

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 حطاب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Télécommunications

Réseaux et Télécommunications

présenté par

Hocine Dounia

&

Missoum Abderzak

Analyse et optimisation du réseau d'accès radio 4G LTE

Proposé et dirigé par :

Mr. SIFODIL Abdel Aziz

Mr.M. bensebti

Année Universitaire 2019-2020.

ملخص:

تحسين شبكة الجيل الرابع ضرورة في تقييم مراحل لتوزيع التشغيل، والتي تهدف إلى تحسين جودة الخدمة المقدمة للمشتركين. يتضمن هذا العمل دراسة عملية التحسين التي اعتمدها شركة هواوي لشبكة الراديو الخاصة بالمتعامل لموبليس، التي تحدد المشاكل التي تسبب تدهور الأداء العادي للشبكة واقتراح حلول لا تسمح بالمساهمة في تحسين أداء الشبكة بشكل كبير.

الكلمات الجوهرية: الجيل الرابع، التحسين، مؤشرات الأداء، Handover، Accessibilité.

Résumé :

L'optimisation des réseaux d'accès radio LTE nécessite pendant son déploiement et après sa mise en service, qui vise à améliorer la QoS offerte aux abonnés. Ce travail porte l'étude du processus d'optimisation du réseau d'accès radio LTE, adopté par l'équipementier HUAWEI, qui analyse les performances du réseau LTE de l'opérateur Mobilis dans différentes Wilayas, cela en identifiant les problèmes de dégradation des performances et proposé des solutions. L'exécution de ces solutions nous a permis de contribuer à l'amélioration des performances du réseau de façon significative.

Mots clés : 4G LTE ; QoS ; KPI ; Optimisation ; Accessibilité ; Mobilité ; E-RAB ; Handover.

Abstract:

Optimization of LTE networks need process for deployment and launch, which aims to improve the QoS offered to the subscribers. This work we studied the optimization process of LTE radio access networks, established by the OEM (Original Equipment Manufacturer) HUAWEI, we analyzed the performance of Mobilis's LTE network in different Wilayas of the country, this by identifying performance degradation problems and proposed solutions. The execution of these solutions allowed us to contribute significantly the improvement of the network performance.

Keywords: 4G LTE ; Optimization ; QoS ; KPI ; Accessibility ; Mobility ; E-RAB ; Handover.

Dédicace

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents amhamed et harazi fatiha :

Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie Allah de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi. A mes chères sœur hassani amina et sultan fatima zohra mes chères frères, younes , sid ahmed ,mourad et mohamed amine et les enfentes iyad , bassma,akrem, adem et bouchra

En temoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et réussite.

A ms grand-mères khdiya et ouaouche :

Grace à tes conseils et tes prières je suis une personne meilleure. Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de longue vie .

A tous les membres de ma famille petits et grands :

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes cher(e)s ami(e)s:

Rafik, mehdi, slimen, djalil, rass, oussama, abdelkader, djijli, mellaul, djebbar, alae ,steve, azziza.

Dédicace

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents Ramdan et Fatima zohra :

Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie Allah de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi. A ma chère sœur Farah et mes chères frères, abderahman et yasser :

En temoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et réussite.

A ma grand-mère Fadila :

Grace à tes conseils et tes prières je suis une personne meilleure. Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de longue vie .

A tous les membres de ma famille petits et grands :

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes cher(e)s ami(e)s:

Saida, Wissem, Meriem, Hanane , Selma, Racha, Yousra, Rabab, Riadh.

Nous remercions en tout premier lieu, **Dieu**, le tout puissant, de m'avoir aidé à surmonter toutes les dures épreuves et moments difficiles pour aboutir à la fin de ce travail.

Nous tenons à remercier notre Co- promoteur Mr. SIFODIL Abdel Aziz qui nous a encadrés tout au long de ce travail, pour leur disponibilité, et leurs conseils afin de mener notre travail à bon port. Espérant d'avoir l'occasion de travailler avec lui dans le futur.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à l'égard de notre promoteur Mr. M.Bensebti, qui nous a dirigés dans notre travail, ses conseils et ses commentaires précieux ainsi que le soutien moral qu'il nous a apporté.

Ainsi, avec beaucoup d'égard, nous ne manquons pas d'exprimer notre grand remerciement à toute l'équipe HUAWEI (Mr. allaeddinne benyahia, Mme. Ezziane hadjira,.....).

Nous voudrions aussi adresser nos sincères remerciements aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner notre mémoire.

Mes pensées vont vers ma famille **Hocine**, et surtout mes parents, qui m'ont permis de poursuivre mes études jusqu'à aujourd'hui.

Mes pensées vont vers ma famille **Missoum**, et surtout mes parents, qui m'ont permis de poursuivre mes études jusqu'à aujourd'hui.

Nous remercions enfin tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué de manière significative à l'élaboration de ce mémoire.

Hocine Dounia & Missoum Abderzak

Table des matières

Resume	i
dedicace.....	ii
Remerciements.....	iv
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	ix
Liste des tableaux.....	xi
Listes des acronymes et abréviations.....	xi
Introduction Générale.....	Erreur ! Signet non défini. 1
CHAPITRE 1 : Généralités sur le réseau 4G LTE.....	4
1.1Introduction.....	Erreur ! Signet non défini. 4
1.2 La 4G LTE (Long Term Evolution).....	Erreur ! Signet non défini. 4
1.3 L'architecture du réseau 4G LTE.....	4
1.3.1 E-UTRAN :le réseau d'accès radio	5
1.3.2 EPC :Evolved Packet Core.....	6
1.4 Les caractéristiques fondamentales de la 4 G.....	8
1.4.1 Débit sur l'interface radio.....	8
1.4.2 Latence.....	8
a Latence du plan de contrôle	8
b Latence du plan usager	8
1.4.3L'agilité en fréquence.....	9
1.4.4 Mobilité.....	9
1.4.5 Qualité de Serv8e (QoS).....	9

1.5	Pile protocolaire du réseau d'accès radio 4G LTE	Erreur ! Signet non défini.	9
1.5.1	Le plan de contrôle		10
1.5.2	Plan usager.....		11
1.6	Les bearers en LTE.....	Erreur ! Signet non défini.	12
1.6.1	Le bearer par défaut.....		14
1.6.2	Le bearer dédié.....		15
1.6.3	Le bearer EPS.....		15
1.7	Structure de la trame de l'interface radio LTE.....		16
1.7.1	Notion de Bloc de ressources.....		17
1.8	Les canaux de l'interface radio LTE.....		18
1.8.1	Les canaux logiques		19
1.8.2	Canaux de transport		20
1.8.3	Canaux physiques.....		20
1.9	Technique d'accès multiple en LTE.....		23
1.10	Techniques multi-antennes (MIMO) en LTE.....		25
1.10.1	Diversité spatiale		25
1.10.2	Multiplexage spatial		25
1.11	Conclusion.....		27
Chapitre 2 :Accès au réseau et mobilité du terminal en mode veille et connecté.....			28
2.1	Introduction.....		28
2.2	Mode veille (Idle Mode)		28
2.2.1	Recherche de cellule		29
2.2.2	Sélection de cellule.....		30
2.2.3	Resélection de cellule.....		32
2.3	Mode connecté (Connected mode)		33
2.3.1	Accès aléatoire		34
2.3.2	Etablissement de connexion RRC.....		36

2.3.3	Attachement au réseau.....	37
2.3.4	Handover.....	39
2.4	Conclusion	42
Chapitre 3 : Optimisation du réseau d'accès radio LTE		
	Erreur ! Signet non défini.....	43
3.1	Introduction	Erreur ! Signet non défini.....43
3.2	Pré-optimisation du réseau d'accès radio LTE	Erreur ! Signet non défini.....43
3.2.1	Etapes de la pré-optimisation	Erreur ! Signet non défini.....44
3.3	Optimisation continue du réseau d'accès radio LTE	Erreur ! Signet non défini.....49
3.3.1	Indicateurs clés de performance	Erreur ! Signet non défini.....49
3.3.2	Accessibilité.....	50
3.3.3	Mobilité.....	54
3.3.4	Processus d'optimisation des KPIs.....	57
3.4	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.....62
Chapitre 4 : Optimisation du réseau d'accès radio LTE		
	Erreur ! Signet non défini.....	63
4.1	Introduction	Erreur ! Signet non défini.....63
4.2	Optimisation des KPIs de l'accessibilité	Erreur ! Signet non défini.....63
4.2.1	Random Access Success Rate.....	63
4.2.2	RRC setup Success Rate	66
4.2.3	E-RAB Setup Success	79

4.3	Mobilité	Erreur !	Signet	non
	défini.....			.75
4.4	Conclusion	Erreur !	Signet non	défini.....
76
Conclusion	Générale.....	Erreur !	Signet	non
	défini.....			.77

Liste des figures

FIGURE 1. 1: ARCHITECTURE D'UN RESEAU 4G LTE [2].	5
FIGURE 1. 2: ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DU PLAN DE CONTROLE..	10
FIGURE 1. 3: ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DU PLAN USAGER..	12
FIGURE 1. 4: BEARER PAR DEFAUT ET BEARER DEDIE..	13
FIGURE 1. 5: LE BEARER EPS ET SES ELEMENTS [2].	15
FIGURE 1. 6: STRUCTURE DE LA TRAME EN FDD..	16
FIGURE 1. 7: STRUCTURE DE LA TRAME EN TDD.....	17
FIGURE 1. 8: STRUCTURE D'UN BLOC DE RESSOURCES.....	18
FIGURE 1. 9: LA GRILLE DES RESSOURCES EN UL[6].....	21
Figure 1. 10: Grille des ressources en DL[6].....	22
Figure 1. 11:Correspondance des canaux en UL et DL	23
Figure 1. 12: OFDMA et SC-FDMA [5]	24
Figure 1. 13: Multiplexage spatiale mono-utilisateur [8].	26
Figure 1. 14: Multiplexage spatial multi-utilisateur [8].	26
FIGURE 2.1: OPERATIONS DE LA RECHERCHE DE CELLULE.. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	29
FIGURE 2.2: PROCEDURE D'ACCES ALEATOIRE . ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	34
FIGURE 2.3: ETABLISSEMENT DE CONNEXION RRC..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	36
FIGURE 2.4.: PROCEDURE D'ATTACHEMENT AVEC ETABLISSEMENT DE BEARER EPS INITIAL.. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	38
FIGURE 2.5: PROCEDURE DU HANDOVER. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	41
FIGURE 3.1 : MODIFICATIONS POSSIBLES POUR LA PRE-OPTIMISATION DU RESEAU ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	46
FIGURE 3.2: PARAMETRES D'OFFSET POUR L'ALLOCATION DE PUISSANCE [10].. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI	47

FIGURE 3.3: VERIFICATION DES ACTIONS DE LA PRE-OPTIMISATION..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	48
FIGURE 3.4: LES DIFFERENTS TYPE DE KPIS..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	50
FIGURE3. 5: LES COMPTEURS DU KPI RANDOM ACCESS SUCCESS RATE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	51
FIGURE 3.6: LES COMPTEURS DU KPI RRC SETUP SUCCESS RATE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	52
FIGURE 3.7: LES COMPTEURS DU KPI E-RAB SETUP SUCCESS RATE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	54
FIGURE 3.8: LES COMPTEURS DU KPI INTRA-FREQUENCY HANDOVER OUT SUCCESS RATE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	56
FIGURE 3.9: DIAGNOSTIC DES CAUSES DE DEGRADATION DES KPIS DE L'ACCESSIBILITE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	58
FIGURE 3.10: DIAGNOSTIC DES CAUSES DE DEGRADATION DES KPIS DE LA MOBILITE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	59
FIGURE 3.11: CAS POSSIBLE DE L'ECHEC DE L'ACCES ALEATOIRE..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	60
FIGURE 3.12: CAS POSSIBLE DE L'ECHEC DE LA CONFIGURATION RRC ET E-RAB..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	61
FIGURE 4.1: RACH-SR DU CLUSTER ALGER.....		64
FIGURE 4.2: PRINCIPE DE PFA.....		64
FIGURE 4.3: PROCESSUS DE L'ALGORITHME PFA...	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	65
FIGURE 4.4: RACH_SR DE CLUSTER ALGER APRES PFA.....		66
Figure 4.5: Tracé du KPI RRC Setup Success Rate au niveau de cluster L1800.....		66
FIGURE 4.6: TRACE DU KPI RRC SETUP SUCCESS RATE APRES EXECUTION DES ACTIONS...	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....	68
FIGURE 4.7: TRACE DU KPI E-RAB SETUP SUCCESS RATE APRES EXECUTION DES ACTIONS AU NIVEAU DE CLUSTER		68

FIGURE 4.8: TRACE DU KPI E-RAB SETUP SUCCESS RATE AU NIVEAU DES DIFFERENTES WILAYAS.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI..69
FIGURE 4.9: TRACE DU KPI E-RAB SETUP SUCCESS RATE AU NIVEAU DE LA CELLULE X3X011.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.71
FIGURE 4.10: LES ALARMES SUR LE SITE 3X01.....	71
FIGURE 4.11: TRAFIC MAXIMUM AU NIVEAU DE CHAQUE CELLULE DU SITE 3X01.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....72
Figure 4.12: Trafic maximum au niveau de chaque cellule du site 3X01.....	Erreur ! Signet non défini.72
FIGURE 4.13: L'EMPLACEMENT DU SITE 3X01 ET SON VOISINAGE	73
Figure 4.14: Le trafic maximal des différentes cellules du site 5X18.....	74
FIGURE 4.15: TRACE DU KPI E-RAB SETUP SUCCESS RATE APRES EXECUTION DES ACTIONS.....	74
FIGURE 4.16:TRACE DU KPI HANDOVER SUCCESS RATE AU NIVEAU DE CLUSTER XXXX..	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.....75
Figure 4.17: Amélioration du KPI sur le cluster XXXX	Erreur ! Signet non défini.76

Liste des tableaux

TABLEAU 1. 1: VALEURS DU PARAMETRE QCI EN LTE.....	14
TABLEAU 4. 1: STATISTIQUE RRC SUCCESS RATE DU CLUSTER L1800	67
TABLEAU 4. 2:LISTE DES PLUS MAUVAISES CELLULES	70

Listes des acronymes et abréviations

1G	:	1 st Generation.
2G	:	2 nd Generation.
3G	:	3 rd Generation.
3GPP	:	3 rd Generation Partnership Project.
4G	:	4 th Generation.
ACK	:	ACKnowledgement.
AS	:	Access Stratum.
BCCH	:	Broadcast Control Channel.
BCH	:	Broadcast Channel.
BTS	:	Base Transceiver Station.
CCCH	:	Common Control channel.
DCCH	:	Dedicated Control channel.
DL	:	Downlink.
DLSCH	:	Downlink Shared Channel.
DMRS	:	Demodulation Reference Signal.
DTCH	:	Dedicated Traffic control Channel.
DwPTS	:	Downlink Pilot Time Slot.
e-NodeB	:	evolved Node Base station.
eGTP	:	evolved- GPRS Tunnelling Protocol.
eGTP-C	:	evolved GPRS Tunnelling Protocol-control.
eNB	:	evolved Node Base station.
EPC	:	Urban Microcell.
EPS	:	Evolved Packet System.
EUTRAN	:	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.
FDD	:	Frequency Division Duplexing.
FDMA	:	Frequency Division Multiple Access.

GBR	:	Guaranteed Bit Rate.
GP	:	Guard Périod.
GPRS	:	General Packet Radio Services.
GSM	:	Global System for Mobile.
GTP-C	:	GPRS Tunneling Protocol for the Control plane.
HARQ	:	Hybrid Automatic Repeat Request.
HLR	:	Home Location Register.
HSS	:	Home Subscriber Server.
IP	:	Internet Protocol.
KPI	:	Key Performance Indicator.
LTE	:	Long Term Evolution.
MAC	:	Medium Access Control.
MBSFN	:	Multicast Broadcast Single Frequency Network.
MCCH	:	Multicast Control Channel.
MIB	:	Master information Block.
MIMO	:	Multiple Input Multiple Output.
MME	:	MobileManagement Entity.
MTCH	:	Multicast Traffic Control Channel.
MU-MIMO	:	Multiple User-Multiple Input Multiple Output.
NACK	:	Negative ACKnowledgement.
NAS	:	Non Access Stratum.
OFDM	:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA	:	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
OSI	:	Open Systems Interconnection.
P-GW	:	Packet Gateway.

PBCH	:	Physical Broadcast Channel.
PCCH	:	Paging Control Channel.
PCFICH	:	Physical Control Format Indicator Channel.
PCH	:	Paging Channel.
PCI	:	Physical Cell Identity.
PCRF	:	Policy and Charging Rules Function.
PDCCH	:	Physical Downlink Control CHannel.
PDCP	:	Packet Data Compression Protocol.
PDN	:	Packet Data Network.
PDSCH	:	Physical Downlink Shared CHannel.
PHICH	:	Physical Hybrid ARQ indicator Channel.
PLMN	:	Public Land Mobile Network.
PRACH	:	Physical Random Access Channel.
PRS	:	Performance Report System.
PSS	:	Primary Synchronization Channel.
PUCCH	:	Physical Uplink Control CHannel.
PUSCH	:	Physical Uplink Shared CHannel.
QAM	:	Quadrature Amplitude Modulation.
QCI	:	QoS Class Identifier.
QoS	:	Quality Of Service.
QPSK	:	Quadrature Phase Shift Keying.
RA	:	Random Access.
RACH	:	Radom Access Channel.
RAP	:	Random Access Procedure.
RAT	:	Radio access technology.
RB	:	Resource Block.
RF	:	Radio frequency.

RLC	:	Radio Link Protocol.
RNO	:	Radio Network Optimization.
RRC	:	Radio Ressource Control.
RS	:	Reference Signal.
RSRP	:	Reference Signal Received Power.
S-GW	:	Serving Gateway.
S1-AP	:	Application Protocol on the S1 interface.
SC-FDMA	:	Single Carrier Frequency Division Multiple Access.
SCTP	:	Stream Control Transmission Protocol.
SIB	:	system Information Broadcast.
SIM	:	Subscriber Identity Module.
SRB	:	Signaling Radio Bearer.
SRS	:	Sounding Reference Signal.
SSS	:	Secondary Synchronization Channel.
SSV	:	Single Site Verification.
SU-MIMO	:	Single User-Multiple Input Multiple Outputs.
TA	:	Tracking Area.
TAU	:	Tracking Area Update.
TDD	:	Time Division Duplexing.
TDMA	:	Time Division Multiple Access.
TTI	:	Transmission Time Interval.
UE	:	User Equipment.
UL	:	Uplink.
ULSCH	:	Uplink Shared Channel.
UMTS	:	Universal Mobile Telecommunications Service.
UpPTS	:	Uplink Pilot Time Slot.
USIM	:	Universal Subscriber Identity Module.

VLR : Visitor Location Register.

VoIP : Voice over IP.

VoLTE : Voice over LTE.

Introduction Générale

Introduction Générale

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive des câbles. Il a de ce fait connu une évolution remarquable ces dernières années, dans le but de permettre l'accès à de nouveaux services nécessitant une faible latence ainsi que des débits de données plus élevés.

Long Term Evolution (LTE) est l'une des dernières versions de la 3GPP (Third Mobile Generation Partnership Project), standardiser la LTE a pour objectif de créer un système capable de surpasser les anciennes normes des réseaux mobiles ,et offrant des services à haut débit, de l'ordre de 100 Mbits/s en voie descendante et 50 Mbits/s en voie montante. Il met l'accent sur la prestation de services en utilisant l'IP (Internet Protocol), réduit le délai de préparation TTI (*Transmission Time Interval*) et améliore la QoS (*Quality Of Service*) pour les différents types de services. Depuis novembre 2012, les opérateurs de téléphonie mobile dans le monde se lancent dans le déploiement de la 4G.

Pour ce faire, les réseaux LTE doivent être optimisés pendant la phase de leur déploiement et après leur mise en œuvre, qui comporte l'étape de *pré-optimisation*, qui s'effectue pendant le déploiement progressif du réseau et après sa mise en service lorsqu'il y a besoin d'installer un nouveau site, et l'étape d'*optimisation continue* dite Optimisation des indicateurs clé de performance ou KPIs *Key Performance Indicators* qui offrir aux utilisateurs la meilleure expérience en répartissant efficacement les ressources radio pour assurer une accessibilité radio pour un maximum nombre d'entre eux et en maintenant le service pour chacun d'eux une fois qu'ils sont connectés au réseau, et ceci tout en garantissant un débit acceptable et une continuité du service lorsqu'ils sont en situation de mobilité.

L'optimisation vise à améliorer les performances du réseau tout en réduisant les coûts d'exploitation et d'investissement dans les brefs délais. Une bonne optimisation du réseau peut réduire significativement le niveau d'interférence global du réseau, améliorer le taux de réussite de l'établissement de connexions, réduire les interruptions de service, améliorer le débit des données, augmenter le taux de réussite des transferts (*handover*) entre cellules dans le réseau entier et améliorer la capacité du réseau.

Introduction Générale

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés au travail d'optimisation des réseaux 4G Qu'effectue la compagnie HUAWEI pour les opérateurs de téléphonie mobile. Cette dernière, est un leader dans le monde des télécommunications et qui déploie et optimise le réseau LTE pour ses clients (opérateurs) à travers le monde et en particulier en Algérie. Cette compagnie détient une partie du marché en Algérie en fournissant et installant les équipements pour différents opérateurs de télécommunication. Pendant le déroulement de notre projet, nous avons accompagné le service RNO (*Radio Network Optimization*) de HUAWEI dans son travail d'optimisation qui consistait à résoudre des problèmes causant la dégradation des performances réseau d'accès radio liés à l'accessibilité, la mobilité et le maintien de service dans l'objectif d'offrir aux abonnés une meilleure qualité de service.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres. Nous allons présenter la 4ème génération, en particulier les aspects relatifs à l'architecture du réseau ainsi que l'interface radio. Ce chapitre introduit les notions de la pile protocolaire, des bearer, de la structure de la trame, des canaux de l'interface radio ainsi que les techniques d'accès multiple et multi-antennes utilisées en LTE, essentielles à la compréhension de l'optimisation du réseau d'accès radio.

Le second chapitre décrit les procédures et mécanismes qui permettent de conjuguer l'accès au réseau à la mobilité du terminal en mode veille et connecté. Il englobe en particulier la cinématique des flux de signalisation échangés entre les éléments du réseau qui interviennent dans ces différentes procédures comme l'accès aléatoire, l'attachement au réseau et l'établissement d'une connexion ainsi que l'opération de handover.

Le troisième chapitre aborde l'opération d'optimisation des réseaux d'accès radio LTE qui s'effectue pendant son déploiement (pré-optimisation) et après sa mise en service (optimisation des KPIs), décrit la notion d'indicateur clé de performance et détaille les différentes étapes du processus complet d'optimisation des KPIs, adopté par les ingénieurs du service RNO de HUAWEI.

Le dernier chapitre est consacré à la description de notre contribution à l'amélioration des performances du réseau d'accès radio LTE de Mobilis au niveau de différentes Wilayas du pays. Ce chapitre présente le détail des opérations d'analyse des KPIs collectés pour l'identification des causes qui sont à l'origine des dégradations des performances du réseau

Introduction Générale

ainsi que les solutions que nous avons proposé et leur impact constaté sur l'amélioration significative des performances du réseau 4G LTE de Mobilis.

A la fin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

1.1 Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé de croître, plusieurs générations ont vu le jour (2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre). Ces réseaux ont connu une évolution remarquable, qu'est guidée par la volonté d'accroître la capacité ainsi que les débits offerts par le système dans une bande passante de plus en plus large, dont l'avantage principal est le nombre d'utilisateurs pouvant être supportés.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la 4ème génération, dite LTE (Long Term Evolution), des réseaux de communications radio mobiles. Nous mettons l'accent, en particulier sur l'architecture du réseau ainsi que l'interface radio. Une attention particulière sera portée sur les aspects de l'interface radio qui nous seront utiles, pour la compréhension de l'optimisation du réseau d'accès radio, à savoir : la pile protocolaire, le concept de bearer, la structure de la trame, les canaux de l'interface radio ainsi que les techniques d'accès multiple et multi-antennes utilisées en LTE.

1.2 La 4G LTE (Long Term Evolution)

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. L'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction de la latence. Le seul inconvénient de cette nouvelle technologie est l'installation de ces nouveaux équipements qui sont différents de ceux des normes précédentes, et le développement des terminaux adaptés [1].

1.3 L'architecture du réseau 4G LTE

Le réseau LTE est constitué de deux parties : une partie radio dite E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) qui est le réseau d'accès radio pour l'UE (User Equipment) et une partie cœur de réseau dite EPC (Evolved Packet Core). L'architecture du réseau 4G LTE est représentée par la figure 1.1.

1.3.1 E-UTRAN : le réseau d'accès radio

Le réseau d'accès radio LTE se nomme l'E-UTRAN, son architecture est représentée par la figure 1.1. Cette partie est responsable sur le management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué [1]. Il est composé d'eNodeB (Evolved NodeB) et de terminaux mobiles :

Le terminal : L'utilisateur des réseaux mobiles est équipé d'un terminal qui s'appelle aussi UE (User Equipment). Pour fonctionner, il doit être muni d'une carte SIM (Subscriber Identity Module) qui est fournie par l'opérateur, la carte SIM contient les informations et les données d'abonnement et assure la sécurité du terminal (identité d'abonnement unique au monde), pour les mobiles de la 3ème et la 4ème génération, la carte s'appelle précisément USIM (Universal Subscriber Identity Module) [2].

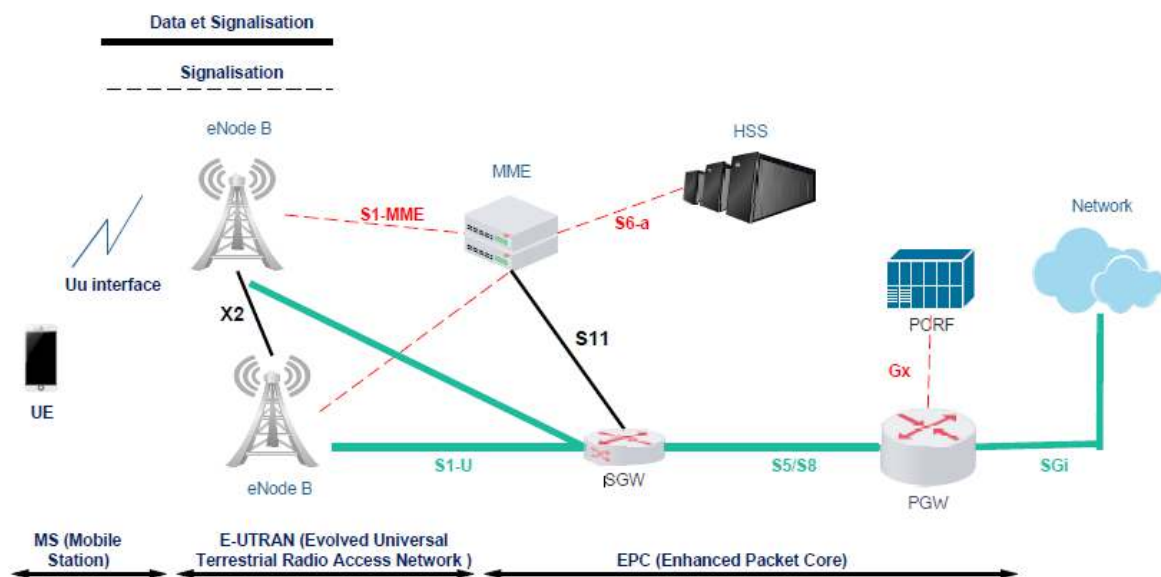


Figure 1.1 : Architecture d'un réseau 4G LTE [2].

