

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen
Faculté des Sciences Technologiques



Mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un master en Génie Industriel

Option :

Productique

Spécialité :

Ingénierie des systèmes

Ingénierie de production

Thème :

« La localisation des eNodeB lors de la conception du réseau de distribution 4G »

Cas des zones rurales « Wilaya de CHLEF »

Sous la direction de :

Mr. MALIKI Fouad

Présenté par :

Mlle. BENCHERIF Yasmine Ghizlène

Mlle. RAHMANI BOUZINA Douaa

Soutenu devant le jury :

- | | | |
|---------------------------|--------------|--------------------|
| ▪ Mme. DIB Zahira | Présidente | MCB,UNIV.A.BELKAID |
| ▪ Mme. SARI Lamia | Examinatrice | MCA,UNIV.A.BELKAID |
| ▪ Mr. BENNEKROUF Mohammed | Examineur | MCB,EPST-TLEMEN |

« بسم الله الرحمن الرحيم »



1.1. Introduction :

Avant d'entamer l'étude approfondie de notre thème, il est judicieux d'abord de définir les notions de base concernant les sujets d'études relatifs à la télécommunication et à la chaîne logistique. Nous présenterons alors l'entreprise dans laquelle nous avons effectué notre stage, ainsi que les notions de la télécommunication et du réseau 4G. Compte tenu du fait que notre thème concernant la localisation des eNodeB est en relation directe avec une partie de la chaîne logistique, nous devons également faire un rappel sur cette dernière.

1.2. Environnement de stage

1.2.1. Présentation d'Algérie Télécom

Algérie Télécom est une entreprise publique économique sous forme juridique d'une société par actions à capitaux publics. Elle opère sur le marché des réseaux et services de communication électronique et elle est à l'avant-garde sur le marché Algérien des télécommunications. En effet, c'est Algérie télécom qui gère les télécommunications en Algérie. Elle est organisée à l'échelle nationale avec une direction générale située à Alger (Route Nationale N°5 cinq maisons Mohammedia el Harrach et 13 directions territoriales de télécommunications dispersées sur tout le territoire Algérien (dont celle de CHLEF), ainsi que 49 directions centrales. Elle possède en son sein deux filiales mobiles : (Mobilis et télécommunications spatiales (RevSat)). Elle a pour missions de fournir des services de télécommunications, de développer, d'exploiter, de gérer les réseaux publics et privés des télécommunications.

Sa naissance a été consacré par la loi 2000/03 du 5 août 2000, relative à la restructuration du secteur des postes et télécommunications, qui sépare notamment les activités postales de celles des télécommunications. Entrée officiellement en activité à partir du 1^{er} janvier 2003, elle s'engage dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec trois objectifs :

- Rentabilité
- Efficacité
- Qualité de service

1.2.2. Présentation de la DRT de CHLEF :

La DRT de CHLEF est une institution publique économique à caractère commercial de services. Elle agit, telles les autres DRT du pays, comme médiateur entre l'administration centrale du secteur et l'administration locale. Elle est donc responsable du suivi, du contrôle et de la gestion des activités des centres et directions des quatre wilayas (CHLEF-RELIZANE- TISSEMSSILT- TIARET) placées sous sa tutelle. Elle est située au centre-ville de CHLEF à la rue Emir Abd EL Kader, à proximité des différentes administrations et de sa clientèle. Elle a pour rôle :

- La prise en charge des services de téléphonie et des différents envois par le biais du satellite
- La médiation et l'information entre l'administration centrale et locale
- L'établissement du projet de budget et la charge de sa gestion
- La commercialisation des nouveaux services
- Le contrôle, le suivi et le règlement du contentieux

La DRT de CHLEF se situe au centre ville de la wilaya à 200 Km d'Alger et 210 Km d'ORAN La DRT de CHLEF est constituée de trois blocs : le bloc ACTEL, le bloc RMS, le bloc DOT.

1.2.3. Présentation du centre RMS de CHLEF :

Le stage a été effectué particulièrement dans le centre RMS.

Le centre RMS est un centre qui a pour mission de construire un réseau multiservice de nouvelle génération NGN de type IP/MPLS, il est d'envergure nationale. C'est un nouveau réseau de commutation de données.

Le RMS est basé sur un backBône IP/MPLS .Il révolutionnera bien des secteurs de l'économie nationale dont le système bancaire et financier qui est en pleine réforme.

C'est un nœud régional dans la topologie du projet RMS où converge tout le trafic ; Voix et Data de la région de (CHLEF, TIARET, RELIZANE, TISSEMSSILT, AIN DEFLA, DJELFA ET MEDEA).Il permet des liaisons de divers protocoles de 64 kbit aux Gbits

Il est localisé dans un immeuble regroupant plusieurs centres :

- Centre RMS
- Centre MSAN
- Centre d'amplification « CA »
- Centre WLL
- Répartiteur général

1.3. Les définitions :

1.3.1. La télécommunication :

Le mot « télécommunication » a été construit à partir du préfixe grec « TELE » qui veut dire «loin» et du latin « communicare » qui veut dire partager. Le terme « télécommunication » a été utilisé pour la première fois en 1904 par Edouard Estaunié, romancier et ingénieur français. Il s'agit ici de la transmission à distance d'informations par fil, par radioélectricité optique ou par tout autre moyen [1].

1.3.2. Le réseau :

C'est un ensemble d'équipements reliés entre eux en vue d'échanger des informations. Le nombre d'équipements peut commencer à deux pour compter jusqu'à des milliers, voir des millions d'unités. Il est à noter que ces équipements peuvent être regroupés au sein d'un même boîtier [1].

1.3.2.1. La typologie de réseau :

La typologie définira des classes de réseaux en fonction des capacités, des performances, de la taille et d'autres critères permettant la classification [1]. Les réseaux sont principalement différenciés par leur portée, comme illustré dans la (Figure01) :

- Le BUS, pris ici dans le sens du fond de panier d'un ordinateur et qui correspond à des distances de quelques centimètres.
- Le CAN (Controlled Area Network), un réseau à portée très limitée comme un réseau de capteurs dans un véhicule automobile.
- Le PAN (Personal Area Network), constitué d'équipements communiquant à l'intérieur d'un domicile.
- le SAN (Storage Area Network) réseau à hautes performances qui permettra, au sein d'une ferme de serveurs, de manipuler des informations à des fins de traitement.
- Le LAN (Local Area Network) pour l'interconnexion des équipements dans le cadre d'un site d'entreprise.
- Le GAN (Global Area Network) va permettre d'interconnecter des réseaux WiFi entre eux.

- Le MAN (Metropolitan Area Network) utilisant les mêmes règles de fonctionnement qu'un LAN mais sur des portées plus importantes, puisque prévu pour couvrir une agglomération complète.
- Le WAN (Wide Area Network) de portée quasi infinie permettant l'interconnexion de pays ou de continents entre eux. Pour interconnecter tous ces types de réseaux entre eux, il existe le réseau des réseaux, qui est l'INTERNETWORK (entre les réseaux).

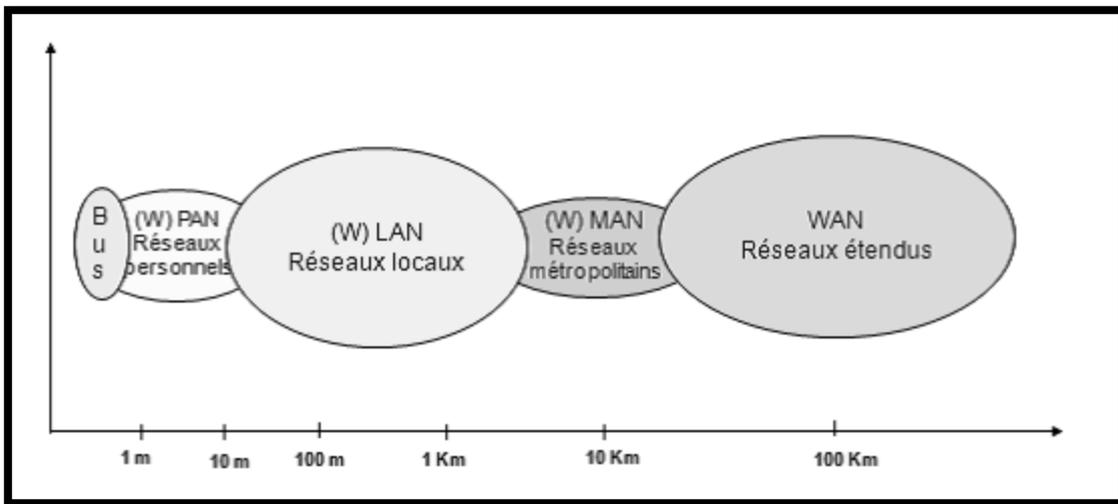


Figure 1.1 : La typologie du réseau

1.3.2.2. La topologie du réseau :

Elle définit la manière dont les équipements sont interconnectés entre eux. Elle peut être physique, dans ce cas il s'agit de l'utilisation d'un système de câblage reliant les équipements, ou logique, soit comment les équipements effectuent les échanges au travers du système de câblage.

