

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A ma mère Maman **TIOTSOP Pauline**, qui a toujours manifesté à mon endroit, beaucoup d'amour et surtout beaucoup d'attention. Qu'elle trouve ici le fruit de toutes ses œuvres.

REMERCIEMENTS :

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements :

- ❖ Au **Docteur.ing Eric DEUSSOM**, qui malgré ses multiples occupations a accepté de me suivre tout au long de ce mémoire, et qui a toujours su répondre à mes différentes préoccupations.
- ❖ A mon encadreur professionnel, **M. SIMOUT NGUIDJO Jean Jules** avec qui j'ai eu la chance de travailler tout au long de mon stage à la CAMTEL. Ses conseils et encouragements incessants m'ont permis de profiter de ses compétences dans le domaine. Trouvez ici mes profonds remerciements.
- ❖ Aux **Honorables membres du jury**, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury et de juger ce travail.
- ❖ A la **CAMTEL** particulièrement son directeur général, qui nous a fourni un cadre de travail agréable pour la réalisation de notre stage académique.
- ❖ Au staff technique et administratif du centre d'accueil de mon stage (**PMCN**) pour les bons moments passés ensemble et les échanges instructifs.
- ❖ Aux enseignants de **SUP'PTIC**, et également ceux de **SUP'COM TUNIS** pour tous les enseignements dispensés.
- ❖ A mes camarades de classe particulièrement **KAMDOUM Roland Hermès** et **DOMCHE Kevin** pour leur disponibilité tout long de ces deux années de Master et surtout leur envie de me faire comprendre la programmation et les logiciels.
- ❖ A tous mes collègues stagiaires du **PMCN** qui m'ont accompagné tout au long du stage d'ingénieur, merci pour l'aide mutuelle dans la recherche des solutions pour avancer dans nos travaux.
- ❖ A toute la promotion **IT 2016-2018**, **SUP'PTIC**, également **SRM** pour tous les bons moments passés ensemble.
- ❖ A mon cousin **DOUANLA TCHOFFO Hyppolite** pour son assistance et son soutien financier durant ces deux années.

- ❖ A mes amis **YEFOUE Gustave, LADO Hugues, YONTA Francis, YOUTH Octave et KAMDOUM G, KAMENI Peguy, KEMAYOU NBIANDA A, YANA L. M**, pour les discussions, les échanges et les encouragements tout au long de la période de stage.
- ❖ A **TCHOFFO MANFO** Raïssa pour son soutien tout au long du stage
- ❖ A tous les membres de ma famille qui m'aiment tendrement et qui m'ont toujours aidé et soutenu face aux difficultés. Trouvez ici l'expression de ma plus profonde gratitude.
- ❖ A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et qui m'ont soutenu dans mon parcours académique dont les noms ne figurent pas dans ce document, je vous dis profondément merci.

RESUME

Lors de la densification ou l'expansion d'un réseau, les opérateurs se doivent d'effectuer une étude sur la structure du réseau de collecte associé, et sur une stratégie pour la réalisation. CAMTEL dans ses objectifs d'accroissement des capacités n'échappe pas à cette règle pour l'implémentation de ses futurs réseaux. Nous avons par conséquent fait un travail qui porte sur la solution de backhauling mobile pour le réseau de CAMTEL et étude de compatibilité pour une migration vers le C-RAN, où nous proposons une description technique et architecturale nécessaires pour les déploiements prochains à la CAMTEL. Pour se faire nous avons conçu et réalisé un outil de dimensionnement en capacité en LTE-A et en C-RAN basé respectivement sur les modèles de trafic, de service et les différents modèles de déploiement C-RAN. L'utilisation des paramètres appropriés nous a permis d'obtenir des résultats des capacités des liens backhaul et fronthaul selon qu'on soit en LTE-A ou en C-RAN. L'exploitation de ses résultats nous a aidés pour l'analyse de l'impact de l'évolution des accès sur la structure du réseau actuel de CAMTEL. Ainsi nous avons proposé une architecture hybride et flexible qui pourra prendre en charge tout type de réseau.

Mots clés : LTE-A, C-RAN, backhauling, backhaul, fronthaul, dimensionnement, capacité.

ABSTRACT

During a network densification or expansion a study must be conducted on the associate collection structure of the network and, on an implementation strategy. considering its objectives, which aims at increasing it's capacities, CAMTEL's future network implementation does not escape this rule. Subsequently, we did a work on the mobile backhaul solution for the CAMTEL network and compatibility study for the migration toward C-RAN, where we proposed technical and architectural description necessary for CAMTEL's future deployment. For this purpose, we designed and elaborated a dimensionning tool in LTE-A and C-RAN based on traffic, and sevicees models and, on the various C-RAN deployment models. The use of appropriate parametres enabled us to obtain backhaul and fronthaul link capacities either in LTE-A and in C-RAN, that we have grouped together as a table. The exploitation of this results helped us to analyze the impact of the evolution of access on the structure of CAMTEL's current network. Thus, we have proposed a hybrid and flexible architecture that can support any type of network.

Key words: LTE-A, C-RAN, backhaul, fronthaul, sizing, capacity.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS :.....	ii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLE DES MATIERES.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
ABBREVIATIONS.....	xiii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL.....	3
1. Présentation du cadre de travail.....	3
1.1. Historique de la CAMTEL.....	3
1.1.1. Organisation de la CAMTEL.....	3
1.1.2. Présentation du centre de déroulement du stage.....	4
1.1.3. Missions du Programme MCN.....	5
1.2. Contexte du projet.....	6
1.2.1. Problème.....	6
1.2.2. Objectifs.....	7
1.2.3. Intérêts de ce travail.....	7
1.3. Le backhauling mobile.....	7
1.3.1. Définition des concepts.....	7
1.3.2. Partie accès.....	8
1.3.3. Partie agrégation.....	8
1.3.4. Nœuds de démarcation.....	9
1.4. Etude du réseau existant de la CAMTEL.....	9
1.4.1. Schéma de connectivité générale de la CAMTEL.....	10
1.4.2. Solution physique déployée par HUAWEI.....	11
1.4.3. Description techniques des équipements.....	12



1.4.3.1. Equipements d'agrégation et de cœur : Routeurs NE40.....	13
1.4.3.2. Equipements d'accès : Routeurs ATN.....	14
1.4.4. Solution logique.....	16
1.4.4.1. Protocoles de routage IGP.....	16
1.4.4.1.1. Protocole OSPF.....	17
1.4.4.1.2. Le protocole Is-Is.....	18
1.4.4.2. Protocoles de routage BGP.....	20
1.4.4.2.1. Route reflectors RR.....	21
1.4.4.3. Le réseau MPLS.....	21
1.4.4.3.1. Principe de fonctionnement du MPLS.....	22
CHAPITRE 2 : EVOLUTION DU RAN LTE VERS LA LTE-A, C-RAN ET	
METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT EN CAPACITE.....	24
2.1. Généralités sur la LTE.....	24
2.1.1. Le réseau cœur.....	27
2.1.2. Le réseau d'accès : E-UTRAN.....	27
2.1.3. Technologies.....	28
2.1.3.1. l'OFDM, l'OFDMA, la SC-FDMA.....	28
2.1.3.2. La technologie MIMO.....	29
2.1.3.3. Modulations et codages adaptatifs.....	30
2.2. Evolution de l'accès LTE vers la LTE-Advanced.....	30
2.2.1. Le concept d'agrégation de porteuse.....	31
2.2.1.1. Différents types d'agrégation de porteuse.....	31
2.2.1.2. Les techniques de multiplexage.....	32
2.2.1.3. Différents scénarios de déploiement d'agrégation de porteuse.....	32
2.2.1.3.1. Scenario 1.....	32
2.2.1.3.2. Scenario 2 de déploiement de l'agrégation de porteuse.....	33
2.2.1.3.3. Scenario 3 de déploiement de l'agrégation de porteuse.....	33
2.2.1.3.4. Scenario 4 de déploiement de l'agrégation de porteuse.....	34
2.2.1.3.5. Scenario 5 de déploiement de l'agrégation de porteuse.....	34
2.2.2. Dimensionnement de la capacité en LTE/LTE-A.....	35
2.2.2.1. Calcul du débit total réseau.....	35
2.2.2.1.1. Modèle de service.....	36
2.2.2.1.2. Modèle de trafic.....	37
2.2.2.1.4. Considération de ce débit pour une agrégation de porteuse (LTE-A).....	40

2.3. Evolution de l'accès LTE vers le C-RAN.....	40
2.3.1. Description de l'architecture CRAN.....	40
2.3.1.1. La centralisation des ressources.....	41
2.3.1.2. La radio collaborative.....	42
2.3.2. Scenarios de migration vers le C-RAN.....	43
2.3.2.1. Architecture traditionnelle.....	43
2.3.2.2. Migration vers une Architecture distribuée.....	43
2.3.2.3. Migration vers une architecture centralisée.....	45
2.3.3. Réseau de transport dans le C-RAN.....	46
2.3.4. Technique de transport dans un C-RAN.....	46
2.3.5. Dimensionnement de la capacité dans un Cloud RAN.....	48
2.3.5.1. Détermination de la capacité pour chaque modèle de déploiement.....	48
2.3.5.1.1. Split 1 C-RAN modèle.....	48
2.3.5.1.2. Split 2 C-RAN modèle.....	48
2.3.5.1.3. Split 3 C-RAN modèle.....	49
2.3.5.1.4. Split 4 C-RAN modèle.....	49
2.4. Étude et conception.....	49
2.4.1. Modélisation sous UML.....	49
2.4.1.1. Diagramme des cas d'utilisations.....	50
2.4.1.2. Diagramme de séquence.....	51
2.4.1.3. Diagramme de séquence « s'authentifier ».....	51
2.4.1.4. Diagramme de séquence «dimensionner».....	52
2.4.1.5. Diagramme de séquence «gérer service».....	53
2.4.1.6. Diagramme de classe.....	54
2.5. Environnement logiciel utilisé.....	55
2.5.1. HTML (Hyper Text Markup Language.....	55
2.5.2. CCS (Cascading Style Sheet.....	55
2.5.3. JavaScript.....	56
2.5.4. PHP (PHP HyperText Preprocessor).....	56
2.5.5. Bootstrap.....	56
2.5.6. Sublime Text.....	56
2.5.7. WampServer.....	56
2.5.8. Edrawmax.....	57
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET COMMENTAIRES.....	58

3.1. Présentation de l'application.....	58
3.1.1. Architecture de l'application.....	58
3.1.2. Page d'authentification.....	59
3.1.3. Page d'accueil.....	59
3.1.4. Onglet de dimensionnement de la capacité « LTE-A ».....	60
3.1.4.1. Utilisation des modèles de services.....	62
3.1.4.2. Débit par service et considération du modèle de trafic.....	62
3.1.4.3. Débit traversant un lien physique.....	63
3.1.5. Etude de l'incidence de l'évolution de l'accès LTE vers la LTE-Advanced sur le réseau de la CAMTEL.....	65
3.1.5.1. Niveau physique.....	65
3.1.5.2. Niveau logique.....	65
3.1.6. Onglet dimensionnement de la capacité « C-RAN ».....	66
3.1.6.1. Onglet de calcul pour le split 1.....	66
3.1.6.2. Onglet de calcul pour le split2.....	67
3.2. Etude de la compatibilité du réseau LTE actuel de la CAMTEL pour une migration C-RAN.....	67
3.2.1. Solution physique.....	67
3.2.2. Solution logique.....	69
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	70
REFERENCES.....	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1: organigramme de la CAMTEL	4
Figure 2: Organigramme simplifié du PMCN.	5
Figure 3: Structure d'un réseau de communication mobile [3].	7
Figure 4: Quelques équipements fournis par HUAWEI pour le réseau [4]	10
Figure 5: Schéma de connectivité de CAMTEL [4]	10
Figure 6: Connexion LTE à l'IP-RAN	11
Figure 7: Architecture simplifiée du réseau LTE	12
Figure 8: châssis d'un NE40-X3 [5]	13
Figure 9: Châssis d'un NE40-X8[5]	14
Figure 10: châssis 910I	15
Figure 11: Châssis d'un ATN950B [4]	16
Figure 12: différentes zones OSPF [7]	18
Figure 13: architecture générale en IS-IS [7]	19
Figure 14: Déploiement IS-IS dans le réseau de Camtel	20
Figure 15: Architecture générale du BGP	20
Figure 16: Systèmes autonomes avec deux Route Reflectors	21
Figure 17: Principe de fonctionnement du réseau MPLS	22
Figure 18: Architecture générale LTE	25
Figure 19: Architecture fonctionnelle LTE	26
Figure 20: Répartition des fonctions entre nœuds de l'architecture LTE/EPC	26
Figure 21: Architecture de l'E-UTRAN [8]	28
Figure 22: Différence entre OFDMA et SC-FDMA [10]	29
Figure 23: Exemple d'antenne MIMO [11]	29
Figure 24: modulation LTE [11]	30
Figure 25: Différents types d'agrégation de porteuse [13].	31
Figure 26: Déploiement CA scenario [13]	32
Figure 27: Déploiement CA scenario 2 [13]	33
Figure 28: Déploiement CA scenario 3 [13]	33
Figure 29: Déploiement CA scenario 4 [13]	34
Figure 30: Déploiement CA scenario 5 [13]	34
Figure 31: Procédure de dimensionnement en capacité [14]	35
Figure 32: Procédure de calcul du débit réseau	36
Figure 33: Centralisation des unités de traitements radio BBUs des RANs traditionnelles en baseband pool dans le C-RAN.	42
Figure 34: Mise en évidence de la collaboration radio dans le C-RAN	43
Figure 35: Fonctionnalités d'une station de base. Les fonctionnalités à l'intérieur de la BBU y sont présentées pour la mise en œuvre de la LTE. La connexion à la partie RF du module RRH est indiquée [21].	44
Figure 36: Evolution des stations de base	45
Figure 37: Architecture C-RAN du réseau mobile LTE [21]	45

Figure 38: Architecture C-RAN avec réseau de fibre optique comme support de transmission dans le fronthaul.	46
Figure 39: Fragmentation (split) possible pour une architecture C-RAN	47
Figure 40: Diagramme des cas d'utilisations	51
Figure 41: diagramme de séquence authentification de l'utilisateur	52
Figure 42: diagramme de séquence de dimensionnement	53
Figure 43: diagramme de séquence de gestion des services	54
Figure 44 : diagramme de classe	55
Figure 45: Architecture de l'application	58
Figure 46: Page d'authentification de l'application	59
Figure 47 : Page d'accueil de l'application	60
Figure 48: Choix du type d'agrégation et le nombre de porteuse et d'antenne	61
Figure 49: sélection des services	62
Figure 50: Débit par service et model de trafic	63
Figure 51 : Débit traversant un lien physique	64
Figure 52 : Interface pour le calcul split1	66
Figure 53: interface de calcul split2	67
Figure 54: Regroupement par pool/hôtel BBU pour la ville de Yaoundé.	68
Figure 55: Solution de regroupement pour les sites éloignés du CO	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Topologie du backhaul network [3].....	8
Tableau 2: Caractéristiques du 910I.....	15
Tableau 3: Caractéristiques du 950B.....	16
Tableau 4: Exemple de modèle de service [15].....	37
Tableau 5: Exemple de modèle de trafic [15].....	38
Tableau 6: Type d'environnement [15].....	39
Tableau 7: efficacité en fonction des couches protocolaires [15].....	40
Tableau 8: Capacité en downlink(Mbps) pour différentes configurations d'agrégation de porteuse.....	64
Tableau 9 : Capacité en uplink(Mbps) pour différentes configurations d'agrégation de porteuse.....	65
Tableau 10: Capacité requis par un lien fronthaul pour une BS LTE MIMO 2x2 à 20MHz...	67

ABBREVIATIONS

AS	Autonomous Système
AGG	Aggregation Gateway
BBU	BaseBand Unit
BS	Base Station
BSC	Base Station Contoller
BGP	Border Gateway Protocol
CA	Carrier Aggregation
CAMTEL	Cameroon Telecommunications
CPRI	Common Public Radio Interface
C-RAN	Cloud-RAN
CDMA	Code Division Multiplexing Access
CSG	Cell Site Gateway
CSS	Cascading Style Sheet
CoMP	Coordination Multipoint
CC	Carrier Component
DL	Downlink
EoMPLS	Ethernet over MPLS
eBGP	Exterior BGP
UE	User Equipment
EPC	Evolved Packet Core
eUTRAN	Evolved UTRAN
FRR	Faster Reroute
FDD	Frequency Division Duplex
GE	GigaEthernet
3GPP	3rd Generation Partnership Project
HSS	Home Subscriber Service
HTML	Hyper Text Markup Language
IP	Internet Protocol
IP-RAN	IP Radio Access Network
IGP	Interior Gateway Protocol
IS-IS	Intermediate Symtem to Intermediate Symtem
IBGP	Interior BGP
LPU	Line Processing Unit
LSP	Label Switching Path
LSR	Label Switching Router
LDP	Label Distrbution Protocol
MBN	Mobile Backhaul Network
MME	Mobility Management Entity
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MIMO	Multiple Input Mutiple Ouput
MAC	Medium Access Controller

OSPFvx	Open Shortest Path First
OFDM	Orthogonal Freuency Division Mmutiplexing
OFDMA	Orthogonal Freuency Division Mmutiplexing Access
ORI	Open Radio Interface
OBSAI	Open Base Architecture Initiative
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
PGW	PDN Gateway
PCRF	Policy Charging Rules Function
PDCP	Packet Data control Protocol
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
RSG	RNC Site Gateway
RAN	Radio Access Network
RIP	Routing Internet Protocol
RR	Reroute
RLC	Radio Link Control
RRH	Remote Radio Head
SPF	Short Path First
SGW	Signaling Gateway
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
TDD	Time Division Duplex
UML	Unified Modeling Language

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, alors que les téléphones mobiles et les applications Internet se développent rapidement, le nombre, le trafic et la demande des utilisateurs mobiles augmentent considérablement. Ces utilisateurs toujours à la recherche des dernières technologies, réclament une connexion qui peut gérer une grande quantité de téléchargement de données et cela d'une façon très rapide, ainsi que la vidéoconférence avec des effets sonores et de nombreuses nouvelles applications. Face à ces demandes et exigences, les opérateurs de télécommunications recherchent des solutions en continu pour pouvoir répondre à ces attentes et rester concurrentiels sur le marché.

CAMTEL opérateur historique camerounais ne reste pas indifférent. Il s'est lancé dans une vaste politique de réforme de son réseau avec comme pilier l'expansion et la densification de son réseau d'accès radio. Seulement, la stratégie de densification qui consiste en l'ajout en continu des stations de base se montre à un moment comme un facteur limitant pour l'expérience utilisateur car l'augmentation continue des BSs (Base Station) influe sur la structure et les capacités du réseau de collecte backhauling. De plus cette stratégie contribue à un moment donné à accroître les interférences dans le réseau.

Les nouvelles générations de réseau et nouveaux concepts en plein essor actuellement (LTE-A et CRAN) sont les nouvelles tendances des futurs réseaux mobiles qui permettent l'évolutivité, la flexibilité et la simplicité, favorisent un accroissement considérable des débits et une amélioration de l'expérience des utilisateurs. Il serait donc intéressant lors de la densification ou de l'expansion d'un réseau de maîtriser la structure et les caractéristiques et mieux, d'étudier l'impact de l'adoption des nouveaux concepts pour la réalisation.

Notre travail sur la solution du backhauling mobile pour le réseau de CAMTEL et étude de la compatibilité pour une migration vers le C-RAN s'inscrit dans ce contexte et ambitionne fournir à la CAMTEL une connaissance des besoins en termes d'infrastructure et solution de déploiement nécessaires pour ses prochains réseaux. Travail que nous aborderons en 02 phases :

Dans la première, nous procéderons par une analyse des solutions techniques et outils utilisés dans le réseau de la CAMTEL par l'équipementier HUAWEI ('équipements, protocoles et d'architecture).

Dans la seconde, nous allons faire évoluer l'accès radio LTE vers la LTE-A grâce au concept d'agrégation de porteuse et ensuite vers le C-RAN, par un dimensionnement en capacité et une modélisation, nous allons mettre sur pied une application. Grace aux résultats fournis par l'application nous allons étudier l'incidence de cette évolution sur le réseau actuel.

La synthèse de ce travail est structurée en trois (03) chapitres. Au premier intitulé contexte général, nous ferons tout d'abord une présentation de l'entreprise d'accueil du stage, ensuite nous présenterons le contexte du projet, le problème, les objectifs attendus et enfin nous allons faire une étude du réseau existant. Au deuxième chapitre intitulé méthodologie, nous ferons d'abord une présentation succincte sur la LTE, ensuite une évolution de l'accès LTE vers la LTE-A basé sur le concept d'agrégation de porteuse et puis vers le C-RAN et l'étude du dimensionnement en capacité enfin une modélisation UML pour ce dimensionnement. Au troisième chapitre nommé résultats et commentaires, nous présenterons les résultats de la mise en œuvre de la modélisation UML faite au chapitre 2 commentaires puis une proposition des nouvelles architectures et une étude de la compatibilité avec le réseau existant.

CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord présenter le cadre de notre travail, la Cameroon Telecommunications (CAMTEL). Ensuite le contexte d'étude et enfin nous ferons une étude sur le réseau existant de la CAMTEL.

1. Présentation du cadre de travail

1.1. Historique de la CAMTEL

La Cameroun Télécommunications est créée par le décret présidentiel N098/198 du 08 Septembre 1998; résultat de la fusion de l'ancienne société des Télécommunications Internationales du Cameroun (INTELCAM) en charge des communications téléphoniques internationales et de l'ancienne Direction des Télécommunications (DT) du Ministère des Postes et Télécommunications. Son capital social est de cinquante milliards (50 000 0000 000) CFA avec pour siège Yaoundé. CAMTEL est l'un des quatre (04) opérateurs majeurs de télécommunications au Cameroun et possède environ 4% de marché en nombre ligne. Cependant l'entreprise est très fortement impliquée dans le développement et la modernisation des télécommunications au Cameroun à travers ses différentes missions.

1.1.1. Organisation de la CAMTEL

La CAMTEL est statutairement administrée par deux organes : le Conseil d'Administration et la Direction Générale. La gestion quotidienne et l'application de la politique générale de la société sont assurées par un Directeur Général assisté de deux Directeurs Généraux Adjoints, sous l'autorité et le contrôle du Conseil d'Administration à qui il rend compte. La Direction Générale est composée des services rattachés, des Directions de l'Administration Centrale et des Services Extérieurs :

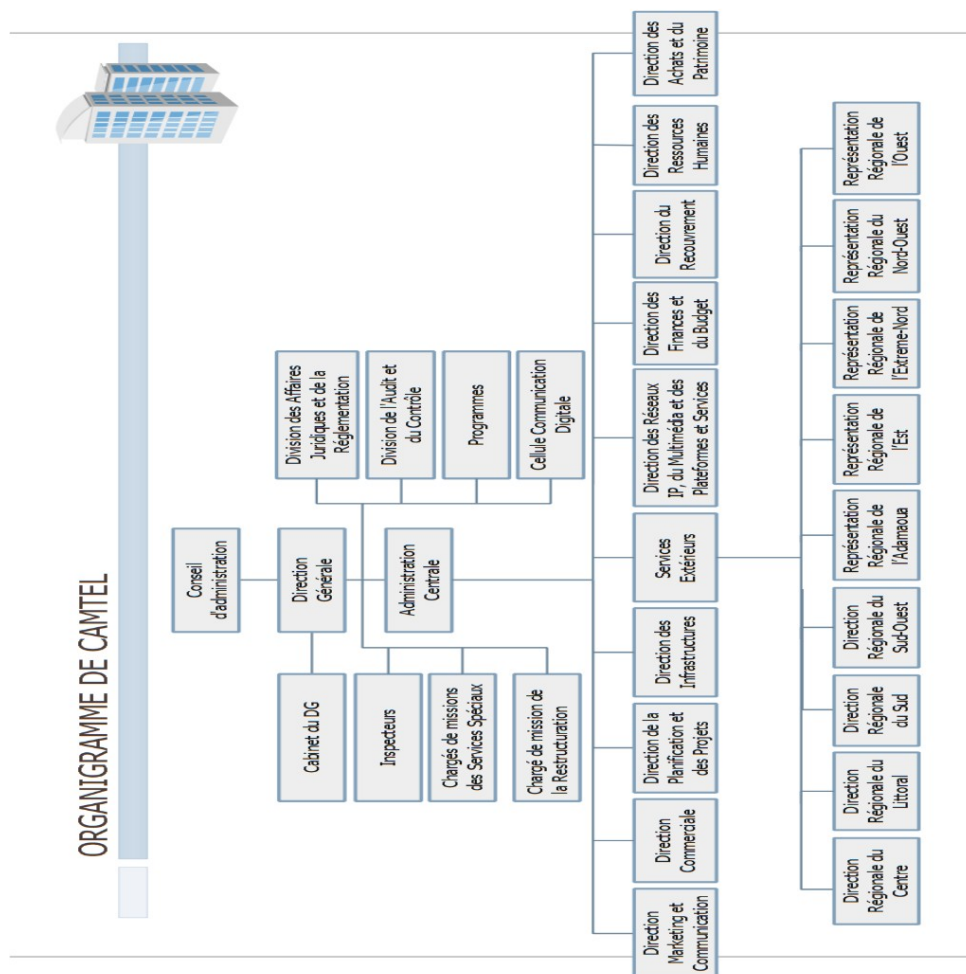


Figure 1: organigramme de la CAMTEL

1.1.2. Présentation du centre de déroulement du stage

CAMTEL dispose de plusieurs programmes et projets à l'instar de la **National Broadband Network(NBN)** : extension et modernisation du réseau Internet, implémentation des services à valeur ajoutée, la réalisation de la phase trois (03) du **projet Backbone national** en fibres optiques (en cours) mise en exploitation des câbles sous-marins à fibre optique **SAT3/WASC/SAFE/WACS**, la mise en œuvre du réseau mobile ou **Mobile Communication Network(MCN)**. C'est au sein de ce dernier que s'est déroulé notre stage et plus précisément dans **le Projet en charge des déploiements des infrastructures techniques, avec l'équipe en charge des stations de base et l'équipe en charge des transmissions**. L'organisation du Programme Mobile Communication Network est représentée à la figure 3 ci-dessous:

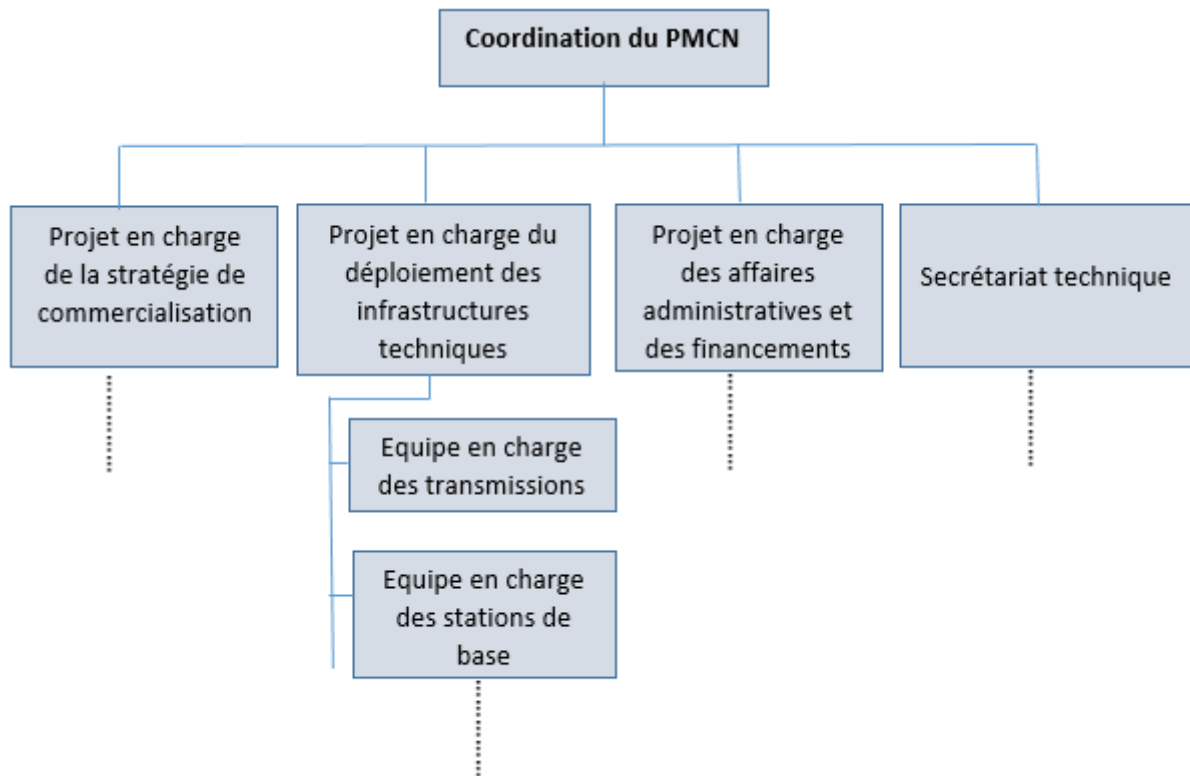


Figure 2: Organigramme simplifié du PMCN.