Station de base (E-NodeB) : L'E-NodeB est l'équivalent de la BTS dans le standard GSM (Global System for Mobile Communications) de la 2G et du NodeB dans le standard UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) de la 3G. C'est le responsable de la

transmission et de la réception radio avec l'UE. L'eNodeB possède deux interfaces avec les autres entités du réseau :

- L'interface X2 : définit la connexion entre les éléments eNodeB, utilisée pour l'échange des informations de signalisation durant le *handover* d'un mobile, d'une cellule radio vers une autre.
- L'interface S1-MME : L'eNodeB est connecté à l'EPC, plus précisément au MME (Mobile Management Entity), pour le transport de messages de signalisation.
- L'interface S1-U : l'eNodeB est connecté à la SGW (Serving-GateWay), pour le transport de données utilisateurs[2].

Les eNodeB ont offert deux qualités au réseau :

- ✓ La sécurité en cas de problème d'un relais.
- ✓ Un partage des ressources en cas de saturation du lien principale.

1.3.2 EPC : Evolved Packet Core

Le réseau cœur de la 4^{ème} génération s'appelle l'EPC. Il représente la dernière évolution de la 3GPP (3rd Generation Partnership Project) des architectures des réseaux cœurs. Utilise des technologies « full IP » c'est-à-dire il est totalement basé sur le protocole IP pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Cette évolution permet de conjuguer un nombre d'équipements réduit à un accès aux services optimisé. L'EPC est constitué de plusieurs éléments [2]:

Serving-GW (SGW) : Le serving-Gateway est le point de relais entre le réseau d'accès radio E-UTRAN et le réseau cœur EPC, il permet le transfert des paquets IP envoyés par les UEs à travers les différents E-NodeBs et de leur acheminement vers leurs destinations. Le SGW possède plusieurs interfaces avec les autres entités du réseau :

- L'Interface S1-U, entre l'eNodeB et la SGW, qui est chargée uniquement du transport des données utilisateurs.
- L'interface S11, entre la SGW et le MME, qui sert au transport des messages de signalisation.

Chapitre1 Généralités sur le réseau 4G LTE

- L'interface S5, entre le SGW et le PGW, du même réseau, qui sert au transport des données utilisateurs et quelques messages de signalisation.
- L'interface S8, entre le SGW et PGW d'un autre réseau, qui remplit la même fonction que la S5 lors de l'itinérance entre différents opérateurs.

Packet-GW (PGW) : Le Packet-Gateway est l'entité qui termine le réseau coeur EPC, est responsable du lien avec les autres réseaux (publics ou privés), et notamment avec le monde Internet. Il alloue une adresse IP à l'UE et achemine les données venant des réseaux extérieurs vers les terminaux mobiles concernés, à travers le SGW et les données des terminaux mobiles vers le réseau extérieur, assure certaines fonctions de sécurité. Le PGW comporte les interfaces suivantes :

- Les interfaces S5 et S8.
- L'interface SGi entre le PGW et le réseau externe (internet).

Home Subscriber Server (HSS) : C'est l'évolution de HLR (Home Location Register) de la 3G, base de données des abonnés qui contient les profils de tous les abonnés du réseau tel que le profil de QOS, et les informations de souscription pour les réseaux GSM, GPRS (General Packet Radio Service), UMTS et LTE. Le HSS est de ce fait utilisé, simultanément, par les réseaux 2G, 3G, LTE appartenant au même opérateur.

Mobility Management Entity (MME) : C'est l'équivalent du VLR (Visitor Location Register), dans le réseau GSM, il assure plusieurs fonctions :

- Dialogue avec un ensemble de stations de base pour savoir la localisation de l'utilisateur et de connaître son état et gérer les procédures authentification et mobilité des UE.
- Dialogue avec le HSS via l'interface S6-a pour transporter les messages de signalisation, et la diffusion des messages de paging quand l'UE est dans l'incapacité de recevoir les paquets qui lui sont destinés, et récupérer les données de sécurité d'abonnés et le stocker.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) : L'entité PCRF est très importante dans le réseau cœur de l'architecture LTE, elle permet d'appliquer des règles de gestion évoluées sur le trafic et la facturation et de gérer la qualité de service (QoS) de l'utilisateur en fonction de son offre.

1.4 Les caractéristiques fondamentales de la 4G

1.4.1 Débit sur l'interface radio

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

- un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant. Utiliser la technologie OFDMA (efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz).
- un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz. Utiliser la technologie SC-FDMA (efficacité du spectre de 2.5 bit/s/Hz) [1].

1.4.2 Latence

a. Latence du plan de contrôle

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan usager [1].

b. Latence du plan usager

La latence du plan usager est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan usager correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan usager inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille [1].

1.4.3 L'agilité en fréquence

Le LTE doit pouvoir opérer sur des porteuses de différentes largeurs afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bande initialement requises ont par la suite été modifiées pour devenir les suivantes : 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20MHz [1].

1.4.4 Mobilité

La mobilité est une fonction clé pour un réseau mobile. Tel que, L'effet des handovers intra système (procédure de mobilité entre deux cellules LTE) sur la qualité vocale doit être moindre qu'en GSM, ou équivalent. Le système doit également intégrer des mécanismes optimisant les délais et la perte de paquets lors d'un handover intra système [1].

1.4.5 Qualité de Service (QoS)

La qualité de service (QoS) est essentielle pour l'opérateur afin de garantir une expérience satisfaisante à l'utilisateur, en termes de disponibilité, débit, délais de transmission, taux de perte de paquets tel que :

- Le débit : principalement important dans le cas de téléchargement ou diffusion.
- Le délai de transit ou 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. C'est le paramètre à tenir en compte pour la téléphonie.
- La disponibilité : ce critère reste important surtout pour les accès aux services service partagé (exemple : la gestion financière, la gestion des ressources humaines, l'administration des ventes, les services informatiques).
- Le taux de pertes de paquets [1].

1.5 Pile protocolaire du réseau d'accès radio 4G LTE

Le réseau EPC possède deux types de plans, le premier est dit plan usager (user plane) et le deuxième est appelé plan de contrôle (control plane) .Ces deux plans sont matérialisés par des piles protocolaires :

1.5.1 Le plan de contrôle

Il représente tous les messages de signalisation qui sont échangés entre les équipements du réseau pour gérer leurs fonctionnalités. La pile protocolaire du plan de contrôle, illustrée par la figure 1.2, est constituée des couches et des sous couches suivantes :

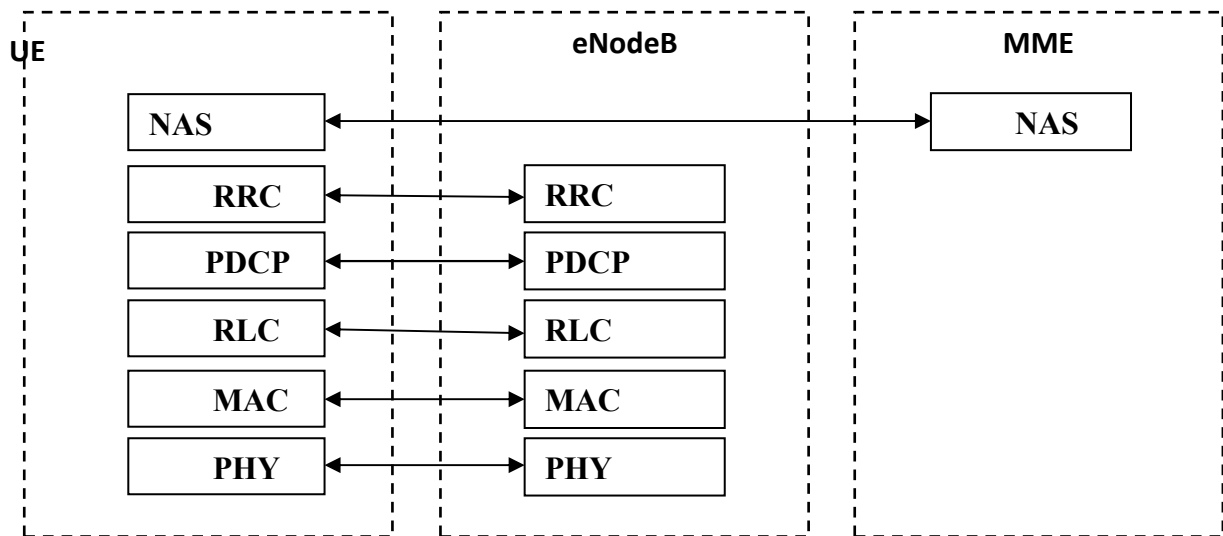


Figure 1.2 : Architecture protocolaire du plan de contrôle.

La couche physique : fournir des services de transport de données sur les canaux physique pour les couches RLC et MAC hautes.

La sous couche MAC (Medium Access Control) : l'allocation des ressources et la retransmission rapide des paquets.

La sous couche RLC (Radio Link Protocol) : Cette couche est chargée de la segmentation/concaténation des paquets de données des couches supérieures, de la retransmission des paquets perdus.

La sous couche PDCP (Packet Data Compression Protocol) : cette couche est responsable de la compression d'entête des paquets, le chiffrement et le contrôle d'intégrité des paquets de données.

La couche RRC (Radio Ressource Control) : elle sert au contrôle de l'interface radio.

Protocole NAS (Non Access Stratum) : Cette couche est responsable de plusieurs tâches de contrôle comme :

- La gestion des entrées au réseau.
- L'authentification.
- La gestion de la mobilité.
- Elle est responsable de la mise en place du porteur de données (*Data bearer*).

La sécurité de la transmission des données de signalisation est assurée par le système de chiffrement et la protection de l'intégrité. Le transfert des messages de NAS depuis et vers les UE est réalisé par la couche RRC (Radio Resource Control)[3].

Protocole S1-AP (Application Protocol on the S1 interface) : c'est un protocole orienté connexion, qui se situe entre le MME et l'eNodeB, il est chargé de :

- transporter les messages de signalisation de type AS (Access Stratum) et NAS.
- gérer la procédure de handover.
- gérer la procédure de paging (notification d'appel).
- gérer les procédures de l'établissement, la modification et la relâche des tunnels.

GTP-C (GPRS Tunneling Protocol for the Control plane) : c'est un protocole qui permet l'encapsulation des messages de signalisation.

SCTP (Stream Control Transmission Protocol) : c'est un protocole de la couche de transport qui est utilisé pour les échanges de messages de signalisation entre le MME et l'eNodeB.

1.5.2 Plan usager

Le plan usager (user plane) est le plan par lequel transitent toutes les informations échangées par l'utilisateur (voix, données). Il comprend les flux de données (data streams) qui utilisent des protocoles support pour le transport de ces données. La pile protocolaire du plan usager comprend les sous couches : PDCP, RLC, MAC ainsi que la couche physique comme l'illustre la figure 1.3.

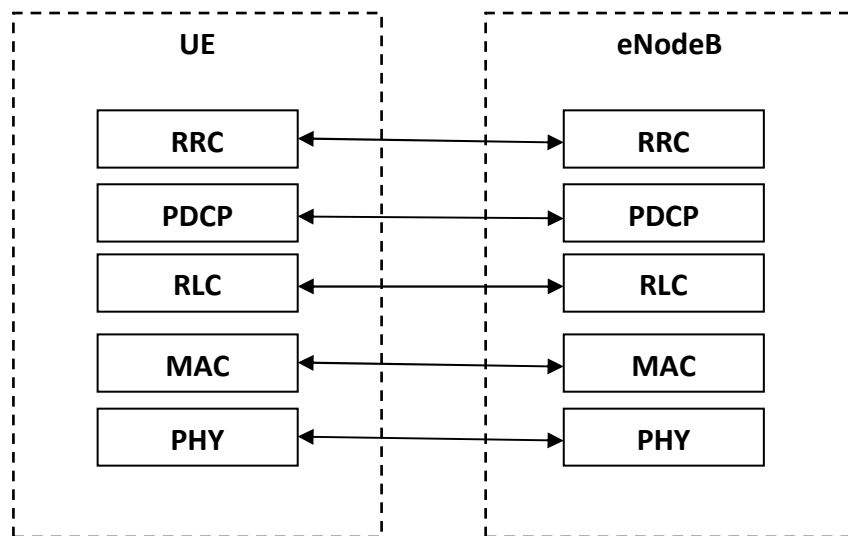


Figure 1.3 : Architecture protocolaire du plan usager.

1.6 Les bearers en LTE

La notion de bearer est un concept virtuel qui sert à définir les traitements permettant d'utiliser efficacement, en fonction des besoins du trafic en termes de QoS, les ressources sur l'interface radio, mais également sur les autres interfaces impliquées dans le transport du trafic de données d'un UE.

Un bearer représente une connexion logique entre deux entités du réseau, qui transporte un flux de paquets correspondant à différents types de services (la voix, streaming vidéo, téléchargement de donnée etc) mais ayant les mêmes contraintes de QoS. Les contraintes de QoS peuvent être par exemple, une latence et une gigue réduites, nécessaires au bon fonctionnement du service voix. En revanche, les contraintes de latence sont relâchées pour le téléchargement de données, mais ce dernier requiert un taux d'erreurs plus faible.

Pour répondre à ces contraintes de QoS de chaque type de service, la norme LTE définit un paramètre appelé *QoS Class Identifier* (QCI), permettant de différencier la QoS entre les flux de services différents (figure 1.4). L'UE et les nœuds du réseau tels que l'eNodeB, la SGW, la PGW déterminent le traitement à appliquer aux paquets de données d'un bearer en fonction de la valeur de QCI définie pour ce bearer. Les valeurs du QCI sont caractérisées selon deux grandes catégories de bearer (Table 1.1) :

- les bearers avec débit garanti ou *Guaranteed Bit Rate* (GBR), alloués principalement aux services dits *temps-réels*.

- les bearers sans débit garanti ou (non-GBR), alloués principalement aux services non temps-réels.

Les flux de paquets

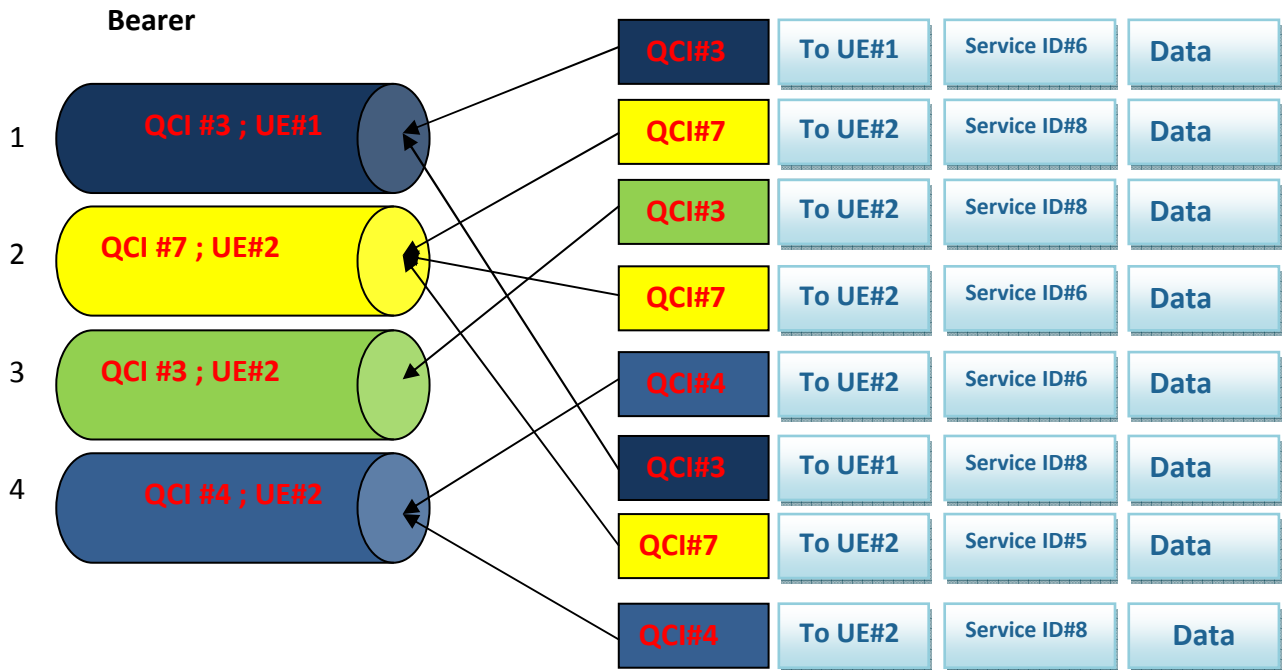


Figure 1.4 : Bearer par défaut et bearer dédié.

De plus, les valeurs du QCI de chaque catégorie de bearer sont définies chacune à travers 3 caractéristiques, liées à la nature du flux que porte le bearer, à savoir la priorité, le délai de transmission et le taux d'erreur (Table 1.1).

QCI	Type de ressource	Priorité	Délai de transmission	Taux d'erreur	Exemples de service
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Voix
2		4	150ms	10^{-3}	TV, streaming vidéo
3		3	50ms	10^{-3}	Jeu interactif
4		5	300ms	10^{-6}	Vidéo à la demande
5	non-GBR	1	100ms	10^{-6}	Signalisation IMS
6		6	300ms	10^{-6}	Vidéo à la demande, services basés sur TCP
7		7	100ms	10^{-3}	Voix, streaming vidéo, jeu Interactif
8		8	300ms	10^{-6}	Bearer EPS par défaut pour des abonnés <i>premium</i> ou <i>privilégiés</i>
9		9	300ms	10^{-6}	Bearer EPS par défaut pour des abonnés non <i>premium</i>

Tableau 1.1 : Valeurs du paramètre QCI en LTE.

1.6.1 Le bearer par défaut

Lorsque l'UE en LTE se connecte au réseau pour la première fois, il se voit attribuer un bearer par défaut ou *default bearer* qui reste établi tant que l'UE est attachée au réseau. Une adresse IP est attribuée à chaque bearer par défaut, l'UE peut également avoir des bearers par défaut supplémentaires et chaque bearer par défaut aura une adresse IP distincte. Le bearer par défaut est systématiquement non-GBR pour éviter une réservation permanente de ressources du fait qu'il soit établi de manière permanente [4].

1.6.2 Le bearer dédié

Les bearers dédiés *dedicated bearers* sont des bearers additionnels correspondants à un ou plusieurs trafics spécifiques (par exemple, VoIP, vidéo, etc.) qui peuvent être établis à n'importe quel moment dès lors que la procédure d'enregistrement au réseau est terminée. Un bearer dédié agit en tant que bearer supplémentaire par-dessus le bearer par défaut et il ne nécessite pas d'adresse IP distincte, car seul le bearer par défaut supplémentaire à besoin d'une adresse IP. Par conséquent, le bearer dédié est toujours lié à l'un des bearer par défaut établis précédemment.

Cependant, contrairement au bearer par défaut, le bearer dédié peut être GBR ou non-GBR.

1.6.3 Le bearer EPS

En fonction de l'interface du réseau à travers laquelle transite le flux de trafic, plusieurs bearers sont définis en LTE (figure 1.5) :

- le radio bearer sur l'interface Uu, entre l'UE et l'eNodeB ;
- le bearer S1, entre l'eNodeB et le SGW (interface S1-U) ;
- le bearer S5/S8, entre la SGW et le PGW.



Figure 1.5 : Le bearer EPS et ses éléments [2].

Les bearers sur ces interfaces forment un bearer agrégé, entre l'UE et le PGW : le bearer EPS (*Evolved Packet System*) qui porte des flux de trafic qui doivent recevoir un même traitement de QoS entre l'UE et le réseau cœur. L'agrégation du bearer radio et du bearer constitue un élément du bearer EPS dit E-RAB (*E-UTRAN Radio Access Bearer*).

1.7 Structure de la trame de l'interface radio LTE

Dans l'interface radio et dans le domaine temporel, le signal est découpé en trames temporelles consécutives de 10 ms. Une trame radio est divisée en dix sous-trames d'1 ms chacune, numérotées de 0 à 9. La sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval), c'est-à-dire l'intervalle de temps de transmission élémentaire pouvant être alloué à un UE. Il existe deux types de structures de trame, illustrés sur les deux figures 1.6 et 1.7 :

- Le type 1 est adapté au mode FDD (Frequency Division Duplexing 1).
- Le type 2 est adapté au mode TDD (Time Division Duplexing 2).

Dans la structure de trame de type 1 (figure 1.6), chaque sous-trame est divisée en deux slots de 0,5 ms chacun. Les slots d'une trame radio sont numérotés de 0 à 19. En FDD, dix sous-trames sont disponibles pour la voie montante (UL pour UpLink) et dix sous-trames sont disponibles pour la voie descendante (DL pour DownLink) par période de 10 ms, puisque les voies montante et descendante opèrent sur des fréquences différentes.

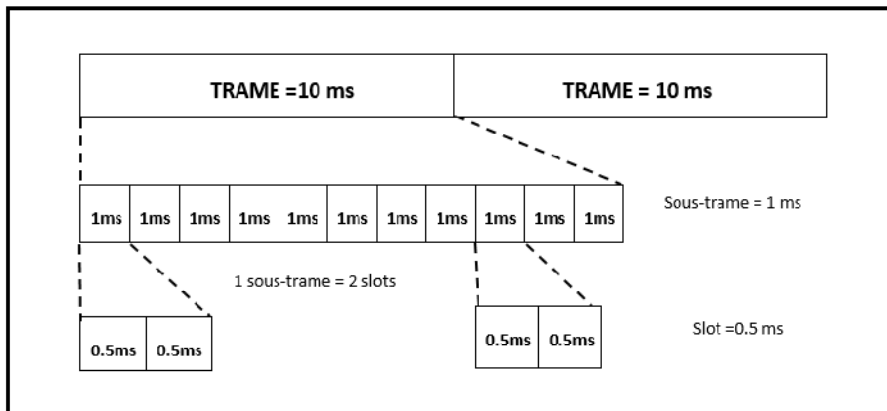


Figure 1.6 : Structure de la trame en FDD.

1. Technique de duplexage permettant la transmission simultanée, dans le temps, des données de la voie montante et descendante à travers deux bandes de fréquences différentes.

Dans la configuration la plus courante, un RB est constitué de 7 transmissions successives et contient donc 84 symboles fréquentiels appelés éléments de ressource ou (Resource Element).

Le bloc de ressource occupe une bande de 180 kHz, il n'est jamais transmis seul mais toujours par paire, une paire dure 1 ms et représente la période fondamentale en LTE [5].

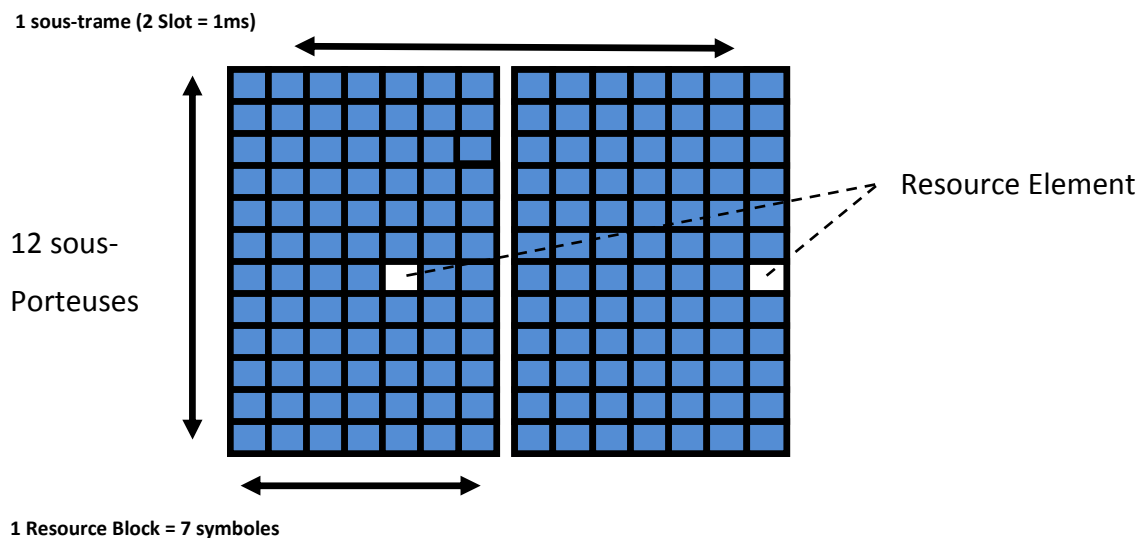


Figure 1.8 : Structure d'un Bloc de ressources.

1.8 Les canaux de l'interface radio LTE

Le concept de canal permet d'identifier les types des données transportées sur l'interface radio (informations de contrôle diffusées, notification d'appels, trafic de données), les caractéristiques de qualité de service associées (priorité du flux et débit minimal), ainsi que les paramètres physiques liés à la transmission (schéma de modulation, type de codage canal, méthode d'ordonnancement). Ces canaux qui constituent des composantes de l'architecture du système sont à distinguer du canal de propagation [1].

Un canal de l'interface radio est un point d'accès à un service proposé (diffusion d'information, notification d'appel ou d'acquiescement, signalisation dédiée,..) par une couche de niveau N, permettant à la couche de niveau N+1 de délivrer à cette dernière des données à traiter (ou juste marquer). On distingue trois types de canaux de l'interface radio LTE :

1.8.1 Les canaux logiques

Un canal logique est caractérisé par le type d'information transportée, on peut distinguer deux types de canaux logiques : les canaux de contrôle et les canaux de trafic. Les canaux logiques de contrôle sont utilisés pour le transfert des informations dans le plan de contrôle, et les canaux logiques de trafic pour le transfert de données utilisateur du plan usager [2].

Canaux de contrôle :

- Les canaux logiques de contrôle en DL sont :

BCCH (Broadcast Control CHannel) : utilisé pour la diffusion des informations système comme le SIB (System Information Block) et MIB (Master Information Block) de l'EUTRAN à l'ensemble des terminaux présents dans une cellule radio.

PCCH (Paging Control CHannel) : utilisé pour transférer les informations de paging (notification d'appels) et les notifications du changement des informations système aux terminaux dans une cellule.

