

# MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du

## **Diplôme de mastère professionnel**

«Nouvelles Technologies des Télécommunications et Réseaux (N2TR)»

Présenté par :

**Lamia CHIH**

# **Migration d'un réseau mobile 3G vers le 4G**

**Réalisé à Tunisie Telecom**

Soutenu le : .....

Devant le jury :

Président : Mr.(Mme.).....

Encadreur : Mr Professeur Ezzeddine Ben Braik .

Rapporteur : Mr.(Mme.).....

Membre : Mr.(Mme.).....

Année Universitaire : 2014 /2015



## ***Dédicaces***

*Je dédie humblement ce travail :*

*A Dieu le tout puissant, mon créateur.*

*A mes très chers parents pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour mon instruction et mon bien être. Je les remercie pour tout le soutien et l'amour qu'ils me portent depuis mon enfance et j'espère que leur bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de leurs vœux tant formulés, le fruit de leurs innombrables sacrifices, bien que je ne les en acquitterai jamais assez.*

*A celui qui a su m'aimer, me supporter (dans les deux sens du terme), mon très cher mari Elies en témoignage de son amour et de son affection. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun et serein parcours et que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.*

*A mes chers enfants Anouar, Aroua et Mohamed Amine.*

*A tous les membres de ma famille. Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.*

*Et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce projet dans les meilleures conditions.*

*Je tiens, tout d'abord, à remercier le professeur **Ezzedin Ben Braiek**, mon encadreur durant mon Stage de PFE, et de m'avoir fait bénéficier de ces conseils et de son expérience.*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur **Jalel khédiri** pour son soutien et ses recommandations judicieuses.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à toute l'équipe de la direction des plateformes Core Management de **Tunisie Telecom** et spécialement **Monsieur Imed Toumi** et **Monsieur Mondher Ellouze** pour leurs aides précieuses.*

*J'acquiesce, enfin, volontiers d'un devoir de gratitude et de remerciements à tous mes enseignants de l'UVT et spécialement pour la qualité de l'enseignement qu'ils ont bien voulu nous prodiguer durant cette formation de master en Nouvelles Technologies de Télécommunications et réseaux.*

## ***Résumé***

Ce projet de fin d'études vise à réaliser un outil de planification d'un réseau mobile, à travers un processus itératif composé de plusieurs phases, présentant chacune un degré de complexité différent. Le sous-problème qui est traité concerne l'affectation des cellules aux commutateurs. Ce problème consiste à déterminer un patron d'affectation qui permet de minimiser le coût d'investissement des équipements du réseau 4G, tout en maximisant l'utilisation des équipements du réseau 3G déjà en place.

La performance du modèle à développer sera évaluée au moyen d'une méthode heuristique basée sur la recherche avec tabou. Pour adapter l'heuristique au problème d'affectation dans les réseaux 4G, des mouvements de réaffectation et de déplacement des nœuds eNodeB et SGSN doivent être définis.

Par ailleurs, notre travail consiste à déterminer à partir des schémas d'affectation, la topologie d'interconnexion qui permet de réduire les coûts du réseau et le nombre d'opérations de mise à jour engendrées par les relèves. A cet effet, le problème d'affectation est divisé en deux sous-problèmes : l'affectation des nœuds du réseau 4G et l'affectation des nœuds du réseau 3G+ au réseau 4G afin d'optimiser le coût de la planification, ce coût dépendra des coûts de liaisons des équipements du réseau 4G, des coûts de liaisons inter-réseaux, des coûts de relèves horizontales (intra réseau 4G) et des coûts de relèves verticales (inter-réseau 3G-4G).

Ce projet regroupe donc les modules suivants :

Description de l'architecture de réseau 3G, les caractéristiques, les fonctionnalités de chaque entité de ce réseau ainsi que les limites UMTS et surtout la nécessité de migrer vers le réseau 4G, tout en visant l'étude du problème d'affectation des équipements de réseau 4G au réseau 3G+ existant avec un coût minimum.

Une étude conceptuelle de l'outil de planification qui se compose d'un diagramme de classe et un diagramme d'état-transition.

L'adoption de la recherche tabou au problème d'affectation des équipements de réseau 4 G au réseau 3 G+ existant avec un coût minimum et implémenter ce dernier.

Enfin les tests pour montrer la fiabilité de cette recherche.

**Mots clés** : UMTS, 4G, recherche Tabou, coût.

# Table des matières

<b>DEDICACES</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>III</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	<b>XV</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : CADRE DU PROJET</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>1. CADRE DU PROJET</b> .....	<b>4</b>
<b>2. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL</b> .....	<b>4</b>
2.1. PRESENTATION GENERALE .....	<b>4</b>
2.2. ORGANISATION FONCTIONNELLE .....	<b>5</b>
2.3. ACTIVITES DE TUNISIE TELECOM .....	<b>5</b>
2.4. STRATEGIE DE TUNISIE TELECOM .....	<b>6</b>
2.5. PRESENTATION DU SERVICE D'ACCUEIL.....	<b>7</b>
<b>3. CONTEXTE DU PROJET</b> .....	<b>7</b>
3.1. PROBLEMATIQUE .....	<b>7</b>
3.2. OBJECTIFS DU PROJET.....	<b>8</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>8</b>
<b>CHAPITRE 2 : ETUDE DE L'EXISTANT</b> .....	<b>9</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>10</b>
<b>1. LES NOTIONS DE BASE DES RESEAUX 3 G</b> .....	<b>10</b>
1.1. DEFINITION.....	<b>10</b>
1.2. ARCHITECTURE GENERALE DU RESEAU 3G .....	<b>10</b>
1.2.1. <i>Le terminal utilisateur (UE)</i> .....	<b>11</b>
1.2.2. <i>Le réseau d'accès radio (UTRAN) :</i> .....	<b>11</b>
1.2.3. <i>Le réseau cœur (CN) :</i> .....	<b>12</b>
1.2.4. <i>Critiques de l'existant :</i> .....	<b>14</b>

<b>2.</b>	<b>EVOLUTION DU RESEAU 3G VERS 4G .....</b>	<b>15</b>
2.1.	3GPP RELEASE 99.....	16
2.2.	3GPP RELEASE 4.....	16
2.3.	3GPP RELEASE 5.....	17
2.4.	3GPP RELEASE 6(HSUPA).....	18
2.5.	3GPP RELEASE 7(HSPA) .....	19
2.6.	3GPP RELEASE 8.....	19
<b>3.</b>	<b>CARACTERISTIQUES DE RESEAU 4G .....</b>	<b>20</b>
3.1.	LTE ET SES PREDECESSEURS.....	20
3.2.	ARCHITECTURE DE LTE.....	22
3.3.	RESEAU D'ACCES 4G/LTE.....	23
3.3.1.	<i>L'interface X2.....</i>	<i>24</i>
3.3.2.	<i>L'interface S1.....</i>	<i>24</i>
3.3.3.	<i>Caractéristiques de EPS.....</i>	<i>24</i>
3.3.4.	<i>Les fonctionnalités de l'EPS : .....</i>	<i>25</i>
3.4.	eNODEB.....	26
3.5.	ENTITE MME.....	27
3.6.	ENTITE SERVING GW .....	28
3.7.	ENTITE PDN GW.....	28
3.8.	ENTITE HSS .....	29
3.9.	ENTITE PCRF .....	29
<b>4.</b>	<b>LA QUALITE DE SERVICE .....</b>	<b>30</b>
4.1.	LES SERVICES LTE.....	30
4.2.	EFFICACITE QOS.....	30
<b>5.</b>	<b>LES RESEAUX HETEROGENES (HETNET).....</b>	<b>31</b>
5.1.	LES NŒUDS DE RELAI.....	32
<b>6.</b>	<b>RESEAU MOBILE 5G :.....</b>	<b>33</b>
6.1.	L'EVOLUTION DE L'ARCHITECTURE RESEAU.....	33
6.2.	UNE AUTONOMIE DE LONGUE DUREE .....	34
6.3.	LE DEFI DE L'INTERNET DES OBJETS .....	34
6.4.	ENJEU DU COUT .....	35
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE 3 : AFFECTATION DES ENTITES 4G/LTE A UNE PLATEFORME 3G+ ET OPTIMISATION DE COUT 37</b>		
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>38</b>

<b>2.</b>	<b>ANALYSE DU MODELE MATHEMATIQUE .....</b>	<b>38</b>
<b>3.</b>	<b>METHODES DE RESOLUTION BASEES SUR DES HEURISTIQUES.....</b>	<b>39</b>
3.1.	RECUIT SIMULE .....	39
3.2.	ALGORITHMES GENETIQUES (AG).....	39
3.3.	LA RECHERCHE TABOU .....	39
3.4.	COMPARAISON DES DIFFERENTS ALGORITHMES.....	41
<b>4.</b>	<b>MODELISATION DU PROBLEME D’AFFECTATION .....</b>	<b>41</b>
4.1.	PROBLEME D’AFFECTATION : .....	41
4.1.1.	<i>Les relèves</i> .....	41
4.1.2.	<i>Relève horizontale simple</i> .....	42
4.1.3.	<i>Relève horizontale complexe</i> .....	42
4.1.4.	<i>Relève verticale simple</i> .....	43
4.1.5.	<i>Relève verticale complexe</i> .....	44
4.2.	METHODE D’ANALYSE .....	44
4.2.1.	<i>Les ensembles</i> .....	46
4.2.2.	<i>Les variables</i> .....	47
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>49</b>
	<b>IMPLEMENTATION TABOU .....</b>	<b>50</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>51</b>
<b>2.</b>	<b>ADAPTATION DE LA RECHERCHE TABOU AUX RESEAUX 4G .....</b>	<b>51</b>
2.1.	CONSTRUCTION DES SOLUTIONS INITIALES .....	51
2.2.	MEMOIRE A COURT TERME.....	55
2.2.1.	<i>Mouvements</i> .....	56
2.2.2.	<i>Calcul de gain</i> .....	56
2.2.3.	<i>Liste tabou</i> .....	58
2.2.4.	<i>Critère d'aspiration</i> .....	58
2.2.5.	<i>Fonction d'évaluation</i> .....	58
2.3.	MEMOIRE A MOYEN TERME.....	58
2.3.1.	<i>Les mouvements</i> .....	58
2.4.	MEMOIRE A LONG TERME .....	59
<b>3.</b>	<b>ETAPES DE L’IMPLEMENTATION .....</b>	<b>59</b>
<b>4.</b>	<b>ENVIRONNEMENTS MATERIEL ET LOGICIEL .....</b>	<b>62</b>
4.1.	CONCEPTION DE L’APPLICATION .....	62
4.1.1.	<i>Diagramme de classes</i> .....	62

<b>5. DIAGRAMME D'ETATS-TRANSITIONS .....</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>69</b>
<b>CHAPITRE 5 : TESTS ET VALIDATION.....</b>	<b>70</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>71</b>
<b>2. LES ENTREES/SORTIES DU PROGRAMME.....</b>	<b>71</b>
<b>3. ETUDE DES CAS :.....</b>	<b>72</b>
A. RESEAU 1.....	72
B. RESEAU 2.....	76
C. RESEAU 3.....	81
<b>4. ETUDE DE CAS (REGION DE ARIANA) .....</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>94</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE .....</b>	<b>96</b>
<b>1. LES OUVRAGES.....</b>	<b>96</b>
<b>2. WEBOGRAPHIE.....</b>	<b>96</b>

## Liste des acronymes

**1G** : première génération

**2G** : deuxième génération

**3G** : troisième génération

**3GPP 3G**: Partnership Project

**4G**: quatrième generation

**AuC**: Authentication Center

**ASN-GW**: Access Service Network Gateway

**BS**: Base Station

**BSC**: Base Station Controller

**BTS**: Base Transceiver Station

**CDMA**: Code division multiple access

**CAC**: Call Admission Control

**CS-CN**: Circuit Switch-Core Network

**CSN**: Connectivity service network

**EDGE**: Enhanced Data for GSM Evolution

**eNodeB**: E-UTRAN NodeB

**EMM**: EPS Mobility Management

**EPC**: Evolved Packet Core Network

**EPS**: Evolved Packet System

**E-UTRAN**: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

**ePDG**: Evolved Packet Data Gateway

**FDMA**: Frequency-Division Multiple Access

**FIFO**: First In, First Out

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node

**GMSC:** Gateway Mobile Switching Centre

**GSM:** Global System for Mobile Communication

**HLR:** Home Location Register

**HSS:** Home Subscriber Server

**HSPA:** High Speed Packet Access

**HSDPA:** High Speed Downlink Packet Access

**HSUPA:** High-Speed Uplink Packet Access

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IMS:** Internet Protocol Multimedia Subsystem

**IP:** Internet Protocol

**IPTV :** Internet Protocol Television

**IPV6 :** Internet Protocol version 6

**Iu-cs :** Interface entre les RNC et les MSC

**Iu-ps :** Interface entre les RNC et les SGSN

**Iub :** Interface entre les Nœuds B et les RNC

**Iur** Interface entre deux RNC différents

**LTE:** Long Term Evolution

**MAC:** Medium Access Control

**MIMO:** Multiple Input Multiple Output

**MME:** Mobility Management Entity

**MSC:** Mobile service Switching Center

**NAS:** Network Access Server

**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**PCRF** Policy and Charging Rules Function

**PDN:** Packet Data Network

**PDN-GW:** Packet Data Network Gateway

**PGW:** Packet Data Network Gateway

**PS-CN:** Packet Switch-Core Network

**PSTN:** Packet Switched Telephone Network

**QoS:** Quality of Service

**RMPG :** Réseau Mobile de Prochaine Génération

**RNC:** Radio Network Controller

**RRC:** Radio Resource Control

**RRM :** Radio Ressource Management

**RTPC :** Réseau Téléphonique Public Commuté

**SAE:** System Architecture Evolution

**SC-FDMA:** Single Carrier - Frequency Division Multiple Access

**SGSN:** Serving GPRS Support Node

**SGW** Serving Gateway

**S1-U:** Interface entre eNodeB et S-GW (S1 User plan)

**S1-C:** Interface entre eNodeB et MME (S1 Control plan)

**S11 :** Interface entre MME et S-GW

**TD-CDMA:** Time Division - CDMA

**TD-SCDMA:** Time Division Synchronous Code Division Multiple Access

**TDMA:** Time Division Multiple Access

**QoS:** Quality of Service

**UE:** User Equipement

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

**UTRAN:** Universal Terrestrial Radio Access Network

**VLR:** Visitor Location Register

**VoIP:** Voix sur reseau IP

**W-CDMA** Wideband Code Division Multiple Access Evaluation

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity

**WiMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WLAN:** Wireless Local Area Network

**X2:** Interface entre les eNodeBs

## Liste des figures

FIGURE 1: LOGO TUNISIE TELECOM.....	4
FIGURE 2: ORGANIGRAMME DE TUNISIE TELECOM.....	5
FIGURE 3: ARCHITECTURE GENERALE DU RESEAU 3G .....	11
FIGURE 4: EVOLUTION DU COUT DU MBIT DE DONNEES SUR LES RESEAUX MOBILE.....	15
FIGURE 5 : L'EVOLUTION DE LA TECHNOLOGIE 3G.....	15
FIGURE 6 : ARCHITECTURE 3GPP RELEASE 99.....	16
FIGURE 7 : ARCHITECTURE 3GPP RELEASE 4.....	17
FIGURE 8 : ARCHITECTURE 3GPP RELEASE 5.....	18
FIGURE 9 : ARCHITECTURE 3GPP RELEASE 6.....	18
FIGURE 10 : ARCHITECTURE 4G/LTE [2].....	23
FIGURE 11 : ARCHITECTURE DU RESEAU D'ACCES .....	24
FIGURE 12 : ARCHITECTURE EPS.....	25
FIGURE 13 : ARCHITECTURE E-UTRAN .....	26
FIGURE 14 : ARCHITECTURE EPS BEARER [7] .....	30
FIGURE 15 : TECHNIQUE DE HNET LTE [7] .....	32
FIGURE 16 : LE NŒUD DE RELAI DANS LTE-ADVANCED.....	32
FIGURE 17 : ARCHITECTURE 5G [6] .....	35
FIGURE 18 : RELEVÉ SIMPLE VIA INTERFACE X2 DU RESEAU LTE .....	42
FIGURE 19 : RELEVÉ HORIZONTALE COMPLEXE DANS LE RESEAU LTE.....	43
FIGURE 20 : RELEVÉ VERTICALE ENTRE LES RESEAUX 3G+ ET 4G.....	44
FIGURE 21 : RELEVÉ VERTICALE COMPLEXE ENTRE LE RESEAU LTE ET HSPA.....	44
FIGURE 22 : ARCHITECTURE LTE AVEC COUPLAGE DE NŒUD.....	45
FIGURE 23 : INTERCONNEXION D'UN RESEAU 3G+ A UN RESEAU 4G AVEC COUPLAGE DES NŒUDS .....	46
FIGURE 24 : CALCUL DE GAIN IMPLIQUANT UN ENODEB .....	57
FIGURE 25 : CALCUL DE GAIN IMPLIQUANT UN SGSN .....	57
FIGURE 26 : ORGANIGRAMME DE L'ALGORITHME TABOU .....	61
FIGURE 27 : DIAGRAMME DE CLASSES DE L'APPLICATION .....	66
FIGURE 28 : DIAGRAMME D'ETAT DE TRANSITION .....	68
FIGURE 29 : FICHER DE DONNEES DU PREMIER RESEAU.....	73
FIGURE 30 : FICHER DE CAPACITE .....	73
FIGURE 31 : FICHER D'AFFECTATION DE RESEAU 3G+ POUR RESEAU 1 .....	74
FIGURE 32 : SOLUTION INITIALE DE RESEAU 1 .....	74
FIGURE 33 : TOPOLOGIE GRAPHIQUE DE LA SOLUTION INITIALE POUR LE RESEAU 1.....	75
FIGURE 34 : TOPOLOGIE DE LA MEILLEURE SOLUTION POUR LE RESEAU 1 .....	75
FIGURE 35 : ARCHITECTURE GRAPHIQUE DE LA MEILLEURE TOPOLOGIE.....	76
FIGURE 36 : FICHER D'AFFECTATION DE RESEAU 3G+ POUR LE RESEAU 2 .....	77
FIGURE 37 : SOLUTION INITIALE DE RESEAU 2 .....	78

FIGURE 38 : TOPOLOGIE GRAPHIQUE POUR LA SOLUTION INITIALE DE RESEAU 2 .....	79
FIGURE 39 : MEILLEURE TOPOLOGIE DE RESEAU 2.....	80
FIGURE 40 : ARCHITECTURE GRAPHIQUE DE LA MEILLEURE TOPOLOGIE DE RESEAU 2.....	81
FIGURE 41 : FICHER D’AFFECTATION DE RESEAU 3G+ POUR LE RESEAU 3 .....	82
FIGURE 42 : TOPOLOGIE INITIALE D’AFFECTATION DES eNODEB AUX SGM POUR LE RESEAU 3.....	83
FIGURE 43 : ARCHITECTURE INITIALE D’INTERCONNEXION DE DEUX RESEaux HSPA ET LTE POUR LE RESEAU 3.....	83
FIGURE 44 : TOPOLOGIE GRAPHIQUE POUR LA SOLUTION INITIALE DE RESEAU 3 .....	84
FIGURE 45 : MEILLEUR SOLUTION D’AFFECTATION DES eNODEB AUX SGM POUR LE RESEAU 3 .....	85
FIGURE 46 : MEILLEURE INTERCONNEXION DE DEUX RESEaux HSPA ET LTE POUR LE RESEAU 2.....	86
FIGURE 47 : MEILLEURE ARCHITECTURE DE LA MEILLEURE SOLUTION POUR LE RESEAU 3 .....	87
FIGURE 48 : FICHER DES DONNEES DU RESEAU DE L’ARIANA .....	89
FIGURE 49 : FICHER D’AFFECTATION DU RESEAU 3G DE LA REGION ARIANA .....	89
FIGURE 50 : FICHER DE CAPACITE ZONE ARIANA .....	89
FIGURE 51 : TOPOLOGIE GRAPHIQUE DE RESEAU 3G+ DANS LE GOUVERNORAT D’ARIANA .....	90
FIGURE 52 : SOLUTION INITIALE D’AFFECTATION POUR LE RESEAU DE LA REGION ARIANA.....	90
FIGURE 53 : TOPOLOGIE DE LA SOLUTION INITIALE D’AFFECTATION POUR LA REGION ARIANA .....	91
FIGURE 54 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA MEILLEURE TOPOLOGIE REGION ARIANA.....	93

## Liste des tableaux

TABLEAU 1 : 2.1 : COMPARATIF ENTRE LTE ET LES DIFFERENTES TECHNOLOGIES.....	20
TABLEAU 2 : 2.2 : LES CARACTERISTIQUES LTE.....	21
TABLEAU 3 : 3.1: DIFFERENCE ENTRE LES ALGORITHMES .....	41
TABLEAU 4 : 4.1 COUTS DE LIAISONS DES SGSN AUX SGM.....	52
TABLEAU 5 : 4.2 COUTS DE LIAISONS DES SGSN AUX SGM.....	53
TABLEAU 6 : 4.3 AFFECTATION DES ENODEB AUX SGM.....	53
TABLEAU 7 : 4.4 AFFECTATION DES SGSN AUX SGM.....	53
TABLEAU 8 : 4.5 D' AFFECTATION DES ENODEB AVEC LES SGM .....	55
TABLEAU 9 : 4.6 D' AFFECTATION DES SGSN AVEC LES SGM .....	55
TABLEAU 10 : 5.1 : RESEAUX DE SIMULATION .....	72

# Introduction Générale :

---

- ✓ Cadre Général
- ✓ Présentation du plan de projet

## **Introduction générale**

Les réseaux mobiles sont des infrastructures complexes qui doivent faire l'objet d'une bonne planification, de manière à optimiser les coûts d'investissement de mise en place, tout en respectant des contraintes liées à la qualité de service à offrir. Cette planification est un processus complexe et délicat qui vise à déterminer l'ensemble des composantes (matérielles et logicielles) de tels systèmes, à les interconnecter et à les utiliser de façon à minimiser le coût d'exploitation des ressources de réseau, tout en garantissant un certain degré de disponibilité et de performance.

De façon générale, La planification fait intervenir de nouveaux défis tels que: l'augmentation de nouveau services, la compatibilité avec les réseaux actuels, la gestion intercellulaire des utilisateurs et la qualité de service.

En effet un réseau mobile est un réseau de communication composé de cellules, généralement considérées de forme hexagonale juxtaposées l'une à l'autre afin d'assurer une meilleure couverture de la zone géographique considérée. En se basant sur cette répartition cellulaire, les réseaux mobiles opèrent en mode infrastructure, où tous les échanges transitent par un point d'accès. Plusieurs générations de réseaux mobiles sont défilées à travers le temps. Ce sont la 1G avec un mode de transmission analogique, la 2G qui marque le passage à l'ère numérique, la 3G qui permet d'intégrer des services de voix et de données, et de nos jours, les réseaux de prochaine génération qui visent à converger les réseaux hétérogènes fixes et mobiles afin d'offrir tous les services à travers un réseau cœur tout IP.

La planification d'un réseau mobile 4G à partir d'un réseau mobile 3G+ consiste à réorganiser le réseau 3G+ initialement établi et fonctionnel de manière à desservir un plus grand nombre d'utilisateurs, et par conséquent à gérer un trafic plus volumineux. Cette réorganisation peut entraîner, soit l'ajout de nouveaux équipements 4G et le retrait de certains équipements 3G+ existants, soit la substitution de tous les équipements 3G+ existants. La planification de ce réseau étendu comprend plusieurs phases, dont le choix des architectures, l'évaluation de la demande de trafic, la conception topologique réalisée à partir des affectations des équipements des différents réseaux et l'analyse de performance.

La méthode heuristique adaptée pour la planification est un processus itératif composé de plusieurs phases, présentant chacune un degré de complexité différent. Dans ce travail, le sous-problème qui est traité concerne l'affectation des cellules aux commutateurs. Ce problème consiste à déterminer un patron d'affectation qui permet de minimiser le coût d'investissement des équipements du réseau 4G, tout en maximisant l'utilisation des équipements du réseau 3G déjà en place.

La performance du modèle à développer sera évaluée au moyen d'une méthode heuristique basée sur la recherche tabou. Pour adapter l'heuristique au problème d'affectation dans les réseaux 4G, des mouvements de réaffectation et de déplacement des nœuds eNodeB et SGSN doivent être définis. C'est dans ce contexte que se situe notre projet de fin d'étude qui vise à déterminer à partir des schémas d'affectation, la topologie d'interconnexion qui permet de réduire les coûts du réseau et le nombre d'opérations de mise à jour engendrées par les relèves. A cet effet, le problème d'affectation est divisé en deux sous-problèmes : l'affectation des nœuds du réseau 4G et l'affectation des nœuds du réseau 3G+ au réseau 4G afin d'optimiser le coût de la planification.

De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet en 5 chapitres.

- ✓ Le premier chapitre présente le cadre de projet ainsi que l'organisme d'accueil.
- ✓ Le deuxième chapitre présente l'état de l'art qui vise à décrire l'architecture de réseau 3G, les caractéristiques, les fonctionnalités de chaque entité de ce réseau ainsi que les limites qu'il présente et surtout la nécessité de migrer vers le réseau 4G, tout en visant l'étude du problème d'affectation des équipements de réseau 4G au réseau 3G+ existant avec un coût minimum.
- ✓ le troisième chapitre présente une étude conceptuelle de l'outil de planification qui se compose d'un diagramme de classe et un diagramme d'état-transition.
- ✓ Le quatrième chapitre vise à adapter la recherche avec tabou au problème d'affectation des équipements de réseau 4 G au réseau 3 G+ existant avec un coût minimum et implémenter ce dernier.
- ✓ Enfin le cinquième chapitre présente les tests pour montrer la fiabilité de cette recherche.

# Chapitre 1 : Cadre du projet

---

- ✓ Cadre du projet
- ✓ Présentation de l'entreprise d'accueil
- ✓ Contexte du Projet

## Introduction

Dans ce chapitre, il s'agit de mettre le projet dans son cadre général. Nous commençons par présenter l'environnement du stage en présentant la société d'accueil qui a adopté ce projet de fin d'études. Ensuite, nous entamerons une description de notre projet afin d'explicitier son contexte et son objectif.

### 1. Cadre du projet

Ce projet porte sur « *la migration d'un réseau mobile 3G vers 4G* » est réalisé dans le cadre de la présentation d'un projet de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en Nouvelles Technologies de télécommunications et Réseau à l' université Virtuelle de Tunis pour l'année universitaire 2014/2015.

## 2. Présentation de l'entreprise d'accueil

### 2.1. Présentation générale



**Figure 1: Logo Tunisie Telecom**

Tunisie Télécom (TT) [11] est un opérateur de télécommunications qui travaille à renforcer l'infrastructure des télécommunications en Tunisie et à améliorer le taux de couverture sur ses réseaux fixe et mobile.

Sa politique de diversification des services lui a permis d'offrir à ses clients une gamme de services au niveau de la téléphonie fixe, de la téléphonie mobile (GSM), et transmission par satellite et l'ADSL.

Depuis sa création, Tunisie Telecom œuvre à consolider l'infrastructure des Télécoms en Tunisie, et à améliorer le taux de couverture, qui est aujourd'hui de 100% par son réseau fixe et de plus de 98% par son réseau mobile [11]. L'opérateur développe également son positionnement sur de nouvelles activités à forte croissance pour offrir des services et des produits répondant aux attentes du marché.

Avec près de 7 millions d'abonnés [11] dans la téléphonie fixe et mobile, le groupe s'intéresse aujourd'hui sur les valeurs de proximité, de fiabilité et d'accessibilité en visant une meilleure qualité de service.

Tunisie Telecom se compose de 24 directions régionales, de 80 Actels et points de vente et de plus de 13 mille points de vente privés. Elle emploie plus de 8000 agents dont 42% de cadres et a enregistré un chiffre d'affaires de 1,117 milliards de dollars en 2009 [11].

## 2.2. Organisation fonctionnelle

La figure 2 présente l'organigramme de la société TT. Cet organigramme a été l'objet de plusieurs réformes et restructurations à fin de s'adapter aux nouvelles exigences d'efficacités et d'efficacité.