1.1.3. Missions du Programme MCN

Placé sous l'autorité d'un coordonnateur et rattaché à la direction des infrastructures (DI), le PMCN a pour missions :

- ✚ La définition de la politique et les stratégies de déploiement des infrastructures techniques ;
- ✚ La conduite de mise en œuvre du réseau ;
- ✚ L'établissement de l'état des lieux des infrastructures existantes ;
- ✚ La proposition de l'architecture cible du réseau ;
- ✚ La définition de la politique de gestion énergétique et environnementale ;
- ✚ L'élaboration de la stratégie de la couverture nationale du réseau ;
- ✚ L'expression des besoins en capacité et bande passante ;
- ✚ Du suivi des déploiements techniques ;
- ✚ L'élaboration des procédures d'exploitation et de maintenance du réseau ;
- ✚ L'optimisation du réseau ;
- ✚ Suivre et analyser les KPI du réseau déployé ;
- ✚ L'application des normes et de la qualité du service ;

- ✚ L'élaboration des tableaux de bord ;
- ✚ La réception des travaux.

1.2. Contexte du projet

Aujourd'hui, avec la demande de plus en plus croissante des services à large bande qui requièrent plus de bande passante que ceux des générations précédentes, les utilisateurs, qu'ils soient particuliers ou professionnels, mettent à rude épreuve le transport des flux de données entre les équipements. Ces utilisateurs s'alignant de plus en plus derrière les derniers lancements technologiques réclament des services fiables, de qualité et à des prix convenables. Face à ces multiples exigences et aussi face à une forte concurrence sur le marché, où la fidélité de ces clients est devenue très instable, les opérateurs recherchent en continu de nouvelles solutions pour garantir une meilleure QoS.

CAMTEL fournisseur d'accès et Opérateur historique au Cameroun est engagé dans une vaste politique d'amélioration de son réseau afin d'être à jour et satisfaire aux besoins de sa clientèle. C'est ainsi qu'elle envisage dans les années à venir, de densifier son réseau, accroître ses capacités en matière de transport d'information, s'arrimer aux exigences et à l'évolution vers les nouvelles générations des réseaux et les nouveaux concepts (LTE-A et C-RAN) qui promettent une optimisation à coût faible et une assurance d'une meilleure qualité de service (QoS).

1.2.1. Problème

La densification d'un réseau intègre plus de vitesse et de capacité, cette haute capacité offerte par le nouveau réseau se répercute vivement sur la structure et les caractéristiques du réseau de collecte (Backhauling) ou Mobile Backhaul Network – MBN. Aussi, la stratégie de densification ou d'expansion d'un réseau qui consiste à augmenter de manière continue des stations de bases s'avère de plus en plus limitant pour l'expérience utilisateur, car celle-ci apporte beaucoup d'interférence dans le réseau.

Il devient donc intéressant avant de se lancer dans une phase d'expansion d'un réseau, d'avoir une connaissance en terme physique (capacité, équipement) et logique du réseau d'accueil, d'employer les nouveaux concepts qui offrent plus de flexibilité, d'évolutivité et de simplicité.

1.2.2. Objectifs

Evaluer l'incidence de l'évolution de l'accès LTE vers la LTE-A et vers le C-RAN sur le réseau backhaul actuel de la CAMTEL en termes de capacité d'équipement et de topologie.

1.2.3. Intérêts de ce travail.

Ce travail s'inscrit dans un contexte de croissance exponentielle des services à larges bandes et est ainsi pour l'opérateur CAMTEL une clé de mise en œuvre de son prochain réseau en toute connaissance des besoins en termes d'infrastructure et solution de déploiement.

1.3. Le backhauling mobile

Le backhaul joue un rôle essentiel dans les réseaux mobiles en agissant comme le lien entre les équipements du réseau d'accès radio et le réseau de base mobile. Le MBN est une partie du réseau de transport des données qui a pour rôle de desservir les stations de base

1.3.1. Définition des concepts

Le Backhaul Network ou Réseau de collecte en français est une partie du réseau chargée de la distribution, la collecte et le transport des données utilisateurs vers le réseau cœur et ou le réseau dorsal (Backbone) [1].

Le Mobile Backhaul Network - MBN ou Réseau de collecte de donnée mobile est alors un backhaul network rattaché à un réseau d'accès mobile et son réseau cœur [2]. Il comprend principalement deux parties : l'accès et l'agrégation. Ils sont séparés par des nœuds de démarcation comme montrés à la figure 1 suivante.

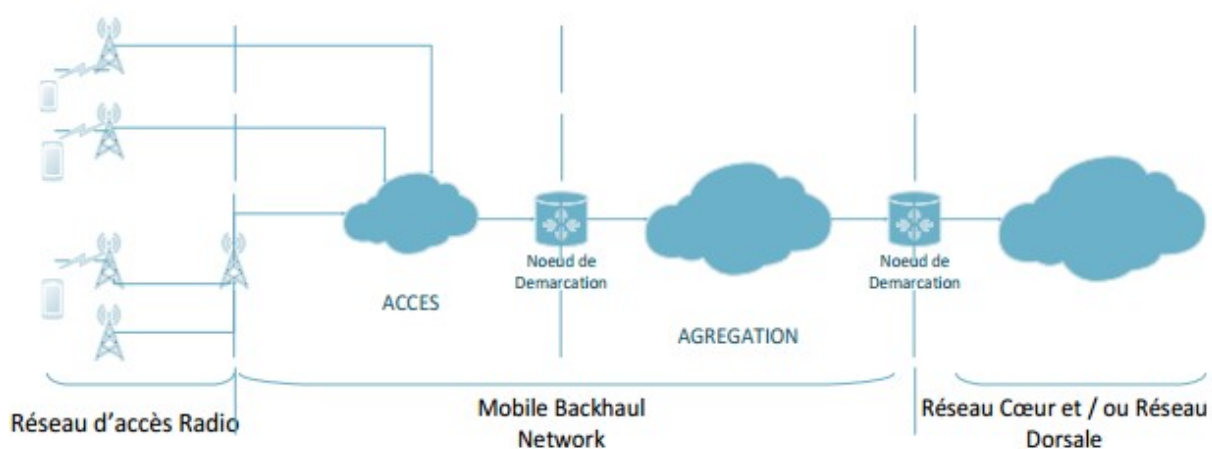


Figure 3: Structure d'un réseau de communication mobile [3].

Ce réseau est une partie intégrante du réseau de transport d'un réseau mobile. Il est l'intermédiaire entre le réseau d'accès radio et le réseau dorsal ou le réseau cœur.

1.3.2. Partie accès

La partie accès souvent appelée « last mile » est la première partie du réseau de collecte qui se définit comme la partie de distribution des données. Toutes les stations de base doivent se raccorder à l'accès. Physiquement, l'accès est un réseau de station de base formant une topologie en arbre, en anneau, maillée selon la conception du réseau [2].

1.3.3. Partie agrégation

Exemple 1	Exemple 2	Descriptions
		Accès: arbre ou chaîne Agrégation : -
		Accès : arbre ou chaîne Agrégation : anneau ou maillée
		Accès : anneau Agrégation : anneau ou maillée
		Accès : maillée Agrégation : anneau ou maillée

Tableau 1: Topologie du backhaul network [3].

La partie agrégation est la convergence de toutes les liaisons de l'accès. Physiquement elle est représentée par un réseau de commutateurs ou de routeurs formant une topologie en étoile, en anneau ou maillée. Aucune station de base n'est plus collée ou attachée directement à cette partie du MBN (voir Tableau 1) [3]. Dans certains cas, le MBN confond ou n'admet pas d'agrégation. Cela se produit si les stations de base sont proches du réseau cœur et peuvent se connecter directement à celui-ci.

1.3.4. Nœuds de démarcation

Les nœuds de démarcation sont des nœuds du réseau de transport délimitant la partie accès, la partie agrégation et la partie réseau dorsale. Ces points du réseau sont très souvent doublés puisqu'ils représentent des points de disfonctionnement (Single Point of Failure en anglais) qui peuvent causer l'indisponibilité totale d'une partie du réseau [2].

1.4. Etude du réseau existant de la CAMTEL

HUAWEI a fourni une proposition couvrant les besoins de Backhauling de la CAMTEL pour ses réseaux mobiles. Cette solution est constituée d'un réseau de dernière génération basé sur la gamme de routeurs NE40-X ainsi que le système de supervision U2000 avec possibilité d'utilisation des ATN comme élément d'accès. La migration vers la transmission via IP, présente une architecture réseau de bout en bout qui prévoit l'intelligence, la flexibilité, la simplicité et la rentabilité des coûts requis pour supporter l'augmentation massive du nombre d'abonnés mobiles. Nous présentons sur la figure suivante quelques équipements fournis par HUAWEI dans sa solution pour le réseau de CAMTEL.

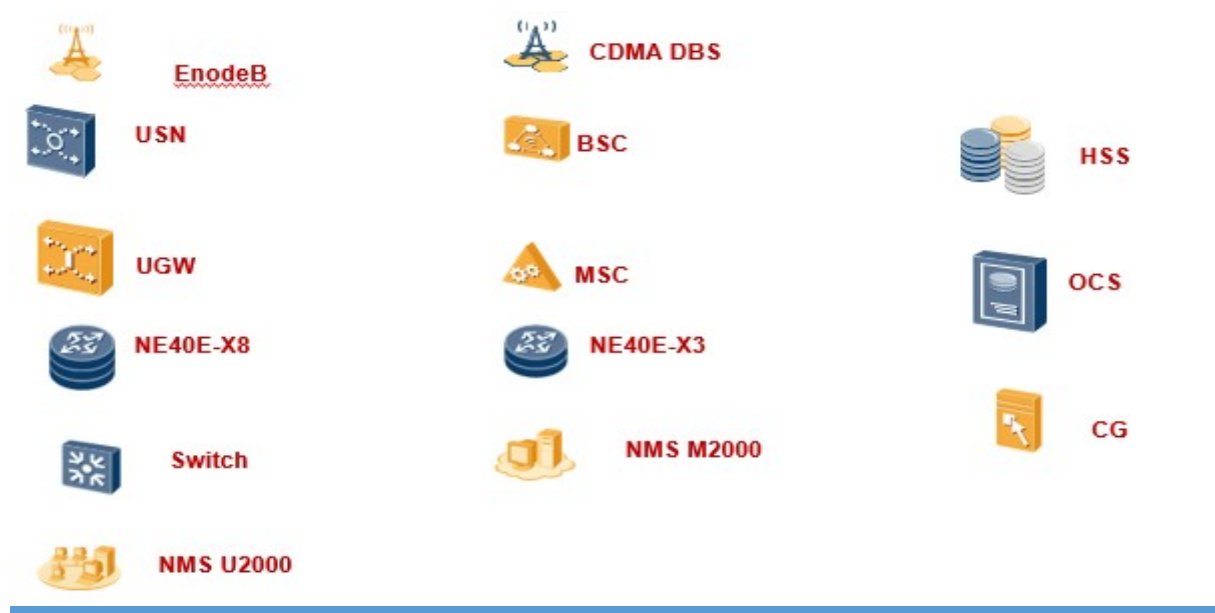


Figure 4: Quelques équipements fournis par HUAWEI pour le réseau [4]

On peut distinguer ici les équipements pour le réseau LTE, le CDMA et la 2G.

1.4.1. Schéma de connectivité générale de la CAMTEL

La spécification de la solution conçue et déployée par HUAWEI concerne l'introduction des nouveaux équipements formant le réseau Metro IP et interurbain de la Camtel comme montré à la Figure 5 suivante :

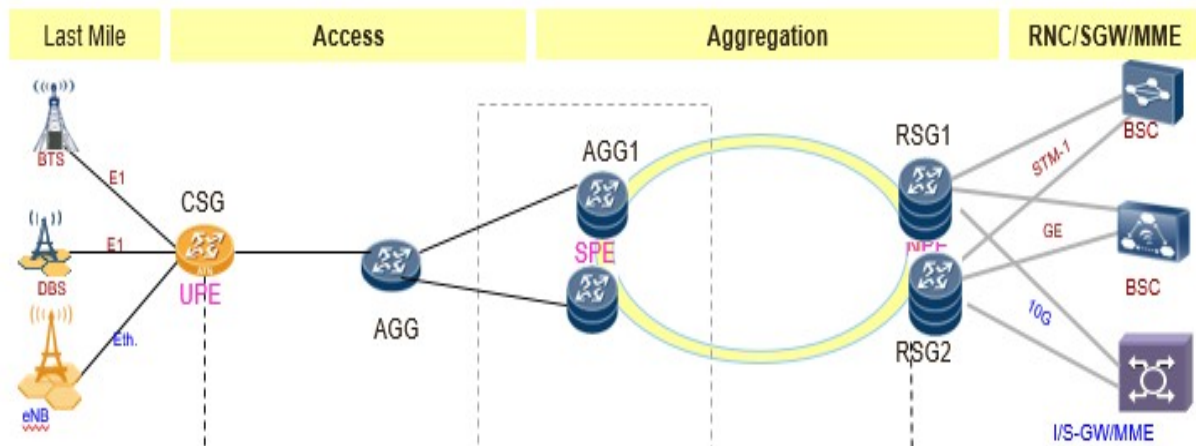


Figure 5: Schéma de connectivité de CAMTEL [4]

Le réseau d'agrégation Metro IP est composé des éléments suivants :

- ✚ Le Last Mile qui est un ensemble d'équipements localisés dans les eNodeB, Node B et les BTS, permettant la convergence vers l'accès (CSG)
- ✚ L'accès est constitué des équipements de pré-agrégation : permettant l'agrégation des sites (station de base) avec les équipements d'agréations.
- ✚ L'agrégation qui permet de centraliser les connexions provenant de différentes zones et constituant une boucle métré de 10GE.
- ✚ les équipements cœur : sont des équipements d'agréations de haute capacité permettant la connexion du Metro IP avec les RNC, BSC et MME.

1.4.2. Solution physique déployée par HUAWEI

La solution de connexion générale LTE à l'IP-RAN est présentée à la figure 6 suivante :

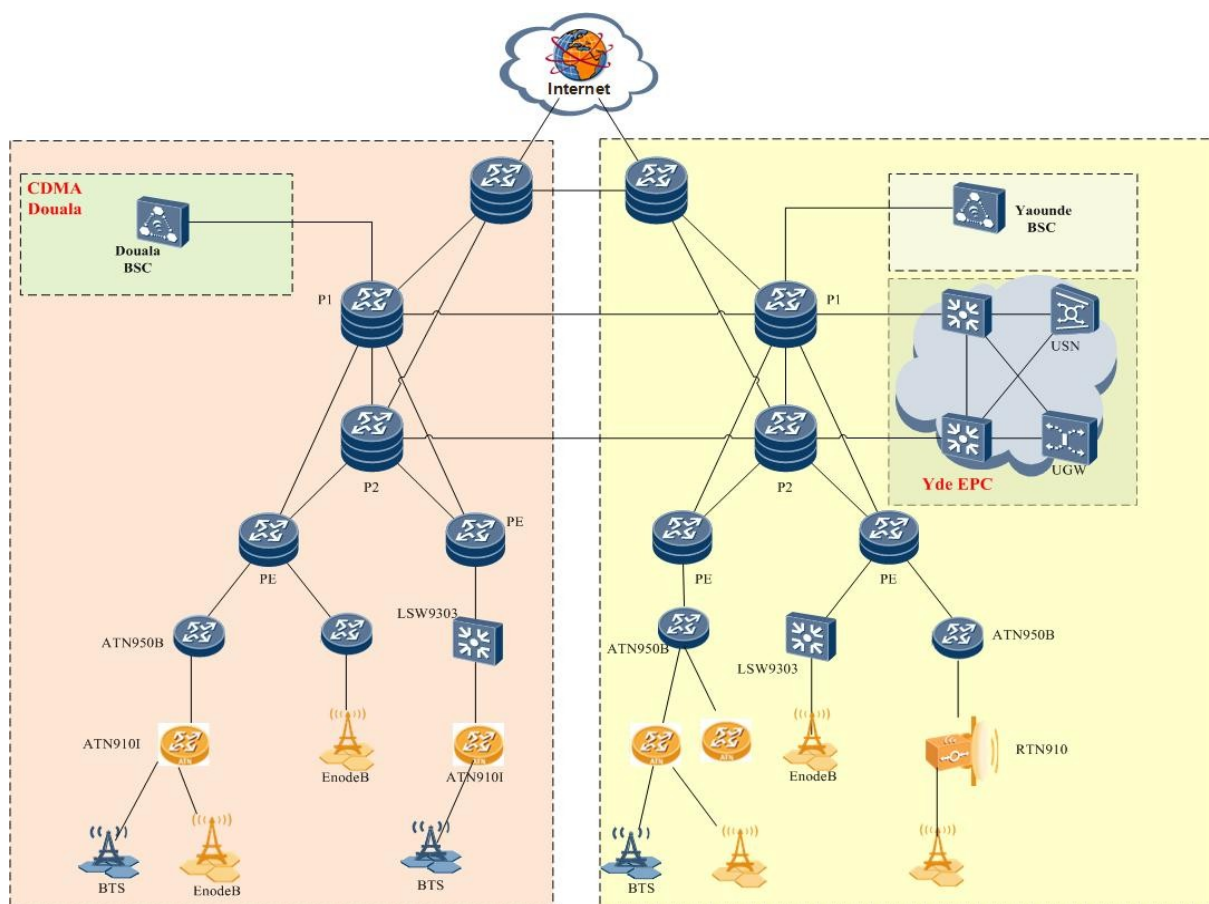


Figure 6: Connexion LTE à l'IP-RAN

De cette figure nous observons que la solution de HUAWEI pour le réseau LTE se base sur une architecture qui s'appuie sur les équipements d'accès ATN englobant l'ATN910I et L'ATN950B. La gamme des routeurs NE40 englobant d'autres sous-équipements tels que NE40-X3(PE) et NE40-X8(P) assurant de multiples fonctions.

Pour la suite nous nous intéresserons uniquement aux équipements liés à la solution LTE de la CAMTEL proposée par HUAWEI. L'architecture simplifiée du réseau LTE extrait de la figure 6 ci-dessus est la suivante :

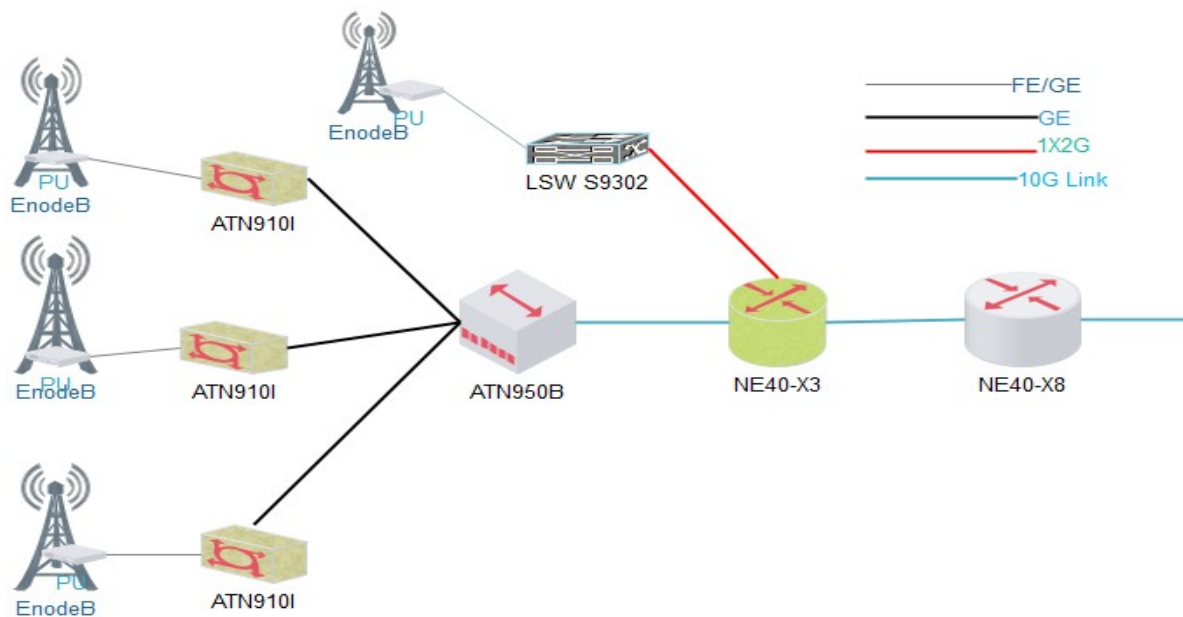


Figure 7: Architecture simplifiée du réseau LTE

Sur cette figure nous avons d'abord une liaison Fast Ethernet (100Mbps) entre l'eNodeB et l'ATN 910I qui est l'un des routeurs d'accès, les deux (02) formant le LAST MILE (voir 1.4.1.). Ensuite nous avons un lien Giga Ethernet (1Gbps) entre l'ATN910I et l'ATN950B les deux constituant le réseau d'accès IP-RAN (Internet Protocol-Radio Access Network). Un ATN950B peut agréger 24 eNodeBs au maximum et est considéré comme un routeur de pré-agrégation. Nous avons enfin un lien a 10G permettant une liaison entre le l'ATN950B et le NE40-X3 qui sont des routeurs d'agrégation et le 10G-ring boucle former entre les NE40-X3 et NE40-X8 voir (figure5).

Le Lan Switch (LSW S9303) qui permet de connecter les régions à faible densité vers les routeurs du core IP avec un lien de capacité 2x1G.

1.4.3. Description techniques des équipements

Ici notre choix a été dirigé vers les éléments d'accès ATN910I, ATN950B et les routeurs d'agrégation NE40-X3 et NE40-X8.

1.4.3.1. Equipements d'agrégation et de cœur : Routeurs NE40

La gamme NE40 constitue une plateforme polyvalente de routage développée par HUAWEI afin d'adopter une transmission et une commutation sans blocage. Cet équipement

qui permet d'accéder, de converger, et de transmettre des services Ethernet entre eNodeB et MME, est spécialisé en Mobile Backhaul. Il assure donc :

- ✚ La forte capacité de commutation en réseau d'accès.
- ✚ La transmission de service via EoMPLS (Ethernet over Multi-Protocol Label Switching).
- ✚ La possibilité d'extension du réseau.
- ✚ La fiabilité par l'introduction des mécanismes de QoS.
- ✚ Le support des services IP.
- ✚ L'accès au service à large bande, et au service du réseau virtuel privé (VPN).
- ✚ Le fonctionnement en mode redondant ce qui minimise tous types d'interruption de service.

