

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira-Béjaïa

Faculté de la Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunication

Thème

Évaluation de la fiabilité et de la QoS de réseaux radio mobiles

Préparé par :

BOUMERIDJA KARIM

OUARI ZOUINA

Dirigé par :

M. M. TOUNSI

Examiné par :

Mlle L. ACHOUR

M. M. BOUALEM

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant tout, nous tenons particulièrement à remercier Dieu le tout puissant, ce mémoire N'aurait jamais été réalisé sans sa bénédiction.

Nous tenons à exprimer toutes nos gratitude à Monsieur **Tounsi Mohamed** pour avoir encadré notre travail Nous tenons à lui exprimer nos plus vifs remerciements pour sa disponibilité, son expérience dans la matière, son sérieux dans le travail.

Merci pour la confiance que vous nous avez accordée au cours de l'élaboration de ce mémoire; Merci pour l'acuité de vos critiques et pour vos conseils éclairés

Nos vifs remerciement vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre projet en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions

On tient à remercier tous ceux qui nous ont aidés de prêt ou de loin même pour un simple conseil

DÉDICACES

Je tiens avant tous a dédié ce travail à mes cher parents, ils mon a doté d'une éducation digne et stricte, leurs amour et leurs conseils précieux, qui ont fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui. Et pour leurs soutiens moraux durant cette période trouble au cours de laquelle j'étais tellement stressé par la préparation de mon mémoire que j'aurais pu me perdre sans leur conseil.

A mes sœurs et tata Samia et sans oublie mon petit frérot
Abdelhak.

A Dida, Zouina, Amoula, Daniel et sans oublie les membres de ma chambre I 113 Kadiir et Moumouh pour toutes les fois où j'ai pu oublier le stress en les éclatant aux dominos.

Ainsi qu'à toutes les personnes que j'aurais pu oublier, Amis et famille, auxquelles je présente mes excuses, mais croyez-moi, je vous porte tous dans mon cœur.

BOUMERIDJA

KARIM

DÉDICACES

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et
d'affection

A mes chers frères surtout mon petit frèreo Bilouch,
source de joie et de bonheur

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation

A tous mes amis, tout particulièrement Brahim, Ahlam,
Madjid, Manel, Leticia, Zoubir, Ayman, Babi

A Karim, cher binôme

A vous cher lecteur

OUARI

ZOUINA

Table des matières

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Introduction Générale.....1

Chapitre I : Rappels sur les réseaux radio-mobiles

I-1 Introduction.....	3
I-2 Architecture generique des reseaux mobiles.....	3
I-2-1 Architectures 2G	3
I-2-2 Architectures 3G	5
I-2-3 Architecture 4G.....	6
I-3 Les techniques d'accès.....	7
I-3-1 La technique d'accès 2G	7
I-3-2 La technique d'accès 3G	8
I-3-3 La technique d'accès 4G	8
I-4 Les canaux	9
I-4-1 Les canaux en 2G.....	9
I-4-2 Les canaux en 3G.....	10
I-4-3 Les canaux en 4G.....	11
I-5 Conclusion	12

Chapitre II : Notions de fiabilité

II-1 Introduction	13
II-2 Indicateur de fiabilité.....	13
II-2-1 MTBF (Mean Time between Failures).....	13
II-2-2 MDT (Mean Down Time).....	14
II-2-3 MTTF (Mean Time To Failure).....	14
II-2-4 MUT (Mean Up Time)	14
II-2-5 MTTR (Mean Time to Repair)	15
II-2-6 Temps de défaillance $\lambda(t)$	15
II-2-7 Taux de réparation $\mu(t)$	15
II-3 Les facteurs de conception d'un système	15
II-3-1 La fiabilité.....	16
II-3-2 La disponibilité.....	17
II-3-3 L'indisponibilité.....	18
II-3-4 Maintenabilité	19

II-4 Fiabilité du système	19
II-4-1 Schémas fonctionnels de fiabilité	19
II-5 Techniques de modélisation des systèmes.....	22
II-5-1 Chaînes de Markov	23
II-6 Conclusion	28
<i>Chapitre III: Indicateurs KPIs de reseaux RAN 3G/4G</i>	
III-1 Introduction	29
III-2 Indicateurs clés de performance	29
III-3-1 les KPIs 3G.....	29
III-3-2 les KPIs 4G	33
III-4 Conclusion.....	35
<i>Chapitre IV : Evaluation de la fiabilité et de performons de reseaux 3G/4G</i>	
IV-1 Introduction.....	36
IV-2 Evaluation de la fiabilité d'un réseau radio-mobile	36
IV-2-1 Disponibilité d'un service sans fil.....	36
IV-3 Analyse des indicateurs KPIs.....	43
IV-3-1 Analyse des indicateurs KPIs 3G	43
IV-3-2 Analyse des indicateurs KPIs 4 G	49
IV-4 Conclusion.....	53
Conclusion Générale	54
Bibliographie	

Listes des figures

Chapitre I

Figure I-1 Architecture du réseau GSM.....	3
Figure I-2 Architecture du réseau 3G.....	5
Figure I-3 Architecture du réseau 4G.....	6
Figure I-4 La technique d'accès GSM.....	7
Figure I-5 Allocation des sous-porteuses en mode OFDMA.....	8
Figure I-6 Différence entre l'OFDMA et le SC-FDMA.....	9
Figure I-7 Les différents canaux 4G.....	11

Chapitre II

Figure II-1 Les indicateurs de fiabilité.....	13
Figure II-2 La CDF gaussienne familière et la fonction de fiabilité $R(t)$	17
Figure II-3 Le schéma fonctionnel du système.....	20
Figure II-4 Le schéma fonctionnel de la fiabilité.....	20
Figure II-5 Le schéma fonctionnel du système.....	21
Figure II-6 Le schéma fonctionnel de la fiabilité.....	22
Figure II-7 Un Diagramme d'état de la chaîne de Markov.....	24
Figure II-8 Diagramme de transition d'état d'un modèle de Markov à un seul composant.....	25
Figure II-9 Diagramme de transition d'état de Markov redondant en veille chaude.....	26
Figure II-10 Diagramme de transition d'état de Markov en veille froide.....	27

Chapitre III

Figure III-1 Les différents KPIs du réseau 3G.....	30
--	----

Figure III-2 Les 5 catégories de mesure de KPI de la LTE.....	33
---	----

Chapitre IV

Figure IV-1 Topologie a un seul commutateur centralisé MSC.....	36
Figure IV-2 Topologie a un seul commutateur distribuée MSC.....	37
Figure IV-3 Configuration TRX de la station de base sans fil mobile.....	38
Figure IV-4 Diagramme de transition d'état de la chaîne de Markov pour les modules TRX d'une BTS.....	39
Figure IV-5 Chevauchement des stations de base et probabilité de couverture par plusieurs stations.....	41
Figure IV-6 Évaluation du taux d'échec d'accessibilité RRC CS Succes rate.....	43
Figure IV-7 Évaluation du RRC PS Success rate	44
Figure IV-8 RAB HSUPA Setup Failure Rate.....	45
Figure IV-9 RAB HSDPA Setup Failure Rate.....	45
Figure IV-10 IRAT PS Success Rate.....	46
Figure IV-11 SHO Success Rate.....	46
Figure IV-12 RAB Voice Drop Rate.....	48
Figure IV-13 RAB PS R99 Drop Rate.....	48
Figure IV-14 RRC_Setup_Succ_Rate.....	49
Figure IV-15 S1 Signaling SR.....	50
Figure IV-16 Intra_HO_SR.....	50
Figure IV-17 IRAT_HO_SR.....	51
Figure IV-18 Downlink User Throughput.....	52

Tables des tableaux

Tableau II-1 : La fiabilité des composent.....	21
Tableau IV-1: Régions et couverture du BTS.....	41
Tableau IV-2 : Probabilité de couverture et de service pour une panne TRX.....	42
Tableau IV-3 : Probabilité de couverture et de service pour les doubles pannes de TRX.....	42
Tableau IV-4 : Probabilité de service de la station de base pour chaque abonné Emplacement	
Région.....	42

Liste des abréviations

#

2G : 2nd Generation (Réseaux de deuxième génération)

3G : 3rd Generation (Réseaux de troisième génération)

4G : 4th Generation (Réseaux de quatrième génération)

5G : 5th Generation (Réseaux de cinquième génération)

A

AuC : Authentification Center (Centre d'authentification)

B

BCCH : Broadcast Control CHannel (Canal de contrôle diffusion)

BCH : Broadcast CHannel (Canal de diffusion)

BLER : BLock Error Rate

BSS : Base Station Subsystem (sous-système radio)

BTS : Base Transceiver Station (Station Emettrice/Réceptrice)

C

CCCH : Common Control CHannel (Canal de contrôle commun)

CDF : Cumulative Distribution Function (Fonction de Distribution Cumulée)

CDMA : Code Division Multiple Access (Accès multiple par répartition en code)

CS : Circuit Switched (Commutation de Circuit)

CTCH : Common Traffic CHannel (canal de trafic commun)

D

DCCH : Dedicated Control Channel

DCH : Dedicated CHannel (Canal dédié)

DI : Disponibilité Intrinsèque

DL : Downlink

DM : Disponibilité Moyenne

DO : Disponibilité Opérationnel

DPCH : Dedicated Physical CHannel (Canal physique dédié)

DRNS : Drift Radio Network Controller (Contrôleur de réseau radio à la dérive)

DSCH : Downlink SHared CHannel (Canal partagé en voie descendante)

DTCH : Dedicated Traffic CHannel (Canal de trafic dédié)

E

E-RAB : Evolved-Radio Access Bearer (porteuse pour accès radio évoluée)

E-UTRAN: Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network (Réseau à Accès radio universel terrestre évolué)

eNodeB: Evolved NodeB (NodeB évolué)

EIR : Equipment Identity Register

F

FACCH : Fast Associated Control Channel. (Canal de contrôle associé rapide)

FACH : Forward Access Channel (Canal d'accès de transfert)

FDD: Frequency Division Duplex (Duplexage à division de fréquence)

FDMA : Frequency Division Multiple Access (Accès Multiple à division de fréquence)

G

GGSN : Gateway GPRS Support Node (Nœud de support GPRS de la passerelle)

GMSC : Gateway Mobile Service Switching Center (Centre de Commutation des mobiles passerelles)

GSM : Global System for Mobile Communications

H

HD : High Definition (haute définition)

HLR : Home Location Register (Registre de localisation nominale)

HSS : Home Subscriber Server (Serveur d'abonnés Local)

I

IMEI : International Mobile Equipment Identity (Identité internationale de l'équipement mobile)

IP: Internet Protocol (Protocole internet)

K

KPI : Key Performance Indicator (indicateur clé de performance)

L

LTE : Long-Term Evolution

M

MDT : Mean Down Time

MMS : Multimedia Message Service (service de message multimédia)

MME : Mobility Management Entity

MP : Maintenance Préventive

MS : Mobile Station (Station Mobile)

MSC : Mobile Service switching Center (Centre de commutation de service mobile)

MTBF : Mean Time Between Failures

MTTR : Mean Time To Repair

MUT : Mean Up Time

N

NSS : Network switching subsystem (Sous-système réseau)

O

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Accès multiple à division en fréquence orthogonale)

OSI : Open Systems Interconnexions (Interconnexions des systèmes informatiques)

OSS : Operations SubSystem (Sous-système des opérations)

P

P_GW : Packet Gateway

PBCH : Physical Broadcast CHannel (Canal physique de diffusion)

PCCH : Paging Control Channel (Canal de contrôle de paging)

PCFICH : Physical Control Format Indicator CHannel (Canal indicateur du format de contrôle physique)

PCH : Paging Channel (canal de pagination)

PCRF : Policy and Charging Rules Function (Règle et politique de facturation)

PDCCH : Physical Downlink Control CHannel (Canal de contrôle physique sur le lien descendant)

PDF : Probability Density Function (La fonction de densité de probabilité)

PDSCH : Physical Downlink Shared Channel (Canal physique partagé sur le lien descendant)

PICH : Paging Indicator Channel (Canal indicateur De paging)

PRACH : Physical Random Access Channel (Canal physique d'accès aléatoire)

PS : Packet Switched (Commutation de paquets)

PUCCH : Physical Uplink Control CHannel (Canal physique de contrôle sur le lien montant)

PUSCH : Physical Uplink Shared CHannel (Canal physique partagé sur le lien montant)

Q

QoS : Qualite of Service (qualité de service)

R

RAB : Radio Access Bearer (Porteuse d'accès radio)

RACH : Random Access CHannel (Canal D'accès aléatoire)

RAN : Radio Access Technology (technologie d'accès radio)

RAS : Reliability, Availability, Serviceability.

RBD : Reliability Block Diagrams.

RNC : Radio Network Controller (Contrôleur de réseau Radio)

RRC : Radio Ressource Control (Contrôle des ressources Radio)

S

S_GW : Serving Gateway

SACCH : Slow Associated Control Channel (Canal de contrôle lent associé (au TCH))

SCH : Synchronization CHannel (Canal de synchronisation)

SDCCH : Stand-Alone Dedicated Control Channel.(Canal de contrôle dédié en mode veille)

SDCCH : Stand-Alone Dedicated Control Channel.(Canal de contrôle dédié en mode veille)

SGSN : Serving GPRS Support Node (Noeud de support GPRS)

SIM : Subscriber Identification Module

SMS : Short Message Service

SRNC : Serving RNC (RNC de service)

T

TBF : Temps de Bon Fonctionnement

TCH : Traffic CHannel (canal de trafic)

TD-SCDMA : Time Division- Synchronous Code Division Multiple Access (accès multiple à division en codes synchrones et division temporelle)

TRX : Transceiver

TS : Time Slot (IntervalleTemporel)

TTR : Temps Techniques de Réparation

TTE : Temps Techniques d'Exploitation

U

UE : User Equipment

UL : Uplink

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System (Système de télécommunications universel mobile)

USIM : Universal Subscriber Identity Module

UTRAN : Universal Terrestrial Radio Access Network (réseau d'accès radio terrestre universel)

V

VLR : Visitor Location Register

W

WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access (Accès multiple par répartition en codes à large bande)

Introduction
Générale

Introduction Générale

Depuis les années 1990, nous avons assisté au développement de plusieurs normes de communications sans fil qui ont induit une très forte demande de diversification des services avec des performances accrues en termes de capacité, de débit, de rapidité, de fiabilité, ...etc.

Les réseaux radio mobiles ont ainsi connu une expansion rapide avec de nombreuses innovations technologiques. Cela a conduit au déploiement de plusieurs générations, d'abord axées sur la téléphonie (2G), puis orientées vers le multimédia (3G) et le haut débit (4G) et de nos jours, vers l'expansion de l'IoT (Internet des Objets), le très haut débit mobile et des communications ultra fiables et à latence très réduite (5G). Ces innovations ont vu le jour à mesure que les réseaux tout IP ont été établis, facilitant des services qui étaient considérés utopiques dans les années 1980.

La complexité de ces réseaux justifie amplement l'émergence de politiques de suivi et d'optimisation de leur fonctionnement à travers divers concepts : la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité, qui constituent la sécurité dite de fonctionnement de ces réseaux, traitant de l'étude du comportement d'un réseau, quand certains de ses composants sont sujets à des perturbations ou des défaillances aléatoires, généralement traitée par la théorie de la fiabilité.

Bien que le terme fiabilité existe depuis longtemps, ce n'est qu'au XXe siècle que la fiabilité a commencé à avoir une signification quantitative. La mesure de fiabilité la plus étudiée est la probabilité que deux nœuds d'un réseau puissent communiquer entre eux à un instant donné. Ces critères de conception sont généralement spécifiés en termes de disponibilité plutôt que de fiabilité. La disponibilité est une autre mesure de la performance du système et indique son aptitude à assurer la prestation de service durant une certaine durée de temps.

Par conséquent, le choix de la méthode de mesure des performances d'un système est une étape importante pour fournir un meilleur service. Ainsi, la Qualité de Service (QoS : Quality of Service) est le moteur de l'innovation technologique qui améliore les performances d'un réseau déployé. C'est pourquoi un système d'indicateurs clés de performance (KPI), ou plus communément appelés KPI, est mis en place pour aider les gestionnaires à mieux gérer leurs réseaux.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail dans ce mémoire. Il consiste à étudier la fiabilité et analyser l'évolution de divers indicateurs KPIs de réseaux radio mobiles de troisième (3G) et quatrième (4G) générations déployés par notre opérateur national en téléphonie mobile, ATMobilis.

Notre mémoire est organisé comme suit :

- Un premier chapitre à travers lequel nous rappelons les architectures des réseaux 2G, 3G et 4G, les techniques d'accès utilisées et les différents canaux que chacune de ces générations déploie pour transmettre les données sur l'interface radio ;
- Un second chapitre traite de quelques concepts de fiabilité, à savoir divers indicateurs, des schémas fonctionnels ainsi que les techniques utilisées pour modéliser la fiabilité ;
- Un troisième chapitre explicite les nombreux indicateurs de performances utilisés par les opérateurs pour optimiser le fonctionnement de leurs réseaux ;
- Un quatrième chapitre traite des résultats obtenus sur l'évaluation de la fiabilité des stations RBS et centres de commutation MSC, suivis d'une analyse et une interprétation détaillées de divers indicateurs KPIs recueillis chez l'opérateur national ATMobilis, relatifs à divers sites 3G et 4G sur une durée de 03 mois ;
- Enfin, nous terminons par une conclusion générale et les références bibliographiques utilisées.

Chapitre I
Généralité sur
les réseaux
radio-mobile

I-1 Introduction

Ces dernières années, les réseaux radio mobiles ont connu un développement important dans la télécommunication. D'une part il y a le déploiement de générations successives de réseaux de télécommunication, principalement pour la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS) et les réseaux 4G. D'autre part, les réseaux 5G qui sont proposés comme la prochaine génération de réseaux mobiles.

Dans ce chapitre nous décrivons l'architecture générale des réseaux 2G, 3G et 4G, les techniques d'accès utilisées et les différents canaux que chacune de ces générations cellulaires déploie pour transmettre les données sur l'interface radio.

I-2 Architecture générique des réseaux mobiles

I-2-1 Architectures 2G

Le système GSM comporte deux composants principaux : l'infrastructure installée fixe (BSS, NSS, OSS) et les utilisateurs mobiles [1]. La Figure I-1 montre l'architecture de ce système.

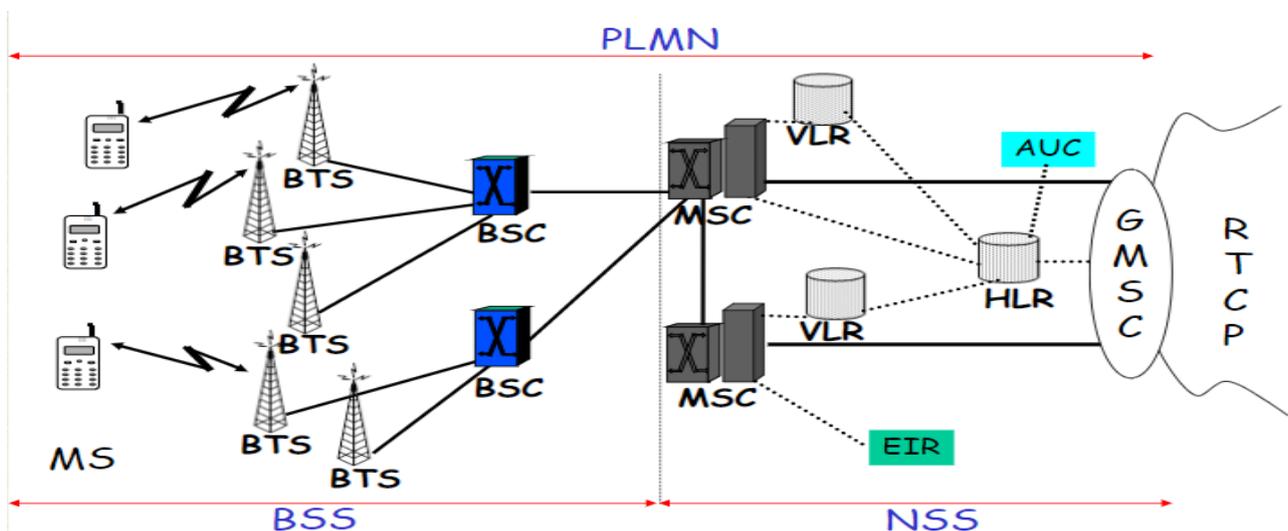


Figure I-1 : Architecture du réseau GSM [33]

I-2-1-1 La station mobile (MS)

Le MS est le dispositif physique que l'utilisateur utilise pour accéder au service télécommunications.

I-2-1-2 Sous-système radio BSS

Il correspond à la fonction de distribution du réseau de radiocommunication, il se compose :

- **BTS** : Une station BTS se compose d'un sous-système de contrôleur et d'une ou plusieurs unités d'émetteur-récepteur (TRX), qui sont responsables de la transmission et de la réception des signaux par voie hertzienne.
- **BSC** : Le BSC est l'organe intelligent du BSS, il gère les canaux radio (contrôle d'admission d'appels, handover et contrôle de puissance), concentre les BTS et supervise l'activation/désactivation d'un canal.

