.2 Capacité en nombre d'utilisateurs

Le réseau LTE doit supporter simultanément un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour

une largeur de bande de 5MHz, et au moins 400 utilisateurs pour des largeurs de bande supérieures. La capacité d'une cellule est la valeur moyenne des débits dans un scénario impliquant plusieurs UE (User Equipment) actifs, pouvant être servis simultanément avec un débit donné. Elle dépend de plusieurs paramètres comme, le type de milieu à planifier (urbaine, dense urbaine, rurale...), le nombre d'utilisateur connecté dans la même cellule, le type de service (VoIP, le téléchargement de fichier, vidéo streaming...), et aussi des technologies utilisés (technologie d'antennes, technologie d'accès, etc.). Elle est conditionnée par l'efficacité spectrale du système [10].

2.4.3 But de la QoS

Le but de la QoS est donc d'optimiser les ressources du réseau et de garantir de bonnes performances aux applications. La qualité de service sur les réseaux permet d'offrir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par application suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la couche réseau. Elle permet ainsi aux fournisseurs de services de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures IP. Selon les types d'un service envisagé, la qualité pourra résider :

- Le débit (téléchargement ou diffusion vidéo).
- Le délai (pour les applications ou la téléphonie).
- La disponibilité (accès à un service partagé).
- Le taux de pertes de paquets [10].

2.4.4 Les critères de la QoS

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

a Le débit

Il définit le volume maximal pouvant être atteint pour la transmission de l'information (bits) par unité de temps (s) dans une communication entre un émetteur et un récepteur.

b La perte de paquets

Elle correspond aux octets perdus lors de la transmission des paquets. Elle s'exprime en taux de perte. Plutôt rare. Elle correspond au nombre de paquet de données qui n'ont pas été reçus par la destination lors d'une communication. Cela peut être causé par plusieurs facteurs, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.

c Le délai de transit (latence)

C'est le délai de traversée du réseau, d'un bout à l'autre, par un paquet. Les différentes applications présentes dans un réseau n'auront pas le même degré d'exigence en fonction de leur nature : faible, s'il s'agit d'une messagerie électronique ou de fichiers échangés, ce degré d'exigence sera fort s'il s'agit de données "voix". La latence dépend du temps de propagation

(fonction du type de média de transmission), du temps de traitement (fonction du nombre d'équipements traversés) et de la taille des paquets (temps désérialisation).

d La gigue

Désigne les variations de latence des paquets. La présence de gigue dans les flux peut provenir des changements d'intensité de trafic sur les liens de sorties des commutateurs. Plus globalement, elle dépend du volume de trafic et du nombre d'équipements sur le réseau.

e La bande passante

Il existe deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application :

- Le mode "*Burst*" est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (par exemple lors d'un transfert de fichier).
- Le mode "*Stream*" est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

f Priorité des paquets

Afin d'arbitrer entre les modes "*burst*" et "*streaming*" précédemment cités, une gestion du trafic peut soit être installée au sein du réseau, soit à ses extrémités. S'il s'agit de l'intérieur du réseau, les nœuds de ce réseau opèrent alors comme étant des éléments de classification et de priorisation des paquets qui y circulent. Si le dispositif se trouve à l'extérieur, les équipements constituant le réseau se trouvent déchargés de toute QoS. Deux mécanismes sont alors à l'œuvre :

- Le contrôle de débit TCP, qui modifie le débit des applications TCP en fonction des conditions de charge du réseau et du niveau de priorité des applications.
- La gestion des files d'attente personnalisées, qui affecte les flux entrants aux files d'attentes qui leur correspondent [11].

2.4.5 Les informations utilisées pour assurer la QOS

Pour mettre en place la qualité de service, il est nécessaire de se positionner sur la reconnaissance des différents services qui sont les suivants :

- La source et la destination du paquet.
- Le protocole utilisé (UDP/TCP/ICMP/etc).
- Les ports source et de destination dans le cas des protocoles TCP et UDP.
- La date et l'heure.
- La congestion des réseaux.
- La validité du routage (gestion des pannes dans un routage en cas de routes multiples par exemple).
- La bande passante consommée.
- Les temps de latence.

En fonction de ces critères, différentes stratégies peuvent ensuite être appliquées pour assurer une bonne qualité de service[10].

2.4.6 Procédés d'évaluation de la QOS

Les opérateurs radio-mobiles s'en remettent aux tests effectués pour assurer les performances du réseau et offrir aux abonnés l'utilisation attendue. Le principe est de définir un ensemble commun de techniques et d'outils de mesure pour fournir des résultats comparables, non seulement pour faire face à la concurrence, mais aussi pour fidéliser la clientèle [10].

a Le drive test

Drive Test, est la procédure pour effectuer un test en conduisant. Le véhicule n'a pas vraiment d'importance, on peut faire un test de conduite en utilisant une moto ou un vélo. Ce qui compte, c'est le matériel et les logiciels utilisés dans le test : un ordinateur portable, un logiciel de collecte, un téléphone portable spécifique, un GPS et un scanner.

L'objectif principal est de collecter des données de test, pouvant être visualisées, analysées en temps réel, ce qui permet de visualiser les performances du réseau sur le terrain. Les données de toutes les unités sont regroupées par logiciel de collecte et stockées.

b Les plaintes clientèles

La réclamation est une demande d'un client ciblé sur ses insatisfactions qu'il faut prendre en charge et traiter le plus rapidement possible. Ces plaintes ont pour objectif de permettre l'opérateur de prendre état des problèmes qui sévissent au sein de son réseau enfin d'y apporter des solutions appropriées.

c Enquête de consommateurs

C'est une recherche méthodique de collecte d'informations portant ou non sur l'ensemble de population étudiée. Elle a pour objectif de faire l'état des lieux de la perception de l'utilisateur et sa du service.

d Benchmarking

Les outils de benchmark permettent de brancher plusieurs mobiles pour pouvoir faire des appels voix et/ou data en simultané et sur tous les réseaux disponibles afin de pouvoir comparer leur performance et leur qualité de service. Les statistiques générées peuvent être affichés sur des cartes, dans des tableaux ou sur des graphes.

e Mesures KPI

Les indicateurs clés de performances (KPI) sont des indicateurs mesurables servant à surveiller et optimiser les performances du réseau afin de fournir une meilleure QoS et d'obtenir une meilleure utilisation des ressources de réseau. Les indicateurs les plus utilisés dans les réseaux mobiles sont : l'accessibilité, la continuité, l'intégrité, la mobilité, la disponibilité, l'utilisation et le trafic. Le tableau ci-après résume la description de chaque cas.

LTE KPI	Description des cas
Accessibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de réussite de l'établissement RRC Connexion • Taux de réussite des accès aléatoires • Taux de réussite initial de l'établissement E-RAB • Compteurs d'établissement de connexion RRC • Compteurs initiaux de taux de réussite des établissements E-RAB • Ajout de compteurs de taux de réussite des établissements E-RAB • Taux de réussite des établissements E-RAB • Établissement de la connexion de signalisation S1
Retainabilité	<ul style="list-style-type: none"> • MME a lancé la libération du contexte E-RAB et UE avec la description • Temps de session UE • Publication du contexte E-RAB et UE initié par RBS avec description des compteurs • Organigramme de libération du contexte UE lancé par MME et RBS • Organigramme de publication de E-RAB lancé par MME et RBS
Intégrité	<ul style="list-style-type: none"> • KPI de débit EUTRAN • KPI de latence EUTRAN • Indicateurs de performance clés de perte de paquets EUTRAN
Mobilité	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation et exécution du transfert intercellulaire basé sur X2 • Préparation et exécution du transfert inter-RBS • Préparation et transfert de transfert intra-fréquence • Préparation et exécution du transfert intercellulaire s1 • Organigramme de transfert intra-fréquence intra-LTE S1 ET X2 • Compteurs de préparation et d'exécution de transfert inter-fréquences • Organigramme de transfert inter-fréquences intra-LTE S1 ET X2
Disponibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité partielle de la cellule (à l'exclusion des restartes de nœud)

Tableau 2.2. Les 5 classes de mesure de KPI de la LTE [10].

2.4.7 Mécanismes de QOS dans LTE

Le contrôle de la qualité de service est essentiel pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur. La technologie LTE offre des mécanismes dits de qualité de service différenciée afin de faciliter la prise en compte des contraintes de services différents [11].

a Les bearers

Le concept de bearer a été introduit dès la conception du système GSM, pour affecter efficacement les ressources aux besoins des abonnés. Un bearer peut être vu comme un tuyau entre deux entités du réseau qui communiquent entre elles sur une interface, tuyau dont certaines caractéristiques sont négociées lors de son établissement et qui permet le transfert

de données. Le concept de bearer est ainsi décliné sur les interfaces du réseau dont les ressources doivent être économisées, et en particulier sur :

- L'interface radio, entre l'UE et l'eNodeB ;
- L'interface S1 entre l'E-UTRAN et le réseau cœur ;
- Les interfaces du réseau cœur.

Les bearers sur ces interfaces forment un bearer agrégé, entre l'UE et le réseau cœur : le bearer EPS (ou EPS bearer). La figure suivante en donne une parfaite illustration :

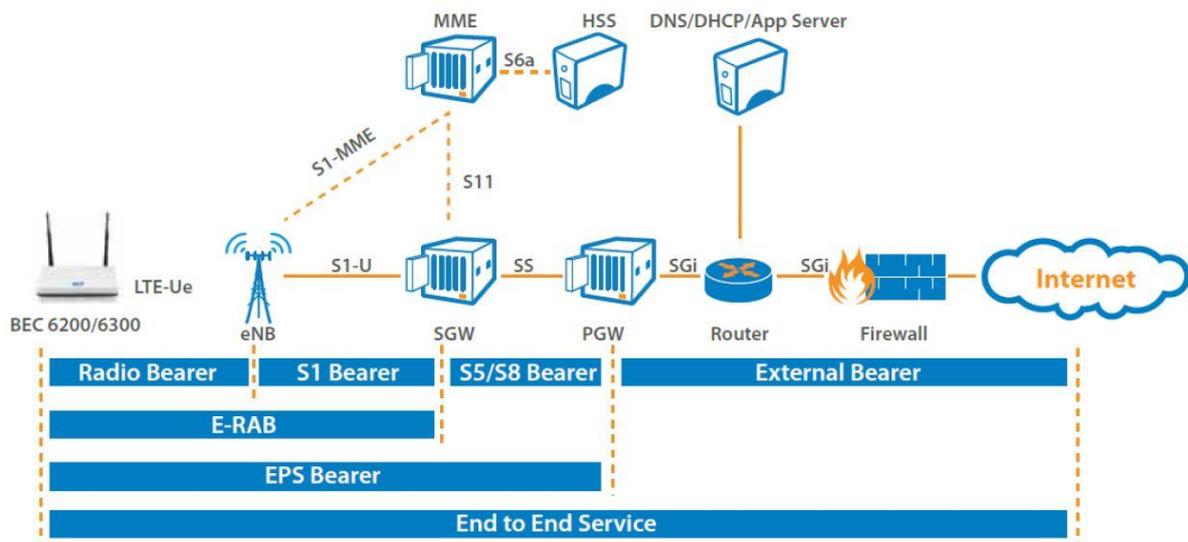


Figure 2.2. Les différentes bearers [11].

Le bearer EPS : Le bearer EPS est un équivalent du contexte PDP en 2G/3G. Il représente un concept logique qui est établi entre le terminal et la PDN GW et qui agrège plusieurs flux data transportés entre les deux entités. Il permet d'identifier de manière unique des flux de trafic recevant la même qualité de service entre le terminal et la PDN GW. Tous les flux associés à un bearer EPS reçoivent les mêmes traitements en termes de forwarding (expédition des paquets).

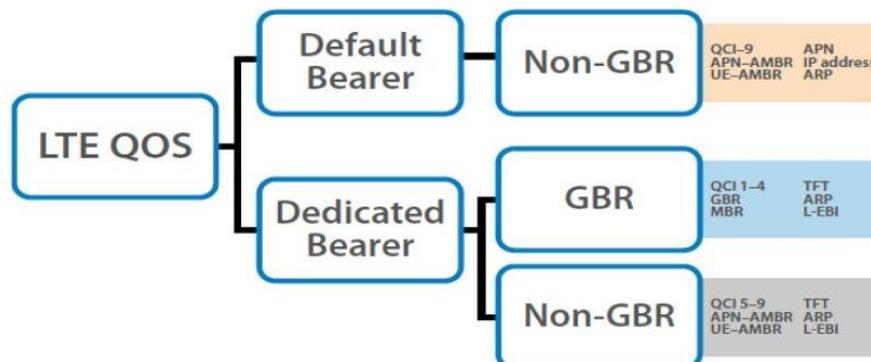


Figure 2.3. Différents types de bearers [11].

Il existe deux types de bearers EPS:

- Le bearer par Default, le premier bearer établi lorsque le terminal se connecte à un PDN, il reste actif durant toute la connexion.
- Le bearer dédié, tous les bearers additionnels établis avec le même PDN.

b Paramètres QOS des bearers

La QOS du bearer EPS est caractérisée par des paramètres qui seront énumérés comme suit :

- **Le QCI (QOS Class Identifier) :** Le QCI est un paramètre défini au sein du système LTE EPC pour différencier les Qualités de service entre les flux de services différents. L'UE et les nœuds du réseau tels que l'eNodeB, la SGW, la P-GW déterminent le traitement à appliquer aux paquets de données d'un bearer EPS en fonction de la valeur de QCI définie pour ce bearer. 9 QCI sont identifiés, chacun avec ses caractéristiques : type de ressource (GBR/non-GBR), priorité, délai de transmission et taux d'erreur. Le tableau suivant en donne un aperçu :

QCI	Type de porteur	Priorité	Délai de paquet	Perte de paquets	Exemple
1	GBR	2	100 ms	10	Appel VOIP
2		4	150 ms		Appel vidéo
3		3	50 ms		Jeu en ligne
4	NON-GBR	5	300 ms	10	Streaming vidéo Vidéo, service basé sur TCP, par exemple Email, chat, ect
5		1	100 ms		Signalisation IMS
6		6	300 ms		Services vidéo basés sur TCP
7		7	100 ms	10	Voix, vidéo interactive
8		8	300 ms	10	Vidéo, service basé sur TCP, par exemple Email, chat, ect

Tableau 2.3. Caractéristiques QCI [11].