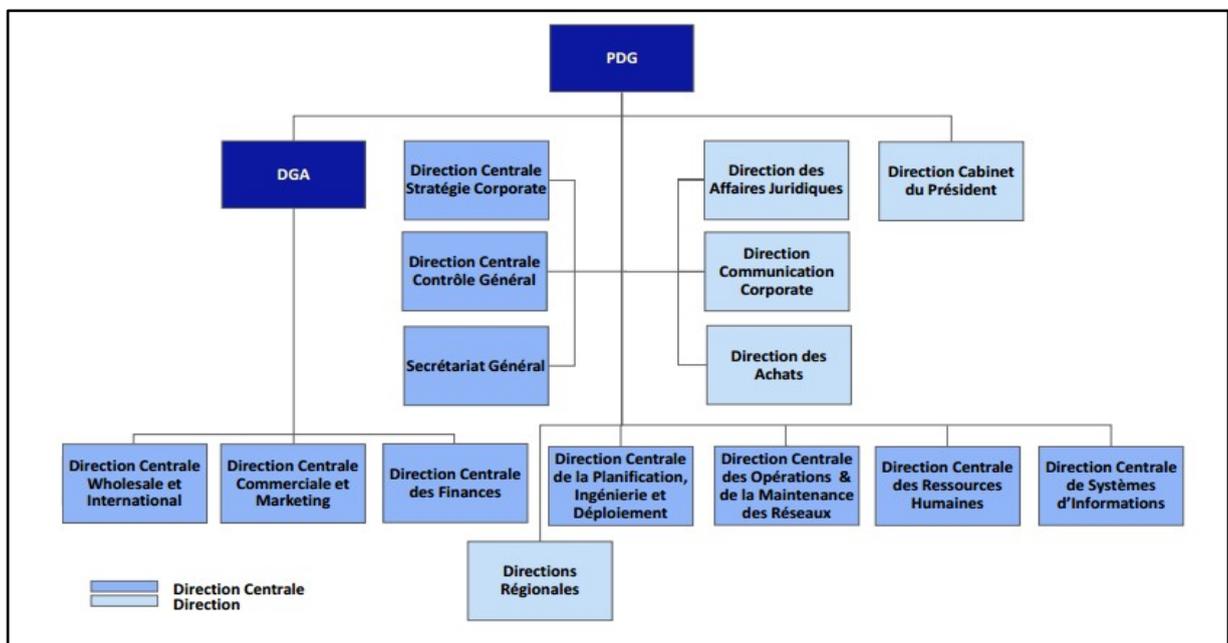


Figure 2: Organigramme de Tunisie Télécom

## 2.3. Activités de Tunisie Telecom

Aujourd'hui, Tunisie Telecom est leader sur le marché des télécommunications en Tunisie du fait de sa présence sur les segments du fixe, du mobile et de l'internet. Il s'adresse aussi bien au grand public qu'aux entreprises et opérateurs tiers.

Tunisie Telecom est aujourd'hui organisé autour de deux pôles d'activité :

✓ Le pôle «Détail» regroupe les services de téléphonie mobile, de téléphonie fixe, d'Internet et les services data ou de transmission de données. Tunisie Telecom est aujourd'hui un acteur majeur sur le marché de la téléphonie mobile et bénéficie d'une situation de leadership incontestée sur les marchés de la téléphonie fixe, de l'Internet et de la transmission de données.

✓ Le pôle « Opérateurs et International » regroupe les services d'interconnexion nationale, de terminaison et de transit et les services de roaming.

Par ailleurs, Tunisie Telecom a acquis en septembre 2010 une licence 3G et compte proposer à partir de 2011 des offres 3G mobile (Mobile broadband 3G, offres voix, data 3G, terminaux 3G) [11].

Eu égard à la diversité de ses offres, fixes, mobiles, la richesse de ses compétences et ses ressources humaines, Tunisie Telecom jouit d'un positionnement important sur le marché tunisien et figure dans le classement des dix premières entreprises tunisiennes.

Tunisie Telecom incarne aujourd'hui les valeurs de proximité, d'accessibilité et d'universalité en visant toujours une meilleure qualité de service et une satisfaction du client de référence à travers ses multiples directions régionales.

## **2.4. Stratégie de Tunisie Telecom**

La stratégie de Tunisie Telecom s'articule ainsi autour des principales orientations suivantes :

✓ Favoriser la croissance du marché mobile par une stratégie d'approche commerciale segmentée visant à stimuler les usages nouveaux et existants des services de télécommunications mobiles.

✓ Dynamiser l'usage de la téléphonie fixe et mobile, de participer au développement croissant du secteur des services de données aux entreprises.

✓ Rester le principal fer de lance du développement de l'Internet en Tunisie.

✓ Capitaliser sur ses marques et faire de Tunisie Telecom une référence en matière d'engagement qualité et de service clients en Tunisie.

✓ Continuer d'investir dans son cœur de réseau afin de renforcer l'accès au très haut débit fixe et mobile.

✓ Renforcer sa position de partenaire de référence pour les opérateurs nationaux et internationaux et devenir un point de passage incontournable pour les services internationaux.

✓ Optimiser la création de valeur pour ses actionnaires, à travers des relais de croissance de chiffre d'affaires et un contrôle strict des coûts.

## **2.5. Présentation du service d'accueil**

Ce stage a été effectué au sein de la direction centrale de Gestion des réseaux et plus précisément dans la direction des Plateformes Core Management.

Ce département a pour mission la surveillance, l'administration et la gestion des réseaux mobiles (2G/3G) ainsi que la Gestion du réseau Fixe. Cette gestion des réseaux se définit comme étant l'ensemble des moyens mis en œuvre (connaissances, techniques, méthodes, outils, ...) pour superviser et exploiter les réseaux et planifier leur évolution en respectant les contraintes de coût, de la qualité et de matériel.

## **3. Contexte du projet**

### **3.1. Problématique**

Les réseaux cellulaires sont toujours en évolution et chaque génération possède sa propre architecture et ses propres caractéristiques et fonctionnalités. Le réseau installé maintenant en Tunisie est le réseau 3G+/HSPA. Cette technologie travaille avec un débit élevé et permet d'acheminer un volume de trafic important. Mais les besoins des utilisateurs et le nombre des abonnés sont toujours en évolution et pour cela on aura recours au 4G qui possède des caractéristiques très évolués. Le problème qui se pose ici comment planifier cette architecture tout en respectant la contrainte de coût. Il existe plusieurs outils de planification des réseaux sur le marché internationale tel que :

*Preactor* : C'est un outil de planification et d'ordonnement des réseaux utilisé dans plusieurs sociétés.

*xG\_Planner*: C'est un logiciel nécessaire à la réalisation des analyses réseau liées à la couverture des réseaux mobiles[1].

*Cellular Expert*: est une solution basée sur Esri et sa plateforme ArcGIS, elle est dédiée au déploiement, l'optimisation et la gestion des données des réseaux de télécommunications sans fil.

Ce logiciel est développé par HNT-BALTIC, UAB depuis 1995. Depuis son premier succès commercial à l'international en 2000, Cellular Expert est considérée comme la meilleure solution basée sur les SIG pour la planification des fréquences radio, pour la gestion et la configuration des réseaux point à point, du point à multipoint ainsi que du point à surface. Aujourd'hui, plus de 100 sociétés dans 37 pays utilisent le logiciel Cellular Expert pour la planification réseau, la gestion des données, les analyses point à point, la prévision des couvertures réseaux, l'analyse des données issues des relevés terrain et leur calibration, planification des fréquences, analyse et planification du trafic.

Ces logiciels sont efficaces mais ils possèdent un inconvénient majeur qui est le prix; ces logiciels sont trop chers.

### **3.2. Objectifs du projet**

Pour résoudre le problème de coût, nous proposons dans ce projet de fin d'étude un outil de planification de réseau 4G qui permet d'affecter les entités 4G/LTE à partir d'une plateforme 3G+/LTE.

A partir des informations concernant le réseau 3G+, notre outil qui est simple et efficace permet de donner un cahier de charge qui contient les caractéristiques de deux réseaux ainsi que la meilleure topologie d'interconnexion de ces derniers.

## **Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'organisme d'accueil Tunisie Telecom, puis nous avons mis l'accent sur l'importance de la planification pour les entreprises et nous avons donné un cahier des charges pour bien identifier les tâches à réaliser. Nous avons présenté la méthodologie adoptée. Dans le chapitre suivant nous allons présenter une étude portant sur les spécifications techniques de réseau LTE et celle aussi de 3G, puis nous allons détailler la technologie LTE.

## Chapitre 2 : Etude de l'existant

---

- ✓ Les notions de base des réseaux 3G
- ✓ Les limites de 3G
- ✓ Besoin de migration vers le 4G
- ✓ Fonctionnalité de réseau 4G

## Introduction

Le présent chapitre est une étude préalable du projet qui représente la première étape de tout projet. Tout d'abord, nous expliquons les notions de base du réseau 3G : nous présentons l'architecture générale des réseaux 3G, puis nous nous intéressons aux limites du réseau 3G tout en expliquant la nécessité de migrer vers le 4G et en présentant l'architecture et les différentes fonctionnalités de 4 G. Toutes ces informations sont des connaissances indispensables pour l'élaboration du projet.

## 1. Les notions de base des réseaux 3 G

### 1.1. Définition

La troisième génération (3G) [2] désigne une génération de normes de téléphonie mobile. Elle est représentée principalement par les normes Universal Mobile Télécommunications System (UMTS) et CDMA2000 [2]. Ces caractéristiques sont notamment les suivantes :

- Un haut débit de transmission
  - ✓ 144 Kbps avec une couverture totale pour une utilisation mobile
  - ✓ 384 Kbps avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne,
  - ✓ 2 Mbps avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe
- Compatibilité mondiale
- Compatibilité des services mobiles de 3ème génération avec les réseaux de seconde génération.

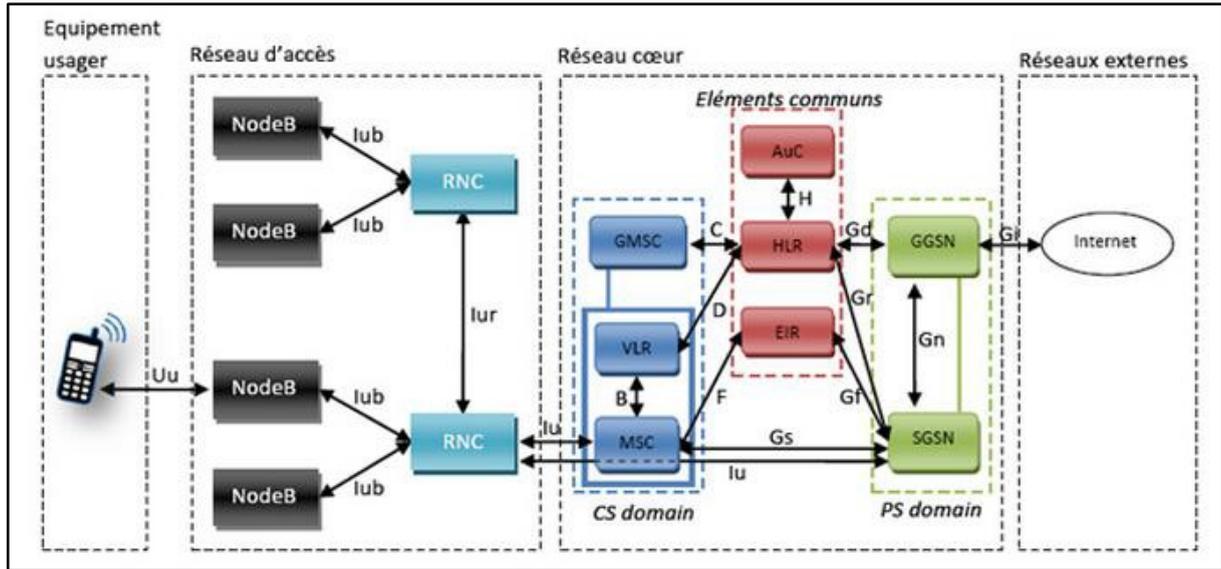
La 3G permet d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visioconférence ou l'accès à internet haut débit. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

### 1.2. Architecture générale du réseau 3G

Le réseau 3G se compose principalement de trois éléments :

- a. Le terminal utilisateur (UE)
- b. Le réseau d'accès radio (UTRAN)
- c. Le réseau cœur (CN)

Le schéma de l'architecture générale du réseau 3G est illustré dans la figure :



**Figure 3: Architecture générale du réseau 3G**

### 1.2.1. Le terminal utilisateur (UE)

Le domaine de l'équipement usager (UE) comprend tous les équipements terminaux :

- *Equipement mobile (ME)* : Les mobiles UMTS ne seront plus de simples téléphones mais des terminaux multimédia capables d'offrir simultanément des services de transmission de données, d'audio et de vidéo en tout moment.
- *Universal Subscriber Identity Module (USIM)* : il s'agit d'une carte à puce, version améliorée de la SIM (cas GSM), dédiée à la téléphonie 3G.

### 1.2.2. Le réseau d'accès radio (UTRAN) :

Le réseau d'accès radio propose les fonctions permettant d'acheminer les informations depuis l'utilisateur jusqu'à réseau cœur [1]. Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

- *NodeB* : La NodeB est une antenne. Réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM [2]. Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager [2].

➤ *RNC* : Le RNC est un contrôleur de NodeB. Le RNC est encore ici l'équivalent du BCS dans le réseau GSM [2]. Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

➤ *Uu* : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.

➤ *Iu* : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN

➤ *Iur* : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.

➤ *Iub* : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

### **1.2.3. Le réseau cœur (CN) :**

Le réseau cœur (*CN Core Network*) est la partie du système UMTS chargée de la gestion des services souscrits par l'abonné. Il permet de communiquer à l'intérieur d'un même réseau de téléphonie mobile et assure l'interconnexion de ce dernier avec des réseaux externes, fixes ou mobiles, numérique ou analogique.

Le réseau cœur est composé de trois parties :

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- Les éléments communs aux domaines CS et PS

#### ❖ *Eléments communs :*

Ce sont des éléments partagés par le domaine de commutation de paquet et le domaine de commutation de circuit, ces éléments sont :

➤ *HLR* (Home Location Register) : est une base de données qui contient toutes les informations relatives aux abonnés : l'identité de l'équipement usager, le numéro d'appel de l'utilisateur, les informations relatives aux possibilités de l'abonnement souscrit par l'utilisateur.

➤ *L'EIR* (Equipment Identity Register) : est une base de données contenant la liste des mobiles interdits listés par un numéro unique propre à chaque équipement usager, le numéro IMEI (International Mobile station Equipment Identity).

- L'AuC (Authentication Center) : est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication pour assurer la sécurité d'accès au système.

❖ *Le domaine à commutation de circuits (CS) :*

Le domaine circuit permettra de gérer les services temps réels dédiés aux conversations téléphoniques (vidéo-téléphonie, jeux vidéo, streaming, applications multimédia). Ces applications nécessitent un temps de transfert rapide [5].

Le domaine CS est composé des éléments suivant :

- *Le MSC (Mobile-services Switching Center) :* est un commutateur qui assure l'interface avec le réseau cœur pour un mobile accédant aux services à commutation de circuit.
- *Le GMSC (Gateway MSC) :* est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Telephone Network).
- *Le VLR (Visitor Location Register) :* est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire des informations sur la position de l'abonné et son déplacement dans la zone de localisation reliée à un ou plusieurs MSC.

❖ *Le domaine à commutation de paquet PS :*

Le domaine paquet permet de gérer les services temps réels. Ils s'agit principalement de la navigation sur l'internet, de la gestion de jeux en réseaux et de l'utilisation des emails, ces applications sont moins sensibles au temps de transfert, c'est la raison pour laquelle les données transiteront en mode paquet. Le débit du domaine paquet sera sept fois plus rapide que le mode circuit, environ 2Mbits/s.

Le domaine PS est composé des éléments suivants :

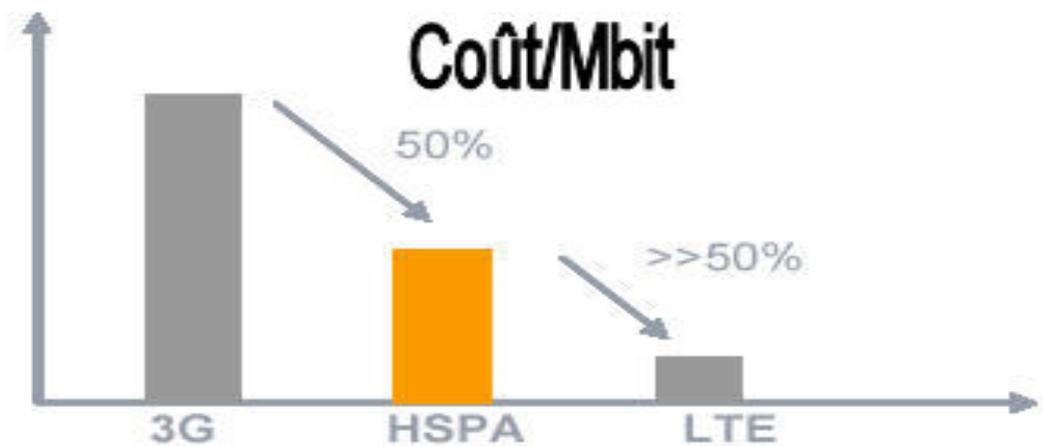
- *Le SGSN (Serving GPRS Support Node) :* s'occupe des services des transmissions de données entre les mobiles et le réseau mobile. Ses tâches incluent la gestion de la mobilité (attach/détach/mise à jour RA), la gestion de session (établissement/libération PDP), le routage et transfert des paquets.
- *Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) :* est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet. Le GGSN décapsule des paquets IP arrivant sur un contexte PDP en provenance du SGSN et les envoie au réseau IP externe correspondant (internet, ATM, RTC..). Le GGSN permet aussi d'acheminer les paquets IP provenant des réseaux IP externes vers le SGSN du destinataire sur un tunnel.

#### **1.2.4. Critiques de l'existant :**

La technologie UMTS ou 3G est cependant déjà obsolète. L'engouement des consommateurs pour le réseau mobile existant nécessite une augmentation de débits offerts. Les opérateurs mobiles migrent vers la 3,5 G ou HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), et encore plus récemment le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Le HSDPA a permis d'améliorer le débit descendant (downlink) sur les réseaux mobiles jusqu'à 3,6 Mbits/s théorique au lieu des 384 Kbits/s de l'UMTS, alors que le HSUPA, permet aujourd'hui d'augmenter le débit ascendant (uplink) théorique de 384 Kbits/s à 1,4 Mbit/s.

En théorie, les technologies HSPA (HSDPA et HSUPA) peuvent franchir des débits de l'ordre de 14,4 Mbits/s en downlink et 5,7 Mbits/s en uplink. Mais actuellement le haut débit évolue jusqu'à 100 Mbits/s et le nombre d'utilisateurs de services multimédia mobiles augmente en exponentiel. Les capacités de débits offertes par les technologies actuelles 3G et 3G+ sont un frein évident à la multiplication parallèle du nombre d'utilisateurs et de l'augmentation des usages de services multimédia mobiles à forte consommation de bande passante donc le compromis est de trouver une nouvelle solution d'accès à l'Internet mobile, plus performante en termes de débits et plus efficace en termes de gestion du spectre des fréquences radio, d'offrir de nouveaux services et d'optimiser l'efficacité de la transmission des données au sein de l'interface radio, afin de réduire fortement le coût du Mégabit de transport de données. Une des solutions les plus utilisées abouties actuellement s'appelle la 3G LTE (pour Long Term Evolution), ou super 3G ou 3,9 G.

La grande promesse de LTE est d'offrir un débit de 100 Mbits/s en voix descendante et 50 Mbits/s en voix montante. Soit l'équivalent des réseaux fibre optique de l'Internet fixe. Ce débit théorique sera à partager entre tous les utilisateurs mobiles d'une même cellule. De quoi satisfaire toutefois les besoins en débit de services interactifs aujourd'hui inexistant sur l'Internet mobile, comme le téléchargement de vidéos en streaming en temps réel, la télévision, les jeux multi-joueurs et autres services de peer-to-peer, tout en améliorant considérablement l'expérience des utilisateurs grâce à la réduction des temps de réponse à 10 ou 20 millisecondes.

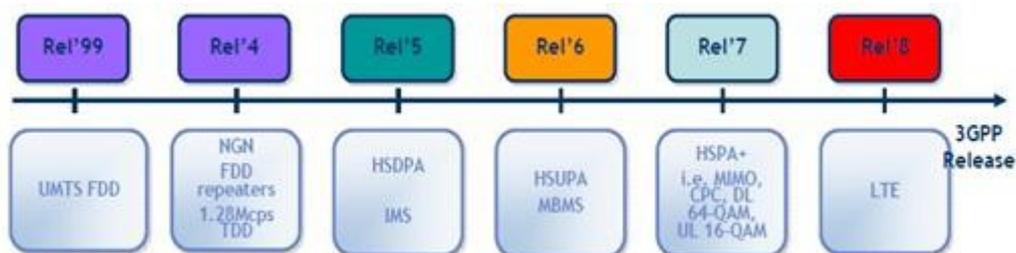


**Figure 4: Evolution du coût du Mbit de données sur les réseaux mobile**

Une autre promesse de LTE est d'offrir un service de communication sans fil sur IP (wireless voice over IP, W-VoIP) et de se connecter avec les réseaux IP fixes. Grâce à cette technologie innovante, les opérateurs mobiles pourront proposer une véritable offre quadruple Play services, c'est-à-dire de la voix, du surf en très haut débit et de l'IPTV, le tout en situation de parfaite mobilité. Enfin, l'augmentation de l'efficacité spectrale, c'est-à-dire du nombre de Mégabits par Hertz, ce qui permet de réduire le coût du Mégabit de transport de données de 4 à 6 fois par rapport aux technologies 3G actuelles.

## 2. Evolution du réseau 3G vers 4G

Le marché 3GPP est actuellement desservie par deux lignes de la technologie: GSM (GPRS, EDGE et EDGE Evolved) et UMTS (HSDPA, HSUPA et HSPA+) et la part de marché pour les deux technologies ne cesse de croître. L'évolution et les aspects techniques clés de ces technologies sont résumés dans la Figure 5[1].



**Figure 5 : L'évolution de la technologie 3G**

## 2.1. 3GPP release 99

L'architecture des réseaux de release 99 est composée de deux parties ; un réseau d'accès UTRAN qui réalise les transferts de trafic de données et de signalisation entre l'appareil mobile (UE) et le réseau cœur qui est la deuxième partie. L'UTRAN comprend principalement deux entités : le NodeB et le RNC. Les RNC communiquent entre eux via l'interface Iur et sont reliés aux NodeB par l'interface Iub. [2].

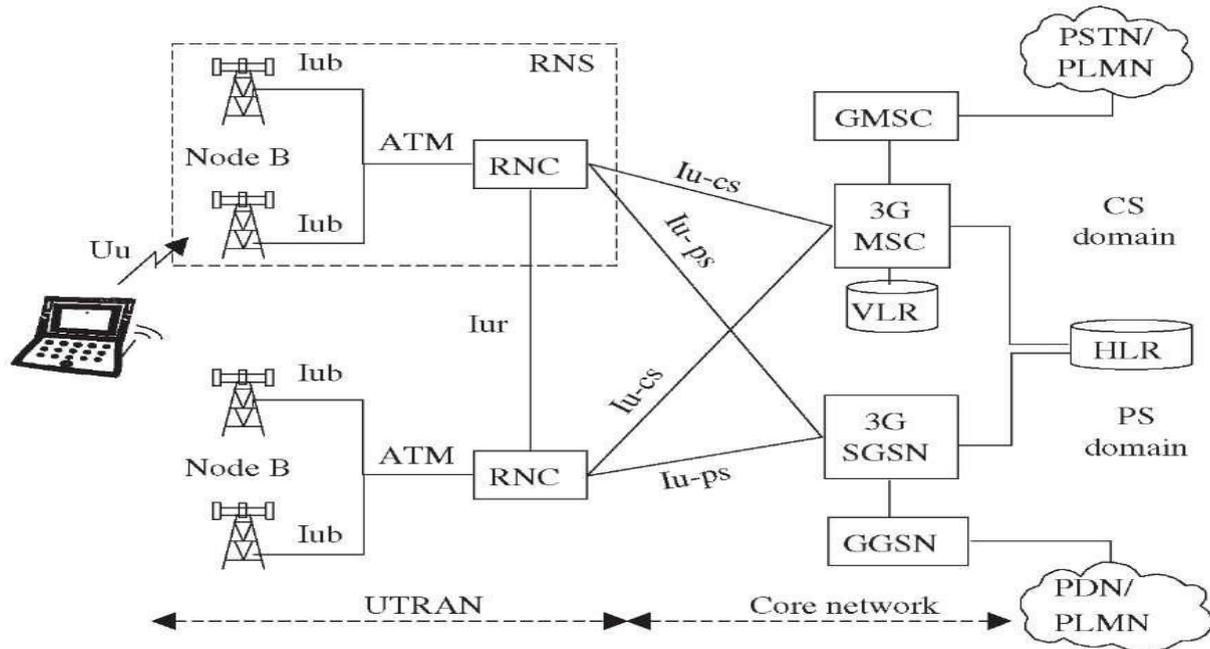
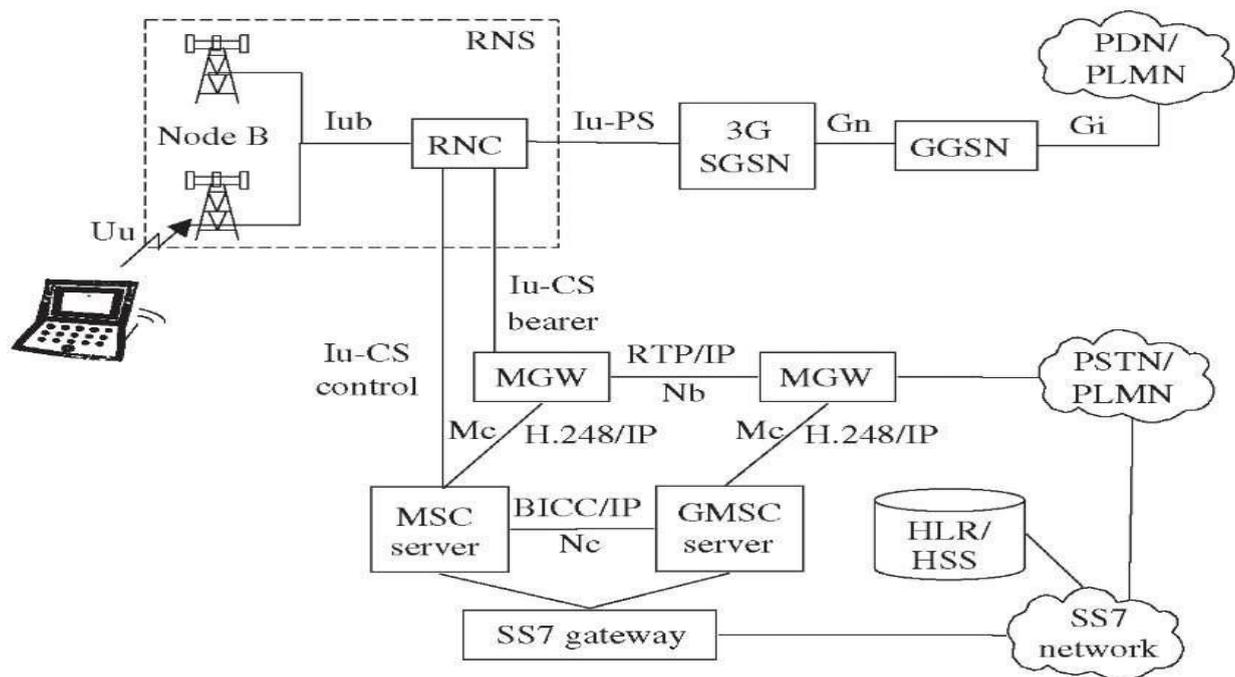


Figure 6 : Architecture 3GPP release 99

## 2.2. 3GPP release 4

Le cœur de réseau est encore plus évolué et introduit des changements dans le domaine CS. Les fonctions de MSC 3G sont divisées en deux parties, à savoir, le serveur MSC et passerelles média. Le serveur MSC contient le contrôle d'appel et la logique de gestion de mobilité. Le serveur MSC contient également un VLR qui contient des données de service relatif à l'abonné mobile. La passerelle de média contient la fonction de commutation et elle est commandée par le serveur de MSC. Le serveur GMSC, est divisé en deux serveurs GMSC comme ci montre la Figure 7. Le serveur MSC utilise UIT-T H.248 pour contrôler la passerelle média. L'UIT-T BICC (porteur indépendant de contrôle d'appel) est un protocole utilisé entre le MSC et le serveur GMSC. Le cœur de réseau prend en charge la coexistence de deux UTRAN et le réseau d'accès radio GSM / GPRS (GERAN). [2]



**Figure 7 : Architecture 3GPP release 4**

### 2.3. 3GPP release 5

Cette architecture est basée sur IP. Le SGSN et GGSN sont renforcées pour soutenir les services à commutation de circuits tels que la voix. La nouvelle passerelle de signalisation (R-SGW) et celle du transport de signalisation (T-SGW) sont nécessaires pour assurer l'interfonctionnement avec le système externe sur l'héritage SS7 et SS7 sur IP. La fonction de commande d'état d'appel (CSCF) fournit des fonctions de contrôle d'appel pour des sessions multimédias. La fonction de commande de passerelle de média (MGCF) contrôle les passerelles média, qui sont des sous-systèmes multimédias IP. La fonction de ressources multimédias (MRF) prend en charge des fonctionnalités telles que la visioconférence. L'architecture du réseau 3GPP release 5 est représenté dans la Figure 8.