1.3.2.3. Le réseau de la nouvelle génération :

Le réseau initial d'ALGERIE TELECOM est le réseau TDM d'où son nom de « Réseau Téléphonique Commuté (RTC) », il s'agit d'un réseau traditionnel de téléphone fixe des opérateurs qui sont basés sur la commutation de circuit entre les lignes d'abonnés et sur une organisation hiérarchique des commutateurs selon différentes zones d'appel. Du fait qu'il y a l'évolution technologique et une forte demande de communication téléphonique, Algérie télécom a dû développer son réseau en faisant des migrations et adopter une nouvelle

technique de transmission ; il s'agit de la NGN qui permettra de rendre le réseau plus fiable vu qu'il y a une augmentation de la bande passante.

Le réseau NGN est défini par l'Union internationale des télécommunications (UIT) comme un "réseau en mode paquet, en mesure d'assurer des services de télécommunication et d'utiliser de multiples technologies de transport à large bande, à qualité de service imposée et dans lequel les fonctions liées aux services sont indépendantes des technologies sous-jacentes liées au transport [2].

La NGN, pour Next Génération Network est une nouvelle architecture de réseau de communication appelée parfois RMS (réseaux multiservices). L'idée générale derrière la NGN est qu'un réseau transporte toutes les informations et intègre tous les services (voix, données, et vidéo) en capsulant ces derniers dans des paquets IP. Les NGN sont construites autour de l'Internet Protocol, et donc le terme « tout-IP ».

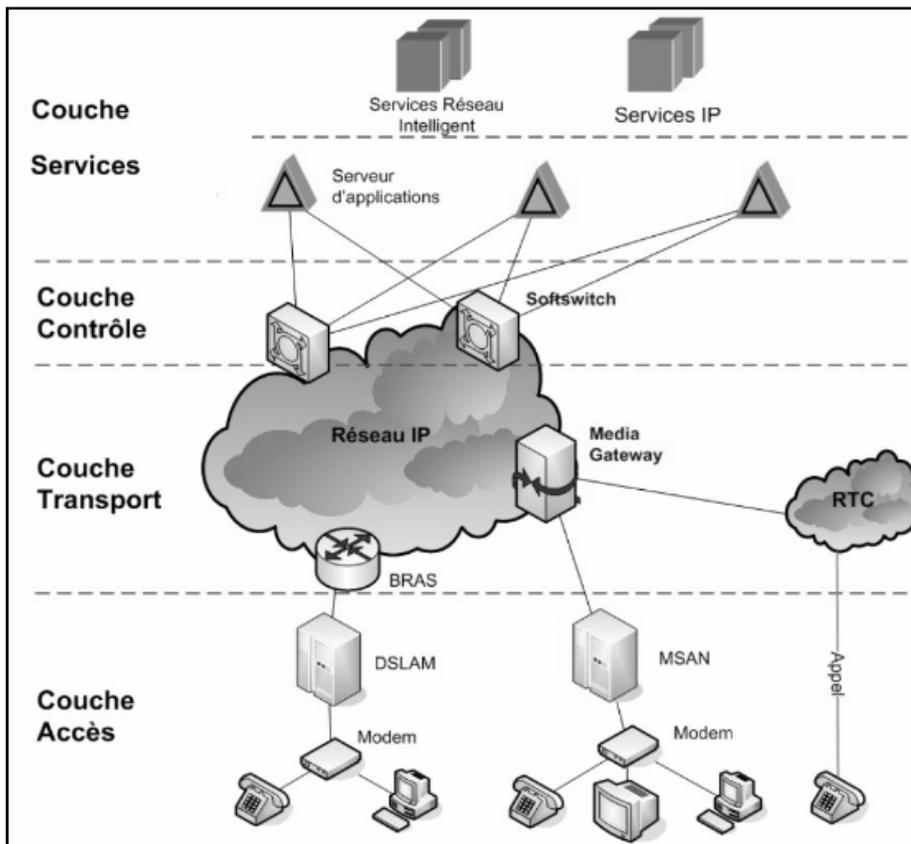


Figure 1.2 : Architecture de réseau NGN.

1.3.2.3.1. Les caractéristiques de la NGN :

- Un réseau multiservice : voix, données et vidéo
- Une séparation en plusieurs couches de l'accès du transport de la commande et des services.
- Une interopérabilité via des interfaces ouvertes entre ces différentes couches et les autres réseaux utilisant le mode paquet
- Un réseau avec qualité de service garantie
- Une utilisation de composants basés sur des standards

1.3.3. Les réseaux mobiles cellulaires :

Dans les réseaux cellulaires, comme les GSM, chaque antenne couvre un territoire défini et lors des déplacements de l'utilisateur les téléphones mobiles changent de cellule.

Les réseaux cellulaires de téléphonie mobile reposent sur la technique des cellules qui sont des zones élémentaires de couverture qui s'interpénètrent et permettent de couvrir une zone à desservir d'un territoire [3].

1.3.3.1. Evolution du réseau mobile cellulaire :

Plusieurs générations marquent l'histoire des communications mobiles. Chaque génération successive, plus performante que les précédentes, repose sur une technologie dominante. On distingue quatre générations de systèmes cellulaires : 1G, 2G, 3G et 4G [3]

1.3.3.1.1. La première génération du système cellulaire 1G :

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80, le principe est de découper le territoire en cellules et de transmettre une communication sur une fréquence, c'est ce qu'on appelle le FDMA (frequency division multiple access), chaque cellule étant couverte par une station de base a été définie dans les années 70 aux Etats Unis. La première génération des systèmes cellulaires (1G) reposait sur un système de communications mobiles analogiques. On parle, alors, de la première génération, car ce sont les premiers réseaux de la transmission. La période de vie de ce réseau est de 1980 à 1995 [3].

La première génération de systèmes cellulaires (1G) utilisait essentiellement les standards suivants :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), lancé aux Etats-Unis ; un réseau analogique reposant sur la technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access).
- NMT (Nordic Mobile Telephone) a été essentiellement conçu dans les pays nordiques et utilisé dans d'autres parties de la planète.
- TACS (Total Access Communications System) repose sur la technologie AMPS, il a été fortement utilisé en Grande Bretagne.
- ETCS (Extended total access communication system)

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée par une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique.

1.3.3.1.2. La deuxième génération de système cellulaire 2G :

La deuxième génération (2G) de systèmes cellulaires repose sur une technologie numérique qui a été développée à la fin des années 1980. Son principe, est de procéder à des appels téléphoniques en s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage). Il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des messages (SMS, limités à 160 caractères). Il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM. Devant ce succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 14,4 kbps proposé par le GSM s'avère insuffisant, dans ce concept. La nécessité de développer de nouvelles techniques de modulations et de codages ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération [3].

La deuxième génération de systèmes cellulaires (2G) utilise essentiellement les standards suivants :

- GSM (Global System for Mobil)
- CDMA One IS 95(Code Division Access Based on IS-95)
- DAMPS IS-136 (Digital- Advanced Mobil Phone System Based on IS-136)
- GPRS (2,5G), 2,5G est un système mobile intermédiaire entre la 2G et la 3G (débits inférieurs à 100 kbit/s). Le principe de GPRS étant de fournir un service de transmission de paquets, d'utiliser un accès paquet et de nouvelles modulations sur la voix radio
- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, 2,75G)

1.3.3.1.3. La troisième génération du système cellulaire 3G:

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder youtube, de la visiophonie, Outre l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

L'idée était d'ajouter des amplificateurs devant chaque antenne, augmentant le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation.

Pour cela, il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit. Dès les années 90, a été prévu la spécification d'un nouveau système qui permet d'avoir des débits plus élevés ; les UMTS. La technologie utilisée pour les UMTS est assez particulière, elle repose sur le multiplexage par les codes qui s'appelle le CDMA (Code Division Multiple Access) ; ces réseaux sont employés à partir de 2002,2003 et sont encore opérationnels. L'accès qui est possible au réseau IP se fait à 1Mbit/s, c'est encore relativement limité même si il est plus important que le réseau 2G [3].

La troisième génération des systèmes cellulaires (3G) utilise notamment les standards suivants:

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- WCDMA (Wideband CDMA)
- TD-SCDMA (Time Division CDMA)
- CDMA2000 (Time Division Synchronous CDMA)
- WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

La 3G a été complété par ce qu'on appelle quelques fois génération 3.9 avec le HSDPA (High speed data paquet Access), les débits sont augmentés en utilisant une nouvelle modulation qui est montée à 100Mbite/s ,le HSDPA a été déployé à partir des années 2008.