I-2-1-3 Sous système réseau NSS

Le NSS est responsable de la commutation des appels, de routage et de la gestion de la mobilité. Il se compose d'un certain nombre d'éléments qui sont :

- **MSC** : Est responsable de l'acheminement du trafic vocal et du système de messages courts (SMS), du traitement des appels de bout en bout et de la gestion de la mobilité. Il joue aussi le rôle de Gateway entre les réseaux fixes et mobiles ou entre les réseaux mobiles pour les appels entrants lorsque la localisation de l'appelé est inconnue.
- **HLR** : Est la base de données centrale du réseau GSM, il comporte un registre de tous les abonnés enregistrés auprès de l'opérateur du réseau. Il stocke par exemple le numéro de téléphone de chaque utilisateur, les abonnements au service, les autorisations et l'authentification des données.
- **VLR** : Cette base de données est responsable d'un groupe de zones de localisation, elle stocke les données de tous les utilisateurs qui se trouvent actuellement dans cette zone.
- **AuC** : l'AuC est une base de données protégée contenant des copies des clés enregistrées sur la carte SIM de chaque utilisateur. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et utilisé pour chiffrer les données envoyées.
- **EIR** : L'EIR est une base de données annexe contenant les identités des terminaux (IMEI). Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si un équipement mobile (ME) a ou non le droit d'accès au système.

I-2-1-4 Sous système d'Exploitation et de Maintenance OSS

Ce sous système est composé généralement d'un sous système d'exploitation et de Maintenance OMC-R qui assure les fonctions d'exploitation et de gestion du BSS et d'un sous système d'exploitation et de maintenance OMC-NSS qui permet la centralisation de l'exploitation technique du NSS.

I-2-2 Architectures 3G

L'architecture du réseau UMTS est constituée d'un réseau d'accès radio et d'un réseau cœur CN. Entre l'utilisateur et le réseau d'accès se trouve le terminal utilisateur [2] (UE : User Equipment). La Figure I-2 montre la structure générale de ce réseau.

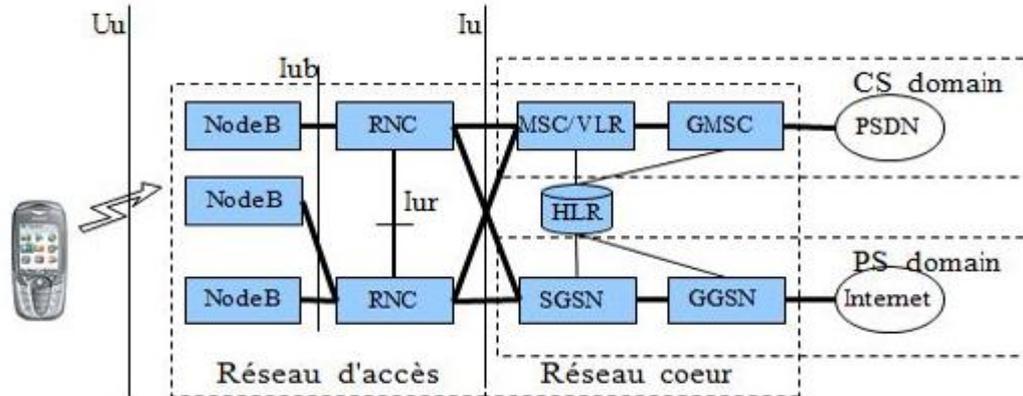


Figure I-2 : Architecture du réseau 3G [3]

I-2-2-1 Le terminal utilisateur (UE)

Il est constitué de deux composantes. La première est l'équipement mobile (ME), son rôle principal est la transmission radio. La deuxième composante est la carte USIM (Universal Subscriber Identity Module) qui est l'équivalente de la carte SIM du GSM [3].

I-2-2-2 Réseau d'accès 3G

Le réseau d'accès UTRAN est composé des éléments suivants [4] :

- **Node B** : Un UTRAN peut avoir une ou plusieurs stations de base. Son rôle principal est d'assurer les fonctions de réception et d'émission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès UMTS avec équipement utilisateur. Le Node B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (Codage et Décodage). Il peut s'interfacer avec Le RNC via l'interface Iub.
- **RNC** : Permet le routage des communications entre le Node B et le réseau cœur de l'UMTS. Le RNC est le point d'accès pour l'ensemble des services fournis par l'UTRAN au réseau cœur, auquel il est relié via l'interface Iu.

I-2-2-3 Réseau Cœur 3G

Le réseau cœur de l'UMTS se compose de deux domaines :

- **Le domaine CS** : Est le domaine circuit utilisé pour la téléphonie. Il se compose de MSC, GMSC, VLR qui est décrits dans la section GSM.
- **Le domaine PS** : Qui permet la commutation de paquets. Ce domaine est composé de plusieurs modules :
 - **SGSN** : Il est chargé de l'enregistrement et de la localisation des utilisateurs dans une zone géographique et une zone de routage RA
 - **GGSN** : Il s'agit de la passerelle vers les réseaux à commutation de paquets externes tels qu'Internet

Les éléments communs aux domaines CS et PS sont le HLR, l'AuC et l'EIR.

I-2-3 Architecture 4G

L'architecture globale d'un réseau 4G est composé de deux parties, la partie radio et la partie cœur. La Figure I-3 montre l'architecture générale de ce réseau.

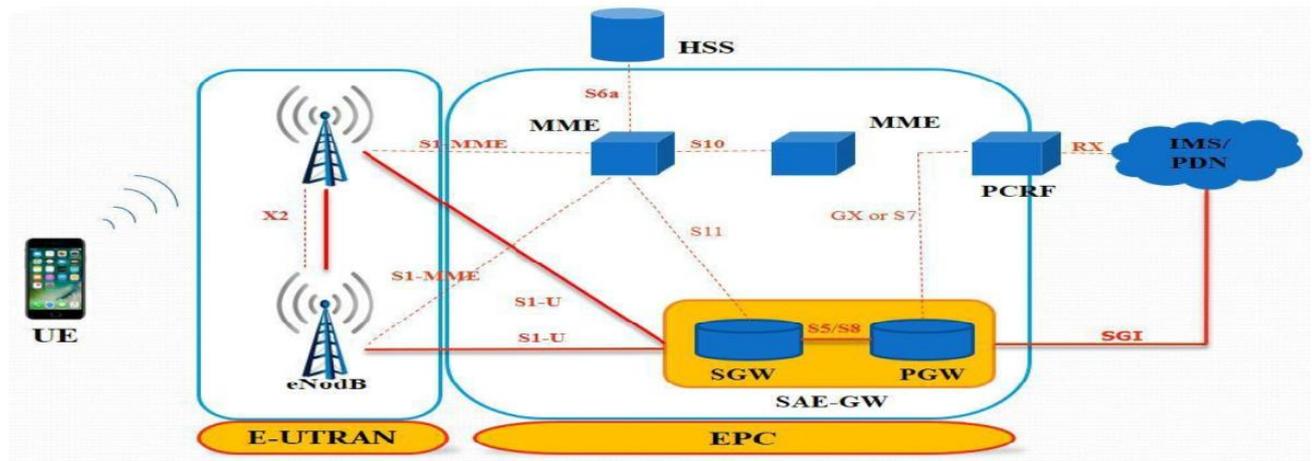


Figure I-3 : Architecture du réseau 4G [32]

I-2-3-1 Réseau d'accès 4G

Le réseau d'accès 4G est composé uniquement d'un eNodeB, son rôle principal est d'envoyer les datagrammes entre l'équipement utilisateur (UE) et la passerelle de réseau de données par paquets (P-GW) via le noyau de paquets amélioré par IP. Les datagrammes UE sont encapsulés à l'eNodeB et peuvent être canalisés vers la passerelle P-GW, ce tunnel peut avoir des garanties de qualité de service (QoS).

I-2-3-2 Réseau cœur 4G

Il introduit de nouveaux éléments propres à la 4G, qui sont :

- **MME (Mobility Management Entity)** : Elle travaille en mode sondage et elle sert à contrôler la sécurité et aussi pour gérer le transfert entre réseaux et la gestion de la mobilité.
- **S_GW (Serving Gateway)** : La fonction principale de la passerelle de service est le routage et la transmission des paquets de données utilisateur. Il est également responsable des transferts inter-eNB dans l'avion U et assure la mobilité entre LTE et d'autres types de réseaux tels qu'entre 2G/3G et P-GW.
- **P_GW (Packet Gateway)** : Est un appareil impliqué dans le routage des données dans un réseau 4G. C'est la passerelle unique entre le réseau IP de l'opérateur et internet.
- **HSS « Home Subscriber Service »** : Il a la même fonctionnalité que le HLR, il contient les identifiants et les droits des abonnés et il inclut également des liens possibles vers le monde IMS pour la gestion de services vocaux riches.
- **PCRF** : Cette entité fournit des règles de tarification pour les flux d'utilisateurs et peut demander au PDN-GW d'établir, de modifier et de libérer des "supports dédiés" en fonction de la qualité de service (QoS) attendue par l'utilisateur.

I-3 Les techniques d'accès

I-3-1 Techniques d'accès 2G

La technique d'accès utilisée en 2G est un mix de multiplexage temporel et fréquentiel F/TDMA, qui consiste à diviser la fréquence allouée à la BTS en sous-bandes de largeur 200KHZ (FDMA), puis à multiplexer jusqu'à 8 utilisateurs dans chacune de ces sous-bandes les en divise en TS de 577 us. La Figure I-4 illustre ce processus.

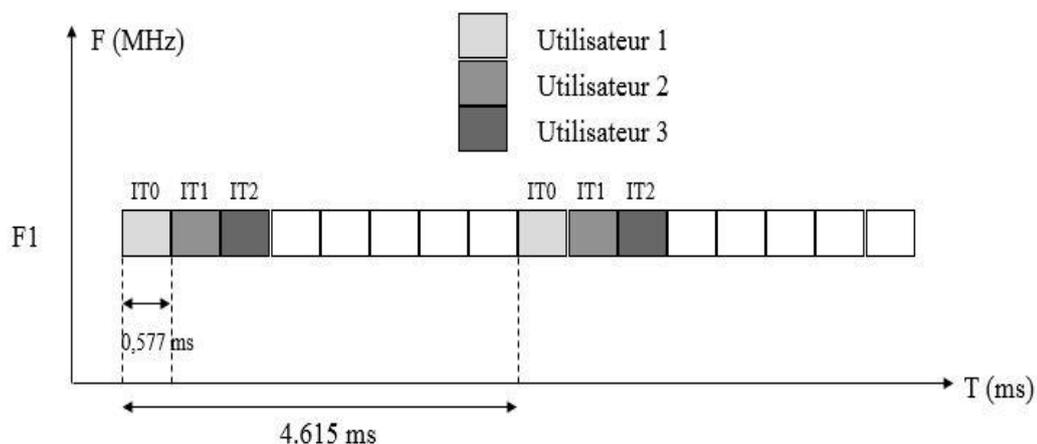


Figure I-4 : La technique d'accès GSM

I-3-2 Techniques d'accès 3G

Il existe deux techniques d'accès utilisées en 3G : le W-CDMA et le TD-SCDMA, la première technique utilise le mode de duplexage FDD car il utilise deux bandes de fréquence, l'une en UL et l'autre en DL, la deuxième technique n'utilise qu'une seule fréquence porteuse divisée en TS pour les deux sens. La bande passante de la porteuse utilisée est de 5 MHz pour chaque canal. Elle a été choisie car il suffit de fournir des débits de données de 144 Kbps pour le W-CDMA et 384 Kbps pour le TD-SCDMA, et même 2 Mbps dans de bonnes conditions. [4]

W-CDMA est particulièrement adapté aux grandes cellules pour la voix et les services bas et moyens débits, tandis que le TD-SCDMA est limité aux petites cellules du fait qu'il est adapté aux services en mode paquet, à haut débit. Ces deux modes doivent cohabiter sur le même terminal et le même réseau pour couvrir l'ensemble des services prévus pour l'UMTS.

I-3-3 Techniques d'accès 4G

Deux techniques d'accès distinctes sont utilisées en 4G :

- **OFDMA**

OFDMA est employé dans la liaison descendante du LTE, dont le principe est de diviser la bande de fréquence du système en plusieurs sous-porteuses permet de multiplexer aisément différents utilisateurs, ou différents canaux, en leur allouant des sous-porteuses différentes. En particulier, l'OFDMA peut déterminer le nombre de sous-porteuses allouées à l'UE en fonction de ses exigences de débit. Par exemple, un utilisateur qui n'a besoin que d'un appel vocal à faible débit se verra attribuer un nombre de sous-porteuses bien inférieur à un UE téléchargeant un fichier volumineux. [5]

La Figure suivante décrit l'utilisation des sous-porteuses OFDMA en LTE : les sous-porteuses noires, vertes et bleues (les plus nombreuses) transportent les données utilisateur, et les sous-porteuses rouges transportent les informations de synchronisation et de signalisation entre les deux extrémités de la liaison radio.

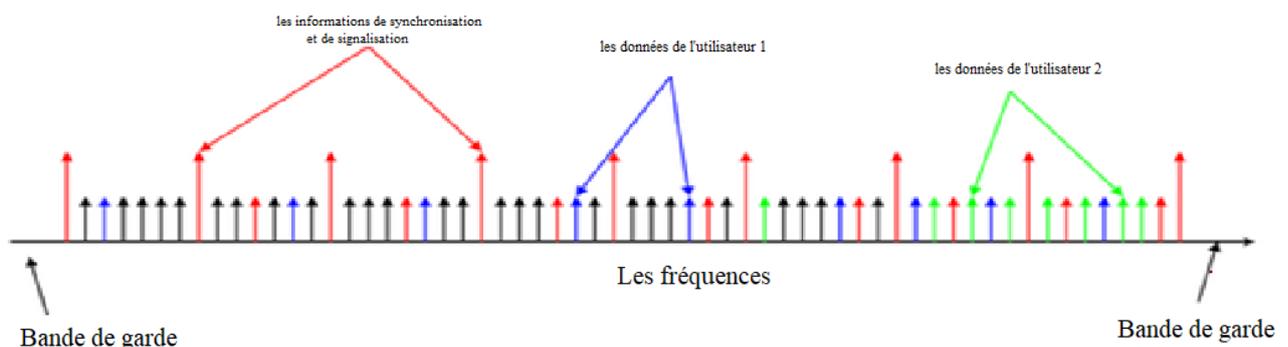
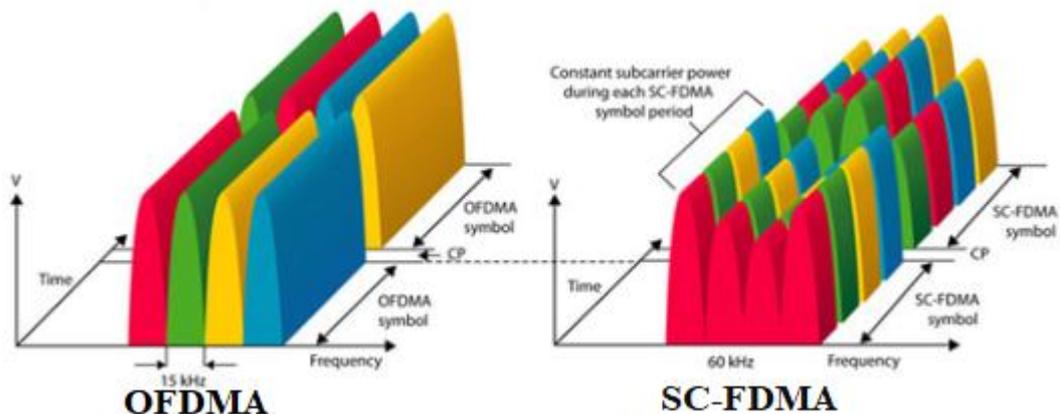


Figure I-5 : Allocation des sous-porteuses en mode OFDMA

- **SC-FDMA**

SC-FDMA est une technique de codage utilisée dans la liaison montante des réseaux mobiles « LTE », dont le principe est de réduire la consommation électrique du terminal, contribuant ainsi à augmenter la durée de vie de sa batterie. [6]

La différence majeure entre les deux techniques est que l'OFDMA est une technique de transmission multi-porteuse, tandis que SC-FDMA est une technique mono-porteuse. La figure ci-dessous illustre cette différence.



I-4 Les canaux

I-4-1 Les canaux en 2G

Le réseau GSM définit une série de canaux logiques, qui sont divisés en deux catégories [7] :

I-4-1-1 Canaux de trafic

Le TCH est utilisé pour transmettre les données utiles de l'utilisateur (voix, données), il peut être utilisé à plein débit (TCH/F) ou divisé en deux canaux à demi-débit (TCH à demi-débit, TCH/H), qui peuvent être attribués à différents utilisateurs.

I-4-1-2 Canaux de contrôle

- **Broadcast CHannel (BCH) :** Ce canal est déployé sur la voie descendante uniquement.
 - BCCH : Sur ce canal, on trouve une série d'information sur le système.
 - Le FCCH : Affiche des informations sur la correction de la fréquence de transmission diffusée au MS.
 - Le SCH : Diffuse des informations pour l'identification de la BTS.
- **Common Control Channel (CCCH) :** Ou canal de contrôle commun, ce groupe est composé de quatre canaux logiques communs à tous les utilisateurs.

- Le RACH est la partie de liaison montante du CCCH. Il est utilisé pour l'accès mobile aléatoire.
- L'AGCH est la partie descendante du CCCH, il est utilisé pour allouer SDCCH ou TCH aux MSs.
- Le PCH fait également partie de la liaison descendante CCCH. Ceci est utilisé pour la pagination afin de trouver un MS spécifique.
- Le NCH est utilisé pour informer les MSs du groupe entrant et diffuser des appels.
- **Dedicated Control Channel (DCCH)** : est composé de trois canaux logiques qui sont utilisés dans la voie montante et descendante.
 - SDCCH pour la signalisation entre un MS et le BSS lorsqu'il n'y a pas de lien.
 - SACCH transporte des informations pour une utilisation optimale de la liaison radio, par exemple, la commande pour la synchronisation, le contrôle de la puissance de l'émetteur et rapports sur les mesures des canaux.
 - FACCH pour l'exécution des Handovers.

I-4-2 Les canaux en 3G

Les canaux utilisés en 3G sont [8] :

I-4-2-1 Les canaux de transport

- **BCH (DL)** : Informations relatives au SYSTÈME/Cellule.
- **FACH (DL)** : Transporte les informations de contrôle du réseau vers l'UE.
- **PCH (DL)** : Canal de radiomessagerie.
- **DCH (UL ou DL)** : Canal dédié à un seul UE .Il transporte des données de contrôle ou de trafic.
- **DSCH (UL-DL)** : Transport des données de contrôle ou de trafic
- **RACH(UL)** : Canal d'accès aléatoire.

I-4-2-2 Les canaux physiques

- **P/S-CCPCH** : Canal physique de contrôle commun primaire et secondaire.
- **SCH** : Canal de synchronisation.
- **PICH** : Canal d'indicateur de radiomessagerie.
- **DPCH** : Canal physique dédiée dans les deux liaisons montant et descendante.
- **PDSCH** : Canal partagé de liaison descendante physique.
- **PUSCH** : Canal partagé de liaison montante physique.
- **PRACH** : Canal d'accès aléatoire physique.
- **PNBSCH** : Canal de synchronisation physique du nœud B.

I-4-2-3 Les canaux logiques

- **DTCH** : C'est un Canal de trafic dédié pour le transport des informations utilisateur dans les deux liaisons montante et descendante.
- **CTCH** : C'est un Canal de trafic commun.
- **BCCH** : Canal de contrôle de diffusion, transporte les informations système dans la liaison descendante.
- **CCCH** : Bidirectionnel c'est un Canal de contrôle commun.
- **DCCH** : Canal de contrôle dédié, point à point bidirectionnel.
- **PCCH(DL)** : Transporte les informations de pagination.

I-4-3 Les canaux en 4G

Les canaux déployés en 4G sont assez similaires aux canaux 3G, les canaux logiques restent les mêmes, mais certains canaux physiques et de transport sont introduits. Le schéma de la figure ci-dessous résume la correspondance entre les différents types de canaux 4G [6].

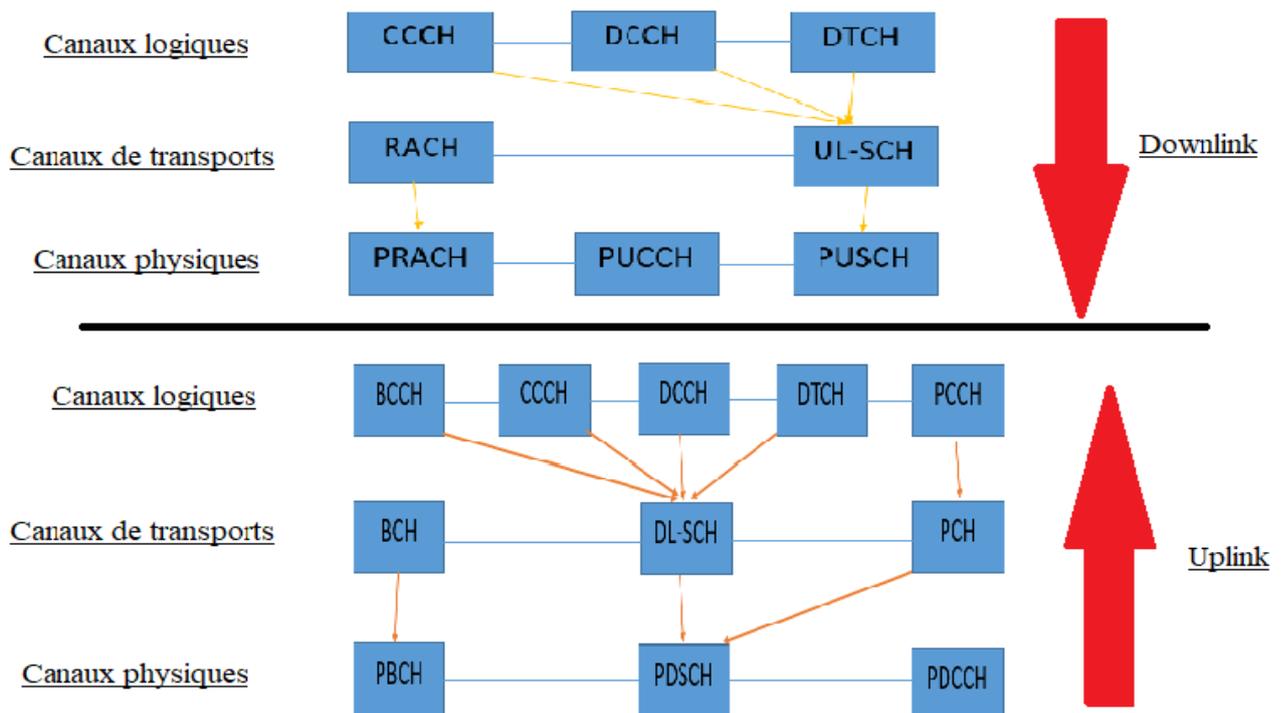


Figure I-7 : Les différents canaux 4G

I-4-3-1 Canaux physiques

Les canaux physiques LTE varient entre la liaison montante et descendante.