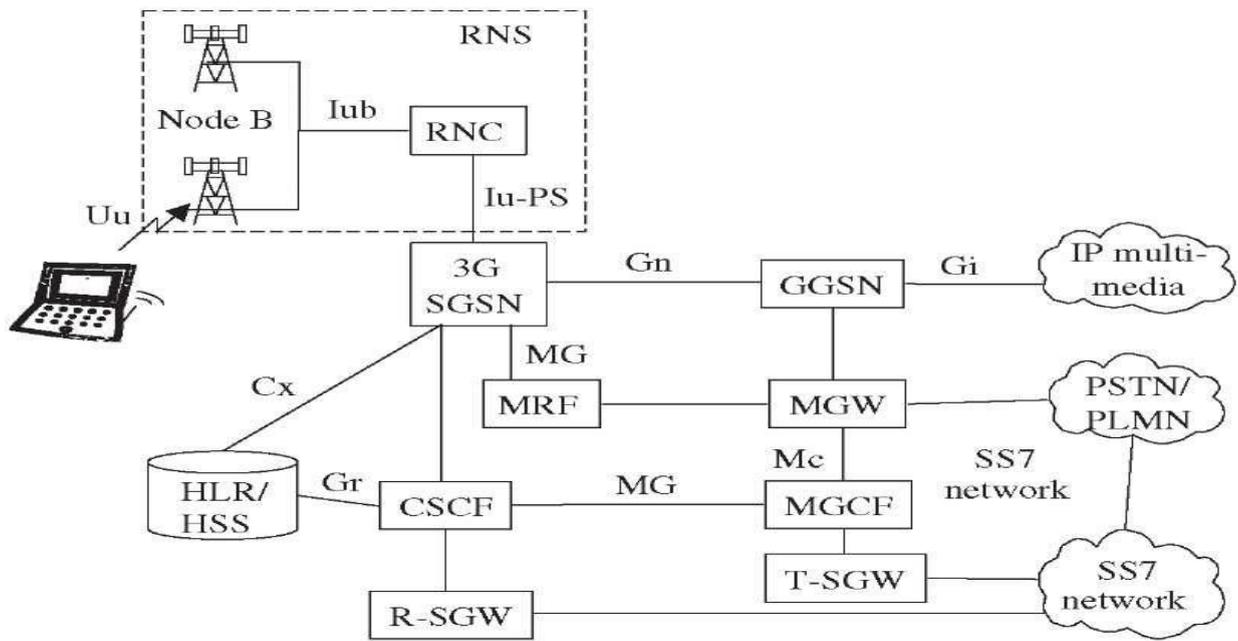


Figure 8 : Architecture 3GPP release 5

## 2.4. 3GPP release 6(HSUPA)

Le standard HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) est une mise à jour des réseaux UMTS/HSDPA. Il apporte des améliorations de type HSDPA au flux ascendant des connexions ce qui permet ainsi d'obtenir des débits de chargement pouvant atteindre les 5,8 Mbps. Le HSUPA est considéré comme le successeur du HSDPA qui offre des débits importants mais uniquement sur le flux descendant. Le HSUPA devrait être normalisé par le 3GPP dans la spécification UMTS Release 6. [9]

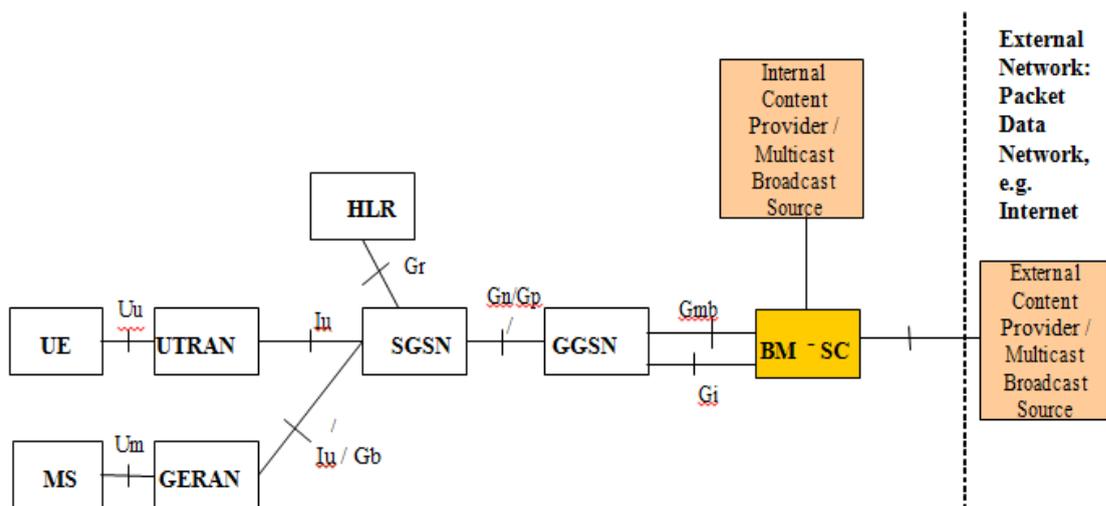


Figure 9 : Architecture 3GPP release 6

## **2.5. 3GPP release 7(HSPA)**

High Speed Packet Access de données (HSPA) est une mise à jour des réseaux WCDMA (FDD et TDD) utilisé pour augmenter les performances de paquets de données. Cette évolution des débits et de la capacité permet l'introduction de nouvelles techniques. En voie descendante, la modulation 64QAM est désormais prise en charge, de même que la modulation 16QAM en voie montante. Le spectre supportant la transmission n'est donc plus limité à 5 MHz mais à 10 MHz. Les débits fournis à l'utilisateur peuvent doublés. De plus, la largeur de bande plus élevée permet au système une gestion plus efficace des ressources spectrales [4].

## **2.6. 3GPP release 8**

Elle permet le « très haut débit mobile », pour la transmission de données à des débits théoriques supérieurs à 100 Mb/s. Les débits sont en pratique de l'ordre de quelques dizaines de Mb/s, suivant le nombre d'utilisateurs puisque la bande passante est partagée entre les terminaux actifs des utilisateurs présents dans une même cellule radio. Une des particularités est d'avoir un « cœur de réseau » basé sur IP et de ne plus offrir de mode commuté (établissement d'un circuit pour transmettre un appel "voix"), ce qui signifie que les communications téléphoniques utiliseront la voix sur IP (en mode paquet)[3].

### 3. Caractéristiques de réseau 4G

#### 3.1. LTE et ses prédécesseurs

Le tableau suivant présente un récapitulatif des caractéristiques de la norme LTE et les technologies précédentes telles que : le WCDMA, le HSPA, le HSPA

Tableau 1 : 2.1 : Comparatif entre LTE et les différentes technologies

	WCDMA	HSPA	HSPA+	LTE
Débit DL	384 Kbps	14 Mbps	28 Mbps	100 Mbps
Débit UL	128 Kbps	5.7 Mbps	11 Mbps	50 Mbps
Latence	150 ms	100 ms	50 ms	~10ms
3GPP Release	Release 99/4	Release 5/6	Release 7	Release 8
Année	2003-2004	2005-2008	2008-2009	2009-2010
Méthode d'accès	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/SC-FDMA

La technologie 4G LTE permet d'aboutir à un réseau mobile de très haut débit, qui marque une grande différence avec la 3G. En effet, il permet de bénéficier d'un débit théorique de 100 Mbit/s, soit 10 fois plus rapide qu'en 3G+. Pour réaliser ce réseau, chaque opérateur mobile installe des antennes aux bandes de fréquences adaptées ou fait basculer des sites qui avaient d'autres utilisations. Les objectifs à atteindre pour la LTE consistent en une amélioration de l'efficacité spectrale qui permettra le transfert des données à très haut débit, de l'ordre de 50 Mbps, avec une portée plus importante, un nombre d'appels par cellule plus élevés que dans l'UMTS et une latence plus faible.

Tableau 2 : 2.2 : Les caractéristiques LTE

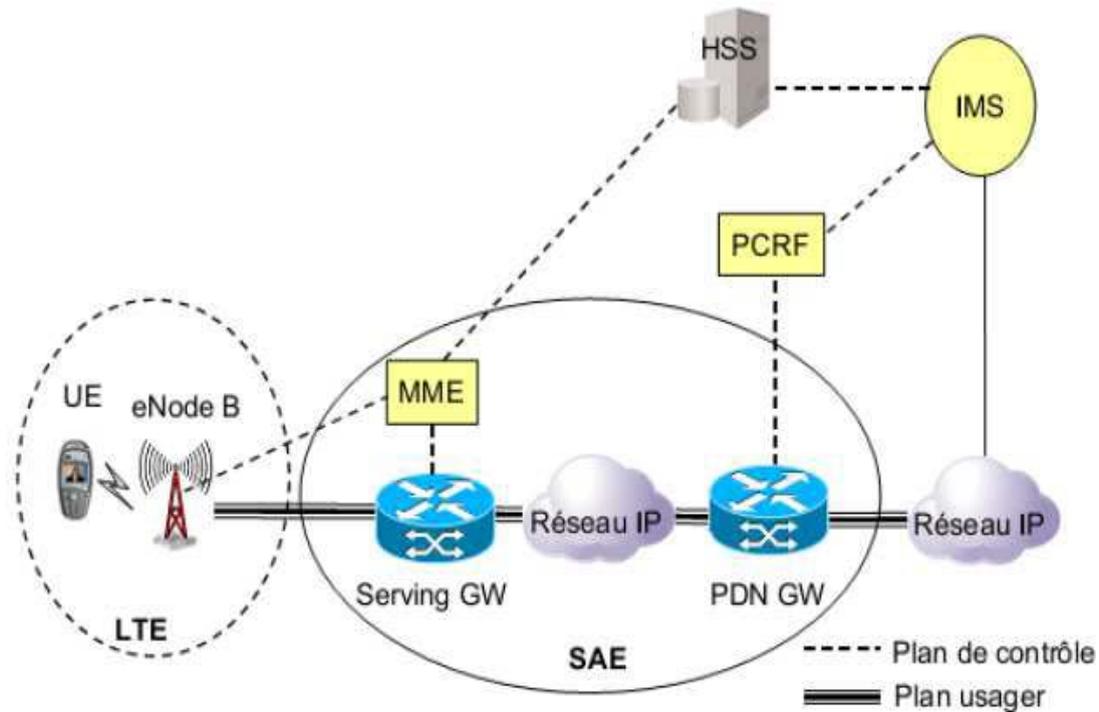
Caractéristique	Description
<b>Débit sur l'interface radio</b>	L'interface radio E-UTRAN doit pouvoir supporter un débit maximum descendant instantané (du réseau au terminal) de 100 Mbit/s toute en considérant une allocation de bande de fréquence de 20 MHz pour le sens descendant, et un débit maximum montant instantané (du terminal au réseau) de 50 Mbit/s en considérant aussi une allocation de bande de fréquence de 20 MHz
<b>Flexibilité de la bande passante</b>	Possible d'opérer avec une bande de taille différente avec les possibilités suivantes : 1.25, 2.5, 5, 10, 15 et 20 MHz, pour les sens descendant et montant. L'intention est de permettre un déploiement flexible en fonction des besoins des opérateurs et des services qu'ils souhaitent proposer.
<b>Efficacité du spectre</b>	Le LTE utilise une efficacité du spectre de 5 bit/s/Hz pour le sens Descendant, et 2,5 bit/s/Hz pour le sens montant.
<b>Méthode de duplexage</b>	Le LTE utilise le Frequency Division duplexing ( <i>FDD</i> ) et le Time Division Duplexing ( <i>TDD</i> )
<b>Technologies d'accès</b>	LTE utilise la technologie Orthogonal Frequency Division Multiple Access ( <i>OFDMA</i> ) pour le Sens descendant et Single Carrier - Frequency Division Multiple Access ( <i>SC-FDMA</i> ) et pour le Sens montant.

<b>Orthogonalité du DownLink et UpLink</b>	La liaison montante et la liaison descendante des utilisateurs sont orthogonales entre elles (pas d'interférence intracellulaire).
<b>Coexistence et Interfonctionnement avec la 3G</b>	Le handover entre E-UTRAN (LTE) et UTRAN (3G) doit être réalisé en moins de 300 ms pour les services temps-réel et 500 ms Pour les services non temps-réel. Il est clair qu'au début du déploiement de la LTE peu de zones seront couvertes. Il s'agira pour l'opérateur de s'assurer que le handover entre LTE et La 2G/3G est toujours possible [2].
<b>Mobilité</b>	La mobilité est assurée à des vitesses comprises entre 120 et 350 km/h. Le handover pourra s'effectuer dans des conditions où l'usager se déplace à grande vitesse.
<b>Technologie d'antenne</b>	LTE utilise la technologie d'antenne Multiple Input Multiple Output (MIMO)
<b>Support du multicast</b>	Notamment pour les applications multimédia telles que la télévision en broadcast.

### 3.2. Architecture de LTE

L'architecture générale du réseau LTE comporte 3 parties :

- User Equipement
- Un réseau d'accès : l'E-UTRAN
- Un réseau cœur : Réseau tout-IP

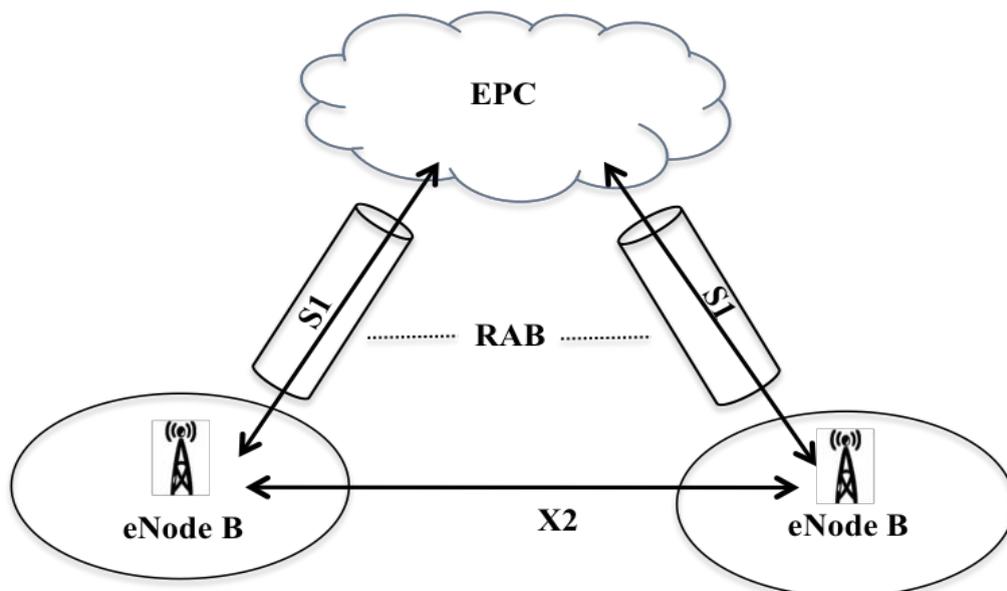


**Figure 10 : Architecture 4G/LTE [2]**

### 3.3. Réseau d'accès 4G/LTE

Le réseau d'accès LTE contient un nœud unique l'Evolved NodeB ou eNodeB, Il rassemble en une seule entité les fonctionnalités des nœuds NodeB et RNC de l'UMTS. Le principal rôle de l'eNodeB est de véhiculer les flux de données de l'UE vers l'EPC (Evolved Packet Core Network) au moyen des fonctions comme le RRM (Radio Ressource Management) et le CAC (Call Admission Control). Elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : **S1-U** (S1-Usager) se trouve entre l'eNodeB et le SGW et **S1-C** (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME. Les eNodeB ont offert deux qualités au réseau : la sécurité en cas de problème d'un relais et le partage des ressources équitable en cas de saturation du lien principale.

Cette opération est faite grâce à l'utilisation de l'interface S1 qui joint l'E-UTRAN aux composantes de l'EPC. L'E-UTRAN a une nouvelle interface X2 unique au réseau LTE.



**Figure 11 : Architecture du réseau d'accès**

### 3.3.1. L'interface X2

C'est une interface logique. Elle est introduite dans le but de permettre aux eNodeBs d'échanger des informations de signalisation durant le Handover sans faire intervenir le réseau cœur. L'eNodeB est relié au cœur du réseau à travers l'interface S1. Son rôle est de minimiser la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover). Lorsque l'utilisateur se déplace en mode ACTIF d'un eNodeB à un autre eNodeB, de nouvelles ressources sont allouées sur le nouvel eNodeB pour l'UE, De cette façon la planification des réseaux d'accès devient très simple vu que le nombre de nœuds et d'interfaces a été diminué. Par conséquent Cette simplicité engendre une diminution des pertes de paquets qui peuvent être provoquées en cas de relève, celle des coûts d'opération ainsi qu'une diminution du temps de latence dans le système. [7]

### 3.3.2. L'interface S1

C'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur. Elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires : Cette dernière consiste en S1-U (S1-Usager) entre l'eNodeB et le SGW et S1-C (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME.

### 3.3.3. Caractéristiques de EPS

L'EPS (Evolved Packet System) représente la partie motrice du réseau LTE

Il a les caractéristiques suivantes :

- Il possède une architecture plate et simplifiée comparativement à celle de 2G/3G puisque la fonction de contrôleur d'antenne disparaît. La seule entité présente dans l'accès est l'eNodeB qui peut être assimilée à un NodeB plus un RNC.
- Il s'agit d'une architecture uniquement paquet comparée à l'architecture 2G/3G circuit et paquet.
- Il permet une connectivité permanente tout-IP
- Son interface radio est totalement partagée entre tous les usagers en mode ACTIF comparée à des ressources dédiées et partagées dans l'architecture 2G/3G. Les appels voix et visiophonie requièrent des ressources dédiées en 3G.

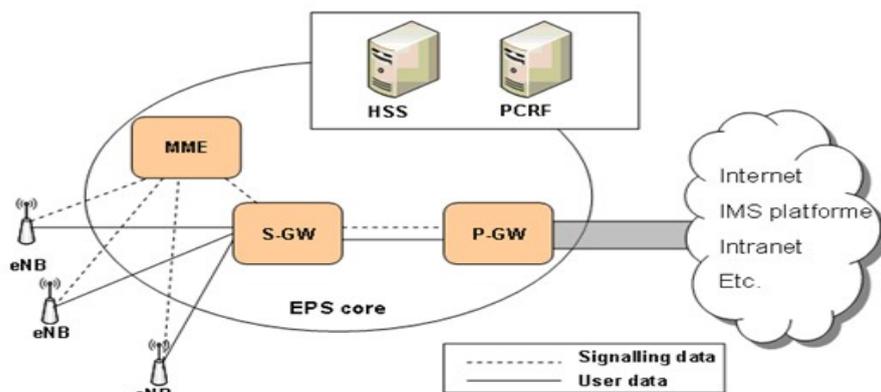


Figure 12 : Architecture EPS

### 3.3.4. Les fonctionnalités de l'EPS :

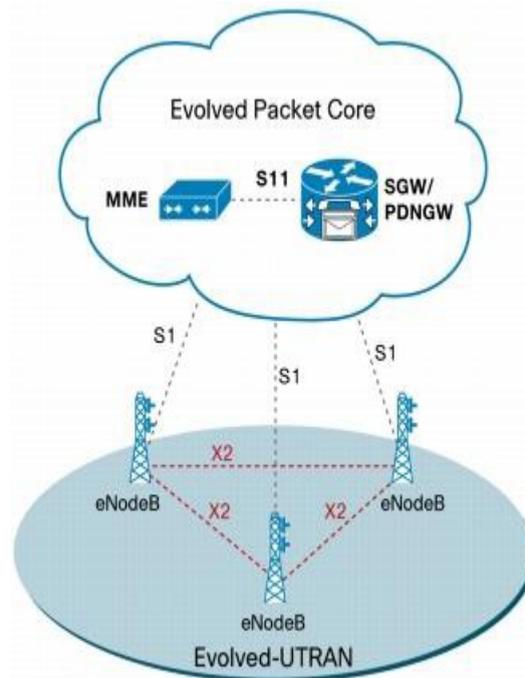
Les fonctions principales assurées par l'EPS sont les suivantes:

- *Fonction de contrôle d'accès réseau* : permet d'authentifier l'utilisateur lorsque ce dernier se connecte au réseau, met à jour sa tracking area et demande des ressources pour ses communications. Elles permettent aussi de réaliser la taxation de l'utilisateur en fonction de l'usage des ressources et en fonction des flux de service émis et reçus. Elle permet enfin de sécuriser les flux de signalisation et les flux média des utilisateurs en les encryptant entre l'UE et l'eNodeB.
- *Fonction de gestion de la mobilité* : permet à l'UE de se connecter et se déconnecter et de mettre à jour sa tracking area.

➤ *Fonction de gestion de session* : permet d'établir des defaults bearers et des dedicated bearers afin que l'UE dispose de connectivités IP pour ses communications.

*Fonction de routage de paquet et de transfert* : permet d'acheminer les paquets de l'UE au PDN GW ainsi que du PDN GW à l'UE.

➤ *Fonction de gestion de ressource radio* : permet l'établissement et la libération de RAB (Radio Access Bearer) entre l'UE et le Serving GW à chaque fois que l'UE souhaite devenir actif pour communiquer. [7]



**Figure 13 : Architecture E-UTRAN**

### 3.4. eNodeB

L'eNodeB contrôle essentiellement la transmission et de la réception radio avec l'UE. A la différence de l'UTRAN 3G+ où sont présentes les entités NodeB et RNC, l'architecture E-UTRAN ne présente que des eNodeB. Les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l'eNodeB et les entités du réseau cœur MME/Serving GW. L'eNodeB dispose d'une interface S1 avec le réseau cœur. L'interface S1 se trouve (S1-Contrôle) entre l'eNodeB et le MME et S1-U se trouve (S1-Usager) entre l'eNodeB et le Serving GW.

### 3.5. Entité MME

Les fonctions de l'entité MME incluent:

- *Signalisation EMM et ESM avec l'UE* : Les terminaux LTE disposent des protocoles EMM (EPS Mobility Management) et ESM (EPS Session Management) qui leur permettent de gérer leur mobilité (attachement, détachement, mise à jour de localisation) et leur session (établissement/libération de session de données) respectivement. Ces protocoles sont échangés entre l'UE et le MME
- *Authentification* : Le MME est responsable de l'authentification des UEs à partir des informations recueillies du HSS
- *Joignabilité de l'UE dans l'état ECM-IDLE (incluant paging)* : C'est l'entité MME qui est responsable du paging lorsque l'UE est dans l'état IDLE et que des paquets à destination de l'UE sont reçus et mis en mémoire par le Serving GW.
- *Gestion de la liste de Tracking Area* : L'UE est informé des zones de localisation prises en charge par le MME, appelées Tracking Area. L'UE met à jour sa localisation lorsqu'il se retrouve dans une Tracking Area qui n'est pas prise en charge par son MME.
- *Sélection du Serving GW et du PDN GW* : C'est au MME de sélectionner le Serving GW et le PDN GW qui serviront à mettre en oeuvre le Default Bearer au moment du rattachement de l'UE au réseau.
- *Sélection de MME lors du handover avec changement de MME* : Lorsque l'utilisateur est dans l'état ACTIF et qu'il se déplace d'une zone prise en charge par un MME à une autre zone qui est sous le contrôle d'un autre MME, alors il est nécessaire que le handover implique l'ancien et le nouveau MME.
- *Sélection du SGSN lors du handover avec les réseaux d'accès 2G et 3G* : Si l'utilisateur se déplace d'une zone LTE à une zone 2G/3G, c'est le MME qui sélectionnera le SGSN qui sera impliqué dans la mise en place du default bearer.
- *Roaming avec interaction avec le HSS nominal* : Lorsque l'utilisateur se rattache au réseau, le MME s'interface au HSS nominal afin de mettre à jour la localisation du mobile et obtenir le profil de l'utilisateur.

- *Fonctions de gestion du bearer incluant l'établissement de dedicated bearer* : C'est au MME d'établir pour le compte de l'utilisateur le default bearer et dedicated bearer nécessaires pour la prise en charge de ses communications.
- *Interception légale du trafic de signalisation* : L'entité MME reçoit toute la signalisation émise par l'UE et peut l'archiver à des fins de traçabilité. [7]

### **3.6. Entité Serving GW**

Les fonctions de l'entité Serving GW incluent :

- *Point d'ancrage pour le handover inter-eNodeB* : Lors d'un handover inter-eNodeB, le trafic de l'utilisateur qui s'échangeait entre l'ancien eNodeB et le Serving GW doit désormais être relayé du nouvel eNodeB au Serving GW.
- *Point d'ancrage pour le handover LTE et les réseaux 2G/3G* : Il relaie les paquets entre les systèmes 2G/3G et le PDN-GW. Lors d'une mobilité entre LTE et Les réseaux 2G/3G paquet, le SGSN du réseau 2G/3G s'interface avec le Serving GW pour la continuité du service de données.
- *Mise en mémoire des paquets entrants* lorsque l'UE destinataire est dans l'état ECM-IDLE et initialisation de la procédure de demande de service initiée par le réseau.
- *Interception légale* : Le Serving GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- *Routage des paquets et relai des paquets* : Le Serving GW route les paquets sortant au PDN GW approprié et relaie les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.
- *Comptabilité par usager pour la taxation inter-opérateurs* : Le Serving GW comptabilise le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements. [7]

### **3.7. Entité PDN GW**

Les fonctions de l'entité PDN GW incluent :

*L'Interface vers les réseaux externes (Internet et intranet)* : Le PDN GW est l'entité qui termine le réseau mobile EPS et assure l'interface aux réseaux externes IPv4 ou IPv6.

- *Allocation de l'adresse IP de l'UE* : Le PDN GW assigne à l'UE son adresse IP dès l'attachement, en ce moment le réseau établit un défaut bearer permanent à l'UE. Le PDN GW a la possibilité d'allouer une adresse IPv4 ou IPv6.
- *Interception légale* : Le PDN GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement/ la libération de bearer et sur le chemin du média (paquets de données échangés par l'UE). Il est donc un point stratégique pour l'interception légale des flux média et contrôle.
- Marquage des paquets dans les sens montant et descendant, e.g. Positionnant le DiffServ Code Point sur la base du QCI (QoS Class Identifier) du bearer EPS associé. Cela permet d'associer des priorités aux flux de données au sens DiffServ.
- Taxation des flux de service montants et descendants (sur la base des règles de taxation fournies par le PCRF) ou sur la base de l'inspection de paquets définie par des politiques locales). [7]

### **3.8. Entité HSS**

Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé Home Subscriber Server (HSS). Le HSS est un HLR évolué et contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS. Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS).

### **3.9. Entité PCRF**

L'entité PCRF réalise deux fonctions :

- Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un default bearer ou un dedicated bearer est activé ou modifié pour l'utilisateur. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Par exemple, si l'utilisateur fait transiter sur son default bearer des flux WAP et des flux de streaming, il sera possible au PDN GW de distinguer ces deux flux et de taxer le flux WAP sur la base du volume alors que le flux de streaming sera taxé sur la base de la durée.
- Elle permet de demander au PDN GW d'établir, de modifier et de libérer des dedicated bearer sur la base de QoS souhaitée par l'utilisateur. Par exemple, Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au P-CSCF qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session. [7].

## 4. La qualité de service

### 4.1. Les services LTE

Une nouvelle génération de systèmes mobiles permet habituellement une introduction de nouveaux services et une amélioration de certains services vis-à-vis les générations précédentes. Le premier changement apporté par le LTE au niveau de l'utilisateur en termes de confort d'utilisation des services en ligne (Navigation Web, Vidéo streaming, Transfert de fichiers, VoIP, etc).

### 4.2. Efficacité QoS

Le réseau LTE offre des services qui exigent une bonne QoS. Puisque c'est un réseau tout-paquet, il est nécessaire de disposer d'un mécanisme pour faire la différenciation entre les flux de paquet selon les besoins de qualité de service. Chaque flux IP est associé à un porteur EPS différent et le réseau décide de la priorité du trafic. Lors de la réception d'un paquet IP à partir d'Internet, PGW effectue la classification des paquets en fonctions de certains paramètres prédéfinis et lui envoie un porteur approprié EPS [B7].