La gamme NE40 garantit une meilleure capacité de traitement. Toutefois, les deux principaux routeurs qui sont utilisés sont : les NE40-X3 et les NE40-X8.

Les routeurs NE40-X3 :

Le NE40-X3 est un routeur de périphérie. Il a une capacité de commutation de 1.08Tbit/s, une performance de transmission de 540Mpps, nombre de slots 5 (pour 3 MPUs et 2 LPU), adressage IPv4 et IPv6, prise en charge du routage statique ainsi que des protocoles de routage dynamiques, tels que RIP, OSPFv2 et OSPFv3, IS-IS et BGP-4+ etc... Transfert de la fréquence de ligne sur toutes les interfaces dans des environnements de routage complexes. La figure ci-dessous est celle du châssis d'un NE40-X3.



Figure 8: châssis d'un NE40-X3 [5]

Les routeurs NE40-X8 :

Le NE40-X8 est un routeur du core IP il a une capacité de commutation de 7.08Tbit/s, une performance de transmission de 2880Mpps, nombre de slots 11 (pour 2 SRUs, 1SFU et

8LPU), adressage IPv4 et IPv6, prise en charge du routage statique ainsi que des protocoles de routage dynamiques, tels que RIP, OSPFv2 et OSPFv3, IS-IS et BGP-4+ etc... Transfert de la fréquence de ligne sur toutes les interfaces dans des environnements de routage complexes. La figure ci-dessous est celle du châssis d'un NE40-X8.



Figure 9: Châssis d'un NE40-X8[5]

1.4.3.2. Equipements d'accès : Routeurs ATN

L'ATN constitue une nouvelle génération de routeur d'accès introduite dans le réseau par HUAWEI. Il permet :

- ✚ L'adaptation avec la technologie de transport par paquets afin de répondre aux exigences croissantes de la bande passante ;
- ✚ L'adaptation de la technologie de transmission PWE3 (Pseudo Wire Emulation) pour la distribution des services ;
- ✚ L'accès des stations de base aux services en utilisant différents modes tels que le FE (Fast Ethernet) et le GE (Gigabit Ethernet) ;
- ✚ Le support de la technologie de transmission MPLS ;

La gamme ATN garantit une meilleure capacité de traitement. Toutefois, les deux principaux routeurs qui sont utilisés dans l'accès sont : les ATN910I et les ATN950B.

Les routeurs ATN910I:

L'ATN 910 prend en charge plusieurs types de cartes d'interfaces Ethernet pour répondre aux exigences relatives aux différentes quantités d'interfaces et aux types d'interface (optique/électrique). Les cartes d'interface de service Ethernet sont utilisées dans divers

environnements de réseau. Ils peuvent accepter des services de station de base côté utilisateur et transmettre a des services en amont du côté réseau. La carte d'interface de service Ethernet en charge de la couche 2, les services de couche 3 et la transmission hybride des services de couche 2 et de couche 3 [5,6]. L'ATN 910I intègre des cartes et des modules non échangeables.

La figure 10 ci-dessous présente le châssis d'un ATN910I.



Figure 10: châssis 910I

Les interfaces utilisées sont 4GE(O), 4GE/FE(O), 4GE/FE(E).

Interfaces/ports	Proposition de huawei
GE/FE optique	4
GE/FE électrique	4
GE optique	4
Capacité de transmission	12Gbps

Tableau 2: Caractéristiques du 910I

Les routeurs ATN950B:

L'ATN 950B est conçu pour les lignes 2G/3G/LTE VLL (Ligne Loué Virtuel) et les services intégrés, l'ATN 950B est un appareil complet doté de ports 10GE. Il a Plusieurs interfaces d'accès au service on peut distinguer le 10GE, GE, FE et Smart E1 [5,6]. Fournies, de sorte que l'ATN 950B puisse totalement répondre aux exigences des services et des scénarios, stimulant l'unification de plusieurs réseaux. La figure 11 suivante présente le châssis d'un ATN950B.



Figure 11: Châssis d'un ATN950B [4]

Le tableau ci-dessous nous donne quelques caractéristiques du 950B.

Interfaces/ports	ATN 950B
GE/FE optique	4
GE/FE électrique	24
GE optique	4
Smart E1	
Capacité de transmission	56Gbps

Tableau 3: Caractéristiques du 950B.

1.4.4. Solution logique

Après avoir défini l'ensemble des routeurs utilisés dans le réseau, on enchaîne avec la détermination des protocoles de routage utilisés et qui permettent le transport des différents flux requis. Ce qui nous ramènera à traiter :

- Les protocoles de routage intérieur IGP
- Les protocoles de routage extérieur BGP
- Les protocoles de signalisation du réseau MPLS

1.4.4.1. Protocoles de routage IGP

Afin de réaliser la communication à l'intérieur du système réseau, il a été configuré un protocole IGP.

Les protocoles IGP utilisés pour les grands systèmes autonomes sont :

- OSPF
- IS-IS

1.4.4.1.1. Protocole OSPF

OSPF est un IGP utilisé dans les grands systèmes autonomes (AS). Il fait partie des protocoles à état de lien. Les routeurs OSPF échangent l'état, les coûts, et d'autres informations

pertinentes avec les voisins. L'échange d'informations permet à tous les routeurs d'établir une carte de topologie du réseau. Chaque routeur applique l'algorithme (SPF) pour calculer le plus court chemin vers chaque destination dans le réseau. La table de transfert OSPF résultante est soumise à la RTM pour calculer la table de routage.

Caractéristiques de l'OSPF :

Une caractéristique principale d'OSPF est de supporter des inter-réseaux très larges grâce au regroupement des routeurs dans des entités logiques appelées «Area» ou zone. La communication inter-area laisse passer uniquement les informations minimales nécessaires pour que les zones restent connectées. Il en résulte que tous les efforts de calcul de routes ne s'opèrent qu'au sein d'une même zone. Les routeurs d'une zone ne sont pas affectés par les changements intervenus dans une autre zone.

Un routeur OSPF peut prendre en charge trois types d'opérations : opération dans une zone, connexion interzone et connexion entre systèmes autonomes (AS) ainsi on distingue quatre types de routeurs OSPF :

- **Internal Router (IR)** Un IR remplit uniquement des fonctions au sein d'une zone. Sa fonction primordiale est d'entretenir à jour sa base de donnée « link-state database ». Il renvoie toute information aux autres routeurs de sa zone, le routage ou l'inondation des autres zones requiert l'intervention d'un Area Border Router (ABR).
- **Backbone Router (BR)** Une des règles de design OSPF est que chaque zone dans l'inter -réseau doit être connectée à une seule zone, la zone 0 ou la backbone area. La plupart des BR ont une interface connectée à la backbone area et une ou plusieurs interfaces d'autres areas.
- **Area Border Router (ABR)** Un ABR connecte deux ou plusieurs zones. Il possède autant de link-state data bases qu'il y a d'interfaces connectées à des zones différentes. Chacune de ces bases de données contient la topologie entière de la zone connectée. Ces informations peuvent être transmises à la zone de backbone pour la distribution.
- **Autonomous System Boundary Router (ASBR)** puisque l'OSPF est un IGP (Interior Gateway Protocol), ce dernier doit être connecté au reste de l'inter réseau par d'autres AS. Ce type de routeur fait en quelque sorte une passerelle vers un ou plusieurs AS.

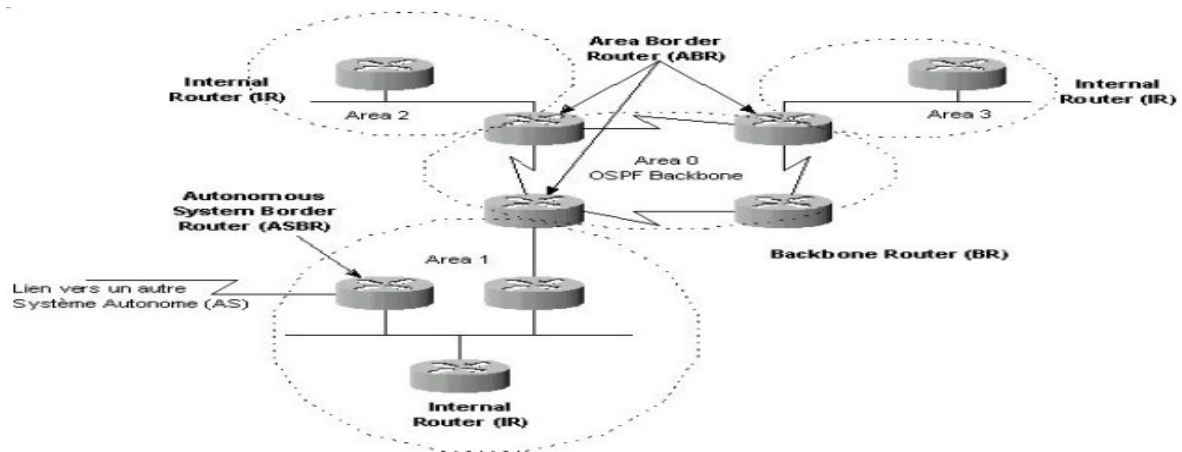


Figure 12: différentes zones OSPF [7]

1.4.4.1.2. Le protocole Is-Is

Le protocole de routage *IS-IS* (Intermediate System to Intermediate System) est un IGP qui fonctionne au sein d'un Système Autonome (AS). Il est de type à état de liens :

- Les systèmes intermédiaires (routeurs) ont une connaissance exacte et complète de la topologie du réseau.
- Chaque système intermédiaire (**IS**) connaît l'existence de ses voisins adjacents.
- Les émissions des mises à jour sont déclenchées par des modifications topologiques.
- L'algorithme utilisé est « **Shortest Path First** » de Dijkstra.

IS-IS intégré est un protocole *classless*. Il est optimisé pour supporter le CIDR (agrégation de routes) et le VLSM (masque variable de sous réseau).

Caractéristiques d'IS-IS :

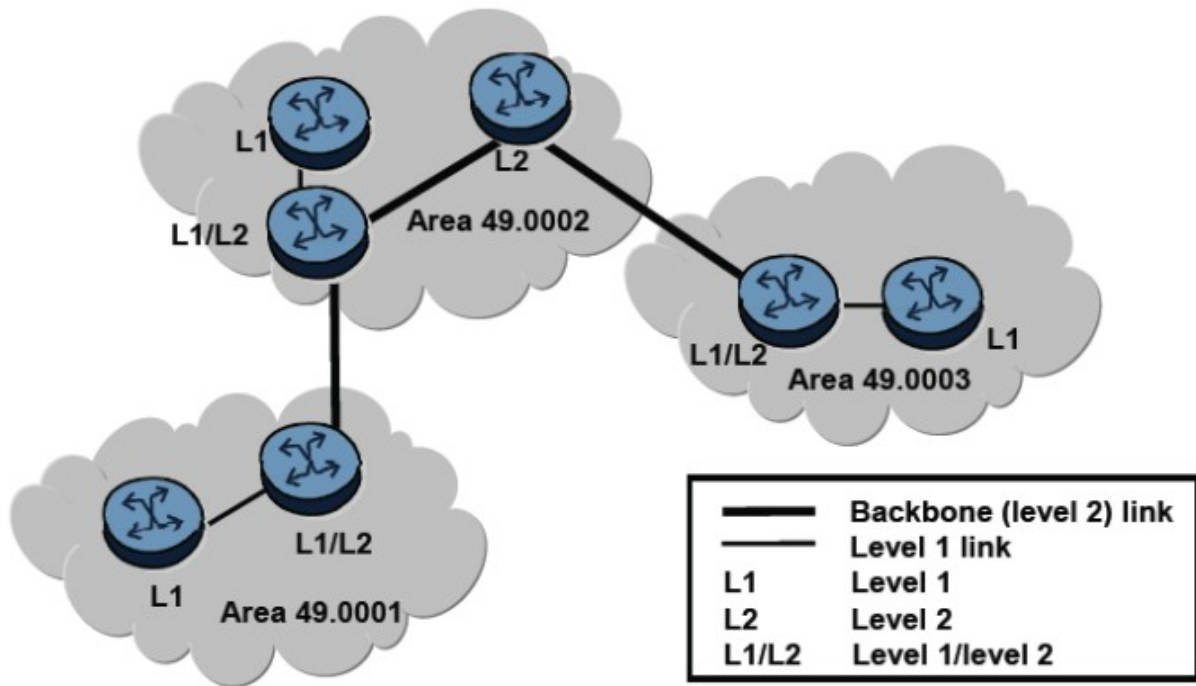


Figure 13: architecture générale en IS-IS [7]

IS-IS est construit pour supporter des réseaux de grandes envergures, capables d'évoluer en taille et en complexité. De ce fait, le système autonome est organisé hiérarchiquement en zones. Cela permet aux routeurs d'avoir une table de routage de taille réduite, ainsi qu'une convergence plus rapide. La majorité d'équipements à l'intérieur d'une zone est isolée de l'extérieur. En effet, on pourrait considérer une zone comme un mini système autonome. Un routeur IS-IS peut être identifié dans l'un des trois niveaux (level) suivants :

- Level 1 pour le routage intra-zone.
- Level 2 pour le routage inter-zone.
- Level 1 /2 correspond aux routeurs capables d'opérer sur level 1 et 2.

Le choix de huawei s'est porté sur l'implémentation du protocole IS-IS dans le réseau de camtel. D'après une étude comparative entre les deux protocoles d'écrit dans [7],

L'IS-IS se montre plus adapté à ce réseau du fait : qu'il supporte l'Ipv6, répond à toutes les spécificités de la qualité de service (QoS) avec une très haute disponibilité.

L'implémentation du protocole IS-IS dans le réseau de Camtel se matérialise sur la figure suivante où on observe une répartition en différentes zones (process):

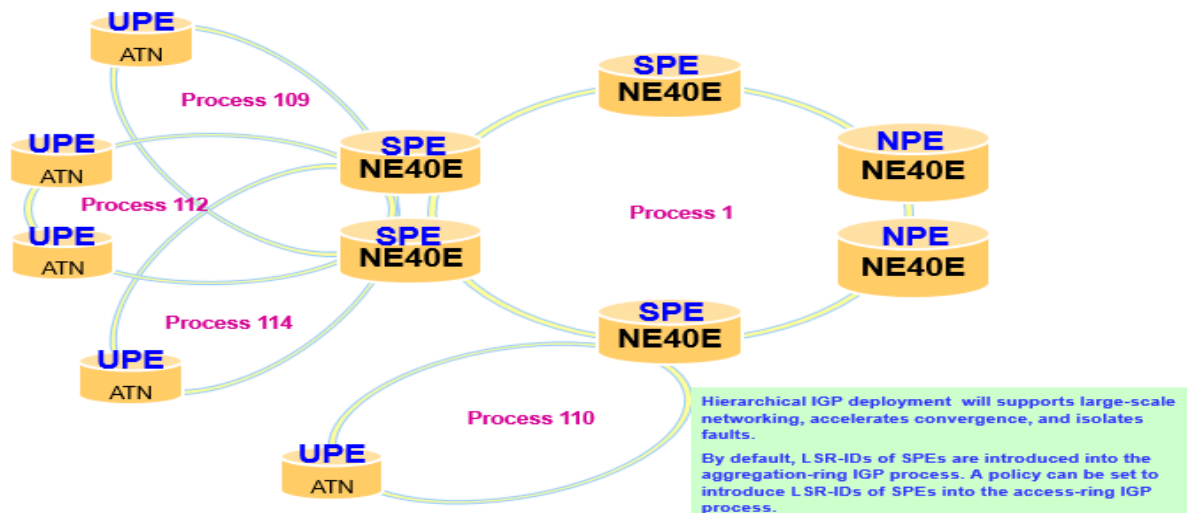


Figure 14: Déploiement IS-IS dans le réseau de Camtel

1.4.4.2. Protocoles de routage BGP

Le protocole BGP v4 permet l'échange d'informations de routages entre des systèmes autonomes différents. BGP est le protocole choisi par l'« Internet Service Provider » ISP puisqu'il se caractérise par une évolutivité et il prend en charge l'ensemble des exigences actuels des grands réseaux comme les multi-protocoles, et les numéros étendus des AS de plus c'est un protocole bien positionné pour le futur puisqu'il supporte les adresses IPV6.

Le protocole BGP est utilisé entre différents systèmes autonomes en tant que eBGP et au sein du même système autonome en tant que iBGP.

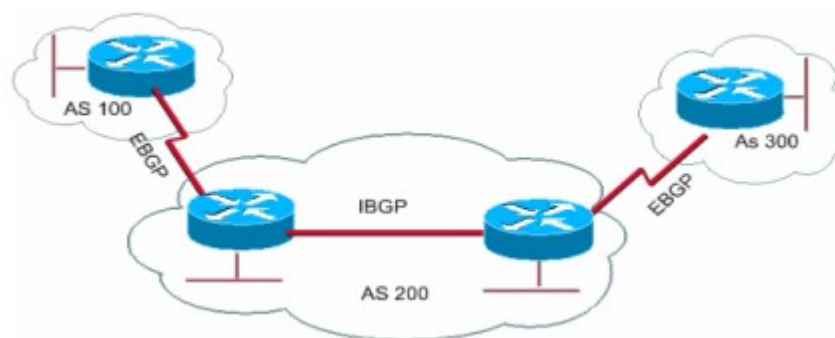


Figure 15: Architecture générale du BGP

Les données doivent être publiées vers différents routeurs au sein d'un même système autonome à l'aide de l'IGP. Pour éviter un très grand nombre de mises à jour imposé par le « full mesh » ont été déployé des Réflecteurs de Route (RR).

1.4.4.2.1. Route reflectors RR

« Route Reflectors RR » est une technique permettant un bon déploiement du BGP au sein des systèmes autonomes. Elle permet de diminuer le nombre de mises à jours envoyés en créant un routeur de concentration appelé « Route Reflector Server » avec lequel se connectent les autres « Route Reflector client » afin d'échanger les informations de routage. Les RR clients et serveurs forment un cluster. Dans la plupart des cas un cluster comprend plus d'un « Route Reflector Server » afin d'améliorer la fiabilité et offrir une redondance utile en cas de panne.

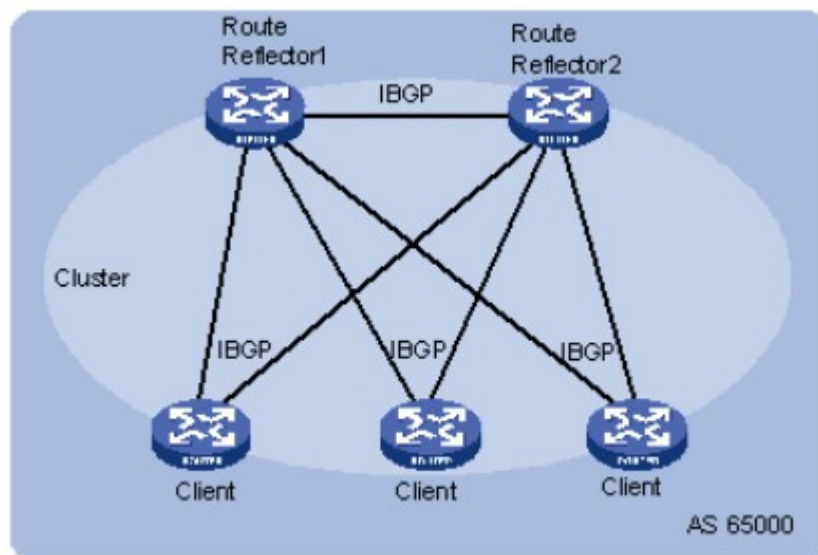


Figure 16: Systèmes autonomes avec deux Route Reflectors

Les RR sont implémentés dans le réseau de Camtel au niveau des NE40-X8.

1.4.4.3. Le réseau MPLS

L'architecture du Backhaul doit être hébergée sous un réseau MPLS afin de profiter de ses fonctionnalités en ingénierie de trafics.

MPLS (Multi-Protocol Label Switching), est une technique réseau dont le rôle principal est de combiner les concepts du routage IP de niveau 3, et les mécanismes de la commutation de niveau 2 tels qu'ils sont implémentés dans ATM ou Frame Relay. MPLS traite la

commutation en mode connecté (basé sur les labels), puisque les tables de commutation sont calculées à partir d'informations provenant des protocoles de routage IP ainsi que de protocoles de contrôle. MPLS peut être considéré comme une interface apportant à IP le mode connecté et qui utilise les services de niveau 2 (PPP, ATM, Ethernet, ATM, Frame Relay, SDH ...).

1.4.4.3.1. Principe de fonctionnement du MPLS

Le principe de base de MPLS est la commutation de labels. Ces labels, simples nombres entiers, sont insérés entre les en-têtes de niveaux 2 et 3, les routeurs permutant alors ces labels tout au long du réseau jusqu'à destination, sans avoir besoin de consulter l'entête IP et leur table de routage.

Cette technique de commutation par labels est appelée Label Swapping. MPLS permet de définir des piles de labels (label stack), dont l'intérêt apparaîtra avec les VPN. Les routeurs réalisant les opérations de label swapping sont appelés LSR pour Label Switch Routers.

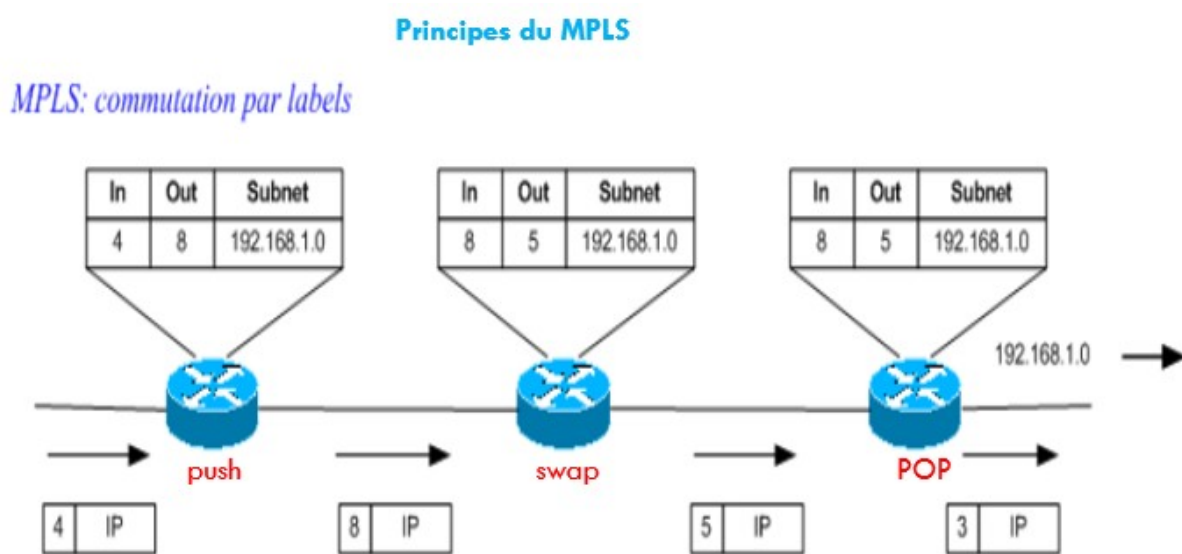


Figure 17: Principe de fonctionnement du réseau MPLS

A l'entrée du réseau MPLS, les paquets IP sont classés dans des FEC (Forwarding Equivalent Classes). Typiquement, les FEC sont des préfixes IP appris par l'IGP tournant sur le Backbone MPLS, mais peuvent aussi être définis par des informations de QOS (Quality Of Services). La classification des paquets s'effectue à l'entrée du Backbone MPLS, par les Ingress LSR qui imposent les labels (Push). A l'intérieur du Backbone MPLS, les paquets

sont label-switchers (Swap), et aucune reclassification des paquets n'aura lieu. Tandis qu'à la sortie, les routeurs Egress LSR retirent ces labels ajoutés (POP).

On peut distinguer plusieurs protocoles de distribution de label à savoir les LSPs statique et LSPs dynamique ceux implémentés dans ce réseau sont dynamiques à savoir LDP (Label Distribution Protocol), etc...

Sont implémenté aussi dans le backhauling mobile de CAMTEL le VPN avec ses différents services :

- o VPWS Virtual Private Wire Service
- o VPLS Virtual Private LAN Service
- o VPRN Virtual Private Routed Network

On a aussi les solutions de synchronisation et de retransmission Faster Reroute FRR.

Conclusion

Il était question dans ce chapitre de présenter le contexte général du projet pour cela nous sommes passé d'abord par la présentation de l'entreprise d'accueil du stage, ensuite la définition des concepts, enfin par l'étude de l'existant du réseau de la Camtel en terme d'architecture, d'équipements et des solutions logiques implémentées. L'objectif de ce chapitre était donc de nous permettre de comprendre ce qui est utilisé dans le réseau de la Camtel. Pour la suite nous allons faire une étude sur les nouveaux concepts des réseaux mobiles l'objectif à la fin étant d'évaluer leur incidence sur ce réseau.

CHAPITRE 2 : EVOLUTION DU RAN LTE VERS LA LTE-A, C-RAN ET METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT EN CAPACITE

Dans ce chapitre, nous procédons tout d'abord par une présentation des généralités sur la LTE pour étudier le concept d'agrégation de porteuse, ensuite nous faisons un état de l'art sur le C-RAN et étudions respectivement les différentes méthodes pour le dimensionnement en capacité. Enfin nous faisons une modélisation UML.