- **PBCH (DL)** : Ce canal transporte des informations système pour les UE qui doivent accéder au réseau.

- **PCFICH(DL)** : Informe l'UE du format du signal reçu, il indique le nombre de symboles OFDM utilisés pour les PDCCH.
- **PDCCH(DL)** : Le but principal de ce canal est de transporter des informations de planification de différents types tels que les planifications des ressources et les Instructions de contrôle de la puissance.
- **PUCCH(UL)** : Il fournit les diverses exigences de signalisation de contrôle.
- **PDSCH** : Pour la transmission du DL-SCH et du PCH.
- **PUSCH(UL)** : C'est l'homologue de liaison montante de PDSCH.
- **PRACH (UL)** : C'est le seul canal physique partagé avec la 3G pour les fonctions d'accès aléatoire.

I-4-3-2 Canaux de transport

SCH : C'est le nouveau canal déployé en 4G principalement pour le transfert de données dans les deux sens. Il est également utilisé pour transmettre des informations de cellule non véhiculées par BCH.

I-5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue des architectures des réseaux 2G/3G et 4G, suivie d'éléments explicatifs sur les techniques d'accès radio de ces trois technologies et sur les différents canaux de transport et de contrôle.

Chapitre II
Notions de
fiabilité

II.1 Introduction

Une base solide de connaissances théoriques sur la fiabilité est essentielle à l'analyse des systèmes de télécommunications. Selon les analyses de fiabilité modernes, un produit fiable est totalement exempt des pannes techniques. Ces analyses reposent fortement sur l'application des probabilités et des statistiques mathématiques.

En pratique, les fournisseurs expriment souvent le taux de fiabilité de leur produit en pourcentage. Les produits évolutifs, qui se sont développés au fil de plusieurs versions sur une longue période de temps, sont habituellement considérés comme de plus en plus fiables, partant du principe que les causes des pannes ont été éliminées par rapport aux antérieures.

Dans ce chapitre, nous allons décrire quelques concepts de fiabilité, leurs indicateurs, ces schémas fonctionnels ainsi que la techniques utilisées pour modéliser la fiabilité (chaînes de Markov) [12].

II.2 Indicateur de fiabilité

Dans un premier temps, on va donner quelques indicateurs qui sont utilisées en fiabilité.

La figure II-1 représente ces indicateurs [12].

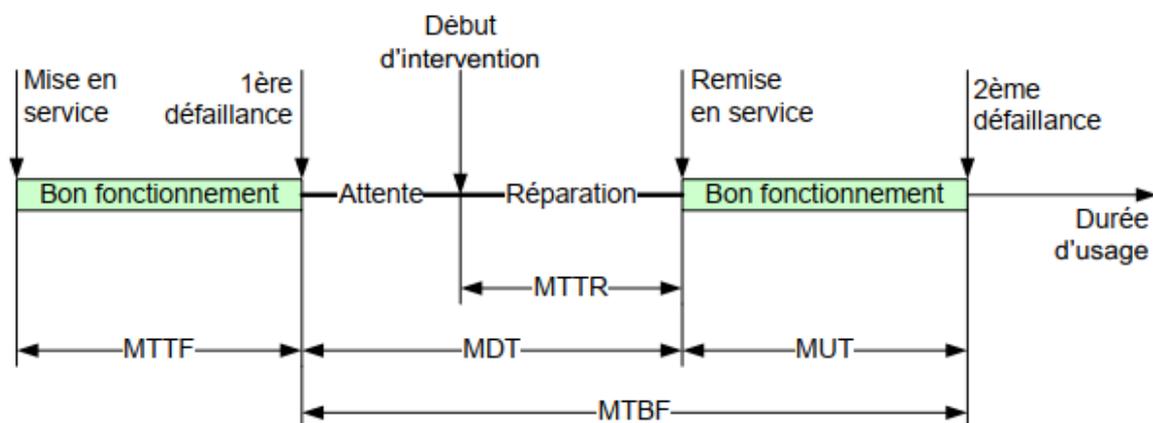


Figure II-1 : Les indicateurs de fiabilité

II.2.1 MTBF (Mean Time between Failures)

La métrique la plus basique utilisée pour analyser, définir et concevoir des composants télécoms est le MTBF.

Le MTBF est un indicateur important des performances attendues. C'est des valeurs qui indiquent la fiabilité d'un composant ou d'un système. C'est pourquoi les fabricants l'utilisent comme une

mesure de fiabilité quantifiable et comme un outil essentiel dans les étapes de conception et de production de nombreux produits. Pour les systèmes réparables, le MTBF est le temps moyen entre le début de la réparation et la panne suivante. Il peut être calculé en utilisant la somme du temps de bon fonctionnement divisé par le nombre de pannes :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement total}}{\text{Nombre des pannes}} \quad (\text{II-1})$$

Il est donné aussi par la formule suivante : $\text{MTBF} = \text{MUT} + \text{MDT}$

II.2.2 MDT (Mean Down Time)

Le temps d'arrêt moyen (MDT) est le temps moyen pendant lequel un système n'est pas opérationnel. Cela inclut tous les temps d'arrêt associés à la réparation, à la maintenance corrective et préventive, les temps d'arrêt auto-imposés et tout retard logistique ou administratif.

MDT est la durée moyenne d'indisponibilité (temps de détection de la panne, temps de réparation de la panne et de remise en service). [18 ,19] L'identification et la répartition des pannes dans les systèmes de télécommunications peuvent varier de quelques minutes à quelques heures selon le type et la criticité du système.

Le MDT peut être calculé de manière empirique en collectant des données de réparation réelles et en appliquant une analyse statistique la mieux adaptée pour déterminer le modèle de distribution et les paramètres qui représentent le mieux l'ensemble de données collectées.

On le calcule selon la formule suivante :

$$\text{MDT} = \frac{\sum \text{Temps moyen pendant lequel un système n'est pas opérationnel}}{\text{Nombre d'arrête}} \quad (\text{II-2})$$

II.2.3 MTTF (Mean Time To Failure)

Le MTTF est identique à MTBF, sauf qu'il ne prend en compte que le premier échec.

II.2.4 MUT (Mean Up Time)

Durée moyenne de bon fonctionnement après réparation (Mean Up Time). Le MUT est différent du MTTF car lorsqu'un système est remis en service après une panne, tous ses éléments défectueux n'ont pas forcément été réparés [18 ,19].

II.2.5 MTTR (Mean Time to Repair)

Ce terme désigne le temps moyen nécessaire pour réparer un système et lui redonner toutes ses fonctionnalités. MTTR démarre lorsque la réparation commence et continue jusqu'à ce que la réparation soit terminée.

II.2.6 Taux de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ représente la probabilité pour que le système tombe en panne à l'instant t sachant qu'il n'y a pas eu une défaillance dans l'intervalle de temps $[0 ; t]$. Il est donné par [18,19]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{II-3})$$

II.2.7 Taux de réparation $\mu(t)$

Le taux de réparation indique l'aptitude d'un système à être dépanné et/ou réparé. Il s'obtient par la relation suivante :

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II-4})$$

Dans un environnement de télécommunications, deux types de temps d'arrêt sont généralement observés :

- Événements d'indisponibilité dus à la maintenance planifiée du système, comme la maintenance préventive (MP). Les mises à niveau du système et la reconfiguration ou l'évolution. Ces types d'événements sont généralement coordonnés entre le fournisseur et le client et sortent souvent du cadre des calculs de disponibilité contractuels [18,19].
- Le deuxième type d'événement de temps d'arrêt est une panne qui se produit en raison d'une défaillance du système entraînant une interruption de service. Les concepteurs de systèmes, les opérateurs et les clients sont souvent les plus concernés par les temps d'arrêt du système.

II.3 Les facteurs de conception d'un système

La fiabilité qualifie tout élément (logiciel, matériel, réseau ou autre) dont les performances concordent de manière constante avec les spécifications. C'est depuis longtemps une des trois caractéristiques à prendre en compte avant de fabriquer, d'acheter ou d'utiliser un produit ou un composant. Fiabilité, disponibilité et facilité de maintenance, sont des facteurs importants à intégrer à la conception de n'importe quel système qui sont représentés ci-dessus [11, 19].

II.3.1 La fiabilité

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système, d'un matériel ou d'un réseau à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné. En d'autres termes, c'est le niveau de confiance qu'on peut accorder à leur fonctionnement [11, 17].

Afin de quantifier et de calculer la fiabilité, les termes « période indiquée » et « condition indiquées » doivent être définis et identifiés. [12] La période spécifiée définit la durée de validité de l'analyse du système. Les conditions définissent les paramètres de fonctionnement pour lesquels la fonction de fiabilité est valide, Les concepteurs et les consommateurs de systèmes de télécommunications devraient accorder une attention particulière aux "conditions indicatives" pour s'assurer que les décisions et les jugements pris dans ces conditions sont corrects et appropriés.

II.3.1.1 La fonction de fiabilité

La fonction de fiabilité est une expression mathématique reliant analytiquement la probabilité de succès au temps. Afin de décrire complètement la fonction de fiabilité, les notions de variable d'état et de temps avant défaillance (TTF time to failure) doivent être présentées.

L'état opérationnel de tout élément à un instant t peut être défini en termes d'une variable d'état $X(t)$ qui décrit l'état opérationnel d'un système, d'un élément ou d'une mission à tout instant t . Dans l'analyse présentée ici, la variable d'état $X(t)$ peut se trouver dans l'un des deux états suivants [12] :

$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{si l'élément est fonctionnel (en service),} \\ 0, & \text{si l'élément est en panne (hors service).} \end{cases} \quad (\text{II-5})$$

Nous posons les hypothèses suivantes [15] :

- Au départ chaque diapositive est en état de service.
- Les défaillances se produisant généralement de façon aléatoire.

La fonctionnalité opérationnelle d'un élément s'écrit selon son état opérationnel et se traduit par TTF.

La fonction de distribution cumulative « CDF » d'une variable aléatoire à valeur réelle (T est le temps de défaillance) est la fonction donnée par :

$$F(t) = \Pr (T \leq t) \quad \text{pour } [0, t] \quad (\text{II-6})$$

Où le membre de droite représente la probabilité que la variable aléatoire T prenne une valeur inférieure ou égale à t et $F(t)$ représente la probabilité qu'un élément échoue sur l'intervalle $[0, t]$ ce qu'on appelle une fonction de défaillance.

La CDF d'une variable aléatoire continue T peut être exprimée comme l'intégrale de sa fonction de

densité de probabilité (PDF) comme suit :

$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad \text{pour tout } t \geq 0 \quad (\text{II-7})$$

telle que : $f(u)$ est la PDF du temps jusqu'à la défaillance. Conceptuellement, la PDF représente une fonction d'histogramme du temps pour laquelle $f(t)$ représente la fréquence relative d'occurrence des événements TTF [12, 17].

On peut écrire la fonction de défiabilité $R(t)$ comme suit :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{pour } t > 0 \quad (\text{II-8})$$

La Figure II-2 montre un exemple de CDF gaussienne ($\mu = 40,000$ h, $\sigma = 1000$ h) et la fonction de fiabilité associée $R(t)$.

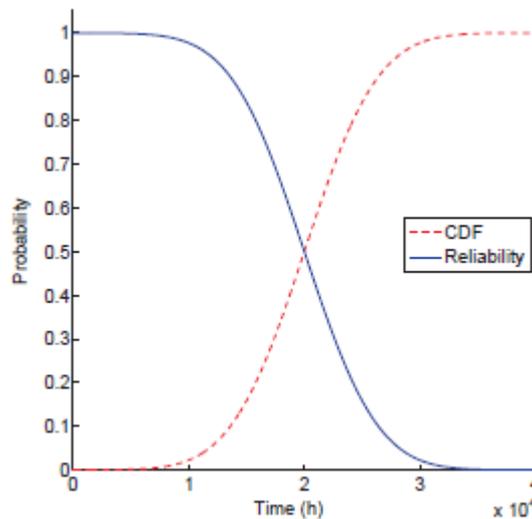


Figure II-2: La CDF gaussienne familière et la fonction de fiabilité $R(t)$ [12].

II.3.2 La disponibilité

Dans le monde des télécommunications, la mesure la plus importante à étudier est la disponibilité. Elle est définie comme "la capacité d'un équipement à remplir ou à être en train de remplir sa fonction à un instant donné ou dans un intervalle de temps donné, en termes de fiabilité, de maintenabilité et de logistique de maintenance combinées». La disponibilité est notée D (en anglais elle est notée A , pour availability) [17, 18].

II.3.2.1 Disponibilité moyenne « D_m »

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport suivant :

$$D_m = \frac{\text{Temps de disponibilité du système}}{\text{Temps de fonctionnement du système}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II-9})$$

Dans ce cas, la disponibilité de l'élément ou du système est définie en termes de pourcentage du

temps pendant lequel l'élément ou le système fonctionne correctement.

La disponibilité peut également être définie en termes de fonction dépendant du temps $A(t)$ donnée par :

$$D(t) = \Pr (X(t) = 1) \text{ pour tout } t \geq 0 \quad (\text{II-9})$$

Le terme $D(t)$ spécifie la disponibilité pour un moment dans le temps et est donc appelé la disponibilité instantanée.

II.3.2.2 Disponibilité intrinsèque « Di »

Elle caractérise les qualités intrinsèques d'un système, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales.

La disponibilité intrinsèque D_i s'exprime comme suit:

$$D_i = \frac{\text{TBF}}{\text{TBF} + \text{TTE} + \text{TTR}} \quad (\text{II-11})$$

II.3.2.3 Disponibilité opérationnel « Do »

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur. Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres de disponibilité intrinsèques, sauf qu'il doit être basé sur des conditions réelles [18].

II.3.3 L'indisponibilité

L'indisponibilité est définie comme la probabilité que le système ne soit pas fonctionnel ou est en panne à un instant particulier dans le temps ou sur une période de temps définie [17].

L'expression de l'indisponibilité instantanée est donnée par :

$$U(t) = \Pr(X(t)=0) \text{ pour tout } t \geq 0 \quad (\text{II-12})$$

La valeur moyenne de l'indisponibilité est donnée par :

$$U_m = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (\text{II-13})$$

On donne aussi que $D(t) + U(t) = 1$

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins d'arrêts possible.
- Être rapidement remis en bon état s'il tombe en panne.

II.3.4 Maintenabilité

II.3.4.1 Définition

Dans les conditions d'utilisation pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité d'un système est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits [12 ,17].

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un système en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable (réparable). Dans les systèmes de télécommunications, la maintenabilité s'exprime à l'aide du MTTR.

II.3.4.2 Calcul de la maintenabilité

Pour calculer le MTTR, il faut diviser le temps d'intervention pour n pannes par le nombre de pannes (n) dans une période donnée. Donc on déduit la formule suivante [19] :

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombres de pannes}(n)} \quad (\text{II-14})$$

II.4 Fiabilité de systèmes composés

Un système est formé de plusieurs équipements y compris tout le matériel, les micros logiciels et les logiciels. La fiabilité de ce système désigne la probabilité qu'il exécute d'une manière satisfaisante la tâche pour laquelle il a été conçu ou prévu, pendant une durée spécifiée et dans un environnement spécifié [12].

On désigne deux types de systèmes, système en série et système en parallèle.

II.4.1 Schémas fonctionnels de fiabilité

Un schéma fonctionnel de fiabilité ou « en anglais Reliability Block Diagrams » est une méthode de modélisation de la façon dont les défaillances des composants et des sous-systèmes se combinent pour provoquer une défaillance du système pour laquelle l'ordre de défaillances n'est pas important et aucune réparation n'est prise en considération.

Les schémas fonctionnels de fiabilité peuvent être analysés pour prédire la disponibilité d'un système et déterminer les composants critiques du point de vue de la fiabilité.

II.4.1.1 la Structure série

Un système série est celui qui fonctionne si et seulement tous ses composants fonctionnent simultanément. La fiabilité résultante est donnée par :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times \dots \times R_n(t) \quad (\text{II-15})$$

Les structures en série des composants sont souvent appelées systèmes "à un seul filetage" dans les réseaux et conceptions de télécommunications [13].

Supposons qu'on a un système qui est formé de quatre équipements suivants :

- Un modem numérique avec une performance égale à 100 000 heures.
- Un convertisseur de fréquence avec une performance égale à 145000 heures.
- Un amplificateur haute puissance avec une performance égale à 80 000 heures.
- Une horloge locale.

Le schéma fonctionnel du système est représenté comme suit :

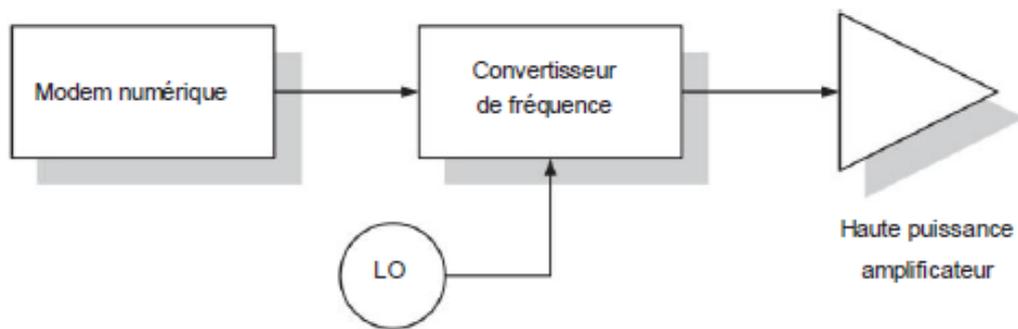


Figure II-3: Le schéma fonctionnel du système [12].

Pour calculer la fiabilité de ce système, son schéma fonctionnel de fiabilité est dressé ci-après:

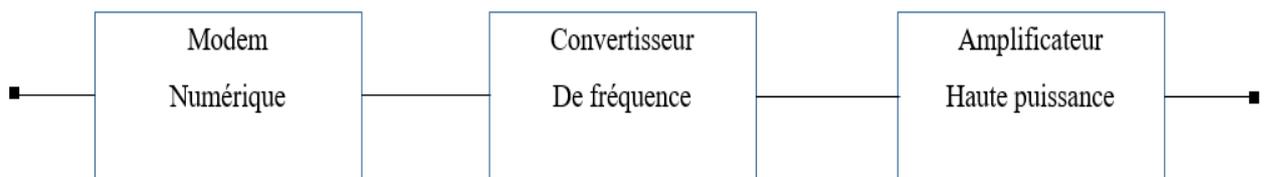


Figure II-4: Le schéma fonctionnel de la fiabilité

On veut calculer la probabilité que le système survive 3 mois de fonctionnement.

On a : $T = \frac{365 \times 24}{4} = 2190$ heures

La fiabilité de chaque composant pendant 2190 heures de fonctionnement est donné dans le tableau suivant :

<i>Le composant</i>	<i>MTBF</i>	<i>R(t)</i>
<i>Le modem numérique</i>	1000 000 H	97.85 %
<i>Convertisseur de fréquence</i>	145 000 H	98.51 %
<i>Amplificateur de puissance</i>	80 000 H	97.33 %

Tableau II-1 : La fiabilité des composants

On trouve que la fiabilité du système est donnée par :

$$R_{\text{système}} = R_{\text{convertisseur}}(2190 \text{ h}) \times R_{\text{modem}}(2190 \text{ H}) \times R_{\text{amplificateur}}(2190 \text{ H})$$

Soit :

$$R_{\text{système}} = 97,85 \times 98,51 \times 97,33 = 93,81 \%$$

II.4.1.2 la Structure parallèle

Un tel système est celui qui fonctionne si au moins un de ses composants fonctionne.