MCCH (Multicast Control CHannel) : est utilisé pour la transmission des informations du réseau à plusieurs terminaux.

- Les canaux logiques de contrôle en UL et DL sont :

CCCH (Common Control Channel) : utilisé pour transmettre les informations des messages de signalisation entre le réseau et l'UE lorsque celui-ci n'a pas de connexion RRC.

DCCH (Dedicated Control Channel) : utilisé pour l'échange d'informations des messages de signalisation entre le réseau et l'UE lorsque celui-ci a une connexion RRC.

Canaux de trafic :

- Les canaux logiques de trafic en DL sont :

DTCH (Dedicated Traffic Control CHannel) : utilisé pour la transmission des informations de trafic dédiées à un utilisateur.

- Les canaux logiques de trafic en UL et DL sont :

MTCH (Multicast Traffic Control CHannel) : utilisé pour la transmission des services en multi-diffusion ou en diffusion avec combinaison du signal reçu de plusieurs eNodeB au niveau de l'UE (MBSFN).

1.8.2 Canaux de transport

Un canal de transport se distingue de la manière dont les données vont être transportées sur la couche physique, les canaux de transport décrivent comment les données sont protégées contre les erreurs de transmission, le type de canal, la protection utilisée, la taille des paquets de données envoyés sur l'interface radio [1].

- Les canaux de transport en UL sont :

ULSCH (UpLink Shared CHannel) : utilisé pour transporter les signaux de contrôle d'utilisateur ou le trafic data.

RACH (Radom Access CHannel) : un canal de transport spécifique supportant un contrôle d'information limité. Il est utilisé durant les premières phases d'établissement de communication ou dans le cas du changement d'état.

- Les canaux de transport en DL sont :

BCH (Broadcast CHannel) : utilisé pour la diffusion d'informations sur la cellule. Il porte exclusivement le BCCH et en particulier le MIB (Master information Block).

DLSCH (DownLink Shared CHannel): équivalent au ULSCH en DL.

PCH (Paging CHannel) : utilisé pour diffuser les informations du paging sur l'ensemble de la cellule.

1.8.3 Canaux physiques

Un canal physique fournit le moyen de transmettre les données issues de la couche de transport. Il va donc correspondre à un sous ensemble constitué d'éléments de la ressource

Chapitre1 Généralités sur le réseau 4G LTE

temps-fréquences. Les canaux physiques sont l'implémentation des canaux de transport sur l'interface radio [1].

- Les canaux physiques en UL sont :

PUSCH (Physical Control Format Indicator CHannel) : utilisé pour la transmission du ULSCH et il porte également les informations de contrôle du PUCCH.

PUCCH (Physical Uplink Control CHannel) : utilisé pour la transmission d'informations de contrôle nécessaires au mécanisme de retransmission de données dit HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) et à l'allocation de ressources.

PRACH (Physical Random Access CHannel) : transporte le préambule de l'accès aléatoire envoyé par les terminaux.

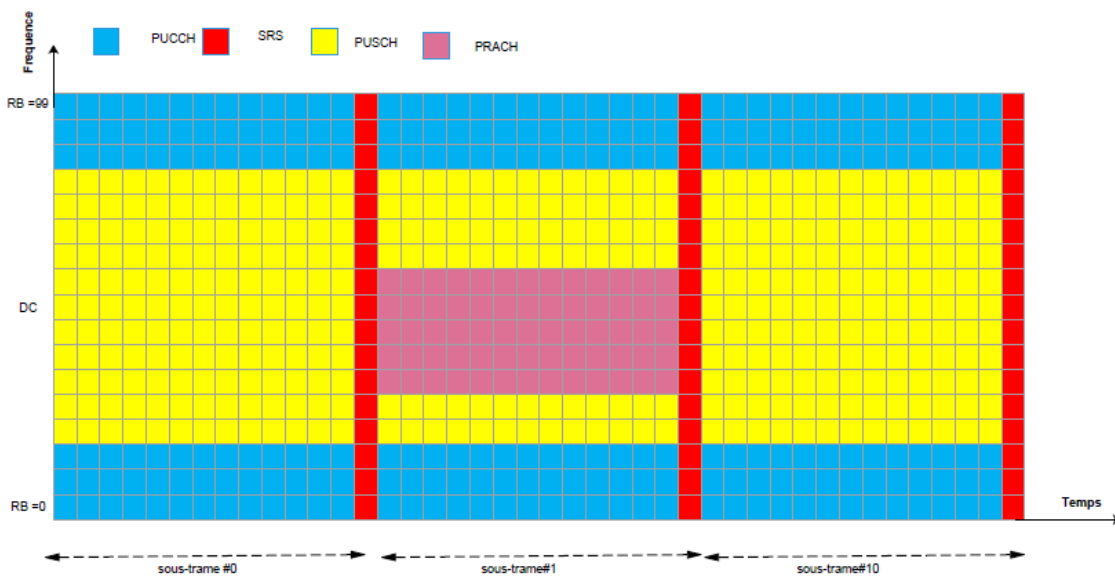


Figure 1.9 : La grille des ressources en UL [6].

Il existe aussi des signaux de référence en UL qui sont utilisés par l'eNodeB pour évaluer la qualité du canal :

DMRS (Demodulation Reference Signal) : Pour estimer le canal afin de permettre une démodulation cohérente à la station de base.

SRS (Sounding Reference Signal) : utilisé pour déterminer la qualité du canal.

Chapitre1 Généralités sur le réseau 4G LTE

La figure 1.9 montre l'emplacement, dans la trame, des différents canaux physiques et des signaux de référence en UL.

- Les canaux physiques en DL sont :

PDSCH (Physical Downlink Shared CHannel) : utilisé pour la transmission du DL-SCH et du PCH.

PDCCH (Physical Downlink Control CHannel) : il porte le DCI (Downlink Control Information) qui indique l'allocation des ressources.

PCFICH (Physical Control Format Indicator CHannel) : il indique le nombre de symboles OFDM utilisé pour la transmission du PDCCH dans une sous-trame.

PBCH (Physical Broadcast CHannel) :) transporte les informations du BCH.

PHICH (PHysical Hybrid ARQ Indicator CHannel) : il porte les acquittements d'HARQ.

Il existe aussi des signaux de référence et des signaux de synchronisation en DL :

- Les signaux de synchronisation sont :

PSS (Primary Synchronization Channel) : permet réaliser la synchronisation au niveau du slot.

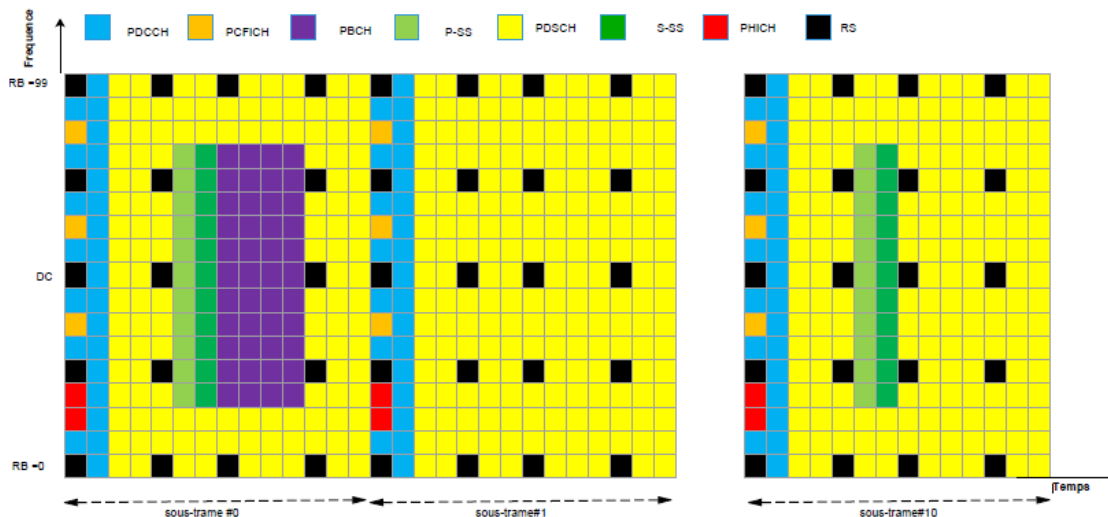


Figure 1.10 : Grille des ressources en DL [6].

SSS (Secondary Synchronization Channel) : permet de connaître le début et la fin de chaque trame.

- Les signaux de référence sont :

RS (Reference Signal) : utilisé par l'UE pour évaluer la qualité du canal.

Les différents canaux physiques en DL sont illustrés avec les signaux de référence sur la figure 1.10.

Le schéma de la figure 1.11 résume la correspondance entre les différents types de canaux :

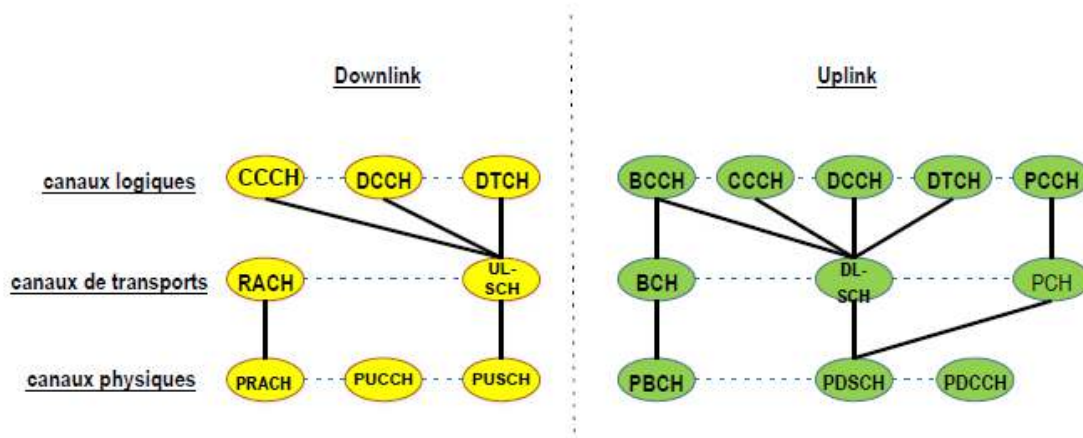


Figure 1.11 : Correspondance des canaux en UL et DL.

1.9 Technique d'accès multiple en LTE

La technique d'accès multiple dite OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technique de multiplexage utilisé pour la LTE en liaison descendante, c'est la combinaison de deux technologies TDMA et FDMA essentiellement. Le principe de la modulation multi-porteuse OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses les symboles du signal que l'on veut transmettre. L'espacement entre sous-porteuses en LTE est fixé à 15 kHz. L'utilisation de l'OFDM permet d'éviter le problème d'interférence entre symboles dû à l'évanouissement

sélectif en fréquence des canaux multi-trajets et permet une transmission sans interférence entre sous-canaux grâce à l'orthogonalité des sous-porteuses. En LTE, les symboles transmis sur les sous-porteuses peuvent être modulés en QPSK, 16-QAM ou 64-QAM. Un inconvénient majeur de la technique OFDM est qu'elle est caractérisée par un fort rapport entre la puissance moyenne et la puissance maximale du signal (abrégé communément en PAPR (*Peak to Average Power Ratio*)).

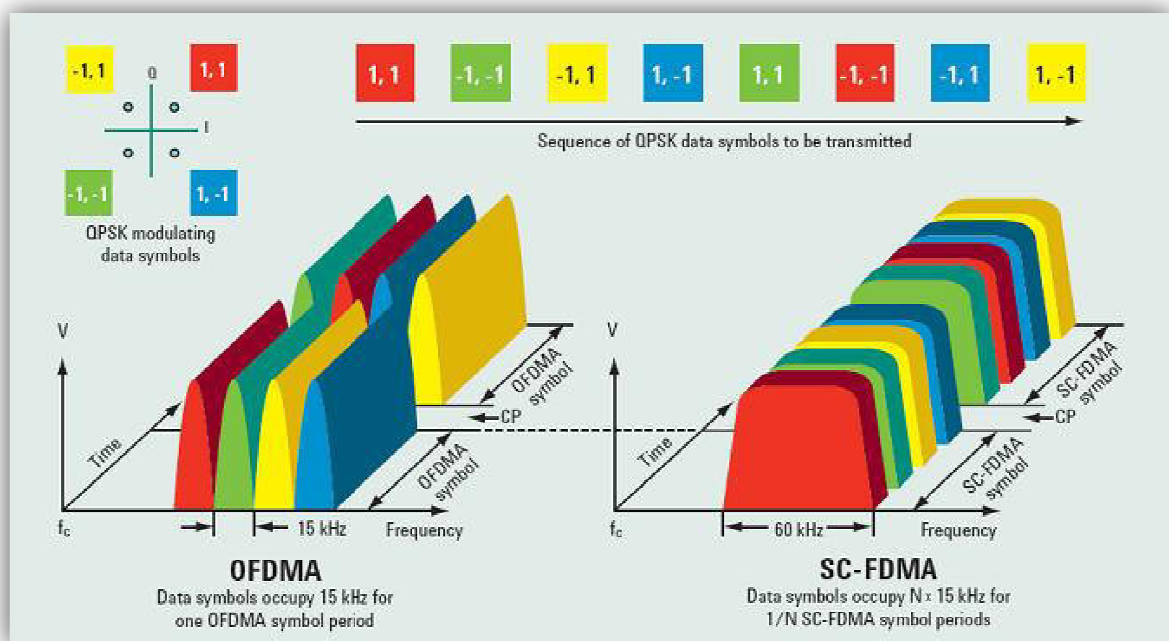


Figure 1.12 : OFDMA et SC-FDMA [5].

Un PAPR élevée nécessite d'augmenter la puissance crête de l'amplificateur d'émission afin de rester dans la plage d'amplification linéaire, ce qui se traduit par une augmentation de coût et de consommation d'énergie de l'UE. Dans la voie montante du LTE, une variante de l'OFDM appelée SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access), est utilisée comme technique d'accès pour pallier ce problème de PARP et les inconvénients qui y sont associés pour les terminaux, tout en conservant une bonne partie des avantages de l'OFDM. Pour la SC-FDMA l'envoi de données se fait en série sur une même porteuse, contrairement à l'OFDM dans laquelle l'envoi de données s'effectue parallèlement sur plusieurs sous-

porteuses (figure 1.12). Ainsi, en UL, les sous-porteuses allouées à un UE donné ont la contrainte d'être toutes contiguës.

1.10 Techniques multi-antennes (MIMO) en LTE

Le MIMO (*Multiple-Input-Multiple-Output*) est une technique de communication radio qui est utilisée dans diverses technologies de nos jours comme le Wi-Fi, la LTE et de nombreuses autres technologies radio. Cette technologie permet d'envoyer plusieurs signaux différents sur des antennes différentes à des fréquences proches pour augmenter le débit ou la portée du réseau. Il vise à améliorer le SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) en voie montante et descendante, augmenter la capacité de la liaison et son efficacité spectrale, ainsi qu'améliorer la fiabilité de la liaison à travers la diversité spatiale.

Les systèmes MIMO permettent d'exploiter les degrés de liberté disponible de deux manières :

1.10.1 Diversité spatiale :

On transmet simultanément un même message sur différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente, cela permet d'augmenter le gain en puissance et réduire la probabilité d'évanouissements sévères [6].

1.10.2 Multiplexage spatial :

Chaque message est segmenté en sous-messages et on transmet simultanément les sous messages différents sur chacune des antennes d'émission, les signaux reçus sur les antennes de réception sont regroupés pour reformer le message entier d'origine. Le multiplexage MIMO permet d'augmenter les débits de transmission. On distingue deux types de multiplexage spatial [7] :

Multiplexage spatial mono-utilisateur (SU-MIMO) : transmet plusieurs flux indépendants d'information sur les mêmes ressources temps-fréquence en les séparent

dans l'espace (figure 1.13). Ces flux indépendants sont destinés au même récepteur, ce qui améliore son débit.

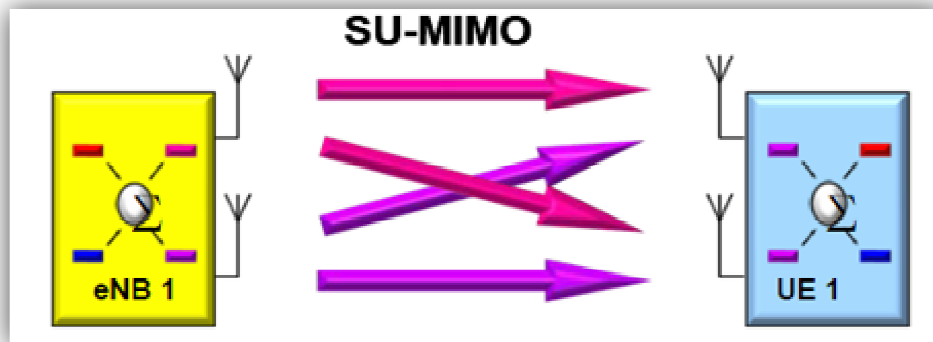


Figure 1.13 : Multiplexage spatiale mono-utilisateur [8].

Multiplexage spatial multi-utilisateurs (MU-MIMO) : transporte les flux de multiplexage à destination de récepteurs différents (figure 1.14), ce qui améliore le débit global du système.

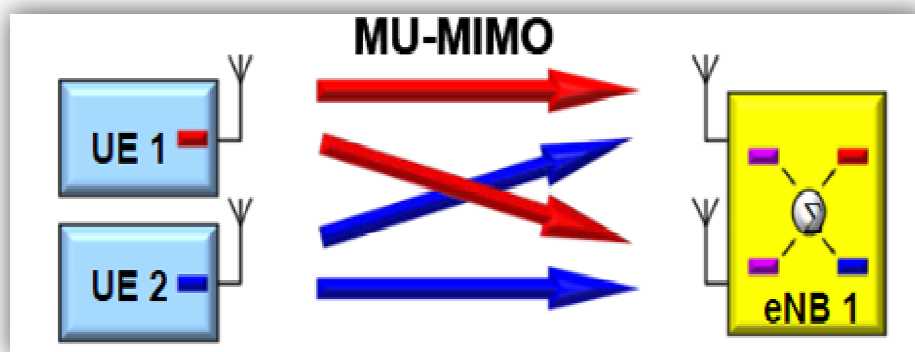


Figure 1.14 : Multiplexage spatial multi-utilisateur [8].

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'architecture de la technologie LTE avec un aperçu de chacun des éléments qui la constituent et ses caractéristiques fondamentales. Nous avons décrit par la suite la pile protocolaire de l'interface radio, sa structure de trame, ses différents canaux, les techniques d'accès multiple ainsi que les techniques multi-antennes. La compréhension de ces aspects nous sera utile pour aborder, sans ambiguïté, les procédures d'accès au réseau, d'établissement de connexion, de gestion de la mobilité ainsi que les échanges des messages de signalisation qui leur sont associés, qui seront développés dans la suite du document.

CHAPITRE 2

2.1 Introduction

Contrairement aux réseaux d'accès fixe comme Internet, il est utilisé dans un réseau radio Le mobile n'est pas connecté statiquement à un point d'accès physique sur le réseau. Et donc, L'accès au réseau doit être demandé à chaque fois par une procédure d'attachement Il souhaite passer un appel ou accéder aux services fournis par l'opérateur du réseau. En outre, Une procédure de pièce jointe est nécessaire pour permettre l'identification et l'authentification De l'UE en plus de sa régionalisation à travers le réseau afin d'assurer l'accessibilité des utilisateurs.

Le trafic des utilisateurs sur le réseau cellulaire implique l'exécution Mécanismes de navigation qui devraient réduire la consommation des terminaux en veille Tout en s'assurant que les utilisateurs restent joignables, ils peuvent passer des appels et Accédez aux services de données lors de vos déplacements. De plus, lorsque l'UE est en Mode de communication Lors d'un appel ou lors de l'utilisation d'un service, le réseau doit pouvoir le faire Pour faire basculer l'UE vers la meilleure cellule qu'elle peut accueillir lorsque vous laissez la cellule en fonctionnement Que l'appel a été effectué, mais a conservé l'appel ou le service.

Dans ce chapitre, nous décrivons les procédures permettant d'intégrer l'accès réseau L'appareil est déplacé en mode veille et en mode en ligne. On verra surtout les échanges Signaux se produisant entre les éléments E-UTRAN et EPC pendant Les différentes étapes qui composent ces procédures.

2.2 Mode veille (Idle Mode)

Après avoir allumé l'appareil et avant de pouvoir enregistrer sur le réseau Pour accéder aux services auxquels l'abonné s'est abonné, l'UE doit d'abord définir le réseau et La cellule avec laquelle il établira son premier contact qui lui permet de s'identifier. Cette procédure est effectuée indépendamment par l'UE en mode veille.

L'état de veille correspond au cas de l'UE où il n'y a pas de contact avec réseau. UE dans cet état est après la mise sous tension de l'appareil (où il est Mode avion) ou lorsque la connexion RRC est relâchée, explicitement (par exemple à la fin Appel ou enregistrement d'une action), ou par implication (par exemple après une Perte de couverture et l'expiration

du timer de maintien) [2]. Dans ce cas, l'UE peut réaliser, selon le besoin, choisir un PLMN (Public Land Mobile Network) lors d'un accès initial ou après rejet par le PLMN courant ; Rechercher des cellules, la sélection et la resélection de cellule ainsi que l'enregistrement et la mise à jour de sa localisation .

2.2.1 Recherche de cellule

La recherche de cellule est la procédure qui permet à un UE, lors de sa mise sous tension, de détecter la présence d'une cellule environnante sur la fréquence porteuse et de l'identifier. Cette procédure est aussi appliquée à chaque fois que l'UE doit effectuer des mesures sur des cellules voisines afin de préparer une opération de resélection ou de handover. Les opérations nécessaires à la recherche de cellule sont basées sur des signaux physiques appelés signaux de synchronisation. Il en existe deux types :

- le signal de synchronisation primaire (Primary Synchronization Signal, PSS).
- le signal de synchronisation secondaire (Secondary Synchronization Signal, SSS).

Ces signaux sont connus de l'UE et possèdent des propriétés temporelles et fréquentielles optimisées pour permettre la synchronisation, qui s'effectue typiquement par des opérations de corrélation (voir 1.8.3). À l'issue de cette opération, l'UE décode l'identifiant physique de la cellule PCI (Physical Cell Identity), réalise des mesures de la qualité du signal reçu, détecte la longueur du préfixe cyclique en voie descendante et détermine le mode de duplexage de la porteuse (FDD ou TDD) et récupère une partie des informations système de la cellule (MIB, SIB1 et SIB2) [9].

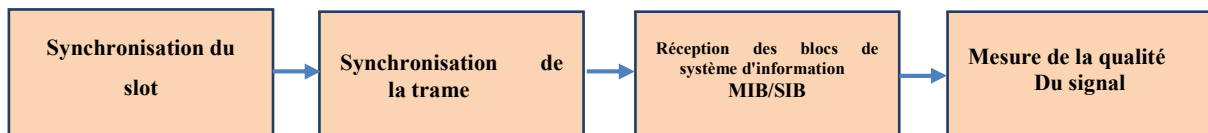


Figure2.1: Opérations de la recherche de cellule.

La figure 2.1 montre les opérations que l'UE doit effectuer pour réaliser une recherche de cellule. Les détails de ces processus sont décrits ci-dessous :

1. L'UE commence à détecter le signal PSS pour acquérir la synchronisation du slot, C'est-à-dire la détermination du symbole OFDM au début d'une sous-trame.
2. Ensuite, il détecte le signal SSS pour obtenir la synchronisation de la trame, c'est-à-dire déterminer le numéro des différentes sous-trames dans la trame.
3. Une fois les signaux PSS et SSS obtenus, l'UE, à partir de SSS, identifie le nombre du groupe de PCI auquel il appartient (note N_{ID}^1 , variant de 0 à 167) et de PSS, l'indice du PCI dans ce groupe (note N_{ID}^2 , variant de 0 à 2). Une combinaison de ces deux Les informations permet à l'UE de créer l'identifiant unique d'une cellule PCI par la relation suivante : $PCI = 3N_{ID}^1 + N_{ID}^2$.
4. Il décode ensuite le canal de radiodiffusion (BCH) pour acquérir :
 - MIB (Master Information Block) : qui fournit la largeur de la bande utilisée, la configuration du PHICH et les paramètres essentiels lui permettant de déterminer la structure et la périodicité des informations système.
 - SIB 1 (System Information Block 1) : qui fournit entre autres, l'identifiant du PLMN, le code de la zone de suivi ou *Tracking Area 1*, la bande de fréquence, les paramètres de sélection de cellule et des informations d'ordonnancement des autres SIB.
 - SIB 2 (System Information Block 2) : qui fournit entre autres, les paramètres du RACH, la configuration des PUCCH et PUSCH ainsi que la fréquence et la largeur de bande en UL.
5. Enfin, il détecte les signaux de référence de la liaison descendante pour réaliser des mesures la qualité du signal.

L'UE dispose à ce stade des mesures de toutes les cellules environnantes et doit donc en sélectionner une seule. Il s'agit de l'opération de sélection de cellule.

2.2.2 Sélection de cellule

Après avoir détecté les cellules environnantes et mesuré la qualité du signal pour chaque Parmi eux, l'UE compare les niveaux de signal des cellules détectées dans Fréquence porteuse, puis vérifie son éligibilité. La cellule est dite éligible lorsqu'elle vérifie Les conditions suivantes [1] :

- Elle fait partie du PLMN (PLMN haute priorité) de l'abonné ou De l'équivalent PLMN.
- Elle n'est pas *barrée*, c'est-à-dire interdite d'accès.

- Elle n'appartient pas à une des zones de localisation interdites à l'UE.
- Le critère radio d'éligibilité est vérifié.

Le critère d'éligibilité radio est vérifié lorsque la valeur de l'indicateur de niveau de signal est RSRP reçu (puissance reçue du signal de référence) mesuré (en décibels) La référence, symbolisée par $Q_{rxlevmeas}$, remplit le critère suivant [9] :

$$S_{rxlev} > 0$$

Où :

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - (Q_{rxlevmin} + Q_{rxlevminoffset}) - P_{compensation} \quad (2.1)$$

Avec :

- $Q_{rxlevmin}$: Un seuil d'éligibilité du niveau du RSRP minimum requis, diffusé dans le bloc d'informations système 1 (SIB 1).
- $Q_{rxlevminoffset}$: un décalage de mesure qui ne s'applique que lorsqu'une cellule est évaluée pour la sélection de cellule à la suite d'une recherche périodique d'un PLMN de priorité supérieure.
- $P_{compensation}$: la différence entre la puissance maximale autorisée dans le sens montant sur la cellule, et la puissance maximale supportée par l'UE. Ce paramètre permet d'éviter que l'UE ne sélectionne une cellule sur laquelle ses messages ne seraient pas reçus par l'eNodeB, même en émettant à sa puissance maximale.