2.1. Généralités sur la LTE

LTE pour Long Term Evolution of 3G est un projet mené par l'organisme 3GPP (3Generation Partnership Project) visant à rédiger les normes techniques de la future quatrième génération (4 G) en téléphonie mobile [8]. Elle permet le transfert des données à très haut débit, un grand nombre d'appels par cellule et une latence plus faible. La LTE introduit une architecture simplifiée (dite plate) en minimisant le nombre d'éléments du réseau par rapport aux versions précédentes. Théoriquement, et grâce son architecture tout-IP, la LTE permet d'atteindre des débits de l'ordre de 50Mbps dans le sens ascendant et 100Mbps dans le sens descendant. Pour les opérateurs, la LTE implique de modifier le cœur du réseau ainsi que les émetteurs radios. A l'instar des réseaux 2G et 3G, l'architecture de la LTE est définie d'un point de vue physique et d'un point de vue fonctionnel. Du point de vue physique, elle est composée des trois domaines [9] ci-dessous cités et présentés à la figure 18.

- ✚ L'UE
- ✚ Le réseau d'accès, appelé eUTRAN
- ✚ Le réseau cœur appelé EPC

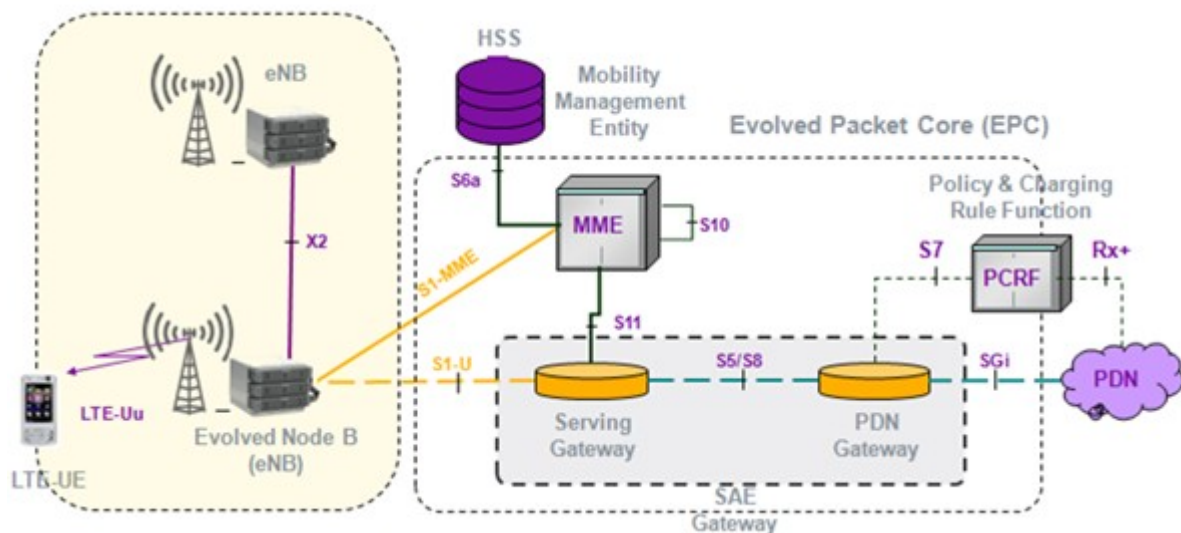


Figure 18: Architecture générale LTE

Les spécifications 3GPP TS 36.300 et TS23.401 précisent plus en détails l'architecture générale LTE. L'accès est constitué d'un seul nœud (eNodeB) alors le cœur est constitué de plusieurs nœuds. Les différents nœuds sont interconnectés grâce aux interfaces spécifiques normalisées par la 3GPP.

L'architecture fonctionnelle LTE est présentée à la figure 19. Les principes de l'architecture fonctionnelle du réseau 3G y sont repris avec la définition d'une Access Stratum (AS) et d'une Non Access Stratum (NAS). L'Access Stratum regroupe les protocoles radio et les protocoles S1 tandis que la Non Access Stratum regroupe les protocoles NAS. La figure 20 présente les principales fonctions nécessaires au sein du system LTE/EPC.

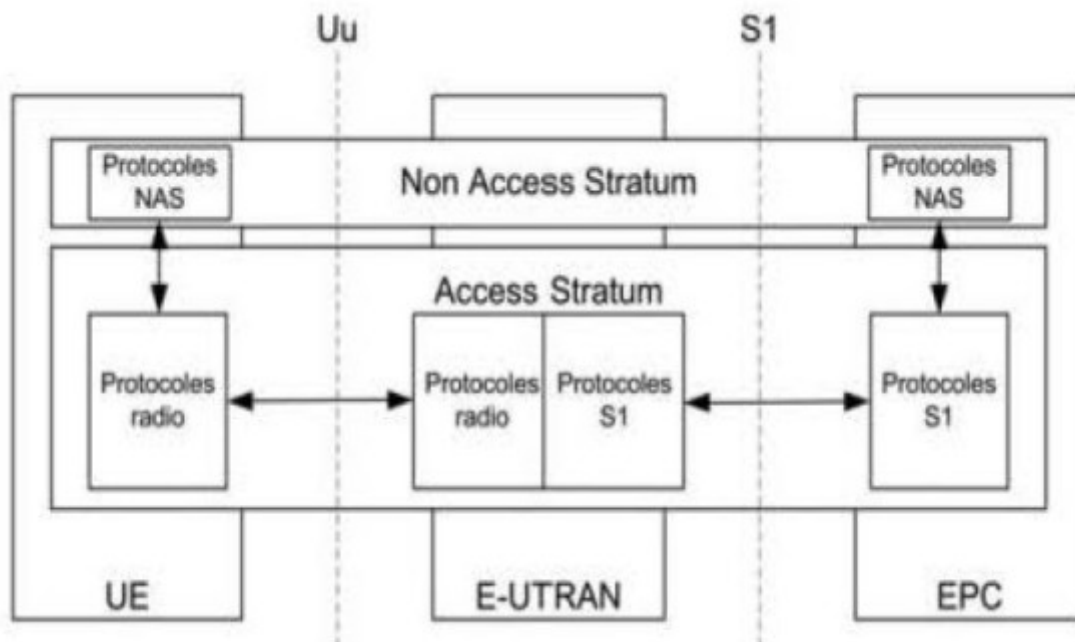


Figure 19: Architecture fonctionnelle LTE

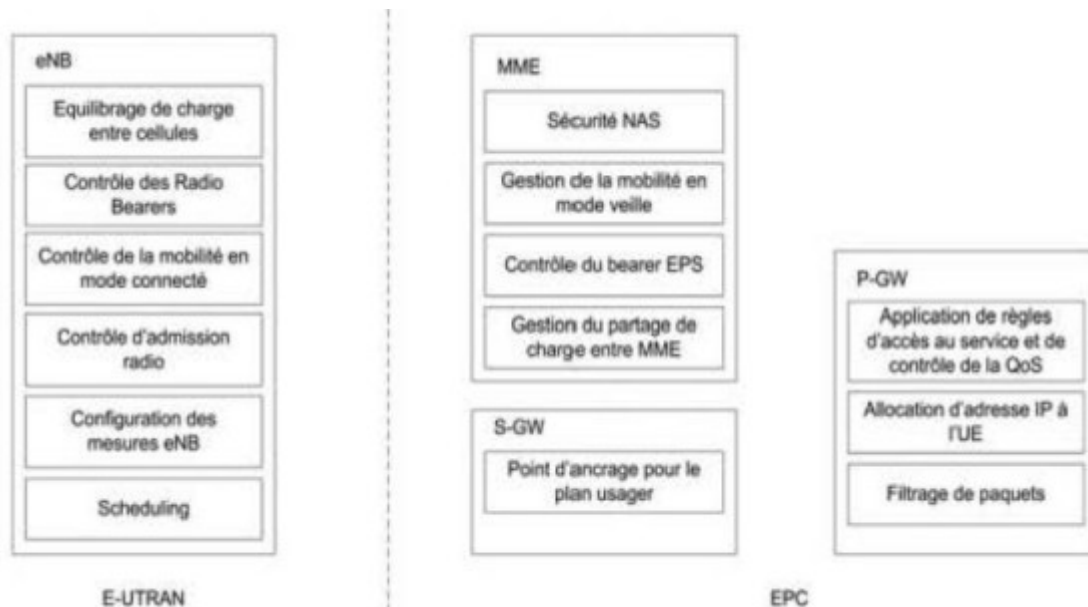


Figure 20: Répartition des fonctions entre nœuds de l'architecture LTE/EPC

2.1.1. Le réseau cœur

Le réseau cœur (EPC) prend en charge tous les traitements des requêtes des utilisateurs. Il garantit la maintenance de la communication et de la connexion de l'UE. Les tâches de l'EPC se répartissent sur cinq (05) entités [8,9] :

- ✚ **MME** (Mobility Management Entity) : Est responsable de localiser l'utilisateur, de connaître son état et de gérer les procédures authentification, et la mobilité.
- ✚ **SGW** (Serving Gateway) : Est responsable du transfert d'un relais à un autre, il gère tout l'aspect handover et effectue le transfert vers un réseau 2G ou 3G.
- ✚ **PGW** (Packet Data Network Gateway) : Est la passerelle vers les réseaux externes. Il est responsable du routage, en assignant une adresse IP au mobile au moment de l'attachement au réseau. C'est aussi un point pour faire le filtrage des données.
- ✚ **HSS** (Subscriber Home) : Il contient le profil de l'abonnée pour les réseaux 2G, 3G, LTE.
- ✚ **PCRF** (Policy Charging Rules Function): Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

2.1.2. Le réseau d'accès : E-UTRAN

L'E-UTRAN (Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network) représente le réseau d'accès radio de la LTE, qui est en liaison directe avec le cœur du réseau grâce aux interfaces de connexion S1 et X2. Il ne comprend que l'eNodeB contrairement à celui des générations précédentes. L'E-UTRAN prend en charge toutes les fonctionnalités liées à la communication entre le réseau et l'UE [8]. Les principales fonctions de cette partie du réseau regroupent :

- ✚ La gestion des ressources radio qui couvre toutes les fonctions logiques de la radio telles que le contrôle de l'admission radio, le contrôle de la mobilité, l'ordonnancement et l'allocation dynamique des ressources pour les UEs en liaison montante et descendante.

- ✚ La compression d'entête qui effectue une compression des paquets IP pour en diminuer la taille.
- ✚ La sécurisation de la transmission en chiffrant les données.
- ✚ La connectivité en permanence avec le réseau cœur qui consiste à l'échange de signalisation entre l'E-UTRAN et le cœur et l'établissement de connexion avec le S-GW.

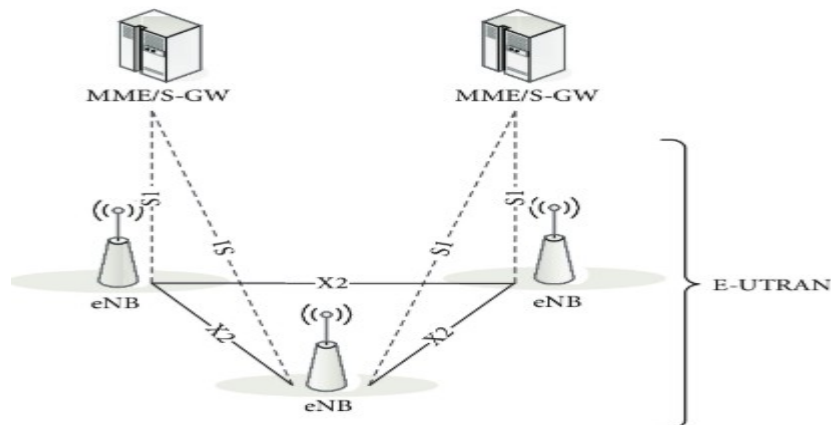


Figure 21: Architecture de l'E-UTRAN [8]

La communication entre l'eNodeB et les équipements utilisateurs se réalise par l'intermédiaire de l'interface LTE-Uu (Figure 18) qui est l'air. L'interface S1 relie les passerelles et les eNodeBs, et X2 assure l'interconnexion entre eux.

2.1.3. Technologies

La LTE introduit un certain nombre de mécanismes et de technologies clés lui permettant une utilisation efficace du spectre afin de permettre la QoS en fournissant des débits beaucoup plus élevés. Les technologies offertes sont l'OFDM, l'OFDMA, la SC-FDMA, MIMO et l'AMC.

2.1.3.1. L'OFDM, l'OFDMA, la SC-FDMA

Le principe de l'OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous-porteuses orthogonales, avec l'ajout d'un préfixe cyclique entre symboles OFDM pour éviter leurs interférences.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est la technologie d'accès multiple par rapport OFDM, elle est utilisée en LTE dans la liaison descendante.

Pour la voie montante, LTE utilise une dérivée appelée SC-FDMA. En OFDMA, les symboles sont transmis chacun à travers une sous-porteuse, alors qu'en SC-FDMA chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous-porteuses allouées (Figure 22).

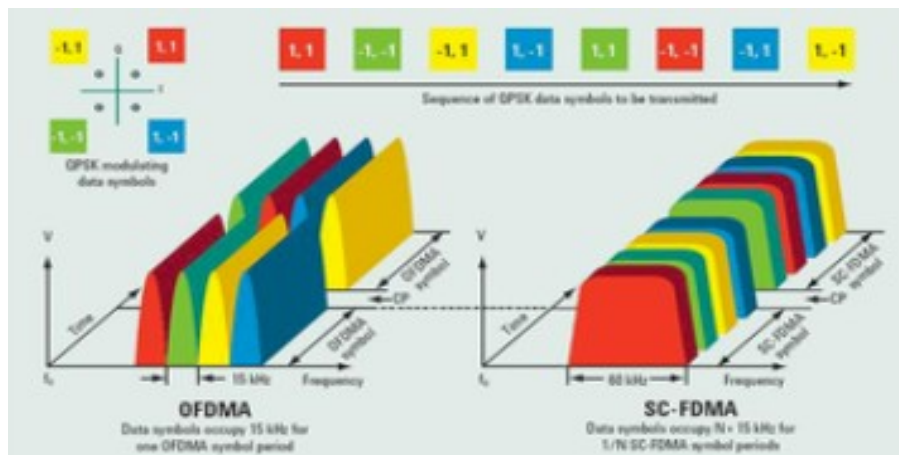


Figure 22: Différence entre OFDMA et SC-FDMA [10]

2.1.3.2. La technologie MIMO

Le MIMO (Multiple Input Multiple Output), se base sur l'utilisation de plusieurs antennes du côté de l'émetteur et du côté du récepteur (figure 23). La mise en place d'une telle structure permet à LTE d'atteindre des hauts débits et une grande capacité. Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- ✚ Diversité d'espace : Diversité d'antenne.
- ✚ Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
- ✚ Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal.



Figure 23: Exemple d'antenne MIMO [11]

2.1.3.3. Modulations et codages adaptatifs

La modulation et le codage adaptatif AMC (Adaptive Modulation & Coding), est une approche opportuniste qui tend à adapter la technique de modulation et de codage en fonction de l'état du canal. Pour les transmissions DownLink en LTE, l'UE envoie le feedback de CQI (Channel Quality Information) vers l'eNodeB pour que cette dernière lui sélectionne un MCS (Modulation & Coding Schema), un schéma de modulation et de codage qui maximise l'efficacité spectrale tout en gardant le BER (taux d'erreurs par bloc) inférieur à un certain seuil.

Les types de modulation pris en charge par LTE sont: QPSK, 16QAM, 64QAM (Figure 24).

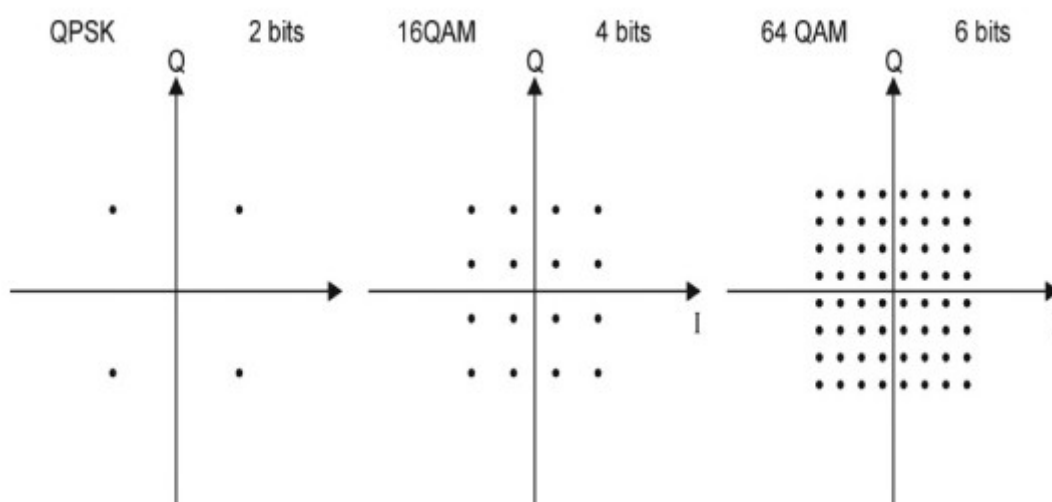


Figure 24: modulation LTE [11]

2.2. Evolution de l'accès LTE vers la LTE-Advanced

La LTE-Advanced comprend un ensemble de nouvelles technologies et techniques permettant d'accroître la vitesse et le débit. On peut citer les technologies MIMO (Multiple Input Multiple Output), l'Agrégation de porteur (CA), la technique de CoMP (coordinated multipoint), eICIC (Enhanced Inter Cell Interference Coordination) et HetNet (Heterogeneous Network's) [12].

Nous nous intéressons ici uniquement à l'agrégation de porteuse.

2.2.1. Le concept d'agrégation de porteuse

Dans le but d'augmenter la capacité et atteindre des débits plus élevés, le besoin d'avoir une bande spectrale plus large s'avère indispensable. Dans les Releases 8 et 9 la LTE supporte une largeur de bande qui s'étend jusqu'à 20 MHz. La solution apportée dans les releases 11 et 12 est d'introduire une extension de la bande passante, du canal, jusqu'à 100MHz, tout en gardant la compatibilité avec les autres releases [13], d'où l'introduction de l'agrégation de porteuse qui est une technique permettant d'utiliser deux (02) ou plusieurs porteuses sur une même bande de fréquence ou sur des bandes de fréquences différentes.

L'agrégation de porteuse a pour objectif l'accroissement des débits utilisateurs jusqu'à 1 Gbps liaison descendante et 500Mbps liaison montante. D'où la nécessité d'atteindre une largeur de bande de 100MHz, correspondant à une agrégation de bande de 5 fois celle du LTE à 20MHz.

2.2.1.1. Différents types d'agrégation de porteuse

On distingue 3 types d'agrégation de porteuse (figure 25) à savoir :

- ✓ Agrégation de porteuse intra-band contiguë
- ✓ Agrégation de porteuse inter-band non contiguë
- ✓ Agrégation de porteuse intra-band non contiguë

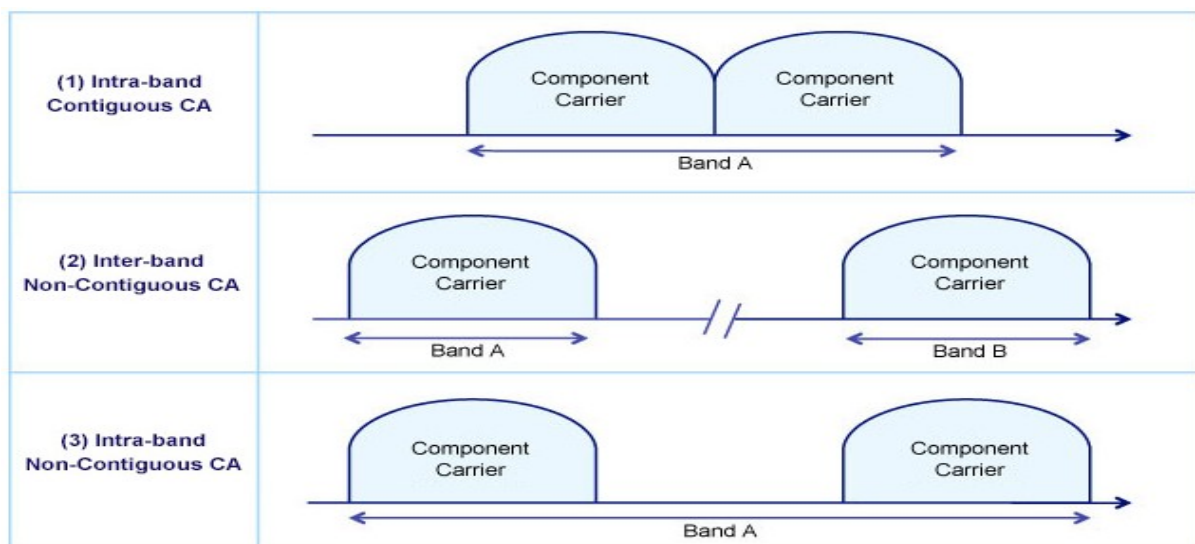


Figure 25: Différents types d'agrégation de porteuse [13].

Dans le second type on atteint le débit supérieur qui est obtenu simplement en utilisant deux (02) trajets spatiaux différents sur des bandes de spectres différents. Le type 03 utilise une

même bande passante non contiguë. Les porteuses ont des valeurs comprises entre 1.4 ; 3 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20MHz.

2.2.1.2. Les techniques de multiplexage

L'agrégation de porteuses peut être utilisée en FDD (Frequency Division Duplex) ou en TDD (Time Division Duplex).

En FDD le nombre de porteuse agrégé peut être différent en UL et en DL. Cependant, en UL le nombre de CC (Carrier Component) est toujours inférieure ou égal de CC en DL et les CCs utilisés peuvent être de largeurs de bande différentes.

En TDD le nombre de CC ainsi que les largeurs de bande sont normalement les mêmes pour le UL et pour le DL.

2.2.1.3. Différents scenarios de déploiement d'agrégation de porteuse

Il existe (05) cinq scenarios de déploiement de la LTE-Advanced.

Hypothèse: soit F1 et F2 (02) deux cellules éventuellement ($F2 > F1$), les différents scenarios de déploiement de la LTE-A sont les suivants.

2.2.1.3.1. Scenario 1

Dans ce cas, les deux cellules sont superposées et co-localisées fournissant presque la même couverture. Généralement dans ce cas les porteuses sont dans la même bande de fréquence et l'agrégation est possible entre cellule comme le montre la figure 26 ci-dessous.

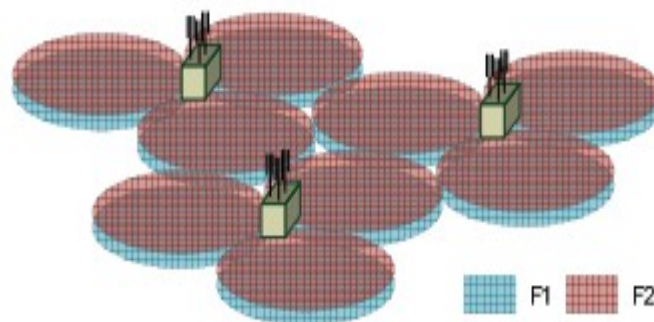


Figure 26: Déploiement CA scenario [13]

2.2.1.3.2. Scenario 2 de déploiement de l'agrégation de porteuse.

Le deuxième scenario possible est similaire au premier ci-dessus F1 et F2 sont localisés et superposés mais F2 a une couverture plus petite en raison des pertes plus importantes. Ici F1 est utilisé pour assurer une couverture plus importante tandis que F2 est utilisé pour augmenter le taux de transfert de données pour des zones spécifiques. Les porteuses sont ainsi configurées dans différentes bandes. La figure 27 ci-dessous nous montre ce scenario de déploiement.

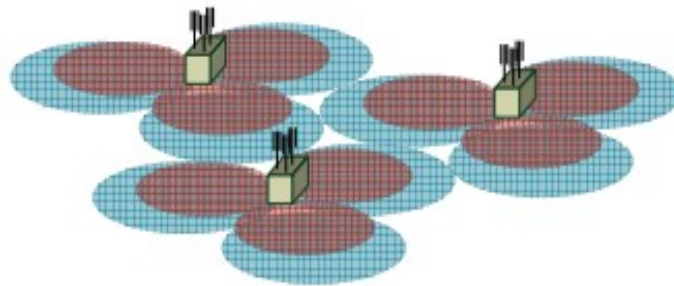


Figure 27: Déploiement CA scenario 2 [13]

2.2.1.3.3. Scenario 3 de déploiement de l'agrégation de porteuse

Ici les cellules F1 et F2 sont Co-localisées mais les antennes F2 sont dirigées vers les frontières limites des couvertures de F1 pour pouvoir augmenter les débits au bord des cellules. Dans ce scenario il est plus intéressant que F1 et F2 soient de bandes différentes, on espère ainsi une agrégation aux endroits de chevauchement des deux cellules et une croissance du débit. Ce scenario est présenté à la figure 28 ci-dessous.

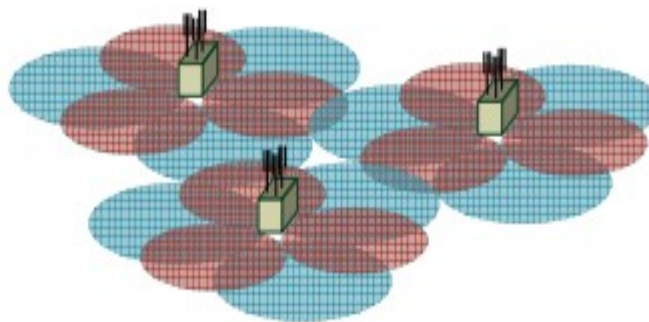


Figure 28: Déploiement CA scenario 3 [13]

2.2.1.3.4. Scenario 4 de déploiement de l'agrégation de porteuse

Dans ce scenario F1 fournit une couverture macro cellulaire et F2 est déployée avec des têtes radios distantes (RRH). Pour fournir des débits hot spot la configuration consiste à affecter (02) porteuses aux différentes bandes de fréquence. On s'attend donc à ce que la cellule F2 puisse s'agréger à la macro cellule F1 sous-jacente comme montré à la figure 29 ci-dessous.