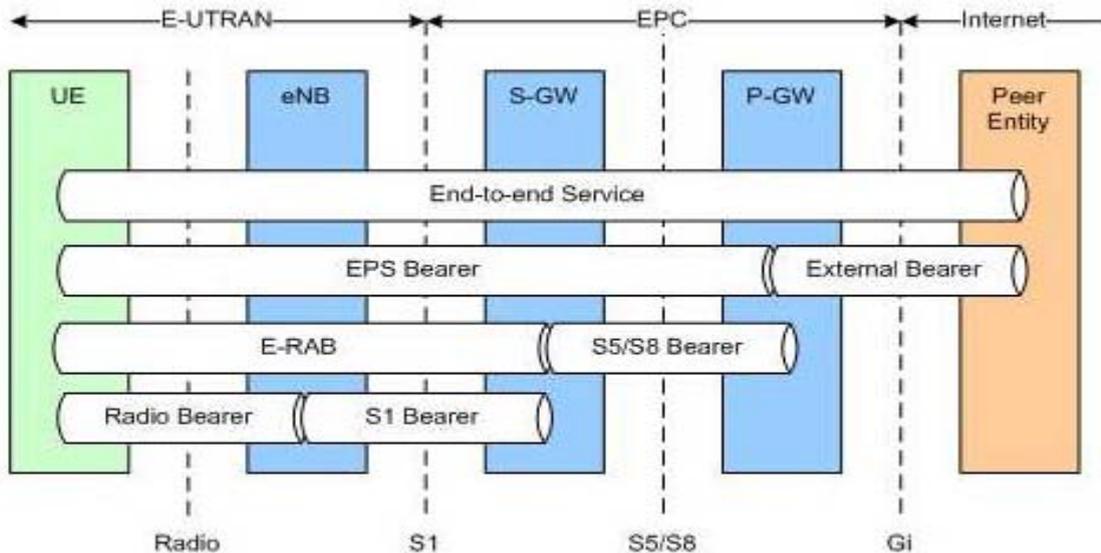


Figure 14 : Architecture EPS Bearer [7]

Le LTE a défini les classes de services qu'il peut offrir et qui dépendent de la QoS désirée par l'utilisateur. La qualité de service est généralement définie par les critères suivants :

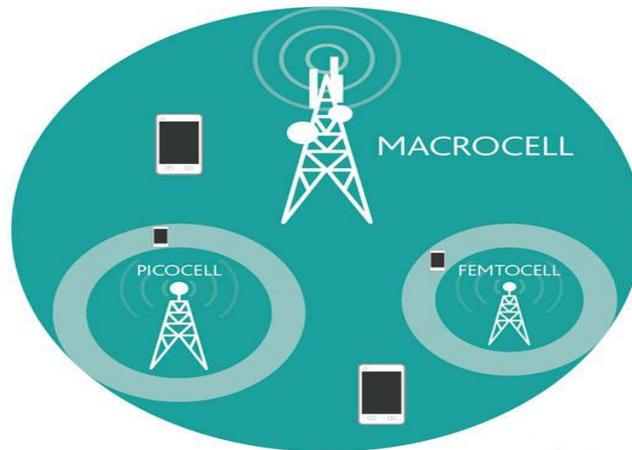
- ✓ **Délai** : temps écoulé entre l'envoi d'un paquet et sa réception.
- ✓ **Gigue sur le délai** : variation du délai de deux paquets consécutifs
- ✓ **Bande passante minimum** : taux de transfert minimum pouvant être maintenu entre deux points terminaux.
- ✓ **Fiabilité** : taux moyen d'erreurs d'une liaison

## 5. Les réseaux hétérogènes (HetNet)

Les réseaux hétérogènes, sont appelés HetNet (Heterogeneous Network), ne mentionnent pas une technologie spécifique, mais ils correspondent à la technique de déploiement multicouches. Autrement dit, plusieurs techniques d'accès, plusieurs formats de cellule, plusieurs types de couverture sont mis en œuvre dans la même zone de déploiement. Le besoin découle du fait que la plupart des zones de déploiement ont un certain degré d'hétérogénéité en termes d'exigences de couverture de débits, de délai, etc. En effet, une macro cellule permet de réaliser le plus grand rayon de couverture, une pico cellule ou femto cellule est caractérisée par une surface de couverture plus petite, donc elle sert moins d'abonnées ce qui obéit à la contrainte de capacité. L'idée est donc de déployer plusieurs formats de cellule dans la même zone, pour se garantir à la fois :

- De la capacité : en mettant en place une couche hot spot composés de plusieurs cellules à tailles réduites (pico/femto) et des nœuds relais, ces derniers sont moins coûteuses, faciles à installer et elles permettent en plus d'assurer la couverture à l'intérieur des bâtiments des utilisateurs (bureaux, maisons, etc.)
- De la couverture : en utilisant une macro cellule capable d'étendre la couverture dans la zone entière.

Un utilisateur peut se connecter à un réseau de type HetNet selon la technologie qui répond le plus à son besoin : ad hoc, Wifi, etc. HetNet est constitué donc d'une station macro qui coopère avec plusieurs petites cellules de tailles réduites d'une façon transparente dans le but d'augmenter la capacité et la couverture. [8]

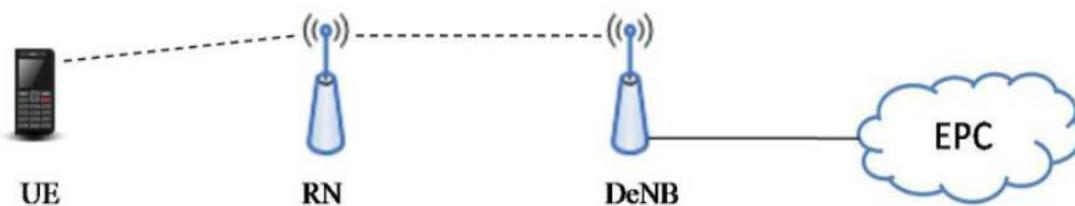


**Figure 15 : Technique de Hnet LTE [7]**

### 5.1. Les nœuds de relai

Le relai est une des fonctionnalités proposées pour les systèmes IMT-Advanced. Afin d'améliorer la couverture ainsi que la capacité du réseau dans un environnement urbain ou résidentiel, couvrir des zones sans couverture ou étendre la couverture dans les zones rurales. Le nœud de relai, a pour rôle principal de recevoir, d'amplifier et ensuite de retransmettre les signaux UL et DL.

Le nœud de relai (RN) est connecté au réseau d'accès E-UTRAN à travers une connexion sans fil à une station de base eNB, appelée nœud donneur (DeNB).



**Figure 16 : Le nœud de relai dans LTE-Advanced**

Dans le standard LTE version 10, le nœud RN se connecte au nœud DeNB en deux modes :

- Le mode in-band : dans ce mode, le lien RN-DeNB partage les mêmes ressources radios que le lien RN-UE.
- Le mode out-band : contrairement au mode in-band, le lien RN-DeNB n'utilise pas la même sous-porteuse que le lien RN-UE.

## **6. Réseau mobile 5G :**

C'est le futur réseau mobile très haut débit, la 5G devra être un réseau mobile ultra haut débit, économique en ressources énergétiques avec une excellente intégration et continuité avec la 4G et le Wi-Fi. Les appareils 5G devront donc être compatibles avec les réseaux hétérogènes tel que un réseau 4G ou Wi-Fi, par exemple agréger le débit. Cette nouvelle technologie 5G pourra couvrir de nombreux appareils, du petit détecteur de fumée jusqu' au smartphone et même une voiture ou un drone connecté. Tous ces appareils n'ont pas la même nécessité en bande passante ou en latence. Ainsi, le débit maximal devrait se situer aux alentours de 1 Gbps pour le téléchargement et 500 Mbps pour l'upload, avec une latence de 10ms. Le débit minimal accessible n'importe où, entre 0 et 120 km/h devra être de 50 Mbps. Il pourra atténuer une dizaine de Mbps pour certains cas comme les voyages en avion ou les zones très difficiles d'accès. Certains appareils (voitures connectées) pourraient bénéficier d'une latence de moins de 1ms et d'une bande passante d'environ 50 Mbps, d'autant plus que ces débits doivent être accessibles 95 % du temps, dans 95 % des lieux [7].

Pour les entreprises, le passage à des offres 4G constitue déjà un gain important pour la productivité de leurs collaborateurs. L'accès à La messagerie est au moins d'une seconde, un rapport d'une cinquantaine de mégaoctets peut être consulté en une dizaine de secondes et même une application lourde de 500 Mo peut être téléchargée en seulement deux minutes. La rapidité des débits descendants et ascendants permet également la participation facile à des visioconférences sans recours à une salle dédiée ce qui réduira d'avantages le coût d'investissement. Alors qu'apportera en plus la 5G ? Tout abord La rapidité des futurs échanges de cette technologie en un temps très court pour télécharger un film en haute-définition. Mais la 5G a été surtout conçue pour répondre à d'autres exigences à part le débit. Les communications M2M (Machine-to-Machine) et l'internet des objets apportent une vraie révolution au niveau de nombreuses industries. Et ce rassemblement d'objets connectés amène ses risques et périls de ralentissement des réseaux mobiles, y compris 4G. [17]

### **6.1. L'évolution de l'architecture réseau**

La 5G incorporera une nouvelle couche physique, ce qui permet l'utilisation d'entrées multiples, sorties multiples massives et les ondes radio millimétriques, ces innovations d'un point de vue évolution au niveau d'architecture des réseaux sont très prometteuses.

Actuellement, un réseau cellulaire est constitué d'une seule station de base qui peut servir un nombre important d'utilisateurs. Toutefois, la nouvelle architecture des réseaux mobiles devient de plus en plus hétérogène, pour plusieurs bonnes raisons. Dans ces réseaux hétérogènes, ("Het Nets"), les stations de base sont souvent augmentées avec un grand nombre de petites cellules comme les femto cellules et les pico cellules, qui jouent le rôle des stations de base miniatures employées afin d'améliorer la couverture dans des zones difficiles et d'augmenter la capacité du réseau, de plus les radios Wi-Fi peuvent participer aux réseaux cellulaires en augmentant la capacité. En fait, ces évolutions dans la topologie réseau sont déjà en cours. Cette technologie 5G peut employer grâce à la réduction de la taille des cellules, une gamme de fréquences plus élevées qui n'est pas viables, à présent, à cause des problèmes de propagation sur la distance.

## **6.2. Une autonomie de longue durée**

La 5G ou LTE Advanced devra offrir un faible coût par méga-octet, à la fois pour des utilisations classiques (telles que : « regarder une vidéo »), mais aussi pour les entreprises et les utilisations professionnelles, telles que la connexion de tous types de compteurs (eau, gaz, électricité). Derrière ce défi économique se dresse également un enjeu de développement durable. L'intégration automatisée de toutes les données provenant de compteurs hétérogènes permettra de contrôler les dépenses énergétiques et donc de réaliser des économies d'énergie. Ainsi la 5G devrait être capable de connecter des équipements alimentés par une pile avec une durée de vie allant de 5 à 10 ans. [17]

## **6.3. Le défi de l'Internet des Objets**

La nouvelle technologie visera à multiplier en exponentielle des objets connectés. Non seulement ils seront plusieurs milliards sur la planète, mais ils seront créés à partir de systèmes hétérogènes les uns par rapport aux autres. L'un des défis de la 5G consistera à faciliter leur intégration et leur interopérabilité, pour obtenir une fluide communication entre des objets très différents (par exemple une montre digitale, un compteur électrique, une voiture connectée...) [17]

## 6.4. Enjeu du coût

La différence entre la 5G et la 4G ne devrait pas se situer principalement au niveau du débit maximum mais plutôt en termes de consommation de batterie, de couverture, de réduction des prix grâce à des coûts de déploiement d'infrastructures moins coûteuses et d'une plus grande capacité globale pour plusieurs utilisateurs simultanés. Ainsi cette nouvelle technologie 5G, présentera une technologie multistandards, multi-bandes et multicouches. Elle élimine les obstacles d'installation sur site, tout en triplant la densité de capacité et en améliorant l'efficacité énergétique de 50 %. Le nouveau système protège les investissements des opérateurs et permet la coexistence sur les sites. Tout en permettant une densité radio sans égale. Le nouveau procédé de circulation d'air autorise l'installation dans les espaces les plus réduits. Les modules radio peuvent être fixés à la verticale ou à l'horizontale sur un rail, à plat sur une échelle à câble ou derrière une antenne. Diminuant par 5 la prise au vent, l'équipement est plus léger et plus durable en cas de déploiement sur une tour, La 5G est une solution modulaire de bout en bout, qui intègre de nombreux nouveaux produits, parmi lesquels des macro- et microcellules, des systèmes d'antennes, le transport IP, des nœuds hertziens, des rails et autres équipements de site, dont les capacités peuvent être augmentées par des mises à jour logicielles semestrielle, elle permettra aux opérateurs de réseaux d'affronter l'augmentation des besoins en données mobiles[17].

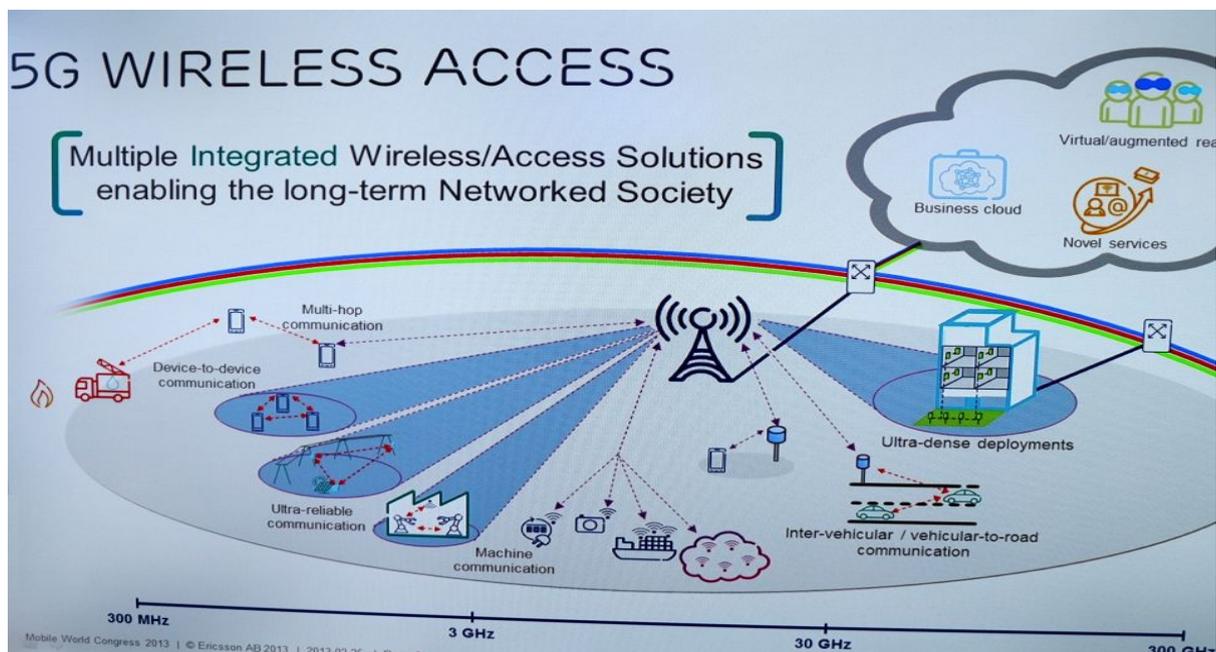


Figure 17 : Architecture 5G [6]

## **7. Conclusion**

Dans ce deuxième chapitre, nous avons fait une présentation générale de l'ensemble de concepts nécessaires pour la compréhension du reste du projet : les différents éléments du réseau 3G, leurs fonctionnalités et leurs caractéristiques, ainsi que l'architecture de réseau 4G. Une bonne connaissance de l'architecture et ces caractéristiques permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, de leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité. On a mis le point aussi sur une autre nouvelle technologie futur la 5G qui surtout ne nécessite pas un grand investissement, et plus performante que LTE. Le chapitre suivant décrira comment affecter les équipements de réseau 4G/LTE au réseau 3G+ existant en minimisant le coût.

# Chapitre 3 : Affectation des entités 4G/LTE à une Plateforme 3G+ et optimisation de coût

---

- ✓ Méthodes de résolution basées sur des heuristiques
- ✓ Méthode d'analyse
- ✓ Modélisation du problème d'affectation

## 1. Introduction

L'un des problèmes de la planification les plus étudiés est celui d'affectation. Ce chapitre montre certains concepts de base, utiles à la formulation du problème. Ensuite, l'architecture du réseau sera présentée, et permettra au moyen des ensembles décrivant les équipements, et des variables, d'élaborer le modèle mathématique proposé. Ce chapitre se termine par une analyse de la complexité du problème, dans le but de trouver une méthode de résolution adéquate.

## 2. Analyse du modèle mathématique

L'analyse de la complexité du problème d'affectation dans la planification d'un réseau 4G à partir d'un réseau 3G+ existant est influencée par le nombre et les niveaux des équipements dans l'architecture. En effet, plus il existe des niveaux d'équipements et plus il existe des combinaisons d'affectations. Plus il existe des combinaisons et plus nombreuses sont les opérations de mises à jour en cas de relève, essentiellement dans le cas de relève complexe. En effet, l'architecture obtenue de l'affectation fait intervenir des équipements appartenant à des niveaux différents, de technologies différentes et par conséquent regroupe un ensemble de caractéristiques, plus diversifiés les uns les autres. Ainsi, l'analyse de la complexité du problème sera basée sur l'analyse faite de la complexité des deux réseaux impliqués dans l'architecture.

Les méthodes exactes, comme l'algorithme à énumération exhaustive, sont de complexité exponentielle. Elles offrent une solution exacte, mais peuvent exploser avec la taille du problème. En effet, avec  $e$  NodeB,  $g$  SGSN,  $s$  SGW et  $m$  MME ou  $q$  SGM, le principe de résolution consisterait à effectuer un nombre de  $(m + s)e$  et  $(m + s)g$  ou de  $q(e+g)$  combinaisons. Trouver dans ce cas les schémas d'affectations qui permettront de réduire le coût tout en estimant la capacité de chacun des nœuds SGM, nécessiterait un temps de traitement important. Tel que défini, le problème d'affectation se présente alors comme un problème d'optimisation dont le but est de trouver une solution minimisant le coût des affectations et celui des relèves de manière à réduire le coût d'extension, assurer une meilleure couverture de la zone considérée, tout en respectant les contraintes de capacités des nœuds du réseau cœur. Cette caractéristique oriente vers le choix d'une heuristique qui offre en un temps raisonnable des résultats qui convergent vers l'optimum. [12]

### **3. Méthodes de résolution basées sur des heuristiques**

Dans cette section, les trois principales heuristiques adaptées au problème d'affectation seront décrites. Ce sont : le recuit simulé, les algorithmes génétiques et la recherche avec Tabou.

#### **3.1. Recuit simulé**

Le recuit simulé est un algorithme de recherche locale basée sur la notion de voisinage entre les configurations. Chaque configuration  $S$  est obtenue en appliquant un ensemble de mouvements  $M(S)$  définis de façon aléatoire suivant le critère de Métropolis. De manière générale, un mouvement est automatiquement accepté s'il améliore le coût de la solution actuelle. Sinon, il sera appliqué selon une probabilité qui dépend d'une certaine température. Selon le critère de Métropolis, plus la température est élevée, plus il est possible d'accepter de mauvaises solutions. Ainsi, en adaptant le recuit simulé au problème d'affectation, une amélioration de la solution sera toujours acceptée alors qu'une augmentation de la fonction de coût sera acceptée avec une certaine probabilité qui dépend de la température. [12]

#### **3.2. Algorithmes génétiques (AG)**

Les algorithmes génétiques sont une abstraction de la théorie de l'évolution. Contrairement aux différentes méthodes déjà étudiées, cet algorithme tend à faire évoluer, non pas une seule, mais plusieurs configurations. Ainsi, l'adaptation au problème d'affectation vise à trouver à partir d'une population initiale de chromosomes, la meilleure affectation qui permet de minimiser le coût du réseau, tout en respectant les contraintes de capacités des commutateurs et celles liées à l'unicité des affectations des cellules aux commutateurs. Les solutions obtenues du problème sont des chaînes. Chaque chaîne représente le schéma d'affectation recherché, où chaque case de la chaîne reçoit le numéro du commutateur auquel la cellule est affectée. La longueur de la chaîne est égale au nombre de cellules et restera inchangée, car toutes les cellules doivent être affectées. La valeur maximale est égale au nombre maximal de commutateurs du réseau. [12]

#### **3.3. La Recherche tabou**

L'algorithme de recherche tabou consiste à améliorer itérativement une solution initiale afin d'aboutir à une solution finale respectant les contraintes de capacité et d'unicité des affectations aux commutateurs. Cette amélioration se réalise au moyen de mouvements qui permettent de passer d'une solution à une autre dans un espace de recherche prédéfini. Cet

l'algorithme est basé sur un mécanisme de mémoire (liste tabou) qui exclut les mouvements déjà effectués et évite d'y revenir pendant un certain nombre d'itérations.

La recherche tabou est une recherche locale, dont le principe de fonctionnement repose essentiellement sur l'exploration de l'ensemble des voisins de la solution courante. Deux principaux paramètres sont à considérer dans cet algorithme : la liste tabou et la tenure de la solution. La liste tabou est une mémoire propre à l'algorithme, qui garde la trace des solutions déjà explorées afin de ne pas les reproduire. Ce projet permet d'exclure certains choix de mouvements, et par conséquent restreindre les voisinages de la solution du problème. La notion de tenure est la durée du statut tabou d'une solution. Elle est utilisée pour indiquer pendant combien d'itérations, le mouvement générant cette solution reste tabou.

Autres critères dans la recherche tabou sont à considérer.

➤ **Critère d'aspiration**

Ce critère est souvent utilisé pour enlever les restrictions tabou d'un mouvement de haute qualité. Il permet de passer outre certains cas interdits. Son utilisation principale consiste à l'interdiction d'un mouvement s'il permet d'obtenir un élément meilleur que la solution trouvée jusqu'à présent (consiste à révoquer le statut Tabou d'un mouvement si ce dernier permet d'atteindre une solution de qualité supérieure à celle de la meilleure solution trouvée jusqu'alors). [12]

➤ **Critère d'intensification** (exploration plus poussée d'une région prometteuse)

L'intensification consiste à retourner à l'une des meilleures solutions trouvées jusqu'à présent, puis de reprendre la recherche à partir de cette solution.

La stratégie d'intensification est matérialisée dans l'algorithme suivant par renforcement de la recherche dans la liste des meilleurs mouvements. [12]

➤ **Critère de diversification**

Elle consiste à générer une nouvelle solution, différente de celle déjà explorées, dans le but de partir dans une nouvelle direction, pour explorer une autre région.

### 3.4. Comparaison des différents algorithmes

Nous présentons dans le tableau suivant une synthèse de la comparaison des trois algorithmes exposés dans ce chapitre :

Tableau 3 : 3.1: Différence entre les algorithmes

Recherche	Recuit simulé	Algorithme génétique
<p><b>Avantages :</b> Absorption de plus grand nombre de problèmes d'optimisation. Résultat plus proche de l'optimale. Convergence rapide</p> <p><b>Inconvénients:</b> Le caractère probabiliste. Rapidité de convergence dépendant du choix de la population initiale.</p>	<p><b>Avantages :</b> Aboutit à un minimum global. Peut supporter plusieurs contraintes.</p> <p><b>Inconvénients:</b> Convergence assez lente. Sensible au réglage des paramètres. Temps de calculs relativement importants. La difficulté de définir une loi de descente de la température.</p>	<p><b>Avantages :</b> Aboutit à un minimum global. Moins sensible au changement des paramètres. Facile dans son implémentation. Peut être adapté à divers problèmes</p> <p><b>Inconvénients:</b> Convergence lente. Temps de recherche relativement lent.</p>

## 4. Modélisation du problème d'affectation

### 4.1. Problème d'affectation :

Ce dernier consiste à déterminer un patron d'affectation des cellules à des commutateurs dans le but de minimiser une fonction de coût, tout en respectant un certain nombre de contraintes. De ce fait, deux types de relèves sont à considérer : une relève horizontale et une relève verticale qui peuvent être simples ou complexes. Ce projet tient compte uniquement de la relève horizontale inter 4G et de la relève verticale entre les réseaux 3G et 4G.

#### 4.1.1. Les relèves

Dans la planification d'un réseau 4G réalisée à partir d'un réseau 3G+ existant, le problème d'affectation consiste à trouver un patron d'affectation entre les nœuds eNodeB, SGSN, MME et SGW qui permet de minimiser une fonction de coût, tout en respectant certaines contraintes. Il convient alors de considérer les affectations entre les nœuds du réseau 4G et les affectations entre les nœuds des réseaux 3G+ et 4G. De ce fait, deux types de relèves sont à

considérer : une relève horizontale et une relève verticale qui peuvent être simples ou complexes.

#### 4.1.2. Relève horizontale simple

Au niveau du réseau 4G, la relève horizontale simple est déclenchée au niveau des nœuds eNodeB, reliées à un même MME et un même SGW. Le terminal mobile qui se trouve à la frontière de sa cellule courante envoie une requête de relève à l'eNodeB e desservant cette cellule. Cette requête peut être interceptée directement par la cellule destination desservie par un eNodeB e' au moyen de l'interface X2, ou en passant par le MME et le SGW communs à e et e' au moyen de l'interface S1 représentée à la Figure 18.

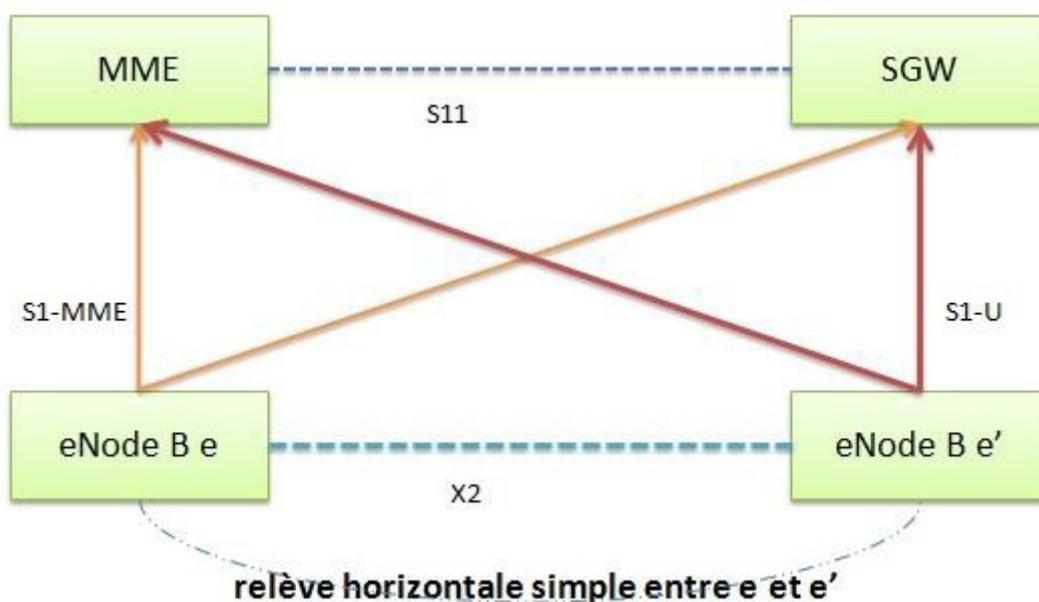
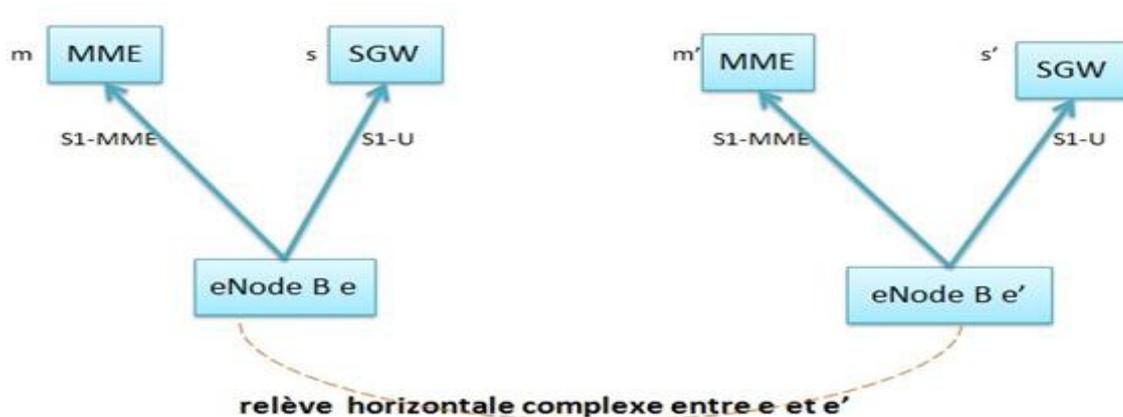


Figure 18 : Relève simple via interface X2 du réseau LTE

#### 4.1.3. Relève horizontale complexe

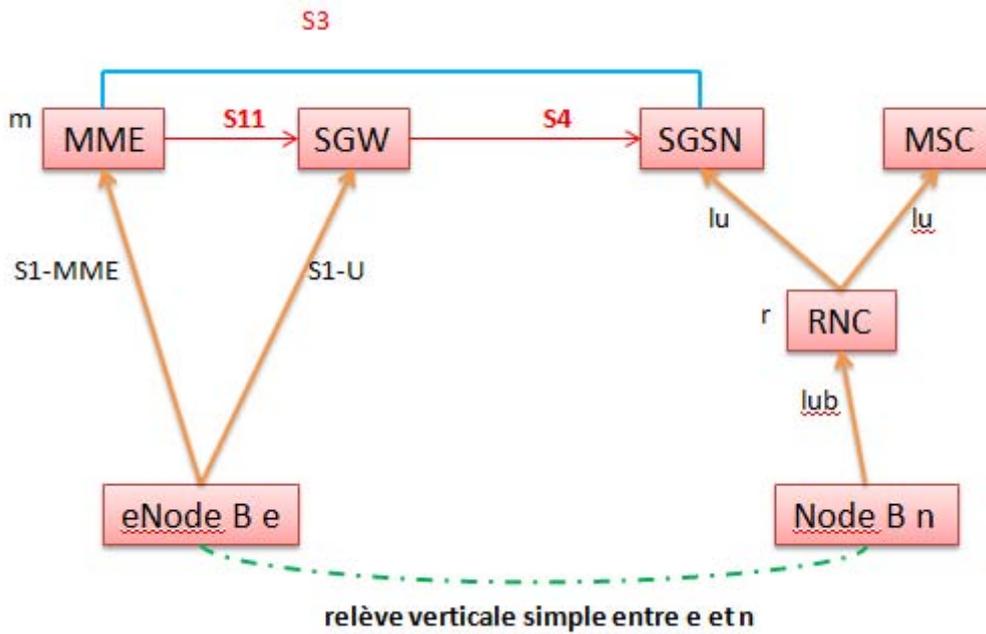
Dans cette relève, le transfert des informations d'un usager passant d'une cellule à une autre fait intervenir des eNodeB différents, soient e, e', eux-mêmes reliées à des MME et des SGW différents, telle qu'illustrée à la Figure 19. Ainsi, l'eNodeB source e déclenche le mécanisme de relève en envoyant, au moyen de l'interface S1, une requête au MME qui lui est affecté. Le MME à son tour vérifie les informations reçues de la requête et les achemine à l'eNodeB cible e' auquel elles sont destinées. Les opérations liées à la relève s'achèvent quand l'eNodeB e reçoit la confirmation sur la réception des informations de l'eNodeB e'.