- **L'ARP (Allocation and Retention Priority) :** Ce paramètre sert à déterminer lors d'une Congestion si l'établissement du bearer EPS peut être accepté, aux dépens d'un autre bearer déjà établi, ou doit être rejeté. L'ARP est constitué des éléments suivants :
 - Le niveau de priorité (valeur numérique de 1 à 15, 1 étant la priorité la plus élevée) ;
 - La capacité de préemption (valeur binaire : oui/non) ;
 - La vulnérabilité à la préemption (valeur binaire : oui/non).
- **Le MBR (Maximal Bit Rate) :** utilisé pour un porteur de type GBR et indique le débit maximal autorisé. Tous les paquets arrivant au support après le dépassement du MBR spécifié seront rejetés.

- **UE-AMBR (UE-Aggregated Maximum Bi Rate)** : désigne le débit maximal accordé à un UE pour l'ensemble de ses bearers non-GBR. Il est limité par un paramètre de souscription transmis par le HSS au MME lors de l'enregistrement de l'UE .
- **APN-AMBR (APN-Aggregated Maximum Bit Rate)** : L'APN-AMBR est le débit maximal autorisé à un UE par l'opérateur pour l'ensemble de ses bearers non-GBR utilisant l'APN considéré. C'est un paramètre lié à la souscription de l'abonné.

GBR et N-GBR : Pour un support EPS, avoir un type de ressource GBR signifie que la bande passante du support est garantie. Evidemment, un support EPS de type GBR a un "débit binaire garanti" associé comme l'un de ses paramètres de QoS [11].

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini dans un premier temps la QoS sous différents aspects, ses buts et ses modèles de gestion pour nous permettre de mieux appréhender la notion de qualité de service dans toutes ses largesses.

Dans un second temps, nous avons défini les différentes méthodes d'évaluation de la qualité de service avec les paramètres qui en découlent mais aussi et également nous avons eu à mentionner les différents mécanismes mis en place par LTE pour une meilleure gestion de la qualité de service.

Chapitre 3 Cloud Air solution pour le Partage du spectre

3.1 Introduction

Le nombre d'abonnés au GSM a diminué dans la plupart des pays et des régions du monde au cours des 10 dernières années, mais les utilisateurs restants continuent de bénéficier de taux de pénétration notables. Les applications M2M ne nécessitent toujours pas de connexions de données à haut débit, telles que les terminaux de points de vente et les dispositifs de suivi du fret utilisant des connexions GSM pour une couverture étendue. Cela signifie que le réseau GSM ne peut pas être désactivé sans un plan de transition approprié. En conséquence, les opérateurs de téléphonie mobile exploiteront leurs réseaux GSM avec des coûts élevés et des rendements faibles pendant cette période. Le « spectre en or » occupé par le réseau GSM, tel que 900 MHz et 1800 MHz, ne peut pas être utilisé pour les nouvelles technologies radio, telles que le LTE, tant que le spectre n'est pas libéré.

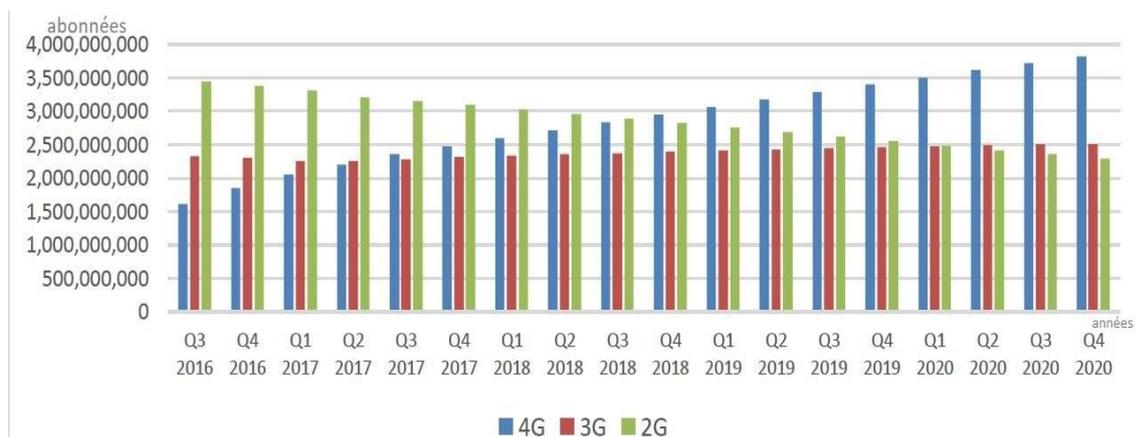


Figure 3.1. Le nombre d'utilisateurs des trois technologies a évolué au fil du temps [12].

Le problème auquel tous les opérateurs sont confrontés est essentiellement la contradiction entre la croissance explosive de la demande du réseau et les ressources limitées d'interface radio. Afin de résoudre ce problème, Huawei a publié la solution Cloud AIR en novembre 2016.

Cette solution redéfinit l'allocation des ressources d'interface hertzienne sans fil en introduisant l'idée du « Cloud ». Il supprime la limitation de l'allocation des ressources d'interface radio et de la configuration fixe, et permet un partage dynamique des ressources réseau à la demande, lisse l'évolution du réseau et augmente l'efficacité d'utilisation des ressources d'interface radio.

LeCloud AIR planifie et utilise les ressources d'interface radio, notamment le spectre, l'alimentation et les canaux, pour offrir un déploiement de service plus efficace et une expérience utilisateur mobile améliorée. Grâce à de nouvelles innovations technologiques, le CloudAIR permet la planification dynamique des ressources d'interface radio d'un réseau

multifréquence. Cette fonctionnalité maximise la capacité et la couverture du réseau, tout en améliorant l'expérience utilisateur[12].

3.2 Définition

Cloud AIR redéfinit la communication radio avec la philosophie du Cloud (serveur de partage) pour créer un réseau plus efficace. Cette solution propose un partage et une allocation dynamique à la demande du spectre et des ressources radio.

3.3 Principe de base

Avant d'expliquer le principe de fonctionnement du Cloud Air, l'allocation du spectre est décrite de cette manière :

a) Spectre exclusif :

- Spectre exclusif GSM : disponible uniquement sur GSM
- Spectre exclusif LTE : disponible uniquement pour le LTE

b) Spectre partagé GL :

- Le spectre partagé peut être utilisé à la fois par GSM et par LTE.
- Le spectre partagé est utilisé préférentiellement par GSM.
- La probabilité de multiplexage LTE du spectre partagé peut être augmentée en ajustant les seuils de différence de niveau GSM et LTE pour le multiplexage par intervalles de temps [13].

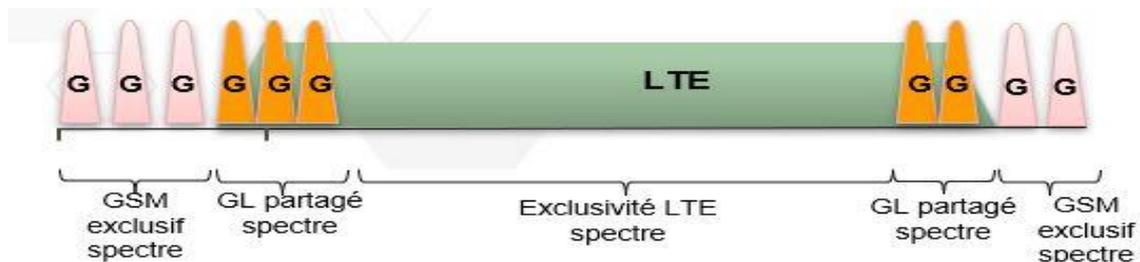


Figure 3.2. Concepts de spectre GSM et LTE [13].

Avant l'activation de la fonctionnalité : Le LTE ne peut utiliser qu'une bande passante standard inférieure et certaines ressources du spectre sont gaspillées.

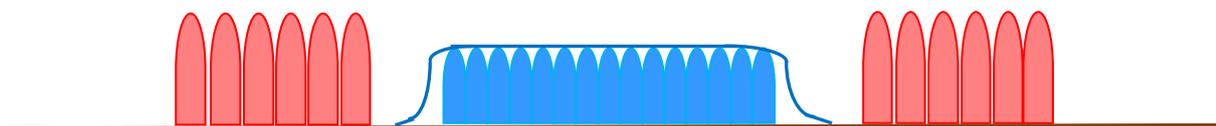


Figure 3.3. Illustration du spectre dédié au LTE avant l'activation de la fonctionnalité [12].

Après l'activation de la fonctionnalité : Une partie du spectre partagé est réservée au GSM, le LTE peut utiliser les fréquences inactives et les time slots (intervalles de temps) pour obtenir un gain important de la bande passante non standard et un gain de partage.

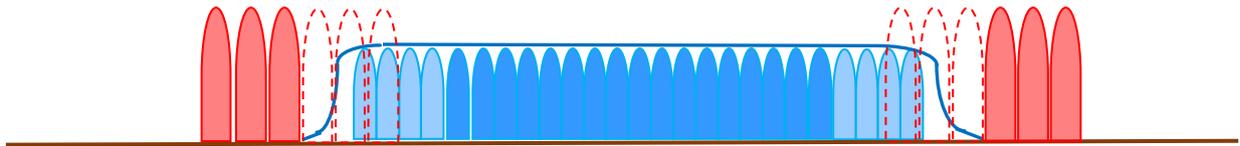


Figure 3.4. Illustration du spectre partagé avec le GSM et utilisé par le LTE[12].

Lorsque le GSM utilise tout son spectre partagé, le LTE peut utiliser ses RB exclusifs uniquement comme le montre la figure 3.5 [12].

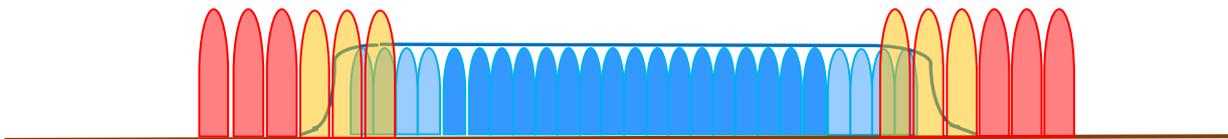


Figure 3.5. Le spectre partagé est entièrement occupé par le GSM[12].

3.4 Partage de spectre

a) Partage dynamique du spectre :

Pour permettre un partage dynamique du spectre il faut qu'un lien de communication soit être configuré entre le BSC et L'eNodeB. Le GSM et le LTE peuvent multiplexer de manière dynamique les ressources spectrales partagées. Enfin la synchronisation horaire GSM est utilisée pour optimiser l'utilisation du spectre partagé.

b) Partage statique du spectre :

Lors de l'utilisation d'un partage statique du spectre, aucune liaison de communication n'est requise entre le BSC et eNodeB. Les ressources de spectre sont allouées de manière statique et GSM utilise uniquement les ressources de spectre partagées. La synchronisation de l'heure GSM n'est pas requise [13].

c) Principe de fonctionnement

Une illustration schématisée de la topologie du réseau est représentée par la figure 3.6.

- ✚ Le BSC vérifie les fréquences et les intervalles de temps disponibles pour le réseau LTE sur le spectre partagé sur la base des résultats de mesure de cellule GSM voisins communiqués par les MS GSM.
- ✚ Le BSC résume l'état d'occupation des fréquences partagées, génère un message de notification de multiplexage intra-fréquence et envoie le message à l'eNodeB.
- ✚ ENodeB mappe les intervalles de temps GSM disponibles sur les ressources temps-fréquence LTE disponibles [13].

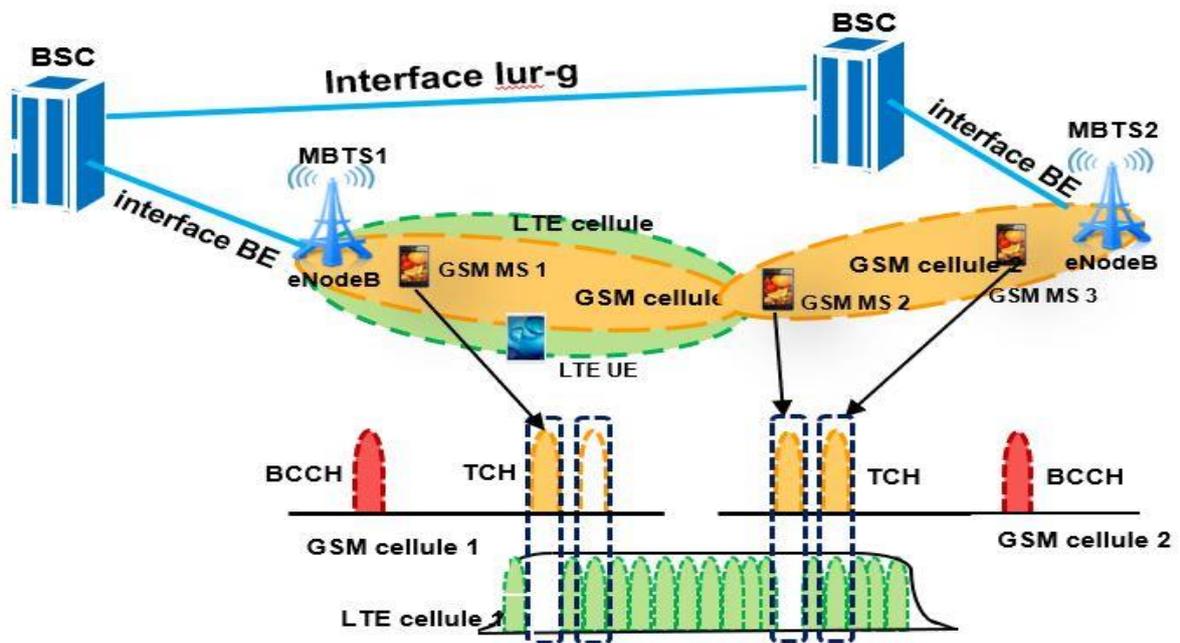


Figure 3.6. Principe de fonctionnement de Cloud Air [13].