1.3.3.1.4. La quatrième génération du système cellulaire 4G :

La technologie LTE (Long Term Evolution) ou la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquets IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la voix en mode circuit.

La quatrième génération consiste à avoir une approche différente, jusque là on cherchait à fournir différents services. Le principe de la 4G est de dire maintenant on a une quantité de services disponibles sur IP (la téléphonie sur IP, la visiophonie), il est donc inutile de définir des services spécifiques à un réseau mobile. Le réseau 4G est la transmission de paquets IP depuis un terminal mobile vers un serveur fixe ou mobile ou dans l'autre sens, le seul service fourni en 4G est donc un accès IP à haut débit (on peut monter jusqu'à 100Mbit/s). La technologie au niveau mondial correspondant à la 4G s'appelle LTE (long terme évolution), le terme évolution correspond vraiment à un système différent de la 3G et la 3.9 G. Le type d'accès sur la voix radio repose sur l'OFDMA (orthogonal Frequency division Multipl Acces), c'est ce type de transmission qui est utilisé dans un grand nombre de systèmes tels que : la télévision numérique, la DSL

L'intérêt de OFDMA permet, par un traitement mathématique, de faire des transmissions en parallèle ; la possibilité d'avoir un haut débit existe car un grand nombre de transmissions en parallèle est réalisé .Chaque transmission est à débit moyen. Le LTE ou la 4G et les réseaux de ce type ont été déployés depuis les années 2010 .Il existe maintenant une couverture très large de ce type de réseau dans le monde [3].

La quatrième génération de systèmes cellulaires (4G) utilise notamment les standards suivants:

- LTE Advanced (Long Term Evolution)
- UMB (Ultra Mobile Broadband)
- WIMAX 802.16m

Afin d'avoir une explication détaillée et concise sur les différentes générations de réseaux, nous présentons un tableau des services et des différentes générations des réseaux mobiles,

| Génération | Services principaux | Nom de la technologie | Type d'accès sur la voie radio | Période de vie |
|------------|--|------------------------|--|----------------|
| 1 | Téléphonie | R2000,NMT, ... | Analogique FDMA | 1980-1995 |
| 2 | Téléphonie, SMS | GSM | TDMA | 1995- |
| 2.5 | Téléphonie, SMS Accès IP 100 kbit/s | Extention GPRS-EDGE | +accès paquet et nouvelle modulation | 2000- |
| 3 | Téléphonie,SMS Accès IP 1Mbit/s | UMTS | CDMA | 2002- |
| 3.9 | Téléphonie,SMS Accès IP 10 Mbit/s | Extention HSDPA | CDMA+ accès paquet et nouvelle modulation | 2008- |
| 4 | Accès IP à100 Mbit/s avec faible latence | LTE-LTE Advanced | OFDMA | 2010- |

Tableau 1.1 : Différentes générations du réseau mobile.

Exemple :

L'exemple comparatif entre la 3G et la 4G de ce tableau présente un exemple de téléchargement .Selon les résultats affichés sur le tableau la 4G indique une rapidité de téléchargement plus grande par rapport à la 3G ,ce qui rend le service plus fiable.

| | 3G | 3G+ | 4G |
|--|-------------------------|------------------------|------------|
| Téléchargement d'un morceau de musique de 50Mo | 2 minutes | 8 secondes | 1 seconde |
| Téléchargement d'un album de musique de 50Mo | 19minutes 30secondes | 1minute 15 secondes | 10secondes |
| Téléchargement d'un film de 650Mo | Plus de 4 heures | 16minutes | 2minutes |
| Téléchargement d'un film en HD 5Go | - | 2heures 10secondes | 17 minutes |

Tableau 1.2: La différence entre la 3G et la 4G concernant le téléchargement

1.3.4. Chaîne logistique globale :

- Tayur et al (Tayur et al, 1999) définissent la chaîne logistique comme « un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients, et des flux d'information dans les deux sens » [4].
- Une chaîne logistique est un réseau de toutes les organisations qui participent à: l'approvisionnement, la production, la distribution ou la vente d'un produit au client final. Une chaîne logistique forme un réseau complexe de flux physiques (matière/financier) et non physiques (informations) [5].

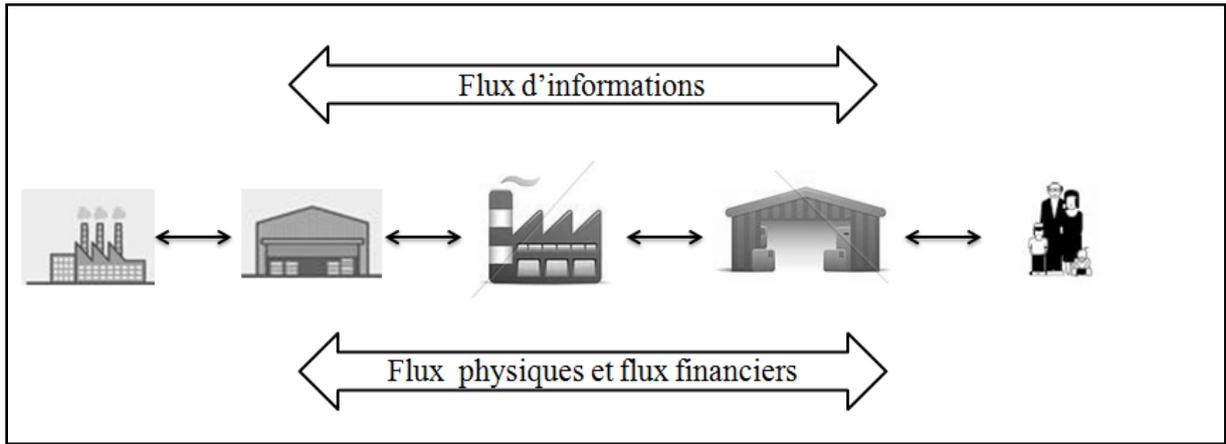


Figure 1.3 : la chaine logistique globale

1.3.5. La chaine logistique du réseau 4G :

Telle la Chaine Logistique Globale, le réseau 4G dispose également d'un réseau similaire de flux physiques (informations) d'un approvisionnement, d'un traitement (production) et d'une distribution. Il est à relever que le fournisseur se trouve à l'étranger, il fournit de l'internet, le stockage se fait dans le centre (BENAKNOUN) Alger, la production s'effectue au centre RMS et est transmise aux stations de base qui se chargent de la distribution au client.

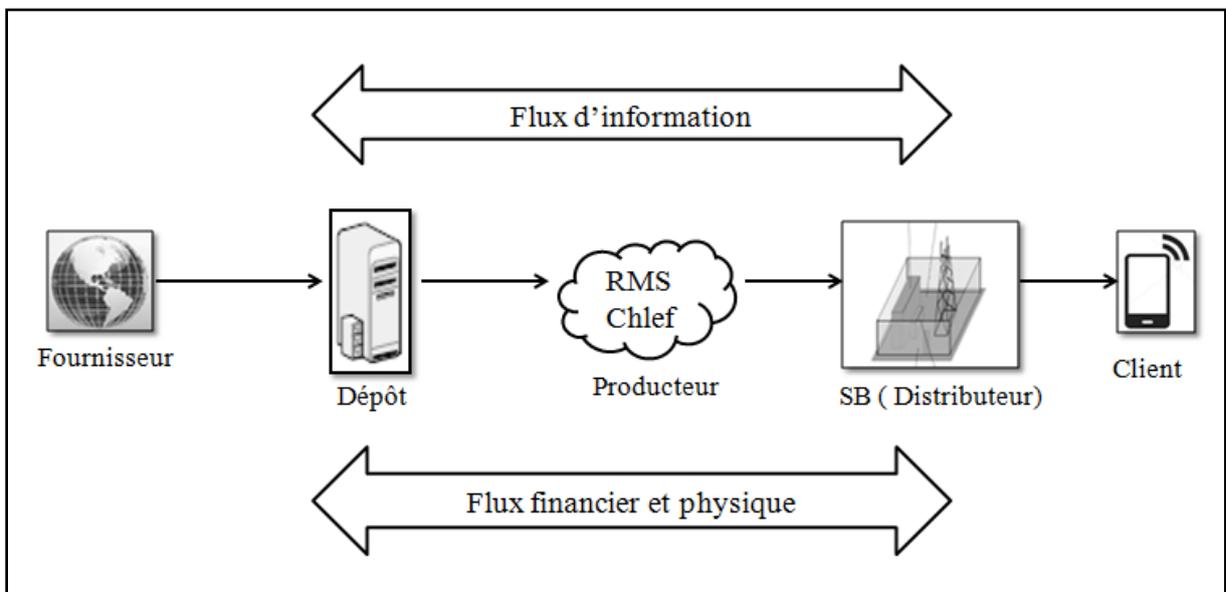


Figure 1.4 : la chaine logistique du réseau 4G

1.3.6. Définition de la localisation :

- Le terme localisation fait référence à la détermination des emplacements des sites qui peuvent être des sites de production ou de distribution de l'entreprise [6].
- Localisation. Action de localiser, de situer ; fait d'être localisé ou d'être situé dans l'espace ou le temps : La localisation d'un bruit. La localisation d'un engin spatial par rapport à la Terre. Action de limiter l'extension de quelque chose ; fait d'être limité : Localisation d'un conflit [7].
- L'association des standards industriels de localisation (LISA) définit le processus de la localisation comme :
Prenant un produit et le rendant linguistiquement et culturellement approprié au lieu de cible (pays/région et langue) où il sera employé et vendu. Ainsi, un lieu est une combinaison de langue et pays ou région [8].