**Figure 19 : Relève horizontale complexe dans le réseau LTE**

#### **4.1.4. Relève verticale simple**

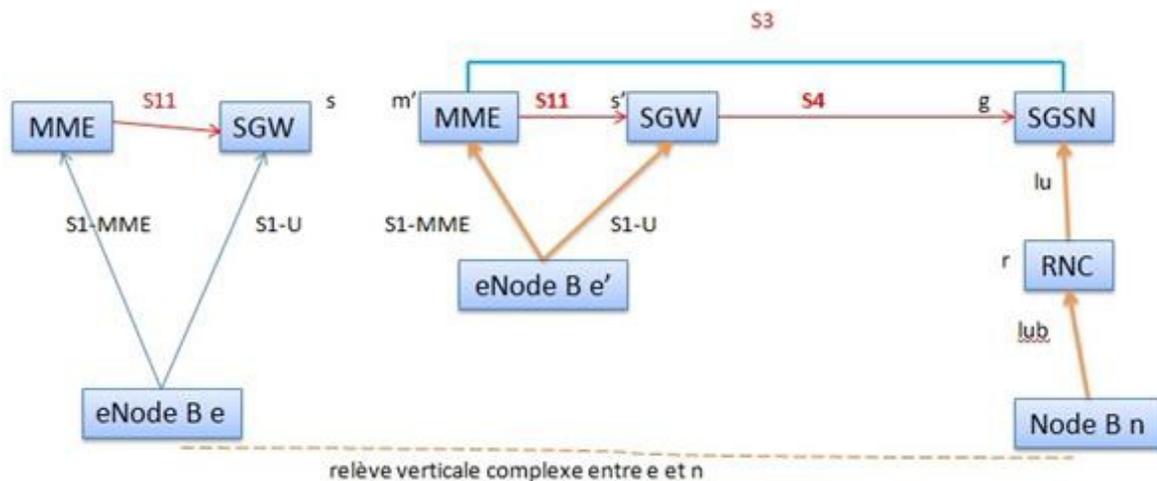
La relève verticale fait intervenir les cellules appartenant à des technologies d'accès radio différentes. Cette relève permet ainsi d'assurer la continuité des services quand le type d'accès utilisé n'est plus offert sur la couverture courante de l'utilisateur. Etant donné que ce projet traite de la planification d'un réseau 4G à partir d'un réseau 3G+, la relève verticale fera usage des interfaces Iub et Iu pour le réseau 3G+ basé HSPA et des interfaces S1 et S4 pour le réseau 4G basé LTE, comme le montre la Figure 20. Les principaux nœuds qui interviennent dans la connexion des deux réseaux sont : le SGSN du réseau HSPA, le MME et le SGW du réseau LTE. Ainsi, pour effectuer le transfert d'informations à travers le réseau, une requête est envoyée par l'eNodeB source via l'interface S1 au MME. Ce dernier, informe alors le SGW et le SGSN destination au moyen des interfaces S11, S3 et S4 desservant la cellule où l'UE se dirige. Ainsi, les échanges effectués lors de cette relève permettent de maintenir la session de l'utilisateur sans interruption pendant que ce dernier se déplace à travers les réseaux d'accès différents.



**Figure 20 : Relève verticale entre les réseaux 3G+ et 4G**

#### 4.1.5. Relève verticale complexe

La relève verticale est dite complexe quand l'eNodeB et le SGSN sont chacun liés à des MME et SGW différents, Par conséquent, tout transfert d'informations entre ces deux nœuds transite à travers plusieurs nœuds MME, SGW, SGSN et RNC intermédiaires, de technologies différentes, ce qui augmente le nombre d'opérations de mises à jour et, en même temps, le coût de la solution.

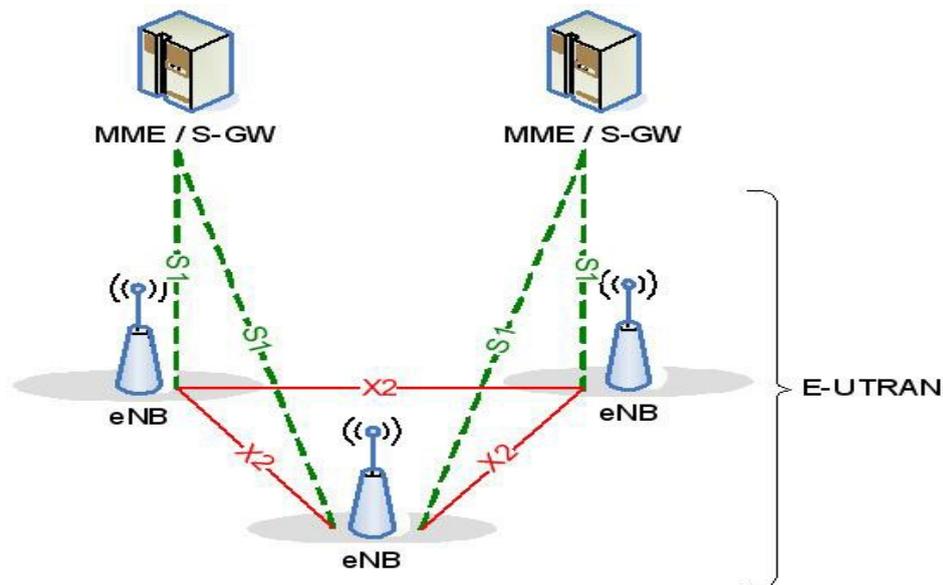


**Figure 21 : Relève verticale complexe entre le réseau LTE et HSPA**

## 4.2. Méthode d'analyse

Dans les réseaux LTE, les liaisons entre certains équipements peuvent être logiques. De ce fait, plusieurs modes de couplage sont possibles entre les nœuds. Le couplage qui sera

considéré dans le cadre de ce projet est un regroupement des nœuds MME et SGW. Ainsi, les nœuds MME et SGW seront représentés par une entité unique, appelée SGM comme ci montre la Figure 21.



**Figure 22 : Architecture LTE avec couplage de nœud**

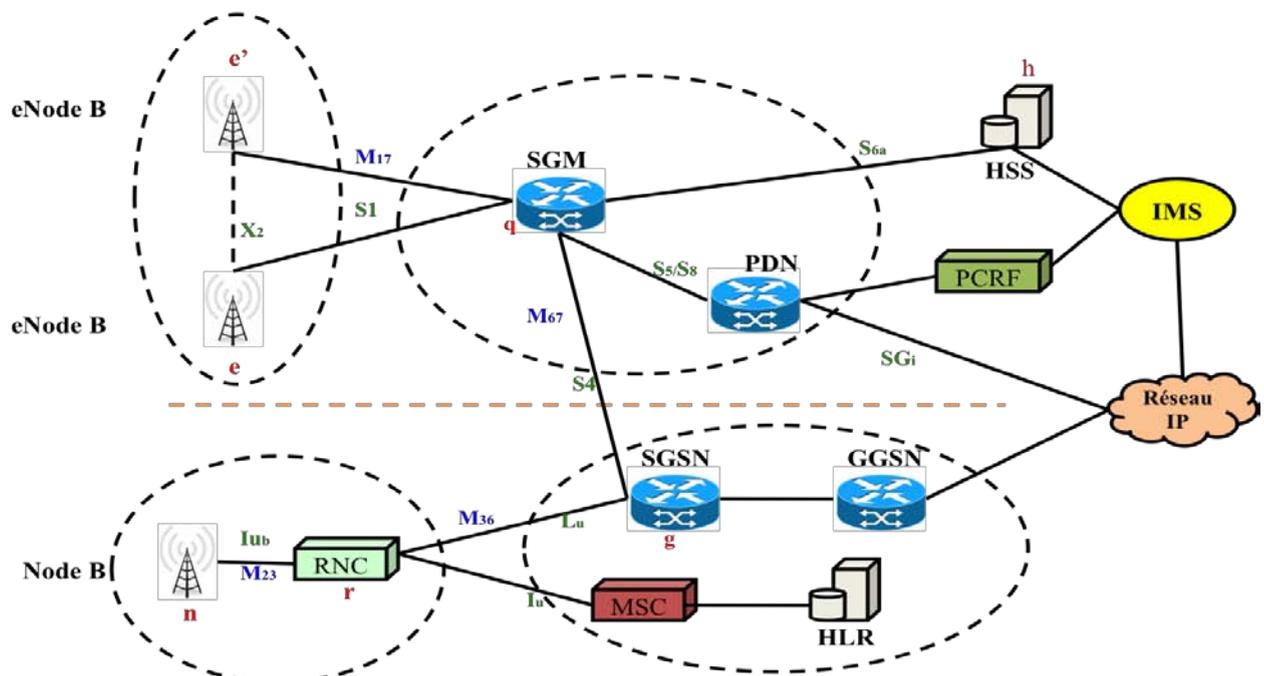
Pour analyser le problème d'affectation dans la planification d'un réseau 4G à partir d'un réseau 3G+, l'approche générale permet de calculer le coût d'affectation de chaque composante du réseau. Elle comporte : les coûts des infrastructures, des liaisons de contrôle, des liaisons physiques et des relèves. L'approche simplifiée prend en considération le trafic utile du réseau. Elle repose essentiellement sur les liens physiques existant entre les nœuds et se compose des coûts des infrastructures, des liaisons et des relèves. Le modèle qui résulte de l'analyse de ces deux approches est une fonction mathématique mettant en exergue les différents coûts considérés.

Pour modéliser le problème d'affectation dans la planification d'un réseau 4G/LTE à partir d'un réseau 3G+ déjà établi, les suppositions suivantes sont à considérer :

- Les nœuds MME et SGW sont représentés par une entité unique appelée SGM.
- A la base, le réseau 3G+ comporte des NodeB, des MSC et des SGSN déjà installés. Chaque NodeB est affecté uniquement à un SGSN à la fois.
- Pour le déploiement du réseau 4G/LTE, les eNodeB, les SGM, les PDN-GW et les HSS seront ajoutés au réseau 3G+.
- Chaque nœud eNodeB est connecté à un seul SGM.

- Un PDN-GW et un HSS peut desservir une grande étendue géographique. De ce fait tous les SGM leur seront affectés pour une zone donnée et le coût de cette affectation devient par conséquent constant et ne sera pas pris en compte dans l'analyse.
- L'échange inter-réseau implique que les réseaux 3G+/HSPA et 4G/LTE soient interconnectés entre eux. Alors, chaque SGSN sera connecté à un et un seul SGM.
- Chaque SGM et chaque SGSN a une capacité bien déterminée.
- Le terminal mobile est multi mode. Il est par conséquent capable d'opérer avec les deux types de réseaux et peut supporter la relève verticale de façon transparente.

Dans ce cas, la nouvelle architecture est représentée à la Figure suivante.



**Figure 23 : Interconnexion d'un réseau 3G+ à un réseau 4G avec couplage des nœuds**

#### 4.2.1. Les ensembles

Les ensembles utilisés pour symboliser les composantes du réseau sont les suivants :

- $E = \{1, 2, 3, \dots, \alpha\}$  représentant l'ensemble des nœuds eNodeB ;
- $Q = \{1, 2, 3, \dots, \sigma\}$  représentant l'ensemble des nœuds SGM ;
- $N = \{1, 2, 3, \dots, \eta\}$  représentant l'ensemble des nœuds NodeB ;
- $R = \{1, 2, 3, \dots, \zeta\}$  représentant l'ensemble des nœuds RNC ;
- $G = \{1, 2, 3, \dots, \kappa\}$  représentant l'ensemble des nœuds SGSN

### 4.2.2. Les variables

L'élaboration du modèle prend en compte les variables de décision sur les eNodeB et les SGSN, définies comme suit :

$x_{17}^{eq}$  : Variable 0-1 tel que  $x_{17}^{eq}$  i et seulement si un eNodeB e qui appartient à E est connecté à un SGM q qui appartient à Q, sinon 0

$x_{67}^{qq}$  : Variable 0-1 tel que  $x_{67}^{qq}$  i et seulement si un nœud SGSN g qui appartient à G est connecté à un SGM q qui appartient à Q, sinon 0

Les variables représentant les coûts de liaisons et les coûts de relevés s'expriment Comme suit :

$c_{17}^{eq}$  : Qui représente le coût d'amortissement de la liaison entre l'eNodeB e qui appartient à E et un SGM q qui appartient à Q ;

$c_{67}^{qq}$  : Qui représente le coût d'amortissement de la liaison entre un nœud SGMq qui appartient à Q et SGSNg qui appartient à G

$H_{17}^{éé}$  : Qui représente le coût le coût par unité de temps d'une relève simple entre les eNodeB e et é impliquant un seul SGM

$H'_{17}^{éé}$  : Qui représente le coût le coût par unité de temps d'une relève complexe entre les eNodeB e et e' impliquant SGM différents

$Hv_{67}^{en}$  : Qui représente le coût par unité de temps d'une relève verticale entre les NodeB n et les eNodeB e impliquant un SGSN et un SGM.

$H'v_{67}^{en}$  : Qui représente le coût par unité de temps d'une relève verticale complexe entre les NodeB n et les eNodeB e impliquant un SGSN et un SGM différents.

Les paramètres de trafic sont les suivants :

$w_2^q$  La capacité des SGM.

$f_{17}^{eq}$  Le Le trafic de données supporté par le lien entre un eNodeB e qui appartient à E et un SGM q qui appartient à Q.

$f_{67}^{gq}$  Le Le trafic de données de la relève verticale, supporté par le lien entre un SGSN g e qui appartient à G et un SGM q e qui appartient à Q.

- **Coût d'affectation**

Pour effectuer le calcul du coût d'affectation des cellules, les liens qui seront considérés sont ceux à travers lesquels le plan de l'utilisateur transitera. Les liens dédiés à la signalisation, comme les interfaces X2 et S1 ne seront pas pris en compte. Alors, le calcul comptabilisera: les coûts d'affectation des eNodeB  $e$ , des SGSN  $g$  aux SGM  $q$

$$\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} x_{17}^{eq} c_{17}^{eq} + \sum_{g \in G} \sum_{q \in Q} x_{67}^{gq} c_{67}^{gq}$$

Eq 3.1

- **Coût de la relève horizontale :**

Dépendra des coûts d'affectation des eNodeB  $e$  et  $e0$  au SGM  $q$  et du coût de Le coût de la relève horizontale par unité de temps d'un SGM.

$$\sum_{e \in E} \sum_{e' \in E, e' \neq e} h_{17}^{ee'} (1 - y_{17}^{ee'})$$

Eq3.2

- **Coût de la relève verticale**

La relève verticale fait intervenir des composantes appartenant aux réseaux 3G+ et 4G. Toutefois, les conditions d'éligibilité des nœuds qui y participent sont différentes.

En effet :

1. l'eNodeB  $e \in E$  doit être relié à un SGM qui sera lui-même relié à un SGSN.
2. le NodeB est relié à un SGSN.

Le coût de la relève verticale par unité de temps incluant le SGM s'exprime par la relation Dans cette relation, le premier terme fait référence à la relève verticale simple et le deuxième à la relève verticale complexe, quand il y a changement de SGM.

$$\sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{g \in G} H v_{67}^{en} (x_{17}^{eq} x_{23}^{nr} x_{36}^{rg} x_{67}^{gq}) + \sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{g \in G} H' v_{67}^{en} (x_{17}^{eq} x_{23}^{nr} x_{36}^{rg}) (1 - x_{67}^{gq})$$

Eq 3.3

Le coût total de l'affectation des nœuds aux commutateurs est une fonction  $F$  qui regroupe le coût d'affectation des nœuds e NodeB au MME, le deuxième terme le coût d'affectation et des liaisons (1er et 2ème terme), le coût de la relève horizontale (3ème terme) et le coût de la relève verticale (4ème terme).

$$F = \sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} x_{17}^{eq} c_{17}^{eq} + \sum_{g \in G} \sum_{q \in Q} x_{67}^{gq} c_{67}^{gq} + \sum_{e \in E} \sum_{e' \in E} h_{17}^{ee'} (1 - y_{17}^{ee'}) \\ + \sum_{e \in E} \sum_{q \in Q} \sum_{n \in N} \sum_{r \in R} \sum_{g \in G} (x_{67}^{eq} x_{23}^{nr} x_{17}^{eq}) ((H v_{67}^{en} - H' v_{67}^{en}) x_{67}^{gq} + H' v_{67}^{en})$$

Eq 3.4

- **Contraintes**

Certaines contraintes doivent s'appliquer afin de limiter l'étendue du problème tel que les affectations des eNodeB et des SGSN, de même que les contraintes sur le trafic convergeant vers les SGM. Chaque eNodeB doit être affecté à un et un seul SGM. Chaque nœud SGSN doit être affecté à un et un seul SGM, De même, chaque NodeB doit être affecté à un et un seul RNC, et chaque RNC doit être affecté à un et un seul SGSN, La quantité de trafic venant des eNodeB et des SGSN ne doit pas dépasser la capacité des SGM.

En résumé, la résolution du problème revient à minimiser la fonction de coût F sous les contraintes de

$$\sum_{q \in Q} x_{17}^{eq} = 1$$

Eq3.5

avec  $e \in E$  (Chaque eNodeB qui doit être affecté à un et un seul SGM)

$$\sum_{q \in Q} x_{67}^{gq} = 1$$

Eq 3.6

avec  $g \in G$  (Chaque nœud SGSN doit être affecté à un et un seul SGM)

## 5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le modèle mathématique pour le problème d'affectation dans la planification d'un réseau 4G. Ensuite, nous avons fait une analyse de la complexité du modèle proposé des méthodes pour la résolution de ce dernier. Le chapitre suivant est une étude conceptuelle de l'application qui implémentera la recherche tabou.

# Chapitre 4 : Planification d'un réseau LTE à partir d'un réseau 3G+

## Implémentation tabou

---

- ✓ Adaptation de la recherche aux réseaux 4 G
- ✓ Etapes de l'implémentation
- ✓ Environnements matériel et logiciel
- ✓ Fixation de besoin et études conceptuelles

## 1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les étapes de l'adaptation de la recherche tabou au problème d'affectation des entités de réseau 4G au réseau 3G+ existant. Ensuite nous implémentons une application pouvant servir à la planification d'un réseau 4G/LTE. Enfin, nous faisons quelques tests pour la validation.

## 2. Adaptation de la recherche tabou aux réseaux 4G

L'adaptation de la recherche avec tabou au problème d'affectation dans la planification des réseaux 4G commence par la création d'une solution initiale. Cette solution est générée à partir des données relatives au réseau. Le résultat obtenu est une topologie présentant le mode d'affectation des eNodeB et des SGSN aux composantes SGM. Puisque le réseau 3G+ est préalablement établi, alors les premiers éléments qui seront affectés sont les nouveaux nœuds à ajouter au réseau 3G+. Pour ce faire, la solution initiale effectue l'affectation en partant du niveau d'équipements le plus bas de la hiérarchie, les eNodeB, vers le niveau le plus haut composé des MME, des SGW dans l'approche sans couplage de nœuds ou des SGM dans l'approche de couplage des nœuds. La deuxième affectation réalise l'interconnexion des deux réseaux. Alors, en se basant sur le principe d'affectation ascendante, les SGSN seront à leur tour affectés au SGM. Le résultat issu de la solution initiale sera ensuite évalué et amélioré afin d'obtenir une solution optimale. Cette amélioration se fera au moyen de la recherche avec tabou par l'application de trois mécanismes de mémoire : un mécanisme de mémoire à court terme, un mécanisme de mémoire à moyen terme et un mécanisme de mémoire à long terme.

### 2.1. Construction des solutions initiales

L'algorithme aléatoire du coût minimum est représenté par l'algorithme suivant. Il reçoit en entrée le nombre d'eNodeB, de SGSN et de SGM; les coûts de liaisons entre les eNodeB et les SGM de même que les coûts de liaisons entre les SGSN et les SGM.

Algorithme de la solution initiale stochastique pour l'architecture avec couplage de nœuds

du nombre d'eNodeB  $e$ , de SGSN  $g$ , des coûts de liaison

TabCLeNB\_SGM et TabCL\_SGSN\_SGM

$C_{min} = 0$

$C_{maxSGM} = q \text{ idSGM} = 0$

$\text{affectationeNB\_SGM} = 0, \text{affectationSGSN\_SGM} = 0$

$C_{Affectation} = 0$

**Pour tout  $E[i]$  faire**

$\text{idSGM} = C_{min} + r.\text{nextInt}(C_{maxSGM}$

$\text{idSGM} = C_{min} + r.\text{nextInt}(C_{maxSGM} - C_{min})$

$\text{affectationeNB\_SGM}[i][\text{idSGM}] = 1$

$C_{Affectation} = +\text{TabCLeNB\_SGM}[i][\text{idSGM}]$

**Fin Pour**

Affecter le l'eNodeB  $i$  au SGM  $\text{idSGM}$

**Pour tout  $G[j]$  faire**

$\text{idSGM} = C_{min} + r.\text{nextInt}(C_{maxSGM}$

$\text{idSGM} = C_{min} + r.\text{nextInt}(C_{maxSGM} - C_{min})$

$\text{affectationSGSN\_SGM}[j][\text{idSGM}] = 1$

$C_{Affectation} = +\text{TabCL_SGSN\_SGM}[j][\text{idSGM}]$

**Fin Pour**

Affecter le SGSN  $j$  au SGM  $\text{idSGM}$

Tableau 4 : 4.1 Coûts de liaisons des SGSN aux SGM

eNodeB	SGM		
	0	1	2
0	12	8	8
1	10	0	6
2	6	10	3
3	12	6	6
4	7	12	6
5	0	6	3
6	10	12	6
7	12	10	6
8	6	6	3
9	6	12	6

**Tableau 5 : 4.2 Coûts de liaisons des SGSN aux SGM**

SGSN	SGM		
	0	1	2
0	8	8	8
1	16	10	6
2	6	8	3
3	13	12	6
4	6	10	6

Le résultat de l'algorithme affecte chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un SGM  $q$  choisi de façon aléatoire dans la liste des nœuds candidats  $C(n)$ , l'algorithme s'arrête quand tous les eNodeB et tous les SGSN sont affectés. Le coût total des affectations est calculé en fonction de la sommation des coûts de liaisons entre les nœuds eNodeB et SGM, et des coûts de liaisons entre les SGSN et les SGM auxquels ils sont affectés. Cette solution est faite avec la condition d'affecter chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un seul SGM  $q$ .

**Tableau 6 : 4.3 Affectation des eNodeB aux SGM**

eNodeB	SGM
0	0
1	2
2	1
3	0
4	2
5	1
6	0
7	1
8	2
9	0

**Tableau 7 : 4.4 Affectation des SGSN aux SGM**

SGSN	SGM
0	2
1	1
2	2
3	0
4	1

Les cases des tableaux comportent l'indice du SGM $q$  auquel l'eNodeB  $e$  ou le SGSN  $g$  est affecté. On a alors les eNodeB : 0, 3, 6, 9 et le SGSN3 sont affectés au SGM 0, les eNodeB : 2, 5, 7 et les SGSN : 1, 4 sont affectés au SGM 1, les eNodeB : 1, 4, 8 et les SGSN : 0, 2 sont affectés au SGM 2. La topologie de la solution obtenue est représentée à la figure, ou chaque

eNodeB  $e$  et SGSN  $g$  est relié au SGM  $q$  suivant leur coût de liaison. Ce coût varie suivant la distance séparant les nœuds.

L'algorithme de coût minimum, tel que décrit dans l'algorithme suivant pour l'architecture avec couplage de nœuds, affecte chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un SGM  $q$  de coût de liaison minimum. Les résultats obtenus sont soumis seulement aux contraintes d'unicité qui permettent d'affecter chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un seul SGM  $q$ .

La solution initiale dans l'approche couplage de nœuds (MME+SGW=SGM) qui engendre un coût minimum

**Les variables** : du nombre d'eNodeB  $e$ , de SGM  $q$ , de SGSN  $g$ ,  
des coûts de liaison  $Tab\_CL_{eNB\_SGM}$  et  $TabCL\_SGSN\_SGM$

$CLeq = CLgq = 0$

**Pour tout** SGM  $q$  **faire**

$MeilleurC = +\infty$

$MeilleureNodeB = 0$

**Pour tout** eNodeB  $e$  **faire**

**Si**  $CLeq \leq MeilleurC$

**alors**  $MeilleurC := CLeq$   $MeilleureNodeB := e$

**Fin Si**

**Fin Pour**

Connecter l'eNodeB  $MeilleureNodeB$  au SGM  $q$

$MeilleurC = +\infty$

$MeilleurSGSN = 0$

**Pour tout** SGSN  $g$  **faire**

**Si**  $CLgq \leq Meilleur$  **alors**

$MeilleurC := CLgq$

$MeilleurSGSN := g$

**Fin Si**

**Fin Pour**

Connecter le SGSN  $MeilleurSGSN$  au SGM  $q$

**Fin Pour**

L'algorithme de coût minimum, dédié pour l'architecture avec couplage de nœuds, affecte chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un SGM  $q$  tout en respectant le coût de liaison minimum. Les résultats obtenus respectent les contraintes d'unicité d'affectation de chaque eNodeB  $e$  et chaque SGSN  $g$  à un seul SGM, ces résultats peuvent être affichés dans les tableaux suivants

**Tableau 8 : 4.5 d'affectation des eNodeB avec les SGM**

eNodeB	SGM0	SGM1	SGM2
0	1	0	0
1	0	1	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	0	1
5	1	0	0
6	0	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	1	0	0

**Tableau 9 : 4.6 d'affectation des SGSN avec les SGM**

SGSN	SGM0	SGM1	SGM2
0	1	0	0
1	0	0	1
2	0	0	1
3	0	0	1
4	1	0	0

Les tableaux 4.1 et 4.2 montrent que le SGM 0 est affecté aux eNodeB 0, 5, 9, et les SGSN 0, 4. Le SGM 1 est affecté aux eNodeB 1, 3. Le SGM 2 est affecté aux eNodeB 2, 4, 6, 7, 8 et les SGSN 1, 2, 3.

## **2.2. Mémoire à court terme**

La mémoire à court terme ou tabou de base est le premier mécanisme déclenché à l'exécution de l'algorithme de recherche tabou. A partir de la solution initiale générée, la mémoire à court terme exécute un ensemble de mouvements qui permet de générer de nouvelles solutions pouvant améliorer la solution de départ. Un certain nombre de ces solutions sont gardées en mémoire (Liste tabou), à des fins d'utilisation lors de l'application des mécanismes à moyen et à long terme. Dans la suite de cette section seront décrites les différentes caractéristiques de la mémoire à court terme. Ce sont : les types de mouvements, les gains générés à l'application de ces mouvements, la liste tabou, le critère d'aspiration qui permet d'annuler le

caractère tabou d'un mouvement et en dernier lieu, la fonction qui permet d'évaluer la solution trouvée.