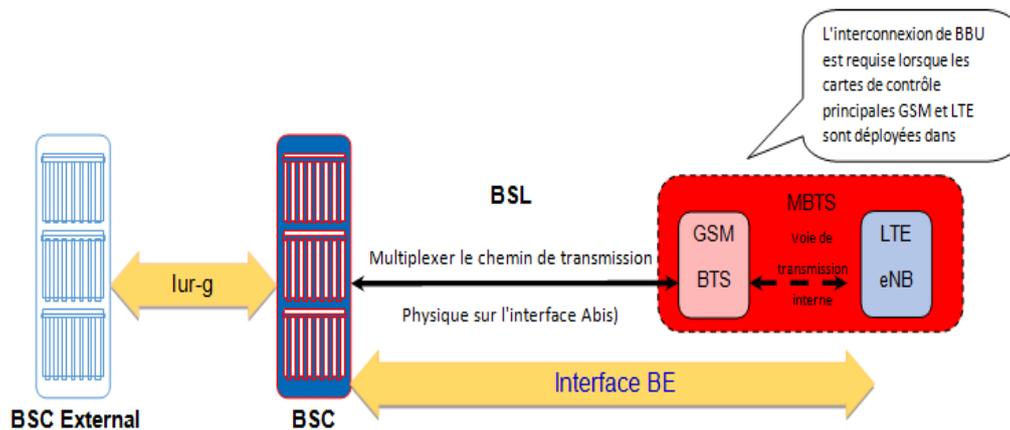


Figure 3.7. Principe de communication entre GSM et LTE [13].

L'interface BE est :

- ✓ Une interface propriétaire introduite dans SRAN13.0 entre le BSC et eNodeB.
- ✓ L'interface BE comprend la BSL entre le BSC et le (e) GBTS, ainsi que le chemin de transmission interne entre le (e) GBTS et l'eNodeB.
- ✓ GSM et LTE doivent être déployés en mode Co-site et Co-antenne.
- ✓ Une liaison de signal (BSL) BSC-BTS / eNodeB est configurée entre le BSC et l'eNodeB, et le délai total sur l'interface Iur-g et la BSL doit être inférieur à 70 ms.

L'interconnexion BBU est nécessaire car :

- ✓ **Interlock d'horloge GL :** la coordination des interférences entre GSM et LTE nécessite le couplage d'horloge GSM et LTE.

- ✓ **Échange d'informations GL** : le BSC et l'eNodeB échangent des informations pour permettre un partage dynamique du spectre et une coordination des interférences [13].

3.4.1 Multiplexage intra-fréquence GSM et LTE

Nous allons à présent expliquer le multiplexage intra-fréquence GSM et LTE en s'appuyant sur la figure 3.8. On peut distinguer trois scénarios différents.

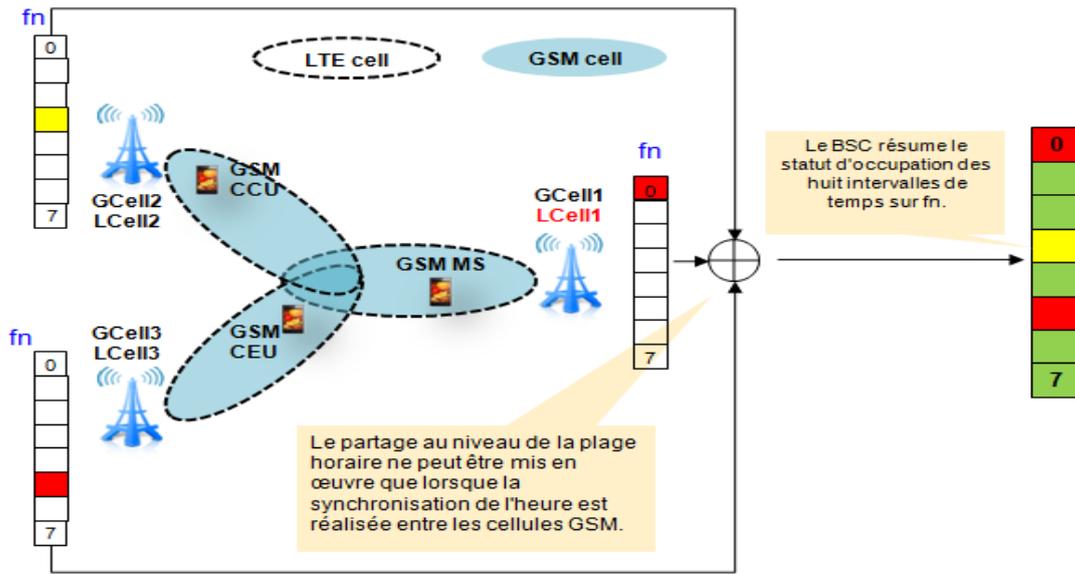


Figure 3.8. Multiplexage intra-fréquence GSM et LTE [12].

[Cas 1 : LTE utilisant les ressources partagées] Lorsqu'un intervalle de temps (time slot libre) sur GSM n'est pas occupé, l'eNodeB peut planifier à ce moment le RB partagé.

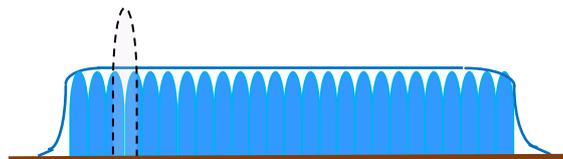


Figure 3.9. Cas 1 : LTE utilisant les ressources partagées [12].

[Cas 2 : multiplexage intra-fréquence GL du spectre partagé] Lorsque le niveau de l'interférence causé par l'utilisation de RB partagés par LTE sur le réseau GSM est acceptable, le multiplexage intra-fréquence du spectre partagé par GSM et LTE est autorisé.

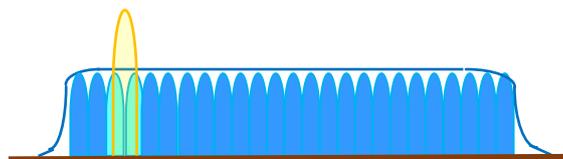


Figure 3.10. Cas 2 : multiplexage intra-fréquence GL du spectre partagé [12]

[Cas 3 : GSM utilisant les ressources partagées] Lorsque la planification de RB partagé sur le réseau LTE affecte les services GSM, LTE ne peut pas planifier de RB partagés.

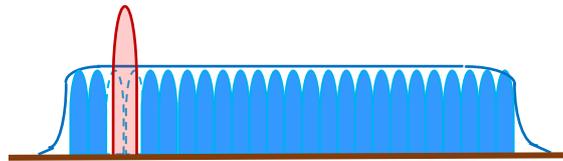


Figure 3.11. Cas 3 : GSM utilisant les ressources partagées [12].

3.4.2 La synchronisation horaire GSM

La simultanéité des spectres GSM et LTE nécessite une synchronisation de l'heure GSM pour les raisons suivantes :

- Lorsque GSM partage les fréquences porteuses BCCH avec LTE, cette fonctionnalité ne peut générer aucun gain si le partage est mis en œuvre au niveau de la porteuse. En effet, les fréquences porteuses BCCH sont toujours occupées. Si le partage est mis en œuvre au niveau de la plage horaire, les plages temporelles d'inactivité des fréquences partagées peuvent être attribuées au réseau LTE sans affecter les services GSM. Le partage au niveau des intervalles de temps maximise les gains de fonctionnalités.
- La décision de brouillage nécessite que le LTE ne provoque pas d'interférences sur les services de la cellule GSM locale et des cellules GSM voisines. Les interférences entre le réseau LTE et les cellules GSM voisines ne peuvent être prédites que lorsque la synchronisation temporelle est mise en œuvre sur les réseaux GSM[12].

3.5 Suggestion de configuration du spectre

Principes de base

- **Nouveaux réseaux LTE** : configurez le LTE au centre du spectre.
- **Augmentation de la bande passante LTE** : conservez autant que possible le numéro EARFCN central LTE d'origine
- Configurez les BCCH à une position aussi éloignée que possible du EARFCN du centre LTE.

Les solutions de configuration du spectre :

Configuration actuelle :

EARFCN	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	682	683	684	685	686	687	688	689	702	703	704	705
TYPE	BCCH				TCH		Guard Band	LTE					Guard Band	TCH								

Figure 3.12. Configuration actuelle [13] .

Solution pour obtenir les meilleures performances possibles en liaison descendante LTE: configuration de fréquence GSM asymétrique[13].



Figure 3.13. Configuration de la fréquence GSM asymétrique [13].

Solution pour obtenir les meilleures performances globales LTE possibles : configuration de la fréquence GSM symétrique dans la mesure du possible.

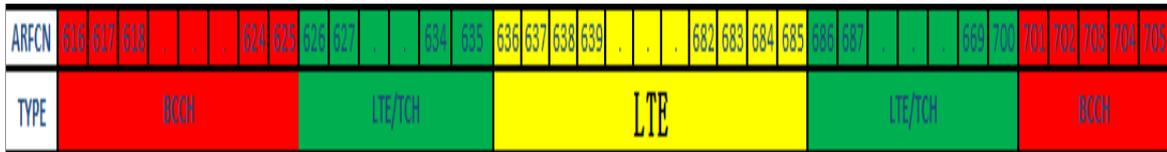


Figure 3.14. Configuration de la fréquence GSM symétrique [13].

Solution pour obtenir la meilleure solution en termes de performances LTE et GSM globales:

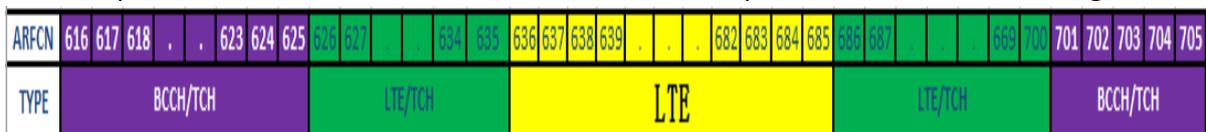


Figure 3.15. Solution pour obtenir la meilleure solution [13].

3.5.1 Réaménagement du spectre (Spectrum refarming) :

Notre réseau mobile opérateur a un spectre de 8 MHz dans la bande GSM et que le Les besoins en capacité du GSM ont diminué de sorte que 3 MHz est suffisant.

L'idée de base de SR(Spectrum refarming) est d'exploiter la flexibilité de OFDM utilisé dans LTE pour intégrer des transmissions GSM dans une partie de transmission LTE.

En particulier, avec SR et LTE eNodeB réserve certains RBs dans la porteuse 10 MHz LTE pour GSM et ne transmet aucun signal LTE sur ces sous-porteuses.1

Au lieu de cela, les signaux GSM sont transmis à partir de la même base station sur les RBs réservés.

De toute évidence, les RBs réservés au GSM doivent être soigneusement choisis pour que les RBs LTE critiques utilisés pour la synchronisation, la signalisation de contrôle et les autres types de signalisation tels que le retour hybride de demande de répétition automatique (HARQ) sont non autorisé à être utilisé par GSM.

Avec cette approche, les UE LTE ne sont pas significativement impactées par les transmissions GSM [14].

3.5.2 Interférence et solutions

Quatre types d'interférences après l'activation de cette fonctionnalité :

- a. Interférence de liaison montante entre les MS GSM et le LTE eNodeB
- b. Brouillage de la liaison montante des UE LTE vers le système de transmission de signaux téléphonique.

- c. Interférence Downlink provenant du LTE eNodeB vers les UE GSM.
- d. Interférence Downlink provenant du système GSM BTS vers les UE LTE.

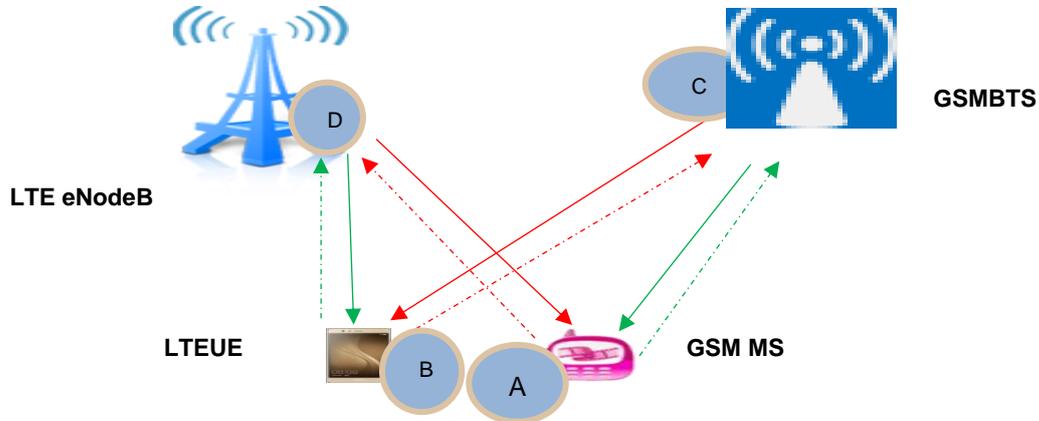


Figure 3.16. Les types d'interférences après l'activation de cloudAir[13] .

Type d'interférence	Solution du côté LTE	Solution du côté GSM
Interférence de la liaison descendante entre le LTE eNodeB et les MS GSM	La coordination des interférences GSM et LTE permet au GSM d'utiliser préférentiellement le spectre partagé. Lorsque le spectre partagé est utilisé par les MS GSM, le LTE ne planifie pas les RB partagés. les PCFICH et les PHICH ne sont pas configurés sur les fréquences qui se chevauchent.	La coordination des interférences GSM et LTE permet à GSM d'utiliser préférentiellement le spectre partagé. Lorsque le spectre partagé est utilisé par GSM, le LTE ne programme pas les RB partagés pour minimiser les interférences du MS eNodeB vers les MS GSM.
Interférence en uplink entre les MS GSM et la eNodeB LTE	Les PUCCH LTE sont décalés vers le centre de la bande de fréquence. Les PRACH sont configurés sur des RB exclusifs LTE. La LTE planifie de préférence les RB exclusifs sur la liaison montante.	Contrôle de la puissance de la liaison montante GSM. Le GSM attribue de préférence les fréquences les plus éloignées du LTE.
Interférence en liaison descendante entre le système GSM BTS et les UE LTE	<ul style="list-style-type: none"> • LTE attribue préférentiellement les RB exclusifs aux UE. Le LTE alloue les blocs de ressources partagés et exclusifs aux UE si ces derniers subissent un niveau d'interférence similaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle actif de l'alimentation GBFD-117602 * • Optimisation améliorée de la consommation d'énergie BCCH * GBFD-111609
Brouillage en uplink des UE LTE vers la station de base GSM	La coordination des interférences GSM et LTE permet à GSM d'utiliser préférentiellement le spectre partagé. La LTE planifie de préférence les RB exclusifs sur la liaison montante.	La coordination des interférences GSM et LTE permet à GSM d'utiliser préférentiellement le spectre partagé. GBFD-160202 MICC *.