1.3.7. eNodeB :

L'eNodeB (*e* pour « evolved » (évolution par rapport à la 3G), *Node* pour nœud car la station de base est insérée dans un réseau, *B* pour Base station) est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS, la fonctionnalité de handover est plus robuste dans le LTE. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les RF air interface. Ainsi est fournie la fonctionnalité du contrôleur radio résidant dans l'eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB à la place de BSC ou RNC [9].

1.3.8. Station de base :

Il s'agit d'un ensemble d'émetteurs-récepteurs placé en un lieu de telle sorte que chaque station de base est munie d'antennes. Chaque cellule est couverte par une station de base (BS) comprenant une antenne qui assure la transmission radio et la signalisation à l'intérieur de la cellule eNodeB. En technologie 4G, une station de base s'appelle un eNB ou eNodeB.

1.3.9. LTE :

Les principales normes 4G sont le LTE (Long Term Evolution) et le WiMAX. Le LTE a été développé par le groupe 3GPP (Third Generation Partnership Project) et constitue une extension du HSPA. La première version de LTE était conçue pour offrir un débit théorique maximum de 100 Mbps en ligne descendante et de 50 Mbps en ligne ascendante pour une bande passante maximale de 20 MHz [143]. Des améliorations sont en cours donnant ainsi la norme LTE-Advanced qui prévoit atteindre un débit maximum de 1 Gbps en ligne descendante et la moitié en ligne ascendante.

1.4. Conclusion :

L'éclaircissement de toutes ces notions de base nous permettra de mieux appréhender notre cas d'étude. Parmi les différentes générations citées préalablement, la 4^{me} génération correspond à notre problème et devra être amplement expliquée ultérieurement pour la mettre en relation avec la chaîne logistique.

2.1. Introduction :

Sur la base d'une étude bibliographique nous allons d'une part présenter les problèmes de localisation et d'autre part nous exposerons les travaux effectués dans le domaine des télécommunications concernant l'optimisation et la localisation afin de déterminer la méthode la plus appropriée à la résolution du problème d'étude.

2.2. Les modèles de localisation :

L'intérêt porté à la théorie de localisation a débuté en 1909 lorsqu'Albert Weber considère un problème de localisation d'un entrepôt afin de minimiser la distance totale entre cet entrepôt et plusieurs clients. Ce n'est que dans les années 60 que l'étude des problèmes de localisation s'est bien développée ayant pour objectif la localisation des centres de commutation dans un réseau téléphonique et des stations de police dans un système d'autoroute [Hakimi 1964]. Néanmoins, il est à relever que le premier problème traité de localisation revient au mathématicien Camille Jordan lorsqu'il étudia un problème concernant les formes quadratiques [Tanonkou 2007].[7]

Le problème de la localisation est un aspect important dans la chaîne logistique. Il fait partie du niveau stratégique dans la hiérarchie décisionnelle de l'entreprise, raison pour laquelle cette dernière se soucie de son optimisation pour assurer une efficacité au niveau tactique et opérationnel. C'est pourquoi des modèles déterministes et stochastiques d'optimisation de la chaîne logistique ont été développés dans la littérature.

Dans ce chapitre nous allons principalement présenter des problèmes de localisation déterministes compte tenu des données du problème qui nous est posé et qui concerne la localisation des eNodeB.

2.2.1. P-médian :

Le problème P médian est l'un des tous premiers modèles déterministes du problème de localisation. Ce problème a été introduit par [Hakimi, 1964]. A titre d'exemple, nous citons le cas où nous cherchons à localiser P usines sur P sites afin de minimiser la somme des distances entre les usines et les clients (zones de demande). La modélisation mathématique de ce problème est la suivante [11] :

- La fonction objective

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

- les contraintes :

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (1.1)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = P \quad (1.2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (1.3)$$

$$X_j, Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (1.4)$$

- les variables de décisions :

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si l'usine } j \text{ est localisée} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } i \text{ est servi par l'usine } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où :

J : représente l'ensemble des localisations possibles des usines.

I : l'ensemble des zones de demandes (clients).

d_{ij} : la distance entre le client i et l'usine j .

h_i : la demande totale du client i .

P : le nombre d'usines à localiser.

X_j et Y_{ij} sont respectivement les décisions de localisation des usines et d'allocation des clients aux usines.

La fonction objective consiste à minimiser la distance totale entre les usines et les clients, les contraintes (1.1) et (1.3) indiquent que toutes les demandes du client i doivent être satisfaites par une et une seule usine. La contrainte (1.2) détermine le nombre exact d'usines à localiser et la contrainte (1.4) détermine la nature binaire des variables de décision. [Tanoukou 2007] Le problème P-median a été développé dans plusieurs travaux de recherche qui utilisent les heuristiques comme [Alp et al. 2003] [Canos et al. 2001].

2.2.2. Le problème de recouvrement « set covering problem » :

Le problème de recouvrement "set covering problem" a été formulé pour la première fois par [Toregas et al. 1971]. L'objectif de ce problème est de minimiser les coûts de localisation des usines en satisfaisant toutes les demandes.

Une demande client est dite couverte si elle est servie par une usine dans un temps déterminé, ces problèmes sont divisés en deux types, tel que le premier nécessite la couverture de toutes les zones de demande et le second maximise le taux de couverture des demandes, ces deux problèmes sont le problème de recouvrement "set covering problem" et le problème de couverture maximale "maximal covering problem" [7].

La formulation mathématique du problème nécessite la définition des termes suivants:

f_j = coût de localisation d'une usine dans la région j . Problème de couverture maximale

MAX = distance maximale pour un temps de service acceptable.

N_i = ensemble des usines j qui peuvent servir le client i , c'est-à-dire

$N_i = \{j \in J / d_{ij} \leq MAX\}$.

h_i : demande client.

N_i : ensemble d'usines qui peuvent servir le client

2.2.2.1. Le problème de couverture set covering :

- la fonction objective 01 :

$$\min \sum_{j \in J} f_j X_j \quad (2)$$

- les contraintes :

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.1)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.2)$$

La fonction objective minimise le coût de localisation des usines, dans la plupart des cas, le coût f_j est identique pour toutes les usines j par conséquent l'objectif revient à minimiser le nombre des usines localisées. La contrainte (2.1) assure que chaque client i est servi par au moins une usine avec une distance de service acceptable.

2.2.2.2. Le problème maximisant le taux de couverture des demandes :

Le problème de recouvrement permet de déterminer le nombre d'usines nécessaires pour garantir un certain niveau de couverture pour l'ensemble des clients. Parfois les décideurs cherchent à maximiser les demandes couvertes avec la localisation d'un nombre fixe d'usines, ce problème est connu sous le nom de problème de couverture maximale "maximal covering problem".

- La fonction objective 02 :

$$\max \sum_{i \in I} h_i Y_i \quad (3)$$

- Les contraintes :

$$Y_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j \quad \forall i \in I \quad (3.1)$$

$$\sum_{j \in J} X_j \leq P \quad (3.2)$$

$$X_j, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (3.3)$$

- Les variables de décisions :

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si } j \text{ est localisé} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si la zone de demande } i \text{ est couverte} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'objectif est de maximiser les demandes couvertes, la contrainte (3.1) impose qu'une zone de demande i ne peut être couverte ($Y_i = 1$) que s'il existe au moins une usine j ouverte à une distance de service inférieure à MAX (distance maximale) c'est-à-dire ($\exists j \in J / X_j = 1$ et $j \in N_i$). Si aucune usine n'est ouverte alors aucune zone de demande ne sera couverte. La contrainte (3.2) limite le nombre d'usines à ouvrir.