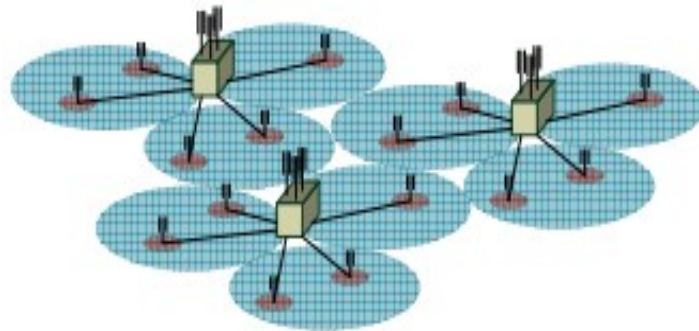


Figure 29: Déploiement CA scenario 4 [13]

2.2.1.3.5. Scenario 5 de déploiement de l'agrégation de porteuse

Ce scenario est similaire au deuxième présenté plus haut mais un répéteur est déployé au niveau des bordures pour étendre l'une des porteuses comme montré à la figure 30 ci-dessous.

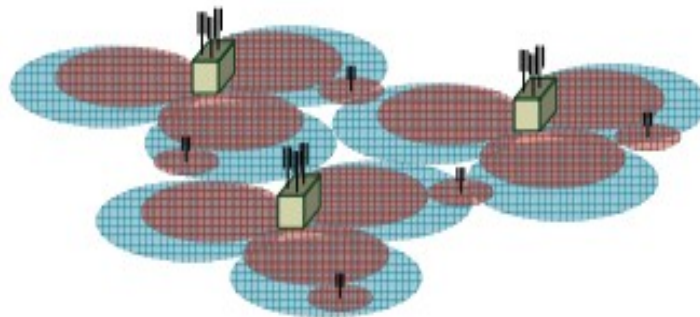


Figure 30: Déploiement CA scenario 5 [13]

NB : Pour toute la partie dimensionnement nous considérons uniquement le scenario1 de déploiement d'agrégation de porteuse ou les porteuses couvrent les mêmes surfaces car il est le plus utilisé actuellement pour cause de sa simplicité. Les autres sont encore en phase de test.

2.2.2. Dimensionnement de la capacité en LTE/LTE-A

Le dimensionnement en capacité a le plus souvent pour but de déterminer le nombre de sites qui satisfont aux exigences de la capacité. La procédure classique de dimensionnement en capacité est donnée à la figure suivante :

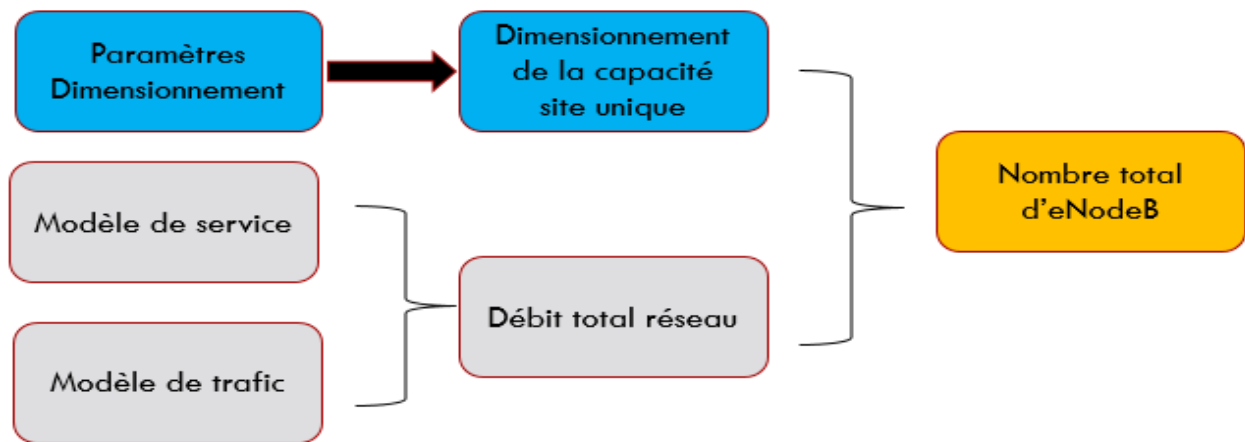


Figure 31: Procédure de dimensionnement en capacité [14]

Généralement le dimensionnement de la capacité inclut deux (02) parties :

- Dimensionnement de la capacité pour un site qui dépend des paramètres comme le mode de duplexage et la largeur de bande du système etc...
- Calcul du volume de trafic total qui dépend du modèle de trafic et du modèle de service où premièrement, on calcule le débit d'un seul utilisateur, puis le volume de trafic du réseau total.

C'est cette deuxième partie qui nous intéresse ici, car elle permet de déterminer le trafic sur le lien backhaul.

2.2.2.1. Calcul du débit total réseau

Ce débit représente le volume de trafic écoulé par le réseau pendant un certain intervalle de temps. Le calcul de ce débit passe par le calcul du débit d'un seul utilisateur, puis on multiplie ce résultat par le nombre d'abonnés du réseau. Ce calcul du débit d'un seul utilisateur se base sur les modèles de trafic et de service. On peut donc résumer la procédure du calcul du débit total du réseau par la figure suivante :

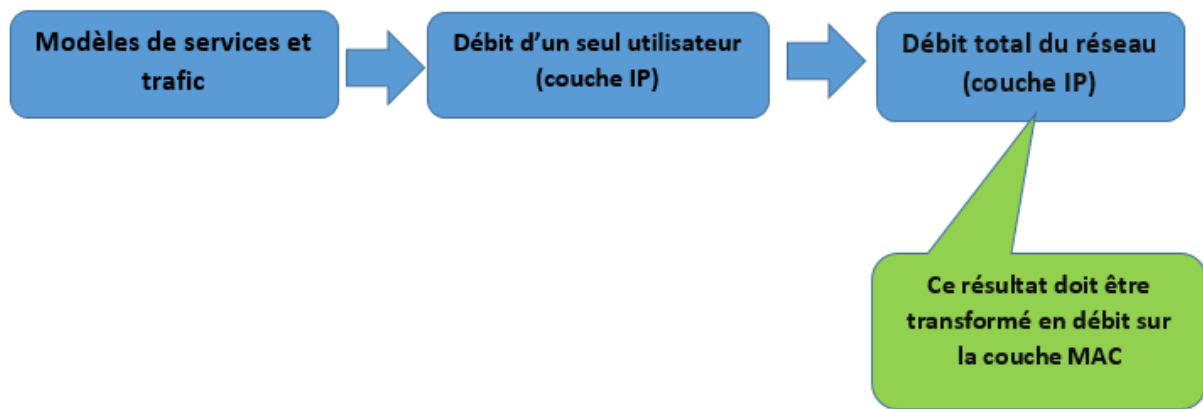


Figure 32: Procédure de calcul du débit réseau

2.2.2.1.1. Modèle de service

Le modèle de service décrit les différents services fournis par le réseau en relevant des paramètres caractéristiques des différents types de services. Le tableau suivant présente un exemple de modèle de service :

Service model	Uplink				Downlink			
Service _i	Bearer rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty ratio	BLER	Bearer rate (kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty ratio	BLER
VoIP	26.9	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%

Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%
P2P file sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%

Tableau 4: Exemple de modèle de service [15]

Avec ce modèle on peut calculer alors le volume de donnée moyen par session pour un utilisateur d_i :

$$d_i = \frac{\alpha_i \times \beta_i \times \lambda_i}{(1 - \mu_i)} \quad (1)$$

Avec comme paramètres :

- o β_i (Session Time): the duration of each PPP session
- o λ_i (Session Duty Ratio): the data transmission ratio of each PPP session
- o μ_i (BLER): Block Error Rate
- o α_i (Bearer Rate): the service application layer (IP) bearer rate

2.2.2.1.2. Modèle de trafic

Le modèle de trafic décrit le comportement des abonnés (de leur UE). Il a comme paramètre le taux de pénétration et le BHSA (Busy Hour Session Attempts). Un exemple de modèle de trafic est donné ci-dessous :

Service _i	Traffic Penetration Ratio (PR) %	BHSA
VoIP	100	1.4

Video Phone	20	0.2
Video Conference	20	0.2
Real Time Gaming	30	0.2
Streaming Media	15	0.2
IMS Signalling	40	5
Web Browsing	100	0.6
File Transfer	20	0.3
Email	10	0.6
P2P file sharing	20	0.2

Tableau 5: Exemple de modèle de trafic [15]

Dans ce tableau on a la proportion des utilisateurs qui ont souscrit pour un type de service sur le nombre total d'utilisateurs. Le BHSA (busy hour session attempts) qui représente le nombre de tentatives d'établissement de connexion pendant l'heure chargée pour un UE et par service. En prenant en compte le type d'environnement comme présenté dans le tableau ci-dessous :

Area Type	Dense Urbain	urbain	Sub urbain	Rural Area
Peak to Average Ratio	40%	20%	10%	0%

Tableau 6: Type d'environnement [15]

On peut alors déterminer le débit moyen d'un utilisateur D par le calcul suivant :

$$D = \frac{1}{3600} \times \sum_{i=1}^n d_i \times \gamma_i \times \eta_i \times (1 - \varepsilon_i) \quad (2)$$

Avec :

- o γ_i (BHSa) : Représente le nombre de tentative d'établissement de connexion pendant l'heure chargée pour un UE et pour service
- o η_i : Taux de pénétration
- o ε_i : Peak to average ratio

Le débit total sera donc calculé en tenant compte du débit par utilisateur ci-dessus et du nombre total d'utilisateurs. Il est donné par le calcul suivant :

$$Total_throughput_IP = T \times D$$

(3)

Où T est le nombre total d'utilisateur

2.2.2.1.3. Transfert de la couche IP vers la couche MAC

L'objectif est de déterminer le débit total sur la couche MAC. Pour cela, nous devons transformer le résultat précédent pour qu'il soit utilisable sur la couche MAC. Nous allons déterminer l'efficacité relative de la couche IP pour la couche MAC. Le débit sur la couche IP est différent de celui de la couche MAC. Pour le même flow de données, le débit de la couche MAC est supérieur à celui de la couche IP car on ajoute les en-têtes PDCP, RLC, MAC comme le montre l'exemple du tableau suivant :

Protocol Layer	Average Packet Size (Byte)	Relative Efficiency (IP=>MAC)
IP	300	
PDCP	302	(300/302)*100% =99.34%
RLC	304	(302/304)*100%=99.34%
MAC	306	(304/306)*100% = 99.35%
The relative efficiency from IP layer to MAC layer is 99.34*99.34*99.35 = 98.04		

Tableau 7: efficacité en fonction des couches protocolaires [15]

Ainsi le débit total réseau qui pourra traverser un lien (câble de transport) est donné par la formule :

$$Site_throughput(MAC_layer) = \frac{Total_throughput_IP}{98.04\%} \quad (4)$$

2.2.2.1.4. Considération de ce débit pour une agrégation de porteuse (LTE-A)

Etant donné que ce qui nous intéresse ici c'est le débit maximal traversant un lien physique, pour reporter ce modèle calcul et l'adapter à la capacité d'un lien en LTE-A, on fera à chaque fois une addition des débits obtenus qui traversent la couche physique en tenant compte du nombre de porteuses agrégées. Si N est le nombre de sous porteuses utilisées et m le nombre d'antennes alors le débit dans un lien est donné par la relation suivante :

$$Site_throughput(MAC_layer) = N \times m \times \frac{Total_throughput_IP}{98.04\%} \quad (5)$$

2.3. Evolution de l'accès LTE vers le C-RAN

Le concept de « Cloud, cognitive, collaborative, clean Radio Access Network (C-RAN) » est une nouvelle architecture qui permet aux opérateurs de réseaux mobiles de satisfaire la demande de données sans cesse croissante de leurs utilisateurs sur leur réseau LTE/LTE-A et futur 5G. Le principe du CRAN est la séparation des ressources radios en unité de traitement bande de base BBUs (baseband units) et en entête radios RRHs (Remote Radio Heads) ensuite de regrouper les unités de traitement bande de base en pool/hôtel BBUs.

2.3.1. Description de l'architecture CRAN.

Le *Cloud* RAN est un paradigme architectural qui vise à appliquer des technologies *cloud* pour l'hébergement et le déploiement de fonctions RAN. Le concept C-RAN a d'abord été introduit la première fois par Lin et al. [16] en 2010 sous l'appellation de « Wireless Network Cloud » et a été ensuite décrit en détails par la China Research Institute [17]. Dans les réseaux traditionnels, le RAN utilise une architecture distribuée dans laquelle les fonctions

bande de base sont exécutées dans des unités bande de base (BBU). Celles-ci sont distribuées dans tous les sites des cellules. Le *Cloud* RAN vise à centraliser certaines ou la totalité de ces fonctions de bande de base dans un emplacement central connecté aux sites de cellules. Tout ceci permet une adaptation à un trafic non-uniforme ainsi qu'une utilisation plus efficace des ressources radios. L'utilisation de moins de BBUs dans les C-RANs par rapport aux RANs actuelles, permet de réduire de façon significative les coûts de fonctionnement du réseau et ce principalement du fait de la réduction de la puissance et de l'énergie consommée. Dans le C-RAN les BBUs sont ajoutés et mis à jours facilement permettent ainsi une hiérarchisation et maintenance facile du réseau. Les hôtels de BBUs virtualisés peuvent être partagés par différents opérateurs offrant ainsi une possibilité de revenu à travers le RANaaS. La localisation conjointe des BBUs dans le même pool permet une interaction plus rapide grâce aux mécanismes tels que eCICIC [18] et le CoMP [19].

Le “C” du C-RAN introduit des notions telles que :

- La **C**entralisation des ressources radios en bande de base dans les pools.
- La radio **C**ollaboration
- Le **C**loud computing
- ‘Clean Energy’ ou énergie propre

2.3.1.1. La centralisation des ressources

Dans les architectures traditionnelles et distribuées les macros BS de plusieurs sites cellulaires sont extrêmement coûteuses. En utilisant la fibre optique de très haute capacité pour connecter les unités radio distantes RRH, on réduit les macros BS des sites en regroupant toutes les ressources radio bande de base en pool/hôtel comme illustré à la figure ci-dessous.

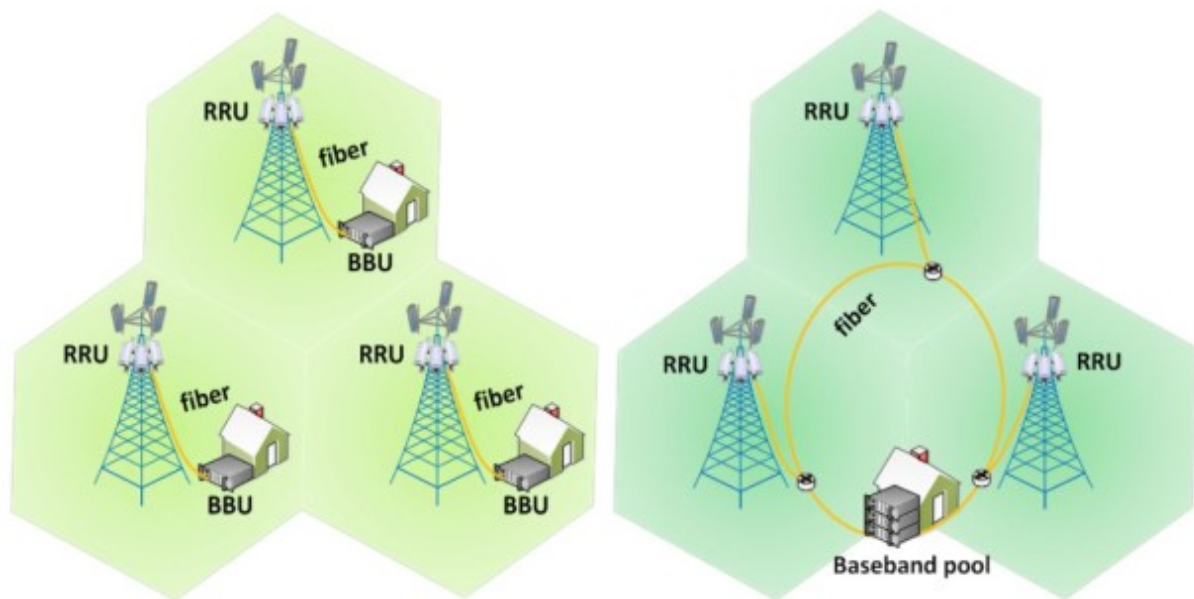


Figure 33: Centralisation des unités de traitements radio BBUs des RANs traditionnelles en baseband pool dans le C-RAN.

2.3.1.2. La radio collaborative

Dans les BS traditionnelles, chaque station effectue des traitements de manière indépendante. Ainsi les signaux provenant des autres équipements vont créer des interférences sur le signal utile (figure 34 gauche), en particulier lorsque l'utilisateur se trouve au bord des cellules. Le C-RAN regroupe les unités de traitements en pool favorisant ainsi un échange de données. De ce fait, les BS géographiquement regroupés dans le même pool s'échangent des informations réduisant ainsi les interférences (figure 34 droite).

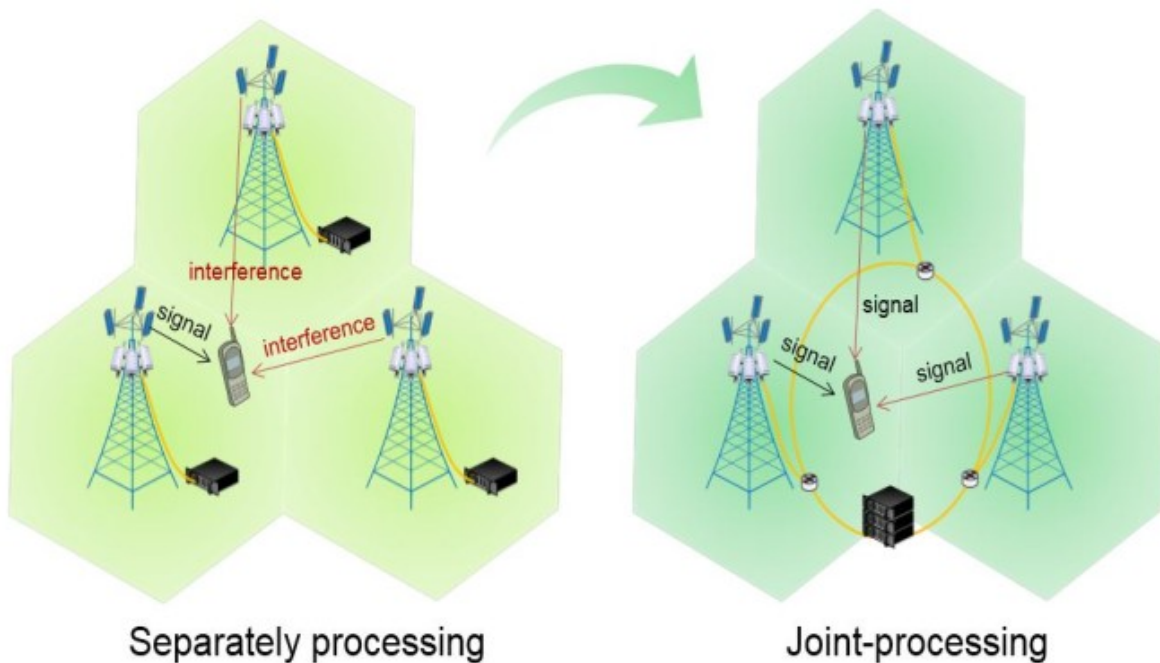


Figure 34: Mise en évidence de la collaboration radio dans le C-RAN

Les concepts liés au Cloud Computing et au Clean Energy sont développés dans [20].

2.3.2. Scenarios de migration vers le C-RAN

2.3.2.1. Architecture traditionnelle

Dans une architecture traditionnelle des réseaux mobiles les fonctionnalités de traitement radio et de bande de base sont intégrées dans la station de base comme le montre la figure 4(a). Toutes les fonctionnalités de la station de base sont déployées au même endroit que la station de base elle-même. Le module radio (RF) est placé à proximité de l'antenne relié par des câbles coaxiaux. Le traitement en bande de base (BBU) est aussi situé sur le même site. L'interface X2 est définie entre les stations de base, l'interface S1 relie la station de base au cœur du réseau. Cette architecture était considérée dans le déploiement des réseaux mobiles 1G et 2G.

2.3.2.2. Migration vers une Architecture distribuée

Avec la prolifération des réseaux 3G, une nouvelle architecture de réseau a été proposée. Elle repose sur une division des principales fonctionnalités de la station de base: la radio et le traitement en bande de base, comme représentée dans la figure 4(b). Cette architecture consiste à diviser les stations de base en deux entités séparées: Radio Remote Heads (RRH) et BaseBand Unit (BBU). La RRH est l'unité qui fournit l'interface avec la fibre et effectue le

traitement numérique, la conversion numérique-analogique, la conversion analogique numérique, l'amplification de puissance et le filtrage [6]. La BBU est l'endroit où toutes les autres fonctionnalités réseau sont déployées. Parmi les services du BBU nous pouvons citer les opérations FFT / IFFT, modulation / démodulation, échantillonnage, gestion MIMO, codage et décodage de canal, gestion d'interférences (e-ICIC), gestion de communication multipoint (CoMP), les couches transport et MAC et le contrôle des ressources radios. La figure 3 ci-dessous met en évidence ces fonctionnalités.

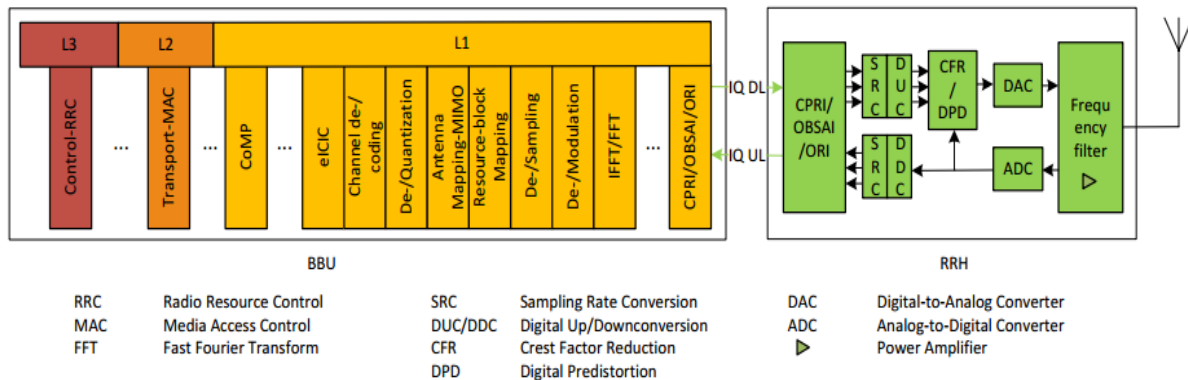


Figure 35: Fonctionnalités d'une station de base. Les fonctionnalités à l'intérieur de la BBU y sont présentées pour la mise en œuvre de la LTE. La connexion à la partie RF du module RRH est indiquée [21].

Suite à la division des fonctions, les modules RF sont placés juste à côté des antennes. Les RRHs sont attribués d'une manière statique aux BBU de la même façon que le RAN traditionnel. Quant à l'unité de bande de base, elle est relocalisée à une distance qui peut aller d'une centaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres. RRH et BBU sont alors connectés soit par une fibre optique, soit par une connexion hyperfréquence (microwave). Un premier avantage d'une telle architecture est la possibilité de relier un ensemble de RRHs à un seul BBU. Cela permet de réduire le coût du déploiement des RRHs. En outre, les BBUs sont placées dans un endroit plus adapté, permettant ainsi des économies sur la location de site pour le déploiement de stations de base traditionnelles tout-en-un. Une interface Ir relie les RRHs aux BBUs. L'interface Common Public Radio Interface (CPRI) [21] est le protocole d'interface radio le plus utilisé pour la transmission de données entre les RRHs et les BBUs sur l'interface Ir. C'est un protocole à débit binaire constant, bidirectionnel et qui nécessite une synchronisation précise et une latence réduite. Les autres protocoles qui peuvent être utilisés sont l'Open Source Station Architecture Initiative (OSAI) et Open Radio Equipment Interface (ORI) [21].

2.3.2.3. Migration vers une architecture centralisée

Dans le C-RAN, afin d'optimiser l'utilisation des BBUs entre les stations de base fortement chargées et celles moins chargées, les BBU sont centralisées dans une entité appelée BBU Pool. Un BBU pool est partagé entre des sites de cellules et virtualisé comme illustré à la figure 36(c). Un BBU pool est un cluster virtualisé constitué de processeurs permettant d'effectuer le traitement en bande de base (PHY /MAC). Une nouvelle interface X2, souvent appelée X2+ gère la communication inter-cluster.

Les figures 36 a ; b ; c sont représentées ci-dessous.