Tableau 3.1. Interférence et solutions du côté LTE et GSM [13].

3.6 Contrainte de puissance

Une fois la simultanéité du spectre GSM et LTE activée :

- La différence en densité spectrale PSD entre GSM et LTE ne répond pas aux exigences spécifiées.
- La puissance LTE ne peut pas être augmentée proportionnellement à la largeur de bande LTE.
- L'interférence GSM-LTE est trop importante, ce qui réduit les gains de fonctionnalité du côté LTE.

Cause : La puissance totale des modules RF(radio fréquence)est insuffisante.

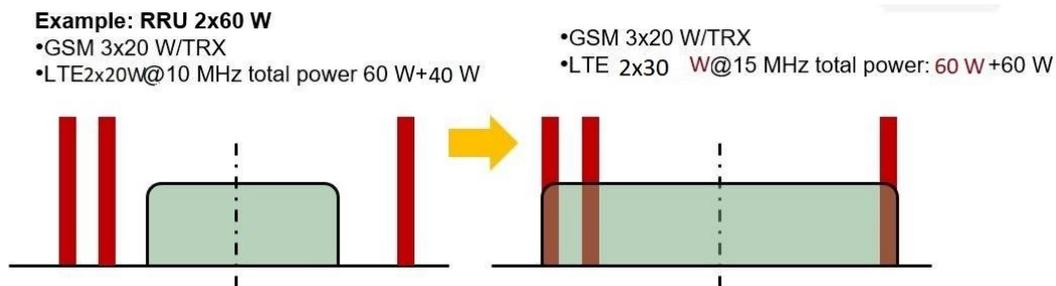


Figure 3.17. Contrainte de puissance [13].

Solution :

1/Gardez les SIR inchangés pour assurer la couverture.

2/Réglez Pa, Pb réduire la puissance de PDSCH et augmenter le nombre de RBs disponibles.

Exemple :

Avant l'activation de la fonction, largeur pour de bande LTE = 10 MHz, puissance du signal de référence (RS) = 18.2, Pa = 0, Pb = 0

Après activation de la fonctionnalité, bande passante LTE = 15 MHz, puissance RS = 18,2,

Pa = -3 et Pb = 1.

Pour voir la valeur Pa, vous devez répertorier les paramètres ci-dessous à l'aide de la commande **LST CELLDLPCPDSCHPA :**

- ✚ Pour répertorier les paramètres PA liés au contrôle de l'alimentation PDSCH pour la cellule avec une identité de cellule locale égale à 0, exécutez la commande suivante :

```

LST CELLDLPCPDSCHPA : Local CellId = 0;
Le résultat est affiché comme suit:
2019-05-14 14:54:22
O & M # 806384666
%% LST CELLDLPCPDSCHPA : LocalCellId = 0; %%
RETCODE = 0 Opération réussie.

Liste des paramètres Pa pour le contrôle de puissance PDSCH :
-----
ID de cellule locale = 0
  
```

```
Interrupteur de réglage PA = Off
PA pour une distribution de puissance uniforme (dB) = -3 dB
PA pour utilisateur PTP (dB) = -3 dB
PA pour utilisateur vidéo (dB) = -3 dB
(Nombre de résultats = 1)
--- FIN
```

✚ Pour voir la valeur **Pb**, vous devez répertorier les paramètres ci-dessous :
Pour répertorier la configuration PDSCH de la cellule avec l'ID de cellule locale de 0, exécutez la commande suivante :

```
LST PDSCHCFG: LocalCellId = 0;
Le résultat est affiché comme suit:
HUAWEI 2019-05-14 16:08:08
O & M # 12379
%% LST PDSCHCFG : LocalCellId = 0 ; %%
RETCODE = 0 Opération réussie.
```

```
Afficher PDSCHCFG :
-----
ID de cellule locale = 0
Puissance du signal de référence (0.1dBm) = 182
PB = 1
Marge de puissance du signal de référence (0.1dB) = 0
Décalage de Ant0 àTxPuissance (0.1dB) = 255
Décalage de Ant1 par rapport à la puissance émise (0.1dB) = 255
Décalage de Ant2 par rapport à la puissance d'émission (0.1dB) = 255
Décalage d'Ant3 à la puissance d'émission (0.1dB) = 255
(Nombre de résultats = 1)
--- FIN
```

3/Évaluez l'impact d'une insuffisance de puissance sur les indicateurs de performance et la capacité LTE.

- Si l'impact sur les KPI LTE est inacceptable, la fonctionnalité ne peut pas être activée.
- Si l'impact sur les KPI LTE est acceptable mais que sur la capacité est inacceptable, réduisez la quantité de spectre partagée et augmentez le nombre de RB exclusives LTE [13].

Remarque :

Lorsque LTE utilise une bande passante de 15 MHz, la différence de densité PSD entre GSM et LTE doit être de 12,3 dB.

- Différence PSD entre GSM et LTE = **puissance GSM (dBm) + puissance LTE (dBm) @ 200KHz = puissance GSM (dBm) - puissance LTE (dBm) +10 x lg (largeur de bande LTE x 90% / 0,2).**

3.7 Dépendance des fonctionnalités

Spécifications et contraintes matérielles

Category	Description
RAT	LTE FDD
Bande de fréquence	1800 MHz
LTE band passant	3 MHz pour GSM et 10 MHz pour LTE
Bande passante maximale partageable	5 MHz
Antenna specifications	1T1R, 2T2R, 2T4R, and 4T4R
Base station type	Macro base stations utilise leBBU3900, BBU3910, BBU3910A, and BBU5900

Tableau 3.2. Spécifications et contraintes matérielles [12] .

3.8 Impact sur les différents réseaux

A- GSM

Cette caractéristique n'affecte pas la capacité du système GSM, car le spectre partagé est attribué de préférence au GSM.

LTE ne multiplexe le spectre partagé que lorsque les interférences LTE-MS GSM sont tolérables. Par conséquent, cette fonctionnalité a un faible impact sur les indicateurs de performance clés GSM.

Les pions CS peuvent se détériorer. Le taux d'abandon des appels et le taux de réussite du transfert intercellulaire peuvent se détériorer de moins de 5% et les scores d'opinion moyens (MOS) peuvent baisser d'environ 0,1[13].

B- LTE

Cette fonctionnalité augmente la bande passante LTE, améliorant ainsi la capacité du système LTE et le débit du réseau, par rapport à un réseau LTE utilisant une bande passante standard LTE inférieure.

Lorsque les interférences GSM dans la bande sont graves, les résultats des compteurs liés à la qualité LTE mesurés sur la bande complète, par exemple le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR), la qualité du signal de référence reçu (RSRQ), la bande complète indicateur de qualité de canal (CQI), sont inexacts. Le RSSI et les interférences dans la liaison montante augmentent.

Une fois cette fonctionnalité activée, les réseaux GSM interfèrent avec les réseaux LTE. En conséquence, le MCS LTE ne peut pas satisfaire à l'exigence de 256QAM, donc ne peut pas obtenir les gains de 256 QAM [13].

3.9 Conclusion :

La cloudification du spectre permet le partage dynamique du même spectre par plusieurs RAT dans les réseaux radio modernes. Comparé au réaménagement, cela change la façon dont les opérateurs déploient les nouvelles technologies sans fil à moindre coût, plus rapidement et avec une couverture plus étendue. Étant donné que la nébulisation du spectre s'applique aux technologies allant jusqu'à 5G, les zones couvertes par la 4G bénéficient désormais d'une couverture 5G. Ainsi, la couverture 5G est plus rapide et plus poussée. La cloudification des canaux convertit le réseau pour lui permettre d'atteindre une bonne expérience, en particulier dans l'ère 5G. Huawei coopère avec des partenaires mondiaux pour promouvoir la solution Cloud AIR. De plus en plus d'opérateurs optent pour les solutions Cloud AIR. Le découplage liaison montante / liaison descendante dans Cloud AIR deviendront la norme de l'industrie.

Chapitre 4 Résultats et interprétation

4.1 Introduction

L'évaluation de notre solution (Cloud AIR) dans le réseau mobile passe à travers l'analyse et l'interprétation des données issues des indicateurs de performance KPIs.

Dans ce chapitre, nous allons analyser les résultats obtenus par l'outil PRS(l'unité de traitement), le Drive test et les résultats de laboratoire après l'activation de la solution Cloud Air sur la zone Azzaba (Skikda).

Afin de faire une comparaison entre les deux cas avant et après l'activation de Cloud AIR en évaluant les critères de mesures de performances.

4.2 Les Différents paramétrages à effectuer coté LTE et GSM

L'option de partage du spectre Cloud AIR, nécessite de modifier un certain nombre de paramètres et l'activation de certaines fonctionnalités coté GSM et LTE, on va donc donner les étapes à suivre sur les deux réseaux.

4.2.1 Activation des fonctionnalités - du côté GSM

Afin d'activer des fonctionnalités du partage du spectre sur le réseau GSM, voici les étapes à suivre :

1. Activez la synchronisation de l'heure GSM (synchronisation GPS BTS, prise en charge de l'horloge sur IP 1588v2 ou réseau à synchronisation douce).
2. S'il existe des cellules voisines interférentes externes dans la zone pour laquelle cette fonctionnalité doit être activée, configurez les liaisons de communication entre le contrôleur BSC local et le contrôleur BSC externe sur les deux contrôleurs BSC.
3. (Facultatif) S'il existe des cellules voisines interférentes externes dans la zone pour laquelle cette fonctionnalité doit être activée, exécutez la commande **ADD GEXT2GCELL** ou **MOD GEXT2GCELL** pour ajouter ou modifier les informations sur la cellule.
4. Exécutez la commande **ADD G2GNCELL** ou **MOD G2GNCELL** pour ajouter ou modifier une relation de voisinage GSM.
5. Exécutez la commande **ADD GCELLGLCOCOVER** pour ajouter la relation de co-couverture de cellules GSM et LTE.
6. Exécutez la commande **ADD BTSBSL** pour ajouter une BSL pour le service BTS desservant la cellule GSM qui requiert cette fonctionnalité et possède la même couverture que la cellule LTE.
7. Exécutez la commande **SET GCELLGLSPECLOUD** pour activer la concurrence des spectres GSM et LTE ou la concurrence des spectres GSM et LTE Phase 2[12].

4.2.2 Exemples d'activation MML côté GSM

- **Configuration des attributs d'une cellule voisine interférente externe**
MOD GEXT2GCELL: IDTYPE = BYID, EXT2GCELLID = 2048, BSCIDX = 0;
- **Ajout d'une cellule voisine brouilleuse d'une cellule GSM (BSC6900)**
AJOUTER G2GNCELL: IDTYPE = BYID, SRC2GNCELLID = 1, NBR2GNCELLID = 2, NCELLSCETYPE = GLMEASNEIGHBORCELL-1, NCELLTYPE = NONE;
- **Configuration d'une cellule voisine en tant que cellule voisine brouilleuse (BSC6900)**
MOD G2GNCELL: IDTYPE = BYID, SRC2GNCELLID = 1, NBR2GNCELLID = 2048, NCELLSCETYPE = GLMEASNEIGHBORCELL-1;
- **Ajout d'une cellule LTE de co-couverture pour une cellule GSM**
ADD GCELLGLCOCOVER: IDTYPE = BYNAME, CELLNAME = "GsmCell001", LTEMNC = "10", LTEMCC = "460", LTECI = 1, LTESectorID = 1;
- **Ajout d'un BSL**
ADD BTSBSL: IDTYPE = BYID, BTSID = 100, BSLsrvType = LTE;
- **Activation de la simultanéité du spectre GSM et LTE**
SET GCELLGLSPECCLLOUD: IDTYPE = BYNAME, CELLNAME = "GsmCell001", GLSpecConcurSw = ON, GLDLSpectrumShareUnit = ADAPTIVE, LTEBandWidth = 10M, LTEDIcenterFreq = 3600, LTEMultiplexPDCHSw = ON ;[12].

4.2.3 Activation des fonctionnalités – du côté LTE

Pour l'activation des fonctionnalités coté LTE, il faut tout d'abord désactivez les cellules LTE, puis procédez comme suit pour configurer les paramètres sur l'eNodeB avant de réactiver ces cellules :

1. Exécutez la commande **ADD EUCELLSECTOREQM** pour lier une cellule qui requiert cette fonctionnalité à un BBP prenant en charge cette fonctionnalité.
2. Activez la fonction de configuration de la liaison **BE** avant de configurer la BSL.
3. (Facultatif) Lorsque le numéro EARFCN central et la bande passante de la cellule LTE changent, reconfigurez le numéro **EARFCN** central et la bande passante.
4. Exécutez la commande **ADD GSMINTERFARFCNCFG** pour configurer les ARFCN partagés dans un groupe ARFCN GSM brouillant.
5. Exécutez la commande **ADD SPECTRUMCLOUD** pour activer la concurrence simultanée spectre GSM et LTE ou la concurrence simultanée spectre GSM et LTE phase 2.
6. Activer la configuration adaptative PUCCH et SRS [12].