### 2.2.1. Mouvements

Au niveau de la mémoire court terme, les mouvements consistent à faire la réaffectation des nœuds eNodeB  $e$ , et SGSN  $g$  aux équipements du réseau cœur. Ces mouvements de réaffectation dépendent essentiellement de l'approche qu'on va utiliser, dans notre cas il s'agit de l'approche avec couplage de nœuds.

{Réaffectation d'un eNodeB  $e$  à un SGM  $q$ , noté  $M1(e; q)$ }

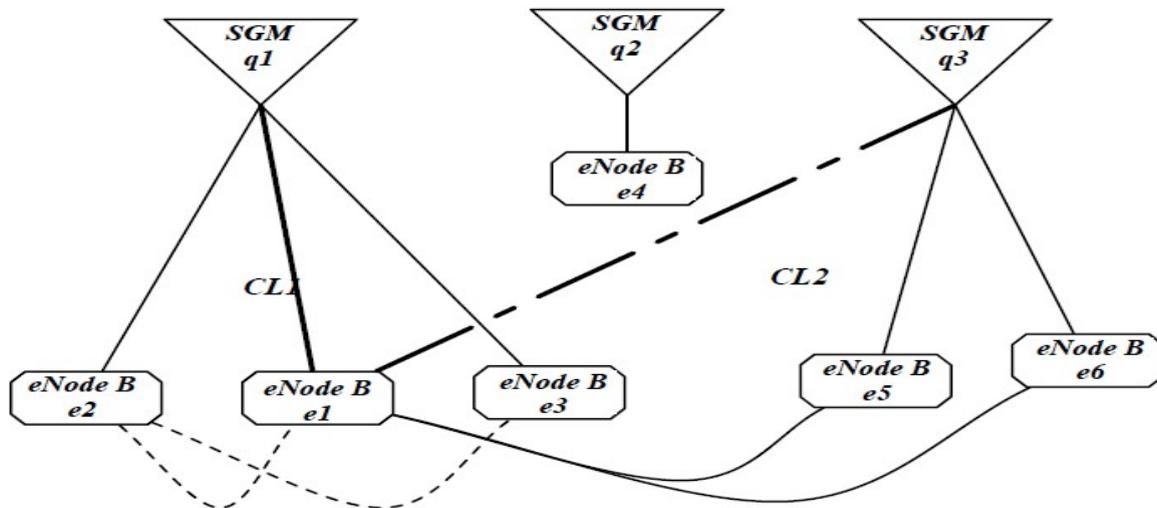
{Réaffectation d'un SGSN  $g$  à un SGM  $q$ , noté  $M2(g; q)$ }

Chacun de ces mouvements s'accompagne d'un certain gain généré par rapport à la solution courante  $s$ .

### 2.2.2. Calcul de gain

Le calcul de gain introduit dans ce projet permet de déterminer le choix du nœud candidat parmi les eNodeB  $e$  et les SGSN  $g$ . De ce fait, seront définis deux types de gains  $G1$  et  $G2$ , associés respectivement aux mouvements  $M1$  et  $M2$ . Le calcul de ces gains diffère d'un nœud à l'autre et entraîne des équipements différents, suivant que dans l'architecture il y a, ou non couplage de nœuds. Dans l'architecture avec couplage de nœuds, le gain généré dans un mouvement impliquant un eNodeB  $e$  est représenté par la Figure 24 suivante.

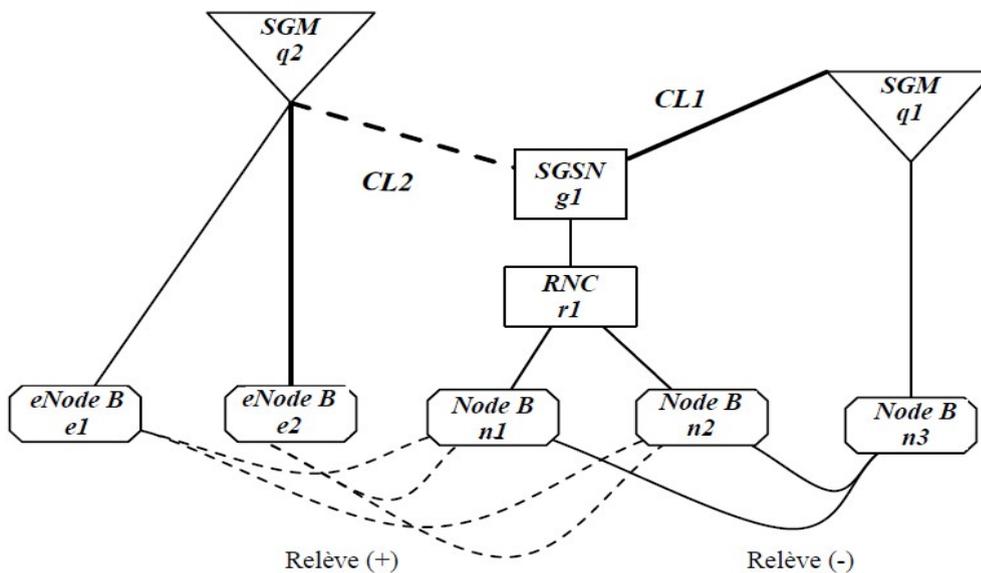
On fait une illustration du calcul de gain pour le mouvement effectué d'un eNodeB 1 vers un SGM q3, noté



**Figure 24 : Calcul de gain impliquant un eNodeB**

$$G(e1, q3) = \text{relève}(e1, e2) + \text{relève}(e1, e3) - \text{relève}(e1, e6) + CL1 - CL2$$

Une évaluation du gain dans un mouvement d'un SGSN g vers un SGM q2 est faite dans l'exemple de la Figure 20.



**Figure 25 : Calcul de gain impliquant un SGSN**

$$G2(g1, q2) = \text{releve}(e1, n1) + \text{releve}(e1, n2) + \text{releve}(e2, n1) + \text{releve}(e2, n2) - \text{releve}(e3, n1) - \text{releve}(e3, n2) + CL1 - CL2$$

### **2.2.3. Liste tabou**

La recherche avec tabou utilise une mémoire explicite qui conserve les informations sur les mouvements effectués. Les éléments de la liste sont des couples. Chaque élément identifie un mouvement impliquant, soit un NodeB, soit un SGSN. Ainsi, pour chacun des mouvements dits tabou, le mouvement inverse sera gardé dans cette liste.

### **2.2.4. Critère d'aspiration**

Le critère d'aspiration consiste à accepter une solution dont le coût est inférieur à celui de la meilleure solution jusque-là trouvée par l'algorithme, même si cette solution est tabou. Ainsi, il permet à l'algorithme, d'annuler temporairement le critère tabou du mouvement à la base de la solution trouvée, afin de le rendre disponible.

### **2.2.5. Fonction d'évaluation**

A partir d'une configuration donnée, la fonction d'évaluation renseigne sur le respect ou non des contraintes de capacité des équipements du réseau cœur (SGM). Ainsi, à chaque mouvement réalisé, la fonction calcule la capacité résiduelle de chacun de ses équipements, en faisant la différence entre la capacité initiale de l'équipement et celle des nœuds participant dans l'affectation.

## **2.3. Mémoire à moyen terme**

Le mécanisme de mémoire à moyen terme consiste à visiter périodiquement les zones de l'espace de recherche qui semblent particulièrement être prometteuses. Ces zones de recherche sont déterminées à partir des résultats obtenus dans la mémoire à court terme. Le mécanisme d'intensification, pour s'exécuter, va choisir parmi ces solutions celle ayant le plus faible gain. Pour poursuivre la recherche, différents types de mouvements sont exécutés et un critère d'arrêt est défini. De même, une liste de type FIFO (First In, First Out) mémorisant les dernières meilleures solutions est créée. Cette liste, contient les informations en rapport à la topologie de la solution, son coût et le tableau de gain généré par le mouvement à l'origine de cette solution.

### **2.3.1. Les mouvements**

Pour explorer le voisinage de meilleures solutions, de nouveaux mouvements sont définis pour la mémoire à moyen terme. Ils consistent en une permutation et un déplacement. Le mouvement de permutation assure l'amélioration de la solution courante en diminuant le coût qui lui est associé. Alors que le mouvement de déplacement consiste à faire des choix de mouvements qui permettent de rétablir les contraintes de capacités non respectées lors du

mouvement de permutation. En effet la permutation fait intervenir séparément deux eNodeB ou deux SGSN. Ce mouvement se réalise en deux étapes qui consistent : à choisir les deux premiers nœuds en s'appuyant sur l'estimation des gains et ensuite, à les affecter. Ce mouvement peut se diviser en deux mouvements d'affectation consécutifs, contrairement à la mémoire à court terme, entre l'affectation du premier nœud et l'affectation du deuxième, le tableau de gains n'est pas mis à jour. Ainsi, dans la première étape, l'algorithme parcourt le tableau de gain de la meilleure solution retenue et sélectionne les deux nœuds ayant le plus faible gain.

{Permutation des eNodeB  $e_1$  et  $e_2$ , noté  $m_1(e_1; e_2)$ };

{Permutation d'un SGSN  $g$  et d'un eNodeB  $e$ , noté  $m_2(e; g)$ };

{Déplacement d'un eNodeB  $e$  à un SGM  $q$ , noté  $m_3(e; q)$ };

{Déplacement d'un SGSN  $B$   $g$  à un SGM  $q$ , noté  $m_4(g; q)$ }.

Dans l'architecture avec couplage de nœuds, les mouvements de déplacement  $m_3(e; q)$  et  $m_4(g; q)$  permettent de:

{Déterminer le SGM  $q'$  de capacité résiduelle minimale}

{Trouver l'eNodeB  $e'$  ou le SGSN  $g'$  qui génère le volume de trafic minimal}

{Affecter ces nœuds  $e'$  ou  $g'$  au SGM  $q$  de capacité résiduelle suffisante qui permet d'obtenir le gain minimal}

## 2.4. Mémoire à long terme

La diversification ou mémoire à long terme est une technique qui permet de diriger la recherche vers des régions inexplorées et qui consiste à sélectionner dans les statistiques générées lors de l'exécution des mécanismes de mémoire à court et à moyen terme, une nouvelle solution de départ de l'algorithme qui est par conséquent très différente que celles utilisées pour les deux autres mécanismes.

## 3. Etapes de l'implémentation

L'implémentation de l'algorithme suit les étapes suivant :

- Générer la solution initiale
- Évaluation de la solution initiale
- Générer les tableaux de gains
- Initialisation des variables  $N_{biter} = 0$ ,  $best_{iter} = 0$ ;  $best_{sol} = 0$

- Choisir les mouvements de types M1 et M2 de gain minimal
- Si le mouvement est tabou alors choisir un autre mouvement Sinon Appliquer le mouvement choisi; Mettre à jour la liste tabou; Mettre à jour les tableaux de gain; Obtenir la solution  $s'$ ; Ajouter la solution  $s'$  dans le tableau statistique
- $Nbiter = Nbiter + 1$
- $S := s'$
- Si évaluation (bestsol) Alors  $bestiter := Nbiter$
- S remplace la plus ancienne meilleure solution dans  $tabest []$
- Si  $Nbiter > kmax$  alors Appliquer le mécanisme d'intensification sinon choisir les mouvements de types M1 et M2 de gain minimal.

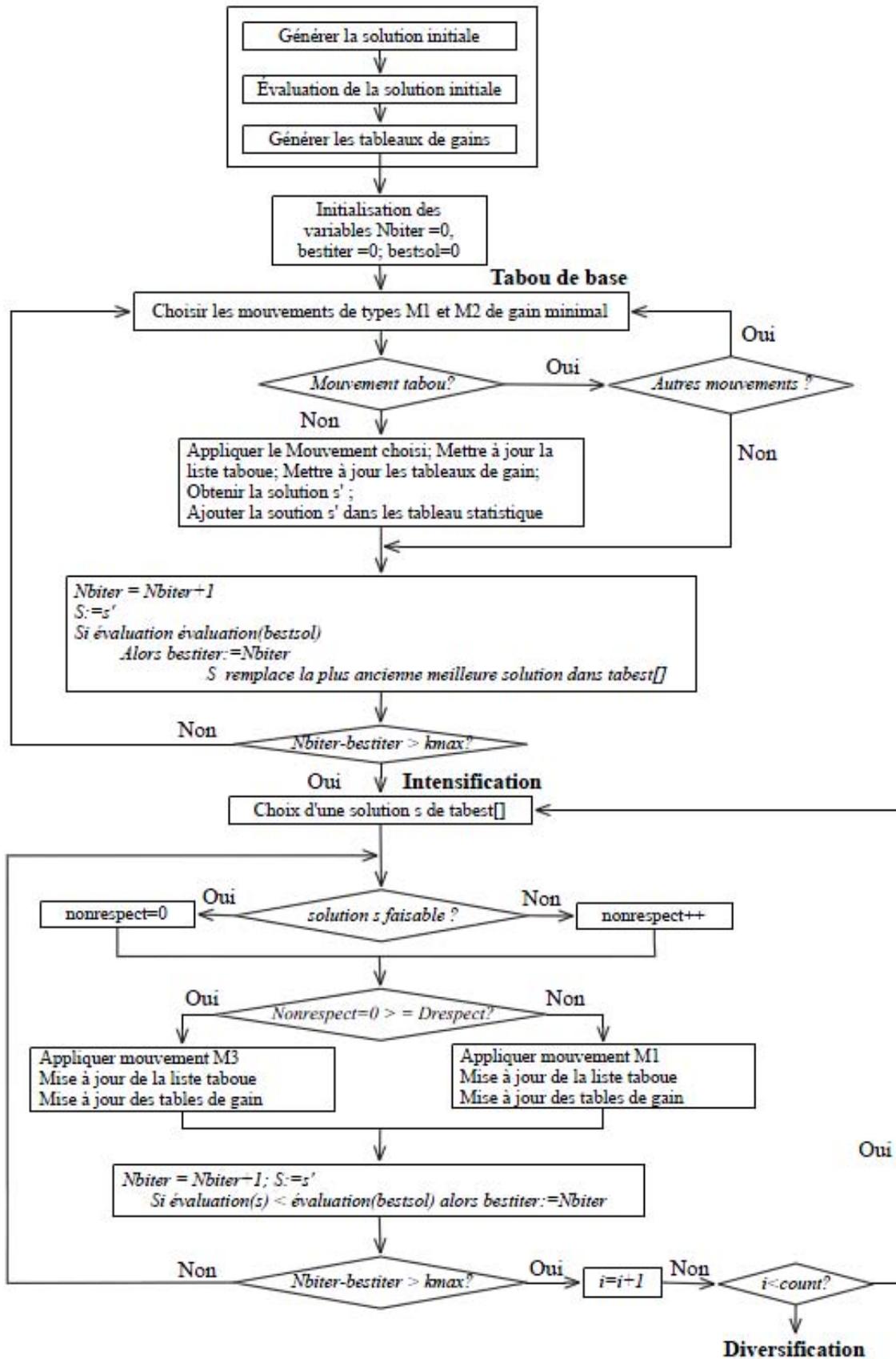


Figure 26 : Organigramme de l'algorithme tabou

## 4. Environnements matériel et logiciel

L'implémentation de l'algorithme a été effectuée en langage Java, selon une approche orientée objet. La plateforme utilisée est netbeans 8.0.1

Le développement a été effectué sur un ordinateur doté des capacités suivantes:

- Marque PC : ASUS N65.
- Microprocesseur : Intel(R) Core i7 CPU M 380 @ 2,53GHz.
- Mémoire vive : 8,00 Go.
- Disque dur: 750 Go.

### 4.1. Conception de l'application

La phase de conception de l'outil de planification est réalisée au moyen du langage de modélisation unifié (UML) Elle se compose principalement d'un diagramme de classes et d'un diagramme d'états transitions.

#### 4.1.1. Diagramme de classes

Le diagramme de classes est utilisé pour capturer la structure statique de l'outil de planification proposée. Il identifie la structure des classes et les associations qui existent entre elles. Chacune des classes comporte, les attributs et les opérations de l'objet qu'elle représente. Entre les classes sont définies soit une relation d'héritage, soit une association non symétrique, l'agrégation. Par exemple, les classes SolGain et Mouvement héritent respectivement des classes Solution et Liste Tabou (spécification), alors qu'il existe une agrégation entre les classes Données, Intensification, Diversification et la classe principale qui est Problème. Cette relation traduit l'idée que toute action sur une de ces classes entraîne nécessairement une action sur la classe Problème.

"*Diversification.java*" implémente le mécanisme de la mémoire à long terme de l'application. Cette classe comprend une méthode principale *compte ()* qui permet de sauvegarder les statistiques des solutions obtenues, tout au long de l'application des mémoires à court et à moyen terme. Ces statistiques serviront de solutions initiales au redémarrage de l'application, dont le nombre est fixé au moyen d'un attribut de relance *nbstart*.

"*Données.java*" comporte les informations relatives aux réseaux de simulation. Cette classe renseigne sur la taille du réseau au moyen d'attributs, comme *nbeNB*, *nbSGSN*, *nbSGM* et *nb NB*. Elle indique les coûts de liaisons entre les équipements de niveaux différents en utilisant les attributs *TabCoûtENB\_SGM* et *TabCoûtSGSN\_SGM*. Les coûts de relève

horizontale entre deux eNodeB sont représentés par *TabCoûtReleveENB\_ENB*. Les coûts de relève verticale entre un eNodeB et un NodeB et vice versa, sont représentés par *TabCoûtReleveENB\_NB* et *TabCoûtReleveNB\_ENB*. Les résultats de l'affectation du réseau 3G se trouvent dans *TabAffectNB\_SGSN*. Les attributs *TabCapSGSN*, *TabCapSGM* et *TabCapENB* sont utilisés pour indiquer la capacité des SGSN et des SGM, de même que le trafic provenant de chaque eNodeB. Cette classe comprend les méthodes suivantes :

- *lectureFic()* qui permet de faire la lecture des coûts de liaisons ou coût de câblage, les coûts de relèves horizontales et verticales du fichier de données passé en paramètre.
- *lectureFicCapacite()* qui permet de lire les valeurs des capacités des SGSN et des SGM, et le volume de trafic des eNodeB à partir du fichier de capacité qui lui est fourni.
- *lectureFicAffectation3G()* qui permet de lire le résultat des affectations effectuées dans le réseau 3G à l'aide du fichier qui lui est fourni.
- "*Gain.java*" a pour principale fonction de générer les tables de gains, à chaque affectation réalisée entre les eNodeB, les SGSN et un SGM. Cette classe comprend les méthodes suivantes:
  - *générerGain()* utilise les données du problème et la solution courante pour calculer le gain résultant de l'affectation d'un eNodeB, d'un SGSN à SGM. Ce tableau permettra par la suite de réaliser le prochain mouvement de réaffectation des nœuds eNodeB et SGSN, en choisissant la plus petite valeur de gain du tableau.
  - *tabGainMAJ ()* fait la mise à jour des gains après chaque mouvement.
  - *getCoûtReleve ()* calcule les coûts des relevés horizontales et verticales, suivant le type de nœud qui participe au mouvement
  - "*Intensification.java*" implémente le mécanisme de mémoire à moyen terme de l'algorithme. Elle utilise un ensemble de variables propres à la mémoire, comme la liste tabou ILT des mouvements de types et la table *bestSol*, qui contient les meilleures solutions obtenues. La topologie de chaque solution est accessible au moyen des attributs *gain* et *sol*.

Elle possède les méthodes suivantes :

- *ajouter ()* qui ajoute les meilleures solutions rencontrées dans la table *bestSol*
- *mvt-permutation ()* qui détermine les mouvements de type m1
- *mvt-deplacer()* qui détermine les mouvements de type m2

- *intensifie()* qui exécute les étapes de l'intensification, en appliquant les mouvements appropriés, en évaluant le coût de la solution obtenue, en testant le respect des contraintes de capacités et finalement, en générant les statistiques.
- "*ListeTabou.java*" implémente les listes taboues utilisées dans l'algorithme. Dans chaque liste est sauvegardé l'inverse des mouvements tabous, afin d'empêcher à la recherche d'y revenir pendant un nombre d'itérations. A chaque fois qu'un élément est inséré dans la liste, l'attribut compte est incrémenté tant que la taille n'est pas atteinte. Ainsi, la taille permet de limiter les mouvements qui peuvent être sauvegardés dans la liste. Ses méthodes sont :
  - *insérer()*, pour ajouter un élément dans la liste tabou.
  - *appartient()*, pour vérifier si un \_élément est déjà dans la liste.
  - "*Mouvement.java*" détermine le mouvement (eNode, SGM) ou (SGSN, SGM) à effectuer.
  - "*Problème.java*" exécute, en premier, le mécanisme de mémoire à court terme ou tabou de base. Cette classe fait le choix des mouvements à effectuer et génère pour chacun d'eux les solutions et les gains appropriés. La classe "*Problème.java*" fait appel, ensuite, au mécanisme de mémoire à moyen terme, en lui transmettant les meilleures solutions obtenues précédemment. Au mécanisme de mémoire à long terme, elle transmet les statistiques des nœuds visités tout au long de l'exécution des deux mécanismes de mémoire précédents. Elle est une classe globale, en ce sens qu'elle agrège les objets utilisés aux autres classes du diagramme telles que Données, Solution, Gain, Liste Tabou, Intensification, Diversification. Cette classe regroupe les méthodes suivantes :
    - *Choixmvt()* qui détermine et applique le prochain mouvement à réaliser pour le mécanisme de mémoire à court terme. Ainsi, en tenant compte de la liste tabou et du gain minimum, elle choisit entre les mouvements et celui qui améliore la solution courante.
    - *Cmtabou()* qui exécute les composantes des mémoires à court et à moyen terme
    - *RechercheTabou()* qui lance la méthode de RT. Cette méthode applique, au moyen de la méthode, *Cmtabou()* le mécanisme de mémoire à court terme, puis, passe les résultats obtenus en paramètres au mécanisme de mémoire à moyen terme. Les résultats obtenus de ces deux mécanismes sont ensuite utilisés par le mécanisme de mémoire à long terme afin de raffiner la solution obtenue.
  - "*SolGain.java*" est une classe qui renseigne sur l'état des solutions et des gains générés qui doivent être utilisés par le mécanisme de mémoire à moyen terme. Avec les attributs : sol, gain et objet, cette classe permet de sauvegarder au moyen de la *méthode*

*set ()*, la topologie de la solution courante pour intensifier la recherche. "Solution.java" génère la solution initiale du problème. Cette solution se présente sous la forme d'un tableau qui comporte les patrons d'affectation des eNodeB et des SGSN aux SGM. Pour chaque solution, elle calcule le coût et fait la vérification des contraintes de capacité sur les SGM. Toutes ses opérations sont réalisées en utilisant les méthodes :

- *Initialise()* qui affecte chaque eNodeB et chaque SGSN à un SGM, dont l'indice est sélectionné, soit de façon aléatoire entre 0 et q, soit suivant le coût de liaison minimum.
- *InitialiseDiv()* qui génère des solutions initiales pour chaque redémarrage de l'application pour le mécanisme de mémoire à long terme. Cette solution est calculée en affectant les nœuds (eNodeB et SGSN) au SGM de faible coût ;
- *verifierContraintes()* qui vérifie le respect des contraintes de capacité des SGM;
- *FonctionObjectif()* qui évalue le coût de la solution courante et calcule, au moyen de la méthode *verifierContraintes()*, la pénalité à appliquer quand les capacités des SGM sont dépassées.

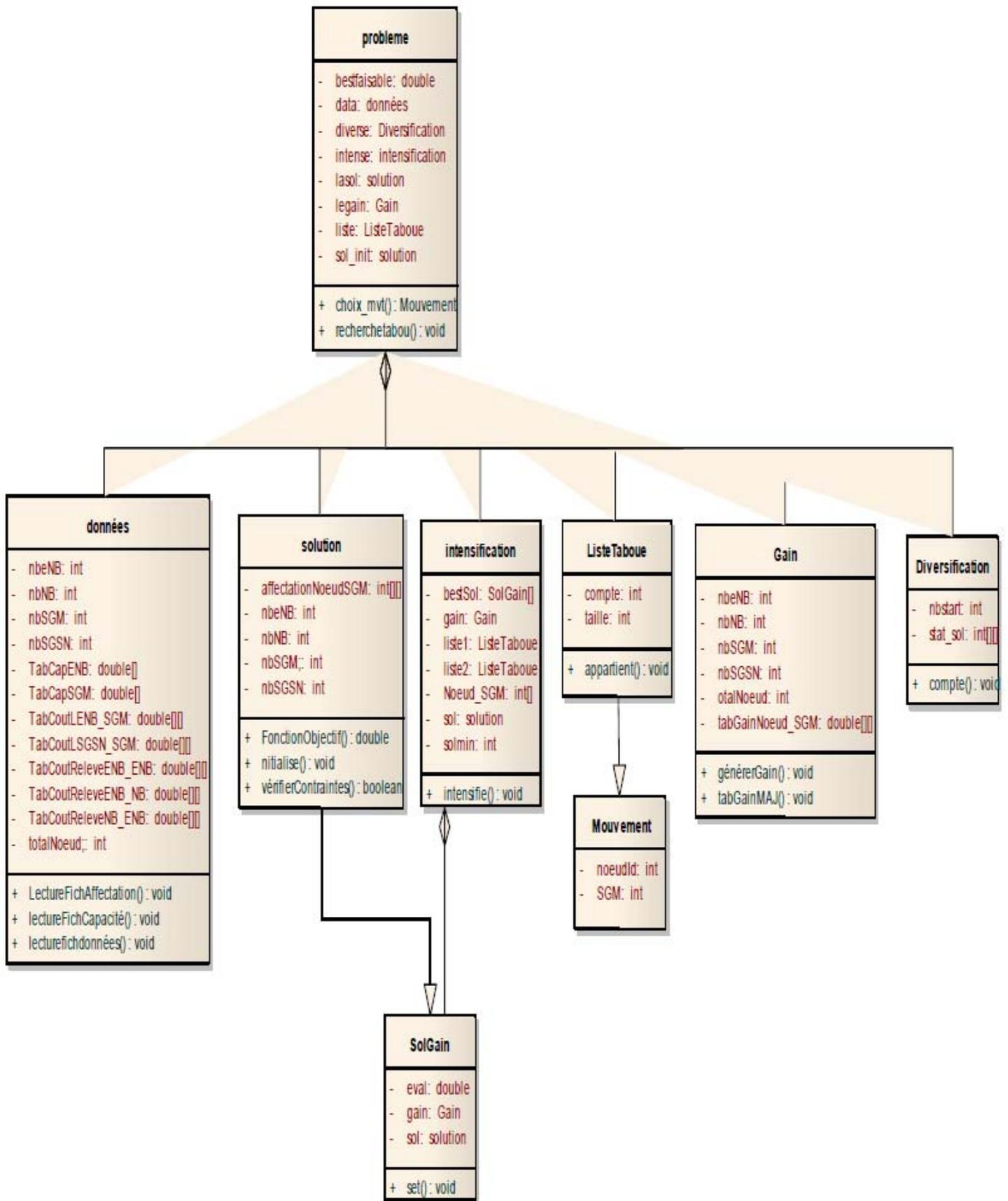


Figure 27 : Diagramme de classes de l'application

## 5. Diagramme d'états-transitions

Le diagramme d'états-transitions, est utilisé pour exprimer le comportement dynamique des objets. Il permet de montrer les modifications d'états du programme selon les trois mécanismes de mémoire. Un état est spécifié par un des mécanismes de mémoire : court, moyen et long terme. Une transition montre le passage à chaque instant d'un état vers un autre suivant la valeur des paramètres MMT et MLT. Le mécanisme de mémoire à court terme s'exécute en premier. Il est lancé immédiatement après la lecture des fichiers d'entrées, avec  $MMT=MLT=0$ . Après l'exécution du mécanisme de mémoire à court terme, le programme génère un fichier de résultats qui servent d'entrée au mécanisme de mémoire à moyen terme, quand  $MMT=1$  et  $MLT=0$ , ou transite vers le mécanisme de mémoire à long terme, quand  $MMT=0$  et  $MLT=1$ . Les trois mécanismes de mémoire s'exécutent avec  $MMT=MLT=1$ .