L'UE choisit après comparaison, la meilleure cellule éligible et la procédure de sélection de cellule est achevée. La cellule sélectionnée devient la cellule serveuse de l'UE, ce dernier mesure régulièrement les cellules voisines et les compare à la cellule serveuse et tant que celle-ci reste la meilleure (du point de vue éligibilité), on dit que l'UE *campe sur la cellule*.

A ce stade, l'UE doit, si nécessaire (accès initial au réseau), signaler sa présence dans la zone de suivi à laquelle appartient la cellule sélectionnée, au moyen d'une procédure d'attachement NAS (voir 2.3.3).

1. Tracking Area (TA) : désigne en LTE une zone de localisation, constituée de cellules voisines les unes des autres. Chaque cellule du réseau appartient à une et une seule TA dont elle diffuse l'identifiant [2].

En mode veille (comme en mode connecté), l'UE peut être soumise à un déplacement de l'utilisateur à l'intérieur ou hors de la cellule serveuse, il est fort probable que la meilleure cellule éligible change d'un emplacement à l'autre. Il lui faut dans ce cas procéder à une resélection de cellule.

2.2.3 Resélection de cellule

En mode veille, les mécanismes de resélection et de sélection de cellule gèrent complètement la mobilité de l'UE. La resélection de cellule consiste pour l'UE, à choisir la meilleure cellule (qui remplit les critères d'éligibilité cités précédemment) lorsqu'il est en déplacement. En effet, le niveau du signal de la cellule serveuse et des cellules voisines varie en fonction de la mobilité de l'utilisateur, l'UE doit donc mesurer les cellules et les comparer à la cellule sur laquelle *il campe*, puis établir un classement qui lui permettra de procéder à la resélection de la meilleure cellule éligible [9].

Les mesures effectuées sur les cellules sont réalisées par l'UE de façon régulière. Cependant, le déclenchement obéit à des règles définies par la norme pour limiter leur nombre et réduire ainsi la consommation d'énergie au niveau du terminal. Ces règles sont les suivantes :

- si $Srxlev > SintraSearch$ l'UE n'est pas obligé de réaliser des mesures sur les cellules voisines.
- dans le cas contraire ($Srxlev \leq SintraSearch$) ou lorsque $SintraSearch$ n'est pas configuré, l'UE effectue tout le temps ces mesures.

Où $Srxlev$ est défini dans l'équation (2.1).

L'UE procède à la resélection après avoir calculé les grandeurs R_n , pour les cellules voisines vérifiant les critères d'éligibilité et R_s pour la cellule serveuse :

$$R_s = Qmeas_s + Qhyst$$

$$R_n = Qmeas_n - CellQoffset$$

Où

$Qmeas_s$ et $Qmeas_n$: sont les RSRP mesurés (en unités de dBm) au niveau de la cellule serveuse et voisines respectivement.

Q_{hyst}: Est la valeur de l'hystérésis (exprimé en unités de dBm) à appliquer au RSRP de la cellule serveuse. Il sert à maintenir l'UE sur la cellule serveuse tant que la différence entre les niveaux de RSRP n'est pas trop importante (typiquement 3 dB) et à réduire le phénomène de *ping-pong* entre deux cellules.

CellQoffset: Le décalage (exprimé en unités de dB) appliqué aux cellules voisines, utilisé dans les critères de classement.

L'UE ne doit resélectionner une nouvelle cellule que si les deux conditions suivantes sont remplies :

- $R_n > R_s$ Pendant la durée de resélection de la cellule.
- Plus d'une seconde s'est écoulée depuis que l'UE a campé sur la cellule serveuse.

Notons que lorsque l'UE se déplace rapidement, il doit être capable de détecter plus vite le changement des RSRP mesurés. Pour cette raison, la norme prévoit que l'UE adapte la durée de resélection à sa vitesse de déplacement.

L'UE peut être amenée à quitter le mode veille lorsque l'utilisateur a besoin d'accéder à un service ou lorsqu'il reçoit une notification d'appel. L'UE établit dans ce cas une connexion RRC et se trouve en mode connecté, également appelé RRC_CONNECTED au niveau de l'interface radio.

2.3 Mode connecté (Connected mode)

Lorsque plusieurs UEs en mode veille demandent l'accès au réseau, ils doivent utiliser des ressources qui sont accessibles à l'ensemble des utilisateurs (un canal physique partagé). De ce fait, s'ils émettent simultanément pour demander l'accès au réseau, ils pourraient alors utiliser les mêmes ressources disponibles et un phénomène de collision se produit. L'objectif de la procédure dite d'accès aléatoire ou *Random Access* (RA) est de limiter les collisions d'une part et les résoudre quand elles se produisent.

2.3.1 Accès aléatoire

Le principe de cette procédure repose sur le fait que les UEs utilisent chacun une séquence aléatoire dite *préambule* prise dans un jeu prédéfini. La probabilité de collision est d'autant plus faible que le nombre de séquences est grand. Si les UEs sélectionnent des préambules différents, l'eNodeB pourra les distinguer même s'ils émettent simultanément.

La procédure d'accès aléatoire est requise dans les cas suivants :

- l'UE passe du mode veille au mode RRC_connected.
- l'UE est en mode RRC_connected et réalise un handover vers la cellule de destination.
- rétablissement d'une connexion RRC lors de sa relâche implicite (perte de couverture par exemple)
- l'UE a besoin de transmettre des données dans le sens UL ou doit recevoir des données dans le sens DL quand il se trouve dans le mode RRC_connected désynchronisé (ne dispose plus de canal PUCCH pour demander une allocation de ressources à l'eNodeB suite à une temporisation de synchronisation expirée).

Notons que la procédure d'accès aléatoire est donc toujours déclenchée par l'UE mais peut être démarrée par une commande de handover envoyée par l'eNodeB (ordre sur le PDCCH).

Contention-Based Random Access Procedure

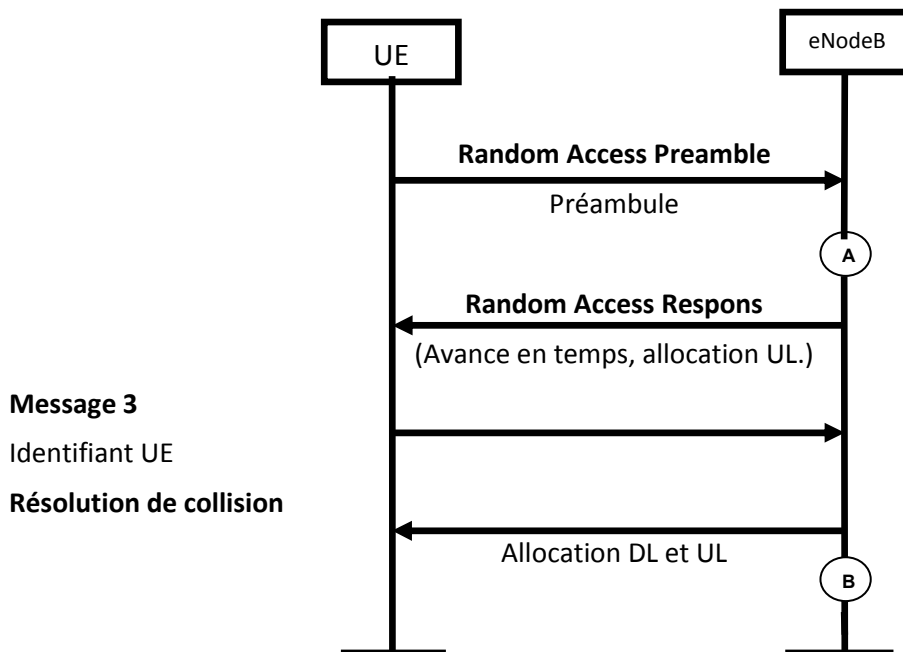


Figure2.2: Procédure d'accès aléatoire.

La norme LTE prévoit deux modes d'accès aléatoire selon le mode de sélection du préambule. Lorsque la sélection de ce préambule est réalisée par l'UE lui-même, on parle d'accès aléatoire avec préambule non dédié ou *contention based RA* et lorsqu'un préambule

dédié est alloué à l'UE par l'eNodeB source, on parle d'accès aléatoire avec préambule dédié ou *non contentionbased RA*. Le réseau lance cette procédure en cas de handover de l'UE afin de maintenir la latence du transfert intercellulaire sous contrôle en accélérant l'accès du mobile puisque il n'y a pas de collision dans ce cas.

Le procédure d'accès aléatoire est réalisée selon les étapes illustrées sur le figure et décrites ci-dessous :

1. émission du préambule par l'UE sur le RACH dans la liaison montante.
2. réponse de l'eNodeB (dite aussi *Message 2*) envoyée sur le DL-SCH pour acquitter la réception du préambule et indiquer l'allocation de ressources dans le sens UL ainsi que l'avance de temps que doit appliquer l'UE.
3. première émission en UL sur le UL-SCH du *Message 3* (demande de connexion RRC ou une unité de données MAC). Dans le message de demande de connexion RRC, l'UE envoie son identifiant qui est utilisé par l'eNodeB pour résoudre la collision s'il y a lieu.
4. réponse de l'eNodeB au Message 3, où l'eNodeB renvoie les l'identifiant de l'UE qui permet la résolution d'une collision éventuelle. Dans ce cas, uniquement l'UE qui a reçu son identifiant continue la transmission.

Notons que la sélection du préambule n'est pas indiquée dans ces étapes puisqu'elle est réalisée soit par l'UE, soit par l'eNodeB, suivant le mode d'accès aléatoire. Notons également que la dernière étape n'est pas effectuée dans le mode d'accès aléatoire *non contention based*.

Le message 3 dans la procédure d'accès aléatoire peut être une de demande de connexion RRC. En effet, la procédure d'établissement d'une connexion RRC est impérative pour pouvoir transférer des données ou transmettre de la signalisation (les messages NAS sont concaténés au message RRC dans l'interface radio).

2.3.2 Etablissement de connexion RRC

La procédure d'établissement de connexion RRC est toujours déclenchée par l'UE mais peut être également déclenchée par le réseau. Par exemple, l'UE déclenche l'établissement d'une connexion RRC lorsque l'utilisateur demande l'accès à un service (naviguer sur Internet ou envoyer un courriel). L'établissement d'une connexion RRC peut être aussi

déclenchée par l'UE quand il resélectionne une cellule qui se trouve dans une nouvelle zone de suivi et doit effectuer la procédure de signalisation correspondant à la mise à jour de localisation. Le réseau déclenche la procédure d'établissement de connexion RRC lorsqu'il envoie un message de paging pour notifier un appel entrant à destination de l'UE ou lui permettre de recevoir un message.

L'établissement de la connexion RRC implique l'établissement d'un bearer de signalisation. La procédure d'établissement de connexion RRC se déroule selon les étapes suivantes (figure 2.3) [4] :

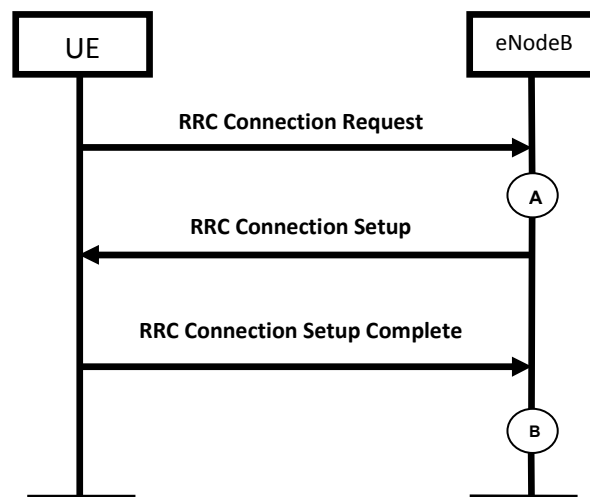


Figure2.3:Etablissement de connexion RRC.

1. l'UE procède à l'envoi du message *RRC Connection Request* en indiquant la raison (*Establishment Cause=Mobile Originating Signaling*) qui signifie que la connexion est demandée pour l'attachement au réseau, le détachement du réseau ou la mise à jour de localisation.
2. l'eNodeB répond avec un message *RRC Connection Setup* si la demande de connexion de l'UE est acceptée. L'eNodeB indique dans ce message les paramètres à utiliser par l'UE pour transmettre des messages sur un canal logique dédié. Ce premier échange aboutit à l'établissement du bearer radio de signalisation SRB 1 (*Signaling Radio*

Bearer1), sur lequel l'UE pourra envoyer et recevoir des messages RRC ainsi que des messages NAS.

3. l'UE acquitte l'eNodeB par le message *RRC Connection Setup Complete* envoyée à travers le SRB1 et auquel il concatène le message NAS *Attach Request* pour une demande d'enregistrement au réseau.

A partir de cet acquittement, l'UE se trouve en mode RRC_CONNECTED. En mode connecté, l'accès à la plupart des services impose un enregistrement préalable de l'UE à travers une procédure d'attachement au réseau, en particulier pour les services qui nécessitent une identification de la souscription associée à l'UE ou pour réaliser la facturation. La procédure d'attachement au réseau doit aussi se faire pour informer le réseau lorsque l'UE change de zone de localisation.

2.3.3 Attachement au réseau

La procédure d'attachement avec établissement de bearer EPS initial est représentée dans La figure 2.4, les différents échanges de signalisation sont décrits ci-dessous [1] :

1. l'UE établit la connexion RRC avec l'eNodeB à l'issue de laquelle il lui envoie une requête d'attachement à travers un message NAS *Attach Request* encapsulé dans le message *RRC Connection Setup Complete*.
2. l'eNodeB relaiera au MME le message NAS *Attach Request* encapsulé dans le message *Initial Context Setup Request* du protocole S1-AP. L'UE indique dans ce message des informations permettant au MME de l'identifier, de connaître les capacités du mobile et de vérifier l'intégrité du message transmis. Il lui indique également à travers la requête *PDN Connectivity Request*, qu'il souhaite l'établissement d'un bearer avec le PGW.
3. le MME envoie à l'eNodeB le message *Initial Context Setup Request* du protocole S1- AP pour qu'il établisse un contexte pour l'UE. Ce message S1-AP encapsule également un message NAS *Attach Accept* confirmant l'enregistrement de ce dernier au réseau. Ce message contient notamment un message NAS *Activate Default EPS Bearer ContextRequest* destiné à l'UE qui permet au MME de répondre à la demande initiale du mobile d'établir un bearer EPS par défaut pour le transfert de données.
4. l'eNodeB relaiera à l'UE les messages NAS *Attach Accept* et *Activate Default EPS Bearer Context Request* concaténés au message *RRC Connection Reconfiguration*.

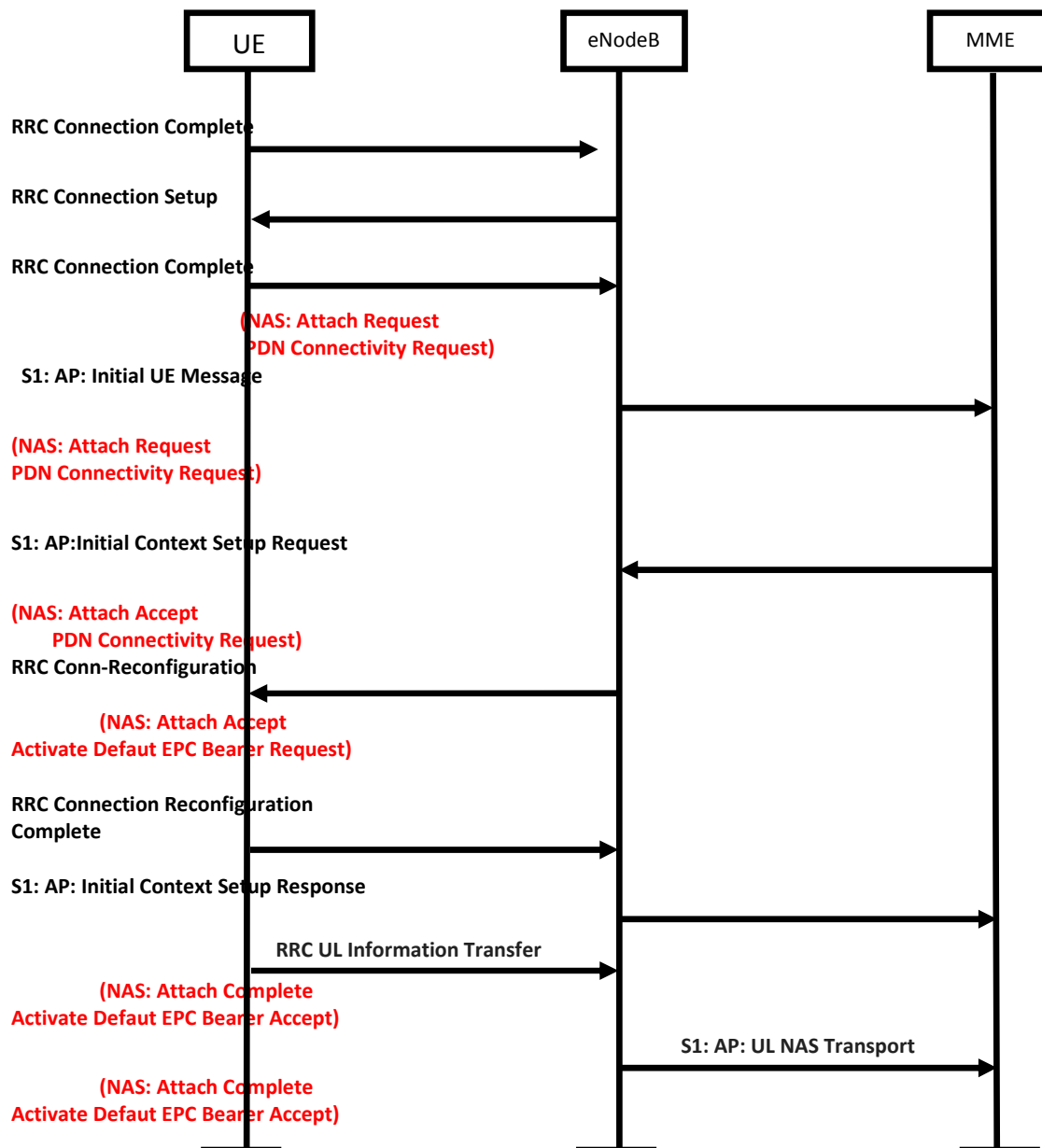


Figure2.4: Procédure d'attachement avec établissement de bearer EPS initial.

5. Sur réception d'une réponse positive de l'UE *RRC Connection Reconfiguration Complete*, l'eNodeB informe le MME, à travers le message du protocole S1-AP *Initial Context Setup Response*, que l'E-RAB (associé au bearer EPS par défaut) a bien été établi. Il doit alors être prêt à recevoir des données de la SGW pour ce E-RAB.

6. L'UE termine la procédure NAS d'attachement en retournant au MME le message *Attach Complete* ainsi que l'acquiescement pour l'activation du contexte de bearer EPS (message *Activate Default EPS Bearer Accept*). Ces messages NAS sont encapsulés sur l'interface radio dans le message *RRC UL Information Transfer*, et dans le message *S1-AP ULNAS Transport* sur l'interface S1.

2.3.4 Handover

Le Handover est un mécanisme essentiel qui garantit la mobilité dans un réseau LTE permettent d'effectuer constamment des mesures sur la cellule serveuse et les cellules voisines et sa principale fonction est de maintenir le flux de trafic lorsque l'UE se déplace le long du réseau. L'idée derrière cela est simple : lorsqu'un UE perd la couverture radio d'eNodeB source alors qu'elle s'approche d'une autre couverture radio eNodeB, une nouvelle connexion doit être établie sur cette nouvelle station de base et la connexion avec l'ancien doit être annulée. Par conséquent, le transfert se produit généralement lorsque le signal eNodeB de service se détériore, ce qui provoque une mauvaise qualité de communication entre l'UE et le réseau. En effet, les capacités de l'UE en mode connecté sont les mêmes qu'en mode veille où l'UE est capable de détecter et faire des mesures sur les cellules voisines (voir 2.2).

En outre, un transfert peut être nécessaire pour favoriser l'équilibrage de la charge réseau même si la puissance et la qualité du signal de la station de base actuelle sont bonnes. Autre potentiel

Les raisons de déclencher un processus de transfert sont la nécessité de l'UE pour une meilleure QoS, des coûts plus bas, plus de bande passante, etc., ce qui peut amener l'UE à rechercher des stations de base offrant de meilleures conditions de service[10].

Remontée des mesures

L'UE mesure pour chaque cellule détectée le niveau du signal qu'il reçoit, puis compare ce niveau à celui de la cellule serveuse et par rapport à certains seuils configurés au préalable. La remontée des mesures se fait alors sur événement (*event-triggered*), c'est à dire l'UE informe l'eNodeB lorsque l'évènement survient. Ce dernier est au préalable

configuré par l'eNodeB au moyen du protocole RRC, qui indique notamment le ou les seuil(s) radio associé(s) au critère de déclenchement et la durée pendant laquelle ce critère doit rester vérifié (*time-to-trigger*). Plusieurs types d'événements sont définis dans le LTE, parmi lesquelles nous citons les plus probables :

L'évènement A1 : La qualité du signal dans la cellule source est supérieure à un seuil cible.

L'évènement A2 : la qualité du signal de la cellule serveuse devient inférieure au seuil.

L'évènement A3 : La qualité du signal dans au moins un eNodeB inter fréquence ou intra fréquence voisine est supérieure à source cellule.

L'évènement A4 : le niveau du signal d'une cellule voisine devient supérieur au seuil.

L'évènement A5 : le niveau du signal de la cellule serveuse devient inférieure au seuil 1, tandis qu'une celui de la cellule voisine devient supérieur au seuil 2.

Notons que la procédure de handover peut être réalisée entre les deux eNodeB via l'interface X2 si elle existe, ou, à défaut, par l'intermédiaire du MME via l'interface S1. Dans les deux cas cependant, la procédure sur l'interface radio est identique. L'utilisation de l'interface S1 pour le handover est nécessaire lorsque l'opérateur ne peut mettre en oeuvre d'interface X2 entre certains eNodeBs. La procédure de signalisation via l'interface X2, indiquée sur la figure 2.5 est décrite comme suit :

Procédure du Handover

1. lorsque l'UE établit un bearer radio, l'eNodeB source envoie à l'UE un message de reconfiguration de connexion RRC (*RRC Connection Reconfiguration*) contenant la configuration de la mesure.
2. l'UE envoie des rapports de mesure (*Measurement Report*) à l'eNodeB source en fonction des résultats de la mesure.
3. l'eNodeB source prend une décision de handover (*Handover Decision*) basée sur les rapports de mesure.
4. si un handover est décidé, l'eNodeB source envoie un message de demande de handover à l'eNodeB de destination (*Handover Request*) pour lui demander de se préparer au handover.

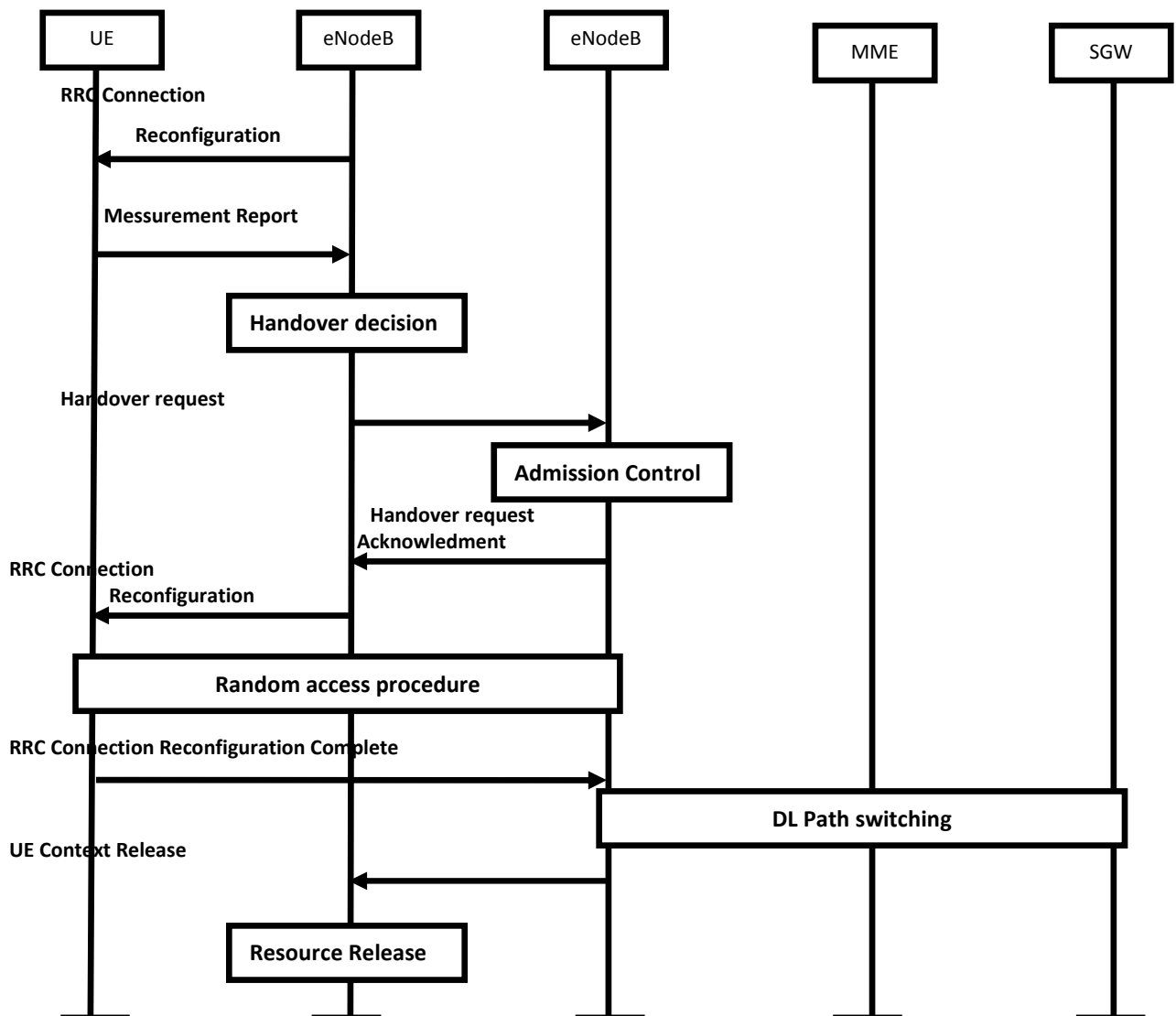


Figure 2.5 : Procédure du handover.

5. l'eNodeB de destination effectue alors un contrôle d'admission (*Admission Control*) en vérifiant, en fonction des informations de qualité de service du bearer EPS, s'il dispose de ressources pour accueillir l'UE.
6. l'eNodeB de destination prépare les ressources pour le handover, puis envoie à l'eNodeB source un message pour acquitter la demande de handover (*Handover Request Acknowledgement*).
7. l'eNodeB source envoie à l'UE un message de reconfiguration de la connexion RRC (*RRC Connection Reconfiguration*) indiquant que le handover doit commencer.