4.2.4 Exemples d'activation MML côté LTE

- **Liaison d'une cellule nécessitant cette fonctionnalité à un BBP prenant en charge cette fonctionnalité**
ADD EUCELLSECTOREQM: LocalCellId = 0, SectorEqmId = 1, BaseBandEqmId = 12;
- **Activation de la fonction de configuration de lien BE**
MOD GLOBALPROCSWITCH: InterRatLinkSetupSwitch = BTS_ENODEB_LINK_SETUP_SWITCH-1;
- **Configuration du réseau EARFCN LTE et des largeurs de bande**
MOD CELL: LocalCellId = 0, DIEarfcn = 3600, DIBandWidth = CELL_BW_N50, UIBandWidth = CELL_BW_N50;

- **Configuration d'ARFCN partagés pour cette fonctionnalité**
ADD GSMINTERFARFCNCFG:GsmArfcnGroupId = 1, GsmArfcn = 1;
ADD GSMINTERFARFCNCFG:GsmArfcnGroupId = 1, GsmArfcn = 2;
- **Activation de la simultanéité du spectre GSM et LTE**
ADD SPECTRUMCLOUD: LocalCellId = 0, SpectrumCloudSwitch =
GL_SPECTRUM_CONCURRENCY, NearPointUserPathLossThId = 81, GsmArfcnGroupId
= 1;
- **Paramétrage automatique de la stratégie de décalage de fréquence PRACH**
MOD RACHCFG: LocalCellId = 0, PrachFreqOffsetStrategy = FULLY_AUTOMATIC;
- **Activation du réglage adaptatif des ressources PUCCH**
MOD CELLALGOSWITCH: LocalCellId = 0, PucchAlgoSwitch = PucchSwitch-0 et
DI2CCAckResShareSw-1 et SCCAckResourceCfgSw-1;
- **Réglage du commutateur de réglage de la période CQI et de la période CQI utilisateur**
- MOD CELLCQIADAPTIVECFG: LocalCellId = 0, CqiPeriodAdaptive = OFF, UserCqiPeriod
= ms160;
- **Réglage du commutateur adaptatif de période SRI, du décalage delta, du numéro CQI RB, du numéro de canal ACK / SRI, du numéro de format 3 RB et du nombre maximal de canaux 2CC ACK**
MOD PUCCHCFG:LocalCellId = 0, DeltaShift = DS3_DELTA_SHIFT, NaSriChNum = 39,
CqiRbNum = 2, SriPeriodAdaptive = OFF, Format3RbNum = 1, Max2CCAckChNum =
MAX_CH_NUM8;
- **Réglage de la période ISR**
MOD CELLQCIPARA :LocalCellId = 0, Qci = 1, SriPeriod = ms0;
- **Modification du décalage de trame, requis uniquement pour la synchronisation de l'heure et généré de manière aléatoire**
ADD CELLFRAMEOFFSET: LocalCellId = 0, FrameOffsetMode = CustomFrameOffset,
FrameOffset = x; [12].

4.3 Sites d'essai et sites de la zone tampon

Nous utilisons pour notre étude un outil de planification et dimensionnement radio professionnel, pour :

- 1) Sélectionnez la zone principale zone GL (GSM et LTE) et la zone tampon.
- 2) Lors de notre essai, nous avons sélectionné le cluster (ensemble des sites) **Azzaba** comme candidat à l'essai Cloud AIR.

4.3.1 Précautions

Une fois que le site a été théoriquement pointé sur la carte, il doit contenir toutes les informations exigées pour son évaluation complète.

- Extension de la couverture : Sélectionnez les sites avec une forte proportion de L2G.
- Extension de la capacité : Sélectionnez les sites avec une utilisation élevée du PRB LTE.
- Quantité : Il est recommandé de sélectionner 10 à 20 sites (5 sites au moins). Une zone tampon est par la suite déterminée.

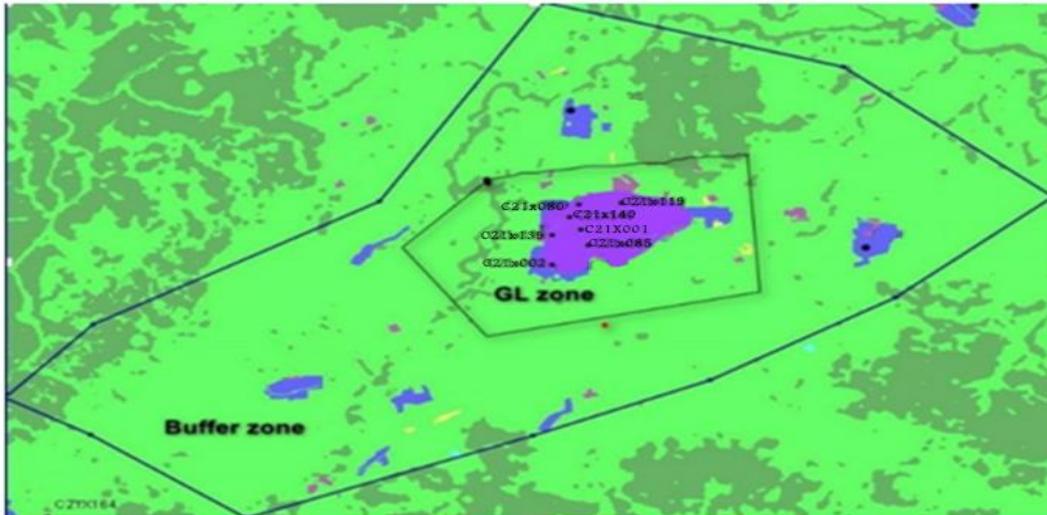


Figure 4.1. La zone GL et la zone tampon.

4.3.2 Évaluation de la couverture commune GSM & LTE

La condition préalable à l'application de fonctionnalité est que le GSM et LTE soient déployés en mode de co-site et de co-couverture.

Par conséquent, la Co-couverture des cellules voisines GSM et LTE doit être planifiée comme le montre les tableaux 4.1 et 4.2. Nous avons 4 sites de couverture GL (GSM et LTE) et 3 sites GO (GSM only). Cette fonctionnalité doit également être activée sur les sites GSM uniquement pour le signalement des interférences.

NAME	RAT	La bande
2C21X002 & 4C21X002	GL	GSM1800+LTE 1800
2C21X085 & 4C21X085	GL	GSM1800+LTE 1800
2C21X139 & 4C21X139	GL	GSM1800+LTE 1800
2C21X140 & 4C21X140	GL	GSM1800+LTE 1800

Tableau 4.1. Les 4 sites de couverture GL.

NAME	RAT	La bande
2C21X001	GO	GSM1800
2C21X080	GO	GSM1800
2C21X119	GO	GSM1800

Tableau 4.2. Les 3 sites de couverture GO.

4.4 Résumé OSS (Opérations Support System)-4G-KPIs

Le tableau 4.3 ci-dessous, nous donne les principaux indicateurs clés de performance LTE (CSSR, UL interference. Avg) après activation de l'option Cloud AIR. On observe qu'ils sont pour

la plus part stables. Toutefois, le débit DL et l'utilisation de PRB ont été considérablement améliorés après l'activation de la solution Cloud Air. Par contre on observe une légère augmentation d'environ +0.80% des interférences en uplink en raison des interférences entre les MS GSM et la eNodeB LTE.

	PERFORMANCE KPIs	avant	Après	Delta(%)
Availability	UL interference.Avg(dBm)	-113.7	-112.78	+0.80%
Traffic	Downlink traffic volume (GB)	24.4	29.5	20.9%
Throughput	User DL Average throughput (Mbps)	4.3	7.7	79%
Utilisation	DL PRB Usage Rate (%)	92	60	-34.7%
CSSR	Setup Success rate (%)	99,90	99,79	-0.11%

Tableau 4.3. Résumé OSS-4G KPIs.

4.4.1 L'analyse du nombre maximum de PRBvs l'utilisation de PRb

Prenons l'exemple de la cellule 4C21x085-1 à analyser.

- Activer la fonctionnalité Cloud AIR, Modifiez la bande passante des cellules LTE de 10 MHz à 15 MHz.

Le nombre de PRb est passé de 50 avant l'activation à 72 après l'activation de la fonctionnalité. Par contre, l'utilisation des PRB a diminuée en passant de 92% à 60% avec un facteur de qualité de -34.7%.

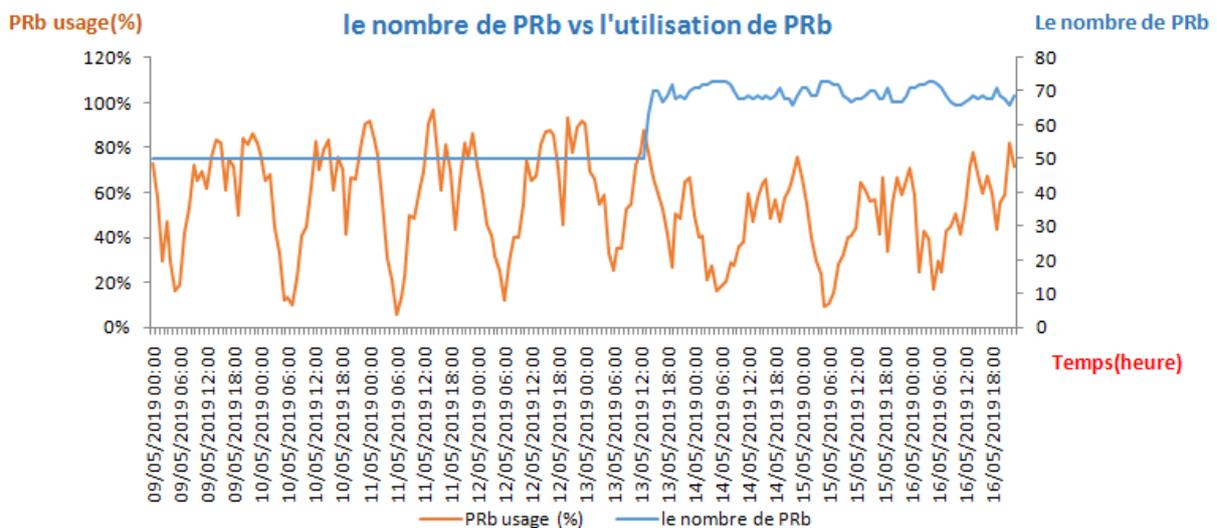


Figure 4.2. Le nombre de PRB vs l'utilisation de PRB (par heure).

4.4.2 L'analyse du débit max DL pour un seul utilisateur (résultat de laboratoire-M2000)

La plateforme Huawei M2000 permet collecte des données des différents compteurs sur les équipements du réseau, mais tout d'abord pour mesurer le débit maximum d'un seul utilisateur, nous avons autorisé à l'équipement utilisateur au laboratoire de transmettre des

paquets de données dans la cellule LTE et d'enregistrer le débit maximum en DL pouvant être atteint sur la cellule par un seul utilisateur.

- **Résultat :** Le débit maximal est passé à **106.04Mbps** après l'activation de la fonctionnalité.

Element	PCC PHY Throughput DL_All Logs
Average	23185.13
CDF 5%	2.00
Maximum	106040.00
Minimum	0.09
Standard Deviation	32124.00
[0,4000)	467(66.91%)
[4000,10000)	2(0.29%)
[10000,15000)	5(0.72%)
[15000,20000)	4(0.57%)
[20000,30000)	28(4.01%)
[30000,40000)	28(4.01%)
[40000,60000)	59(8.45%)
[60000,75000)	105(15.04%)
Sum Total	698

Figure 4.3. L'analyse du débit max DL pour un seul utilisateur.

- **Attente:** Tous les appels GSM passent correctement (sans rejet) et le spectre partagé est utilisé de manière préférentielle par le système GSM.
- Tous les appels sont passés avec succès, **le temps d'établissement de l'appel** est de :
 - **5250 ms sans partage du spectre DCS.**
 - **5660ms avec le partage du spectre DCS.**

4.4.3 L'analyse de débit moyenne des utilisateurs vs le nombre PRB (busyhour)

Prenons l'exemple d'ensemble des cellules et des sites sur le cluster à analyser. Le débit moyen des utilisateurs des liaisons descendantes (Downlink) a été amélioré de 79%. Il passe ainsi de 4.3Mbps à 7.7 Mbps après la mise en service de la solution Cloud Air le 13 mai comme le montre la figure 4.4. Le nombre maximal de PRb quant à lui passe de 50 à 72 après l'activation de cette fonctionnalité.

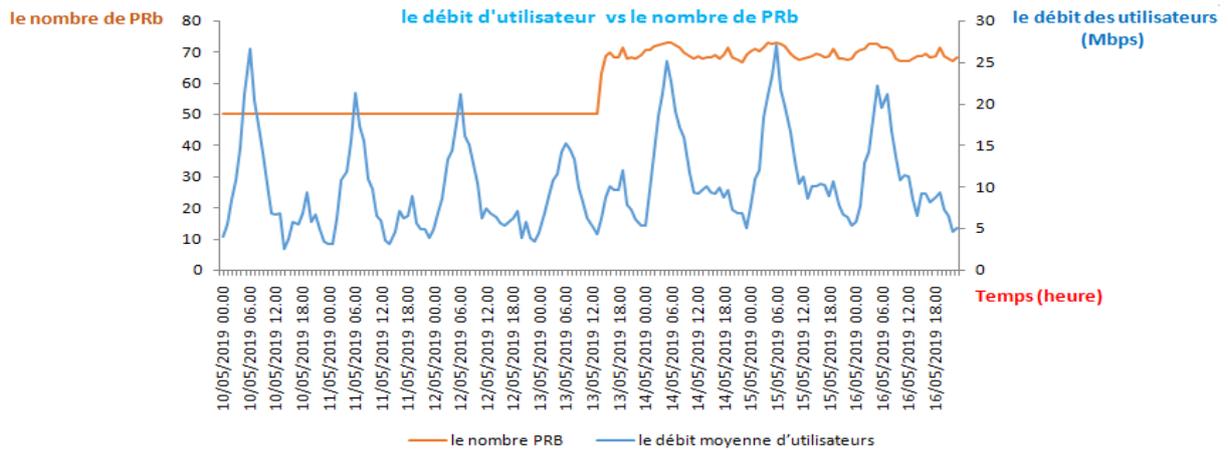


Figure 4.4. Le débit moyenne des utilisateurs (4G) vs le nombre de PRB.

4.4.4 L'analyse de Trafic en liaison descendante vs le nombre de PRb

Les figures 4.5 et 4.6 représentent respectivement le trafic vs nombre des PRB's et le trafic par jour. Le trafic de la liaison descendante a été amélioré de 20.9%, il passe de 24.4GB à 29.5GB après la mise en service de la solution Cloud Air le 13 mai.

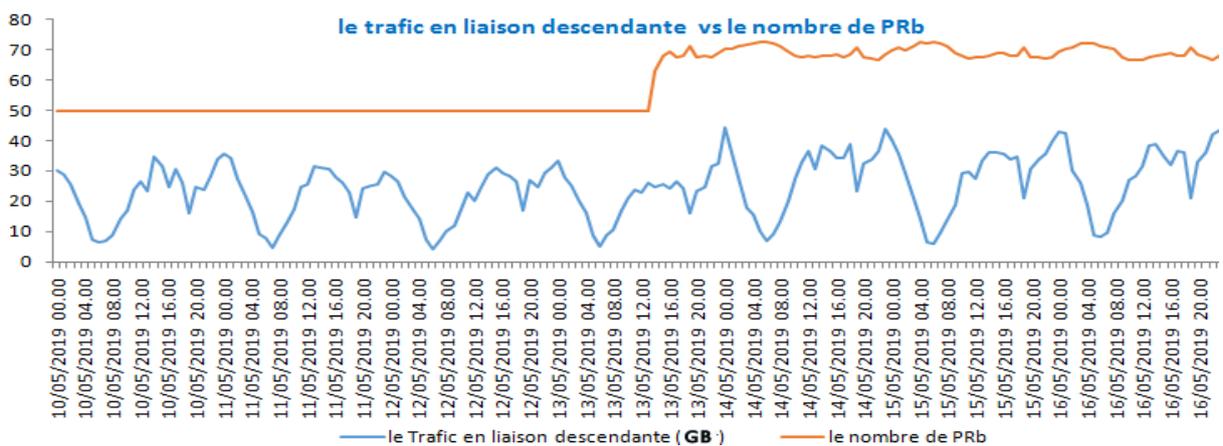


Figure 4.5. Trafic vs le nombre de PRb par heure.