La fiabilité résultante dans cette structure, est donnée par :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) = 1 - \left((1 - R_1(t)) (1 - R_2(t)) (1 - R_3(t)) \dots (1 - R_n(t)) \right) \quad (\text{II-16})$$

Considérons le système du cas précédent, Le schéma fonctionnel du système est représenté comme suit :

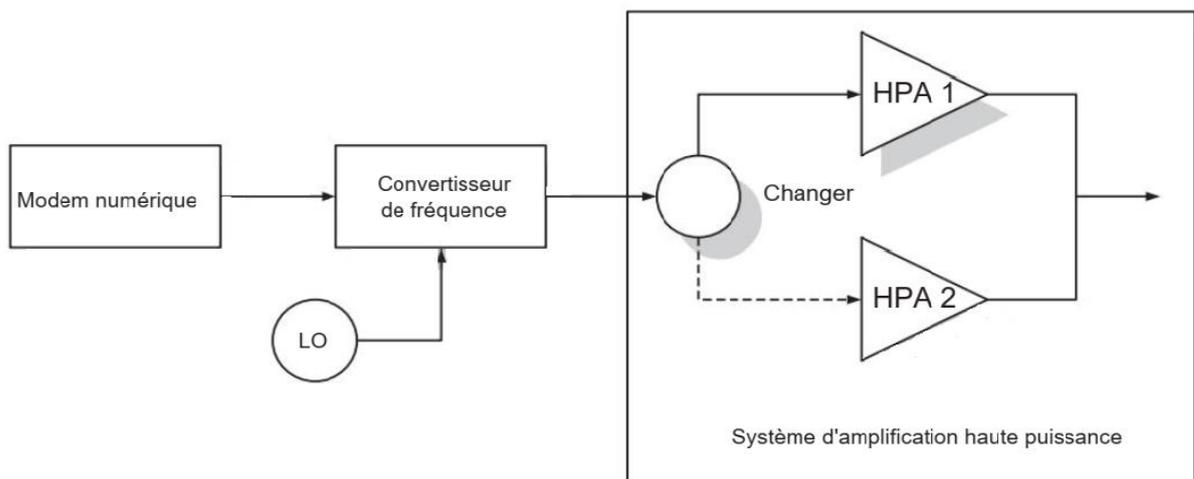


Figure II-5: Le schéma fonctionnel du système [12]

Pour calculer la fiabilité de ce système, le schéma fonctionnel de fiabilité est dressé ci-après :

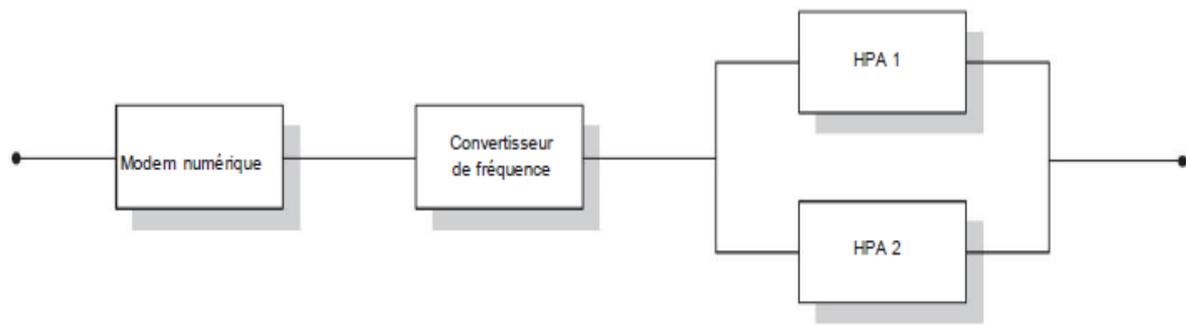


Figure II-6 : Le schéma fonctionnel de la fiabilité [12]

La fiabilité de chaque composant est la même avec la structure série mais dans ce cas, R_{HPA} est un système redondant donné par :

$$R_{HPA_{système}} = 1 - ((1 - R_{\text{amplificateur (2190 H)}}) \times (1 - R_{\text{amplificateur (2190 H)}}))$$

$$R_{HPA_{système}} = 1 - ((1 - 0,9733) \times (1 - 0,9733))$$

$$R_{HPA_{système}} = 99,92 \%$$

La fiabilité totale du système est maintenant :

$$R_{système} = R_{\text{convertisseur (2190 h)}} \times R_{\text{modem (2190 H)}} \times R_{HPA_{système}} (2190 H)$$

$$\text{Soit : } R_{système} = 97,85 \times 98,51 \times 99,92 = 96,32 \%$$

II.5 Techniques de modélisation des systèmes

L'analyse des systèmes de télécommunication nécessite une modélisation précise pour produire des résultats pertinents et utiles. Il existe de nombreuses techniques différentes pour modéliser la fiabilité et la disponibilité. Parmi ces techniques on a les chaînes de Markov.

La disponibilité est la mesure analytique la plus couramment utilisée dans la conception de systèmes de télécommunication. Bien que l'analyse de la fiabilité puisse [12] fournir des informations intéressantes et utiles, la plupart des systèmes sont analysés pour déterminer la disponibilité moyenne en régime permanent. Les chaînes de Markov se limitent à fournir des moyennes de fiabilité ou de disponibilité.

II.5.1 Chaînes de Markov

II.5.1.1 Définition

Les chaînes de Markov sont des suites mathématiques qui permettent de suivre l'évolution des systèmes stochastiques dans le temps. La propriété de Markov est simplement l'absence de "mémoire" dans le processus. Cela signifie que l'état actuel du système est le seul état [12] qui a une influence

sur les événements futurs. Tous les états historiques ne sont pas pertinents et n'ont aucune influence sur les résultats futurs. Pour cette raison, les processus de Markov sont dits « sans mémoire ».

II.5.1.2 Processus de Markov

Un système peut être modélisé par un processus de Markov qu'on note X(t) avec :

$$t \geq 0 \quad \text{et} \quad \Omega = \{ 1, 2, 3, \dots, n \} \tag{II-17}$$

La probabilité de transition entre deux états quelconques i et j est indépendante du temps. La probabilité d'une transition d'états i à j est donnée par la formule suivante :

$$P_{ij}(t) = \Pr (X(t) = j | X(0) = i) \quad \text{pour tous } i, j \text{ appartenant à l'ensemble } \Omega.$$

Le processus de Markov présente ces probabilités sous forme matricielle comme suit [12]:

$$\Pr = \left\{ \begin{matrix} P_{00}(t) & \cdot & \cdot & \cdot & P_{0n}(t) \\ P_{10}(t) & & & & P_{1n}(t) \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ P_{n0}(t) & \cdot & \cdot & \cdot & P_{nn}(t) \end{matrix} \right\} = \sum_{j=0}^n P_{ij}(t) = 1 \tag{II-18}$$

Les lignes de la matrice représentent la probabilité d'une transition hors de l'état i (où i ≠ j) et les colonnes représentent la probabilité de transition vers l'état j (où i ≠ j).

Le temps passé dans un état particulier i est appelé temps de séjour. Sa formule est donnée par :

$$E(t) = \frac{1}{\alpha_i} \tag{II-19}$$

telle que : α_i est le taux de transition de l'état i ou taux de sortie de l'état i.

Afin de garantir la propriété sans mémoire de la chaîne de Markov, le temps de séjour doit être distribué en exponentielle et tous les temps doivent être indépendants.

Le processus de Markov peut se déplacer entre les états i et j avec une vitesse V_{ij} telle que :

$$V_{ij} = \alpha_i * P_{ij} \quad \text{pour tous } i \neq j \tag{II-20}$$

La figure II.7 montre un exemple de diagramme de transition d'états de la chaîne de Markov.

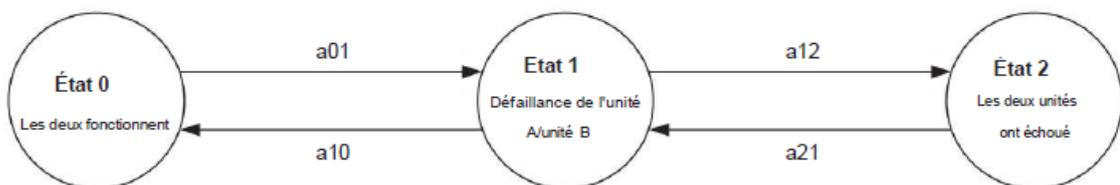


Figure II-7: Un diagramme d'état de la chaîne de Markov [12].

II.5.1.3 Établissement d'une matrice de transition

La procédure d'établissement d'une matrice de taux de transition de modèle de chaîne de Markov comporte plusieurs étapes qui sont :

- 1^{er} étape : La première étape de l'élaboration de la matrice consiste à identifier et à décrire tous les états qui peuvent affecter le fonctionnement du système dans n'importe quelle condition, et ils reçoivent ensuite un identificateur d'état entier tel que :

$$\Omega = \{1, 2, 3, \dots, n\}.$$

- 2^{ème} étape : On doit déterminer les taux de transition entre les états, ces taux de transition peuvent être un taux de défaillance ou un taux de réparation.
- 3^{ème} étape : Construire la matrice M, on insère les valeurs de taux de transition dans leur position exact.
- 4^{ème} étape : Remplir les lignes diagonales selon la formule suivante :

$$V_{ij} = - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n V_{ij}(t) \quad (\text{II-21})$$

II.5.1.4 Modèle pratique du système de Markov

Ces modèles sont utilisés dans de nombreuses industries (y est compris les réseaux de télécommunication) afin de modéliser la fiabilité des systèmes. L'application de ces méthodes est limitée à quelques cas particuliers [14 ,16].

a) Modèle de système à un seul composant (sans redondance)

C'est le modèle le plus simple, qui se compose de deux états de fonctionnement $S = \{S_0, S_1\}$, S_0 est l'état fonctionnel du composant et S_1 l'état défaillant du composant.

La figure II-8 représente le diagramme de transition d'état pour ce modèle de Markov :

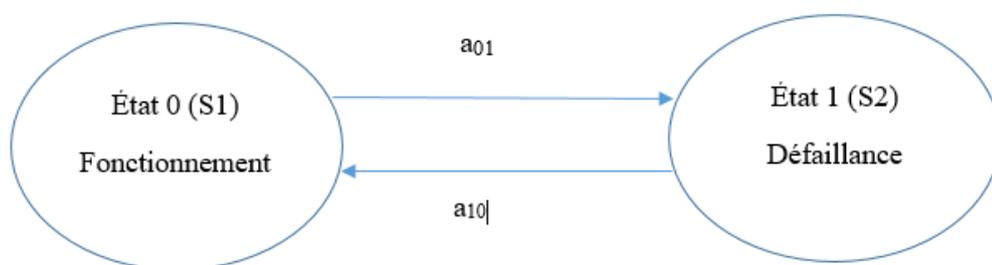


Figure II-8 : Diagramme de transition d'état d'un modèle de Markov à un seul composant [12]

La matrice du taux de transition est très simple et elle se compose de quatre coefficients. Si nous définissons le taux de défaillance d'un composant comme λ et le taux de réparation du composant comme μ , nous avons (en appliquant les étapes listées précédemment)

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{pmatrix} \quad (\text{II-22})$$

Nous pouvons résoudre les équations d'état pour déterminer les probabilités d'occupation de l'état $P = [P_0 \ P_1]$.

$$P \cdot A = 0 = [P_0 \ P_1] \times \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{pmatrix} \quad (\text{II-23})$$

L'ensemble des équations linéaires est donc :

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0 \quad (1)$$

$$\lambda P_0 - \mu P_1 = 0 \quad (2) \quad (\text{II-24})$$

$$P_0 + P_1 = 1 \quad (3)$$

On utilise ces équations pour déterminer les probabilités d'occupation P_0 et P_1 on obtient :

$$P_0 = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad \text{et} \quad P_1 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \quad (\text{II-25})$$

Les probabilités de transition d'état étaient des variables aléatoires à distribution exponentielle et donc les taux de transition λ et μ sont constants, on peut donc écrire :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Et} \quad MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (\text{II-26})$$

Si nous réécrivons l'expression de P_0 en termes de MTBF et MTTR, nous trouvons :

$$P_0 = \frac{\frac{1}{MTTR}}{\frac{1}{MTTR} + \frac{1}{MTBF}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II-27})$$

La même méthode pour P_1 .

b) Modèle de système redondant avec reprise à chaud

Considérons un système composé de deux composants identiques qui fonctionnent tous les deux en continu. Ce système particulier n'implémente pas le partage de charge mais plutôt l'un des deux composants supporte seul la totalité de la charge à un moment donné. En cas de défaillance de l'un des composants, le système passe immédiatement du module principal au module de secours (module redondant) [12,14].

Dans ce modèle de secours (Figure II-9), il existe trois états $S = \{S_0, S_1, S_2\}$ pour lesquels le système fonctionne et échoue. Dans le cas de travail, nous avons $W = \{S_0, S_1\}$ et pour le cas d'échec, nous avons $F = \{S_2\}$.

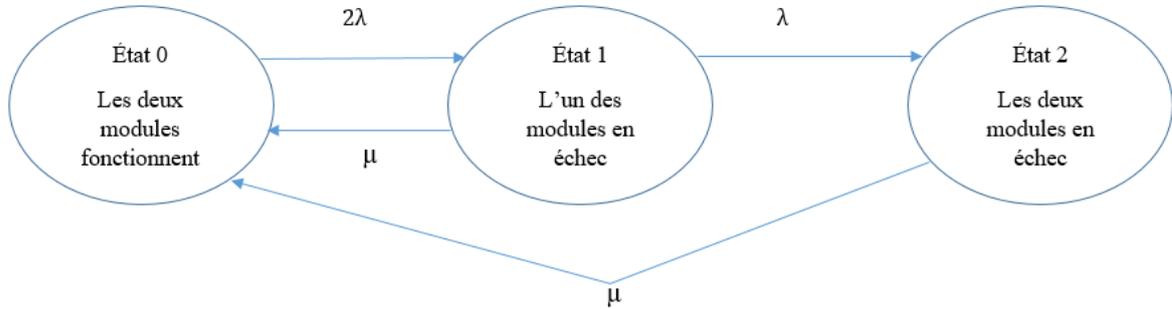


Figure II-9 : Diagramme de transition d'état d'un modèle de Markov redondant avec reprise à chaude [12]

La matrice de taux de transition suit la même procédure utilisée précédemment, elle est donnée comme suit :

$$A = \begin{pmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 \\ \mu & -(\mu + \lambda) & \lambda \\ \mu & 0 & -\mu \end{pmatrix} \quad (\text{II-28})$$

Application de la définition de la matrice d'équation d'état pour déterminer les probabilités d'occupation d'état, $P = [P_0 \ P_1 \ P_2]$.

$$P \cdot A = 0 = [P_0 \ P_1 \ P_2] \times \begin{pmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 \\ \mu & -(\mu + \lambda) & \lambda \\ \mu & 0 & -\mu \end{pmatrix} \quad (\text{II-27})$$

$$-2\lambda P_0 + \mu P_1 + \mu P_2 = 0$$

$$2\lambda P_0 - (\mu + \lambda) P_1 = 0$$

$$\lambda P_1 - \mu P_2 = 0$$

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1$$

D'après ces équations, on trouve :

$$P_0 = \frac{\mu}{2\lambda + \mu}$$

$$P_1 = \frac{2\lambda\mu}{(\lambda + \mu)(2\lambda + \mu)} \quad (\text{II-28})$$

$$P_2 = \frac{2\lambda^2}{(\lambda + \mu)(2\lambda + \mu)}$$

La disponibilité du système est alors :

$$A = \sum_{i \in W} P_j = P_0 + P_1 = \frac{\mu^2 + 3\lambda\mu}{(\lambda + \mu)(2\lambda + \mu)} \quad (\text{II-29})$$

c) Modèle de système redondant avec repris à froid

L'analyse du modèle redondant a froide suit le même processus que celui utilisé dans le modèle de secours. Dans ce cas, les hypothèses sont légèrement modifiées, ce qui entraîne un diagramme de transition d'état modifié et un résultat global différent.

Le schéma présenté dans la figure II.10 montre le diagramme de transition d'état modifié.

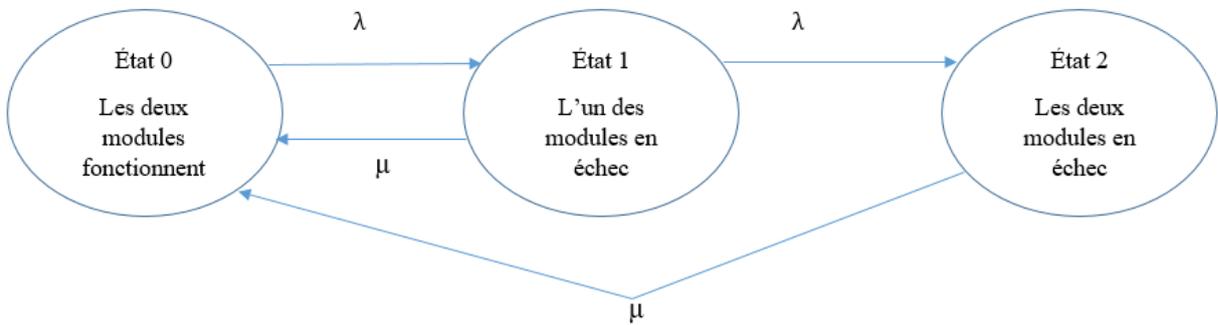


Figure II.10 : Diagramme de transition d'état d'un modèle de Markov avec reprise à froid [12]

Dans ce cas, on suppose qu'une panne des deux unités forcerait une réparation qui remet le module de travail en service et répare simultanément le module de secours le rendant à nouveau prêt à être utilisé. En temps normal fonctionnement, un seul des deux modules accumule des heures de fonctionnement ($a_{01}=1$) [16].

En continuant avec la même procédure d'analyse utilisée dans le cas de la redondance pour déterminer la disponibilité de système qui est donnée par :

$$A = \sum_{i \in W} P_j = P_0 + P_1 = \frac{\mu^2 + 2\lambda\mu}{\lambda^2 + 2\lambda\mu + \mu^2} \quad (\text{II-30})$$

II.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons procédé à la définition de la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. L'évaluation de la fiabilité nécessite de connaître certains indices, tels que ; MTBF, taux de défaillance et le taux de réparation. Lors de l'évaluation de la fiabilité, un modèle doit être défini, tel que les modèles de Markov.

Chapitre III
indicateurs
KPIs de
réseaux RAN
3G/4G

III-1 Introduction

Afin de répondre aux besoins des utilisateurs, les opérateurs de réseaux doivent en permanence leur fournir une certaine qualité de service (QoS). Cette dernière est une technique utilisée pour tester efficacement les réseaux mobiles avec des tests plus ou moins lourds. Des indicateurs clés de performance KPI sont précisément définies par les équipementiers pour permettre aux opérateurs de suivre en continu l'évolution des performances des différentes entités du réseau [20-22].

Dans ce chapitre, nous définissons les divers indicateurs KPI définis par l'équipement radio-mobile Ericsson pour les réseaux 3G/4G.

III-2 Indicateurs clés de performance

Les KPI font référence aux indicateurs clés de performance. C'est une méthode utilisée dans plusieurs domaines pour évaluer la qualité du service offerte aux utilisateurs. Dans le domaine de télécommunication sont les mesures de performance utilisée pour évaluer le succès du réseau en fonction d'une activité particulier, c'est-à-dire pour chacun des différentes activités de réseau, on utilise un ensemble de KPI dans le but de vérifier le bon fonctionnement de ce réseau [21 ,25].

III-3 Les différents types de KPI d'Ericsson

III-3-1 Les KPI (Key Performance Indicator) 3G

Les indicateurs de réseau 3G ont été répartis en plusieurs groupes selon la partie du service qu'ils décrivent, ci-dessous nous nous concentrerons sur les principaux points concernant leur définition recommandée dans la dernière version d'Ericsson, comme le montre la figure III.1.

III-3-1-1 Accessibilité (Accessibility)

L'accessibilité est définie comme la capacité d'un utilisateur à obtenir le service demandé par le système, les principaux KPIs d'accessibilité sont [20-22] :

a) RRC

RRC il s'agit d'une procédure de contrôle des ressources radio qui est principalement utilisée pour accéder aux ressources, c'est-à-dire pour prendre en charge la connexion entre l'UE et l'UTRAN, dans chaque réseau "circuit et paquet".

- **Taux de réussite de l'établissement RRC** : Utilisé pour vérifier la progression de la connexion RRC.
- **Taux de succès de terminaison RRC** : Indique la fin de la connexion RRC.
- **KPI de raison d'établissement RRC** : Décrire la raison de l'établissement de la connexion RRC.

- **RRC Setup Failure Causes KPI** : Utilisé en cas d'échec de connexion RRC pour déterminer la cause de l'événement.