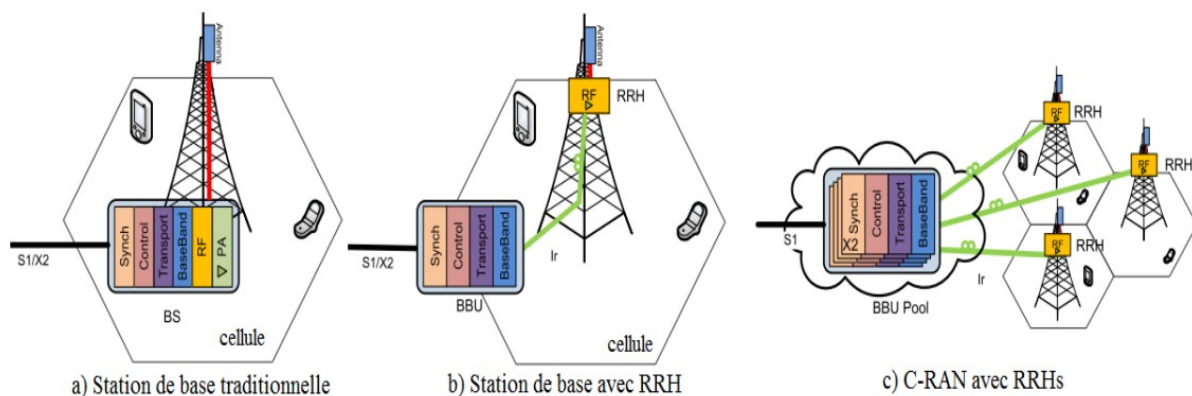


Figure 36: Evolution des stations de base

Les BBUs sont ainsi centralisés dans un pool/hôtel. La virtualisation consistera donc à créer des réseaux logiques isolés sur des réseaux physiques abstraits qui peuvent être partagés de manière flexible et dynamique. La figure ci-dessous présente l'architecture C-RAN du réseau LTE.

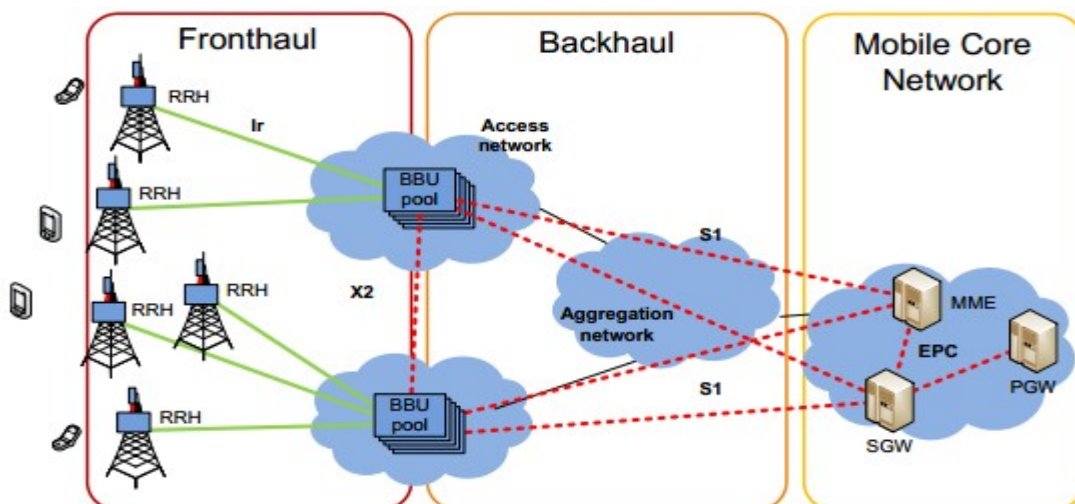


Figure 37: Architecture C-RAN du réseau mobile LTE [21]

2.3.3. Réseau de transport dans le C-RAN

Le principal support de transmission utilisé dans le C-RAN est la fibre optique car elle permet de satisfaire aux strictes exigences de la bande passante et de la latence du fronthaul.

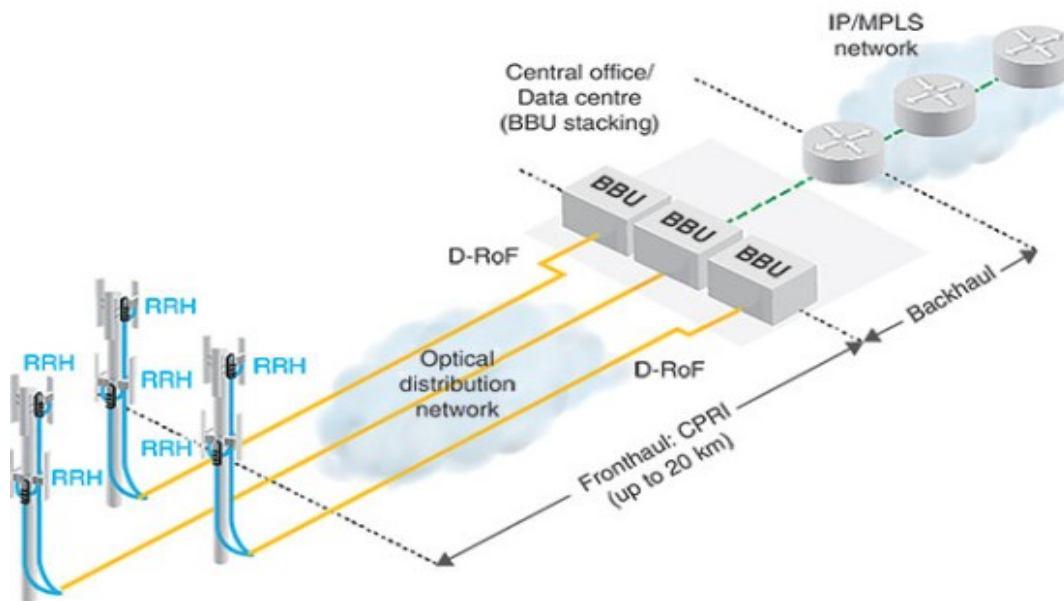


Figure 38: Architecture C-RAN avec réseau de fibre optique comme support de transmission dans le fronthaul.

Avec la modernisation de l'interface radio, de nouvelles technologies comme les antennes MIMO, la large bande passante ont été largement adoptés dans le LTE/LTE-A ainsi la bande passante sur l'interface CPRI/Ir/ORBI devient de plus en plus élevée que dans les générations de réseau précédente, ajoutant ainsi d'énormes contraintes en terme de capacité sur le fronthaul.

Ainsi pour le déploiement il est important d'étudier les différentes technologies utilisées afin d'optimiser le transport dans le fronthaul.

2.3.4. Technique de transport dans un C-RAN

Plusieurs techniques sont développées et en cours de recherche continue pour résoudre le problème de capacité au niveau du fronthaul. Ces solutions sont basées sur le déplacement de certaines entités laissées dans le pool vers les têtes radio RRH. On a ainsi plusieurs types de

fragmentation dénommés comme des splits. La figure 7 ci-dessous nous montre les possibles fragmentations dans la BBU pouvant être ramenées vers le RRH.

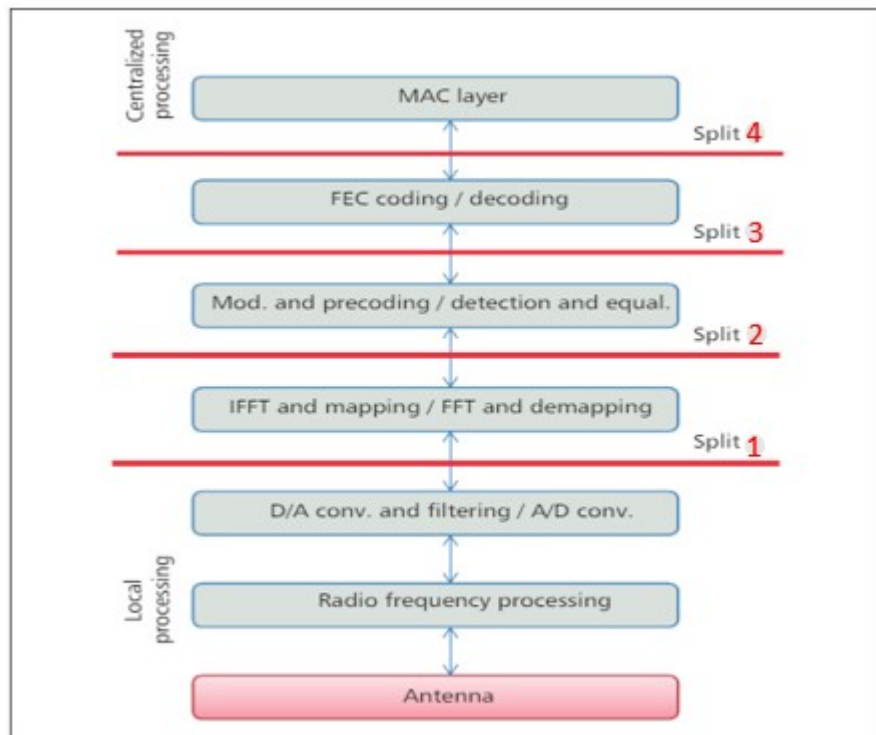


Figure 39: Fragmentation (split) possible pour une architecture C-RAN

Split 1: La RRH est constituée uniquement du RF dans le domaine temporel, tandis que la BBU comporte toutes les autres fonctions. C'est la séparation standard considérée dans C-RAN, conventionnelle. Par conséquent, le réseau de transport est chargé de transporter les données I / Q du domaine temporel numérisées générées par les RRHs, à l'aide des protocoles standard comme le CPRI etc...

Split 2: La fonction FFT est incluse dans le RRH, transformant des échantillons du temps au domaine de fréquence. En conséquence, le réseau de transport est chargé de transporter les données I / Q du domaine fréquentiel.

Split 3: Ici une estimation de canal basée sur le signal de commande et de référence de données (RS) symboles est effectuée et ce résultat est appliqué pour l'égalisation à la RRH. Ensuite, il applique IDFT et la démodulation renvoie le rapport de loglikelihood (LLR) de chaque bit à la BBU via le réseau de transport [22, 23].

Split 4: Les RRHs utilisent toutes les fonctions de couche 1 dans le traitement de la bande de base, effectuent en outre le traitement du débit binaire, la réduction du débit correspondant, décodage canal et contrôle CRC. Le BBU recevra tous les blocs de transport en bits pour le traitement de couche supérieure.

2.3.5. Dimensionnement de la capacité dans un Cloud RAN

La bande passante en DL étant généralement supérieure à celle en UL nous allons prendre comme base ici pour le dimensionnement en capacité d'un C-RAN la liaison descendante.

2.3.5.1. Détermination de la capacité pour chaque modèle de déploiement

Nous avons considéré dans ce qui suit uniquement les paramètres du LTE avec porteuse à 20MHz. Les formules peuvent être adaptées aux autres porteuses utilisées en LTE par une variation de paramètres correspondants.

2.3.5.1.1. Split 1 C-RAN modèle

M1 est l'architecture conventionnelle où toutes les fonctions de bande de base sont situées au niveau du pool/hôtel BBU. Le transport maximal au niveau du fronthaul correspondant à la bande passante est calculé par la formule suivante :

$$C_1 = f_s \times N_{Ant} \times N_{CPRI} \times \frac{1}{R_c} \quad (6)$$

Où C_1 est la capacité maximale du lien entre le RRH et la BBU, N_{Ant} le nombre d'antenne utilisé, N_{CPRI} le taux de compression sur le lien fronthaul, R_c le taux de codage du FEC (Forward Error Code) appliqué [22,24].

Pour le LTE avec porteuse à 20MHz on a 2048 sous porteuses ainsi f_s qui est la fréquence d'échantillonnage est donné par :

$$f_s = 2048 \times \Delta f = 2048 \times 15 \text{ KHz} = 30.72 \text{ MHz}$$

(7)

Où Δf représente la largeur de bande d'une sous porteuse.

2.3.5.1.2. Split 2 C-RAN modèle

M2, une partie des fonctions de la couche L1 est transférée de la BBU vers l'unité radio RRU. La capacité est donnée par la formule suivante :

$$C_2 = \frac{N_{SC}^{RB} \times N_{RB} \times N_{Ant} \times N_{IQ} \times 1000}{1000000} \quad (8)$$

Où N_{RB} est le nombre de ressources block par utilisateur, et N_{SC}^{RB} nombre de ressources block par sous porteuse N_{IQ} taux de codage sur le lien fronthaul [22,24].

2.3.5.1.3. Split 3 C-RAN modèle

Dans M3 plusieurs fonctions de la couche physique sont renvoyées dans le RRH. Le calcul de la capacité est donné dans par:

$$C_3 = \frac{(N_{UE} \times PDSCH_{RES} \times Qm_{PDSCH} \times Layers_{DL} + (PCFICH_{RES} \times Qm_{PCFICH}) + (PHICH_{RES} + PDCCH_{RES} \times Qm_{PDCCH})) \times 1000}{1000000}$$

(9)

Où N_{UE} nombre de station utilisateur; $PDSCH_{RES}$ nombre de ressource PDSCH par utilisateur par TTI ; Qm_{PDSCH} PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel).

$PCFICH_{RES}$ Nombre de ressources PCFICH par UE; $Layers_{DL}$ c'est le nombre de couches en DL. La modulation QPSK est utilisée pour le PDCCH [22].

2.3.5.1.4. Split 4 C-RAN modèle

Ici toutes les fonctions physiques de la couche 1 sont exécutées dans le RRH ce qui permet de transporter les paquets de données utilisateurs sous forme de datagrammes IP avec ajout des entêtes si nécessaire à chaque niveau. La capacité du fronthaul est donnée par:

$$C_4 = \frac{IP_{DL}^{TTI} \times (IP_{pkt} + Hdr_{PDCP} + Hdr_{RLC} + Hdr_{MAC}) \times N_{DL}^{TBS} \times 8 \times 1000}{1000000} + FAPI_{DL}$$

(10)

Où on a Hdr_{PDCP} qui est la taille de l'entête PDCP en byte ; Hdr_{RLC} qui représente la taille de l'entête RLC en byte et Hdr_{MAC} la taille de l'entête MAC. IP_{pkt} C'est la taille des paquets IP ; IP_{DL}^{TTI} nombre de paquets IP par block transportés ; N_{DL}^{TBS} nombre de blocks de transport en DL par TTI ; et le FAPI qui est l'over Head par UE [22].

2.4. Étude et conception

2.4.1. Modélisation sous UML

UML, est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes conçu pour fournir une méthode normalisée et pour visualiser la conception d'un système. Il est couramment utilisé en développement logiciel et en conception orientée objet. UML est utilisé pour spécifier, visualiser, modifier et construire les documents nécessaires au bon développement d'un logiciel orienté objet. Il offre un standard de modélisation pour représenter l'architecture logicielle. Le langage UML a été préféré ici, nous avons notamment fait usage du logiciel ASTAH pour la création des tables et leur mise en relation. UML disposant de nombreux diagrammes, nous nous sommes intéressés à 3 d'entre eux.

2.4.1.1. Diagramme des cas d'utilisations

Il s'agit ici de dégager l'ensemble des acteurs pouvant intervenir dans notre système, ainsi que les différents cas d'utilisation dudit système. Pour notre cas nous avons deux utilisateurs qui sont l'ingénieur réseau et l'administrateur du système. Nous avons ainsi les cas d'utilisations suivants :

- ❖ S'authentifier : pour s'assurer que seul les acteurs ayant certains droits puissent avoir accès au système ;
- ❖ Gérer les services : ici l'utilisateur peut sélectionner, ajouter ou modifier les paramètres d'un ou plusieurs services ;
- ❖ Gérer les utilisateurs : réserver uniquement à l'administrateur du système qui peut ajouter modifier ou supprimer les services et ajouter des utilisateurs avec leurs différents attributs ;
- ❖ Dimensionner : il s'agit ici pour l'utilisateur de déterminer la capacité en fonction du type de réseau choisi (LTE-A, C-RAN) ;

Les interactions entre ces cas d'utilisation et les différents acteurs du système sont illustrés sur la figure ci-dessous.

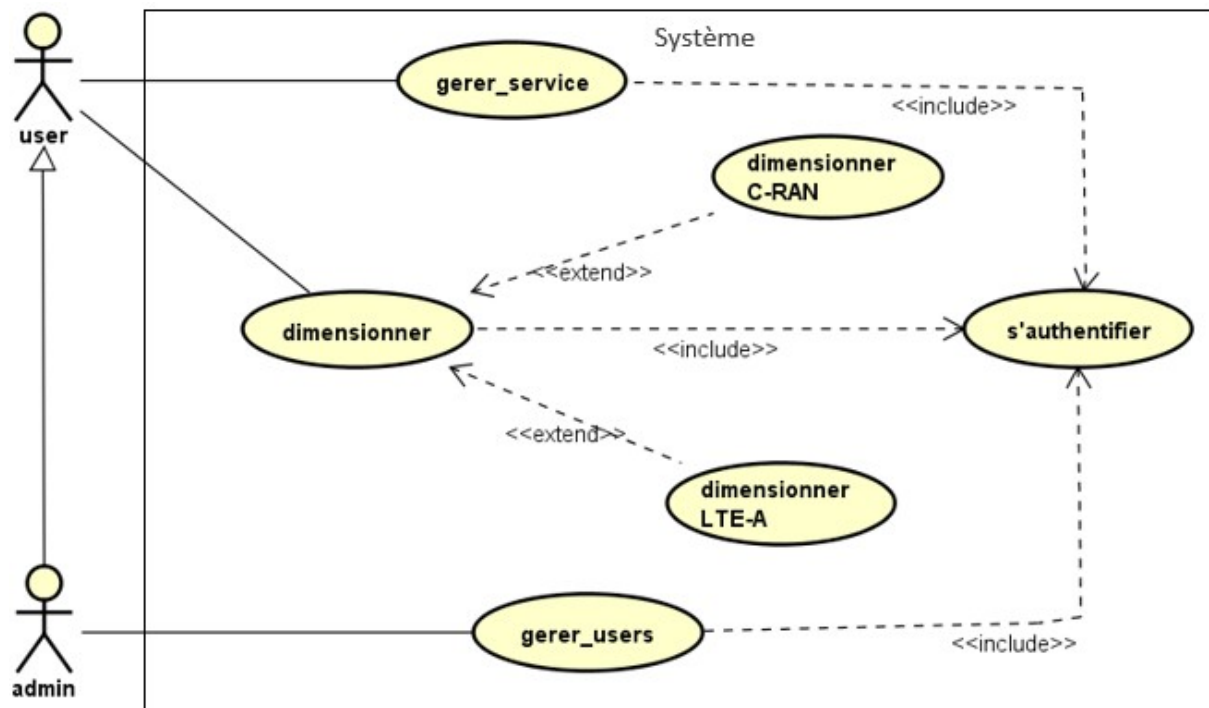


Figure 40: Diagramme des cas d'utilisations

2.4.1.2. Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence permet de représenter des échanges entre les différents objets et acteurs du système en fonction du temps. Il permet de montrer les interactions d'objets dans le cadre d'un scénario contenu dans le diagramme des cas d'utilisation. Sa particularité est d'ajouter un aspect dynamique à la modélisation d'un système.

2.4.1.3. Diagramme de séquence « s'authentifier »

L'authentification est la procédure qui consiste à vérifier ou à valider l'identité d'un utilisateur ou l'identification de toute autre personne, lorsqu'il saisit ses paramètres (login et password) pour accéder au système. Tant que les paramètres entrés par l'utilisateur sont incorrects le système renvoi toujours la page d'authentification.

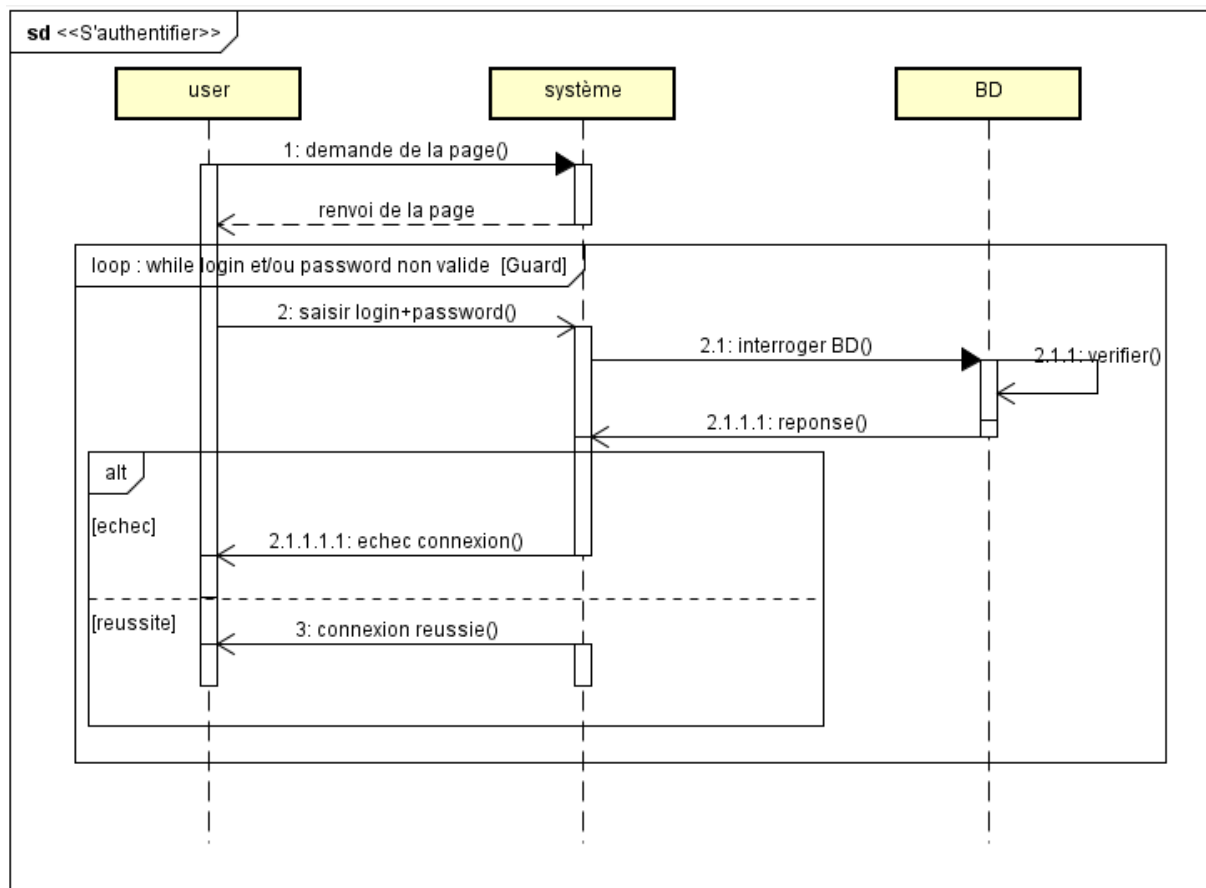


Figure 41: diagramme de séquence authentification de l'utilisateur

2.4.1.4. Diagramme de séquence « dimensionner »

L'utilisateur s'authentifie tout d'abord puis passe à la page d'accueil où il a la possibilité de faire un dimensionnement pour LTE-Advanced ou pour le Cloud-RAN. Lorsqu'il choisit le type, il a encore des possibilités de choix pour différents modèles, entre ensuite les paramètres et effectue les calculs.