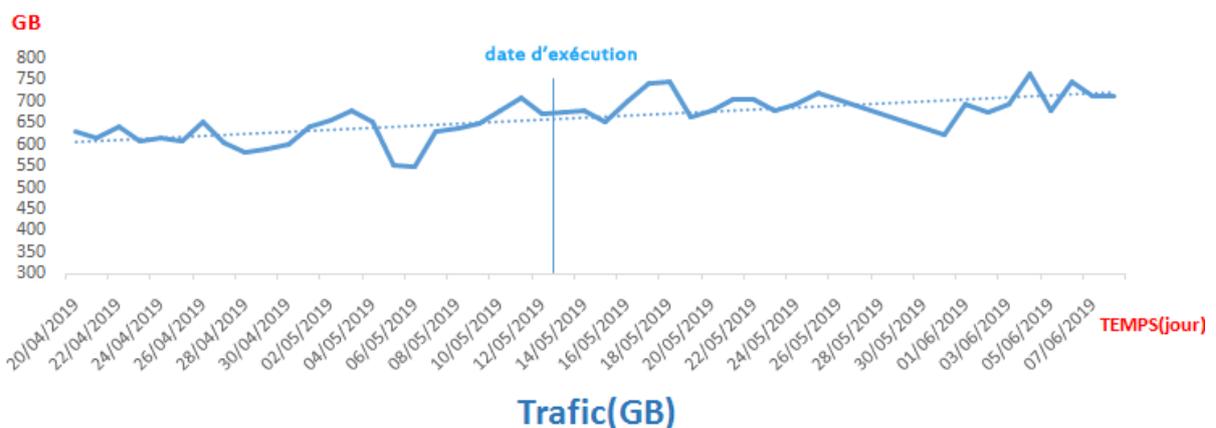


Figure 4.6. Trafic par jour.

4.4.5 L'analyse de CSSR (Setup Success Rate)

L'analyse du CSSR est effectuée toujours sur l'ensemble de cellules et des sites de notre cluster, dont voici les résultats comme le montre la figure 4.7 :

- 1) Le taux de réussite de l'établissement d'appel LTE (Setup Success Rate) s'est dégradé de 0.11% en passant de 99,9% à 99,79% de réussite en raison de l'interférence des fréquences des cellules GSM sur les cellules LTE. Evidemment cette dégradation n'est pas significative.
- 2) Le KPI CSSR a été récupéré après élimination des interférences dans la bande en réaccordant certaines fréquences du côté 2G (Le GSM attribue de préférence les fréquences les plus éloignées du LTE et le LTE planifie de préférence les RB exclusifs sur la liaison montante).

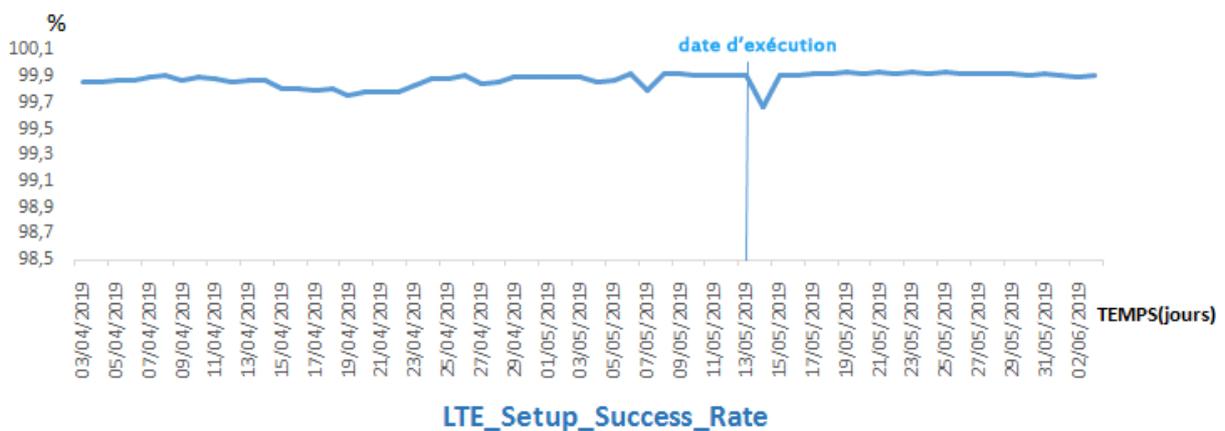


Figure 4.7. Le CSSR observé en 4G.

4.5 Résumé OSS-2G KPIs

Les indicateurs clés de performance globale coté 2G sont stables et seules quelques dégradations subtiles ont été observées principalement sur le taux d'abandon d'appels (call_drop_rate) et le taux de réussite des transferts d'appel (HO_Success Rate), mais qui restent conformes aux attentes comme on peut l'observer sur le tableau 4.4.

PERFORMANCE KPIs		avant	Après	Delta(%)
Retainability	2G_Call Drop Rate (%)	0,3057	0,3981	30.22%
HO Quality	2G_HO_DL_Quality_Rate(%)	2,109	3,494	65.67%
HSR_optimum	2G_HO_Success_Rate(%)	99,886	99,707	-0,17%

Tableau 4.4. Résumé OSS-2G KPIs.

4.5.1 L'analyse de CDR (Call_Drop_Rate)

Pour analyser le Call drop Rate (CDR), la cellule C21X002_4 a été considérée. Nous avons donc observé une dégradation du CDR qui passe de 0,3057% à 0,5022% (soit une augmentation de

30.22%. Ceci s'explique par le chevauchement des fréquences des cellules LTE sur les cellules GSM. Le CDR repasse à 0,3981% après la remise à niveau du site 2G uniquement (GSM utilisée préférentiellement le spectre partagé).

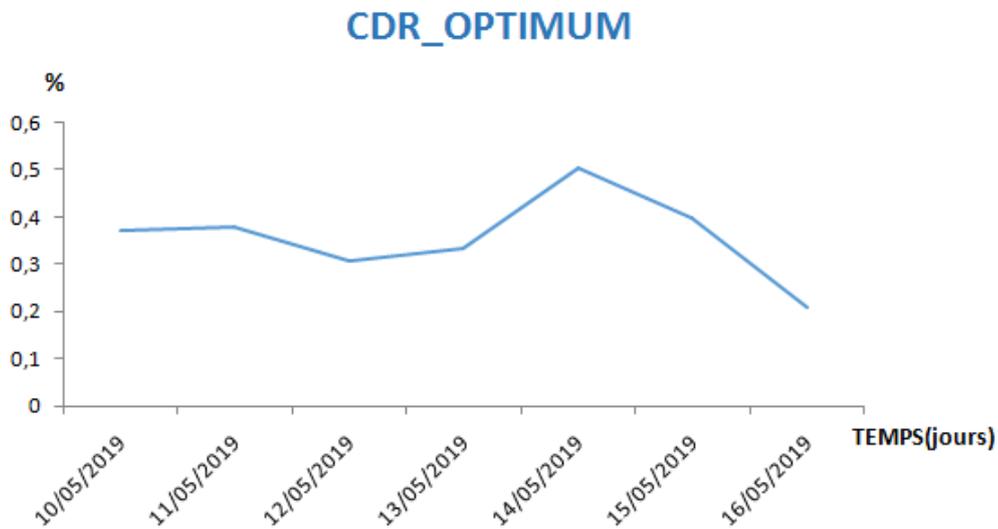


Figure 4.8.kpi de 2G (Call_Drop_Rate).

4.5.2 L'analyse HSR vs HO_Qual_Rate

Considérons cette fois-ci la cellule C21X085_1 pour analyser la qualité des transferts des appels. Handover Success Rate (HSR) et le Handover Quality rate (HO_Qual_Rate).

1. Nous avons donc observé une dégradation du HSR de 0,17% qui passe de 99,886% à 99,707% en raison du chevauchement des fréquences des cellules LTE sur les cellules GSM. Ce pourcentage redevient 99,818 % après la remise à niveau du site 2G uniquement.
2. Nous avons observé également une dégradation de la qualité HO de 65.67% (de 2,109% à 3,494%) en raison du chevauchement des fréquences des cellules LTE sur les cellules GSM. Le HO_Qual_Rate repasse à 2,126 % après la remise à niveau du site 2G uniquement.

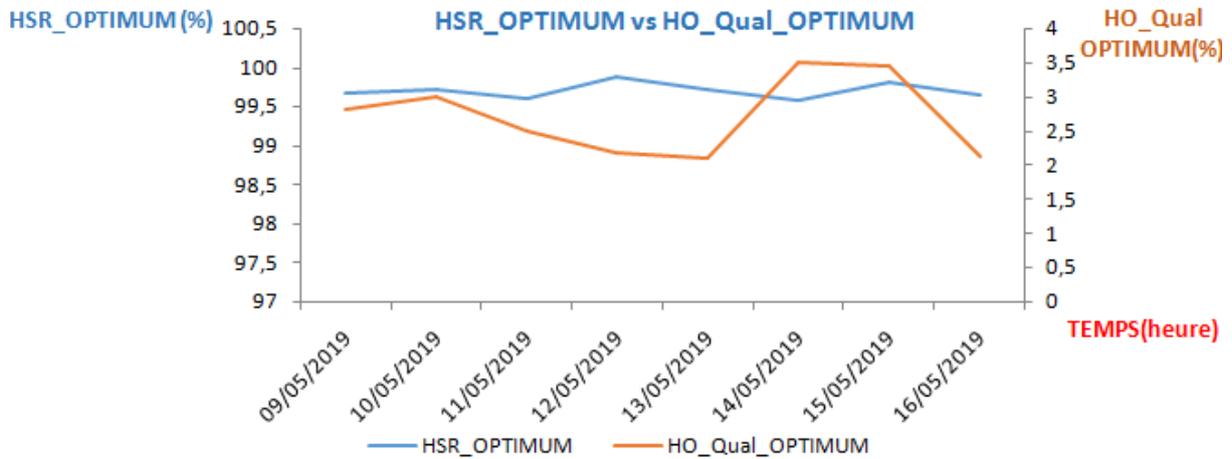


Figure 4.9.Kpi de 4G (HSR vs HO_Qual_Rate) .

4.6 Résumé des KPIs 4G du test de conduite (drive test)

Pour obtenir l'évaluation de la couverture, la capacité et la qualité de service (QoS) d'un réseau de radiotéléphonie mobile nous avons effectué le test de conduite ou drive test. Pour ce test, nous avons utilisé une voiture, un ordinateur et le kit du drive test complet (le logiciel TEMS, GPS, téléphone de test). Grâce à ce kit, nous pouvons mesurer et enregistrer un grand nombre de paramètres physiques et virtuels du service cellulaire mobile dans la zone azzaba.

En mesurant ce qu'un abonné du réseau sans fil via son téléphone éprouverait dans une zone spécifique, les opérateurs sans fil peuvent apporter des modifications sur les paramètres du réseau pour offrir une meilleure couverture et meilleure qualité deservice. Le tableau 4.5 ci-dessous représente un résumé des résultats des KPI 4G obtenus après le drive test.

LTE kpiMesures	avant	Après
LTE RRC Setup Success Rate(%)	100%	100%
Intra Freq HO Success Rate(%)	100%	100%
LTE Handover Counter	227	180
ERAB Setup Success Rate(%)	100%	100%
ERAB Normal Rel Counter	19	0

Tableau 4.5. Résumé du test de conduite - KPI 4G

4.6.1 RS Résultat-4G RSRP (Reference Signals Received Power)

Le résultat du niveau de la puissance reçue du signal de référence en Drive test (RSRP) avant l'activation du Cloud AIR est illustré par la figure 4.10. On remarque que le niveau moyen du

RSRP est -87.77 dBm, un niveau maximum de -54.31 dBm et enfin un niveau minimum de -128.69 dBm.

RSRP(Reference Signals Received Power)		
Maximum (dBm)	Moyenne (dBm)	Minimum (dBm)
-57.31	-87.77	-128.69

Tableau 4.6. Les résultats du RSRP (avant)

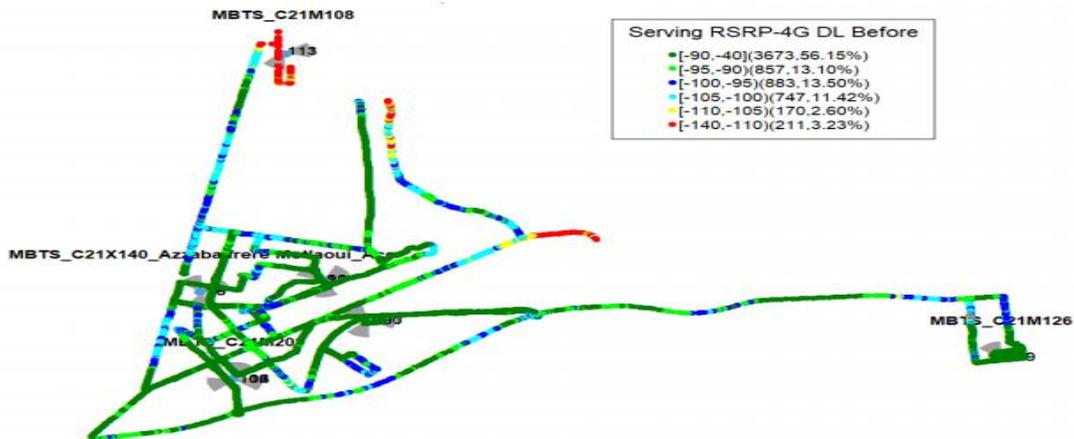


Figure 4.10. Résultat du RSRP de LTE en drive test avant l'activation.