A ce propos [Galvao et al. 1996] propose une relaxation lagrangienne pour résoudre le problème. Par ailleurs, [Corrêa et Lorena 2006] [ReVelle et al. 2008a] ont suggéré d'apporter une solution au problème avec la métaheuristique par l'algorithme génétique [7].

2.2.3. Le problème du centre :

Le problème du centre est une extension du problème médian, ce problème est nommé aussi le "minimax problem", l'objectif de ce problème est de minimiser le maximum des distances entre les clients et les usines, On désigne par D la distance maximale entre une zone de demande et l'usine la plus proche, ainsi ce problème est modélisé comme suit :

- La fonction objective :

$$\text{Min } D \quad (4)$$

- Les contraintes :

$$\sum_{j \in J} X_j = P \quad (4.1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4.2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.3)$$

$$D \geq \sum_{j \in J} d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$X_j, Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.5)$$

Les contraintes (4.1), (4.2) et (4.3) sont identiques aux contraintes (1.1), (1.2) et (1.3) du problème médian, la contrainte (4.4) définit la distance maximale entre la zone de demande i et l'usine la plus proche j .

Plusieurs versions du problème ont été proposées par [Hakimi, 1965], et [Francis *et al.*, 1982]. Les auteurs [Kariv *et al.*, 1979] ont montré que le problème NP est difficile [11].

2.2.4. Le problème de localisation des sites à deux niveaux :

Le problème de localisation des sites à deux niveaux généralement rencontré est "Fixed Charge Facility Location Problem", ce problème classique de localisation constitue la base de plusieurs modèles de localisation utilisés dans la conception des chaînes logistiques. Ce problème se présente comme suit : Etant donné un ensemble de clients avec des demandes connues et déterministes et un ensemble de sites (usines ou centres de distribution) candidats, l'objectif est de trouver la meilleure localisation des sites et les modes de transport à utiliser pour servir les zones de demandes en minimisant les coûts fixes de localisation et les coûts de

transport en s'assurant que toutes les demandes sont satisfaites. Ce problème existe en deux versions : les problèmes où la capacité des sites est illimitée "uncapacitated fixed charge facility location problem (UCFLP)" et les problèmes où les sites ont une capacité finie "capacitated plant location problem (CPLP)".

2.2.4.1. Le problème (UCFLP) :

La modélisation du problème (UCFLP) donnée pour la première fois par [Balinski 1965] est la suivante [7] :

- La fonction objective :

$$\min \sum_{j \in J} f_j X_j + a \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (5)$$

- Les contraintes :

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5.1)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (5.2)$$

$$X_j, Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (5.3)$$

Le coût unitaire de demande par unité de distance y est présent. Il est clair que le problème (UCFLP) est formulé en ajoutant à la fonction objective du problème médian le coût fixe total de localisation des sites et en supprimant la contrainte limitant le nombre de sites à localiser. Les contraintes (1.1), (1.2) et (1.3) sont identiques aux contraintes du problème médian [7].

Plusieurs approches ont été proposées pour résoudre ce problème dont, [Galvao 1993] et [Daskin 1995] suggèrent l'utilisation d'une relaxation lagrangienne pour résoudre le problème (UCLFP). [Al-Sultanet et al. 1999] présentent un algorithme de résolution basé sur la recherche taboue.

2.2.4.2. Le problème (CPLP) :

Pour le problème (CPLP), On suppose que les sites candidats possèdent une capacité limitée, ce problème est modélisé comme suit :

- La fonction objective :

$$\min \sum_{j \in J} f_j X_j + a \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (6)$$

- Les contraintes :

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (6.1)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (6.2)$$

$$a \sum_{i \in I} h_i Y_{ij} \leq \text{MAX}_j X_j \quad \forall j \in J \quad (6.3)$$

$$X_j, Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (6.4)$$

Où :

MAX_j : désigne la capacité maximale de l'usine j .

La contrainte (1.3) assure que la somme des demandes couvertes par l'usine j ne dépasse pas la capacité maximale de cette usine.

Beaucoup de méthodes ont été proposées pour résoudre le problème (CPLP).

2.3. la localisation dans les réseaux de télécommunication :

Dans la littérature un grand nombre d'études concernant la localisation ont été traitées dans le domaine des télécommunications.

Le problème de la localisation des réseaux de télécommunications en générale consiste à déterminer, parmi un ensemble de sites potentiels, ceux à utiliser afin de couvrir une zone géographique donnée. Il convient également de choisir les équipements à installer sur ces sites et de faire le lien entre eux en fonction de certaines contraintes bien définies. Depuis des dizaines d'années, plusieurs auteurs se sont penchés sur la résolution de ce problème dans le but de minimiser le coût d'installation du réseau. Ces auteurs se sont intéressés à divers aspects du problème sans le considérer dans sa globalité.

L'article [Krishnan 2000] pose le problème consistant à minimiser soit le trafic global, soit le délai moyen de réponse (c'est à dire le temps pour que la requête d'un client soit satisfaite) dans un réseau. Deux problèmes sont définis : le général k -cache location problème et le k -

TERC location problème, et consistent à placer des caches, de manière à réduire la charge de trafic dans le réseau (utilisation de problème P-médian). Les auteurs donnent une méthode exacte de placement pour les topologies suivantes : la ligne homogène (c'est à dire dont le coût de transport est le même quel que soit l'arc envisagé) avec une seule source, avec plusieurs sources, la ligne générale, le réseau en anneau et l'arbre. La modélisation du problème sous forme de programme linéaire n'est pas donnée, et seule la fonction coût à optimiser est étudiée dans les topologies particulières. Les auteurs s'intéressent par la suite au placement de caches dans un arbre, et présentent deux algorithmes spécifiques : le premier est approché et de type gourmand, tandis que le second est optimal et se base sur la programmation dynamique avec une complexité. L'algorithme résout des instances de plusieurs dizaines de milliers de nœuds [12].

Dans [Cronin 2002], le problème proposé consiste à trouver le placement optimal pour des sites miroirs sur le réseau internet. Par la nature même du problème, l'ensemble des sites candidats est très limité. L'objectif est de minimiser le temps de téléchargement pour les utilisateurs, ainsi que la charge des serveurs (miroirs). Trois fonctions d'optimisation sont étudiées. Trois algorithmes approchés sont proposés pour le placement des miroirs.

Dans [Li 1999], les auteurs posent le problème du placement de proxies web sur un réseau dont le graphe support est un arbre. Il s'agit de placer m proxies parmi un ensemble de N sites potentiels, et on connaît le trafic sur le réseau. Le problème peut se modéliser grâce à la programmation dynamique. Il sera amélioré plus tard dans [Krishnan 2000].

Le problème posé dans l'article [Hakimi 1997] consiste à localiser des répliques, ou des copies, de bases de données dans un réseau de manière à minimiser les coûts des communications (en fait lecture / écriture dans la base de donnée). Ce problème est montré comme NP-Difficile dans le cas d'un réseau général. Les auteurs proposent un algorithme pour résoudre le problème dans le cas où le réseau est un arbre, et selon deux fonctions de coûts différentes. L'algorithme se base sur l'article [Tamir 1996] qui résout de manière optimale le problème de p-médian. L'article [Lee 2003] introduit le problème consistant à placer des passerelles et à trouver le routage du trafic pour les demandes des clients de manière optimale. La modélisation sous forme de programme linéaire est donnée de deux manières différentes de routage du trafic : par les chemins et par les flots. Sont aussi présentés

deux algorithmes tabous se basant sur une heuristique de type gourmande (qui génère une solution réalisable). Différentes méthodes sont mises en œuvre pour trouver la borne inférieure (relaxations), et sont comparées à celles données par les algorithmes tabous [12].

2.4. L'optimisation dans les réseaux mobiles :

A travers la littérature, les réseaux mobiles ont connu des problèmes de localisation néanmoins traités sous forme de méthodes d'optimisation sans faire référence au problème de localisation en tant que thème.

Dans les réseaux mobiles, l'emplacement des usagers n'est pas fixe et n'est donc pas connu à l'avance. L'usage, dans la littérature, est de définir des points de test ou mesurer le signal afin de simuler le trafic et de déterminer les performances du réseau. La zone de couverture est, le plus souvent, divisée en petites régions et les points de test sont situés au centre de ces régions. La demande provenant de ces points de test n'est généralement pas celle d'un utilisateur unique, mais la somme de toutes les demandes provenant de cette région.