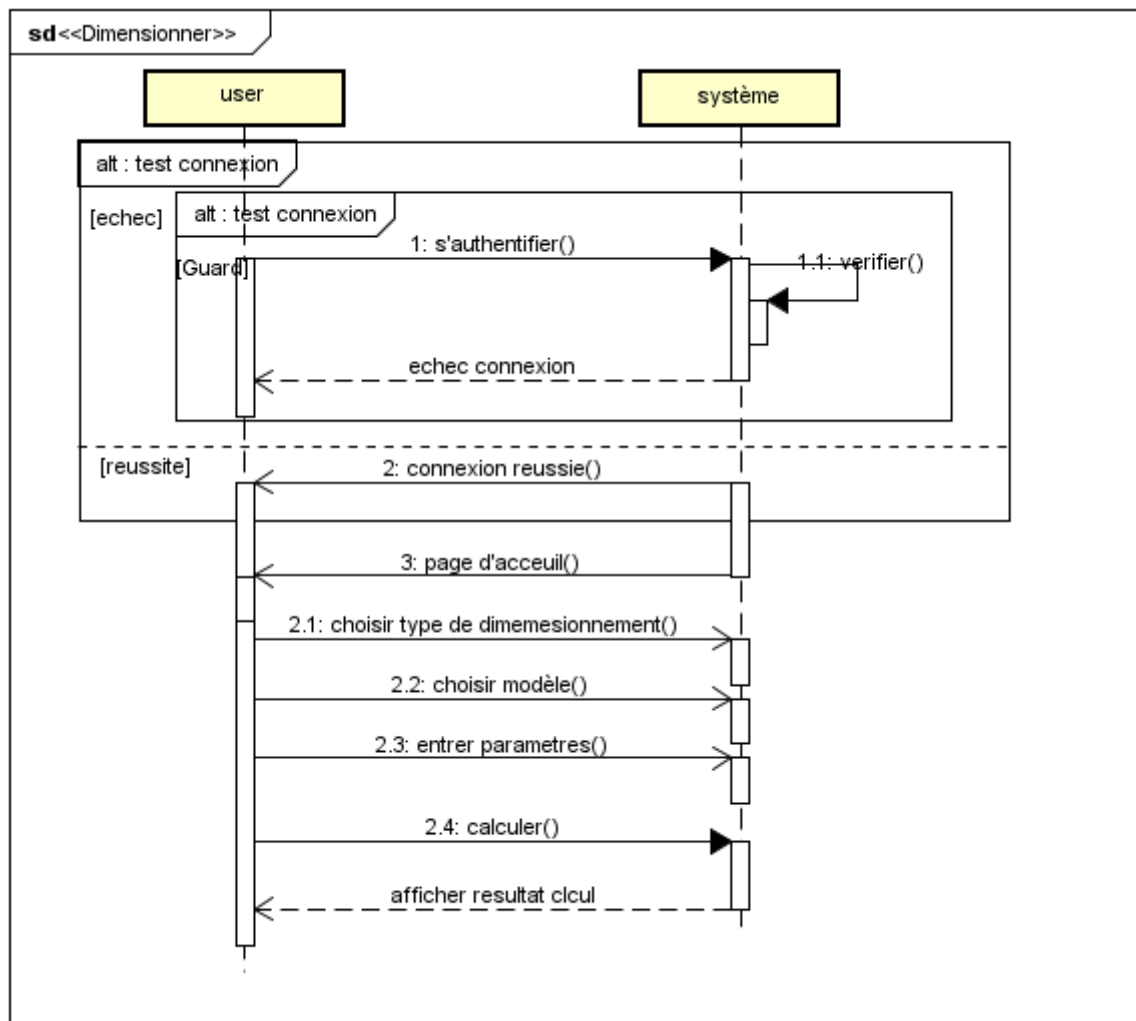


Figure 42: diagramme de séquence de dimensionnement

2.4.1.5. Diagramme de séquence « gérer service »

L'utilisateur après s'être authentifié à la possibilité de sélectionner des services puis de les modifier, au cas où c'est l'administrateur, il peut ajouter ou supprimer les services

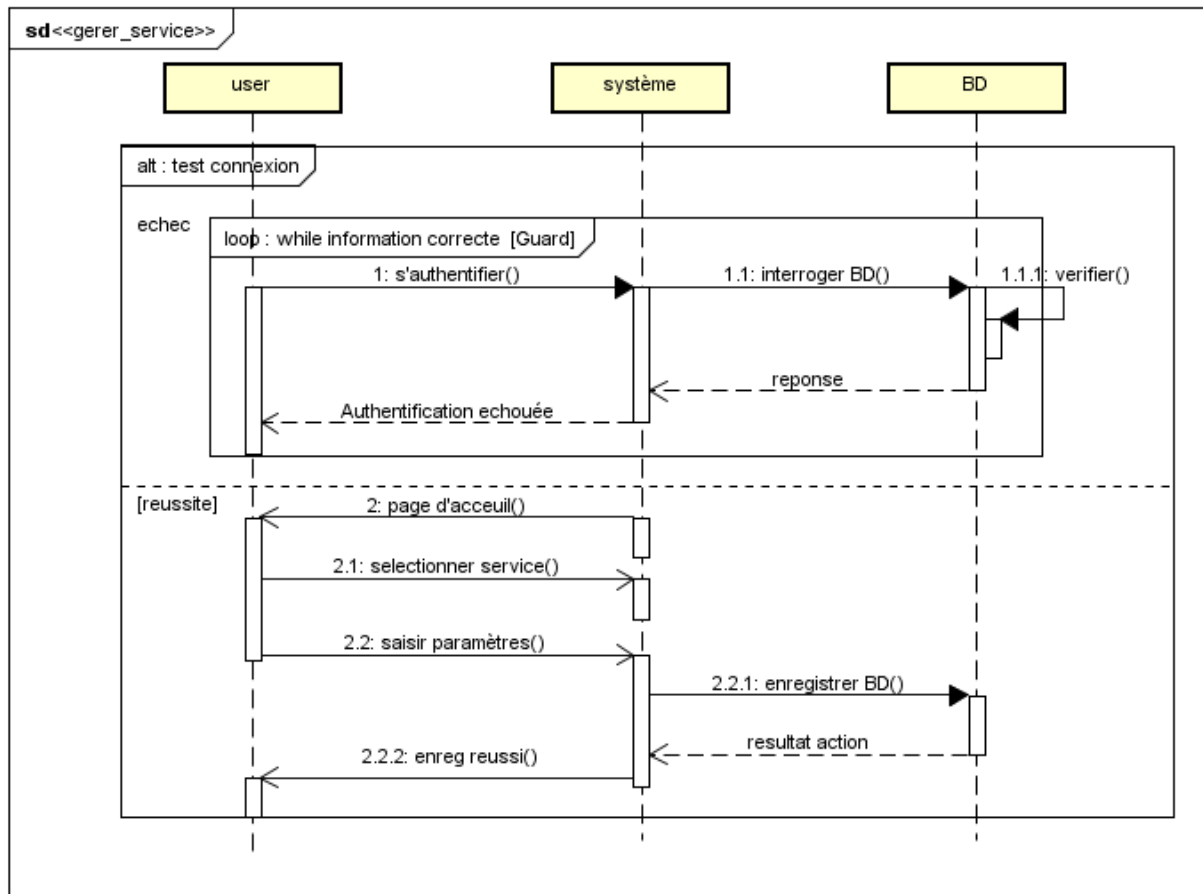


Figure 43: diagramme de séquence de gestion des services

2.4.1.6. Diagramme de classe

Le diagramme de classe représente l'architecture conceptuelle du système. Il décrit les classes que le système utilise, ainsi que leurs liens. Une classe représente un ensemble d'objets ayant les mêmes caractéristiques (attributs, méthodes, relations). La figure présente le diagramme de classe métier de notre l'application.

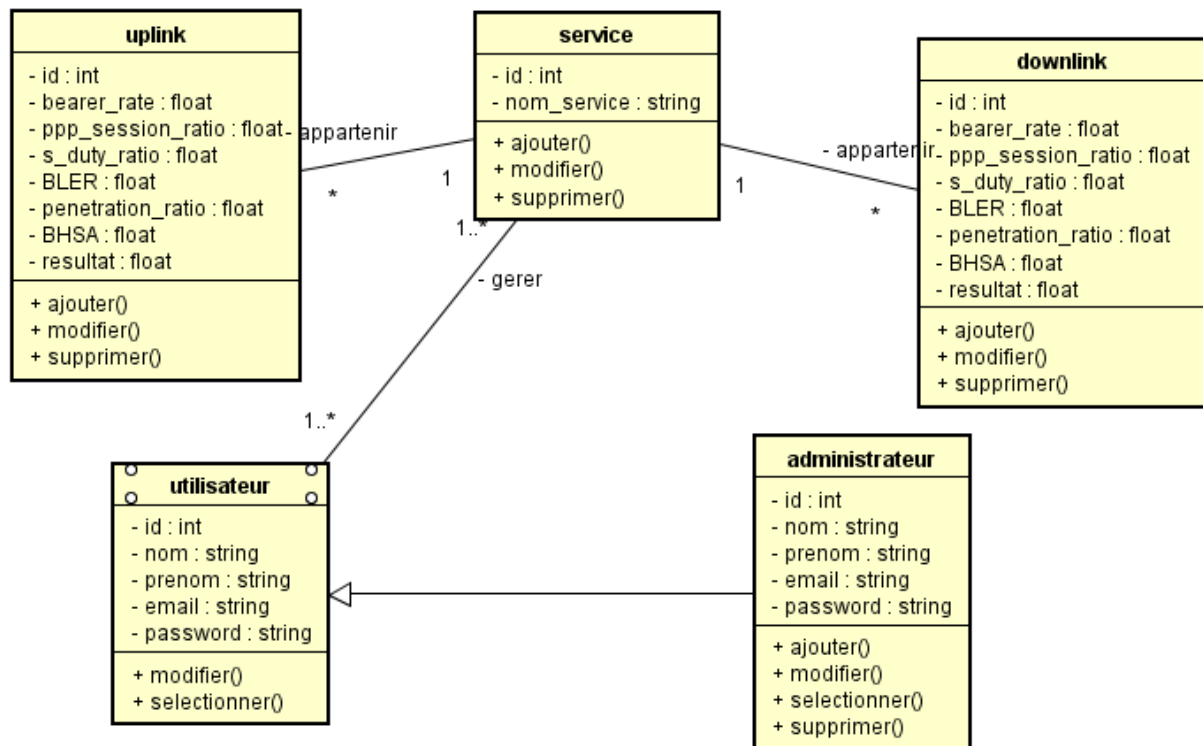


Figure 44 : diagramme de classe

2.5. Environnement logiciel utilisé

Pour la mise en œuvre de l'application nous avons utilisé différents outils, langages de programmation et Framework.

2.5.1. HTML (Hyper Text Markup Language)



Le langage HTML permet d'afficher au travers d'un navigateur le contenu d'une page web tel que du texte, des images. Il permet par défaut l'affichage des éléments du contenu de la page Web (sans ajout de plugin) au travers d'un navigateur [25]

2.5.2. CCS (Cascading Style Sheet)



La mise en forme du contenu d'une page web au travers d'un navigateur peut se faire de façon rudimentaire avec le langage HTML, mais aussi de façon plus élaborée avec le langage CSS. Concernant la mise en forme, la mise en page (placement des éléments, colorisation), le langage CSS nous permet de fixer

Les règles de mise en page (style des titres des paragraphes, des liens, etc) pour la page Web [25].

2.5.3. JavaScript



C'est un langage de programmation de scripts, qui est un programme dont le code source est inclus dans un document HTML. Le programme est interprété et s'exécute sur la machine du client lorsque le document est chargé ou lors d'une action de l'utilisateur (clic ou déplacement du curseur par exemple)

2.5.4. PHP (PHP HyperText Preprocessor)



C'est un langage de programmation libre, principalement utilisé pour produire une page web dynamique via un serveur HTTP, mais pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale.

2.5.5. Bootstrap



C'est une collection d'outils utiles à la création du design (graphisme, animation et interactions avec la page dans le navigateur, etc.) des sites et d'applications web.

C'est un ensemble qui contient des codes HTML et CSS, des formulaires, boutons, outils de navigation et autres éléments interactifs, ainsi que des extensions JavaScript en option. C'est l'un des projets les plus populaires sur la plate-forme de gestion de développement GitHub¹⁰

2.5.6. Sublime Text



C'est un éditeur de texte générique codé en C++ et Python, disponible sur Windows, Mac et Linux. Le logiciel a été conçu tout d'abord Pour Vim, riche en fonctionnalités. Depuis la version 2.0, sortie le 26 juin 2012, l'éditeur prend en charge 44 langages de programmation majeurs, tandis que des plugins sont souvent disponibles pour les langages plus rares.

2.5.7. WampServer



WampServer est une plateforme de développement Web, permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. WampServer n'est pas en soi un serveur (Apache et MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi que PhpMyAdmin pour l'administration Web des bases de données MySQL.

2.5.8. Edrawmax



C'est un logiciel polyvalent de dessin et de conception d'architectures réseaux diagrammes, avec des caractéristiques qui le rendent parfait pour éditer des composants dans un style très professionnel.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait évoluer l'accès LTE notamment vers la LTE-Advanced et vers le Cloud-RAN. Nous avons établi les différentes formules pour le calcul des capacités. Avec la multiplicité des formules et de paramètres nécessaires nous avons fait une modélisation UML. En fin de chapitre nous avons présenté l'environnement logiciel et outils nécessaires pour la mise en œuvre d'une application conforme à notre modélisation. Dans le chapitre suivant nous présenterons les différents résultats et commentaires.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET COMMENTAIRES

Dans ce chapitre nous présentons les différents résultats obtenus suite à la modélisation. L'objectif étant de faire une étude de la compatibilité du réseau existant de CAMTEL pour une évolution et migration vers les nouveaux concepts.

3.1. Présentation de l'application.

Nous avons donné comme nom à notre application « BHDim » qui signifie Backhauling Dimensionning en référence au backhauling qui est un ensemble constitué du fronthaul et du backhaul et l'application permet une détermination des capacités des liens backhaul pour la LTE-Advanced et liens fronthaul pour les différentes configurations Cloud-RAN.

3.1.1. Architecture de l'application

L'architecture de l'application est donnée à la figure suivante.

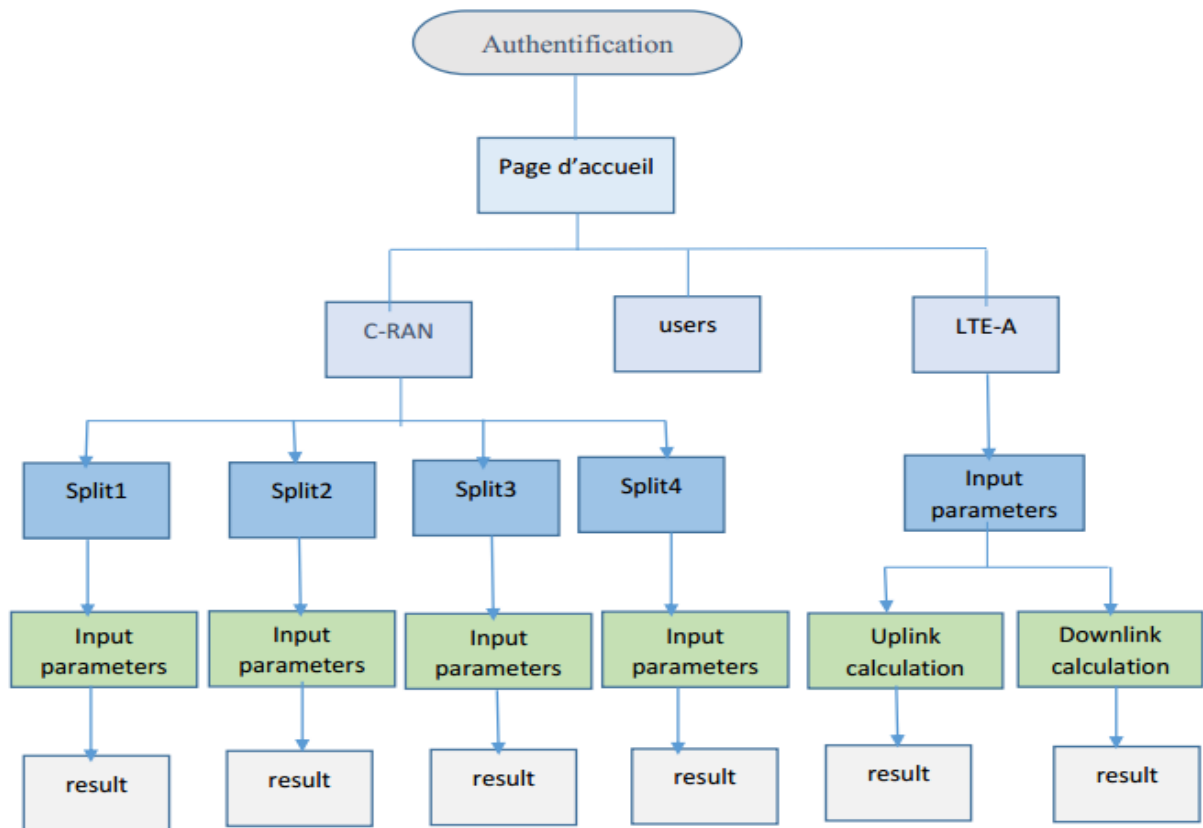


Figure 45: Architecture de l'application

3.1.2. Page d'authentification

La page d'authentification est la première page de l'application qui sert à authentifier toute personne voulant accéder à l'application. Comme présentée dans le diagramme de cas d'utilisation, toute opération dans l'outil doit être précédée d'une authentification. Sans authentification, on ne peut avoir accès à l'application.

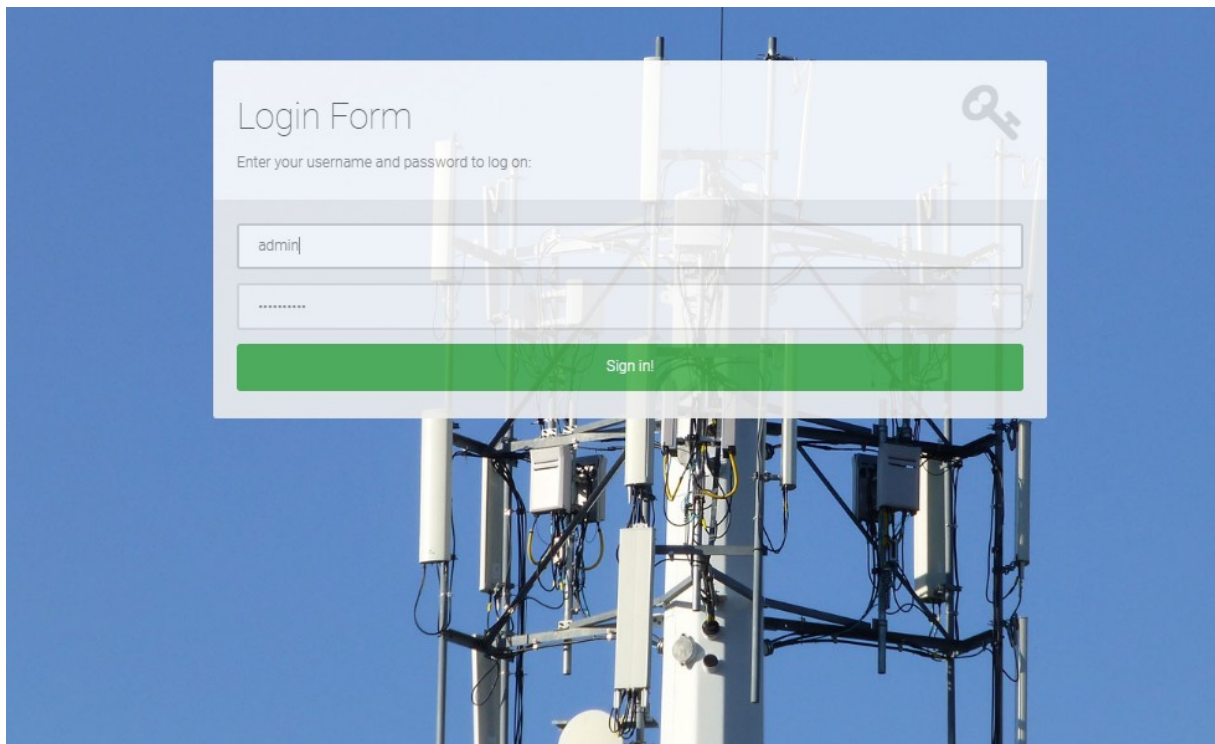


Figure 46: Page d'authentification de l'application

La légende associée à la figure :

- ✓ (1) : Entrer son nom d'utilisateur pour authentification
- ✓ (2) : Entrer son mot de passe
- ✓ (3) : Valider pour se connecter

3.1.3. Page d'accueil

La page d'accueil se présente comme suit :

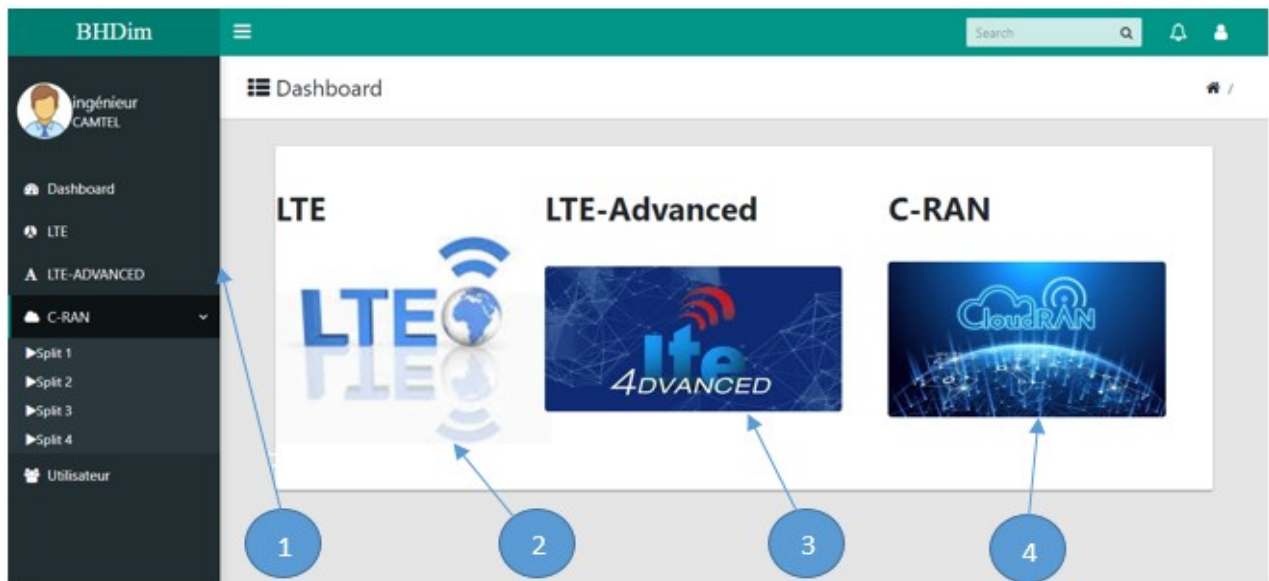


Figure 47 : Page d'accueil de l'application

La légende associée à la figure ci-dessus est la suivante :

- ✓ (1) : La barre de navigation avec ses différents menus et sous menu
 - Le dashboard
 - Le menu LTE
 - Le menu LTE-Advanced
 - Le menu C-RAN
 - Split1
 - Split2
 - Split3
 - Split4
- ✓ (2) : Point d'accès au module LTE
- ✓ (3) : Point d'accès au module LTE-Advanced pour effectuer le dimensionnement de lien backhaul.
- ✓ (4) : Point d'accès au module C-RAN pour la détermination des capacités du lien fronthaul suivant les différents modèles de fragmentation.

3.1.4. Onglet de dimensionnement de la capacité « LTE-A »

Dans cet onglet l'ingénieur accrédité peut effectuer le dimensionnement. Lorsqu'on clique sur le menu LTE-A du point d'accès on se dirige vers l'interface suivante :

Figure 48: Choix du type d'agrégation et le nombre de porteuse et d'antenne

Dans cette interface l'ingénieur doit insérer plusieurs paramètres qui sont nécessaires pour le calcul de la capacité de la cellule. Cependant, dans notre cas quelques-uns seulement nous intéressent car notre objectif principal ici c'est de déterminer la capacité d'un lien. Nous allons donc sélectionner les paramètres (1), (2) et (3) qui correspondent :

- ✓ (1) : Au type d'agrégation. On en distingue trois (03) présentées au chapitre 2 à savoir :
L'agrégation intraband contiguë, l'agrégation intraband non contiguë et l'agrégation interband non contiguë. Nous avons choisi travailler avec l'interband car CAMTEL utilise pour la LTE deux fréquences 1800 et 2100MHz.
- ✓ (2) : Nombre de sous porteuses utilisées (Carrier Component). On peut utiliser au maximum cinq (05) Carrier Component simultanément. Ici nous avons choisi utiliser deux (02).
- ✓ (3) : Ordre MIMO. C'est le nombre d'antennes utilisés

Ces différentes informations sont enregistrées et pris en compte à l'étape suivante. Le bouton (4) permet de passer à la page suivante qui permet l'utilisation des modèles de service.

3.1.4.1. Utilisation des modèles de services

Après avoir sélectionné les paramètres utilisés à la partie 3.2.4 ci-dessus, en cliquant sur suivant, on obtient l'interface ci-dessous :

The screenshot shows the 'LTE Service Model' interface. At the top left, there is a button 'Ajouter un service' (Add a service) labeled with a blue circle 2. Below it, a table lists various services. The first column has checkboxes, with the first three (VoIP, Video_Phone, Video_Conference) checked, labeled with a blue circle 1. The table has columns for service name, Bearer rate (Kbps), PPP Session Time (s), PPP Session Duty ratio, BLER, and then a duplicate set of these columns. The last column is 'option', with each row having a blue circle 3 icon. At the bottom left, there is a 'continuer' button labeled with a blue circle 4. A search bar is at the top right, and a 'Showing 1 to 10 of 10 entries' message is at the bottom.

	service	Bearer rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty ratio	BLER	Bearer rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty ratio	BLER	option
<input checked="" type="checkbox"/>	VoIP	26.9	80	0.4	0.01	26.9	80	0.4	0.01	
<input checked="" type="checkbox"/>	Video_Phone	62.53	70	1	0.01	62.53	70	1	0.01	
<input checked="" type="checkbox"/>	Video_Conference	62.53	1800	1	0.01	62.53	1800	1	0.01	
<input checked="" type="checkbox"/>	Real_Time_Gaming	31.26	1800	0.2	0.01	125.06	1800	0.4	0.01	
<input checked="" type="checkbox"/>	Streaming_Media	31.26	3600	0.05	0.01	250.11	3600	0.95	0.01	
<input type="checkbox"/>	IMS_Signalling	15.63	7	0.2	0.01	15.63	7	0.2	0.01	
<input type="checkbox"/>	Web_Browsing	62.53	1800	0.05	0.01	250.11	1800	0.05	0.01	
<input type="checkbox"/>	File_Transfer	140.69	600	1	0.01	750.34	600	1	0.01	
<input type="checkbox"/>	Email	140.69	50	1	0.01	750.34	15	1	0.01	
<input type="checkbox"/>	File_sharing	250.11	1200	1	0.01	750.34	1200	1	0.01	

Figure 49: sélection des services

Cette interface présente les modèles de services utilisés dans la zone. Nous avons choisi de les afficher par défaut pour ne pas avoir à les saisir à chaque fois. La légende associée est la suivante :

- ✓ (1) : Bouton pour sélectionner les services utilisés
- ✓ (2) : Bouton pour ajouter des services
- ✓ (3) : Option permettant de modifier les paramètres ou supprimer un service
- ✓ (4) : Bouton continuer pour aller à l'interface suivante.

On peut ainsi calculer les débits pour les différents services.

3.1.4.2. Débit par service et considération du modèle de trafic

Les débits des différents services sont calculés et ensuite on tient compte du modèle de trafic de la zone considérée. L'interface ci-dessous permet de présenter le résultat.