Après l'activation du Cloud AIR, le niveau du RSRP représenté par la figure 4.11 est en moyenne de -91.17dBm, un niveau maximum de -54.94dBm et un niveau minimum de -125.56 dBm.

Maximum (dBm)	Moyenne (dBm)	Minimum (dBm)
-54.94	-91.17	-125.56

Tableau 4.7. Les résultats du RSRP (après)

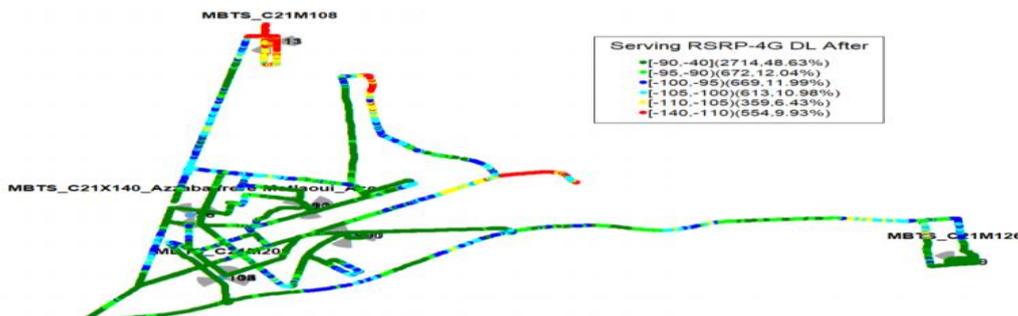


Figure 4.11. Résultat du test de conduite de 4G (RSRP) après

Donc, d'une manière générale on conclue que la couverture LTE est stable et n'entraîne aucun changement important après l'activation du Cloud AIR.

4.6.2 Résultats 4G PCC SINR du Drive test (policy and charging control)

On remarque que le PCC SINR représenté par la figure 4.12 avant l'activation de la solution Cloud Air à un niveau moyen de 13.64 dBm et 30.00 dBm en max, et -16.60dBm en minimum.

Maximum (dB)	Moyenne (dB)	Minimum (dB)
30.00	13.64	-16.60

Tableau 4.8. Les résultats de PCC SINR (avant)

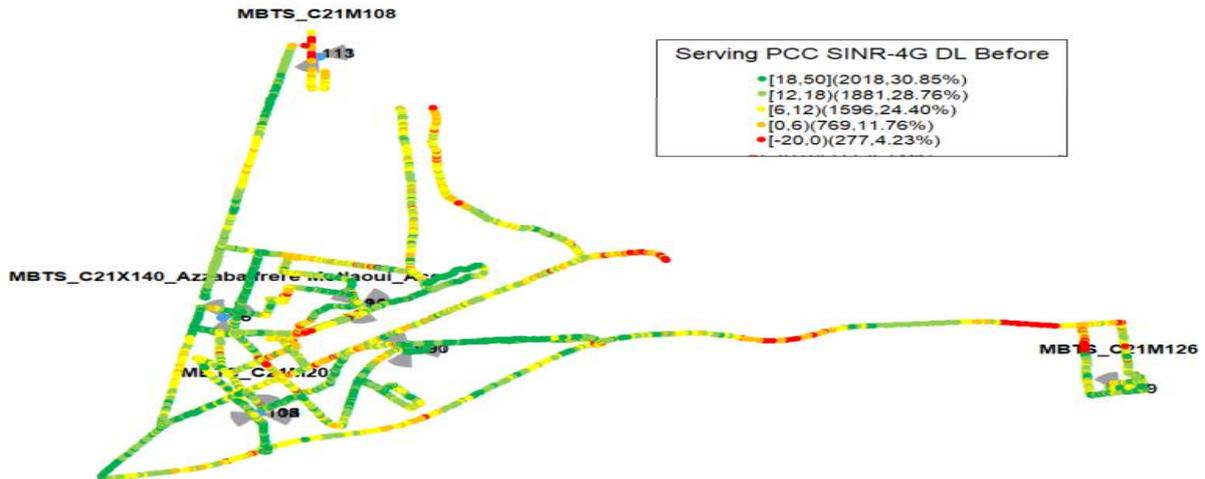


Figure 4.12. Résultat PCC SINR du test de conduite 4G (avant).

Après activation du Cloud AIR, les résultats du PCC SINR obtenus en drive test sont données par la figure 4.13. Nous avons donc un niveau moyen de 13.26 dBm, un niveau max de 30.00 dBm en max, et enfin un niveau min de -14.75 dBm.

Maximum (dB)	Moyenne (dB)	Minimum (dB)
30.00	13.26	-14.75

Tableau 4.9. Les résultats de PCC SINR (après)

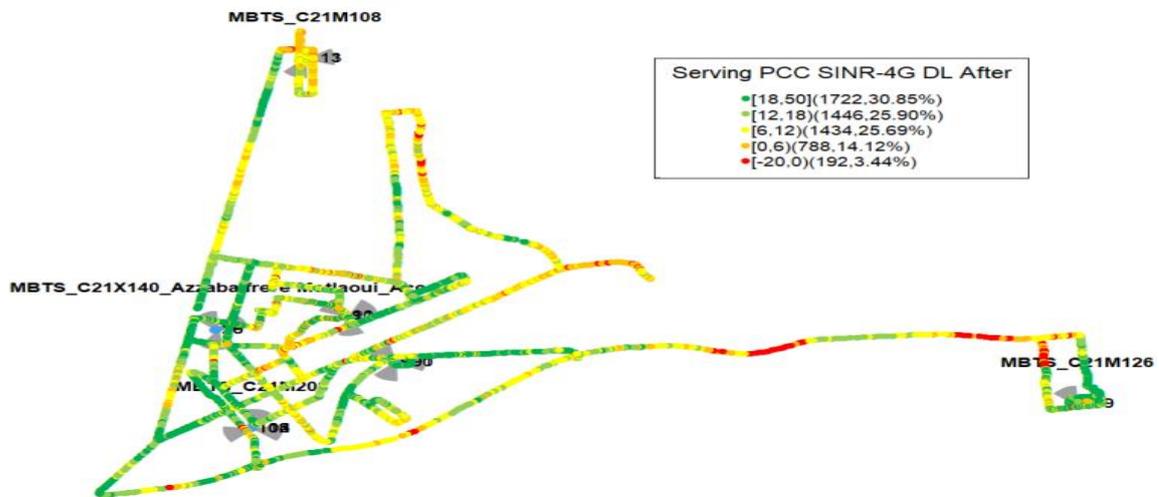


Figure 4.13. Résultat PCC SINR du test de conduite de 4G (après).

On conclut que la qualité LTE reste toujours là même avant et après l'activation du Cloud Air.

4.6.3 Résultats 4G du Débit DL en drive test

On remarque que le débit représenté par la figure 4.14 avant l'activation de la solution Cloud Air a un niveau moyen de 25.795Mbps et 69.421Mbps en max, et 0.096Mbps en minimum.

Débit DL (avant activation)		
Maximum (Mbps)	Moyenne (Mbps)	Minimum (Mbps)
69.421	25.795	0.096

Tableau 4.10. Les résultats de débit (avant)

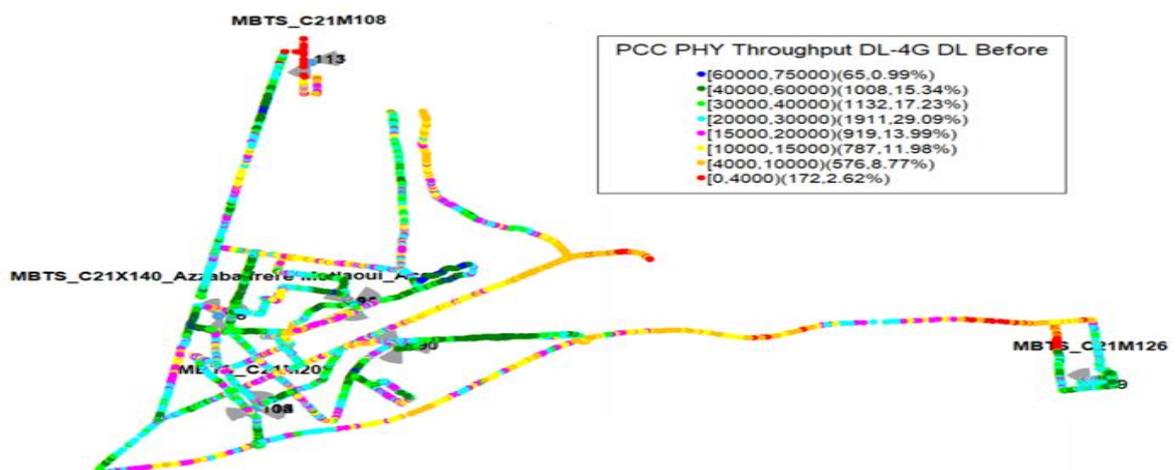


Figure 4.14. Résultat du test de conduite de 4G(débit)avant.

On remarque que le débit mesuré être présenté par la figure 4.15 après l'activation de la solution cloud Air est en moyenne de 36.30Mbps et 92.542Mbps en max, et 0.232Mbps en minimum.

Débit DL (après activation)		
Maximum (Mbps)	Moyenne (Mbps)	Minimum (Mbps)
92.542	36.30	0.232

Tableau 4.11. Les résultats de débit (après)

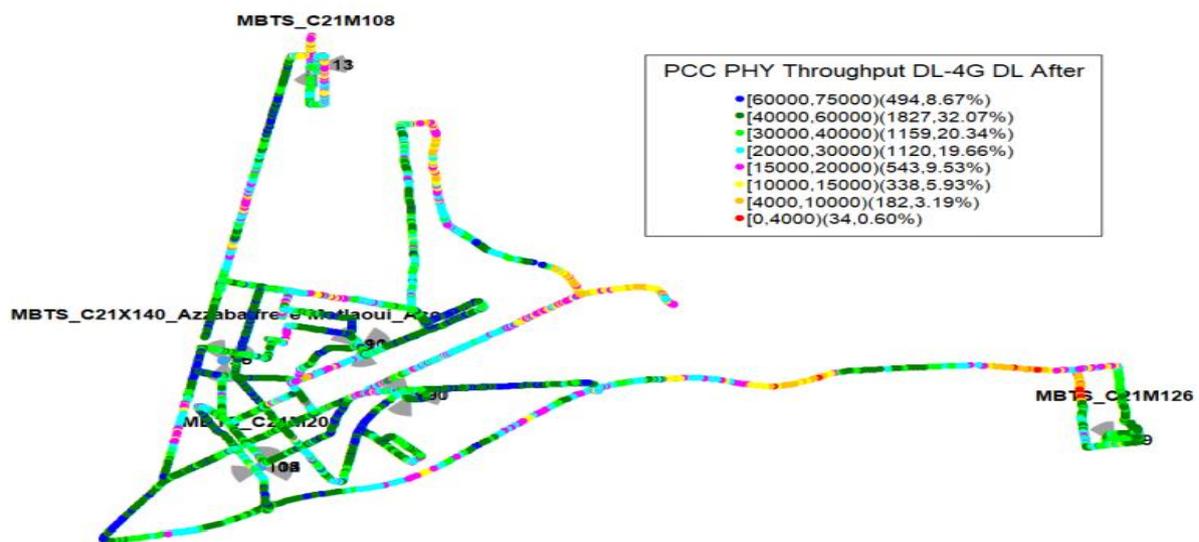


Figure 4.15. Résultat du test de conduite de 4G (débit)après.

Le débit DL a été considérablement amélioré, comme indiqué dans la carte et les tableaux ci-dessus. Le débit moyen DL était auparavant autour de 25,79 Mbits / s. Toutefois, après avoir activé Cloud Air, le débit moyen DL tourne autour de 36,30 Mbps, soit une amélioration de 40,75%.

4.6.4 Les résultats de débit en liaison descendante des tests statiques et dynamiques de 4G

a test en point fixe

Sur la base du test de lecteur statique, le test de débit moyen de la liaison descendante a été amélioré de 11,63%, 30,67% et 69,28% pour les points proches, moyen et lointain respectivement.

Cellule 4C21X085_1	Près du point (Mbps)		Point médian (Mbps)		Point lointain (Mbps)	
	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max
Avant	56.22	63.11	45.71	59	21.91	27.69
CloudAIR	62.76	73.08	59.73	70	37.09	50
GAIN	11.63%	15.80%	30.67%	18.64%	69.28%	80.57%

Tableau 4.12. Test en point fixe

b Test de conduit dynamique

Pour les tests de conduite dynamiques, le débit moyen de la liaison descendante est amélioré de 40,75% et le nombre de RB a augmenté de 37%, tandis que le débit maximal DL a atteint un pic de 92,54 Mbps.

cluster Azzaba	Débit maximum en liaison descendante (Mbps)	Débit moyen en liaison descendante (Mbps)	Nombre de blocs de ressources PDSCH (RB)
Avant	69.42	25.79	43.57
Cloud Air	92.54	36.30	59.76
GAIN	33.30%	40.75%	37.15%

Tableau 4.13. Test de conduite dynamique

4.7 Résumé du test de conduite (drive test) des KPIs de 2G

Le tableau ci-dessous représente un résumé des résultats obtenu après le drive test des kpis de 2G.

Mesures GSM KPI CS	Avant	Après
Call Setup Counter (MOC)	29	25
GSM Call Setup Fail RF Counter (MOC)	1	1
Call Setup Success Rat (%)	96.67%	96%
Call Drop Counter	0	2
HO Attempt Counter	101	71
HO Failure Counter	0	1
HO Success Rate (%)	100%	98.59%

Tableau 4.14. Résumé du test de conduite (drive test) des KPIs de2G

4.7.1 Résultats de l'intensité du signal-2G (Rxlev) à partir du drive test

On remarque que Rxlev représenté par la figure 4.16 avant l'activation de la solution cloud Air a un niveau moyen de -73.80dBm et -47dBmen max, et -100dBmen minimum.