8. l'UE effectue une procédure d'accès aléatoire (*Random Access Procedure*) vers l'eNodeB de destination pour réaliser la synchronisation en UL.
9. après avoir réussi l'accès à la cellule de destination, l'UE lui envoie un message *RRC Connection Reconfiguration Complete* indiquant que la procédure de handover est terminée.
À ce stade, l'eNodeB de destination peut commencer à envoyer des données à l'UE.
10. le basculement du chemin de données DL (*DL Path Switching*) est effectué au niveau de l'EPC.
11. l'eNodeB de destination envoie à l'eNodeB source un message de relâche du contexte de l'UE (*UE Context Release*), pour l'informer du succès du handover et déclencher la relâche des ressources (*Resource Release*) sur l'eNodeB source.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les procédures de recherche, sélection et resélection de cellule qui se produisent en mode veille de l'UE. Nous avons par la suite présenté les échanges de signalisation des différentes étapes qui permettent l'accès au réseau d'un UE en mode connecté, en commençant par l'accès aléatoire, jusqu'à arriver à l'attachement au réseau et ceci en passant par l'établissement de la connexion RRC. Les mécanismes de maintien de service en mobilité à travers la procédure de handover, ont été explicités et la cinématique des flux de signalisation décrite en détail.

La compréhension des échanges de signalisation qui interviennent dans ces différentes procédures ainsi que les interfaces du réseau mises en contribution est primordiale pour aborder le chapitre suivant dans lequel nous décrirons l'optimisation des indicateurs clé de performance.

CHAPITRE 3

3.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de décrire les principes de l'optimisation d'un réseau radio LTE il explique les différentes étapes ainsi que les outils utilisés dans le processus d'optimisation.

L'optimisation du réseau d'accès LTE fait référence à deux phases primordiales : la phase de *pré-optimisation* qui s'effectue pendant le déploiement progressif du réseau et après sa mise en service lorsqu'il y a besoin d'installer un nouveau site et la phase d'*optimisation continue* dite aussi optimisation basée sur les compteurs 1 (*counter based optimization*) qui s'effectue de façon régulière, dès la mise en service du réseau. Les résultats et le niveau du travail d'optimisation réalisé ont un impact direct sur les performances futures du réseau en termes de stabilité capacité. Une bonne optimisation du réseau peut réduire significativement le niveau d'interférence global du réseau, améliorer le taux de réussite de l'établissement de connexions, réduire les interruptions de service, améliorer le débit des données, augmenter le taux de réussite des transferts (*handover*) entre cellules dans le réseau entier et améliorer la capacité du réseau.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les deux phases de pré-optimisation et d'optimisation continue des réseaux d'accès radio LTE et décrire les indicateurs clés de performance ou KPI (*Key Performance Indicators*). Nous porterons une attention particulière à la phase d'optimisation continue que nous exposons en détail car elle constitue l'objet de notre travail.

3.2 Pré-optimisation du réseau d'accès radio LTE

Une fois qu'un réseau LTE est déployé et avant sa mise en service, il est nécessaire d'effectuer une pré-optimisation où la procédure courante consiste à diviser le réseau en groupes de sites ou *clusters* et à optimiser ces clusters de manière à atteindre les valeurs de seuil des indicateurs clés de performance, exigées par l'opérateur.

1. Par référence aux compteurs qui collectent, au niveau de l'eNodeB, les événements qui se produisent au niveau du plan de contrôle du réseau d'accès.

Le taux de pré-optimisation nécessaire avant la mise en service du réseau dépend de la qualité de la planification qui a été réalisée avant son déploiement.

Les modifications opérées et les actions exécutées au cours de la phase de pré-optimisation sont essentiellement de nature physique, i.e. liées au matériel (par exemple, les tilts et les azimuts des antennes, puissance et activation de certaines fonctionnalités de l'eNodeB comme le MIMO, les hauteurs des sites, etc.), bien qu'elles puissent inclure également certaines modifications de paramètres permettant d'optimiser la couverture et la qualité du réseau.

Comme il n'y a pas/très peu de trafic de données sur le réseau, les compteurs d'évènements (par exemple, le nombre de tentatives de connexion) sur le plan de contrôle permettant d'évaluer les KPI ne fournissent pas d'informations statistiquement fiables. Par conséquent, les *drives tests* constituent dans ce cas la principale méthode d'optimisation avant la mise en service du réseau.

3.2.1 Etapes de la pré-optimisation

La procédure de pré-optimisation comporte les étapes suivantes [11] :

Vérification par site

La vérification par site ou *Single Site Verification (SSV)* constitue la première étape à effectuer progressivement, au cours du déploiement du réseau, la vérification du fonctionnement de chaque nouveau site. Le SSV a pour but de veiller à ce que chaque site soit correctement installé et que les paramètres soient correctement configurés. En d'autres termes, le SSV implique l'exécution d'une procédure de vérification basée sur des mesures collectées via un drive test réalisé sur un nouveau site.

Vérification par cluster

L'étape de vérification par cluster peut être effectuée lorsque plus de 80% des sites ont été déployés dans le cluster en question. Comme pour le SSV, la vérification dans cette étape du processus est réalisée à travers un drive test effectué sur l'ensemble des sites qui constituent le cluster. Les résultats de ce drive test permettent de vérifier la configuration physique des sites tels que le tilt et l'azimut de l'antenne, la puissance de transmission, les paramètres du handover, et la liste des cellules voisines, afin de minimiser les interférences et améliorer l'exécution du handover. La planification des fréquences par cluster devrait être

revue et affinée au cours de cette étape afin de minimiser les interférences et ainsi améliorer les performances radio du réseau. Même s'ils ne sont pas très significatifs au stade de déploiement, les KPIs peuvent être utilisés afin d'analyser le fonctionnement du réseau d'accès au niveau du plan de contrôle.

Amélioration des performances du réseau

Basées sur les résultats des analyses effectuées sur les mesures récupérées du drive test ainsi que sur les KPIs collectés, les causes des dégradations des performances sont déterminées et/ou des possibilités d'augmenter les performances sont identifiées. L'objectif de cette étape consiste à élaborer des solutions et des actions à entreprendre afin d'améliorer le fonctionnement du réseau d'accès ainsi que sa QoS. Ces actions sont exécutées sous forme de modifications réalisées sur les sites au niveau du matériel ou de sa configuration. Les modifications possibles du matériel que l'on peut faire au niveau des sites déployés sont (3.1) [9] :

- l'ajustement des azimuts des antennes.
- l'ajustement des tilts des antennes.
- l'allocation des puissances des eNodeB.
- le changement de la hauteur.
- le changement des antennes.
- la modification des emplacements des sites.

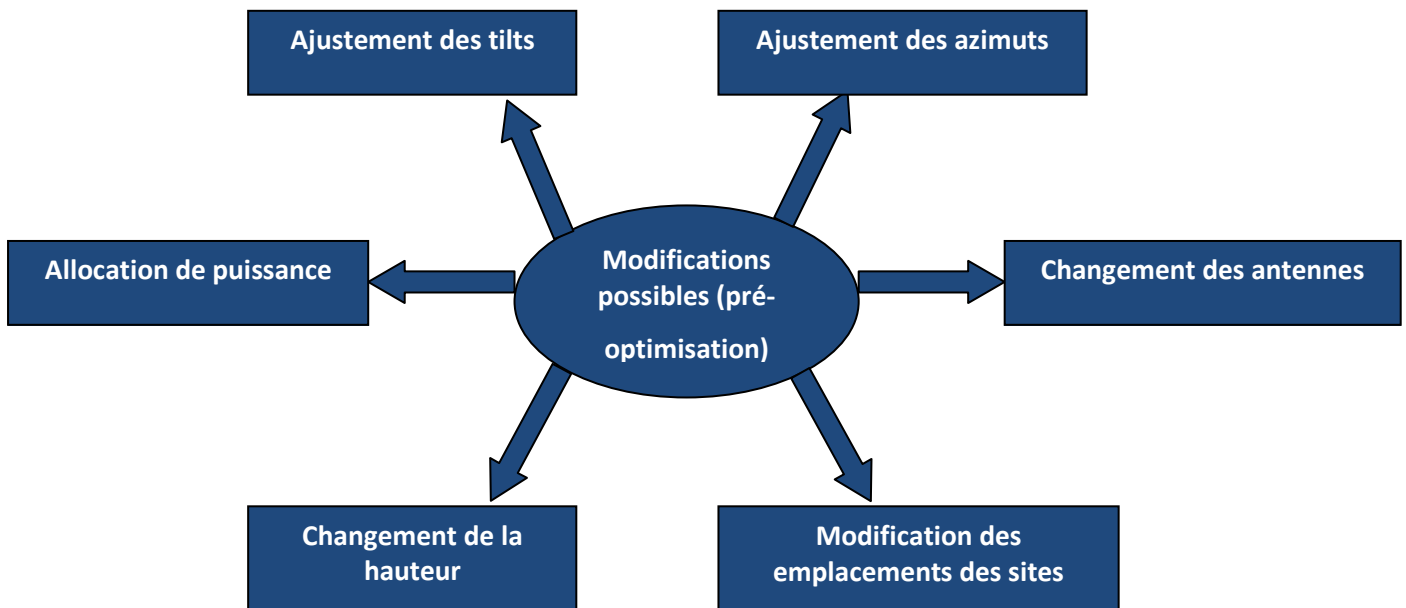


Figure 3.1 : Modifications possibles pour la pré-optimisation du réseau.

L'azimut est la direction dans le plan horizontal, dans laquelle l'antenne émet la majeure partie de sa puissance. L'azimut est mesuré depuis le nord à partir de 0 degré (inclus) à 360 degré (exclu) dans le sens rétrograde (sens des aiguilles d'une montre) : ainsi l'Est est à 90 degré, le Sud au 180 degré et l'Ouest au 270 degré. Il peut être envisagé un ajustement de l'azimut en orientant l'antenne de l'eNodeB de façon à éviter les toits les plus proches dans la direction principale de l'azimut.

Le tilt est une inclinaison verticale du lobe principal d'une antenne qui peut être effectuée de deux façons :

Mécanique : c'est à dire par une simple inclinaison physique de l'antenne dans la direction souhaitée, mais en effet l'inclinaison n'est appliquée que sur le lobe principal tandis que les lobes secondaires restent constants, ce phénomène n'est pas pris en considération durant la planification du système et peut engendrer des effets indésirables comme le problème d'interférences.

Électrique : en appliquant un déphasage des signaux dans les différents dipôles qui constituent l'antenne et ainsi le changement de ce paramètre est appliqué pour tous les lobes et sur tout le rayon de l'azimut sans toucher à l'inclinaison physique de l'antenne.

L'ajustement du tilt peut être utilisé pour réduire le dépassement de couverture (*overshooting*) du site et limiter ainsi les interférences inter-cellulaires ou au contraire pour augmenter la portée maximale de la cellule afin d'assurer la couverture radio pour plus d'utilisateurs.

Le contrôle de puissance ou *power control* est un mécanisme qui permet d'ajuster la puissance de transmission sur les RB qui constituent les symboles OFDM des canaux de contrôle PDCCH

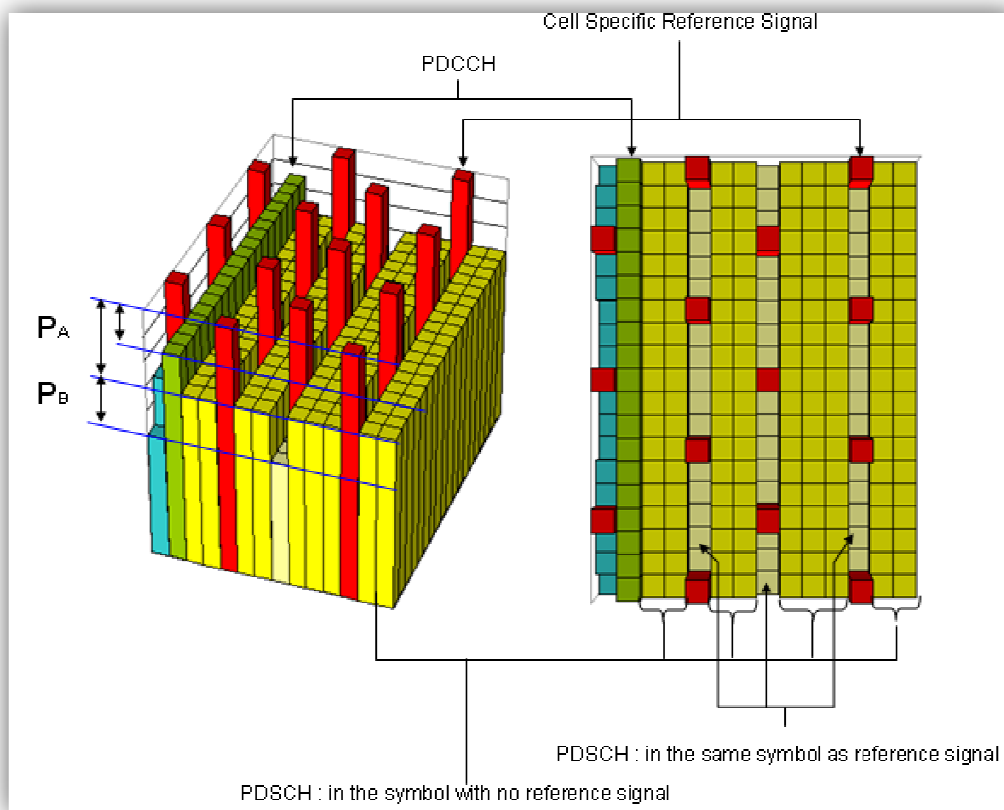


Figure 3.2 : Paramètres d'offset pour l'allocation de puissance [11].

et de données PDSCH pour améliorer les performances de détection et par conséquent améliorer la couverture et le débit de la cellule. En effet, comme le montre la figure 3.2, en LTE certains symboles de la trame portent des RB correspondants aux signaux de référence (RS) alors que d'autres non et ceci sur les deux types de canaux (PDCCH et PDSCH). Comme les RS sont utilisés pour effectuer les mesures et estimer certains paramètres de la couche physique, il est naturel de leur allouer plus de puissance.

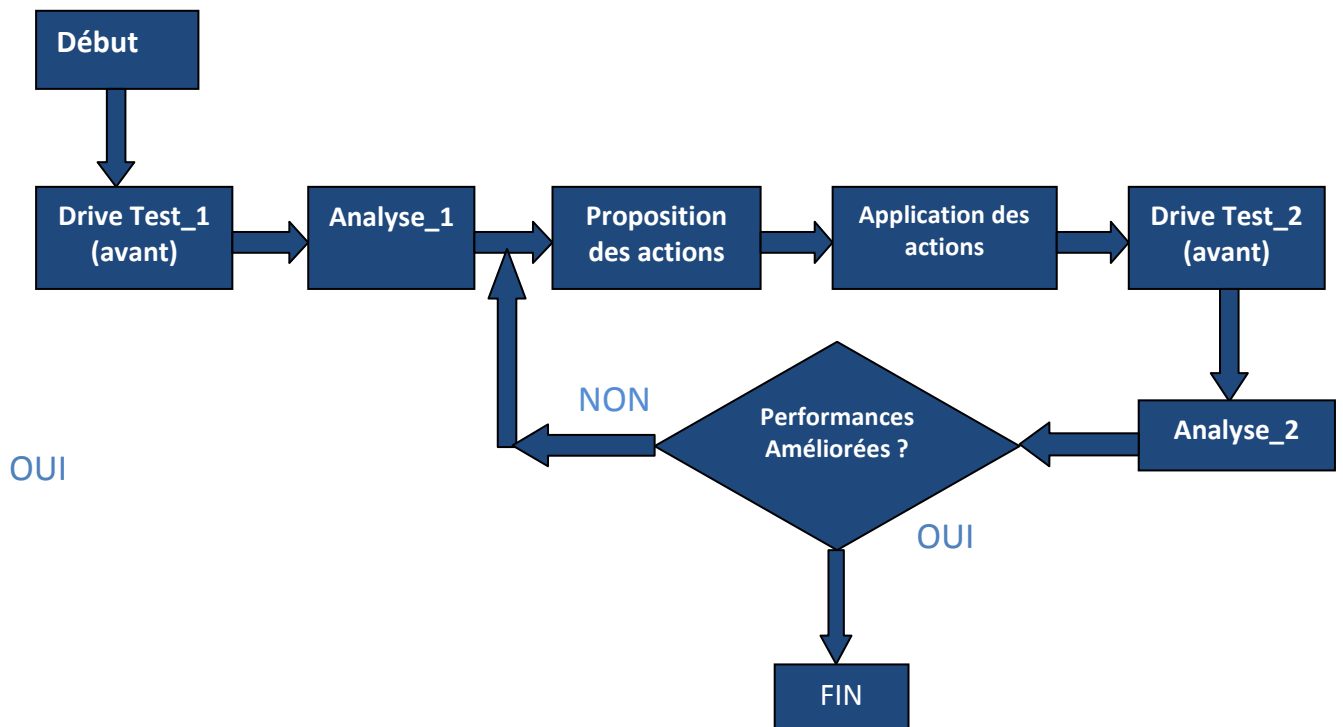


Figure 3.3 : Vérification des actions de la pré-optimisation.

Ceci crée un déséquilibre entre les puissances des symboles portant les RS et ceux qui n'en portent pas, qui pourrait entraîner des erreurs lors du décodage des symboles sans RS. De ce fait, des paramètres d'offset (figure 3.2), PA entre la puissance des RB portant les RS du PDSCH et les RB dans les symboles du PDCCH qui ne portent pas d'RS et PB entre les RB dans les symboles du PDCCH et PDSCH qui ne portent pas d'RS sont définis par la norme LTE afin d'ajuster l'allocation de puissance.

Notons qu'une proposition d'actions parmi les modifications possibles doit être faite par les ingénieurs du service d'optimisation et ainsi un second drive test est nécessaire pour vérifier l'impact des modifications (actions) sur les performances comme le montre la figure 3.3. Par ailleurs, plusieurs modifications peuvent être exécutées avec un drive test de vérification jusqu'à ce que les exigences de performances soient atteintes.

3.3 Optimisation continue du réseau d'accès radio LTE

Après leur mise en service, les réseaux évoluent constamment (par exemple, les conditions de trafic, l'ajout de nouveaux sites, de nouvelles mises à jour logicielles). Une optimisation est donc nécessaire pour conserver le haut niveau de performance défini par les KPI dont les valeurs nominales sont définies par l'opérateur dès la phase de déploiement. Comme il existe un trafic de données sur le réseau, les informations que récoltent les compteurs, établis au niveau du plan de contrôle de l'eNodeB ou de l'UE, sont statistiquement fiables. Il est donc possible d'avoir, de façon régulière, une vue centralisée du fonctionnement global du réseau et réaliser ainsi un suivi de sa QoS en vue de son amélioration et de son expansion.

De manière générale, la phase de pré-optimisation peut être vue comme une opération d'ajustement «grossier» du réseau alors que celle de l'optimisation peut être vue comme une opération d'ajustement précis du réseau (c'est-à-dire, sur la base de paramètres).

3.3.1 Indicateurs clés de performance

Les indicateurs clés de performance ou KPIs d'un réseau d'accès LTE signifient de surveiller et optimiser les performances du réseau radio, afin de fournir une meilleure qualité d'abonné ou d'obtenir une meilleure utilisation des ressources réseau installées.

Les KPIs sont des taux calculés durant les heures chargées ou les heures normales en utilisant des compteurs établis au niveau du plan de contrôle de l'eNodeB et de l'UE. Ces compteurs sont prédéfinis et initialisés dès la mise en service de ces derniers. En LTE, les KPIs sont formulés pour mesurer les performances du réseau en termes d'accessibilité (Accessibility), de maintien de service (Retainability), de disponibilité (Availability), de mobilité (Mobility) et d'intégrité (Integrity) et de la QoS du réseau du point de vue (figure 3.4).

3.3.2 Accessibilité

Ces KPI mesurent la possibilité qu'un service soit obtenu à des tolérances prés et selon d'autres conditions, quand l'utilisateur le demande. Plusieurs KPIs d'accessibilité sont définis en LTE, les plus importants sont [14,15] :

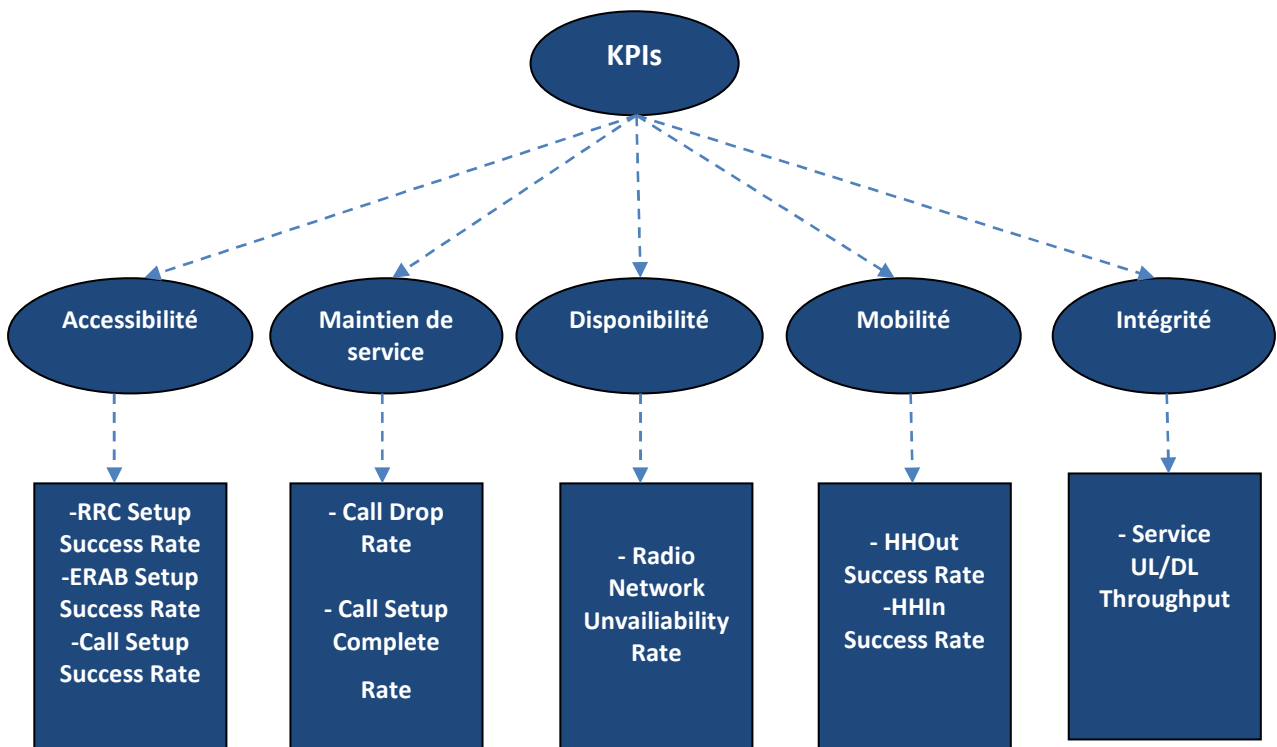


Figure 3.4 : Les différents types de KPIs.

- le taux de réussite de l'accès aléatoire ou *Random Access Success Rate*.
- le taux de réussite de l'établissement d'une connexion RRC ou *RRC Setup Success Rate*.
- taux de réussite de l'établissement d'un *E-RAB* ou *E-RAB Setup Success Rate*.

Ces KPIs sont décrits ci-dessous :

Random Access Success Rate

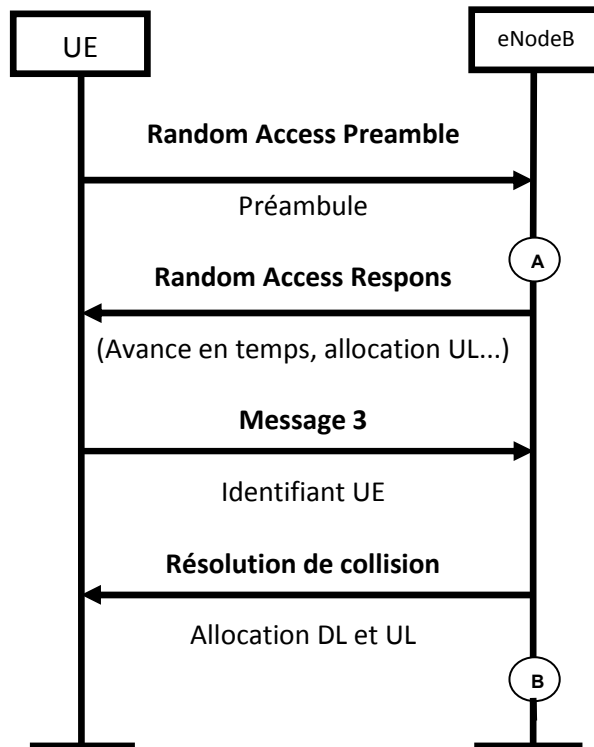


Figure 3.5 : Les compteurs du KPI Random Access Success Rate.

Les compteurs utilisés pour évaluer ce KPI sont illustrés sur la figure 3.5 et décrits ci-dessous :

- Le compteur *L.RA.Att* au niveau A est incrémenté de 1 à chaque fois que l'eNodeB reçoit un préambule de l'UE
- Le compteur *L.RA.ContResolution* au niveau B est incrémenté de 1 à chaque fois que l'eNodeB envoie à l'UE le message de résolution de collision en réponse au Message 3.

Le KPI Random Access Success Rate noté *RA_SR* est évalué par l'expression :

$$RA_SR = \frac{L.RA.ContResolution}{L.RA.Att} \times 100\% \quad (3.1)$$

Le taux de réussite de RRC :

C'est le taux de réussite de la connexion à un service. La procédure d'établissement de connexion RRC est déclenchée par différentes causes identifiées par le champ dans le message RRC Connection Request, dans le message de demande de connexion. On trouve :

➤ RRC Setup Success Rate (service)

Ce KPI évalue le taux de réussite de RRC avec les causes liées au signal dans une cellule. Il est calculé sur la base des compteurs mesurés à l'eNodeB, lorsque celle-ci reçoit une demande de connexion RRC de l'UE. Le nombre de tentatives de connexion RRC, *RRCConnectionAttemptService*, collectées par l'eNodeB au point de mesure A et le nombre de connexion RRC effectuées avec succès, *RRCConnectionSuccessService* collectées au point de mesure B (figure 3.6) permettent de calculer les KPI selon l'expression :

$$RRCS_SR_{service} = \frac{RRCConnectionSuccessService}{RRCConnectionAttemptService} \times 100\% \quad (3.2)$$

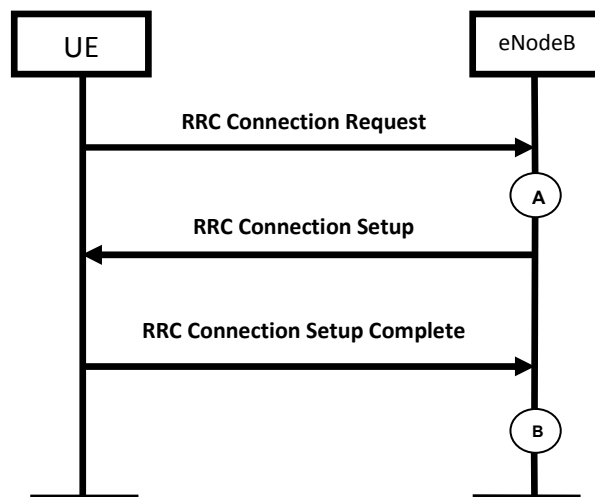


Figure 3.6 : Les compteurs du KPI RRC Setup Success Rate.