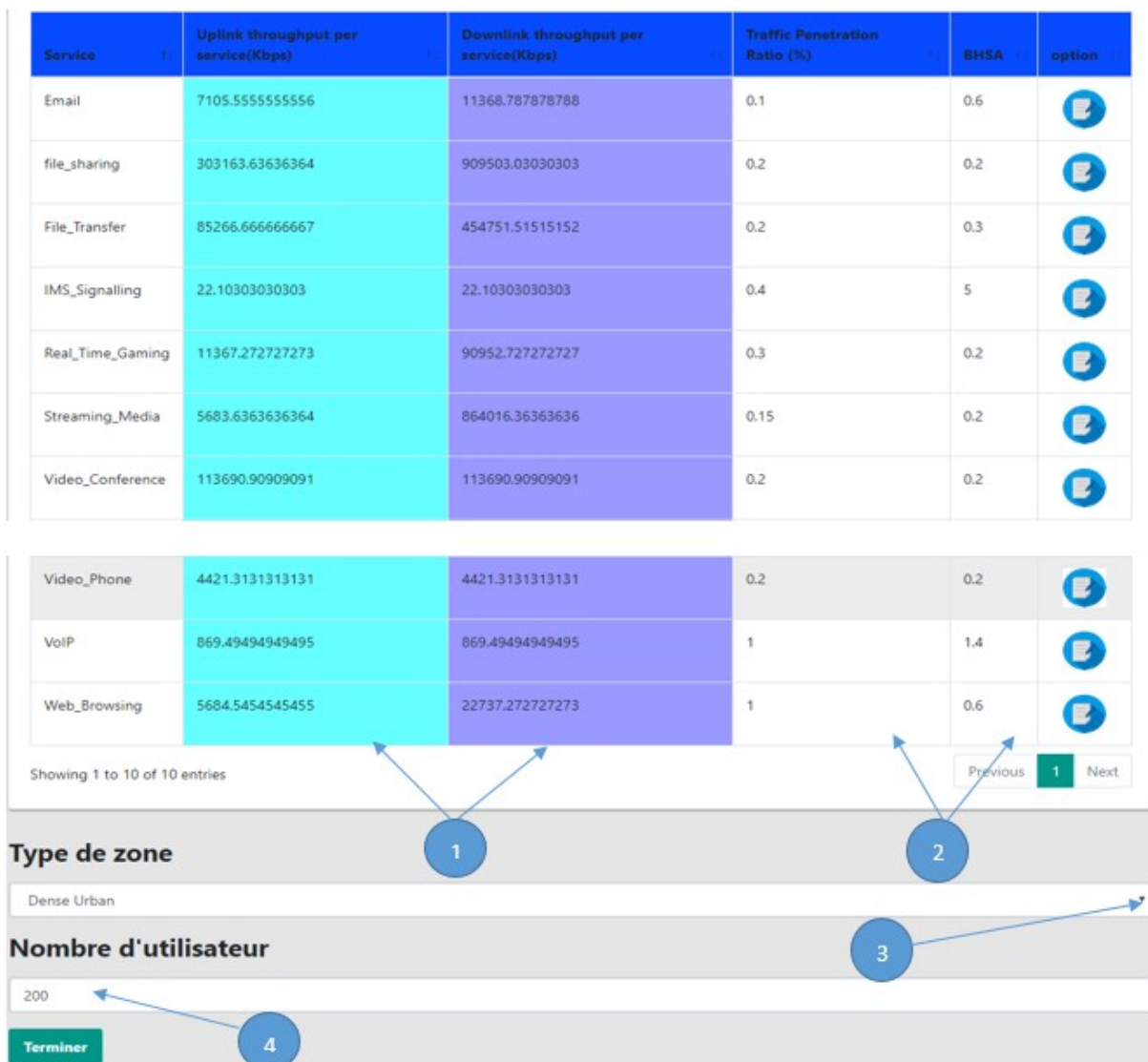


Figure 50: Débit par service et model de trafic

Légende associée :

- ✓ (1) : Résultats des débits pour chaque service en Uplink et en Downlink
- ✓ (2) : Paramètres du modèle de trafic de la zone
- ✓ (3) : Choix du type de zone. On distingue les zones denses urbaines, urbaines, suburbaines et rurales.
- ✓ (4) : Entrer le nombre d'utilisateur pouvant se connecter sur un site

3.1.4.3. Débit traversant un lien physique

Sur l'interface ci-dessous sont présentés les résultats finaux des débits

Show 10 entries Search:

1	Single user average throughput(Kbps)	Site Throughput IP(Mbps)	Site Throughput (MAC layer)(Mbps)	option
Downlink	179.43853737374	35.046589330808	35.747235139543	
Uplink	43.428216835017	8.4820736005892	8.6516458594341	

Figure 51 is a screenshot of a network performance monitoring interface. It features a table with four columns: 'Single user average throughput(Kbps)', 'Site Throughput IP(Mbps)', 'Site Throughput (MAC layer)(Mbps)', and 'option'. The table has two rows: 'Downlink' and 'Uplink'. The 'Downlink' row shows values of 179.43853737374, 35.046589330808, and 35.747235139543. The 'Uplink' row shows values of 43.428216835017, 8.4820736005892, and 8.6516458594341. The table is highlighted with a red border. Three callouts are present: (1) points to the 'Single user average throughput(Kbps)' column, (2) points to the 'Site Throughput IP(Mbps)' column, and (3) points to the 'Site Throughput (MAC layer)(Mbps)' column. The interface also includes a 'Show 10 entries' dropdown and a 'Search:' input field.

Figure 51 : Débit traversant un lien physique

Legende associée :

- ✓ (1) : Presente le débit reseau pour un seul utilisateur.
- ✓ (2) : Presente le debit reseau pour tous les utilisateurs connectés sur le même site
- ✓ (3) : Presente le debit réel traversant un lien physique de transport

Les tableaux suivants présentent les récapitulatifs des résultats de calcul des capacités traversant le lien physique pour un site en uplink et en downlink pour différentes configurations d'agrégation de porteuse.

Nombre de CC \ MIMO	MIMO		
	2x2	4x4	8x8
2	35.7472	71.4944	142.9888
3	53.6208	107.2416	214.4832
4	71.4944	142.9888	285.9776
5	89.368	178.736	357.4272

Tableau 8: Capacité en downlink(Mbps) pour différentes configurations d'agrégation de porteuse.

<div>MIMO</div> <div>Nombre de CC</div>	2x2	4x4	8x8
2	8.6516	17.3032	34.6064
3	12.9774	25.9548	51.9096
4	17.3032	34.6064	69.2128
5	21.629	43.258	86.512

Tableau 9 : Capacité en uplink(Mbps) pour différentes configurations d'agrégation de porteuse.

NB : Ici nous considérons uniquement la porteuse à 20 MHz et nous prenons 200 comme nombre d'utilisateur pouvant se connecter sur une station de base.

3.1.5. Etude de l'incidence de l'évolution de l'accès LTE vers la LTE-Advanced sur le réseau de la CAMTEL.

3.1.5.1. Niveau physique

D'après les résultats des tableaux ci-dessus nous pouvons remarquer que le débit en downlink pour une agrégation à deux porteuses avec deux antennes est d'environ 35.7572 Mbps et le débit maximal envoyé dans le lien dans le cas de cinq porteuses et huit antennes est d'environ 357.4272Mbps. Les liens utilisés dans le réseau de CAMTEL comme présentés au chapitre 1 sont de types FastEthernet jusqu'au 10GigaEthenet correspondant aux interfaces offertes par les équipements utilisés par l'équipementier HUAWEI dans ce réseau.

Pour une évolution vers la LTE-Advanced le lien fastethernet entre EnodeB et ATN910I nécessite d'être remplacé par des liens GE. Au niveau de l'ATN950B on avait une possibilité d'agrégation de 24 liens maximums correspondant à 24 eNodeBs, et le l'interface de transfert de données vers le NE40X étant de 10GE on peut conclure niveau physique (équipements et liens) que le réseau actuel peut supporter une évolution vers LTE-A.

3.1.5.2. Niveau logique

Les solutions logiques (protocoles et services) implémentés par HUAWEI sur les équipements pourront être conservés. Par contre, au niveau des EnodeBs les RRCs (contrôle de ressource radio) doivent être réadapté afin d'assurer l'interfaçage des signaux provenant des différentes porteuses.

3.1.6. Onglet dimensionnement de la capacité « C-RAN »

Dans la page d'accueil en cliquant sur l'onglet C-RAN on a plusieurs champs de dimensionnement qui correspondent aux différentes possibilités de déploiement du Cloud-RAN.

3.1.6.1. Onglet de calcul pour le split 1

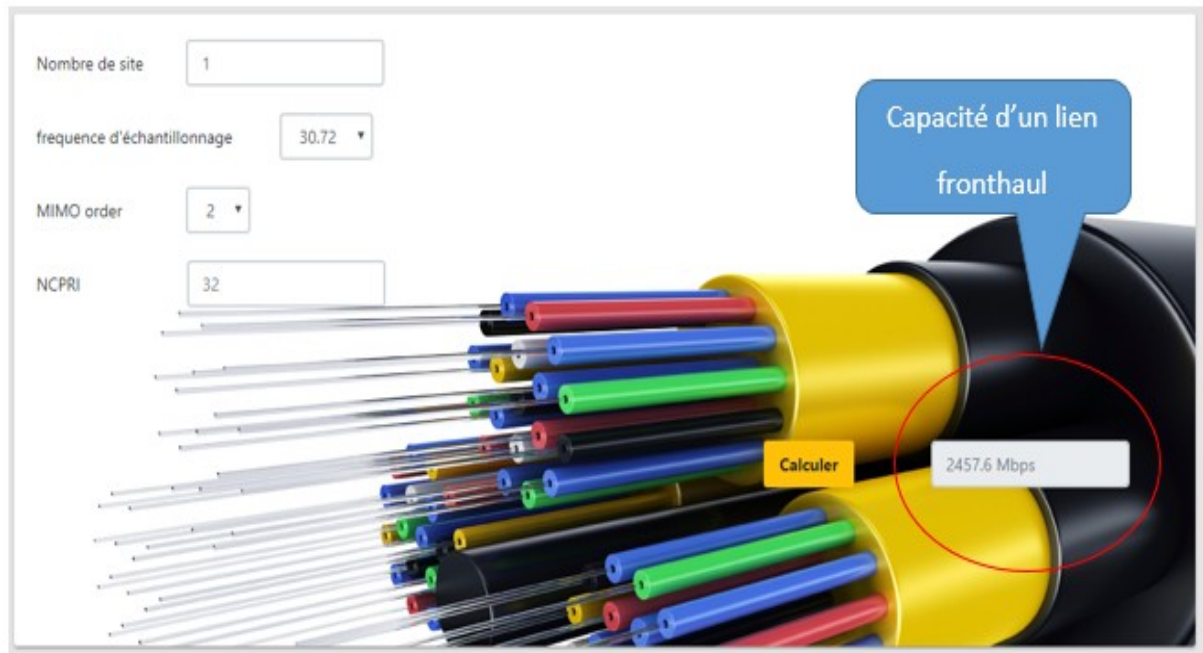


Figure 52 : Interface pour le calcul split1

Pour la LTE avec porteuse à 20 MHz nous obtenons après le calcul une capacité de lien de valeur 2457.6 Mbps.

3.1.6.2. Onglet de calcul pour le split2

The screenshot shows a web-based calculation interface for LTE fronthaul capacity. It features a background image of a radio tower. On the left, there are five input fields with labels: 'Nombre de site' (1), 'NRB par sous-porteuse' (12), 'NRB par utilisateur' (100), 'N inphase/quadrature' (32), and 'Nombre d'antenne (MIMO order)' (2). A yellow 'Calculer' button is positioned below these fields. On the right, a speech bubble indicates the 'Capacité du lien fronthaul' with the result '1075.1784964301 Mbit/s'.

Figure 53: interface de calcul split2

Pour la LTE avec porteuse à 20 MHz nous obtenons après le calcul pour le split2 une capacité de lien de valeur 1075.178 Mbps.

Le tableau récapitulatif des résultats de calcul de capacité pour les différents modèles de déploiement Cloud-RAN est présenté ci-dessous.

Modèle architectural	Capacité fronthaul requise
Split 1	2457.6Mbps = 2.5Gbps
Split 2	1075.1784Mbps =1.05Gbps
Split 3	173.2Mbps
Split 4	152.2Mbps

Tableau 10: Capacité requis par un lien fronthaul pour une BS LTE MIMO 2x2 à 20MHz

Nous remarquons d'après ces résultats que plus les fonctions sont décentralisées du pool/hôtel vers la tête radio RRH plus la capacité des liens fonthaul diminue.

3.2. Etude de la compatibilité du réseau LTE actuel de la CAMTEL pour une migration C-RAN

Le modèle déploiement qui sera adopté ici pour notre solution est celui dont toutes les fonctions sont centralisées dans un pool (split1) car il offre le plus de flexibilité, d'évolutivité et de simplicité. C'est ce modèle que nous avons adopté pour notre solution.

3.2.1. Solution physique.

Comme montré au chapitre1, le backhauling mobile de la CAMTEL est constitué des équipements tels que : l'ATN 910I, l'ATN950B, le NE40X3, NE40X8...

Les liaisons entre ces équipements sont faites par la fibre optique et les liens entre l'ATN910I et L'ATN950B sont du type FE/GE. Les liens entre l'ATN950B et le NE40X3 ou NE40X8 sont de type 10G.

En considérant le modèle de déploiement avec le split1, nous avons vu que pour la LTE avec porteuse à 20MHz et le MIMO 2x2 le lien fronthaul nécessite une capacité d'environ 2.5Gbps on voit ainsi que pour une migration vers le C-RAN ce qui pourra changer dans ce réseau se sont :

- ❖ Le type de lien, on devra remplacer la fibre actuelle par une autre de capacité plus élevée. 10 G par exemple pour le lien fronthaul et la fibre à 20 ou 40G pour les liens Backhaul en fonction du nombre de stations connectées sur le pool...
- ❖ Les équipements tels que l'ATN910I ET l'ATN950B seront retiré au profit d'une centralisation des BBU dans les pools

En se basant sur le réseau actuel, l'architecture solution de migration proposée dans le cas de la ville de Yaoundé pour une expansion des BS est la suivante :

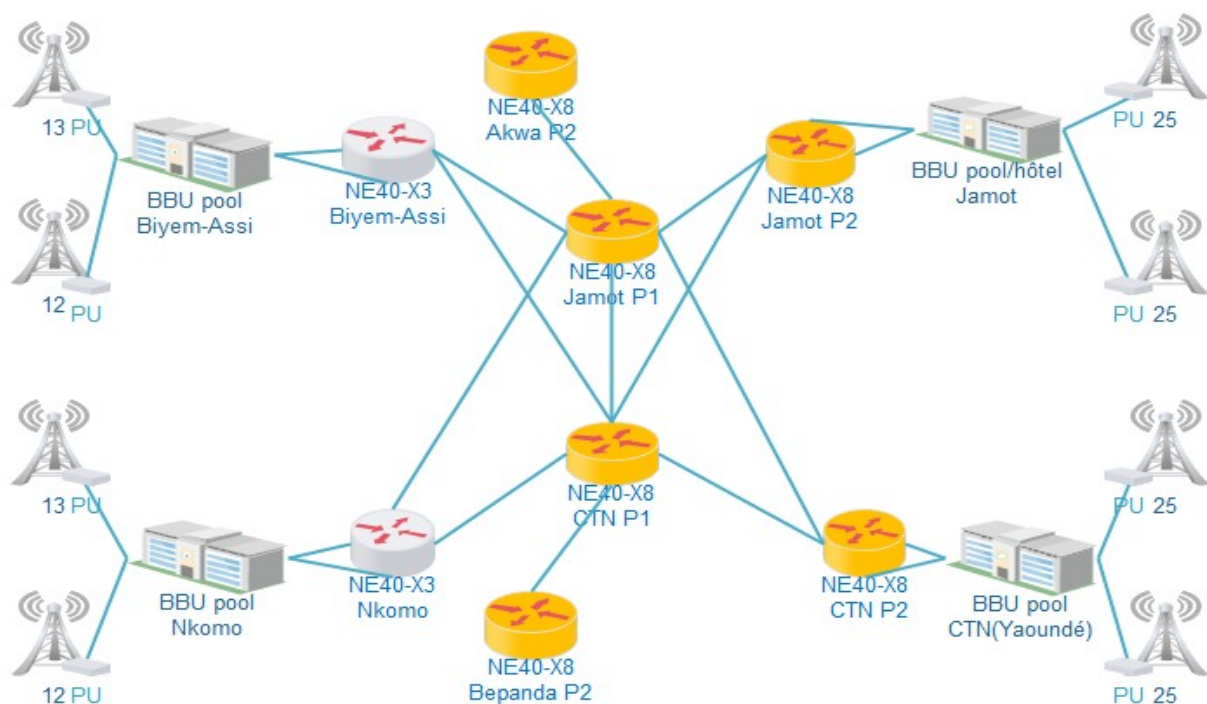


Figure 54: Regroupement par pool/hôtel BBU pour la ville de Yaoundé.

Dans cette solution nous proposons des redondances de liaison entre le pool/hôtel et les routeurs du cœur car l'utilisation d'un seul lien peut être considérée comme une faiblesse dans la mesure où en cas de rupture, toutes les stations de bases qui sont connectées sur ce pool seront hors service.

Pour les stations de base des zones éloignées comme Nkolbison par exemple, on pourra adopter une solution basée sur le 10 GPON (10 GPassive Optical Network) qui consiste à utiliser des équipements passifs pour le transport vers le pool. L'architecture est donnée ci-dessous.

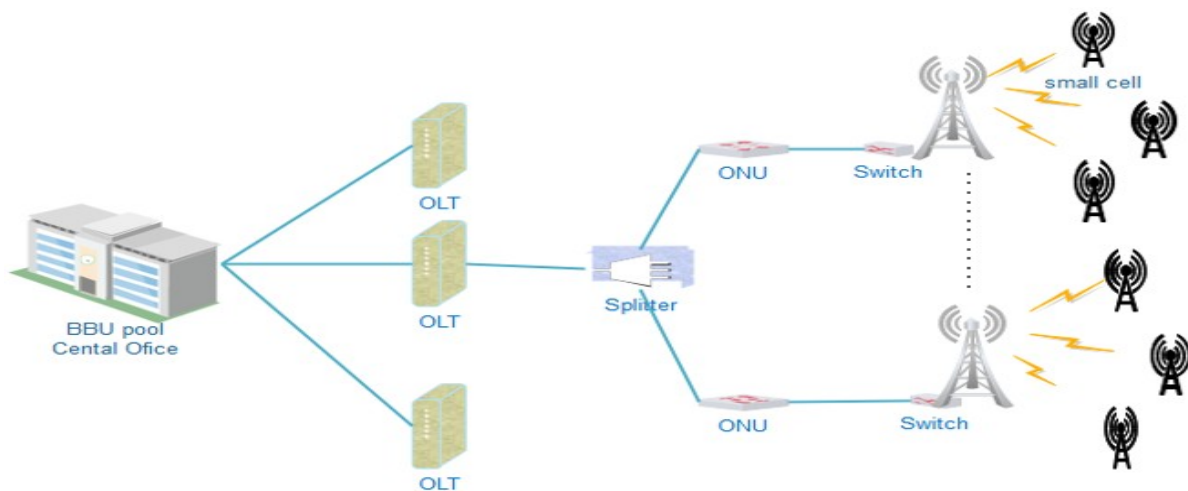


Figure 55: Solution de regroupement pour les sites éloignés du CO

3.2.2. Solution logique.

Les solutions logiques étudiées au chapitre 1 à savoir les protocoles de routage intérieur IGP, extérieur BGP et de signalisation seront conservées du fait de l'utilisation des NE40X qui supportent bien ces protocoles et les différents services tels que le VPN et autres.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats issus de la modélisation et du dimensionnement LTE-A et C-RAN. Nous avons proposé une solution de déploiement C-RAN à partir du réseau existant. Il en ressort que pour une migration du réseau LTE de CAMTEL vers le Cloud-RAN les exigences seront très élevées au niveau physique car la demande de capacité pour le transport est très élevée. Par contre au niveau logique les solutions déjà existantes pourront être conservées.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail portait sur la solution du Backhauling mobile pour le réseau de CAMTEL et étude de la compatibilité pour une migration vers le C-RAN. Tout d'abord nous avons fait un état de lieu du réseau actuel de la CAMTEL, où nous avons étudié les solutions tant physiques que logiques utilisées par l'équipementier HUAWEI dans ce réseau. Grâce au concept d'agrégation des porteuses, nous avons fait un dimensionnement en capacité de la LTE-A et une étude des modèles de déploiement du C-RAN nous a également permis de faire un dimensionnement en capacité des liens fronthauls. Ensuite une modélisation UML nous a aidés à réaliser une application utile pour ces dimensionnements. L'utilisation des paramètres appropriés dans notre application nous a conduits aux résultats des capacités requises par le backhaul et le fronthaul pour ces nouveaux réseaux. Ces résultats nous ont permis de faire une étude de compatibilité du réseau actuel de la CAMTEL pour une migration vers ces nouveaux concepts. Enfin Une solution architecturale basée sur l'infrastructure existante, offrant plus de flexibilité, d'évolutivité et de simplicité a été proposée.

Au terme de ce travail, il en ressort que le réseau actuel de la CAMTEL est apte à supporter une évolution vers la LTE-A sous quelques modifications près.

Pour une migration du réseau LTE de CAMTEL vers le Cloud-RAN les exigences seront très élevées au niveau physique car la demande de capacité pour le transport est très élevée. Par contre au niveau logique les solutions déjà existantes pourront être conservées.

En guise de perspectives nous envisageons tout d'abord améliorer notre application pour une prise en charge de la planification des nouveaux réseaux. Ensuite de faire une optimisation en tenant compte des coûts nécessaires pour les futurs déploiements.

REFERENCES

- [1] Hervé LE BRIS - EFORT « Backhauling » <http://www.efort.com>. 25 avril 2010
- [2] M. Alvarez, F. Jounay, T. Major, P. Volpato, «*LTE backhauling deployment scenarios*», NGMN Alliance, 2011
- [3] Narindra Ny Aina, « méthode de calcul de la capacité du backhaul network pour les réseaux hétérogènes » mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master, université d'Antananarivo, mars 2015
- [4] HUAWEI, « CAMTEL LTE Network and transmission Solution Design», 2015
- [7] Meryeme FILALI, « Solution du backhauling mobile d'ALCATEL LUCENT pour son client MAROC télécom », mémoire de fin d'étude ENSA MAROC 2011
- [8] Stefania Sesia, Issam Toufik, and Matthew Baker, « *LTE-the UMTS long term evolution* », Wiley Online Library, 2015.
- [9] Yannick Bouguen, Eric Hardouin, Alain Malo Berti, and François-Xavier Wolff. « *LTE et les reseaux 4G* ». Editions Eyrolles, 2012.
- [10] Dr. Sameh NAJEH, « cours techniques d'accès OFDMA CDMA » SUP'PTIC 2018
- [11] Pr Houda KEDHER, « cours évolution et migration vers la 4G » SUP'PTIC 2018
- [12] Alcatel Lucent, « backhaul considerations for LTE and LTE-Advanced », 2013
- [13] Ioana-Elena Pușcaș, « Carrier Aggregation in LTE-Advanced », Volume 59(73), Issue 1, 2014
- [14] Dharma Winata Saputra, Uke Kurniawan Usman, Linda Meylani, « Planning LTE-Advanced Using Carrier Aggregation Intra-Band Non-Contiguous and Inter-Band Non-Contiguous Method », Telkom University, Bandung, Indonesia Mobile Communication Laborator, 2015
- [15] Iqbal Tawakal, Heroe Wijanto, Hafidudin, « analisis perencanaan jaringan lte multi-rat umts existing study kasus di kota bandung », e-Proceeding of Engineering: Vol.3, No.2 Agustus 2016

- [16] Yonghua Lin, Ling Shao, Zhenbo Zhu, Qing Wang, and Ravie K Sabhikhi. Wireless network cloud: Architecture and system requirements. *IBM Journal of Research and Development*, 54(1) :4–1, 2010.
- [17] China Mobile, “C-RAN, The Road Towards Green RAN”, ver, 2, 2011.
- [18] Supratim Deb, Pantelis Monogioudis, Jerzy Miernik, and James P Seymour. Algorithms for enhanced inter-cell interference coordination (eicic) in lte hetnets. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 22(1) :137–150, 2014.
- [19] Yuan Huiyu, Zheng Naizheng, Yan Yuyu, and Peter Skov. Performance evaluation of coordinated multipoint reception in crn under lte-advanced uplink. In *Communications and Networking in China (CHINACOM), 2012 7th International ICST Conference on*, pages 778–783. IEEE, 2012
- [20] Fozin Fonzin Théophile, ‘Développement d’une plateforme pour l’optimisation et la migration du réseau de CAMTEL vers l’architecture Cloud-RAN’’, mémoire de fin d’étude en vue de l’obtention du diplôme d’ingénieur des télécommunications’’ *ENSPT* 2016.
- [21] Checko, A., Christiansen, H. L., Yan, Y., Scolari, L., Kardaras, G., Berger, M. S., & Dittmann, L. (2014). “Cloud RAN for Mobile Networks - a Technology Overview’’, *IEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(1), 405-426.
- [22] Huajun Wang, “ Interplay between capacity and energy consumption in C-RAN transport network design’’, Master Thesis Stockholm, Sweden 2016
- [23] Huajun Wang, M. M. Aftab Hossain, and Cicek Cavdar, “ Cloud RAN Architectures with Optical and mm-Wave Transport Technologies’’, *Communication Systems Department, KTH Royal Institute of Technology, Kista, Sweden. 2017*
- [24] Jialong Duan*, Xavier Lagrange* and Frédéric Guilloudy, “ Performance Analysis of Several Functional Splits in C-RAN’’, Networks, Security and Multimedia Department Signal and Communications Department Télécom Bretagne 2017.

WEBOGRAPHIE

[5] <http://hongtelecom.blogspot.com/2018/01/huawei-atn-series-routers-atn910i.html> visiter le 21/09/2018 à 9h

[6] <https://www.sdxcentral.com/products/atn910-series-cell-site-router-csr/> visiter le 22/09/2018 à 15h

[25] <https://www.imedias.pro/cours-en-ligne/programmation/specificites-des-langages-web/principaux-langages-web-roles/> visité le 29/10/2018 à 11h