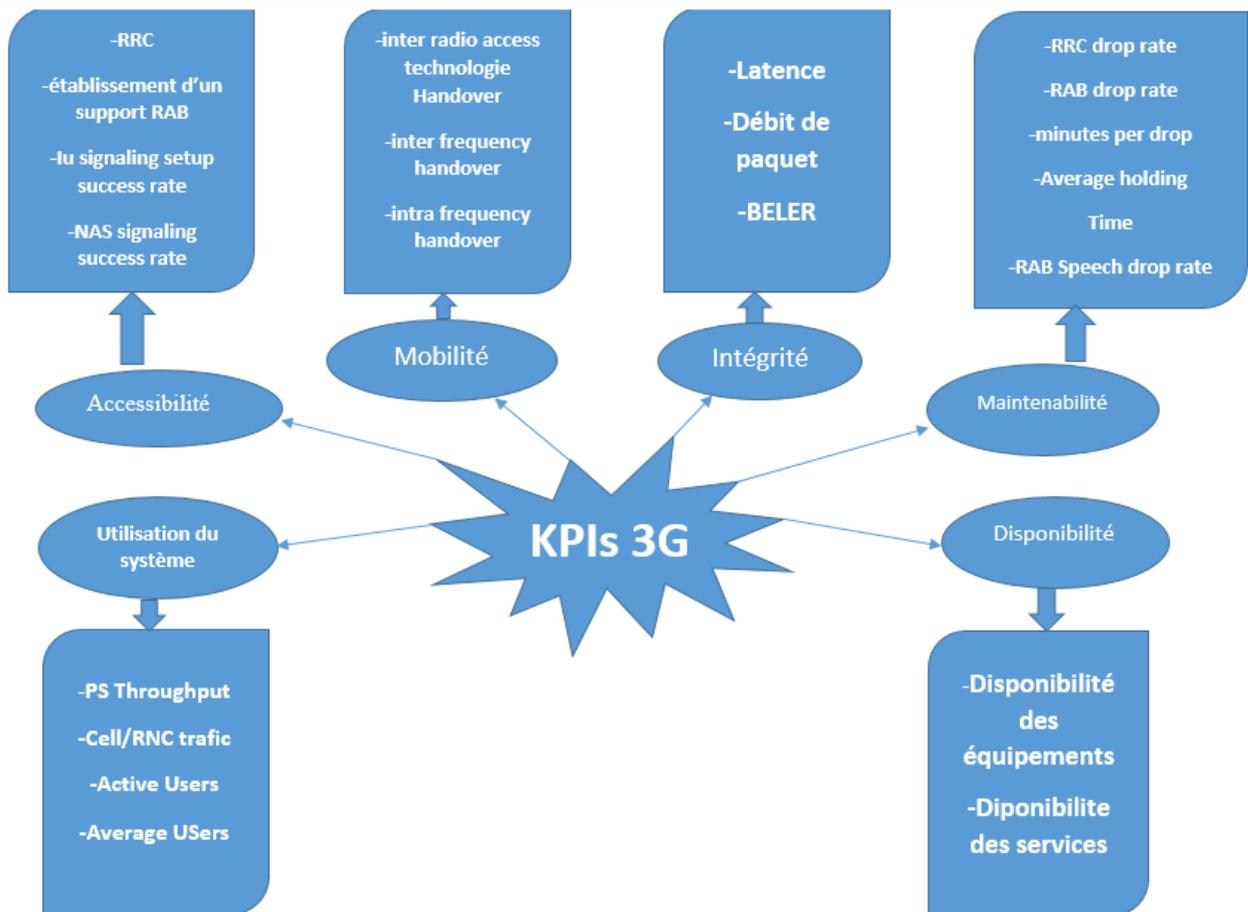


Figure III-1 : Les différents KPIs du réseau 3G

b) Établissement d'un support RAB

C'est un nouveau canal de type radio, construit après que les échanges de signalisation sont déjà établis entre le mobile et le réseau. Dans le but de transporter la voix et les données. Cette partie contient les KPIs suivants [22] :

- **Cs_RAB speech KPI** : La transmission de la voix.
- **Ps_RAB Hs KPI** : Les services interactifs en HSDPA.
- **RAB Establishment Failure Causes** : Décrit le taux d'occurrence des raisons pour lesquelles une connexion RAB peut échouer.

c) Iu Signaling setup success rate

Il s'appuie principalement sur deux KPI pour assurer le fonctionnement normal de la liaison entre le réseau cœur et le réseau d'accès.

d) NAS Signaling Success Rate

Il indique le taux de réussite nécessaire pour les différents échanges des messages NAS entre le mobile et le réseau cœur (RNC), lors de la configuration des appels circuit et paquet.

III-3-1-2 Intégrité (Integrity)

L'intégrité est définie comme la capacité de l'utilisateur à recevoir le service demandé avec la qualité requise. Elle est mesurée en termes de taux d'erreur de bloc (BLER), de débit de paquets et de latence qui sont réparti comme suit [25-27]:

a) BLER (BLock Error Rate)

Il contient des KPI qui décrivent le taux d'erreur lors de la transmission de différents blocs de données pour chaque service fourni.

b) Latence, débit de paquets :

Contient des KPI qui décrivent latence, le retard et débit pour chaque service du réseau PS.

III-3-1-3 Maintenabilité (Retainability)

Défini comme la capacité d'un utilisateur à maintenir un service demandé pendant la durée requise par la connexion, sans être déconnecté du réseau

a) **RRC Drop Rate** : Indique le taux de terminaison anormale des connexions RRC.

b) **RAB Drop Rate** : Représente le taux de terminaison anormale des connexions RAB.

c) **Minutes Per Drop** : Représente le temps écoulé en moyenne entre deux drops successifs pour chacun des services.

d) **RAB Speech Drop Causes** : Il a la même fonction que RAB Establishment Failure Causes, c'est à dire il représente les causes et les raisons d'un échec anormal.

e) **Average Holding Time** : Indique le temps moyen de maintien d'un service donné sans interruptions anormales.

III-3-1-4 Disponibilité (Availability)

La disponibilité est la catégorie la plus facile à gérer, elle indique l'ensemble des KPIs qui représentent la disponibilité du réseau, et elle est subdivisée en 2 parties :

a) **Disponibilité des équipements** : Contient des KPI's décrivant le temps de disponibilité ou d'indisponibilité des équipements.

b) **Disponibilité des services** : Contient des KPI's qui indique le temps de disponibilité ou d'indisponibilité des services.

La durée en secondes pendant laquelle une cellule n'est pas disponible en raison d'un mauvais fonctionnement est appelée « temps d'arrêt imprévu », et dans le cas de la raison de la maintenance est appelée « temps d'arrêt planifié ».

III-3-1-5 Mobilité (Mobility)

Les KPI de mobilité de service sont défini comme la capacité de fournir le service demandé à l'utilisateur tout en s'étant en mouvement pour éviter l'arrêt forcé du service, ce qui est réalisé grâce aux KPI suivants [22]:

- a) **Inter Radio Access technologies Handover** : C'est le taux de réussite du handover lorsque la technologie change de la 3G à la 2G ou inversement.
- c) **Inter-Frequency Handover** : Il s'agit du taux de réussite d'une station mobile lorsqu'elle entre dans une nouvelle zone de couverture (changement de cellule et de fréquence).
- d) **Intra Frequency Handover** : C'est le taux de bon fonctionnement des Handover lors du changement de cellule avec la même fréquence, mais nécessite une nouvelle liaison radio pour un nouveau service, par exemple.

III-3-1-6 Utilisation de système (System Utilization)

Il s'agit d'un ensemble de mesures qui nous permet d'examiner ou de déterminer le niveau d'utilisation des ressources WCDMA RAN fonctionnant sur un intervalle de temps spécifique. Il utilise 4 KPIS pour la vérification :

- a) **PS Throughput** : Ce KPI représente le débit alloué sur les circuits de paquets en liaison montante et en liaison descendante.
- b) **Cell/RNC Traffic** : Ce KPI fait référence au trafic de chaque cellule ou de chaque RNC, pour tous les services dans l'UMTS, il est donné en erlang.
- c) **Active Users** : Ce KPI est utilisé pour déterminer le nombre d'utilisateurs actifs dans le SRNC ou le DRNS.
- d) **Average Users** : Afin de déterminer le nombre d'utilisateurs dans un intervalle de temps donné, ce KPI est responsable de tous les services utilisés.

III-3-2 Les KPI (Key Performance Indicator) 4G

La figure III-1 résume les divers types de KPI en 4G:

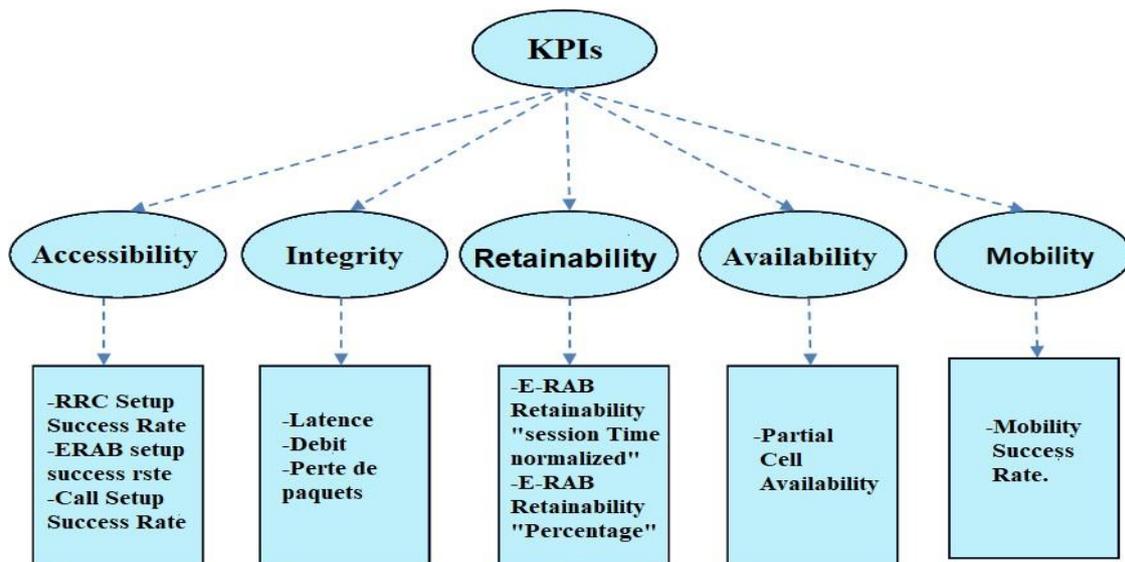


Figure III-2: les 5 catégories de mesure de KPI de la LTE

III-3-2-1 Accessibilité (Accessibility)

Sont utilisés pour mesurer la probabilité que les services demandés par un utilisateur puissent être accessibles dans les tolérances spécifiées dans les conditions d'exploitation données. La connexion du contrôle des ressources radio (RRC) [22-25] et la configuration de l'évolution de l'architecture du système (ERAB) sont les principales procédures pour les IRC d'accessibilité.

a) RRC Setup Success Rate

Le taux de réussite de l'établissement de RRC est calculé en fonction du compteur de l'eNodeB lorsque l'eNodeB a reçu la demande de connexion de RRC de l'UE.

b) ERAB setup success rate

Ce KPI montre la probabilité de réussite ERAB pour accéder à tous les services, dans un réseau cellulaire ou radio. Le KPI est calculé en fonction de la tentative de connexion ERAB entre deux points.

c) Call Setup Success Rate

Elle indique la probabilité de réussite de tous les services sur le réseau cellulaire ou radio.

III-3-2-2 Intégrité (Integrity)

Les Kpi indiquent les performances ou l'impact d'E-UTRAN sur la qualité du service fourni aux utilisateurs finaux. La performance d'intégrité peut être divisée en trois parties, appliquées aux deux chemins (DL et UL) respectivement.

- a) **Latence** : Elle signifie le temps nécessaire pour planifier le premier paquet sur l'interface aérienne. Leurs KPIs désignent la latence sur la voie montante et descendante.
- b) **Débit** : Indique la vitesse à laquelle un paquet peut être transmis une fois que le premier paquet est programmé sur l'interface aérienne.

Les KPI de ce dernier sont utilisés dans les deux voies « Downlink/Uplink ».

- c) **Perte de paquets** : Le taux de perte de paquets peut être lié à la congestion (par exemple, les paquets qui sont déposés en raison de la fonction de congestion active des files d'attente) et des paquets non liés à la congestion (les paquets qui se perdent dans la transmission). Dans ce cas leurs KPIs représentent le taux de perte de paquets sur la voie montante et la voie descendante.

III-3-2-3 Maintenabilité (Retainability)

Ces KPI sont utilisés pour évaluer la capacité du réseau à maintenir le service demandé par l'utilisateur pendant la durée souhaitée après la connexion de l'utilisateur au service. Ces compteurs peuvent être calculés par l'eNodeB (regroupant tous les compteurs de cellules) ou par cellules [28].

a) E-RAB Retainability - Session Time normalized

Cet indicateur mesure l'impact sur les utilisateurs finaux pour refléter la probabilité que le transfert moyen puisse être maintenu sans rejets anormaux.

b) E-RAB Retainability – Percentage :

Ce KPI mesure l'impact sur les utilisateurs finaux pour refléter la probabilité qu'un E-RAB établi puisse être maintenu sans rejets anormaux.

III-3-2-4 Disponibilité (Availability)

La disponibilité est le pourcentage de temps pendant lequel la cellule est disponible. Cette dernière est disponible lorsque l'eNodeB peut fournir des services supports [28 ,29]. La disponibilité de diverses pannes matérielles/logicielles peut être mesurée au niveau de la cellule. Le KPI principal de disponibilité en 4G est :

a) Partial Cell Availability

Ce kpi indique le temps pendant lequel une cellule est disponible (en secondes). Les redémarrages d'eNodeB ne sont pas pris en compte ici. (Les redémarrages d'eNodeB sont exclus).

III-3-2-5 Mobilité (Mobility)

Les KPIs de mobilité sont utilisés pour évaluer les performances de la mobilité E-UTRAN, qui

sont essentielles à l'expérience client. Ces KPI sont définis en termes de différents types de handovers : intra-fréquence, inter-fréquence et technologie d'accès radio (RAT).

Le KPI principal de mobilité en 4G est le suivant:

a) Mobility Success Rate :

Ce kpi est le taux de réussite de la mobilité. Son but principal est de préparer les ressources de la cellule de destination et de passer de la cellule source à la cellule de destination.

III-4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents KPI qu'Ericsson utilise pour évaluer le bon fonctionnement des deux générations de 3G, 4G.

Enfin, l'étude de ces indicateurs de performance nous permet d'acquérir des connaissances sur la gestion de la QoS, et surtout comment les KPI affectent le fonctionnement du réseau.

Chapitre IV
Evaluation de la
fiabilité et de
performance de
réseaux 3G/4G

IV-1 Introduction

Ce chapitre constitue la partie applicative de notre travail de fin d'étude. Nous procédons dans une première partie à l'évaluation de la fiabilité d'un centre de commutation MSC et de stations BTS d'un réseau radio-mobile.

Dans la seconde partie, nous analysons divers indicateurs de performance KPIs des réseaux 3G et 4G déployés sur divers sites par l'opérateur national AT MOBILIS dans la région de Bejaia.

IV-2 Évaluation de la fiabilité d'un réseau radio-mobile

IV-2-1 Disponibilité d'un service sans fil

IV-2-1-1 Topologie centralisée à un seul MSC

Dans une topologie dite centralisée (Figure IV-1), le réseau mobile utilise un seul commutateur centralisé MSC. Nous calculons la disponibilité du service sans fil dans une seule branche du réseau. Le service est supposé disponible si un abonné peut passer avec succès un appel à tout moment [19].

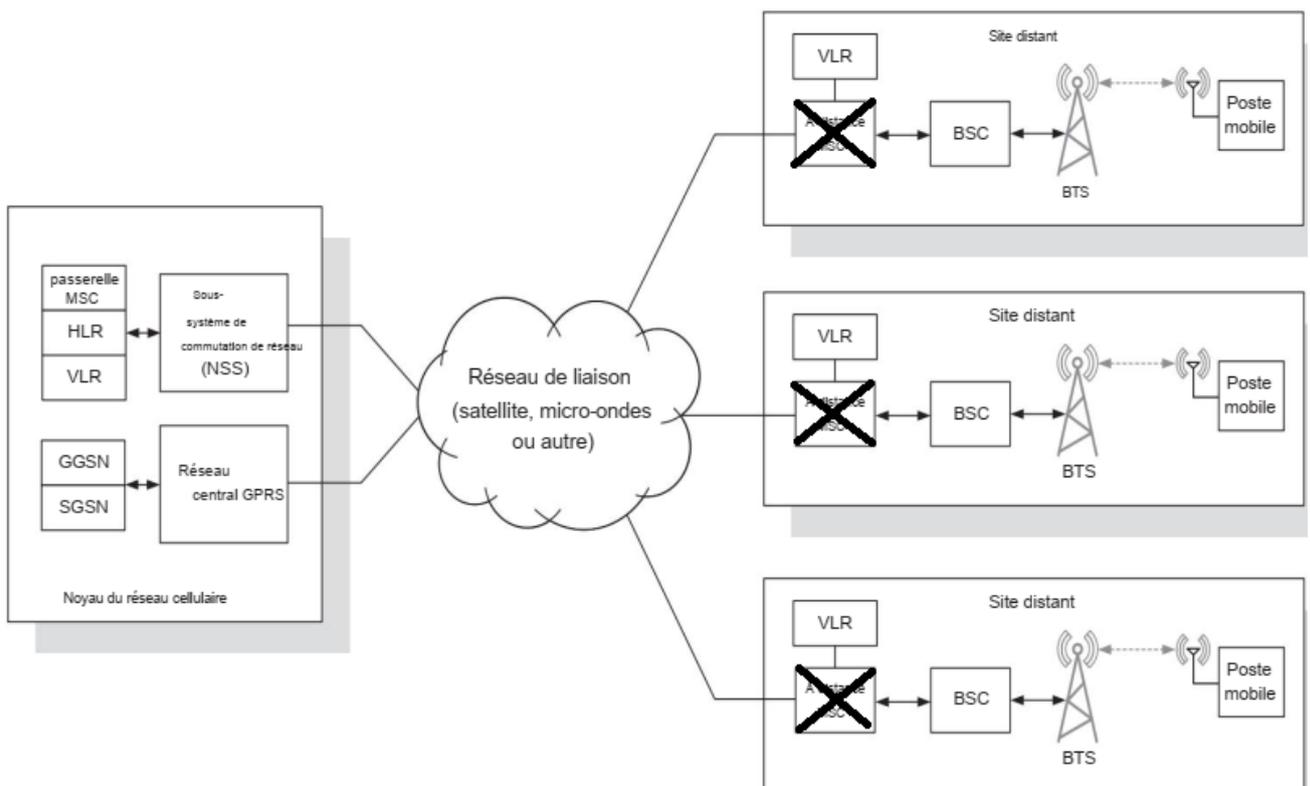


Figure IV-1 : Topologie à un seul commutateur centralisé MSC [12]

La disponibilité du service est calculée comme suit :

$$A_{\text{service}} = A_{\text{core}} \times A_{\text{backhaul}} \times A_{\text{BSC/BTS}} \quad (\text{IV-1})$$

Où :

- A_{core} est la disponibilité du réseau cœur, (elle inclue toutes les fonctions du sous-système NSS requises pour assurer un appel). Elle est estimée à 99,995 %.
- $A_{backhaul}$ est la disponibilité du réseau dorsal (Backhaul), elle est estimée à 99,8 %.
- $A_{BSC/BTS}$ est la disponibilité du réseau radio RAN à savoir des émetteurs/Récepteurs des TRx (BTS) et de leurs fonctions de traitement du trafic (BSC).

Elle est estimée à : $A_{BSC/BTS} = 99,9\%$.

On trouve ainsi : $A_{service} = 99,7\%$.

A présent, nous évaluons la disponibilité du service sans fil dans une topologie distribuée. Cette topologie utilise un commutateur centralisé et des commutateurs locaux isolés. Le lien par le backhaul est rompu.

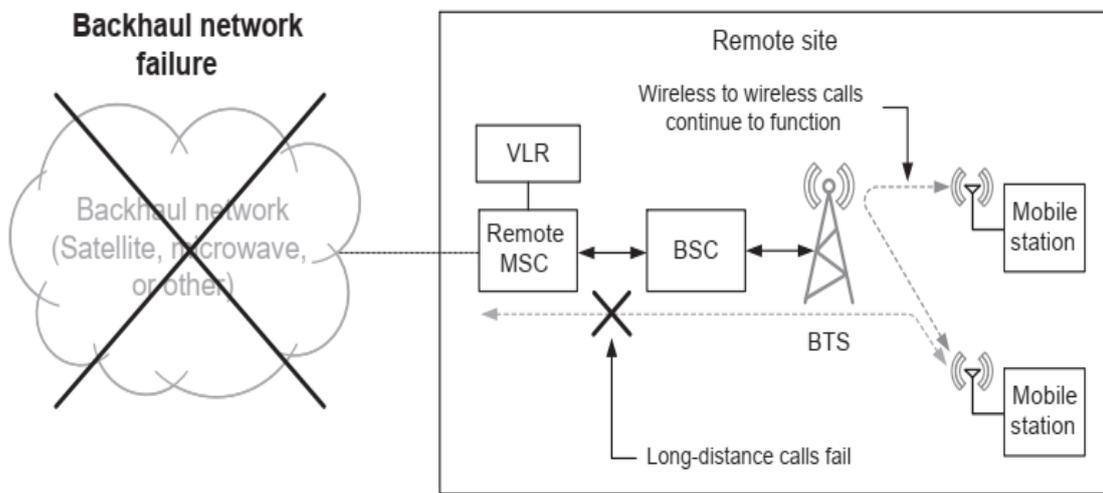


Figure IV-2 : Topologie distribuée à un seul commutateur MSC [12]

Le service sans fil peut être maintenu localement par la disponibilité de service, qui est ici calculée comme suit :

$$A_{service} = A_{remote\ MSC} \times A_{BSC/BTS} \tag{IV-2}$$

où : $A_{BSC/BTS}$ est définie dans la 1^{ère} topologie, estimée à 99,9%

$A_{remote\ MSC}$ est la disponibilité de MSC local isolé, estimé à 99.9%.

On trouve ainsi : $A_{service} = 99,8\%$.

Ce résultat montre que la disponibilité de service dans la 2^{ème} topologie est légèrement meilleure que celle de la topologie 1.