Minimum (dbm)	Moyenne (dbm)	Maximum (dbm)
-100	-73.80	-47

Tableau 4.15. Les résultats de Rxlev (avant)

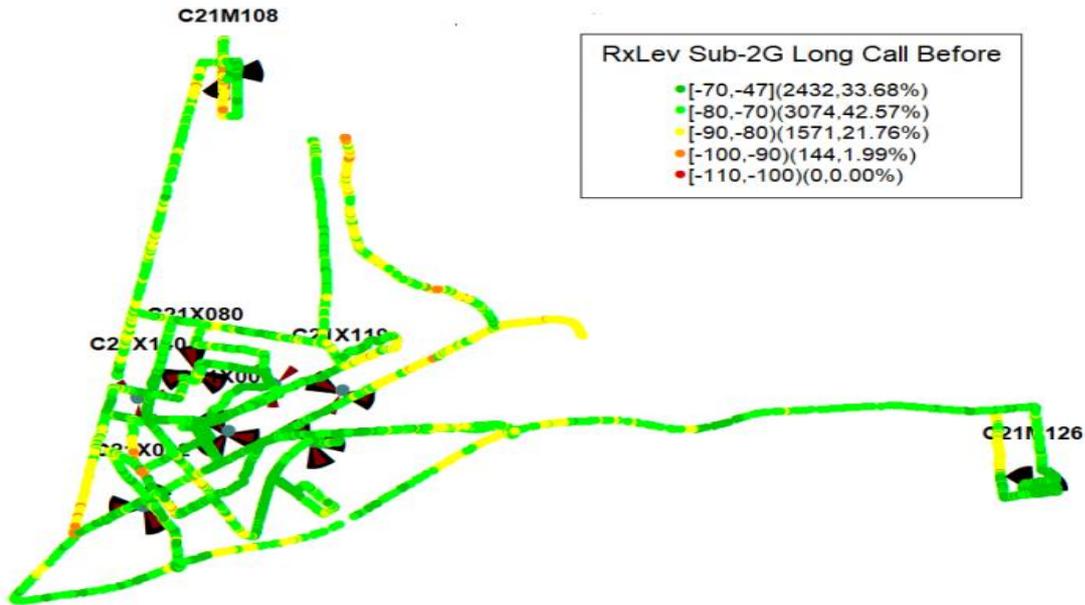


Figure 4.16. Résultat du test de conduite de 2G (Rxlev) avant.

On remarque que Rxlev représenté par la figure 4.17 après l'activation de la solution cloud Air a un niveau moyen de -73.08dBm et -47dBm en max, et -98dBmen minimum.

Minimum (dbm)	Moyenne (dbm)	Maximum (dbm)
-98	-73.08	-47

Tableau 4.16. Les résultats de Rxlev (après)

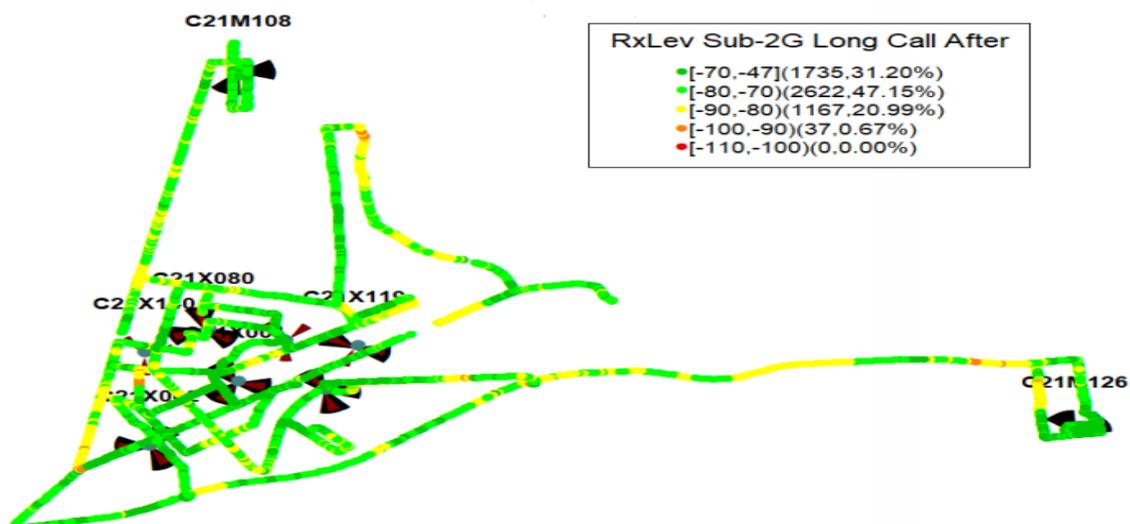


Figure 4.17. Résultat du test de conduite de 4G (Rxlev) après.

La couverture sur GSM reste toujours le même avant et après l'activation de Cloud Air.

4.7.2 DT Résultats-2G RxQual (la qualité du signal)

On remarque que Rxlev représenté par la figure 4.18 avant l'activation de la solution cloud Air a un niveau moyen de 0.45 et 7 en max, et 0 en minimum.

Minimum	Moyenne	Maximum
0	0.45	7

Tableau 4.17. Les résultats de RxQual (avant)

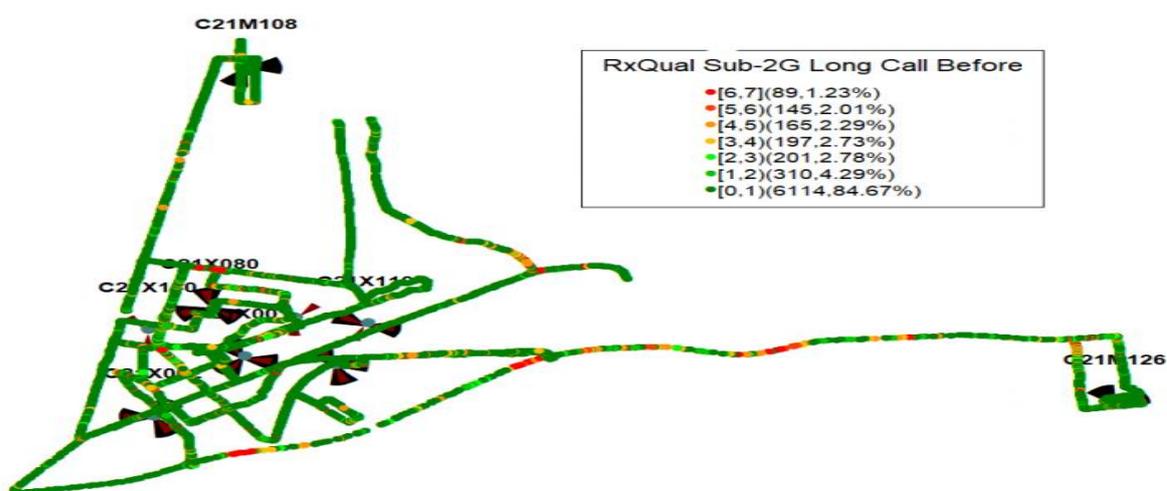


Figure 4.18. Résultat du test de conduite de 4G (RxQual)avant.

On remarque que Rxlev représenté par la figure 4.19 après l'activation de la solution cloud Air a une niveau moyenne de 1.15 et 7 en max , et 0 en minimum.

Minimum	Moyenne	Maximum
0	1.15	7

Tableau 4.18. Les résultats de RxQual (après)

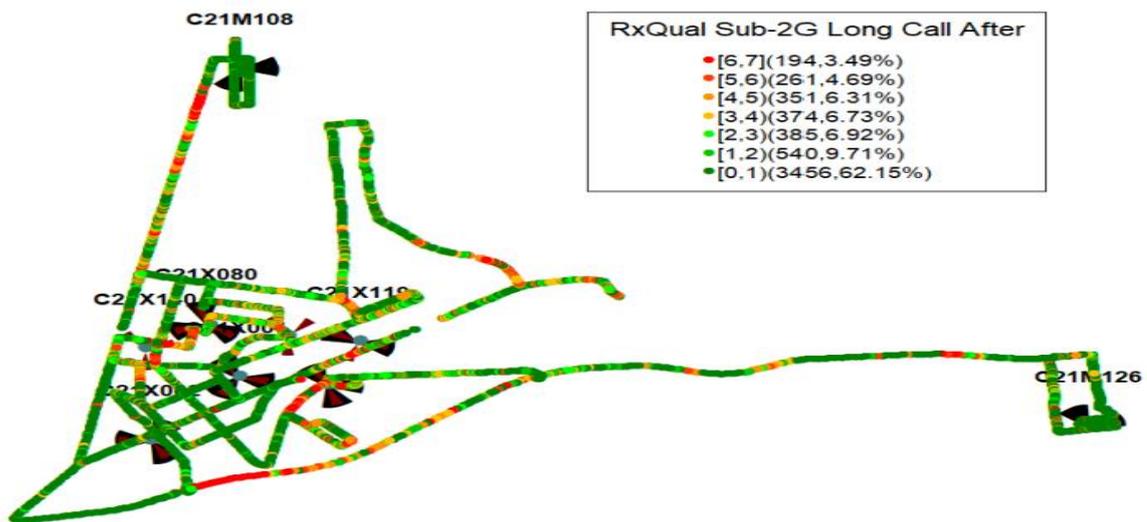


Figure 4.19. Résultat du test de conduite de 4G (RxQual) après.

- ❖ La qualité sur le GSM a baissé dans certaines zones après l'activation de Cloud Air, ce qui est conforme aux attentes.

4.8 Conclusion :

Dans ce chapitre il a été question d'une part d'analyser les statistiques KPIs qui ont été mises à notre disposition par Djezzy dans la ville de Azzaba (Skikda), de proposer notre solution (dans le cadre de l'optimisation) et de vérifier l'amélioration de la qualité de service dont le but est la satisfaction des abonnés et de veiller à leur maintien sur le marché de l'opérateur.

Globalement, la solution Cloud Air a apporté des améliorations significatives en exploitant le spectre partagé, en améliorant la capacité du réseau LTE, en augmentant les débits, et en s'assurant que les interférences du GSM vers le LTE soient tolérables.

- Essentiellement, le débit du Dynamique DT s'est amélioré de + 40%, atteignant un débit maximal de 92 Mbps.
- Grâce aux indicateurs de performance clés OSS, le débit utilisateur DL a augmenté d'environ 36.9% après l'activation de l'accès simultané au spectre GL.
- Les indicateurs clés de performance : Accès / Retainabilité / Mobilité LTE, sont stables.
- Les indicateurs clés de performance : Accès / Retainabilité / Mobilité GSM, sont conformes aux attentes.

Conclusion générale

Le but de ce travail est de fournir une étude sur la manière d'allouer des ressources fixes avec des technologies radio spécifiques pour une participation dynamique à la demande, et d'améliorer la productivité des utilisateurs en utilisant la bande 1800 GSM. Ceci permet d'améliorer la capacité du réseau LTE, à condition que les interférences GSM-LTE restent à un niveau acceptable.

Au début, nous avons présenté une généralité sur les différentes normes téléphoniques afin de permettre une étude théorique de ces concepts.

Deuxièmement, nous avons présenté une étude générale sur la qualité de service pour les deuxièmes, troisième et quatrième génération des réseaux radio mobiles, ainsi que les indicateurs clés de performance. Nous avons ensuite commencé la partie pratique en utilisant la solution cloud Air, fournissant des concepts de base et des principes de fonctionnement, ainsi que les paramètres d'activation de cette fonctionnalité coté GSM et LTE.

Enfin, nous avons mené une étude comparative des résultats obtenus avant et après l'activation de cloud Air coté GSM et LTE.

La comparaison des indicateurs clés de performances (KPI) de la 4G (**le nombre de PRB, le débit, l'utilisation de PRB moyenne de liaison descendante vs le débit moyenne des utilisateurs des liaisons descendante, trafic, CSSR**), ainsi quelques indicateurs clés de performances (KPI) de la 2G(**HO_Qual_ OPTIMUM ,HSR_ OPTIMUM ,et CDR_ OPTIMUM**), obtenus par M2000 et aussi en effectuant un Drive test sur la zone test de Azzaba(Skikda).

Nous pouvons conclure que la solution Cloud Air a apporté des améliorations significatives en exploitant le spectre partagé pour améliorer la capacité du réseau LTE et augmenter considérablement le débit, tout en maintenant les interférences du GSM vers le LTE à un niveau tolérable. Nous n'avons pas observé une détérioration significative de la qualité du réseau coté GSM et LTE, au contraire, la fonctionnalité Cloud AIR a permis une amélioration de la qualité principalement du LTE surtout en termes de débit et en maintenant les autres indicateurs relativement stables.

Bibliographie

- [1] H. AIT SAADI, "cours réseaux cellulaires", université Blida1, département d'électronique, 2018/2019.
- [2] Ghassan A. Abed, Mahamod Ismail, and Kasmiran Jumari, "Modeling and performance evaluation of LTE networks with different TCP variants ", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering Vol:5, No:3, 2011.
- [3] M.Djebari , "CoursRSF1 " , université Blida1, département d'électronique, 2018/2019.
- [4] Document fournit par Algérie Télécom [blida].
- [5] J.Pons, " réseaux cellulaires évolution du système UMTS vers le système EPS", Les sélections technique de l'ingénieur 2^{ème} édition, Mai 2013.
- [6] C.Gessner, A.roessler, M.kottkamp, "LTE - Technology Introduction", ROHDE & SCHWARZ, Julie 2012.
- [7] A.Basit, Syed "Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface", Doctoral dissertation, Master Thesis, Helsinki University of Technology, February 2009.
- [8] Chu, D. C. "Polyphase codes with good periodic correlation properties." *IEEE Trans. Inf. Theory*. Vol. 18, Number 4, July 1972, pp. 531–532.
- [9] 3GPP TS 36.211. "Physical Channels and Modulation." *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)*. URL: <http://www.3gpp.org>.
- [10] Zubeiri Iman, « Etude de la capacité des réseaux LTE », Projet fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master Science et Technique Systèmes Intelligents et Réseaux, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des sciences et techniques Fès, Juin 2014.
- [11] Nancy Lee YIMBERE " Implémentation de nouvelles méthodes dans le sous-système radio afin d'améliorer la qualité de service radio GSM: cas du réseau GLO Mobile Bénin" Université Africaine de technologie et de management, memoire2009.
- [12] Huawei user support, "SRAN 13 .1" Copyright © 2016 Huawei Technologies Co., Ltd. Tous droits réservés.
- [13] Huawei fournisseur, huawei user guide "SRAN 13 .1", Copyright © 2016 Huawei Technologies Co., Ltd. Tous droits réservés.

[14] X. Lin and H. Viswanathan, "Dynamic spectrum refarming of GSM spectrum for LTE small cells," IEEE Globecom Intl. Workshop on Heterogeneous and Small Cell Networks, submitted, May 2013.