➤ RRC Setup Success Rate (signaling)

Ce KPI évalue le taux de réussite de la configuration RRC liée à la signalisation. Comme pour le service, ce KPI est calculé suivant l'expression :

$$RRCS_SR_{signaling} = \frac{RRConnectionSuccessSignaling}{RRConnectionAttemptSignaling} \times 100\%(3.3)$$

E-RAB Setup Success Rate

Ce KPI peut être utilisé pour évaluer le taux de réussite de l'établissement d'un E-RAB de tous les services, y compris le service de VoIP. Ce KPI est calculé sur la base des compteurs à la fois des tentatives d'établissement et des succès d'établissement d'un E-RAB, mesurés par l'eNodeB. Comme le montre la figure 3.7.

- Le compteur au niveau A mesure le nombre total de tentatives de configuration d'ERAB. Le compteur correspondant (*E – RABSetupAttempt*) est incrémenté à chaque fois que l'eNodeB reçoit un message *Initial Context Setup Request* du MME.
- Le compteur au niveau B mesure le nombre total d'établissement E-RAB réussies. Le compteur correspondant (*E–RABSetupSuccess*) est incrémenté de 1 à chaque fois que l'eNodeB envoie un message *Initial Context Setup Response* au MME.

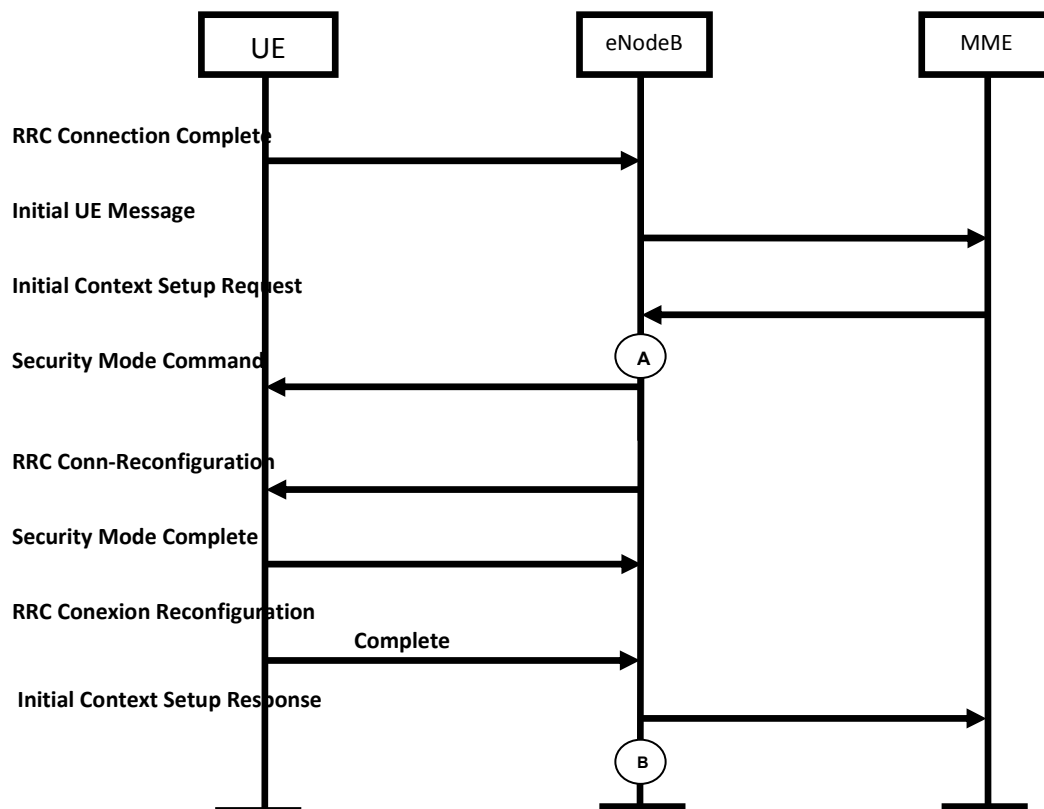


Figure 3.7 : Les compteurs du KPI E-RAB Setup Success Rate.

Le KPI est alors évalué selon l'expression :

$$ERABS_SR = \frac{ERABSetupSuccess}{ERABSetupAttempt} \times 100\% \quad (3.4)$$

3.3.3 Mobilité

Il s'agit de résoudre les problèmes concernant la gestion de la mobilité ce qui constitue un important défi technique à relever, afin d'empêcher la terminaison forcée de l'appel et permettre l'exécution des applications d'une manière transparente à la mobilité.

Les KPIs de mobilité sont utilisés pour évaluer les performances de la mobilité E-UTRAN, qui est essentielle à l'expérience. Plusieurs catégories de KPI de mobilité sont définies en fonction des types de Handover intra-fréquence (entre des cellules utilisant la même fréquence), inter-

fréquence (entre des cellules utilisant des fréquences différentes) et inter- radio accès technologie (RAT) [5].

Intra-Frequency Handover Out Success Rate

Deux cas de handovers intra-fréquences sont à distinguer :

- Les eNodeBs des cellules source et de destination disposent d'une interface X2 qui les relie, on parle alors de handover à base de X2.
- Les eNodeBs des cellules source et de destination ne disposent pas d'une interface X2, le handover dit dans ce cas à base de S1, est exécuté à travers l'interface S1-MME.

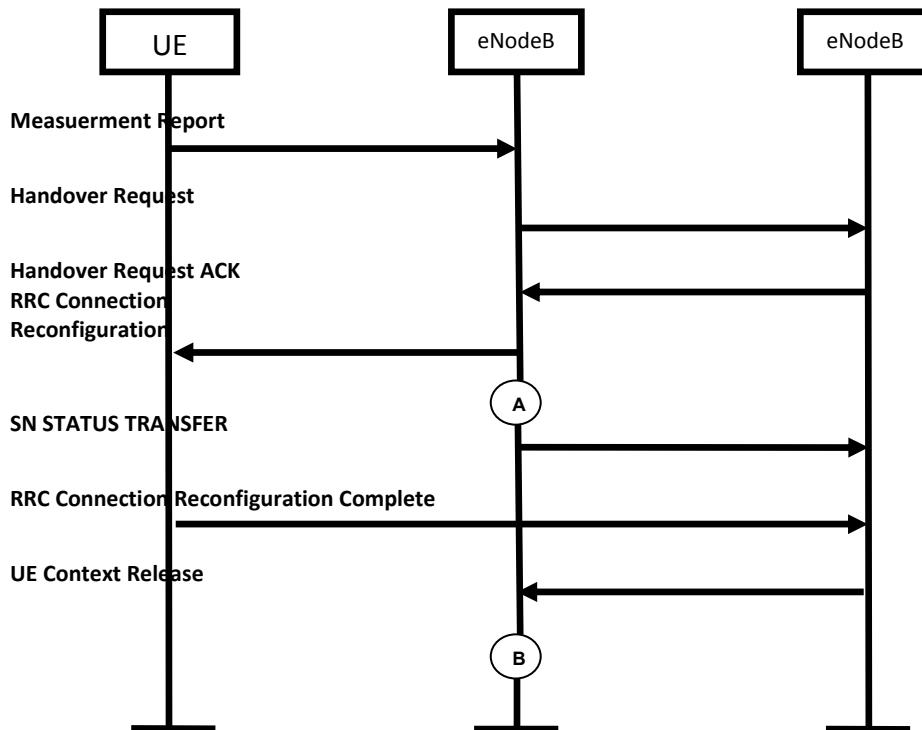
Pour évaluer ce KPI, les compteurs *IntraFreqHOOOutAttempt* au niveau du point A et *IntraFreqHOOOutSuccess* au niveau du point B de la figure 3.8 sont nécessaires :

- Le compteur *IntraFreqHOOOutAttempt* est incrémenté à chaque fois que l'eNodeB source envoie (à l'UE) un message de reconfiguration de connexion RRC ou *RRC ConnectionReconfiguration* après que celle-ci ait reçu le message *Handover Request ACK* envoyé par l'eNodeB de destination.
- Le compteur *IntraFreqHOOOutSuccess* est incrémenté à chaque fois que l'eNodeB source reçoit (de l'UE) un message *UE Context Release* de l'eNodeB de destination.

Le KPI Intra-Frequency Handover Out Success Rate, noté *IntraFreqHOOOut_SR* est calculée à l'aide de l'expression suivante :

$$IntraFreqHOOOut_{SR} = \frac{IntraFreqHOOOutSuccess}{IntraFreqHOOOutAttempt} \times 100\% (3.6)$$

X2 Based Handover



S1 Based Handover

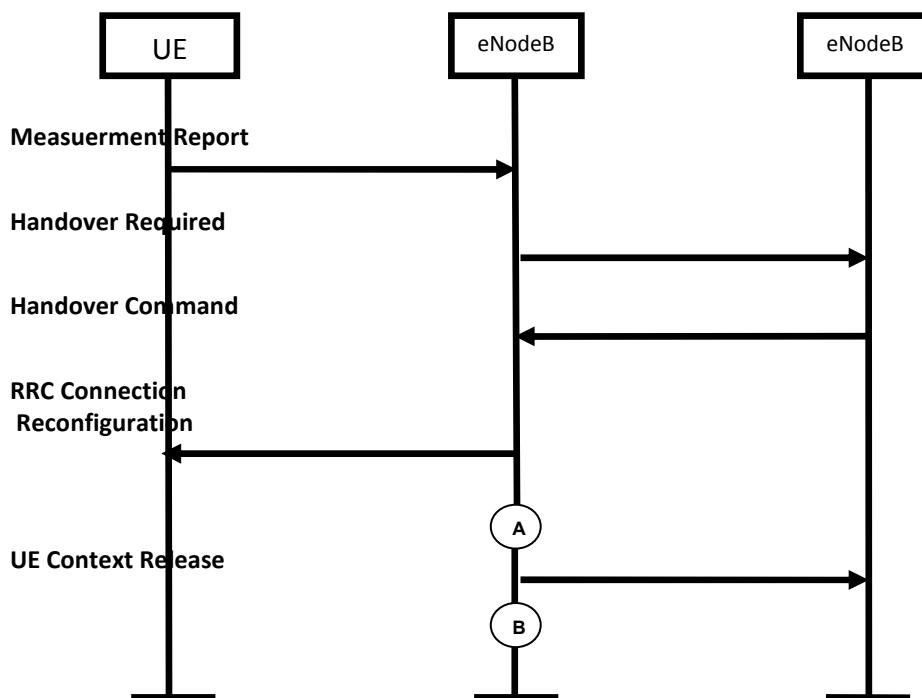


Figure 3.8: Les compteurs du KPI Intra-Frequency Handover Out Success Rate.

3.3.4 Processus d'optimisation des KPIs

Une fois les KPIs récoltés sur une certaine durée qui peut aller d'une heure jusqu'à plusieurs mois, la démarche globale à suivre est la suivante :

Identification des plus mauvaises cellules

Les plus mauvaises cellules du réseau sont identifiées en établissant une valeur de seuil du KPI, puis déterminer les cellules les plus impactées. Par la suite une analyse plus fine au niveau des compteurs permettrait d'écarter d'éventuel cas d'une fausse dégradation du KPI. A partir de là, l'optimisation se fera sur ces cellules.

Vérification des alarmes

Deux types d'alarmes existent : les alarmes hardware et software. Les alarmes de type hardware indiquent d'éventuels problèmes au niveau du matériel des eNodeB des sites (problème de température, de batterie, de connexion de câble,..) alors que les alarmes de type software indiquent des problèmes au niveau du logiciel qui permet faire fonctionner le matériel des eNodeB comme, par exemple, le dépassement d'une valeur maximale d'un paramètre de configuration limité par l'achat d'une licence (nombre d'utilisateurs RRC_CONNECTED). Dans le cas où l'origine de la dégradation du KPI n'est pas d'ordre matériel ou logiciel, on procède à la recherche et l'identification des causes possibles.

Identification des causes possibles

L'étape d'identification des problèmes qui sont à l'origine de la dégradation du KPI est la plus difficile. Elle nécessite d'examiner minutieusement toutes les causes plausibles où chacune des causes pourrait entraîner l'analyse d'autres paramètres qui y sont liés. Nous présentons ci-dessous un perçu du diagnostic des causes élaboré par les ingénieurs de HUAWEI pour les KPIs de l'accessibilité, du maintien de service et de la mobilité :

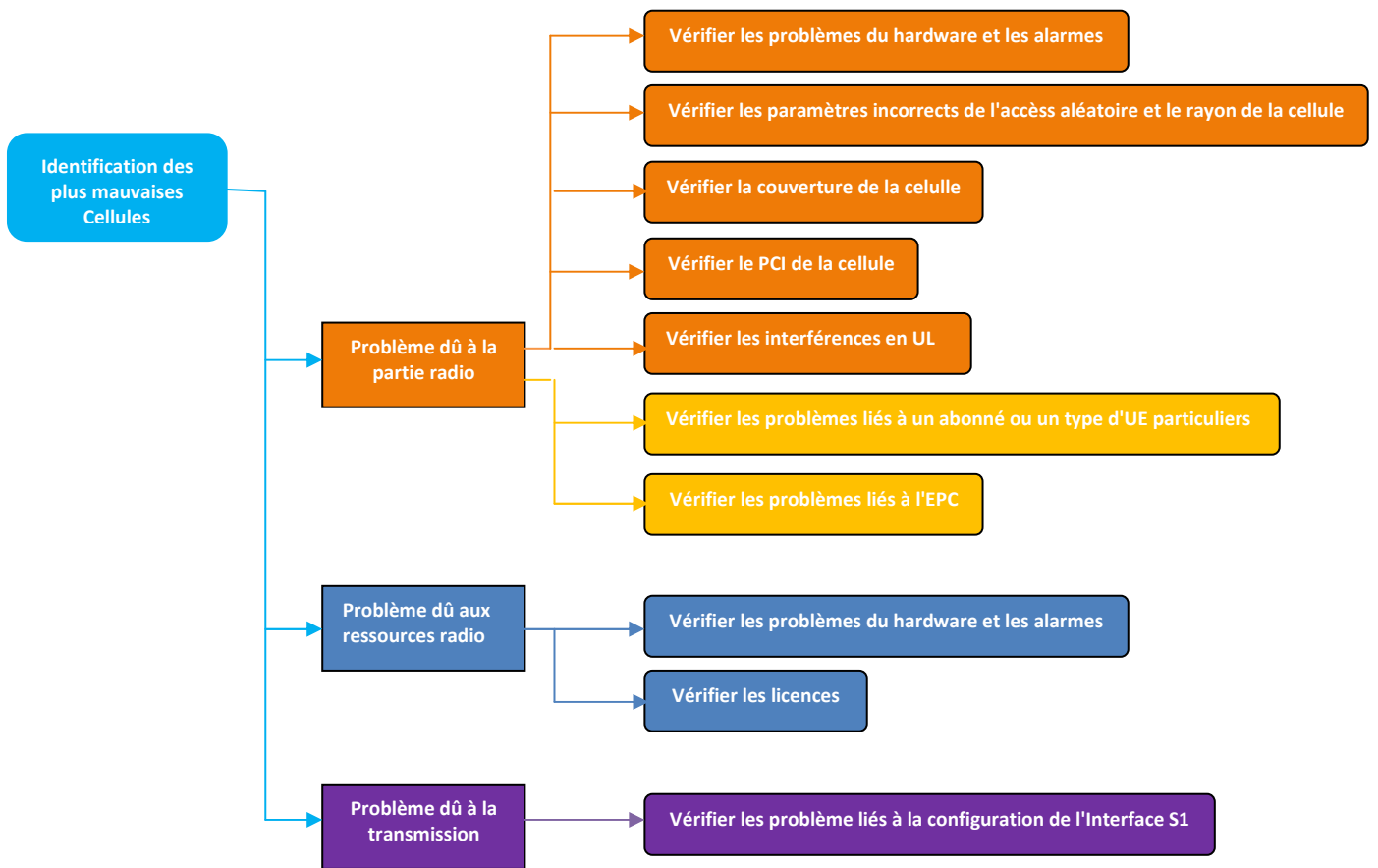


Figure 3.9 : Diagnostic des causes de dégradation des KPIs de l'accessibilité.

- Dans le cas des KPIs de l'accessibilité, les problèmes peuvent provenir de l'interface radio (couverture insatisfaisante, interférences ou confusion de PCI,...), de la partie transmission entre l'E-UTRAN et l'EPC (par exemple des interruptions intermittentes du lien de transmission de l'interface S1) ou de l'insuffisance des ressources radio (congestion de l'eNodeB). Le schéma de la figure 3.9 fournit un aperçu du diagnostic des causes de dégradation des KPI de l'accessibilité.

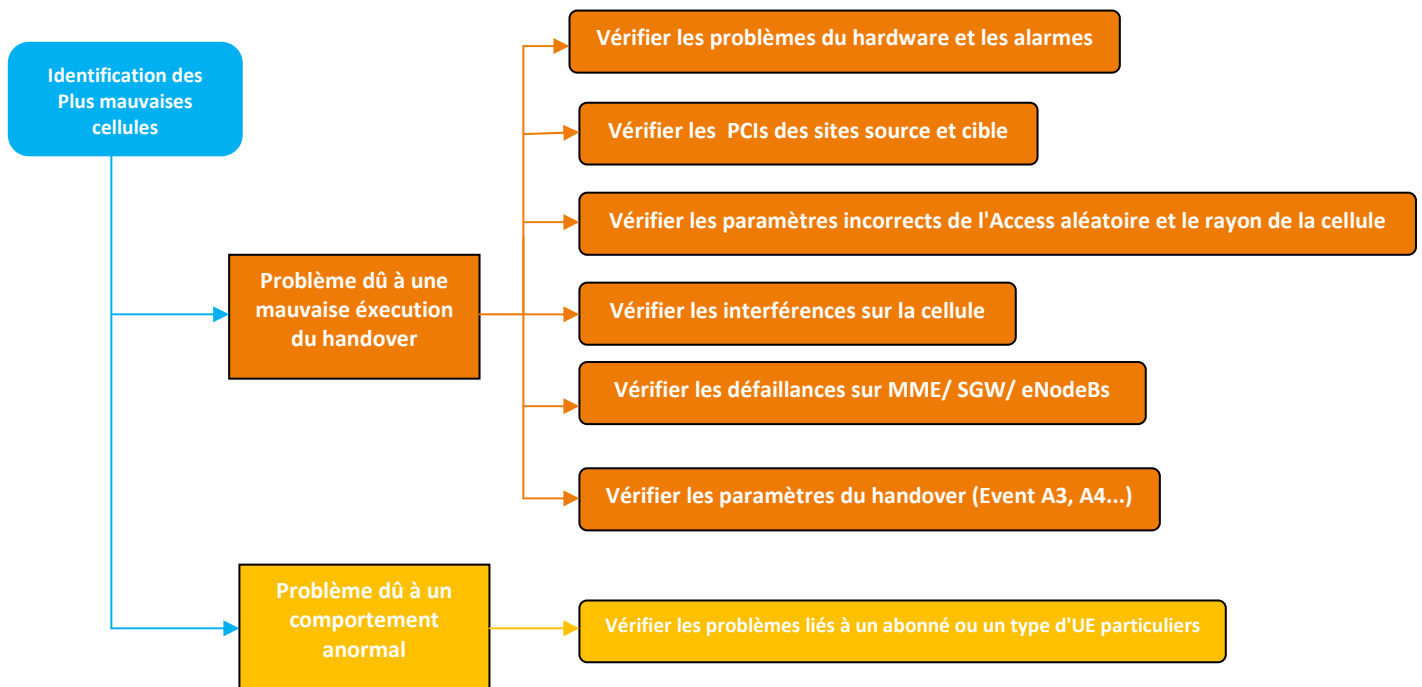


Figure 3.10 : Diagnostic des causes de dégradation des KPIs de la mobilité.

- Des problèmes de configuration incorrecte des PCI des cellules voisines, des interférences entre cellules, une congestion ou une couverture insuffisante sont, entre autres, des causes possibles de dégradation des KPIs de la mobilité comme illustré par le schéma de la figure 3.10.

Notons que dans certains cas, l'identification des causes de dégradation nécessite une recherche plus fine à travers l'analyse des traces de signalisation au niveau des interfaces du réseau, sur la durée de dégradation du KPI.

Analyse de la trace des signalisations

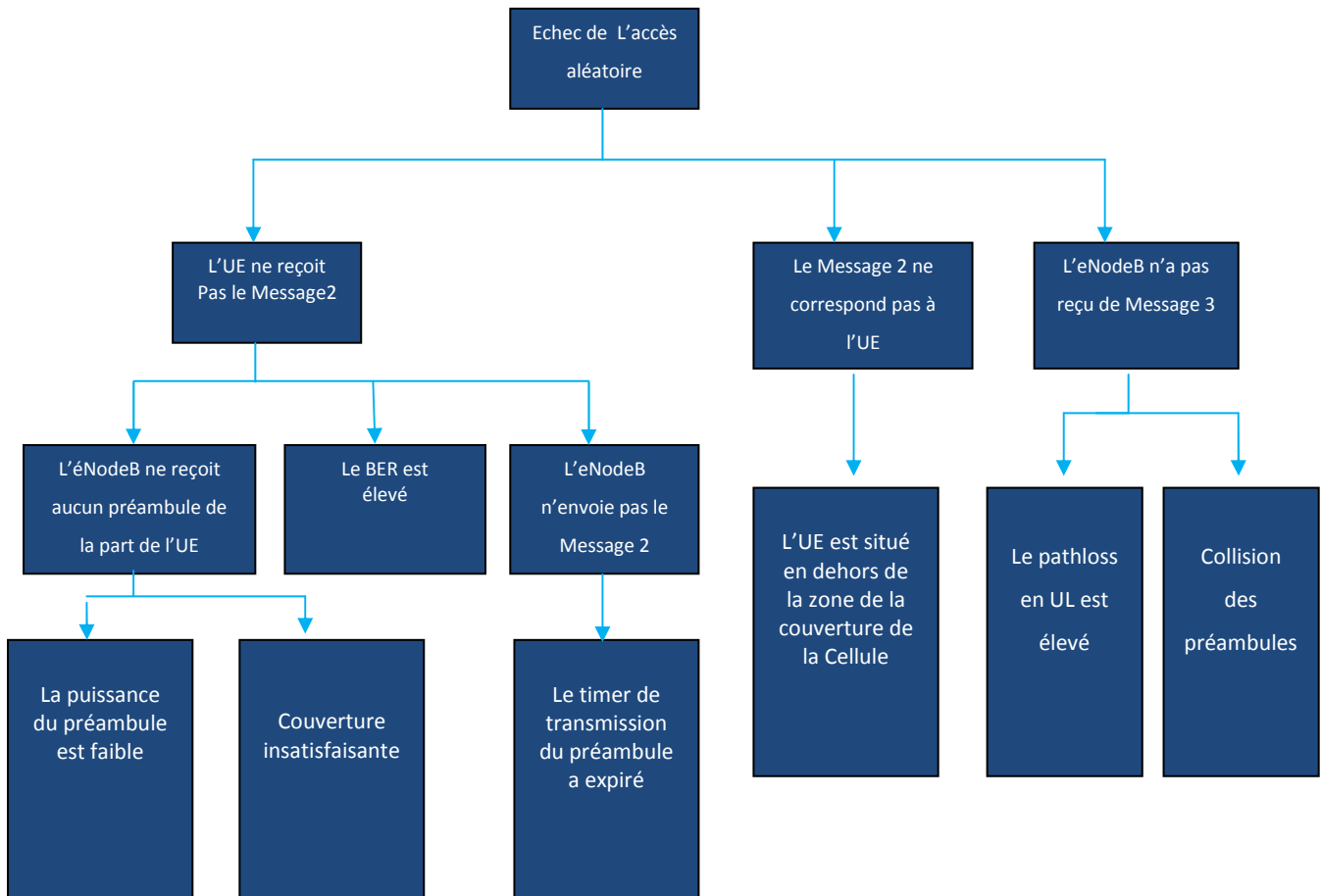


Figure 3.11 : Cas possible de l'échec de l'accès aléatoire.

Une trace des signalisations consiste en l'affichage de la cinématique des différentes procédures qui se produisent sur le plan de contrôle au niveau des différentes interfaces du réseau (Uu, S1 et X2) pendant une durée qu'on choisit.