IV-2-1-2 Évaluation de la disponibilité d'une TRx dans une cellule

Afin d'améliorer les performances réseau et d'augmenter la capacité, les concepteurs de stations de base parfois « sectorisent » la couverture à partir d'une station de base particulière. Ceci permet d'augmenter l'énergie du signal dans la direction du secteur et d'augmenter la capacité du réseau.

Les stations BTS implémentent généralement plus d'une unité d'émetteur-récepteur (TRX). Le nombre de TRX dépend des exigences de capacité du système. Les [19] BTS ne sont pas fréquemment déployés dans une configuration de secours automatique. La redondance est plus souvent obtenue par l'effet de multiplexage statistique obtenu en tant qu'unités TRX supplémentaires (i.e de canaux vocaux), qui sont ajoutées au système. Considérons un réseau sans fil générique avec trois stations de base. Chaque station de base a un secteur et deux canaux (comprenant peut-être un ou plusieurs TRX par canal). Le matériel radio pour chaque canal est un module coulissant et remplaçable à chaud (remplaçable pendant que le système est en service). La figure IV-3 montre un schéma de ce réseau de stations de base.

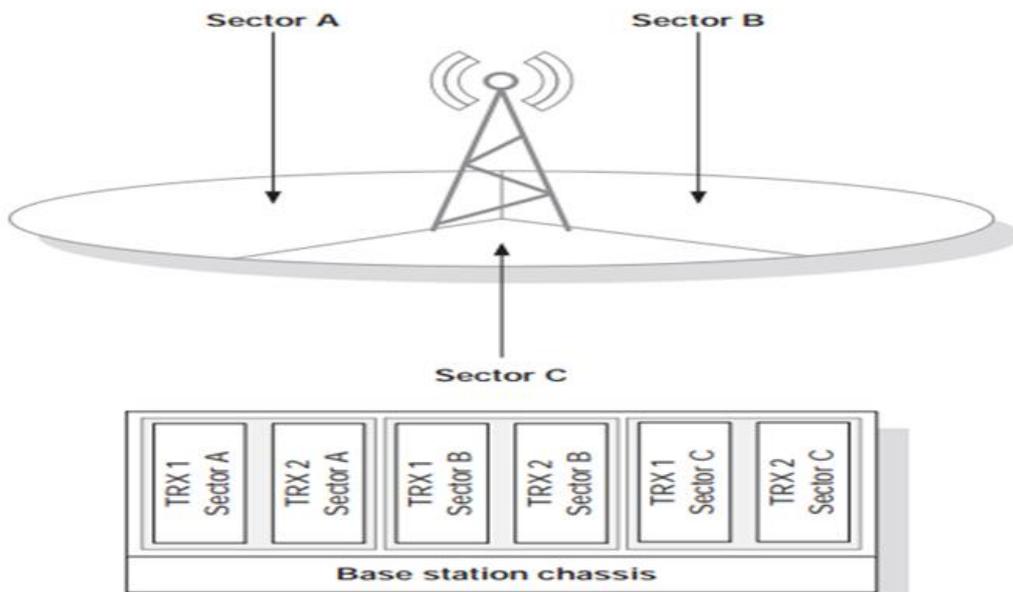


Figure IV-3 : Configuration des TRX de la station de base mobile [12]

La configuration de redondance de ce réseau nécessite que l'analyse considère un nombre de scénarios de panne/rétablissement différents. La redondance signifie ici que si l'un des deux modules TRX tombe en panne, le système ne cesse pas de fournir le service, mais l'assure avec le deuxième TRX. Pour compléter cette analyse, il faut définir les conditions de défaillance.

L'expression de la disponibilité de service est donnée comme suit :

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Service}) = & P_0 \times \Pr(\text{Service si TRX}_1 \text{ et TRX}_2 \text{ en fonctionnement}) + P_1 \\ & \times \Pr(\text{Service si TRX}_1 \text{ ou TRX}_2 \text{ n'est pas en fonctionnement}) + P_2 \times \Pr(\text{Service si TRX}_1 \text{ et TRX}_2 \text{ en} \\ & \text{échec}) \end{aligned} \quad (\text{IV-3})$$

Où :

$$P_0 = \Pr(\text{TRX1 et TRX2 en fonctionnement}) \quad (\text{IV-4})$$

$$P_1 = \Pr(\text{un TRX en échec}) \quad (\text{IV-5})$$

$$P_2 = \Pr(\text{les deux TRX ont échoué}) \quad (\text{IV-6})$$

La résolution du problème nécessite la connaissance de la probabilité de chacun des trois états du système ainsi que les probabilités de disponibilité de service dans chaque état. L'exemple présenté ici est résolu en utilisant l'analyse de Markov pour déterminer la probabilité d'occupation pour chacun des trois états du système. Le problème peut être simplifié en une détermination de l'occupation de l'état du système et de la probabilité que le service soit disponible dans chacun des états.

La Figure IV-4 montre un diagramme de transition d'état d'un modèle de chaîne de Markov pour les modules TRX. Il est assumé que si les deux TRx tombent en panne, les ressources sont disponibles pour les réparer (en un état quasi neuf) dans le même laps de temps que celui de la réparation d'un seul TRx. De plus, il est supposé que lorsqu'une panne sur des deux TRx se produit, le système retourne à un état opérationnel où les deux modules TRX sont fonctionnels.

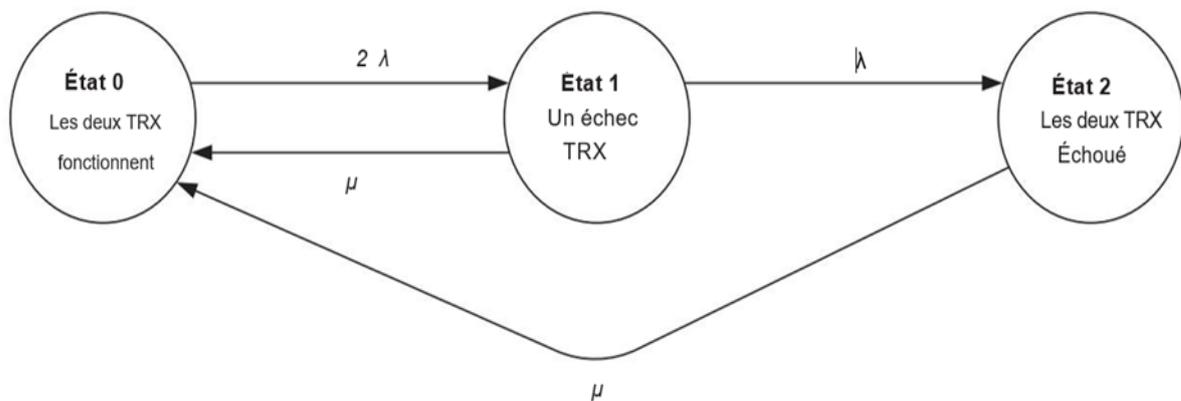


Figure IV-4 : Diagramme de transition d'état du modèle de Markov pour les modules TRX d'une BTS [12].

La solution à l'analyse des chaînes de Markov est présentée ci-dessous pour un système avec des temps MTBF des TRx estimés à $MTBF_{TRX} = 85\,000$ h et $MTTR = 24$ h.

Dans ce cas les probabilité P_0 , P_1 , P_2

$$P_0 = \mu / (2\lambda + \mu) = 0,99944 \quad (IV-7)$$

$$P_1 = 2\lambda\mu / (2\lambda + \mu)(\lambda + \mu) = 5,642 \cdot 10^{-4} \quad (IV-8)$$

$$P_2 = 2\lambda^2 / (2\lambda + \mu)(\lambda + \mu) = 1,593 \cdot 10^{-7} \quad (IV-9)$$

La détermination de la disponibilité du service pendant chaque état du système repose sur la définition de deux conditions de service :

- La couverture est définie dans cette analyse comme signifiant que le mobile en question a une puissance de signal suffisante (dans les 2 directions de réception et d'émission) pour effectuer un appel ou une session de données.
- La congestion signifie que les stations de base associées [12] au mobile n'ont pas la capacité suffisante pour répondre à ses requêtes.

Dans le cas P_0 , la probabilité de couverture est estimée 100% puisque la station de base assure le service vers le mobile. L'encombrement n'est pas supposé se produire dans ce cas.

Nous pouvons écrire l'expression de probabilité P_0 sous la forme :

$$P_0 = \Pr(\text{TRX1 et TRX2 en fonctionnement}) \times \Pr(\text{couverture}) \times \Pr(\text{pas de congestion}) \quad (\text{IV-10})$$

$$P_0 = 0.99944 \times 1 \times 1 = 99,944\%$$

Dans le cas de l'état du système où l'un des deux modules TRX est en panne (P_1), l'expression de la probabilité consiste en la probabilité de défaillance d'un TRX multipliée par la probabilité de service :

$$P_1 = \Pr(1 \text{ TRX en panne}) \times \Pr(\text{Service}) \quad (\text{IV-11})$$

Où $\Pr(\text{Service})$ est donnée par :

$$\begin{aligned} \Pr(\text{Service}) &= \Pr(\text{aucune congestion sur la BTS principale}) \times \Pr(\text{couverture par la BTS principale}) \\ &+ \Pr(\text{congestion sur la BTS principale}) \times \Pr(\text{Couverture par une autre BTS}) \end{aligned} \quad (\text{IV-12})$$

La probabilité de congestion sur la cellule principale compte tenu d'une seule panne de TRX est supposée être de 25 % [12]. La probabilité de couverture est supposée être de 100 % pour la BTS principale. La probabilité de couverture par une autre BTS est une valeur calculée basée sur la région de couverture de chaque BTS.

La Figure IV-5 montre un schéma simple des trois stations de base. Dans ce schéma, il est supposé que les stations de base ont positionnées à égale distance les unes des autres formant un triangle équilatéral. La couverture de chaque station de base est supposée identique. La probabilité de couverture de l'une des trois BTS peut être calculée pour un ensemble d'emplacements différents du mobile. Ces lieux sont définis par des zones de couverture qui se chevauchent.

Il existe dans cet exemple un total de sept régions distinctes, définies dans le tableau IV-1 avec un pourcentage de la superficie totale couverte.

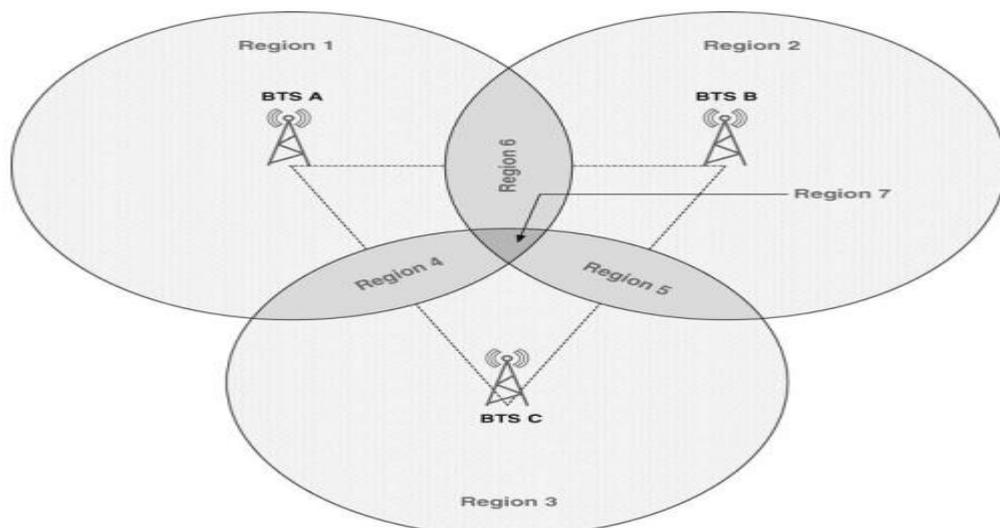


Figure IV-5 : Régions de couverture de 03 stations de base voisines [12]

<i>Région de couverture</i>	<i>Couverture de la station de base</i>	<i>Pourcentage en superficie (%)</i>
<i>Région 1</i>	<i>BTS A</i>	23
<i>Région 2</i>	<i>BTS B</i>	23
<i>Région 3</i>	<i>BTS C</i>	23
<i>Région 4</i>	<i>BTS A et C</i>	9
<i>Région 5</i>	<i>BTS B et C</i>	9
<i>Région 6</i>	<i>BTS A et B</i>	9
<i>Région 7</i>	<i>BTS A, B et C</i>	4

Tableau IV-1 : Régions de couverture des BTS

La disponibilité des régions 1 à 3 est inférieure à celle des régions 4 à 6 tandis que la région 7 a la disponibilité la plus élevée de tous les emplacements de mobiles. La région 7 a deux options de couvertures dans le cas d'une double panne TRX tandis que les régions 4 à 6 ont une option pendant un double échec TRX. La disponibilité de service varie en fonction de l'emplacement du mobile dans les zones de couverture des trois stations de base.

$$\Pr(\text{Service}) = (1 - 0,25) \times 1 + 0,25 \times \Pr(\text{Couverture sur un autre BTS}) \quad (\text{IV-13})$$

La probabilité de "couverture sur un autre BTS" dépend de l'emplacement de l'abonné. Si nous supposons que l'emplacement de l'abonné dans la zone de couverture est uniformément réparti, on peut calculer une probabilité de couverture en utilisant les pourcentages prévus pour les régions de couverture BTS qui se chevauchent. Dans les régions symétriques du modèle 1–3, 4–6 et 7 représentent des performances de disponibilité différentes. La probabilité de couverture pour chacune des trois conditions et la probabilité de service pour cette condition sont fournies dans le tableau IV-2.

<i>Emplacement de l'abonné</i>	<i>Probabilité de couverture par une autre BTS (%)</i>	<i>Probabilité de service (%)</i>
<i>Région 1 à 3</i>	0	75
<i>Région 4 à 6</i>	9	77,3
<i>Région 7</i>	13	78,3

Tableau IV-2 : Probabilité de couverture et de service pour une panne TRX

<i>Emplacement de l'abonné</i>	<i>Probabilité de couverture par une autre BTS (%)</i>	<i>Probabilité de service (%)</i>
<i>Région 1 à 3</i>	0	0
<i>Région 4 à 6</i>	9	4,5
<i>Région 7</i>	13	6,5

Tableau IV-3 : Probabilité de couverture et de service pour les doubles pannes de TRX

<i>Emplacement de l'abonné</i>	<i>Disponibilité du service (%)</i>
<i>Région 1 à 3</i>	99,944
<i>Région 4 à 6</i>	99,987
<i>Région 7</i>	99,988

Tableau IV-4 : Probabilité de service des BTS selon l'emplacement des abonnés.

Quand une station BTS devient défaillante, une quantité importante du trafic réseau est déchargée vers une nouvelle BTS. Ainsi, la probabilité de congestion dans ce cas est supposée être plus élevée que dans le cas d'une défaillance TRX unique. Nous supposons une probabilité de congestion sur la nouvelle station de base de 50% dans ce cas. Le calcul de ces valeurs pour une analyse réelle nécessite un examen des statistiques d'utilisation et la capacité de chaque station de base.

Le Tableau IV-3 fournit les probabilités de couverture et de service pour le cas où les deux modules TRX sont en panne. La disponibilité du service mobile pour un emplacement particulier (comme indiqué sur la figure IV-5) est donnée dans le tableau IV-4.

La comparaison de la disponibilité dans les régions 1 à 3 avec celle des régions 4 à 7 (où aucun basculement logiciel ne se produit car aucune autre BTS n'est disponible pour accepter le trafic de BTS défaillante), nous pouvons voir l'avantage de la mise en place de la redondance.

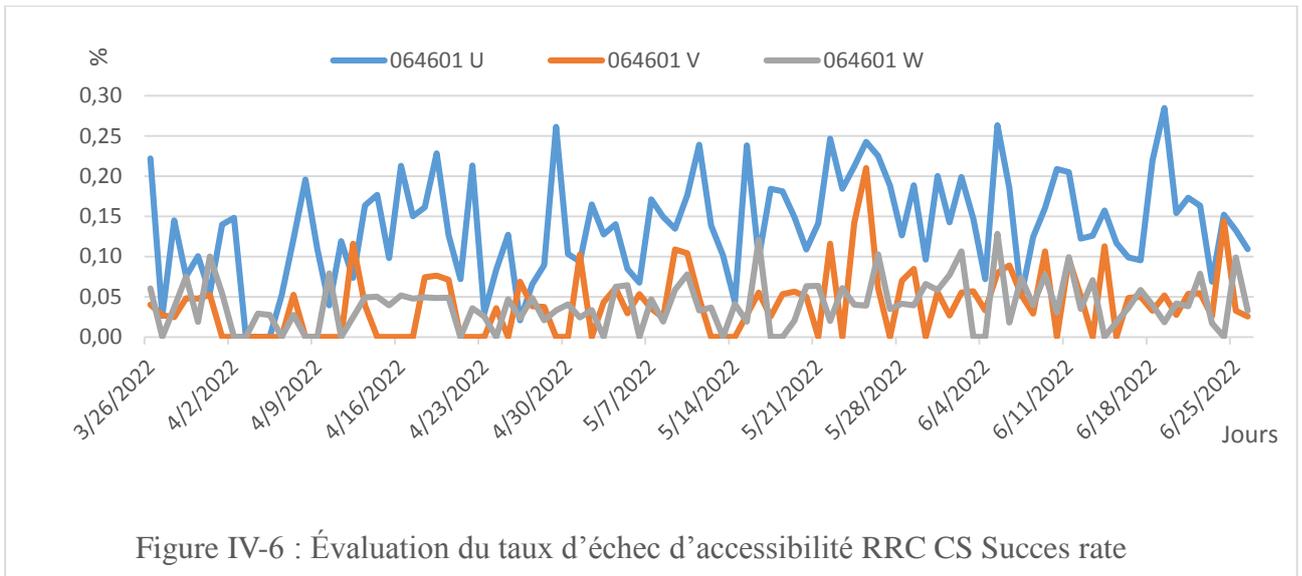
IV-3 Analyse des indicateurs KPIs

IV-3-1 Analyse des indicateurs KPIs 3G

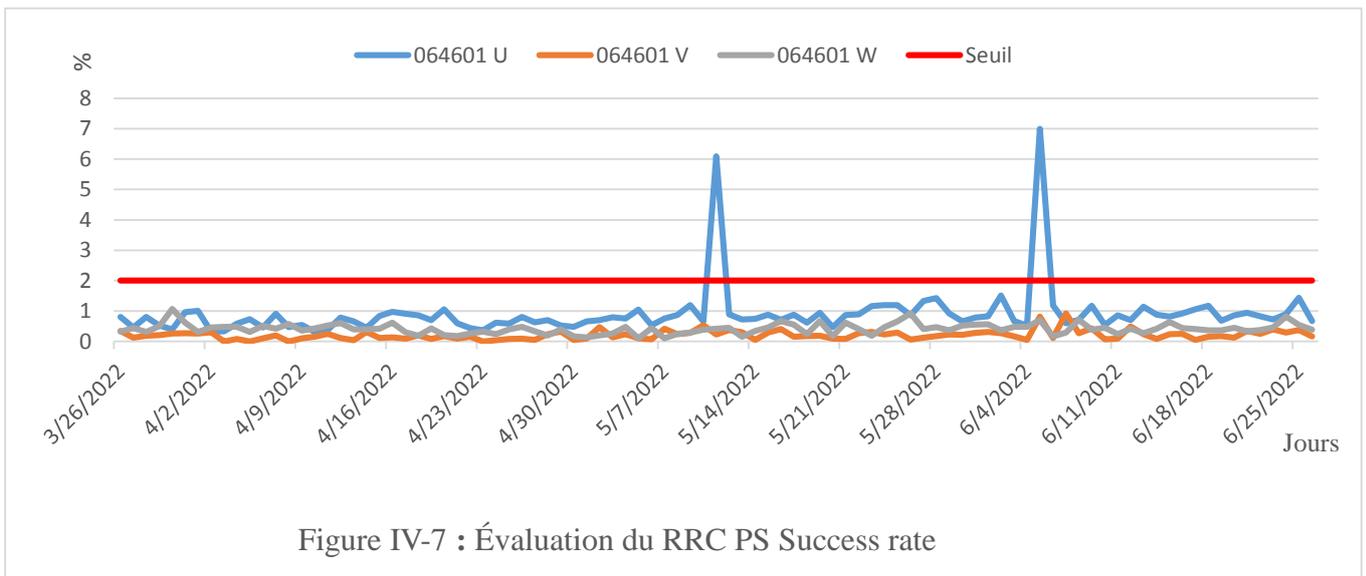
IV-3-1-1 Accessibilité

L'accessibilité du réseau s'exprime à travers deux KPI : le taux d'échec de l'établissement de connexion RRC et le taux d'échec de l'établissement du support RAB. Pour cela, nous avons utilisé deux groupes de cellules (064601U ; 064601V ; 064601W) pour le premier KPI et un autre groupe de trois autres cellules (064632X ; 064632Y ; 064632Z) pour le second KPI [19].

On commence par l'évolution du taux d'échec pour l'établissement d'une connexion RRC sur les trois cellules sélectionnées dans les deux domaines circuit et paquet, avec un seuil de 2%.



Sur la figure IV-6, nous constatons des dépassements conséquents et remarquables durant tous les trois mois de mesures sur les trois cellules particulièrement la cellule 064601U



En ce qui concerne le demain PS (Figure IV-7), Le taux d'échec prend des valeurs normales sauf pour la cellule (064601U) ou il y a un dépassement remarquable qui a atteint 7%.