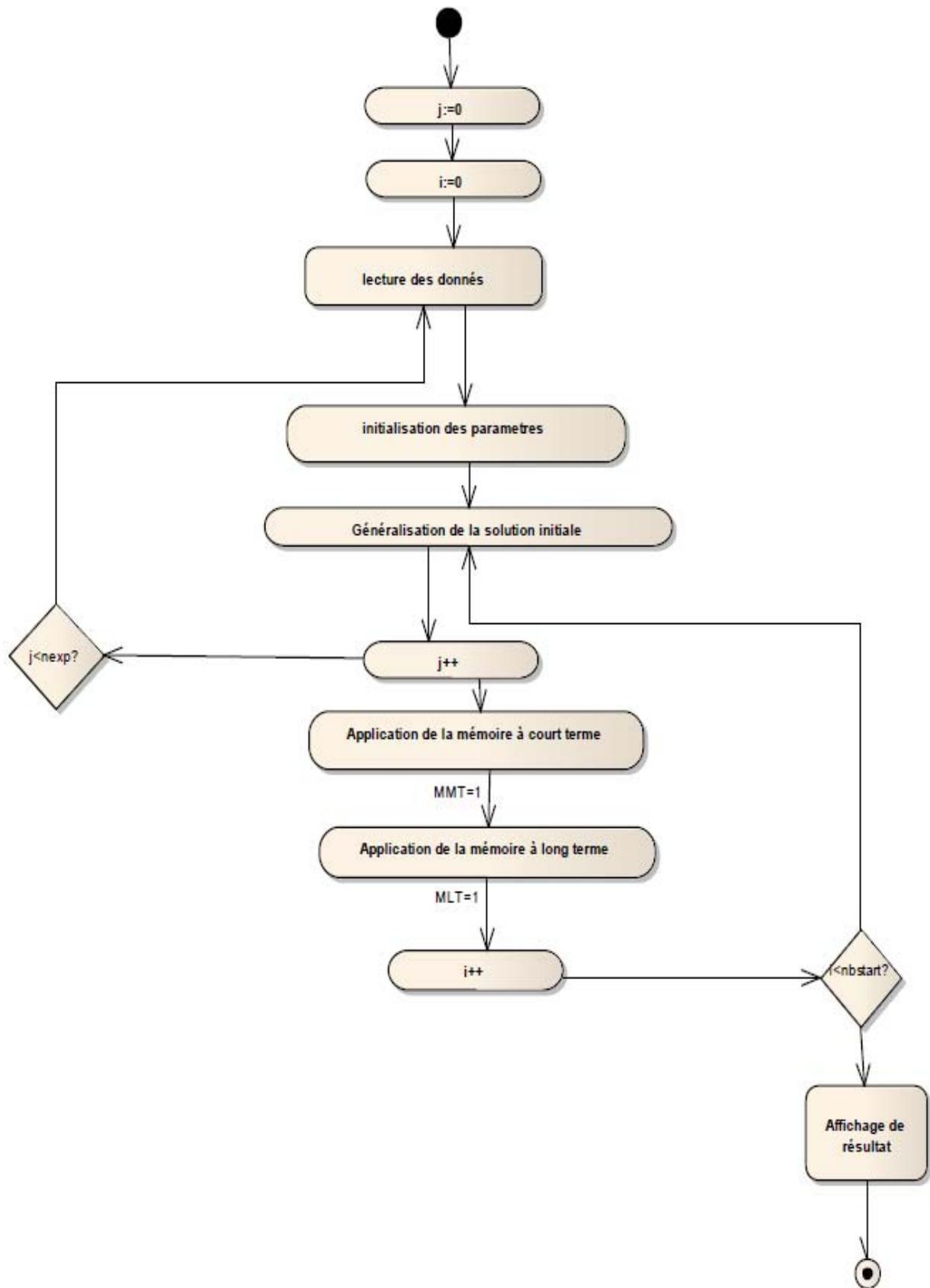


Figure 28 : Diagramme d'état de transition

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'adaptation de la recherche tabou pour résoudre le problème d'affectation des entités de réseau 4G/LTE à une plateforme 3G+/HSPA existante, ainsi que la présentation des étapes de l'implémentation de cet algorithme, le digramme de classes de l'application et le diagramme d'états- transitions. L'implémentation est basée sur le choix de certains critères, comme : le nombre de mouvements à effectuer et les tableaux de gains générés, tous deux tributaires du nombre et du type de nœuds utilisés. Tous ces éléments montrent que l'approche utilisant un couplage de nœuds, simplifie le problème et permet de réduire principalement la somme de trafics circulant dans le réseau, le nombre d'opérations de mises à jour qu'entraînent les relèves complexes et également le coût de la solution.

# Chapitre 5 : Tests et validation

---

- ✓ Tests sur des différents réseaux
- ✓ Efficacité de l'algorithme de recherche tabou
- ✓ Etude de cas réel (région d'Ariana)

## 1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les tests préliminaires dans le but d'aléser l'algorithme. Ils consistent pour chaque réseau de simulation, à attribuer différentes valeurs à certains paramètres caractérisant la méthode. Ces paramètres diffèrent d'un mécanisme de mémoire à un autre.

## 2. Les entrées/sorties du programme

Les données du programme sont des fichiers regroupent les spécifications pour le réseau 4G et 3G+ :

*Le fichier de données* comporte les informations sur le nombre d'équipements, les coûts de liaisons et de relèves. Ainsi, la première ligne renseigne sur le nombre d'eNodeB, de SGSN, de SGM et de NodeB. Le reste du fichier comporte des matrices représentant les coûts de liaisons et les coûts de relèves présentés dans l'ordre suivant :

- La première matrice est de taille  $e \times q$  et représente les coûts des liaisons entre les eNodeB et les SGM.
- La deuxième renseigne sur les coûts de liaisons entre les SGSN et les SGM, et est de taille  $g \times q$ .
- La troisième, de taille  $e \times e$ , est la matrice de coûts de relèves entre les eNodeB.
- La quatrième matrice représente les coûts de relèves verticales entre les eNodeB et les NodeB.

*Le fichier de capacités* comporte trois tableaux. Le premier et le deuxième renseignent sur la quantité de paquets générée respectivement par chaque eNodeB et chaque SGSN. Le dernier tableau, de son côté, contient la capacité des nœuds SGM.

*Le fichier d'affectation* du réseau 3G+ comporte les schémas d'affectation résultant de l'implémentation du réseau 3G+ existant. Ce fichier est représenté par une matrice binaire de taille  $n \times g$ , où une case  $(n, g)$  prend la valeur 1 si un NodeB  $n$  est affecté à un SGSN  $g$ , et 0 sinon. Cette matrice est obtenue en parcourant la table d'affectation des NodeB aux RNC et celle des RNC aux SGSN, et est utilisée lors du calcul des coûts de relèves verticales entre les deux réseaux.

Le fichier de sortie du programme de nom *résultat* contient les informations suivantes :

- Le schéma d'affectation de la solution initiale

- Le meilleur coût de la solution obtenue après l'application.
- Le schéma d'affectation des eNodeB et des SGSN de la meilleure solution.

### 3. Etude des cas :

Pour réaliser les tests plusieurs exemples de réseaux de simulation, comme l'indique le tableau suivant sont considérés ;

Le premier réseau contient 5 eNodeB, 2 SGSN, 2 SGM et 5 NodeB

Le deuxième réseau contient 10 eNodeB, 7 SGSN, 4 SGM et 10 NodeB

Le troisième réseau contient 20 eNodeB, 12 SGSN, 6 SGM et 20 NodeB

**Tableau 10 : 5.1 : Réseaux de simulation**

Réseau	eNodeB	SGSN	SGM	NodeB
1	5	2	2	5
2	10	7	4	10
3	20	12	6	20

#### a. Réseau 1

Le fichier de données pour le premier réseau contient 5 eNodeB, 2 SGSN, 2 SGM et 5 NodeB. La première matrice renseigne sur le coût de liaison entre les eNodeB et les SGM, la deuxième matrice renseigne sur le coût de liaison entre les SGSN et les SGM, la troisième matrice renseigne sur les coûts de relève entre les eNodeB, la quatrième renseigne sur les coûts de relèves verticales entre les eNodeB et les NodeB.

5	2	2	5		
15874	12000				
10392	6000				
6000	0000				
12000	10392				
6000	6000				
12000	8485				
6000	0000				
0000	0164	0000	0654	0000	
0870	0000	0011	0848	0286	
0000	0397	0000	0000	0036	
0950	0134	0000	0000	0387	
0000	1290	0762	0025	0000	
4322	0652	0000	0117	0000	
0914	3852	0410	0304	0220	
0000	0193	4972	0000	0683	
0181	0359	0000	3762	0761	
0000	0435	0578	0336	4122	

**Figure 29 : Fichier de données du premier réseau**

La figure 30 montre le contenu de fichier de capacité, La première et la deuxième matrice renseignent sur la quantité de paquets générée respectivement par chaque eNodeB et chaque SGSN. Le dernier tableau contient la capacité des nœuds SGM.

<b>1859</b>	<b>2115</b>	<b>1456</b>	<b>1579</b>	<b>5556</b>
<b>26915</b>	<b>26915</b>			
<b>150614</b>	<b>150614</b>			

**Figure 30 : Fichier de capacité**

```
0 1
1 0
0 1
0 1
1 0
```

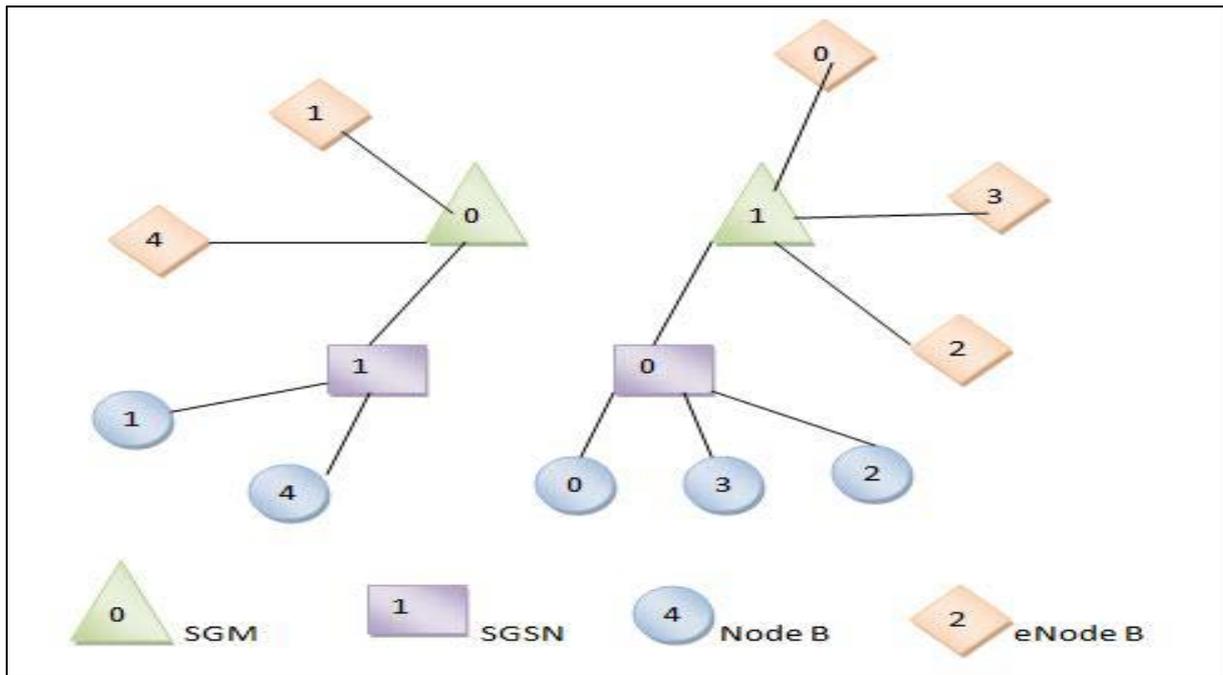
**Figure 31 : Fichier d'affectation de réseau 3G+ pour réseau 1**

La Figure32 présente la solution initiale ; l'affectation des eNodeB aux SGM l'interconnexion de deux réseaux HSPA et LTE :

```
***** TOPOLOGIE INITIALE *****
eNodeB: 0 SGM: 1
eNodeB: 1 SGM: 0
eNodeB: 2 SGM: 1
eNodeB: 3 SGM: 1
eNodeB: 4 SGM: 0
SGSN: 0 SGM: 1
SGSN: 1 SGM: 0
```

**Figure 32 : Solution initiale de réseau 1**

Pour illustrer le résultat précédent la Figure 33 est une représentation graphique de la topologie du réseau de simulation numéro1 qui comprend : 5 eNodeB, 2 SGM, 2 SGSN et 5 NodeB. Ainsi, les eNodeB 1 et 4 sont reliés au SGM 0 et les eNodeB 0, 3 et 2 sont reliés au SGM 1. Le SGSN 1 est relié au SGM 0 et le SGSN 0 est relié au SGM 1.



**Figure 33 : Topologie graphique de la solution initiale pour le réseau 1**

La meilleure architecture obtenue avec son coût optimal et après avoir exécuté la recherche avec tabou sont illustrés dans la Figure 34 qui montre que l'eNodeB 0 passe de SGM 1 au SGM 0.

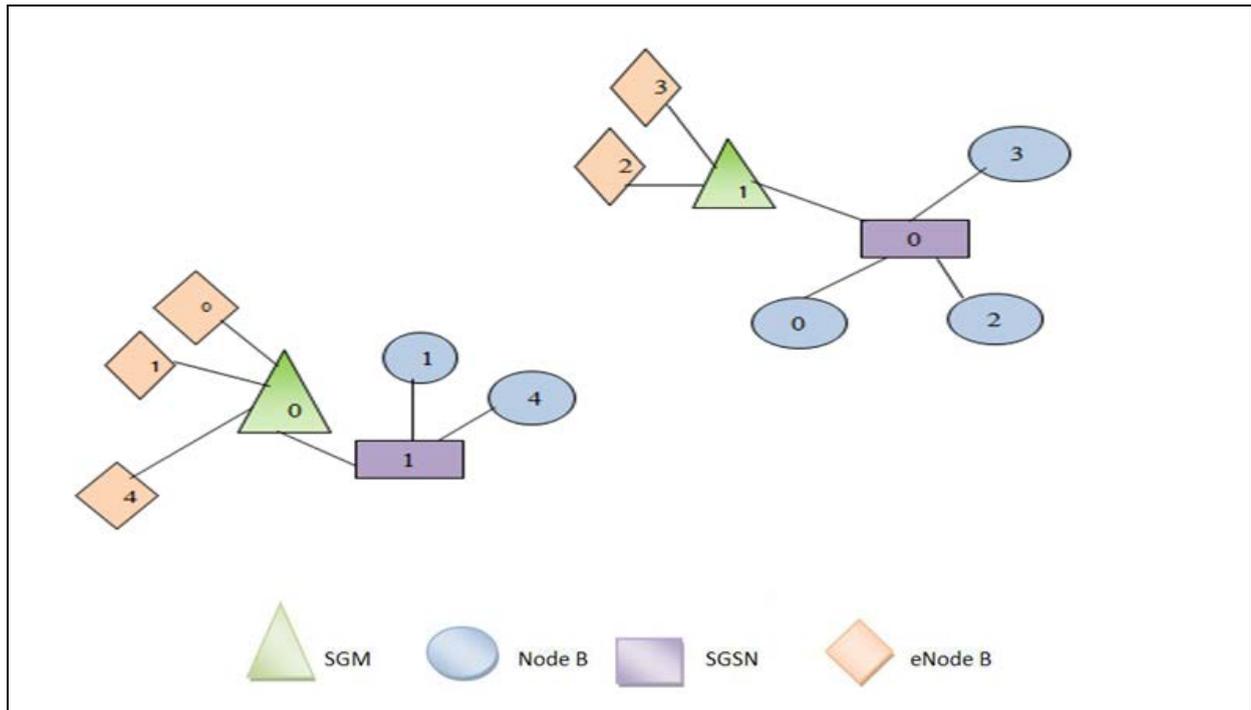
\*\*\*\*\* MEILLEURE TOPOLOGIE OBTENUE \*\*\*\*\*

**COÛT DE MEILLEURE TOPOLOGIE : 43 327 DT**

eNodeB: 0 SGM: 0  
eNodeB: 1 SGM: 0  
eNodeB: 2 SGM: 1  
eNodeB: 3 SGM: 1  
eNodeB: 4 SGM: 0  
SGSN: 0 SGM: 1  
SGSN: 1 SGM: 0

**Figure 34 : Topologie de la meilleure solution pour le réseau 1**

Pour illustrer le résultat précédent la Figure 35 fait une représentation graphique de la meilleure topologie du réseau de simulation numéro 1 qui comprend : 5 eNodeB, 2 SGM, 2 SGSN et 5 NodeB.



**Figure 35 : Architecture graphique de la meilleure topologie**

## **b. Réseau 2**

La topologie d'affectation des NodeB aux SGSN dans le réseau 3G+ de réseau de simulation numéro 2 est illustrée dans la Figure 36. Ainsi, le NodeB 0 est relié au SGSN 1, les NodeB 1 et 4 sont reliés au SGSN 0, les NodeB 2 et 8 sont reliés au SGSN 2, les Node 3 et 9 sont reliés au SGSN 3, le NodeB 5 est relié au SGSN 4, le NodeB 6 est relié au SGSN 5 et le NodeB 7 est relié au SGSN 6.

```
0 1 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 1
0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0
```

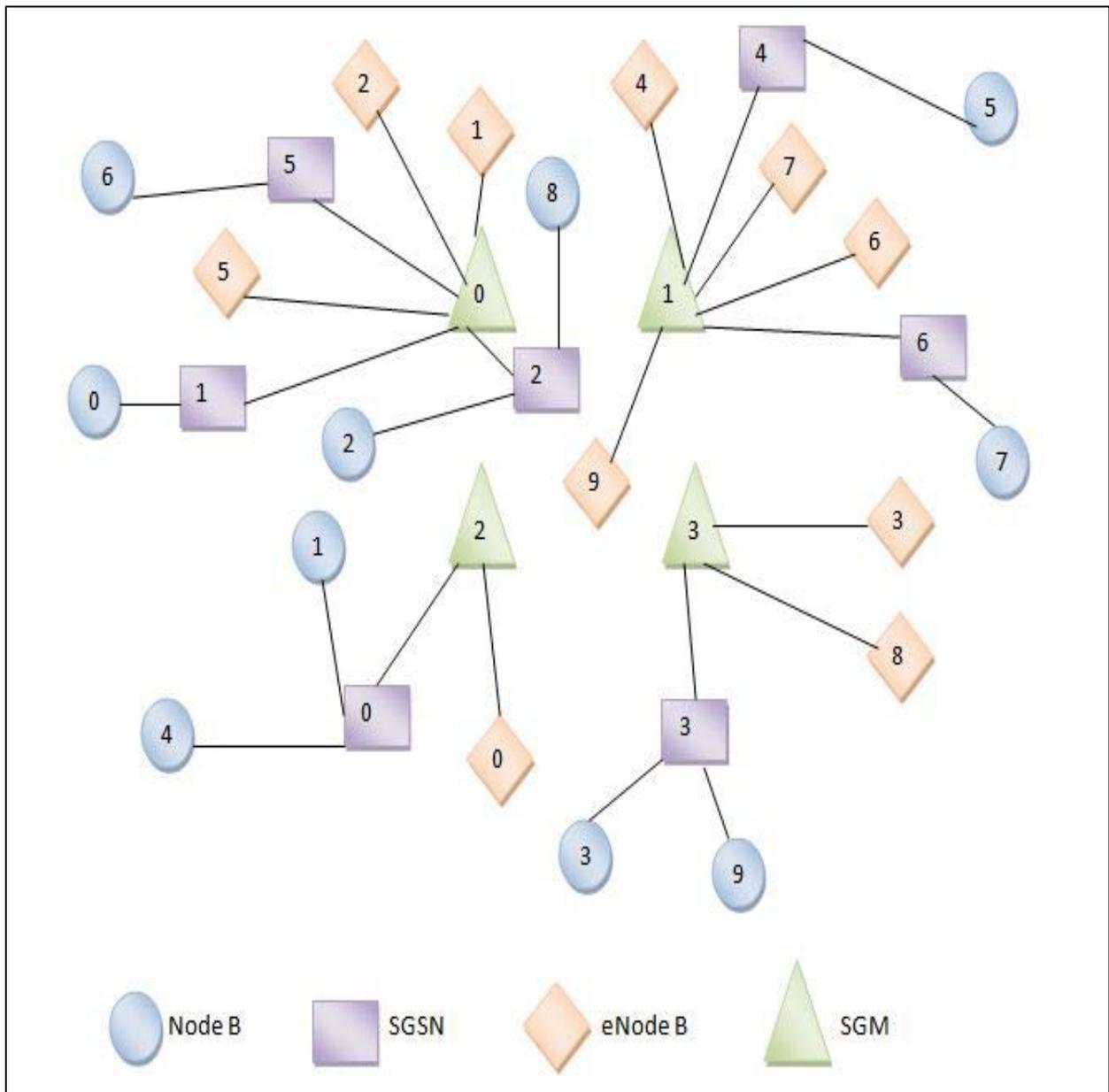
**Figure 36 : Fichier d'affectation de réseau 3G+ pour le réseau 2**

La topologie initiale de réseau 2 est illustrée dans la Figure 37 et qui montre que l'eNodeB0 est relié au SGM 2, les eNodeB 1, 2 et 5 sont reliés au SGM0, les eNodeB3 et 8 sont reliés au SGM3 et les eNodeB4, 6, 7 et 9 sont reliés au SGM1. Ainsi le SGSN 0 est relié au SGM2, les SGSN 1, 2 et 5 sont reliés au SGM 0, le SGSN 3 est relié au SGM 3 et les SGSN sont reliés au SGM 1.

```
***** TOPOLOGIE INITIALE *****  
  
eNodeB: 0 SGM: 2  
eNodeB: 1 SGM: 0  
eNodeB: 2 SGM: 0  
eNodeB: 3 SGM: 3  
eNodeB: 4 SGM: 1  
eNodeB: 5 SGM: 0  
eNodeB: 6 SGM: 1  
eNodeB: 7 SGM: 1  
eNodeB: 8 SGM: 3  
eNodeB: 9 SGM: 1  
  
SGSN: 0 SGM: 2  
SGSN: 1 SGM: 0  
SGSN: 2 SGM: 0  
SGSN: 3 SGM: 3  
SGSN: 4 SGM: 1  
SGSN: 5 SGM: 0  
SGSN: 6 SGM: 1
```

**Figure 37 : Solution initiale de réseau 2**

Pour illustrer le résultat précédent, la Figure 38 est une représentation graphique de la topologie du réseau de simulation numéro 2 qui comprend : 10 eNodeB, 4 SGM, 7 SGSN et 10 NodeB.



**Figure 38 : Topologie graphique pour la solution initiale de réseau 2**

La topologie initiale de réseau 2 est illustrée dans la figure 38 qui montre que l'eNodeB 0 est relié au SGM 2, les eNodeB 1, 2 et 5 sont reliés au SGM 0, les eNodeB 3 et 8 sont reliés au SGM 3 et les eNodeB 4, 6, 7 et 9 sont reliés au SGM1. Ainsi le SGSN 0 est relié au SGM 2, les SGSN 1, 2 et 5 sont reliés au SGM 0, le SGSN3 est relié au SGM3 et les SGSN sont reliés au SGM 1.

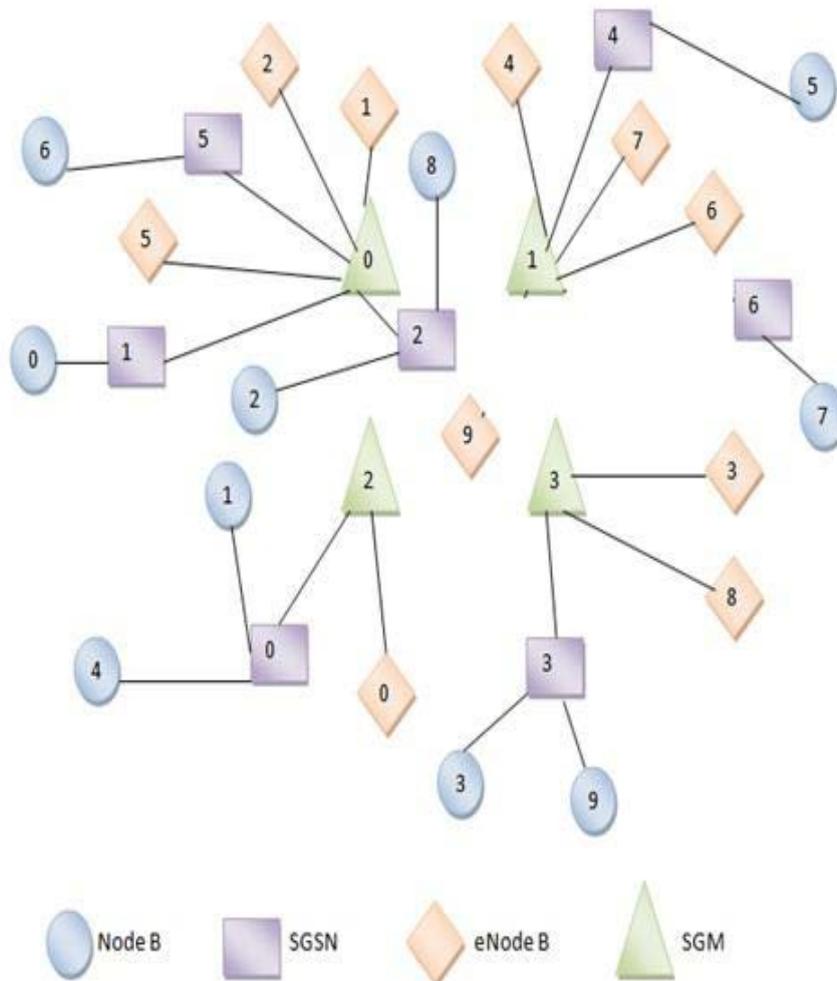
\*\*\*\*\* MEILLEURE TOPOLOGIE OBTENUE \*\*\*\*\*

**COÛT DE MEILLEURE TOPOLOGIE : 90 382 DT**

eNodeB: 0 SGM: 2  
eNodeB: 1 SGM: 0  
eNodeB: 2 SGM: 0  
eNodeB: 3 SGM: 3  
eNodeB: 4 SGM: 1  
eNodeB: 5 SGM: 0  
eNodeB: 6 SGM: 1  
eNodeB: 7 SGM: 1  
eNodeB: 8 SGM: 3  
eNodeB: 9 SGM: 1  
SGSN: 0 SGM: 2  
SGSN: 1 SGM: 0  
SGSN: 2 SGM: 0  
SGSN: 3 SGM: 3  
SGSN: 4 SGM: 1  
SGSN: 5 SGM: 0  
SGSN: 6 SGM: 1

**Figure 39 : Meilleure topologie de réseau 2**

Pour illustrer le résultat précédent, la Figure 40 fait une représentation graphique de la meilleure topologie du réseau de simulation numéro 2 qui comprend : 10 eNodeB, 4 SGM, 7 SGSN et 10 NodeB.