Certains auteurs se sont consacrés à la planification des cellules dans les réseaux UMTS. [Amaldi et al]. Conçoivent un modèle dans lequel ils considèrent la qualité du signal ascendant, celui émis par l'utilisateur mobile et reçu par la BS. Ils proposent deux algorithmes gloutons aléatoires et un algorithme de recherche taboue basé sur les deux précédents algorithmes pour solutionner leur modèle. [Wu et Pierre] se sont intéressés au même problème en considérant le signal dans la direction descendante. Le modèle proposé considéré, en même temps que la localisation des stations de base (ou nœuds B), la configuration des antennes (hauteur et puissance) de ces noeuds B. Les auteurs utilisent une méthode de satisfaction de contraintes pour obtenir une solution initiale. Pour améliorer cette solution, ils utilisent trois différentes heuristiques de recherche locale (algorithme glouton, algorithme de recherche taboue et recuit simulé) qu'ils comparent entre elles. L'algorithme de recherche taboue semble donner les meilleurs résultats pour le modèle proposé. [Velasco et al.] Proposent une architecture de gestion et de contrôle permettant d'allouer dynamiquement des ressources au réseau afin de prendre en compte les variations de trafic. Leur architecture permet d'éviter le surdimensionnement des réseaux, ce qui réduit les coûts d'installation.

Les emplacements des stations de base et les sites potentiels pour installer les passerelles ainsi que les types de passerelles disponibles sont considérés comme des entrées pour la résolution

de ce problème. [Wu et Pierre] ont aussi travaillé sur le problème de planification du réseau d'accès UMTS. Les auteurs proposent un modèle qui tient compte de la fréquence des relèves entre les différentes cellules. Ils utilisent une heuristique de recherche en trois phases pour traiter leur modèle. La première phase consiste à trouver une solution initiale réalisable à l'aide d'une technique de satisfaction de contraintes. Une procédure de recherche locale est ensuite appliquée à cette solution initiale dans une deuxième phase. La troisième phase sert à améliorer la solution obtenue à l'étape précédente par des méthodes courantes d'optimisation de contraintes. [Balakrishnan et al.] proposent un modèle de programmation en nombres entiers pour ce problème. Ils utilisent la programmation dynamique et la relaxation lagrangienne pour le résoudre. Cependant, les auteurs considèrent que toute la demande à un noeud est traitée par une seule passerelle ; ils ne considèrent pas les cas de panne de la passerelle. [Bley et Koch], quant à eux, prennent ces cas en considération dans leur modèle ; mais ils simplifient le problème en supposant que le nombre et l'emplacement des passerelles d'accès sont connus à l'avance, ce qui réduit le problème à un problème d'assignation de cellules aux commutateurs. Ils résolvent le modèle proposé à l'aide des méthodes exactes.

[Szlovecsak et al.] proposent un modèle de fiabilité et une heuristique en deux phases pour déterminer une topologie de coût minimum dans les réseaux d'accès UMTS tout en assurant un taux moyen de perte de paquets inférieur à un seuil donné. Leur fonction objective comprend un terme pour le coût de la topologie utilisée et un second terme qui représente une pénalité en fonction du nombre de paquets perdus.

Dans les dernières générations de la technologie des télécommunications les auteurs se sont penchés particulièrement sur le réseau WIMAX .

[Yarali et Rahman 2009] présentent l'architecture des réseaux WiMAX ainsi que le processus de planification des cellules. Ils proposent aussi un modèle d'affaire pour ces réseaux et montrent l'effet de la bande de fréquences utilisée sur la dégradation du signal. On remarque ainsi que la propagation du signal est meilleure pour les basses fréquences que pour les fréquences élevées.

[Ntagkounakis et Sharif 2009] ont travaillé sur le dimensionnement des réseaux WiMAX, aussi bien le dimensionnement de la couverture et des capacités des liens dans le réseau que celui des services offerts.

[Gordejuela-Sanchez et Zhang 2008] proposent un modèle pour minimiser le nombre de BS à installer tout en assurant une bonne couverture avec la qualité de service requise par chaque utilisateur et en maintenant une certaine distance entre ces BS. Ce modèle essaie de minimiser les coûts d'installation et de fonctionnement des BS tout en appliquant certaines pénalités lorsque la qualité de service requise par les utilisateurs n'est pas respectée. Le modèle proposé n'explique pas les contraintes de couverture, de débit et d'interférences car ces contraintes sont implicitement prises en compte dans les fonctions de pénalité. **[Gordejuela-Sanchez et al. 2009]** améliorent le modèle précédent en ajoutant à la fonction `objectif` une pénalité par rapport à la fiabilité du réseau. Cette pénalité est utilisée dans les réseaux maillés ou des sauts multiples sont souvent effectués pour atteindre l'utilisateur final **[12]**.

[D'Andreagiovanni et Mannino 2009], quant à eux, présentent un modèle qui essaie de maximiser le profit généré par l'installation et l'activation des stations de base tout en respectant des contraintes de couverture et d'interférences. La qualité de service n'a pas été considérée dans ce modèle. Les auteurs ont utilisé le solveur ILOG CPLEX pour résoudre leur modèle. Ils soulignent cependant les limites d'une telle méthode, notamment par rapport à la résolution des instances de grande taille **[12]**.

[Yu et al. 2009] proposent un modèle pour la planification des réseaux d'accès WiMAX avec des stations relais. Ils utilisent la programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre leur modèle. D'après les auteurs, cette méthode convient pour résoudre des instances de problème de taille moyenne mais sa complexité temporelle augmente très vite avec la taille des instances **[12]**.

[Mousavi et al.2007] présentent un modèle de planification radio pour les réseaux WiMAX utilisant des antennes sectorisées. [Carlos Hincapié et Bustamante Miller 2009] proposent un modèle automatique pour la planification des cellules dans les réseaux maillés WiMAX. [Hu et al.2010] ont présenté un modèle simplifié pour l'allocation des stations de base aux utilisateurs et utilisent un algorithme génétique adaptatif pour le résoudre. [Teterin et Hurley 2014] proposent un cadre d'optimisation pour la planification du réseau WiMAX, dans lequel ils prennent en compte la planification des cellules et la planification des fréquences. Ils utilisent un algorithme de recuit simulé pour résoudre leur modèle **[12]**.

[LEMAMOU Eunice Adjarath 2014] a évoqué le problème de la quatrième génération concernant la planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération. A travers son étude, il a pris en compte la survivabilité du réseau pour la résolution de problème ; il a proposé l'utilisation de la métaheuristique hybride et le solveur mathématique CPLEX. L'objectif du modèle consiste à minimiser le coût du réseau, tout en maximisant sa survivabilité.

2.5. Conclusion :

A partir de cette lecture bibliographique nous constatons que les auteurs concernant l'étude de la télécommunication se sont davantage préoccupés du réseau WiMAX et 3G UMTS. Ils se sont peu intéressés à la quatrième génération, de plus ils n'ont pas considéré le problème de localisation dans le traitement de leurs travaux pour lesquels ont été utilisées les méthodes d'optimisation. De ce fait, nous nous proposons d'intégrer le problème de localisation dans la résolution des problèmes du réseau 4G.

3.1. Introduction :

Ce chapitre consiste à expliquer les raisons qui nous ont amenées à poser la problématique et à en préciser le cas d'étude. En effet, lors de notre stage à ALGERIE TELECOM de la wilaya de CHLEF nous avons pu connaître les différents services (Internet, Voix...). Parmi ceux-là le service le plus sollicité est le service 4G.

Par ailleurs, nous avons observé que l'internet n'existe pas dans les zones rurales pourtant le besoin y est insistant. Pour ce faire, à travers l'analyse du problème constaté nous allons préciser nos objectifs et déterminer notre cas d'étude sur la base d'une meilleure compréhension de la 4G.

3.2. Description du problème

3.2.1. Analyse du Problème

Les réseaux de télécommunications ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Pour satisfaire au mieux les besoins et les intérêts des clients, les opérateurs doivent pouvoir offrir, au meilleur prix, des services d'excellente qualité. C'est dans ce cadre que s'inscrit le problème de la forte demande d'internet et plus précisément Le réseau 4G LTE d'Algérie Télécom. Ce réseau est en cours d'extension dans les localités qui ne sont pas encore couvertes afin de satisfaire toutes les demandes et à optimiser les coûts engendrés par l'installation de la fibre optique et l'utilisation de l'ancien système ADSL.

La 4G est distribuée surtout dans les grandes agglomérations. Pourtant, il existe une forte demande dans les zones rurales et les zones blanches (campus universitaire, centre culturel, aéroport,...). C'est pourquoi, il nous semble intéressant de proposer une solution qui consiste en une localisation des eNodeB dans les zones rurales.

La phase de localisation des eNodeB consiste à sélectionner les emplacements pour installer les divers eNodeB du réseau. Celle-ci fait partie de la chaîne logistique globale du réseau 4G. L'objectif de notre étude est donc de procéder à une conception de distribution de la 4G en zone rurale en tenant compte de la minimisation du coût de l'investissement de l'opération et de la maximisation de la satisfaction du client.