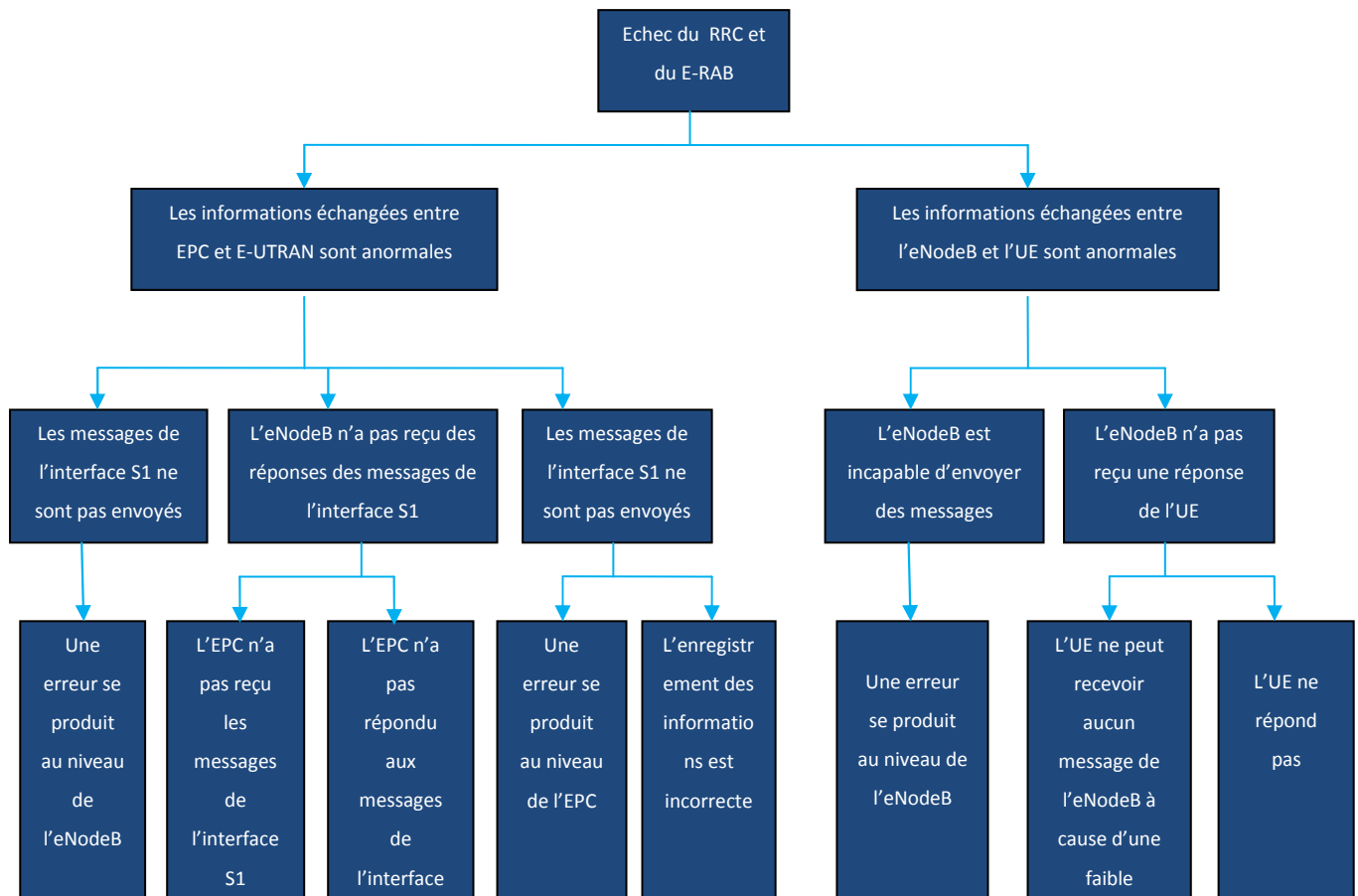


Figure 3.12 : Cas possible de l'échec de la configuration RRC et E-RAB.

Cette étape permet, quand il y a besoin, d'affiner la recherche des causes de dégradation du KPI. Par exemple, l'analyse des échanges entre l'UE et l'eNodeB des messages 2 et 3 (voir 2.3.1) de la procédure de l'accès aléatoire permet de révéler les causes de dégradation du KPI qui y correspond comme illustré sur le schéma de la figure 3.11.

De même que pour les messages échangés entre l'eNodeB et l'UE ainsi qu'entre l'E-UTRAN et l'EPC correspondants aux procédures de connection RRC et d'attachement de l'UE, leur analyse permet de déterminer les causes possibles des échecs de l'établissement d'une connection RRC et de l'attachement au réseau (3.12).

3.4 Conclusion

La qualité de performance du réseau de la 4G est principalement évaluée par les différents KPI que nous avons présentés dans ce chapitre. Cette dernière constitue l'objet de notre projet, Pour cela on a défini les KPIs de l'accessibilité, et la mobilité, nous l'avons donc abordé avec plus de détail à travers la description des KPIs ainsi que du processus complet d'optimisation adopté dans le service RNO (Radio Network Optimisation) de HUAWEI. La suite du travail portera sur l'application de ce processus sur le réseau de l'opérateur Mobilis.

CHAPITRE 4

4.1 Introduction

Ce chapitre à pour objectif de présenter le travail d'optimisation que nous avons effectué dans le cadre de notre projet de fin d'étude, avec le service RNO (*Radio Network Optimisation*) de l'équipementier HUAWEI au niveau du réseau d'accès radio LTE de l'opérateur Mobilis.

Nous décrivons toutes les étapes de l'optimisation de certains KPIs, appliquées conformément au procédé adopté par les ingénieurs de HUAWEI et introduit dans le chapitre précédent dans l'objectif d'améliorer les performances de l'accessibilité, et de la mobilité du réseau au niveau de différentes Wilayas du pays. Pour la collecte des valeurs des KPIs, le fournisseur HUAWEI utilise la plate-forme *PRS (Performance Report System)* de surveillance et d'analyse des performances des réseaux mobiles. Par ailleurs, pour l'optimisation des KPIs, les actions de modification du réseau sont exécutées via l'outil de gestion de réseaux *imanagerU2000*.

4.2 Optimisation des KPIs de l'accessibilité

Nous sommes restreint aux KPIs *Random Access Success Rate* et *RRC Setup Success Rate*, *E-RAB Setup SuccessRate*.

4.2.1 Random Access Success Rate

L'analyse des valeurs du KPI Random Access Success Rate récoltées sur la période du 1-04-2020 au 13-04-2020 de tous les sites situés à Alger, le rapport est sous forme de Excel. Le traitement du fichier contenant le RA_SR nous a donné le graphe illustré dans la figure 4.1 ci-dessous :

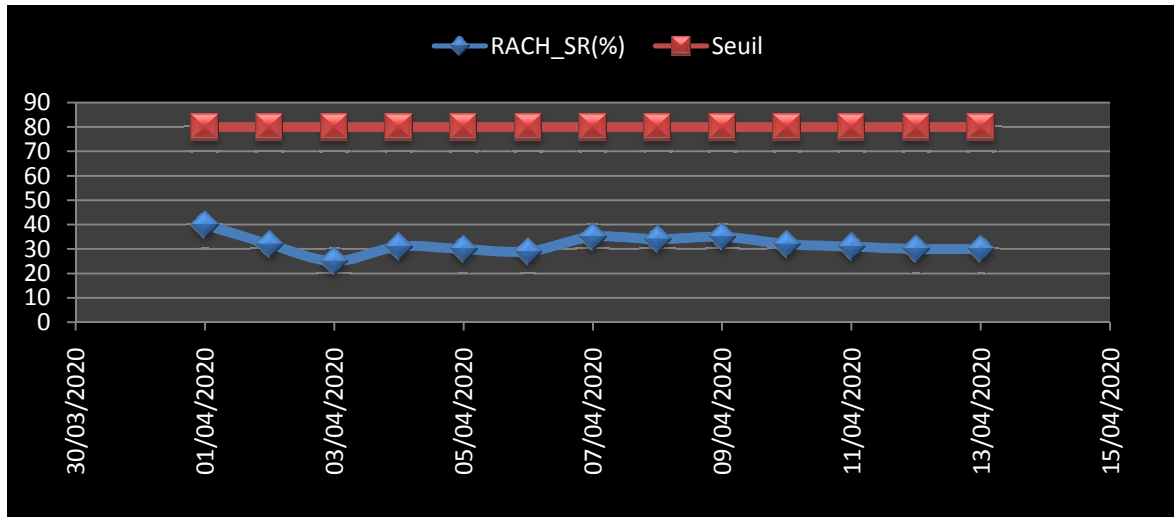


Figure 4.1 : Rach-SR du cluster Alger.

Le graphe nous montre que le RACH_SR est entre les 20 et 40% qui sont des valeurs très faibles par rapport au seuil fixé qui est de 80%. Pour augmenter ce faible pourcentage on a conclu que le meilleur moyen de régler ce problème de RACH au niveau du cluster d'Alger est l'activation de l'algorithme PFA (PRACH probability false alarm) qui est utilisé pour la synchronisation initiale dans les systèmes LTE.

La probabilité de fausse alarme (Pfa) est la probabilité totale conditionnelle de détection des préambules erronés.

La détection des fausses alarmes PRACH est utilisée pour réduire ces dernières. Si un préambule est jugé comme une fausse alarme, eNodeB n'envoie pas de RAR et ne lui affecte pas de ressource Msg3.

Le préambule est détecté comme FA si le pic de corrélation (peak power) ne dépasse pas un seuil spécifié (voir figure 4.2).

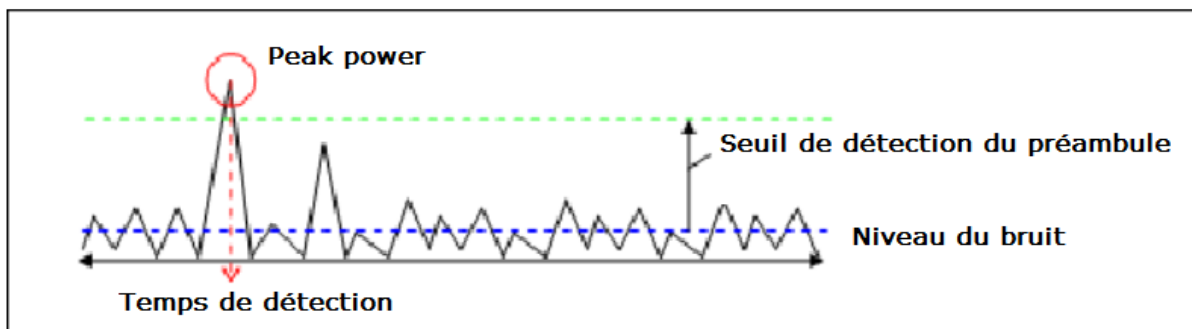


Figure 4.2 : Principe de PFA.

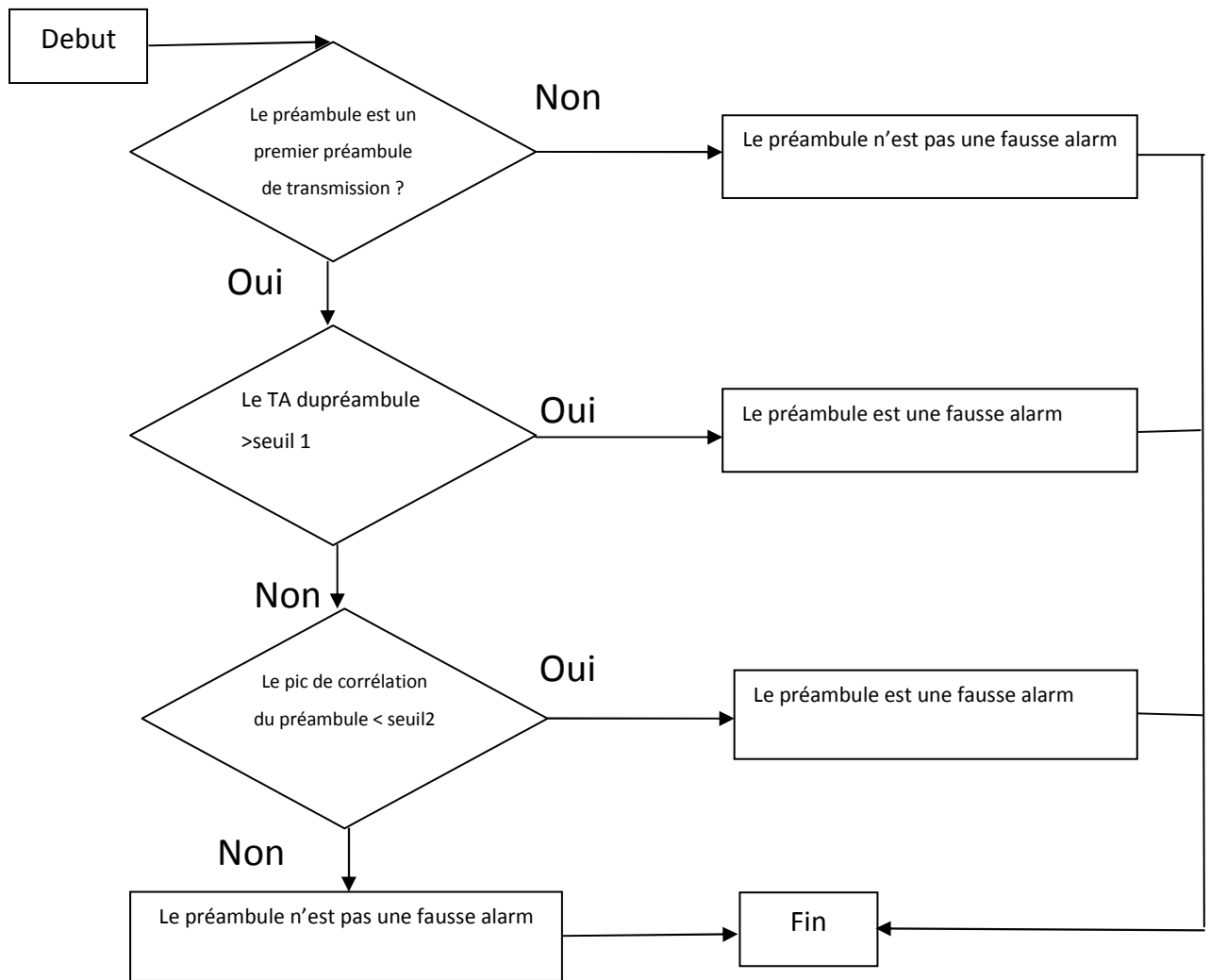


Figure 4.3 : processus de l'algorithme PFA.

En résumant cet algorithme : le PFA limite l'accès aléatoire au réseau d'une sorte qu'elle autorise aux utilisateurs les plus proches de l'eNodeB (environ 500 mètres) de s'attacher et met en attente les utilisateurs les plus loin (bien qu'ils soient dans le rayon de la cellule) pour leur première tentative seulement. De cette manière les utilisateurs les plus loin et qui tentent de s'attacher n'incrémentent pas les compteurs d'attempts car ils seront automatiquement mis en attente par l'action PFA ; cela aide à augmenter la chance de réussir l'accès.

Seuil1 : est calculé en fonction de la distance entre l'UE-eNB.

Seuil 2 : corrélation du pic de puissance.

L'implémentation du PFA sur le cluster d'Alger a donné d'excellent résultat où la moyenne du RA_SR est passée de 30% à 78% comme nous pouvons le remarquer sur le graphe de la figure (4.4).

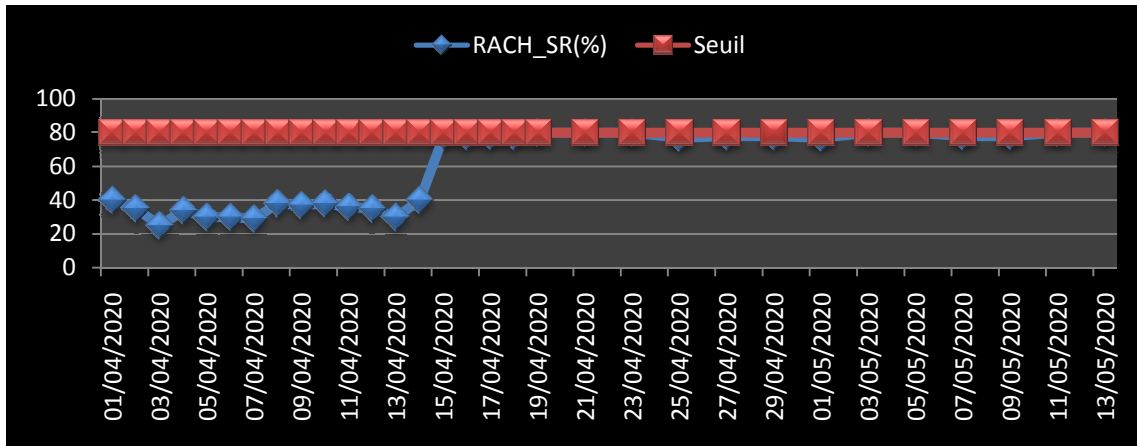


Figure 4.4 : Rach_SR de cluster Alger après PFA.

4.2.2RRC setupSuccess Rate

Dans le cas de ce KPI, nous avons analysé les valeurs collectées au niveau cluster L1800, qui est de nouveaux sites de déploiement, pendant la période du 26/06/2020 au 07/07/2020. Leur tracé sur la figure 4.5 qui montre une dégradation dans plusieurs cellules.

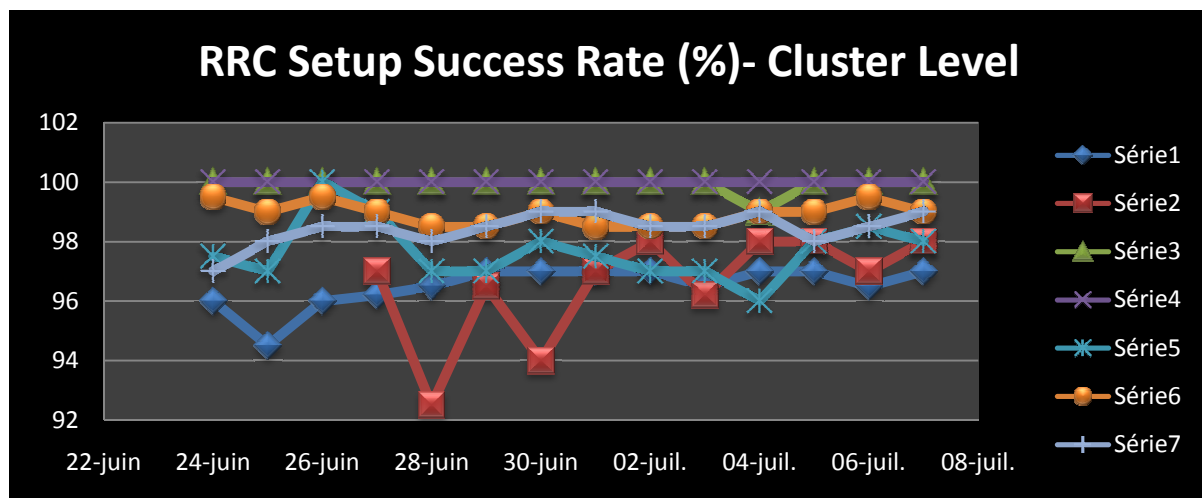


Figure 4.5 :Tracé du KPI RRC Setup Success Rate au niveau de cluster L1800.

D'après la plateforme U2000, nous confirmons que toutes les cellules à l'intérieur du cluster n'avaient pas de problème de type hardware.

Plus loin sur l'analyse approfondie, l'observation trouvée avec les données disponibles, la cause spécifique au compteur reflète RRC Connection setup failures de réponse de l'UE [L.RRC.SetupFail.NoReply], il est incrémenté de 1 à chaque fois que l'eNodeB ne reçoit pas de message RRC Connection Setup Complet de l'UE dans le délai spécifié.

Avant cela, l'eNodeB a envoyé RRC Connection Setup message à l'UE après avoir reçu un RRC Connection Request de l'UE.

TIME	NE Nam	Service RRC Connection Success Rate (%)	L.RRC.Conn.R eq.att	L.RRC.Conn.R eq.Succ	L.RRC.SetupFa il.NoReply
06-07-2020 00:00:00	XL1800X	100	691	691	0
06-07-2020 00:00:00	XL1800	70.191	1264	891	373
06-07-2020 00:00:00	XXL1800	100	309	309	0
06-07-2020 01:00:00	XL1800C	99.466	566	563	3
06-07-2020 01:00:00	L1800X3	67.224	1276	825	451
06-07-2020 01:00:00	L1800C2	100	416	416	0
06-07-2020 02:00:00	L1800X1	100	529	529	0
06-07-2020 02:00:00	XL18001	66.636	1121	960	161
06-07-2020 03:00:00	XL18002	100	246	246	0
06-07-2020 03:00:00	XL18003	99.941	627	626	1

Tableau 4.1 :statistique RRC Success Rate du cluster L1800.

En outre, on a observé que TA a des distances élevés (Overshooting) à des retards d'évanouissement par multi-trajets élevés, une faible RSRP/SINR pour plusieurs parties des cellules avec une dégradation RRC du même code de cause.

Lors de la vérification supplémentaire du Timer RRC T300, la valeur trouvée est maintenue à une valeur de 200 ms, compte tenu de la distance UE des cellules et des retard multi-trajets auquel elle pourrait être confrontée.

Pour améliorer ce KPI, nous avons proposé de modifier la valeur de Timer RRC T300 de 200ms à 1000ms. Ce timer est démarré lorsque l'UE envoie RRCConnectionRequest, et arrêté si l'UE reçoit RRCConnectionSetup ou RRCConnectionReject, après l'expiration du timer l'UE entre dans l'état RRC_IDLE.

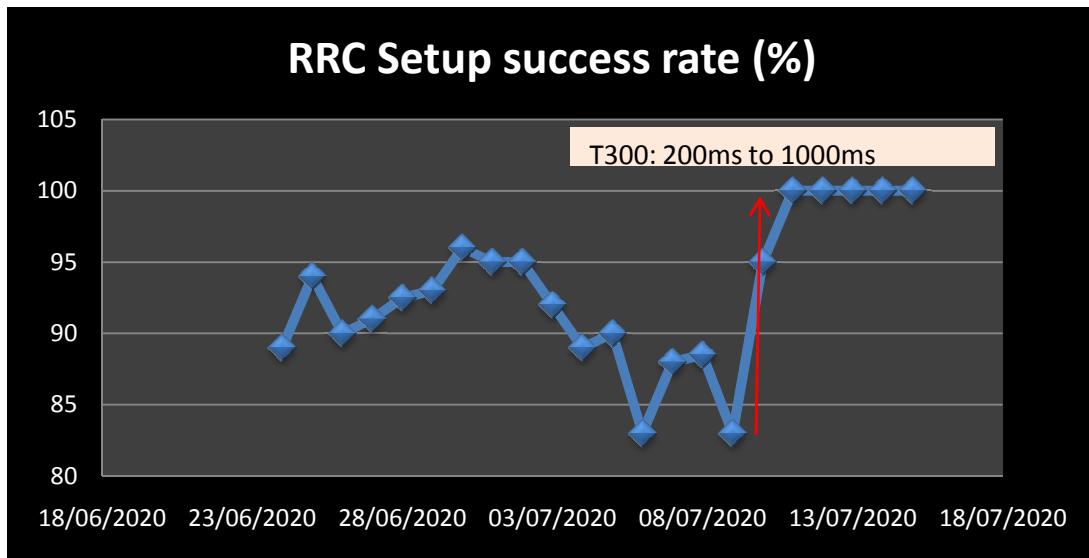


Figure 4.6 :Tracé du KPI RRC Setup Success Rate après exécution des actions.

Même solution appliquée à tous les contributeurs avec la même référence de cause pour les cellules de cluster, on observe l'amélioration de RRC Setup Success rate (figure 4.7).

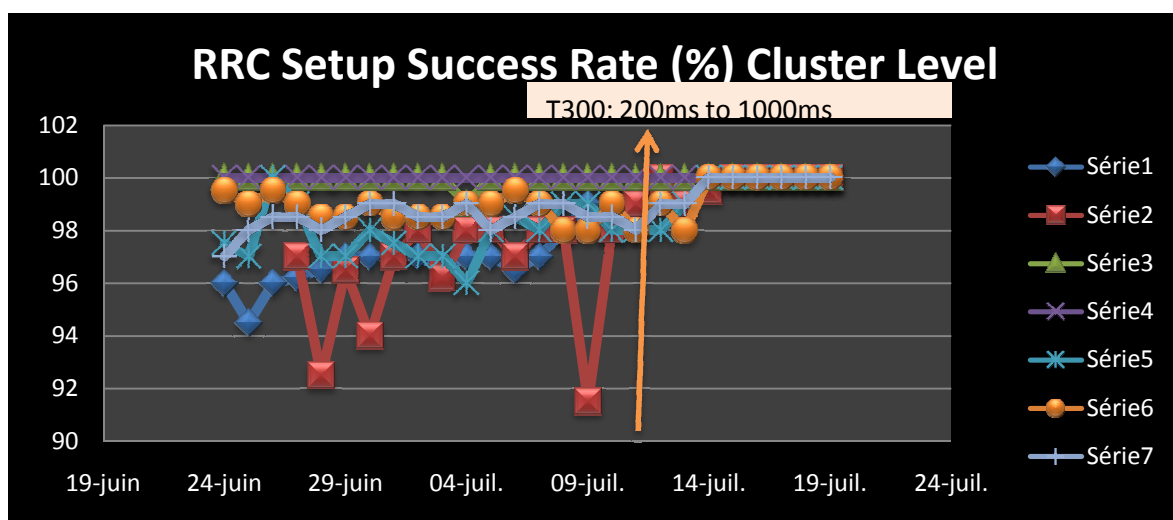


Figure 4.7 :Tracé du KPI E-RAB Setup Success Rate après exécution des actions au niveau de cluster.

4.2.3 E-RAB Setup Success Rate

Dans le cas de ce KPI, nous avons analysé les valeurs collectées au niveau de 5 Wilayas :Ouargla, Biskra, El Oued, Oran et Djelfa, pendant la période du 13/06/2020 au 28/06/2020.Leur tracé sur la figure 4.8 montre que les valeurs sont très satisfaisantes est stables au niveaude l'ensemble des Wilaya, mis à part au niveau de la Wilaya de Djelfa où l'on constate uneforte instabilité du KPI avec une dégradation maximale qui atteint 91% le jour du 28/06/2020.

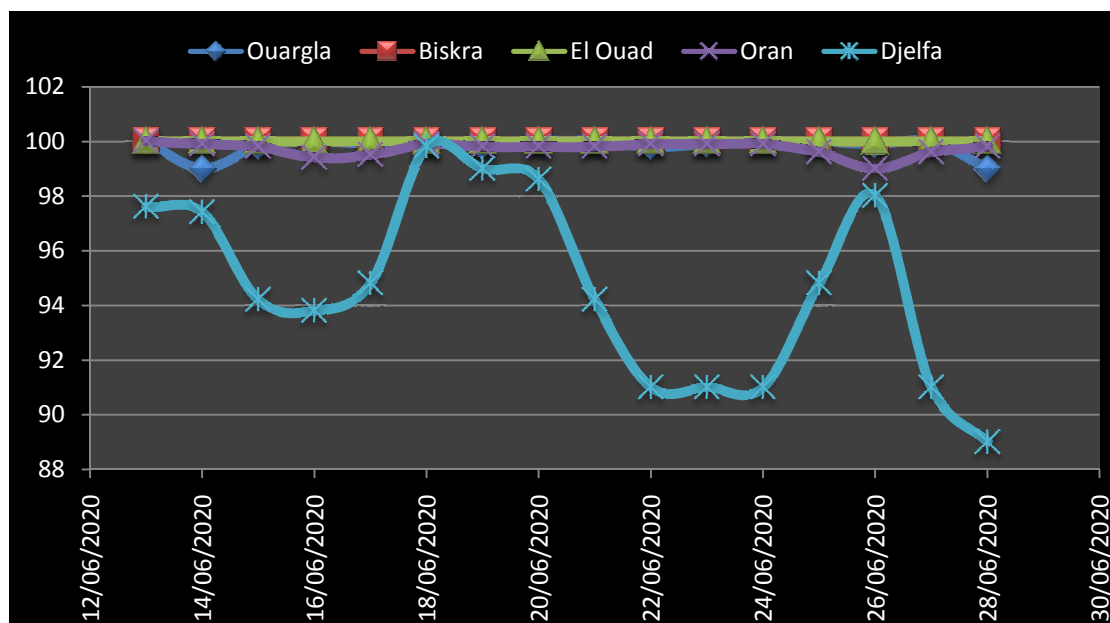


Figure 4.8 : Tracé du KPI E-RAB Setup Success Rate au niveau des différentes Wilayas.