Les raisons du rejet d'une connexion RRC et l'échec d'établissements de support RAB sont dûs à :

- Cause 1 : Manque de ressources à allouer à l'utilisateur.
- Cause 2 : Fonction non prise en charge par UTRAN.
- Cause 3 : Congestion de l'interface Iub.
- Cause 4 : Faible puissance du signal en DL.
- Cause 5 : Problème du NodeB.
- Cause 6 : Défaillance matérielle.
- Cause 7 : Blocage au cours de l'établissement de la signalisation RRC ou RAB.

Afin de résoudre ces problèmes on propose les solutions suivantes :

- ✓ Solution 1 : Pour ce problème on doit effectuer un Down tilt au niveau des NodeB pour réduire la zone de couverture de la cellule ou on ajoute de fréquence pour augmenter la bande passante.
- ✓ Solution 2 : La mise à jour doit être effectuée.
- ✓ Solution 3 : Ce problème provoque une congestion au niveau de la couche RNC. La solution consiste à apporter des modifications au niveau de la configuration.
- ✓ Solution 4 : La solution consiste à ajouter des étages d'amplificateurs aux étages existants au niveau du NodeB.

Nous évaluons maintenant les taux d'échec des trois cellules (064632X ; 064632Y ; 064632Z) pour l'établissement du support RAB dans les systèmes HSUPA et HSDPA tout au long de trois mois.

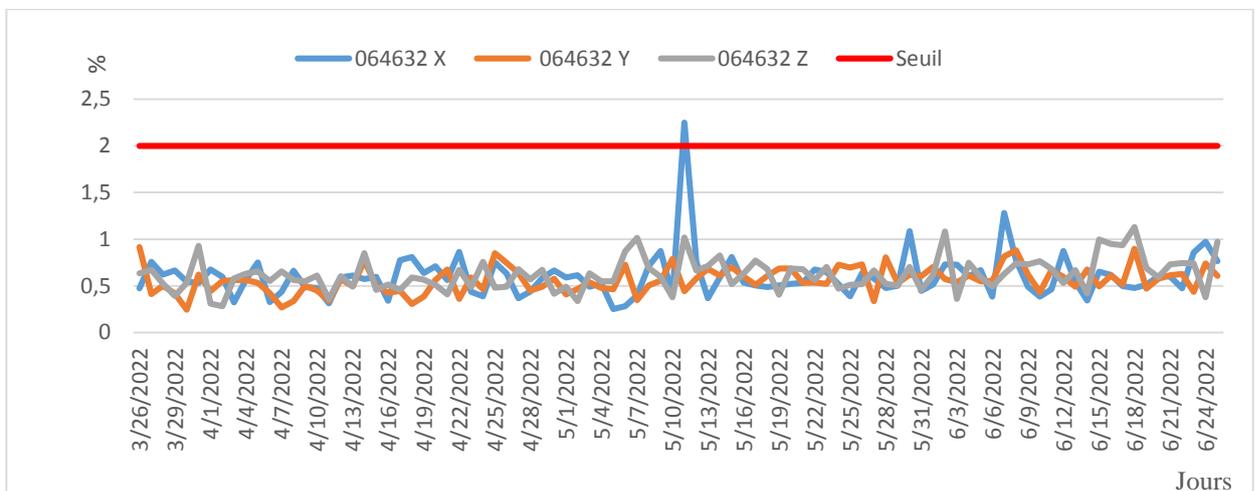


Figure IV-8 : RAB HSUPA Setup Failure Rate

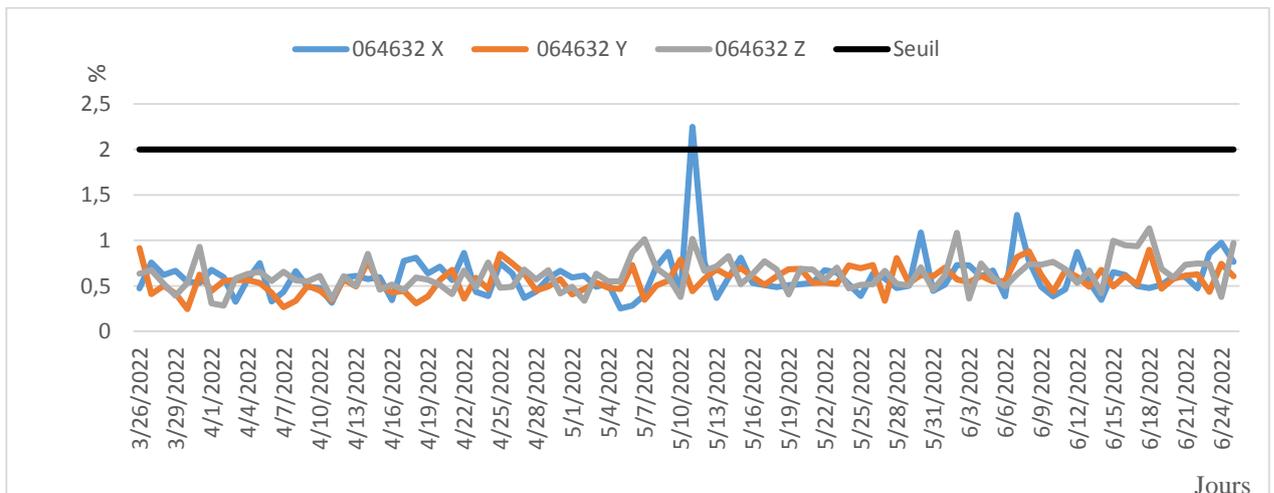


Figure IV-9 : RAB HSDPA Setup Failure Rate

D’après les figure ci-dessous, nous constatons une bonne accessibilité aux services du réseau puisque le temps d’échec est inférieur au seuil prédéfinir. Un seul dépassement est survenu durant la journée de 11 mai 2022.

IV-3-1-2 Mobilité

Pour ces KPIs on a sélectionné trois groupes de cellules (064632X, 064632Y, 064632Z) avec un seuil fixe ($\geq 98\%$).

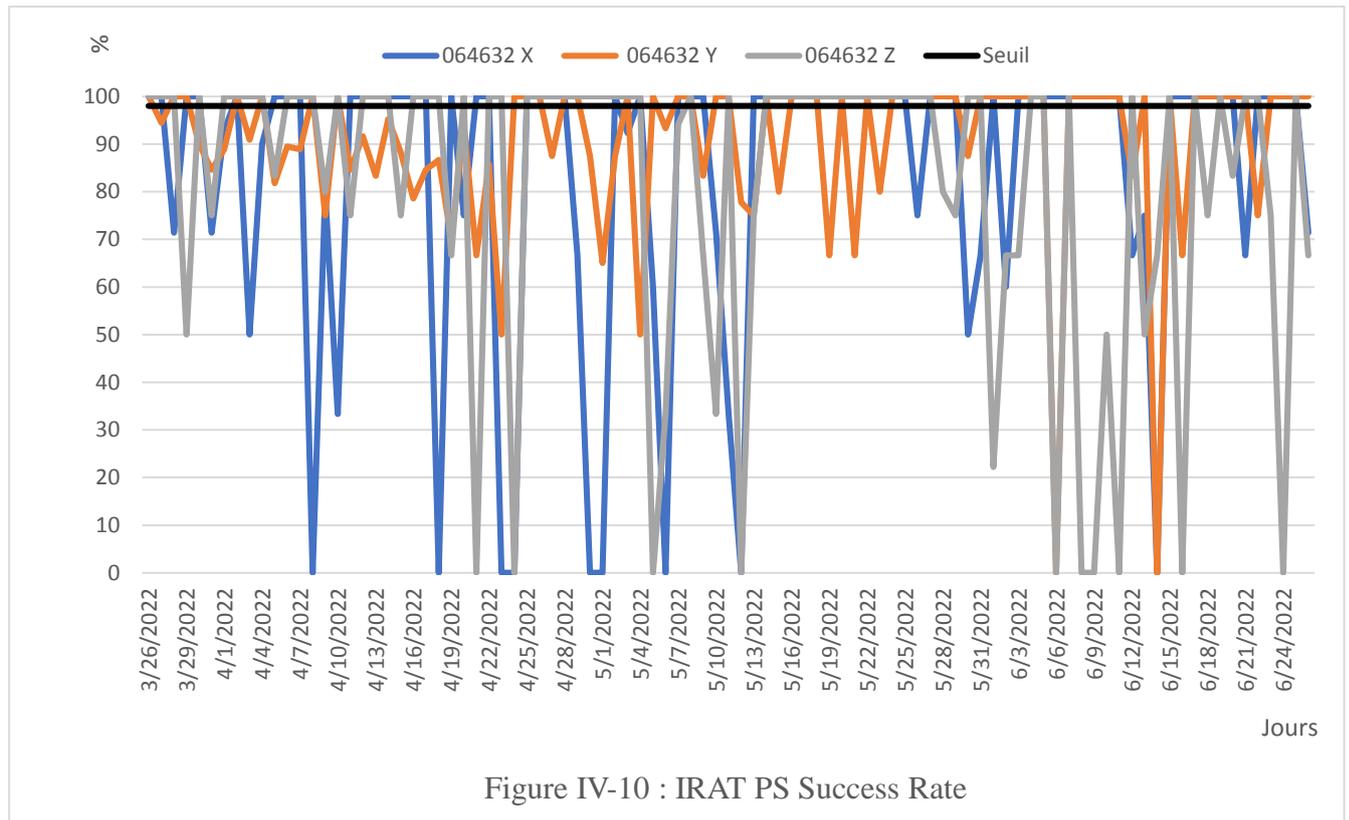


Figure IV-10 : IRAT PS Success Rate

La Figure IV-10 présente le taux de réussite du handover inter-systèmes qui permet de passer d’une génération à une autre (3G vers 2G).

D’après l’observation pendant toute la durée des trois mois de mesures, nous remarquons une faible réussite d’IRAT handover pour les trois cellules. Sachant que ces échecs influencent aussi négativement sur les paramètres de la continuité et l’accessibilité.



Nous constatons sur la figure précédente, que les tentatives de soft-handover ont été exécutées majoritairement avec succès sur toute la période des mesures.

Un échec des tentatives handover est à signaler durant toute la journée de 11 mai 2022 sur la cellule (064632X).

Un dysfonctionnement des handovers peut être causé par l'une des raisons suivantes :

- Cause 1 : Problèmes matériels 2G et 3G.
- Cause 2 : Congestion des canaux 2G.
- Cause 3 : Mauvaise couverture radio.
- Cause 4 : Mauvaise configuration ou configuration non prise en charge.
- Cause 5 : Les cellules destinataire manquent de ressources.

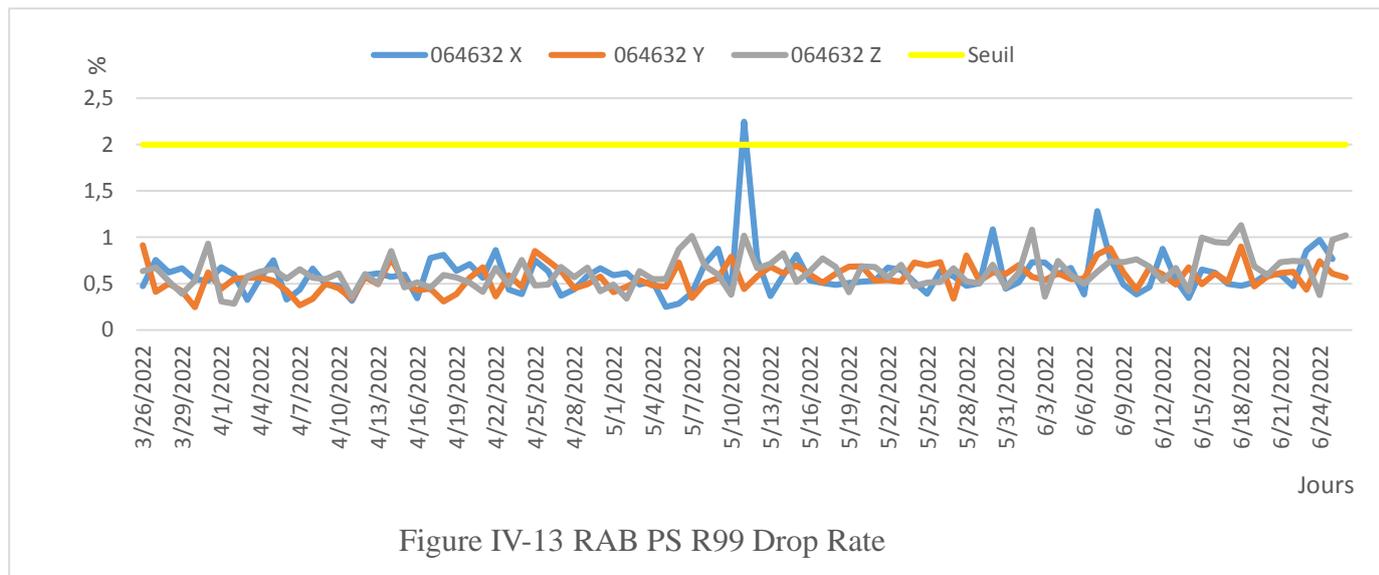
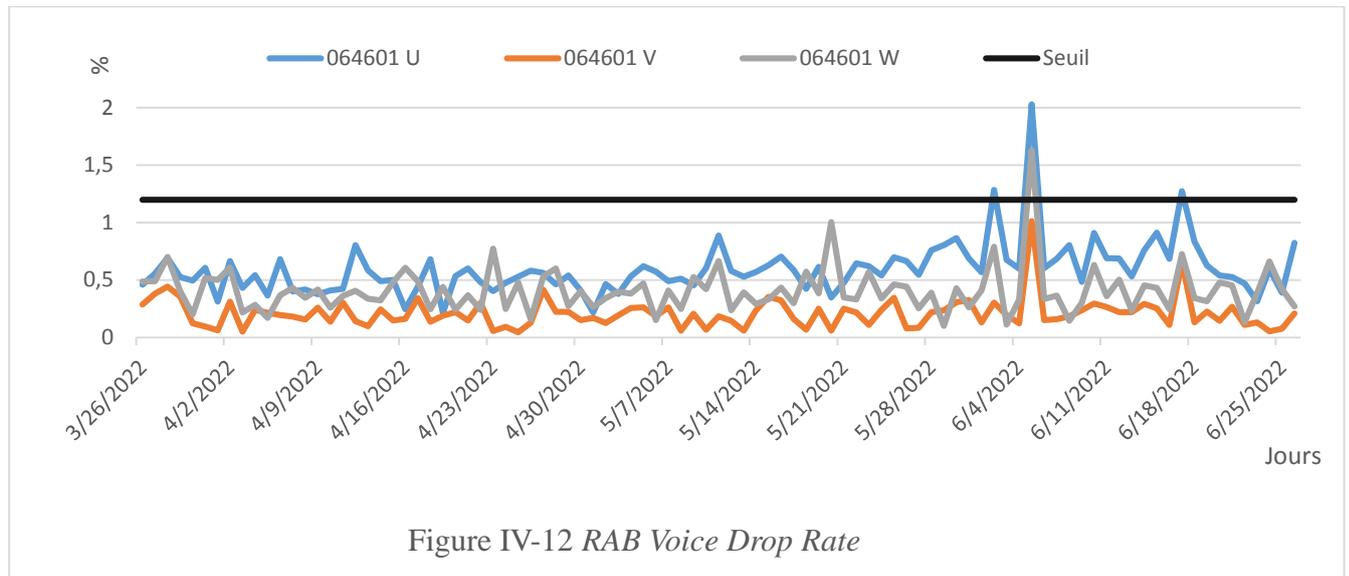
Pour résoudre ces problèmes on propose les solutions suivantes :

- ✓ Solution 1 : Pour résoudre ce problème, l'équipement doit être vérifié et ajusté ou le remplacé.
- ✓ Solution 2 : Une cellule congestionnée doit être déchargée vers une autre cellule 2G, ou émettre le trafic vers la 3G si cette dernière n'est pas congestionnée.
- ✓ Solution 3 : Pour ce problème, nous pouvons ajouter un système d'amélioration radio.

IV-3-1-3 Continuité

Pour la continuité nous avons sélectionné trois groupes de cellules (064601U, 064601V, 064601W) pour l'évolution du taux de coupures dans le domaine CS (RAB Voice Drop Rate) et un autre groupe (064632X, 064632Y, 064632Z) pour le même KPI mais dans le domaine PS (pour les services Interactifs). Avec un seuil fixe (<1.2) [19].

D'après Figure IV-12 nous constatons une légère augmentation le 02 et le 17 juin 2022 avec une dégradation importante le 05/06/2022 qui a atteint la valeur (2.02%) dans la cellule (064601U) et une autre dégradation dans le même jour pour la cellule (064601W).



Dans cette Figure, on remarque que le taux de coupure est acceptable dans le domaine Ps avec une légère dégradation (1.3%) le 11/05/2022.

Les principales raisons de coupures d'appel sont les suivantes :

- Cause 1 : Interférences entres cellules.
- Cause 2 : Mauvaise couverture.
- Cause 3 : Mauvaise configuration des relations de voisinage SHO (Soft Handover).
- Cause 4 : La congestion.

Pour régler ces problèmes, nous proposons :

- ✓ Solution 1 : Ce problème est dû à des interférences entre cellules qui peuvent être détectées dans des zones avec de bons niveaux de signal mais une mauvaise qualité. Pour résoudre ce problème, il est recommandé de mettre à jour fréquemment les tilts de la cellule pour éviter les problèmes d'interférence.
- ✓ Solution 2 : Dans ce cas, afin de résoudre ce problème nous devons ajuster les paramètres de la cellule servante au niveau Azimut, Tilt ou la hauteur de l'antenne et l'augmentation de la puissance de la NodeB.
- ✓ Solution 3 : Ce problème se produit lorsque le niveau de champ et la qualité du signal de la cellule serveuse sont inférieurs à ceux de la cellule déclarée voisine, mais aucun transfert ne se produit. Afin de résoudre ce problème, la configuration doit être modifiée, On ajoute des cellules qui représentent de bonnes conditions à la liste des cellules adjacentes.
- ✓ Solution 4 : Le problème de congestion est dû ici à une dégradation du RAB et du RRC donc la solution est d'ajouter un Down Tilt afin de réduire la zone de couverture ou d'ajouter un nouveau site pour améliorer la capacité.

IV-3-2 Analyse des indicateurs KPIs 4 G

IV-3-2-1 Accessibilité

Les Figures suivantes montrent le bon fonctionnement des deux KPIs d'accessibilité (RRC_Setup_Succ_Rate et S1 Signaling SR) sur les trois cellules (06686 N, 06686M, 06686O) durant toute la période de mesure.