Nous étudierons donc une partie de la chaîne logistique du réseau de la 4G où les décisions stratégiques de la localisation et d'affectation des zones de demandes sont intégrées dans un modèle d'optimisation. La partie de la chaîne logistique considérée est composée d'un ensemble d'eNodeB (le distributeur) et de clients (Abonnés), chaque eNodeB localisé est identifié par son groupe de demandes .

Puisque nos demandes concernent particulièrement les zones rurales nous devons déterminer les zones potentielles et la localisation des eNodeB. Notre problème consiste ,alors, à trouver les meilleures localisations possibles des eNodeB dans la chaîne considérée sachant que le nombre de demandes est déterminé, ainsi que leur situation géographique. Et ce, en tenant compte de la minimisation du coût de l'installation des eNodeB et de la satisfaction effective de toutes les demandes.

Notre problématique s'exprime alors comme suit :.....

Le problème est complexe puisque il va falloir tenir compte de :

- La distance
- Le débit
- Le nombre de demandes
- Le coût de l'investissement

Par ailleurs, la partie de la chaîne logistique considérée dans notre étude consiste à sélectionner les emplacements pour installer les divers eNodeB du réseau. Il est certes possible théoriquement de positionner à n'importe quel endroit mais dans la pratique les emplacements potentiels sont nécessairement connus à l'avance, il s'agit pour la plus part de sites et immeubles appartenant à l'opérateur ALGERIE TELECOM. Le problème réside alors à déterminer la configuration de l'équipement de l'eNodeB et le dispose dans les meilleurs emplacements possibles en vue d'une minimisation du coût de l'investissement tout en respectant les contraintes du réseau. Pour cela il faudra connaître le processus de fonctionnement du réseau 4G, de la situation géographique des sites et des différentes phases nécessaires à l'installation de l'eNodeB.

Puisque il faudra minimiser le coût total du réseau tout en satisfaisant la demande des clients aussi bien en termes de qualité de service qu'en fiabilité, le problème qui nous est posé est donc un problème mono-objectif. Afin de le traiter il va falloir faire un appel aux techniques d'optimisation.

Tous ces éléments de la problématique nous amènent à poser les questions suivantes :

1. comment modéliser, à l'aide de formules mathématiques, le réseau mobile de la 4^{ème} génération?
2. comment résoudre le problème de localisation de l'eNodeB en prenant en compte tous les aspects du problème (minimisation du coût d'installation, assurer la qualité de service) ?

Afin de répondre à ces questions, les objectifs de recherche suivants ont été définis.

3.2.2. Objectifs de recherche :

L'objectif principal de cette étude est de concevoir une conception globale pour les réseaux mobiles de la quatrième génération (4G) en effectuant une optimisation de l'installation des eNodeB dans les zones rurales afin de faire une bonne localisation. Pour atteindre cet objectif général, des objectifs spécifiques ont été définis ci-après.

1. Localiser et positionner les eNodeB afin d'assurer un meilleur emplacement
2. Concevoir un modèle mathématique global pour les réseaux mobiles 4G
3. Concevoir un programme basé sur une méthode exacte pour résoudre le problème, avec le modèle proposé.

3.3. Cas d'étude :

Puisque notre stage a été effectué dans la wilaya de CHLEF nous avons essayé d'appliquer notre problématique en particulier sur les zones rurales de la dite wilaya, pour cela nous allons présenter d'une part la situation géographique de la wilaya de CHLEF et d'autre part les zones rurales étudiées.

3.3.1. Présentation de la wilaya de CHLEF :

La wilaya de CHLEF occupe une position stratégique sur le plan économique et commercial faisant d'elle un carrefour dans l'ensemble régional centre et l'ouest. A vocation agricole, elle recèle d'importantes ressources naturelles, toutes ces caractéristiques font de la wilaya de CHLEF un pôle très promoteur dans le domaine de l'investissement.

La wilaya de Chlef est une ville située dans la partie occidentale du nord de l'Algérie centrale, à équidistance (200KM) entre les deux plus grandes villes, Alger et Oran.

La wilaya de Chlef est localisée dans le Tell occidental à 200 km (jusqu'à 300 km pour les communes du nord-ouest) à l'ouest d'Alger, elle s'étend sur une superficie de 4 074 (4 791) Km². Elle est limitée par:

La Méditerranée au Nord, la wilaya de TISSEMSILT au Sud. Les wilayas de MOSTAGANEM et RELIZANE à l'Ouest. Les wilayas D'AIN DEFLA et TIPAZA à l'Est.

Situation géographique:

Longitude: $x_1 = 0,691852002^\circ$,

Latitude: $y_1 = 35,85094500^\circ$,

Surface totale: 4077 km²

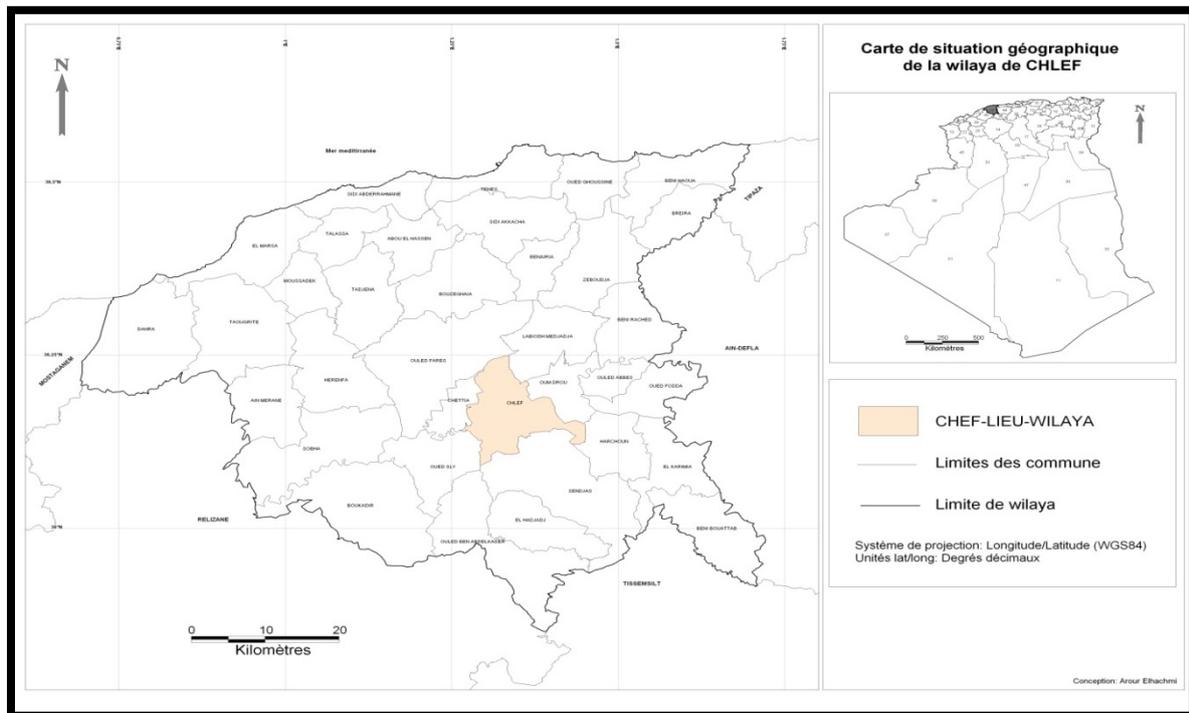


Figure 3.1 : la carte géographique de la wilaya de CHLEF

3.3.2. Les zones rurales étudiées :

Comme nous avons indiqué dans notre problématique, il faudra trouver la bonne localisation des eNodeB afin de minimiser le coût de l'investissement et de maximiser la satisfaction de la couverture des demandes. Nous avons pris en considération d'abord les groupes de clients pour chaque zone rurale puis nous avons étudié les demandes pour toutes les zones rurales. Plus précisément nous avons pris un exemple en figure ci-dessous pour la seule zone (Shaillia). Telle que la figure 3.4 présente les centres ACTEL des zones rurales (Chlef n'est

pas une zone rurale) et la figure présente les zones rurales potentielles de ces centres et la figure présente une zone rurale (SHAILLIA) avec ses différents groupes de demandes.