La liste des plus mauvaises cellules du cluster de Djelfa est représentée sur le tableau 4.2 où la cellule X3X011 affiche la valeur la plus dégradée de 53,35%. Elle fera ainsi l'objet de notre analyse.

Cell Name	E-RAB Setup Success Rate (ALL)(%)	L.E-RAB. AttEst	L.E-RAB. SuccEst	E-RAB. Failure	L.E-RAB. FailEst.II	L.E-RAB. FailEst. NoradioRes
X3X011	53.3531	281408	150140	131268	49	131217
X3X013	56.3825	162735	91754	70981	37	70944
X3X012	59.6483	74894	44673	30221	16	30204
X3X351	62.6463	20670	12949	7721	9	7712
X3X361	63.3494	36305	22999	13306	28	13276
X3X341	67.0871	31711	21274	10437	29	10407
X3X342	89.0474	222222	197883	24339	30	24306
X3X341	89.4443	180064	161067	19007	35	18980
X3X343	89.6221	141898	127172	14726	56	14661
X3X171	90.6589	203948	184897	19051	54	18980
X3X172	91.0101	50668	46113	4555	34	4518
X36742	91.462	182267	166706	15562	40	15515

Tableau 4.2 : Liste des plus mauvaises cellules.

La figure 4.9 montre le tracé du KPI au niveau de la cellule X3X011 pendant la période en question, où l'on constate ses valeurs dégradées qui varient entre environ 42% et 67%.

La vérification des alarmes au niveau du site 3X01, auquel appartient cette cellule a révélé la présence d'une alarme figure 4.9 qui indique un dépassement du nombre maximum de connexions RRC qu'autorise la licence achetée sur l'eNodeB de cette cellule.

Pour confirmer la véracité de cette alarme, nous procédons à une vérification de la configuration du site sur U2000 (figure 4.10) où nous constatons que la limite autorisée (*Allocated*) par la licence est de 300 utilisateurs *RRC Connected User* pour l'ensemble des 3 cellules du site. Notons que bien que la limite soit de 300 utilisateurs, les termes de la licence permettent un dépassement de 10%, d'où l'explication des 327 utilisateurs effectifs (*Actual Used*) lors de l'analyse.

L'analyse de la distribution du trafic maximum au niveau de chacune des 3 cellules qui constituent le site congestionné, nous permettra de confirmer (ou pas) si la congestion

provient de la cellule X3X011. En effet, sur la période du 13/06/2020 au 28/06/2020, le compteur

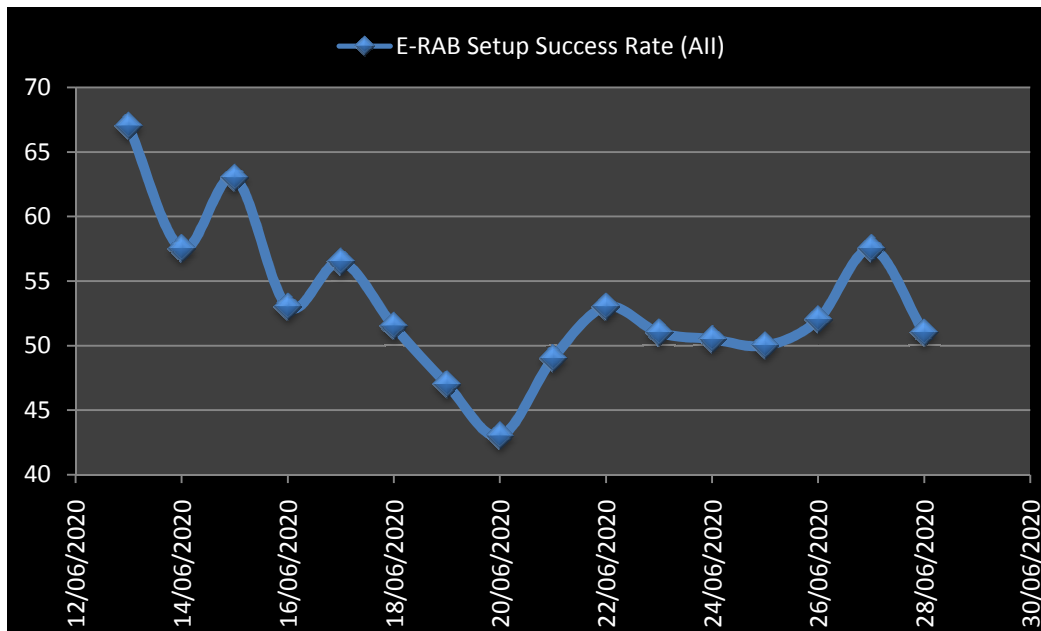


Figure 4.9 : Tracé du KPI E-RAB Setup Success Rate au niveau de la cellule X3X011.

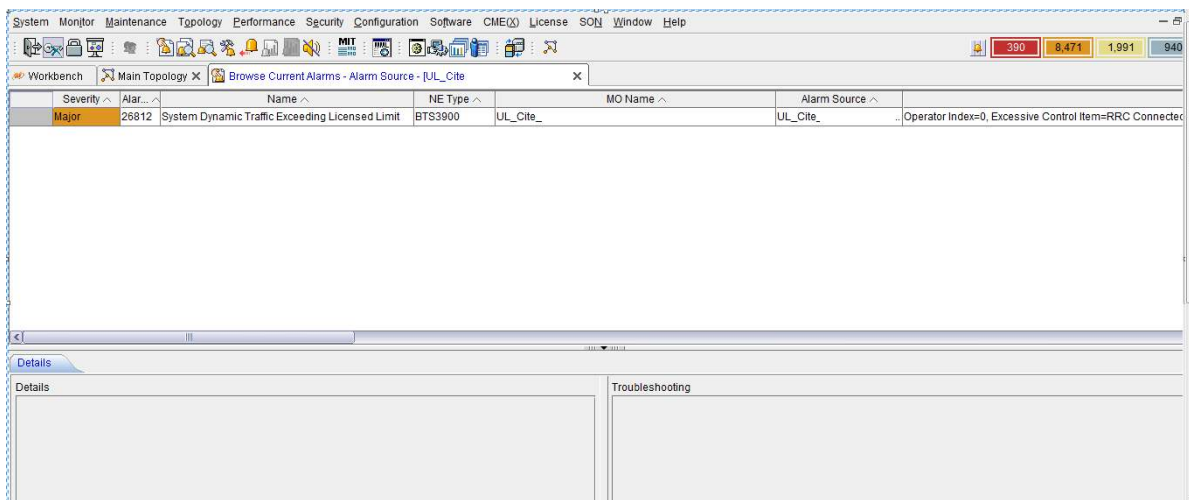


Figure 4.10 : Les alarmes sur le site 3X01.

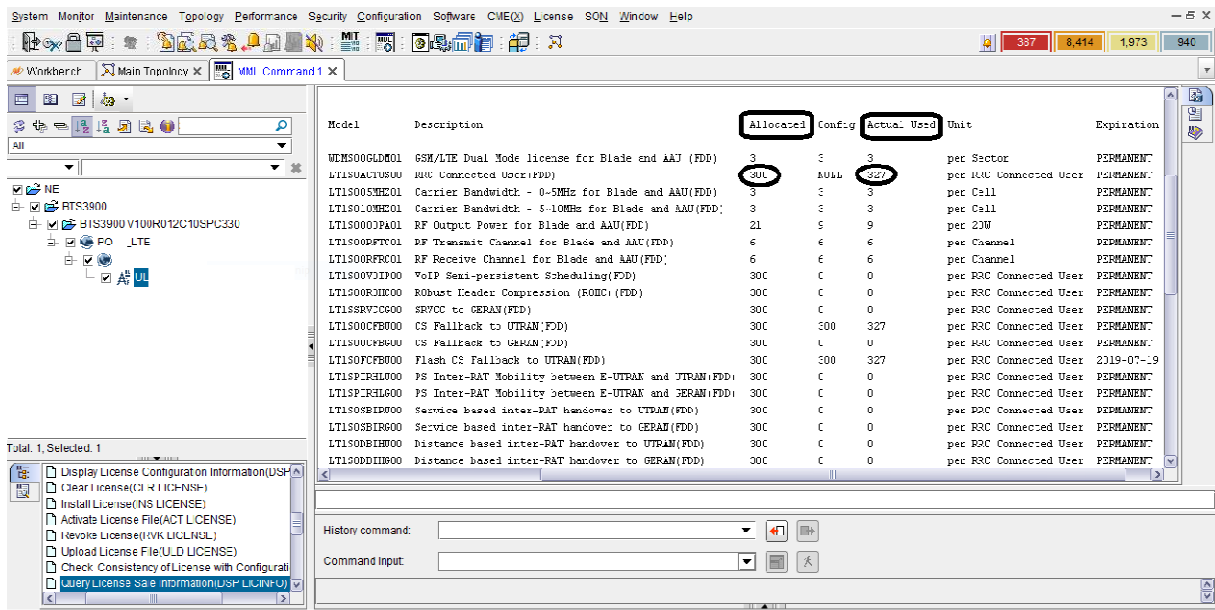


Figure 4.11 : Configuration du site 3X01.

L.Traffic.User.Max qui mesure le nombre d'utilisateurs maximum au niveau de chaque cellule indique, comme le montre la figure 4.12, que le trafic sur la cellule X3X011 est le plus élevé des 3. Ce qui confirme la congestion de la cellule en question.

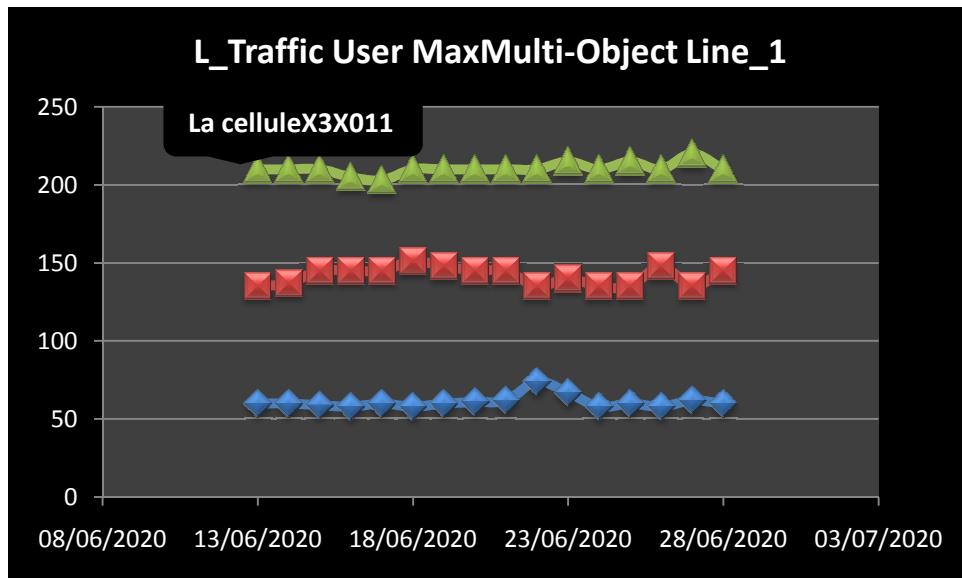


Figure 4.12 : Trafic maximum au niveau de chaque cellule du site 3X01.

Pour résoudre un tel problème il faut soit rajouter une nouvelle licence pour que le site puisse supporter plus d'utilisateurs ou bien décharger une partie du trafic de la cellule congestionnée vers une cellule capable de le supporter. La première solution est nécessaire un temps d'exécution relativement long, c'est pour on va choisir la seconde solution.

Décharger une partie du trafic vers une autre cellule requiert de trouver une cellule qui se trouve dans le voisinage et qui soit capable de supporter le trafic déchargé. En analysant l'emplacement de la cellule congestionnée (figure 4.13), on remarque la présence d'une cellule (X5X182) se trouvant en face qui représente une candidate potentielle. Il reste à vérifier sa capacité en termes de trafic.



Figure 4.13 : L'emplacement du site 3X01 et son voisinage.

Le compteur $L.T\ traffic.User.Max$ au niveau de la cellule X5X182 nous indique un faible nombre d'utilisateur, qui avoisine les 60, pendant la période d'analyse (figure 4.14).

Pour décharger la cellule X3X011 et faire basculer une partie des utilisateurs vers la cellule X5X182, nous réduisons la couverture de la cellule congestionnée et augmentons celle de la cellule voisine. Pour ce faire, deux actions sont à entreprendre :

Modifier l'allocation de puissance : en diminuant les niveaux de puissance (Pr_s, P_A, P_B) au niveau de la cellule X3X011 de (18.2,-3,1) à (15.2, 0,0) dB.

Modifier le tilt électrique : en le réalisant un down tilt de 2 degrés sur l'antenne de la cellule X3X011 et un up tilt de 2 degrés sur l'antenne de la cellule X5X182.

Quelques temps après l'exécution de ces actions, l'analyse du KPI E-RAB Setup SuccessRate au niveau de la cellule X3X011 qui était congestionnée révèle une nette amélioration de sa valeur comme nous pouvons le voir sur la figure 4.15.

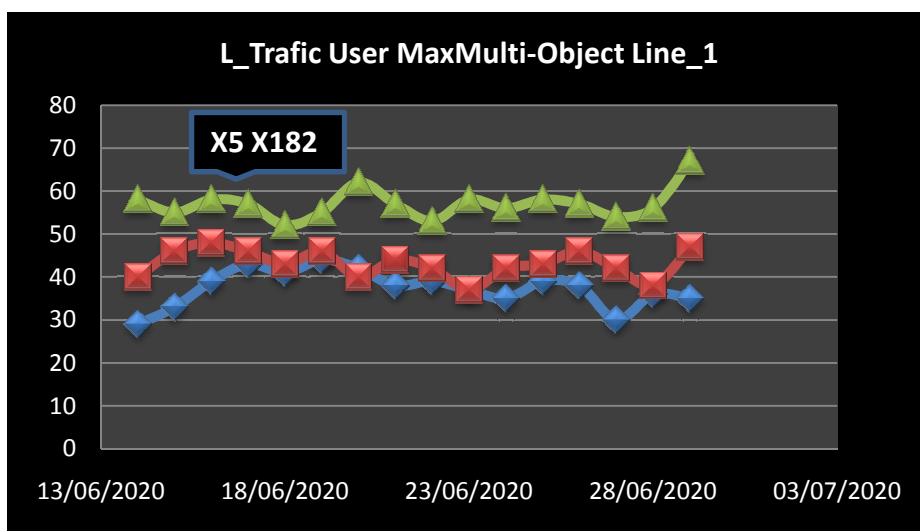


Figure 4.14 :Le trafic maximal des différentes cellules du site 5X18.

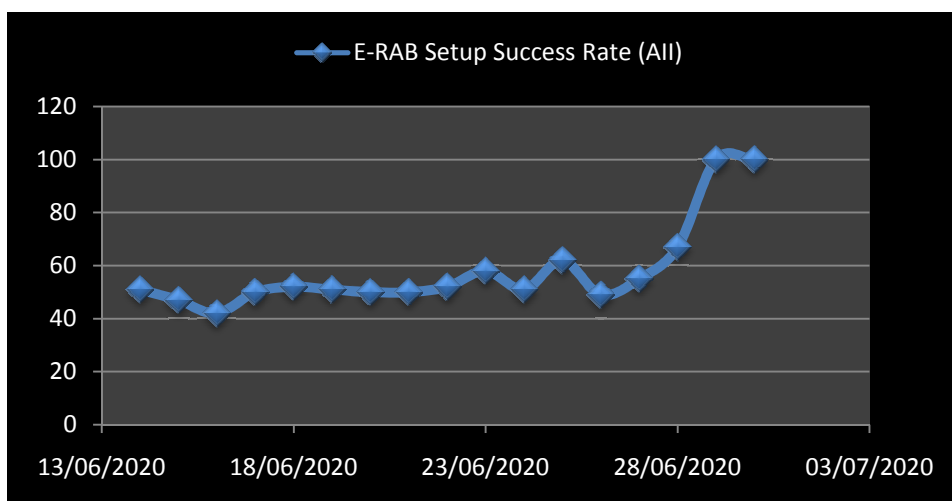


Figure 4.15 :Tracé du KPI E-RAB Setup Success Rate après exécution des actions.

4.3 Mobilité

Les valeurs du KPI Handover Success Rate collectées au niveau de cluster de XXXX pendant la période du 19-02-2020 au 13-08-2020 et tracées sur la figure 4.16 Montre clairement que le KPI est dégradé à 98,80%.

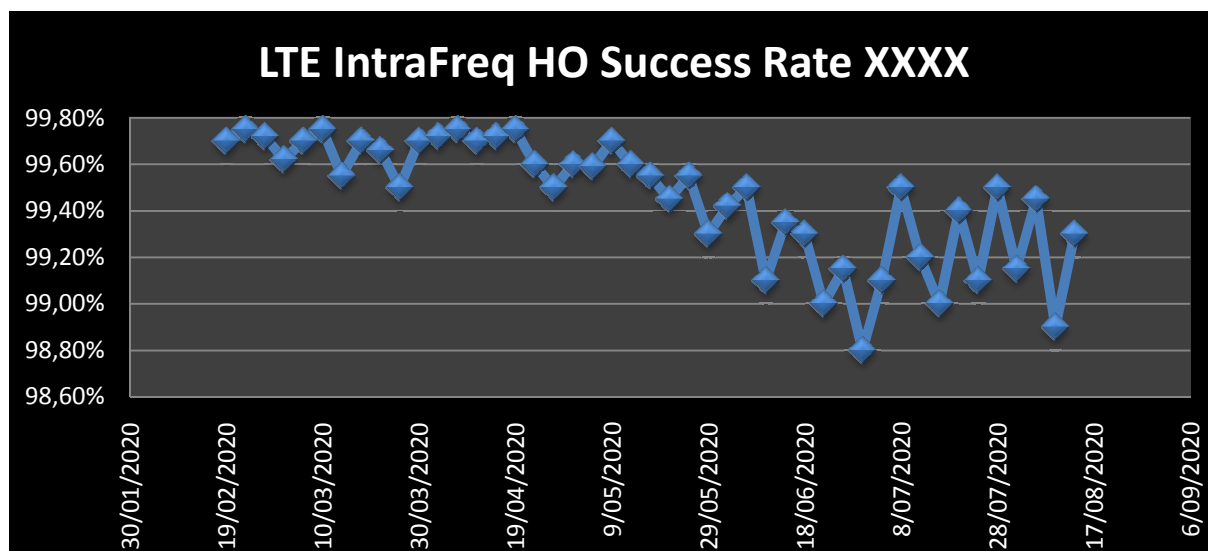


Figure 4.16 : Tracé du KPI Handover Success Rate au niveau de cluster XXXX.

Après l'analyse des cellules et l'étude de certains paramètres de transfert LTE qui pourraient améliorer Intrafreq_handover Success Rate, nous avons proposé de modifier les valeurs de ces deux paramètres RA(Random Access) et CIO (Cell Individual Offest) talque :

NonRA: indique la fonction d'accès (non-contention) pour les UE dont la distance à l'eNodeB est supérieure au cell radius. Si cette option est sélectionnée, une optimisation d'accès aléatoire est effectuée sur les UE dont la distance à l'eNodeB est supérieure au cell radius. La valeur de ce paramètre est passée de 0 à 1.

Pour Le CIO : est un offset (ajusté via le paramètre **cellIndOffNeigh**) rajouté à la valeur du niveau du signal de la cellule voisine (RSRP_neigh) mesuré par l'UE pour augmenter ou diminuer le seuil de déclenchement du handover.

En effet, le déclenchement du handover survient lorsque :

$$RSRP_{neigh} + CIO > RSRP_{serv} \quad (4.1)$$

Où $RSRP_{serv}$ représente le niveau du signal de la cellule serveuse que mesure l'UE. Ainsi, une valeur négative du CIO empêcherait l'UE d'effectuer un handover jusqu'à ce qu'il puisse recevoir un niveau de signal suffisamment fort d'une cellule voisine.

De ce fait, nous avons proposé de modifier la valeur du paramètre cellIndOffNeighde15 qui correspond à un CIO de 0 dB à une valeur de 10 qui correspond à un CIO de -3 dB.

Nous constatons sur la figure 4.17 qu'après l'ajustement des paramètres que le taux de succès du handover remonte jusqu'à atteindre une valeur d'environ 99.42%.

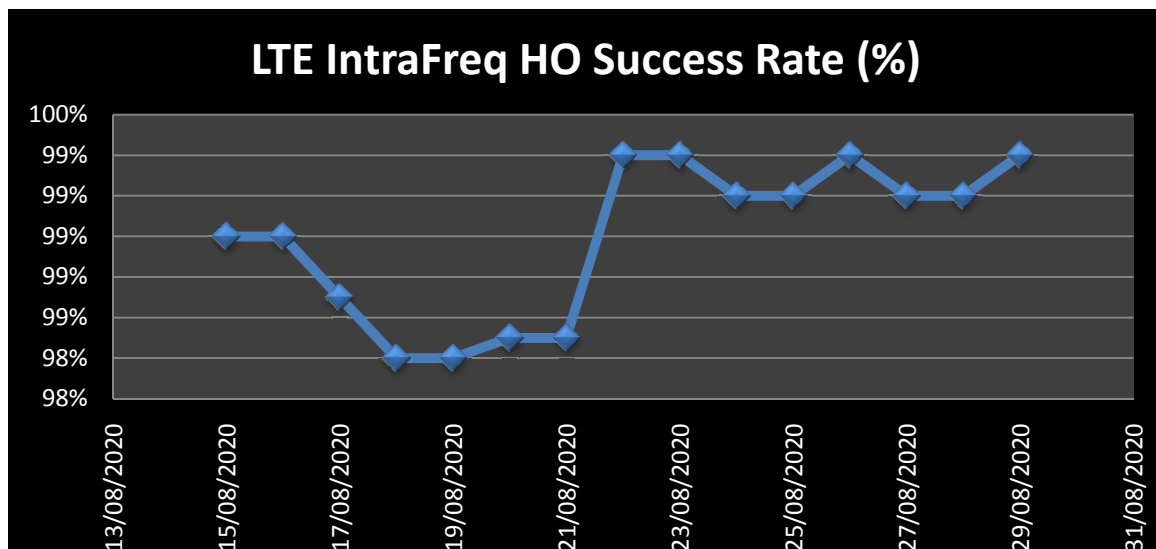


Figure4.17 : Amélioration du KPI sur le cluster XXXX.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre contribution à l'amélioration des performances du réseau d'accès radio de Mobilis au niveau de différentes Wilayas du pays à travers l'analyse des KPIs collectés, puis l'identification des causes de dégradation et la proposition de solution adéquates. Nous avons constaté à l'issue de l'exécution de ces solutions l'amélioration significative des performances apportées au réseau 4G LTE de Mobilis.

Conclusion Générale

Conclusion Générale.

Conclusion Générale

Dans le cadre de ce projet, nous avons réalisé un travail d'optimisation des performances de l'accessibilité, et de la mobilité du réseau d'accès radio 4G LTE de l'opérateur Mobilis. Une analyse approfondie des KPIs collectés au niveau des clusters, puis des cellules qui les constituent, dans différentes Wilaya, a été conduite afin d'identifier les problèmes à l'origine de la dégradation des performances du réseau.

Sur la base des résultats de cette analyse, complétée dans certain cas par une analyse plus fine des problèmes détectés suivant une procédure bien établie, nous avons proposé des solutions sous formes d'actions de modification de paramètres physiques et/ou de configuration. Après l'exécution de ces actions nous avons constaté leur impact significatif sur l'amélioration des performances du réseau.

Ainsi, pour la performance de l'accessibilité du réseau, nous avons constaté la dégradation des KPIs Random Access Success Rate, RRC Setup Success et E-RAB Setup Success Rate au niveau des clusters correspondant aux Wilayas de Alger et Djelfa respectivement. Après Nous avons proposé l'activation de l'algorithme PFA (PRACH probability false alarm) qui est utilisé pour la synchronisation initiale dans les systèmes LTE, limite l'accès aléatoire au réseau pour le premier cas et modifier Timer RRC T300 pour le second cas, et de décharger une partie du trafic à une cellule voisine pour le troisième cas. Ce qui a amélioré la performance de l'accessibilité de façon significative.

Enfin, pour la performance de la mobilité, une dégradation sévère du KPI Handover SuccessRate était constatée au niveau du cluster. Nous avons proposé une solution d'augmentation du CIO (Cell Individual Offset) pour augmenter ou diminuer le seuil de déclenchement du handover et RA.

Cette expérience de stage chez l'équipementier HUAWEI et l'opérateur Mobilis nous a surtout permis de découvrir les différentes complications et obstacles qu'un ingénieur d'optimisation se doit de surmonter, tout en respectant la procédure établie par l'équipementier et remplir les exigences des termes du contrat avec l'opérateur. Les actions à exécuter dans le cas de chaque type de problème détecté ont été proposées et soumises à

la décision de l'opérateur. Leur validation a abouti à leur mise en œuvre et le suivi de leur impact sur la performance du réseau.

Bibliographie

- [1] : Yannick Bouguen, Eric Hardouin et François-Xavier Wolff.« *LTE pour les réseaux 4G*». Editions Eyrolles, 2012.

- [2] : Huawei. « *LTE Planning*». Confidential, 2012.

- [3] : 3GPP TS 24.30 I, « Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS) (Release 8) ».

- [4] : Huawei. « *LTE Signaling and Protocols*». Confidential, 2012.

- [5] : Hannes Ekstrom et al. « Technical solutions for the 3G long-term evolution ». In : *IEEE Communications Magazine* 44.3 (2006), p. 38-45.

- [6] : Andrea Goldsmith. « *Wireless communications*». Cambridge university press, 2005.

- [7] : H Zatrinkoub. « Understanding LTE with matlab ». In: (2014).

- [8] : Huawei. « *LTE System Overview*». Confidential, 2018.

- [9] : Huawei. « *LTE eRAN6.0 Idle Mode ISSUE1.00*». Confidential, 2012.

- [10] : E. João, C. Alves da Silva, « A New Cell Selection and Handover Approach in Heterogeneous LTE Networks», University federal de Para, Belem, Brazil, 2015.

- [11] : Huawei. « *LTE RF Optimization Guide V1.0*». Confidential, 2012.

- [12] : Huawei. « *eNodeB V1R005C00-KPI Reference*». Confidential, 2012.

- [13] : *Sharetechnote*.
https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_DownlinkPowerAllocation.html. Accessed : 2010-06-19.
- [14] : Huawei. « *RAN KPI Introduction e-RAN. 6.0* ». Confidential, 2012.
- [15] : Huawei. « *HedEX Lite/3900 Series Base Station Product Documentation* ». Confidential, 2019.