**Figure 40 : Architecture graphique de la meilleure topologie de réseau 2**

### c. Réseau 3

La topologie d'affectation des NodeB aux SGSN dans le réseau 3G+ de réseau de simulation numéro 3 est illustrée dans la Figure 41. Ainsi, les NodeB 1, 4 et 14 sont reliés au SGSN 0, le NodeB 0 est relié au SGSN 1, les NodeB 2, 8 et 12 sont reliés au SGSN 2, les NodeB 3 et 13 sont reliés au SGSN 3, le NodeB 15 est relié au SGSN 4, les NodeB 6 et 16 sont reliés au SGSN 5, les NodeB 7 et 17 sont reliés au SGSN 6, le NodeB 11 est relié au SGSN 7, les Node 5 et 9 sont reliés au SGSN 8, le NodeB 19 est relié au SGSN 9, le NodeB 18 est relié au SGSN 10 et le NodeB est relié au SGSN 11.

```

001000000000
100000000000
001000000000
000100000000
100000000000
000000001000
000001000000
000000100000
001000000000
000000001000
000000000001
000000010000
001000000000
000100000000
100000000000
000010000000
000001000000
000000100000
001000000000
000000000100

```

**Figure 41 : Fichier d'affectation de réseau 3G+ pour le réseau 3**

La Figure suivante présente la solution initiale de l'affectation des eNodeB aux SGM :

```

***** TOPOLOGIE INITIALE *****
eNodeB: 0 SGM: 2
eNodeB: 1 SGM: 0
eNodeB: 2 SGM: 5
eNodeB: 3 SGM: 3
eNodeB: 4 SGM: 4
eNodeB: 5 SGM: 0
eNodeB: 6 SGM: 1
eNodeB: 7 SGM: 4
eNodeB: 8 SGM: 3
eNodeB: 9 SGM: 1
eNodeB: 10 SGM: 0
eNodeB: 11 SGM: 3
eNodeB: 12 SGM: 4

```

eNodeB: 13 SGM: 5  
eNodeB: 14 SGM: 1  
eNodeB: 15 SGM: 2  
eNodeB: 16 SGM: 0  
eNodeB: 17 SGM: 0  
eNodeB: 18 SGM: 3  
eNodeB: 19 SGM: 4

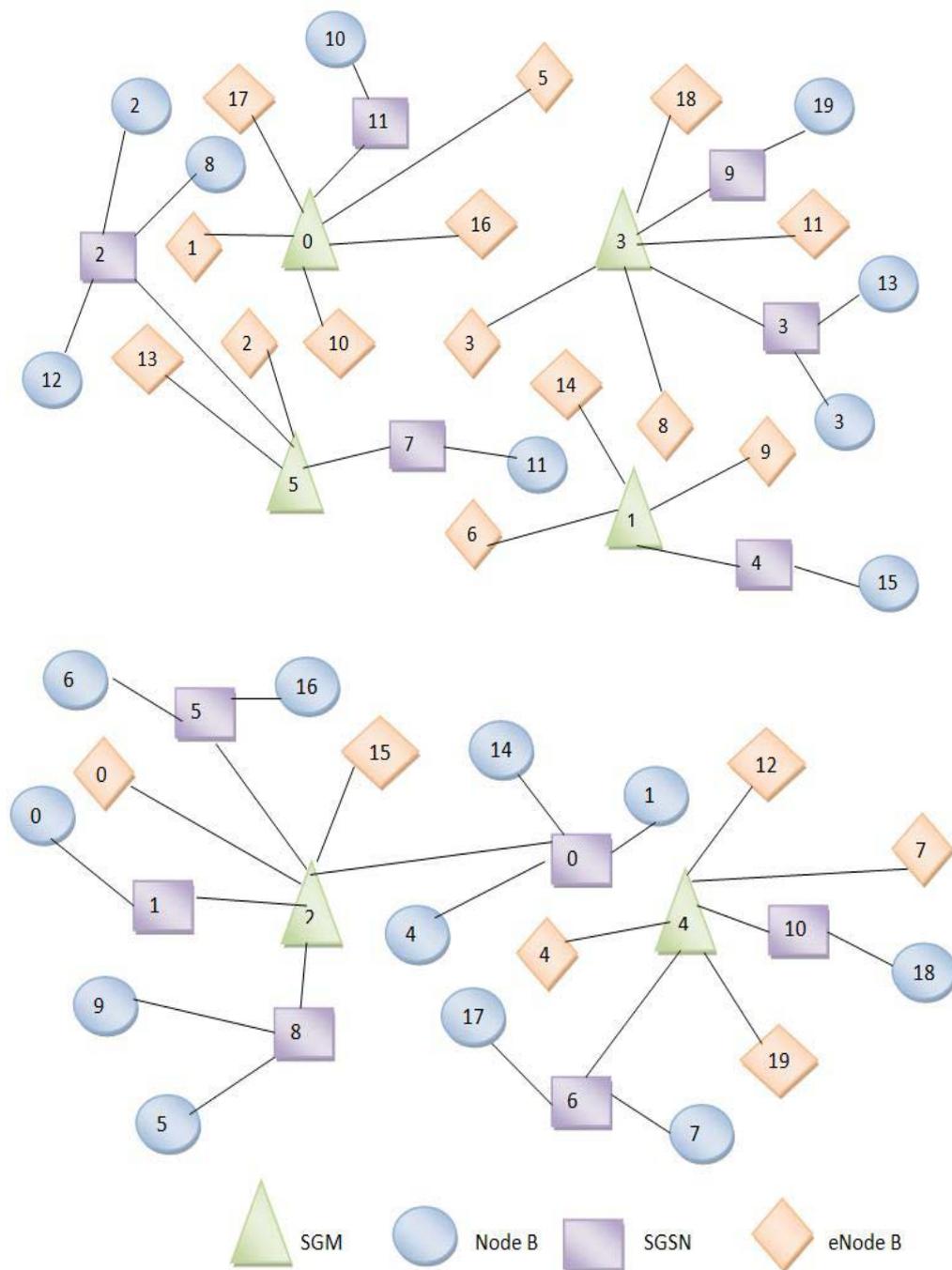
**Figure 42 : Topologie initiale d'affectation des eNodeB aux SGM pour le réseau 3**

La Figure 43 présente la solution initiale de l'interconnexion de deux réseaux HSPA et LTE :

SGSN: 0 SGM: 2  
SGSN: 0 SGM: 2  
SGSN: 1 SGM: 0  
SGSN: 2 SGM: 5  
SGSN: 3 SGM: 3  
SGSN: 4 SGM: 1  
SGSN: 5 SGM: 0  
SGSN: 6 SGM: 4  
SGSN: 7 SGM: 5  
SGSN: 8 SGM: 0  
SGSN: 9 SGM: 3  
SGSN: 10 SGM: 4  
SGSN: 11 SGM: 0

**Figure 43 : Architecture initiale d'interconnexion de deux réseaux HSPA et LTE pour le réseau 3**

Pour illustrer le résultat précédent la Figure 44 est une représentation graphique de la topologie du réseau de simulation numéro2 qui comprend : 20 eNodeB, 12 SGM, 6 SGSN et 20 NodeB. Ainsi, les eNodeB 1, 10, 16, 17 et 5 sont reliés au SGM 0, les eNodeB 6, 9 et 14 sont reliés au SGM 1, les eNodeB0 et 15 sont reliés au SGM2, les eNodeB3, 18, 11 et 8 sont reliés au SGM3, les eNodeB4, 7, 12 et 19 sont reliés au SGM4, les eNodeB 2 et 13 sont reliés au SGM5. Ainsi le SGSN11 est relié au SGM 0, le SGSN 4 est relié au SGM 1, les SGSN0, 1, 5 et 8 sont reliés au SGM 2, les SGSN3 et 9 sont reliés au SGM 3, les SGSN 6 et 10 sont reliés au SGM 4 et les SGSN 2 et 7 sont reliés au SGM 5.



**Figure 44 : Topologie graphique pour la solution initiale de réseau 3**

La meilleure architecture obtenue avec son coût sont illustrés dans la Figure 45 qui montre que l'eNodeB 14 passe de SGM 1 au SGM 4, l'eNodeB 16 passe de SGM 0 au SGM 3.

\*\*\*\*\* MEILLEURE TOPOLOGIE OBTENUE \*\*\*\*\*

**COÛT DE MEILLEURE TOPOLOGIE : 120 584 DT**

eNodeB: 0 SGM: 2  
eNodeB: 1 SGM: 0  
eNodeB: 2 SGM: 5  
eNodeB: 3 SGM: 3  
eNodeB: 4 SGM: 4  
eNodeB: 5 SGM: 0  
eNodeB: 6 SGM: 1  
eNodeB: 7 SGM: 4  
eNodeB: 8 SGM: 3  
eNodeB: 9 SGM: 1  
eNodeB: 10 SGM: 0  
eNodeB: 11 SGM: 3  
eNodeB: 12 SGM: 4  
eNodeB: 13 SGM: 5  
eNodeB: 14 SGM: 3  
eNodeB: 15 SGM: 2  
eNodeB: 16 SGM: 3  
eNodeB: 17 SGM: 0  
eNodeB: 18 SGM: 3

**Figure 45 : Meilleur solution d'affectation des eNodeB aux SGM pour le réseau 3**

La Figure suivante présente la meilleure solution de l'interconnexion de deux réseaux 3G et LTE et qui montre que le SGSN 5 passe de SGM 2 au SGM 5 et le SGSN 4 passe de SGM 1 au SGM 4.

SGSN: 0 SGM: 2
SGSN: 0 SGM: 2
SGSN: 1 SGM: 0
SGSN: 2 SGM: 5
SGSN: 3 SGM: 3
SGSN: 4 SGM: 4
SGSN: 5 SGM: 5
SGSN: 6 SGM: 4
SGSN: 7 SGM: 5
SGSN: 8 SGM: 0
SGSN: 9 SGM: 3
SGSN: 10 SGM: 4
SGSN: 11 SGM: 0

**Figure 46 : Meilleure interconnexion de deux réseaux HSPA et LTE pour le réseau 2**

Pour illustrer le résultat précédent la Figure 47 fait une représentation graphique de la topologie du réseau de simulation numéro1 qui comprend : 20 eNodeB, 12 SGM, 6 SGSN et 20 NodeB.





1100	0152	1230	0181	0280	1200	1300	04400	2005	0322	0200	01100	3500	0000	1520
0000	0632	2330	0230	0310	1300	0500	06980	1376	1200	0440	00300	1620	5600	1650
4000	0222	4210	0150	1270	0560	0120	00240	7030	3770	0570	08800	1727	2400	1220
1322	0840	1220	1100	1400	0900	0570	00380	6543	2550	0980	00100	0177	0000	1110
0133	0652	0100	2100	1200	0600	1000	00980	2828	7600	1000	00500	0842	1300	1100

**Figure 48 : Fichier des données du réseau de l'Ariana**

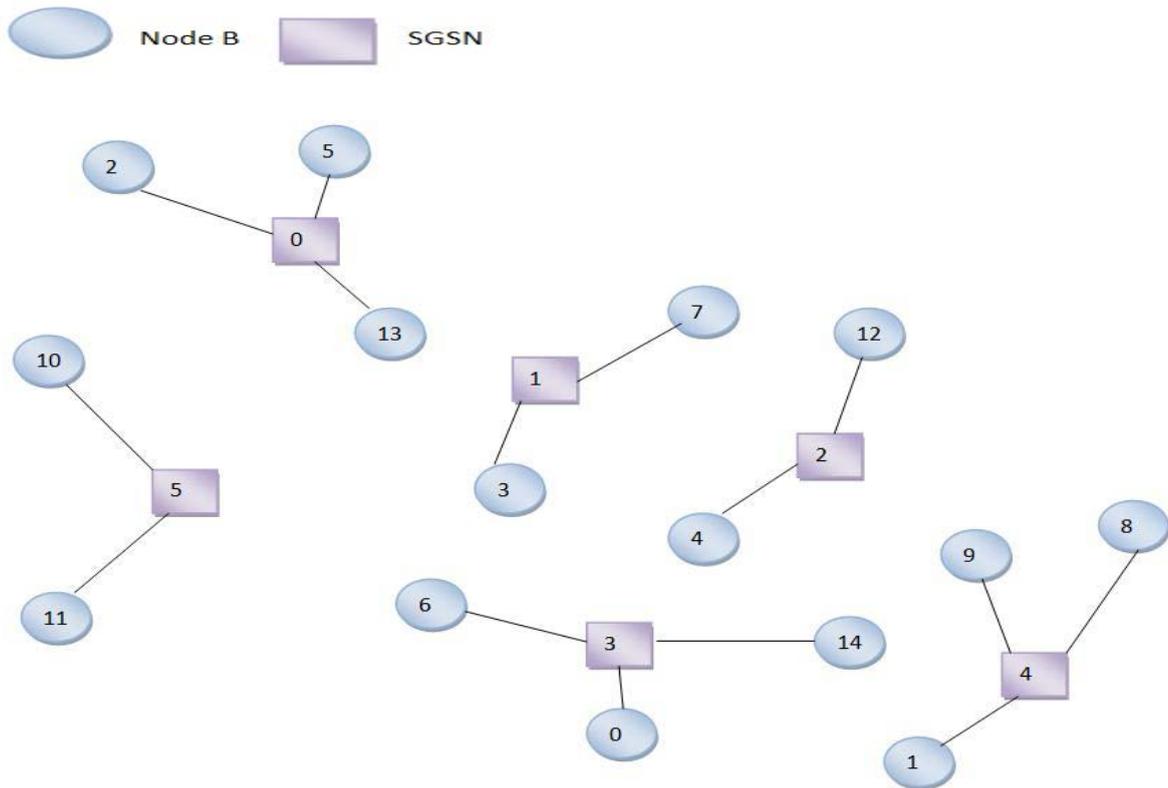
Le réseau 3G+ de la région Ariana est planifié par la figure 49 qui montre que les NodeB sont affectés au SGSN comme suit : les NodeB 2, 5, 13 sont reliés au SGSN 0, les NodeB 3 et 7 sont reliés au SGSN 1, les NodeB 4 et 12 sont reliés au SGSN 2, les NodeB 6, 14 et 0 sont reliés au SGSN 3, les NodeB 8, 9 et 1 sont reliés au SGSN 4, les NodeB 10 et 11 sont reliés au SGSN 5.

0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0

**Figure 49 : Fichier d'affectation du réseau 3G de la région Ariana**

<b>1760</b>	<b>2235</b>	<b>1676</b>	<b>1899</b>	<b>5936</b>	<b>1110</b>	<b>3915</b>	<b>1756</b>
<b>299115</b>	<b>28915</b>	<b>27715</b>	<b>28915</b>	<b>39716</b>	<b>53615</b>		
<b>119614</b>	<b>256614</b>	<b>165614</b>	<b>172614</b>				

**Figure 50 : Fichier de capacité zone Ariana**



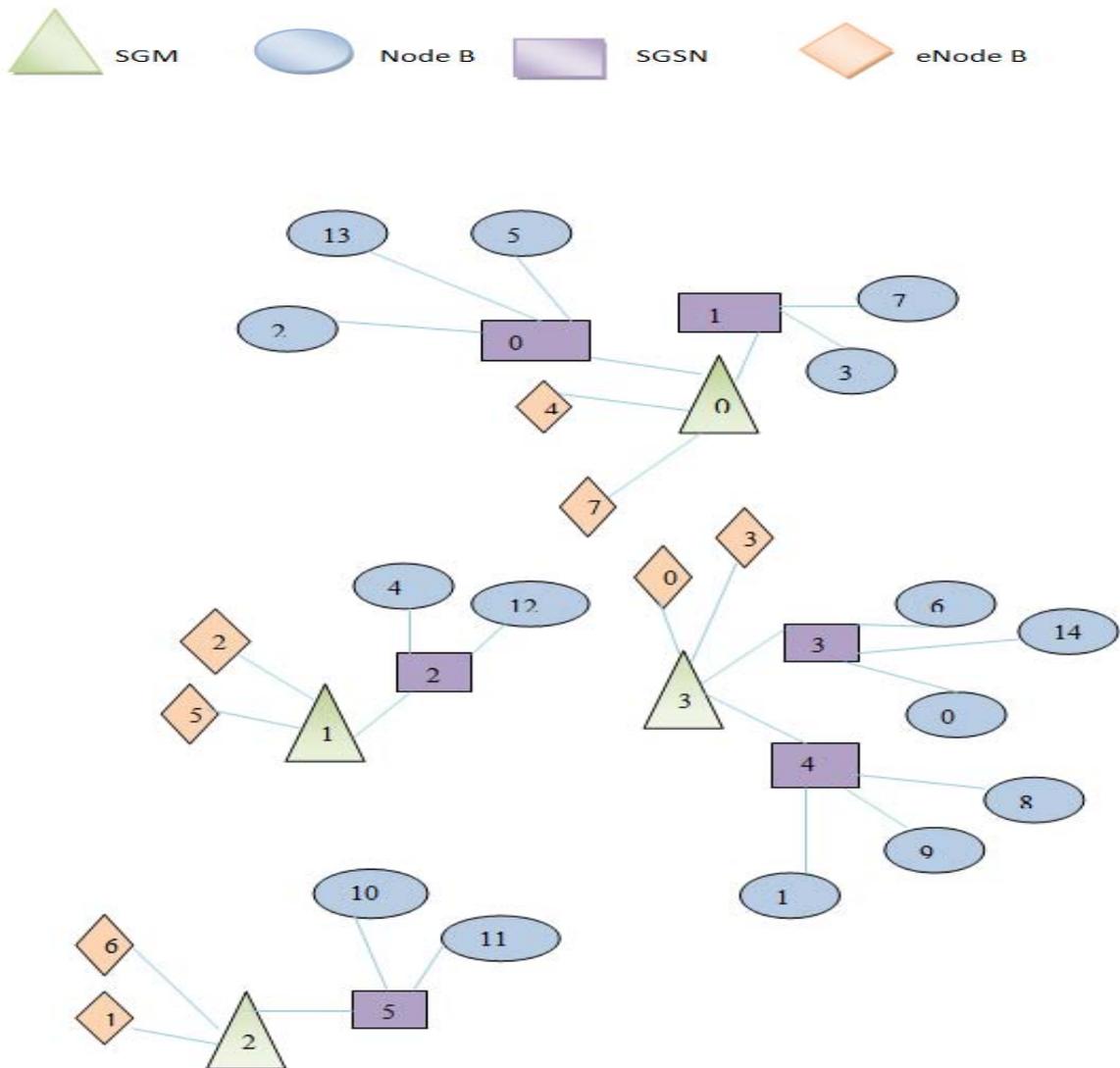
**Figure 51 : Topologie graphique de réseau 3G+ dans le gouvernorat d'Ariana**

\*\*\*\*\* TOPOLOGIE INITIALE \*\*\*\*\*

eNodeB: 0	SGM: 3
eNodeB: 1	SGM: 2
eNodeB: 2	SGM: 1
eNodeB: 3	SGM: 3
eNodeB: 4	SGM: 0
eNodeB: 5	SGM: 1
eNodeB: 6	SGM: 2
eNodeB: 7	SGM: 0
SGSN: 0	SGM: 0
SGSN: 1	SGM: 0
SGSN: 2	SGM: 1
SGSN: 3	SGM: 3
SGSN: 4	SGM: 3
SGSN: 5	SGM: 2

**Figure 52 : Solution initiale d'affectation pour le réseau de la région Ariana**

Pour illustrer le résultat on fait une représentation graphique de la topologie du réseau de simulation de la région Ariana qui comprend : 8eNodeB, 4 SGM, 6 SGSN et 15 NodeB.



**Figure 53 : Topologie de la Solution initiale d'affectation pour la région Ariana**

La topologie initiale de la région de l'Ariana montre que l'eNodeB0 est relié au SGM3, les eNodeB1 et 6 sont reliés au SGM2, les eNodeB2 et 5 sont reliés au SGM1, les eNodeB0 et 3 sont reliés au SGM 3 et les eNodeB4 et 7 sont reliés au SGM0. Ainsi que le SGSN0 est relié au SGM 2, les SGSN3 et 4 sont reliés au SGM3, les SGSN0 et 1 sont reliés au SGM0, le SGSN2 est relié au SGM1 et le SGSN5 est relié au SGM2.

Après l'exécution de l'algorithme de la recherche avec tabou, la figure 54 présente la meilleure topologie de l'affectation des eNodeB au SGM ainsi que le meilleur coût. On

remarque les eNodeB0 et eNodeB7 passent de SGM3 au SGM0 ainsi que le SGSN1 passe de SGM0 au SGM2 et le SGSN5 passe de SGM2 au SGM0.

Le coût de planification est égal à 113 milles dinars. Nous remarquons ici que le coût de planification d'un réseau 4G/LTE à partir d'un réseau 3G+/HSPA est inférieur à celui de la solution initiale estimée à 150MD, ce qui montre l'efficacité d'utilisation de l'algorithme de recherche tabou.

Réseau de simulation : nbreNodeB: 8, nbrNodeB: 15, nbreSGSN: 6, nbreSGM: 4

\*\*\*\*\* MEILLEURE TOPOLOGIE OBTENUE \*\*\*\*\*

**COÛT DE MEILLEURE TOPOLOGIE : 113 000 DT**

eNodeB: 0 SGM: 0

eNodeB: 1 SGM: 2

eNodeB: 2 SGM: 1

eNodeB: 3 SGM: 0

eNodeB: 4 SGM: 0

eNodeB: 5 SGM: 1

eNodeB: 6 SGM: 2

eNodeB: 7 SGM: 3

SGSN: 0 SGM: 0

SGSN: 1 SGM: 1

SGSN: 2 SGM: 1

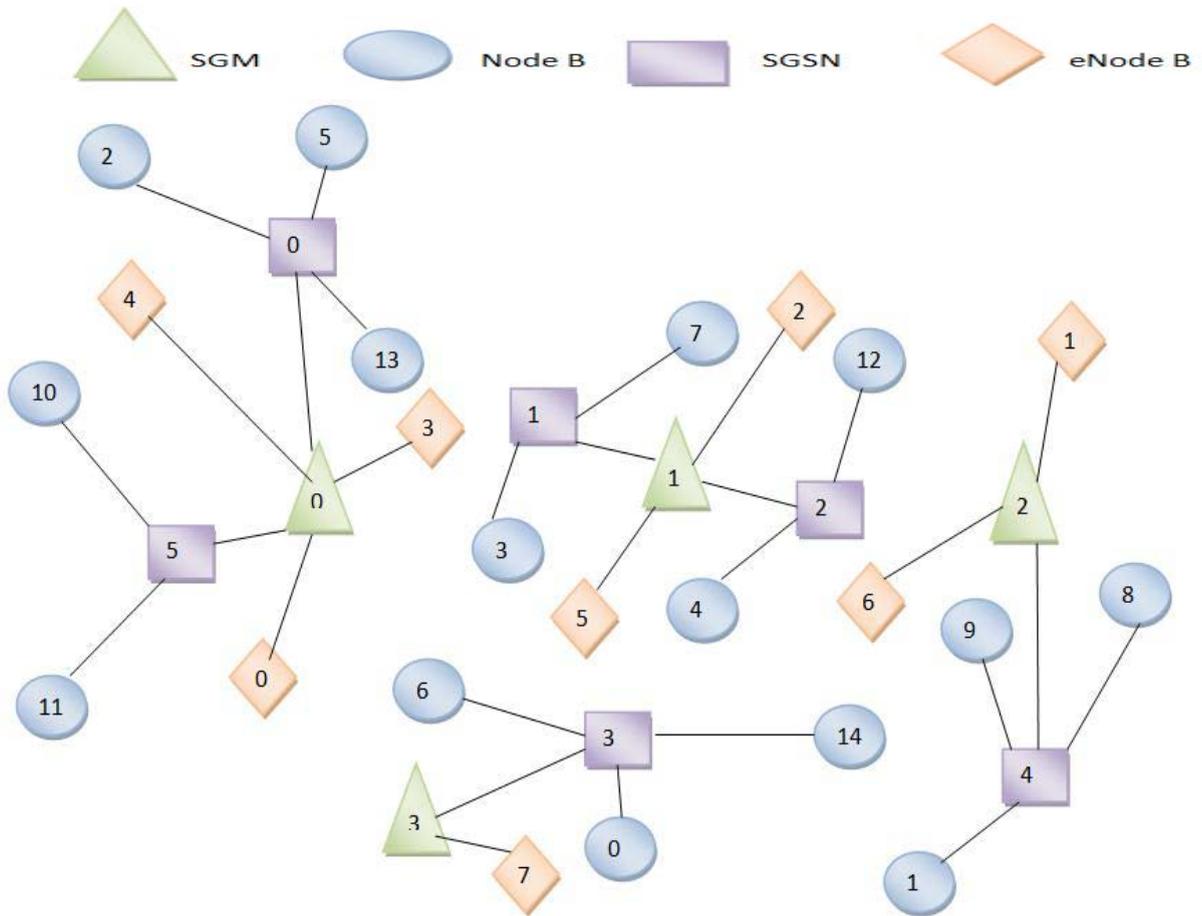
SGSN: 3 SGM: 3

SGSN: 4 SGM: 2

SGSN: 5 SGM: 0

**Figure 54 : Meilleure topologie d'affectation des entités de réseau 4G au réseau 3G+**

Pour illustrer le résultat précédent la Figure 55 montre la topologie du réseau de simulation de la ville Ariana qui comprend : 8 eNodeB, 4 SGM, 6 SGSN et 15 NodeB.



**Figure 55 : Représentation graphique de la meilleure topologie région Ariana**

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'adaptation de la recherche tabou au problème d'affectation des entités de réseau 4G/LTE à une plateforme 3G+/HSPA existant, les étapes de l'implémentation de cet algorithme, nous avons fait des tests sur trois réseaux différents en nombre d'équipement que ce soit au niveau du réseau d'accès ou au niveau réseau cœur et à la fin nous avons fait l'étude d'un cas réel, celui de la région de l'Ariana pour montrer l'efficacité de cet algorithme.

## Conclusion générale

Le but principal de ce projet est de résoudre le problème d'affectation des cellules, dans le cadre de la planification d'un réseau mobile 4G à partir d'un réseau mobile 3G+ existant. Le modèle utilisé permet alors d'affecter les eNodeB (cellules) et les SGSN en même temps aux SGM. Ces affectations consistent à trouver des schémas d'affectation entre un nombre de  $n$  cellules et de  $m$  commutateurs, en tenant compte des contraintes de capacités de ces derniers, et de l'unicité des affectations des cellules à ces commutateurs. Dans ce projet on a pris en considération les deux technologies 3G et 4G afin d'affecter les eNodeB (cellules) du réseau 4G et les SGSN du réseau 3G+, aux équipements du réseau cœur 4G présenté par les SGM. Ce modèle améliore l'optimisation du coût total de l'architecture obtenue des affectations, exige le respect de plusieurs contraintes telles que : les contraintes de capacités des SGM et les contraintes d'unicité des affectations des eNodeB et des SGSN à ces SGM. L'approche utilisée est basée sur une heuristique, compte tenu du fait que, pour des réseaux de grande taille, le problème est classé NP-difficile. Cette heuristique commence par générer une solution initiale du problème, cette solution est ensuite utilisée par l'algorithme de recherche avec tabou qui au moyen des mécanismes de mémoire à court, à moyen et à long terme, améliore la solution initialement trouvée et d'arriver à une solution de moindre coût.

Lorsque l'algorithme est exécuté, un ensemble de mouvements de réaffectation et de déplacements est fait, afin d'améliorer le coût de la solution courante, ou de rétablir la faisabilité des solutions obtenues. Chacun de ces mouvements est suivi d'un mécanisme de gain, qui prend en considération les coûts des relèves horizontale et verticale. Et un mouvement est sectionné uniquement s'il entraîne le meilleur gain sur le coût de la solution.

Au-delà de l'aspect technique, ce projet a représenté pour moi une expérience humaine enrichissante au sein de Tunisie Telecom. Il a été une opportunité pour appréhender le travail dans une hiérarchie professionnelle et il m'a offert la possibilité d'améliorer mes capacités de communication ainsi de développer mes facultés d'analyse, de réflexion et de décision.

Pour conclure, nous estimons avoir satisfait les objectifs initialement fixés. Mais comme toute œuvre humaine il ne prétend pas la perfection et nécessite quelques améliorations au niveau des paramètres liés à la recherche tabou tels que : la taille de la liste taboue, le délai de déclenchement du mécanisme de rappel pour un nombre de solutions non faisables données, etc. Bien que dans l'ensemble, les valeurs retenues pour chaque paramètre permettent d'obtenir de bons résultats, elles ne sont pas forcément les meilleures d'un problème à un autre. Le

modèle retenu pour ce projet présente une simplification du problème, car les équipements MME et SGW sont unifiés par une entité unique SGM, émulant ainsi les fonctionnalités de chaque nœud pris séparément. Toutefois notre étude de cas peut être considérablement enrichie par des améliorations futures, que ce soit au niveau modèle sans couplage de nœuds ou au niveau des allocations dynamiques de ressources. Ce modèle entraînera les concepts de domiciliation simple et double. Une domiciliation fait référence au nombre de MME et SGW, auxquels les eNodeB et les SGSN sont reliés. Suivant la taille du trafic dans le réseau, les affectations seront faites de façon alternée, à un moment précis de la journée tel que l'heure chargée afin d'éviter la perte de trafic au niveau d'un nœud congestionné.

Nous souhaitons enfin avoir fait de notre mieux pour laisser une bonne impression au sein de la direction des plateformes Core mangement à Tunisie Telecom.

# Bibliographie et webographie

---

## 1. Les ouvrages

[1]: Ralph Kimball & Margy Ross, « The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling », John Wiley & Sons, April 26, 2002.

[2] : Pierre Beaufiles et al. , "Réseaux 4G technologies et services", hermes science, novembre 2008

[3] : DIALLO.M (2004). Affectation des cellules aux commutateurs dans les réseaux mobiles

[4] : M. Moussaoui, Le réseau UMTS et ses évolutions: UMTS/HSxPA/3LTE, 15-17 Mars 2010, Marrakech, Maroc

[5] : J. Ayas & M.A. Viau, La recherche tabou, 16 novembre, 2004

[6] :OMRIM(2011), Développement d'un Outil d'Aide à la Planification du Réseau Cœur GSM, Projet fin d'étude

## 2. Webographie

[7] : [http://fr.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(r%C3%A9seaux\\_mobiles\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_(r%C3%A9seaux_mobiles))

[8] : <http://www.3gpp.org/HSPA>

[9] : [http://www.over-blog.com/HSDPA\\_et\\_HSUPA\\_presentation\\_definition\\_et\\_application-1095203942-art376123.html](http://www.over-blog.com/HSDPA_et_HSUPA_presentation_definition_et_application-1095203942-art376123.html)

[10] : <http://www.efort.com>

[11] : <http://www.tunisitelecom.tn> (11/02/2015)

[12] :<http://www.commentcamarche.net/contents/1123-telephonie-mobile-3g-et-4g-expliquees>

[13] <http://philippe-b.forumpro.fr/t4-gsm-gprs-umts-edge-3g-wifi> (9/02/2015)

[14] <http://fr.slideshare.net/Cynapsys/formation-umts> ()

[15]<http://www.tekiano.com/2015/02/20/ericsson-prepare-ses-reseaux-mobiles-5g-pour-2020/>