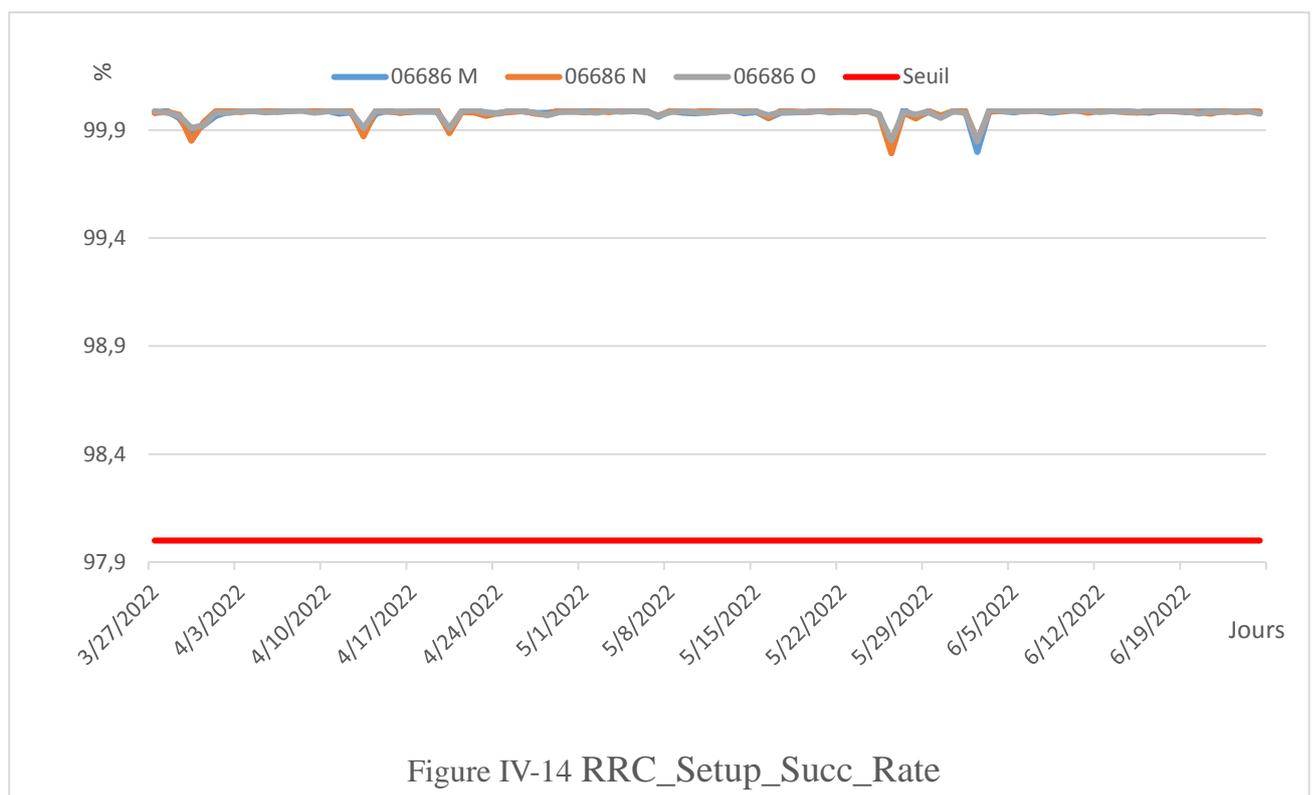


Figure IV-14 RRC_Setup_Succ_Rate

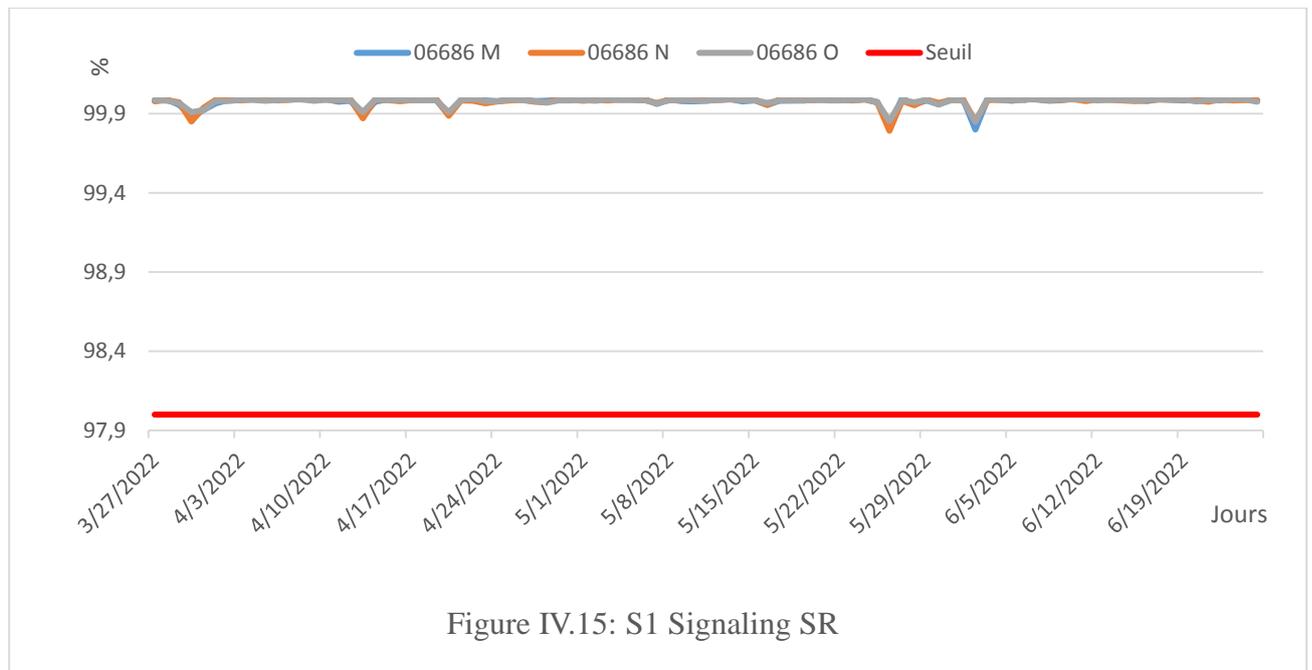


Figure IV.15: S1 Signaling SR

IV-3-2-2 Mobilité

Les KPIs de mobilité sont définis sur la base des différents types de handover dans le LTE qui sont : Intra-fréquence, Inter- fréquence, Inter-Radio Access Technology (IRAT). Notre étude portera le cas de handover intra fréquence et le cas d'IRAT.

La Figure suivante présente le taux de réussite du handover Intra-fréquence sur les cellules (06632R, 06632S, 06632T).

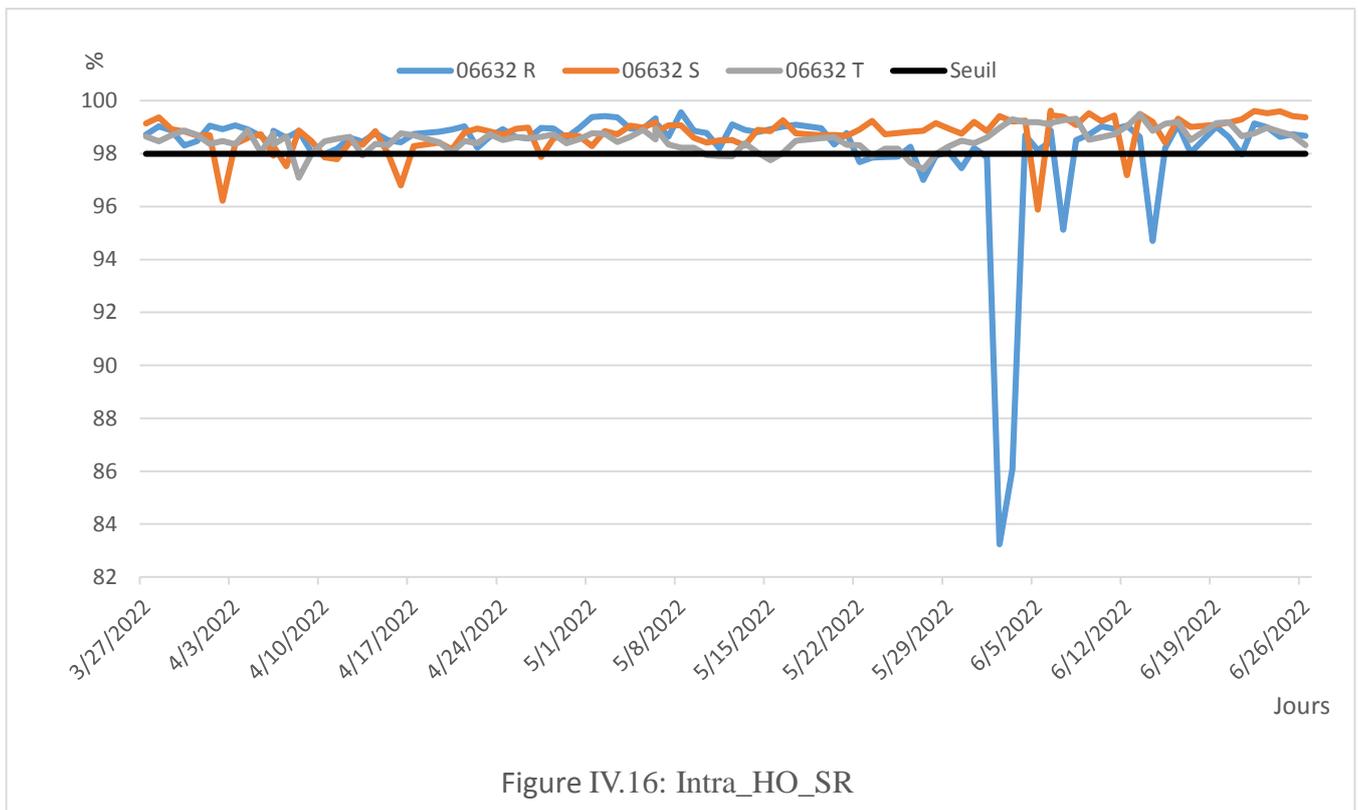


Figure IV.16: Intra_HO_SR

Nous remarquons que l'évolution du taux de réussite est presque la même sur les trois cellules mais pour la cellule (06632R) nous voyons une dégradation importante de trois jours entre le 02 et 04-06-2022 (le taux est descendu jusqu'à 83%, le seuil étant estimé à 95%) puis une légère dégradation entre le (07 et 08-06-2002 et entre le 14 et le 15), la cellule (06632S) présente aussi une légère dégradation entre le 5 et le 6 juin 2022.

Un autre cas de dégradation des performances de mobilité en 4G est présenté sur Figure IV.16 Il s'agit du l'inter-Radio Access Technology.

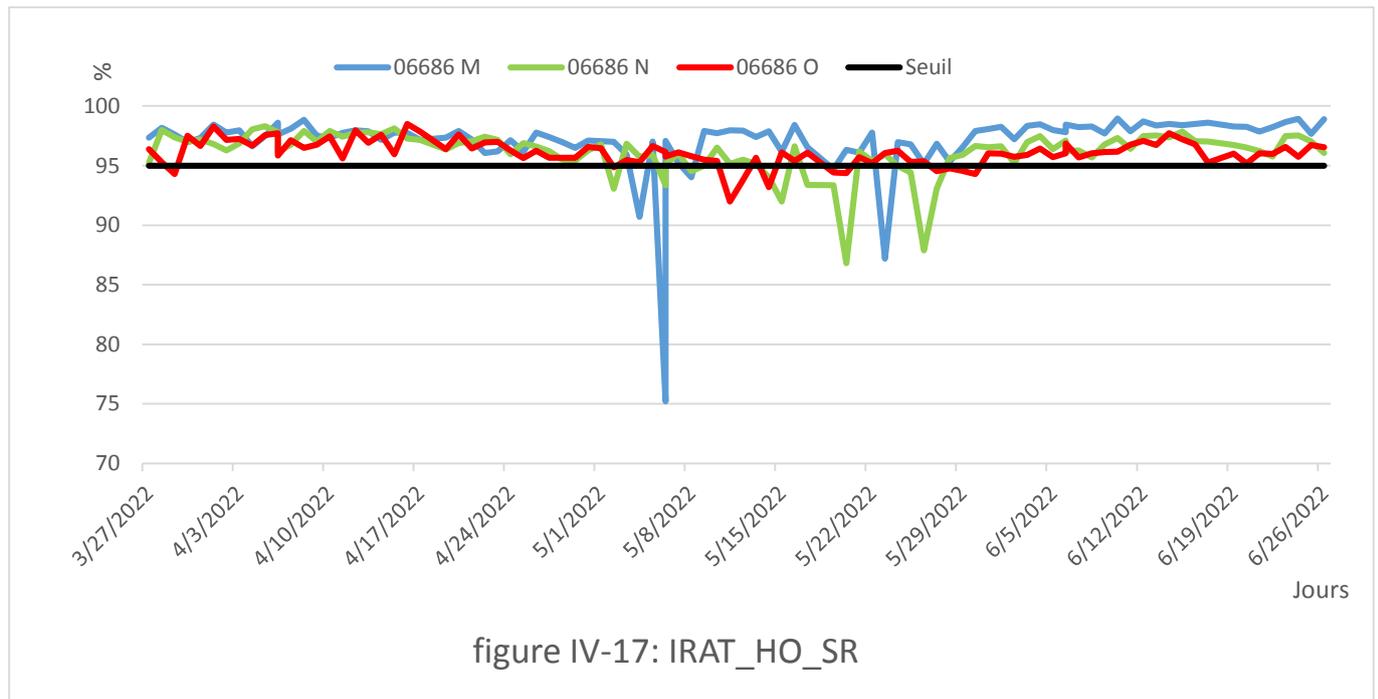


figure IV-17: IRAT_HO_SR

Pour ce KPI, on a utilisé trois cellules (06686M, 06686N, 06686O). D'après cette Figure nous constatons que le taux est irrégulier le long de toute la période 02/05/2022 jusqu'au 28/05/2022 pour les trois cellules avec une dégradation importante dans la cellule (06686 M) le 06/05/2022 qui a atteint 75%.

Les principaux problèmes liés à ces irrégularités s'expliquent par diverses causes telles que :

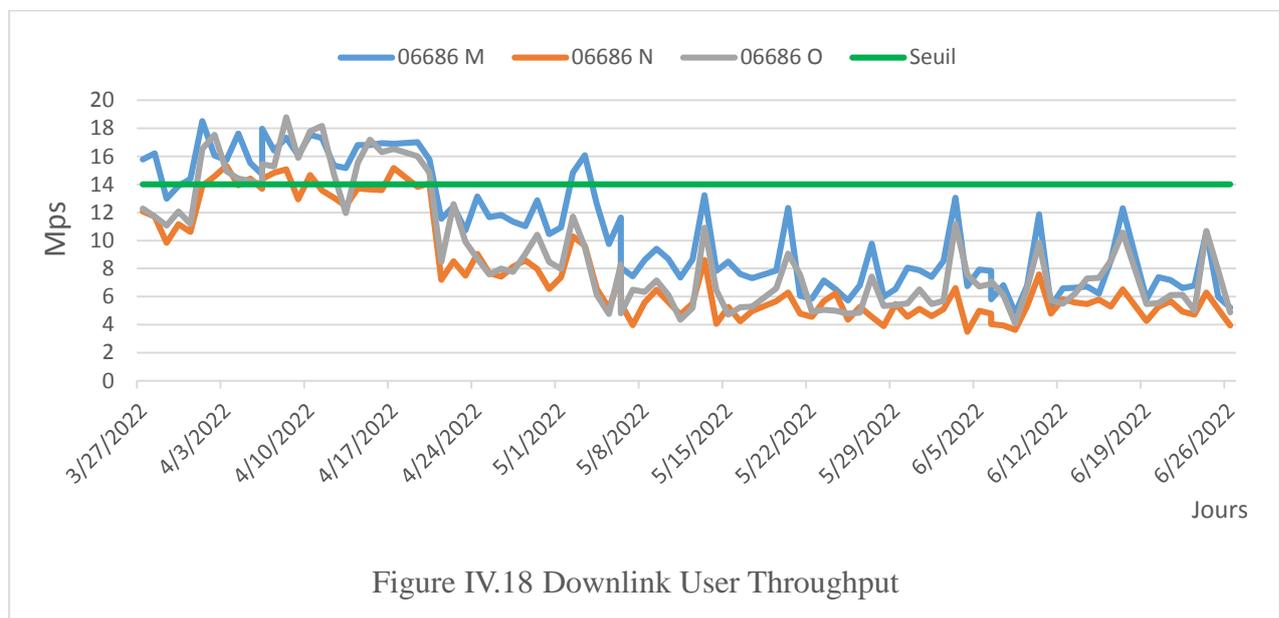
- Cause 1 : Défaillance matérielle.
- Cause 2 : Surcharge de la cellule.
- Cause 3 : Problème d'interférences dans le réseau.
- Cause 4 : Indisponibilité des ressources destinataire.
- Cause 5 : Problème de configuration des cellules.

Les solutions que nous préconisons sont les suivantes :

- ✓ Solution 1 : Vérifier ou régler les problèmes existants au niveau du matériel.
- ✓ Solution 2 : Dévier le handover vers une autre génération 2G/3G ou libérer la cellule congestionnée.
- ✓ Solution 3 : Elaborer un nouveau plan de fréquence.
- ✓ Solution 4 : Rajouter de nouveaux sites, ou augmenter la puissance de l'eNodeB.

IV-3-2-3 Intégrité

La Figure ci-dessous illustre la dégradation de KPI d'intégrité (Débit utilisateur) dans le sens descendant sur les trois cellules (06686M, 06686N, 06686O). Les problèmes de débit se traduisent en général par des coupures, des retards dans la transmission de donnée.



On constate de faibles débits (en dessous du seuil 14 Mps) durant toute la période 21/04/2022 au 26/06/2022 dans les trois cellules. Les causes globales pour cette baisse de débit sont :

- Cause 1 : Causes radio
- Cause 2 : Des interférences inter sites
- Cause 3 : La congestion de la cellule
- Cause 4 : Une défaillance matérielle.
- Cause 5 : Problème de transport de donnée.
- Cause 6 : Problème de configuration des eNodeB
- Cause 7 : Type d'abonnement de l'UE.

On propose les solutions suivantes :

- ✓ Solution 1 : Pour résoudre ce problème, on augmente la puissance dans l'eNodeB ou on réduit

la zone de couverture.

- ✓ Solution 2 : Modifier les paramètres des canaux physiques (PDCCH, PDSCH).
- ✓ Solution 3 : On se connecte les utilisateurs à une cellule libre.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé dans la 1^{er} partie à évaluer la disponibilité et la fiabilité de centre de commutation MSC et la station BTS, nous avons déduit que nous sommes obligés d'améliorer la disponibilité des systèmes distribués qui pourrait être encore amélioré lorsqu'on améliore la disponibilité du backhaul.

Dans la 2^{eme} partie de notre travail, nous avons évalué la qualité de service de plusieurs sites 3G et 4G à Bejaïa de l'opérateur national AT Mobilis en suivant et en analysant l'évolution de différents KPI, où nous proposons des solutions (dans le cadre d'une optimisation) aux problèmes rencontrés lors de l'analyse.

*Conclusion
générale*

Conclusion Générale

Avoir un réseau radio-mobile fiable avec une qualité de service accrue, constitue un enjeu crucial pour tout opérateurs de téléphonie mobile et cela dans le but de fidéliser ses clients en leur assurant des services variés avec des performances élevées.

C'est ainsi qu'un suivi du fonctionnement d'un réseau mobile et son optimisation est assuré en temps réel par des équipes d'ingénieurs des sévices OMC (Operating and Maintenance Center) des opérateurs.

L'étude menée dans une première phase, sur la fiabilité de station BTS et le centre de commutation MSC, nous a prouvé que les risques de défaillance matérielle des équipements du réseau RAN sont pratiquement optimisés par les fournisseurs des équipements.

Dans la seconde partie, l'analyse des statistique KPIs recueillies auprès de l'opérateur national AT Mobilis sur divers sites sur une durée de trois mois, nous a permis d'estimer la qualité de service assurée pour les réseaux 3G et 4G de cet opérateur.

Nous avons ainsi, pu vérifier majoritairement des performances élevées de ces réseaux et dans des cas minimes, nous avons identifié quelques causes de défaillance et suggéré des solutions.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] J.Eberspacher, H-J.Vogel, C.Bettstetter and C.Hartmann, GSM Switching, Service and protocols Second Edition 2001 - page 332-
- [2] Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siama`k Naghian, Valteri Niemi UMTS Networks Architecture, Mobility, and Services Second Edition -page 406-
- [3] OUCHIHA Youcef. Optimisation de la migration du réseau GSM vers le réseau UMTS
- [4] IBRAHIMI Khalil, gestion des Ressources des Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération par rapport à la Mobilité des Utilisateurs, 20 novembre 2009.
- [5] Juha Korhonen, Introduction to 3G Mobile Communications Second Edition 2003.
- [6] Yannick Bouguen & al ; Lte et les réseaux 4G; Chapitre III: L'interface Radio LTE.
- [7] KHELIFI Salim Et HADDAD Aissa, Planification et dimensionnement d'un réseau mobile 4G/LTE .2018
- [8] Third Edition J.Eberspacher, H-J.Vogel, C.Bettstetter and C.Hartmann; GSM_Architecture, Protocols and services -page326-
- [9] la direction de Xavier Lagrange ; Principe et évolutions de l'UMTS ; mars 2005.
- [10] Zach Oakes, Monte Carlo Simulation: Definition, Example, Code, 2019
- [11] Debbah Younes, La fiabilité, CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA FIABILITÉ, Jeudi 03 Décembre 2020
- [12] S.BENSAADA, M.T.BOUZIANE, F.MOHAMMEDI, D.FELLIACHI, availabilite and concepte DMF in industrial maintenance, Avril 2012
- [13] Olivier Gaudoin, Statistique et Science des Données
- [14] Revue de statistique appliquée, tome 40, no 2 (1992), p. 17-30
- [15] Villemeur A., «Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation », Ed. Eyrolles. Paris 1988
- [16] Perrine BROY, Evaluation de la sûreté de systèmes dynamiques hybrides complexes. Application aux systèmes hydrauliques, le 12 mars 2014
- [17] FAIGNER H.BTS MS, organisation de maintenance, 2020/2022
- [18] Méthode de maintenance licence mécatronique - IUT TROYE

- [19] John B. Anderson, Editor in Chief, telecommunication système reliability engineering,theory and practice, 2012
- [20] Ericsson; WCDMA RAN W14 Performance Management and Optimization
- [21] ISSAAD Sonia & KAHOUADJI Hafida; Analyse optimisation d'indicateurs de QoS du réseau 3C wcdma d'AT mobilise a Bejaia; 2017/2018
- [22] Mesurer la performance des réseaux Mobiles : couverture, qualité de service et cartes; octobre 2019
- [23] <https://rfwireless-word.com/erminology>
- [24] livre LTE Optimization-libre Ericsson Student Book_LZT 123 9165, R2A
- [25] OUZZIZ Yacine MESSAOUDI Hicham ; Éléments de supervision & d'optimisation de réseaux radio mobiles; 2019
- [26] Ericsson; WCDMA W14 Radio Network functionality
- [27] MESSAOUDI Yanis, BELHOUL Azzedine ; Evaluation de qualité de service et Optimisation du réseau UMTS/AT Mobilis à Béjaia;2016/2017
- [28] TOURE IDRISSE OUMAR DIARRA WOULEYMATOU; Analyse et optimisation des indicateurs QoS de réseau 4G/LTE; 2017/2018
- [29] Ajay Chhalotre; LTE Drive Testing, Radio Network Planning & Optimization;2013
- [30] Utilisation de la compression des entêtes dans les réseaux cellulaires de type 4G, VU DINH Dau, 18 juillet 2013
- [31] http://www.octoscope.com/English/Collaterals/Presentations/octoScope_4GPHYTest_20091201.pdf
- [32] <http://www.effort.com>
- [33] [https://slideplayer.fr/slide/1298269/Les réseaux GSM/DCS](https://slideplayer.fr/slide/1298269/Les_réseaux_GSM/DCS)