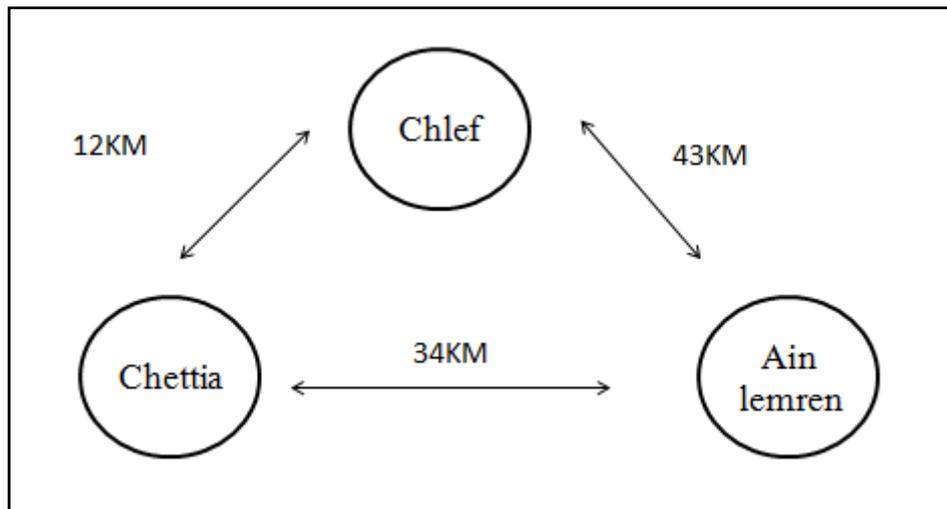


Figure 3.2: la distance entre les zones rurales potentielles

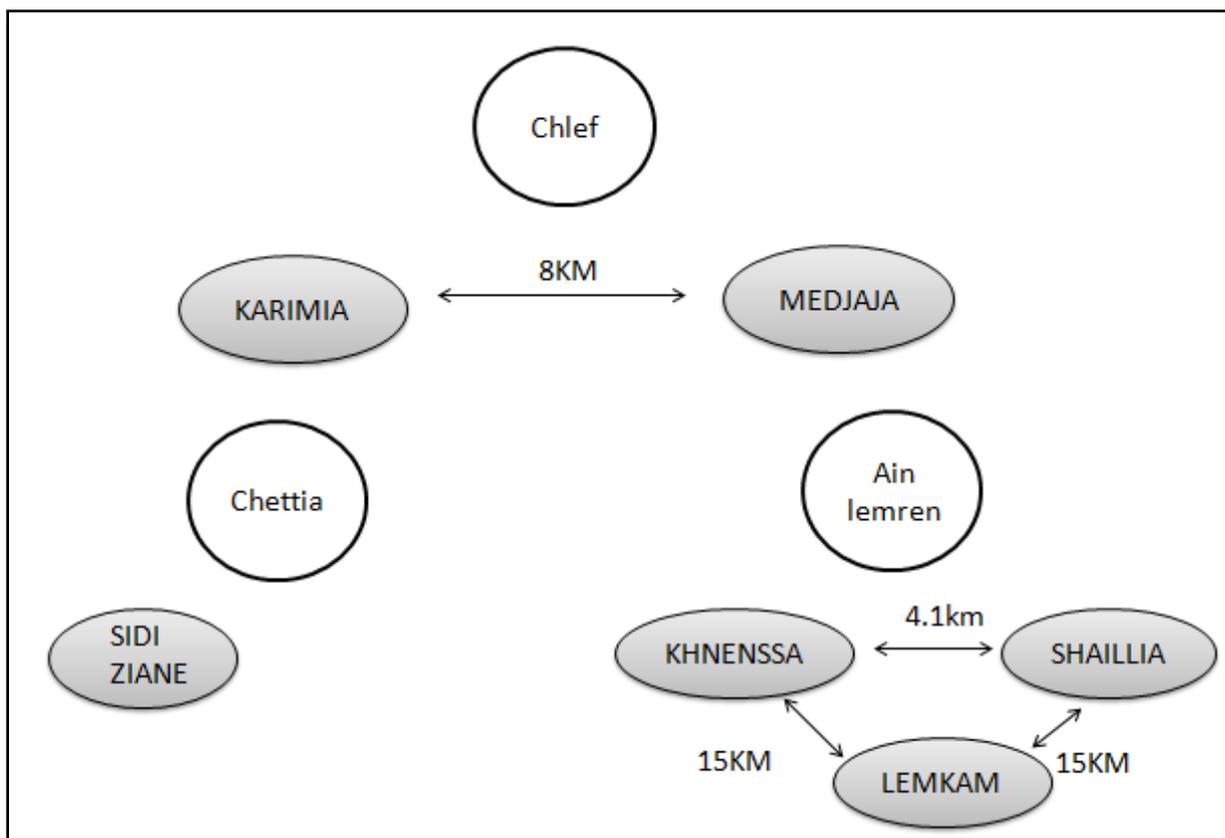


Figure 3.3 : Les distances entre les zones de demande

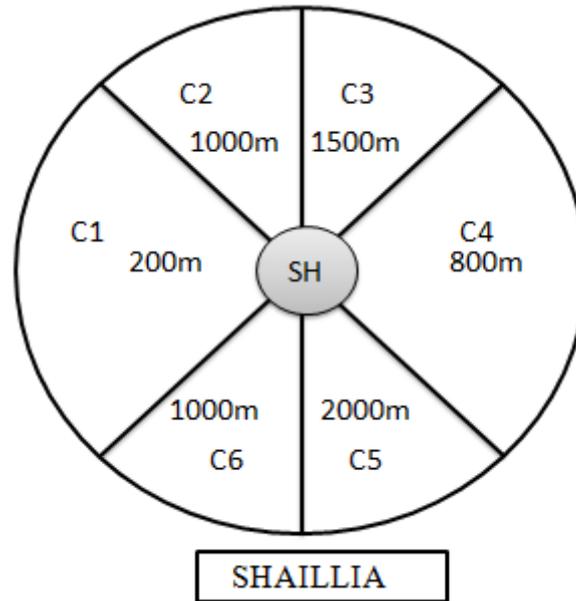


Figure 3.4 : Les distances entre les groupes de clients de la zone SHAILLIA

3.4. Etude détaillée de la 4G

Cette partie nous permet de mieux comprendre le réseau 4G pour arriver à une conception de réseau de distribution de ce réseau.

3.4.1. Le processus de fonctionnement de la distribution de la 4G :

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes.

La 4G emploie une combinaison de technologies sophistiquées qui lui permet d'obtenir un niveau de performance élevé comparativement au réseau 3G, c'est pourquoi le réseau 4G est aussi appelé 3G++. Il repose sur un cheminement particulier passant par différentes étapes :

L'internet provient d'abord de l'étranger (L'Europe) grâce un câblage sous-marin, elle est orientée automatiquement vers le centre de stockage au niveau d'Alger (BENAKNOUN). Celui-ci a pour spécificité de stocker l'information et de la transmettre au contrôleur 4G. Ce dernier est chargé du traitement des données LTE. Ce contrôleur est constitué d'un ensemble d'équipements qui produit un réseau EPC. Ces équipements seront définis ultérieurement. Après traitement et vérification, l'internet est orienté vers le centre RMS d'Alger grâce au VLAN/IP qui se chargera du dispatching des paquets IP vers les RMS des différentes wilayas grâce au Switch par voie de FO. Dans le centre RMS de la wilaya de (CHLEF) s'effectue la gestion de la transmission du réseau vers l'eNodeB soit par la fibre optique soit par la

fréquence hertzienne. Les données sont transmises de l'eNodeB vers la station mobile (le client) par un système radio.

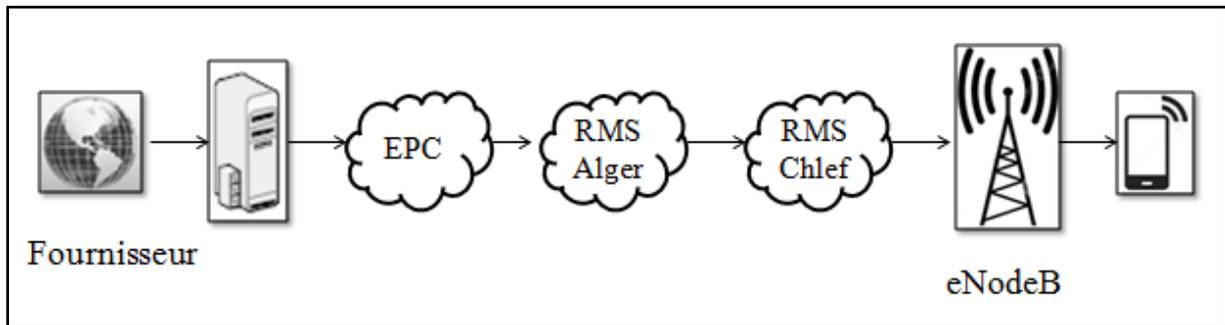


Figure 3.5 : Architecture globale de LTE (4G)

Note :

- RRU convertisseur de l'énergie électrique vers l'énergie magnétique

3.4.2. Les équipements du réseau EPC

3.4.2.1. EPC(Evolved Packet Core)

Le cœur du réseau appelé EPC (Evolved Packet Core) utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Le cœur du réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet.

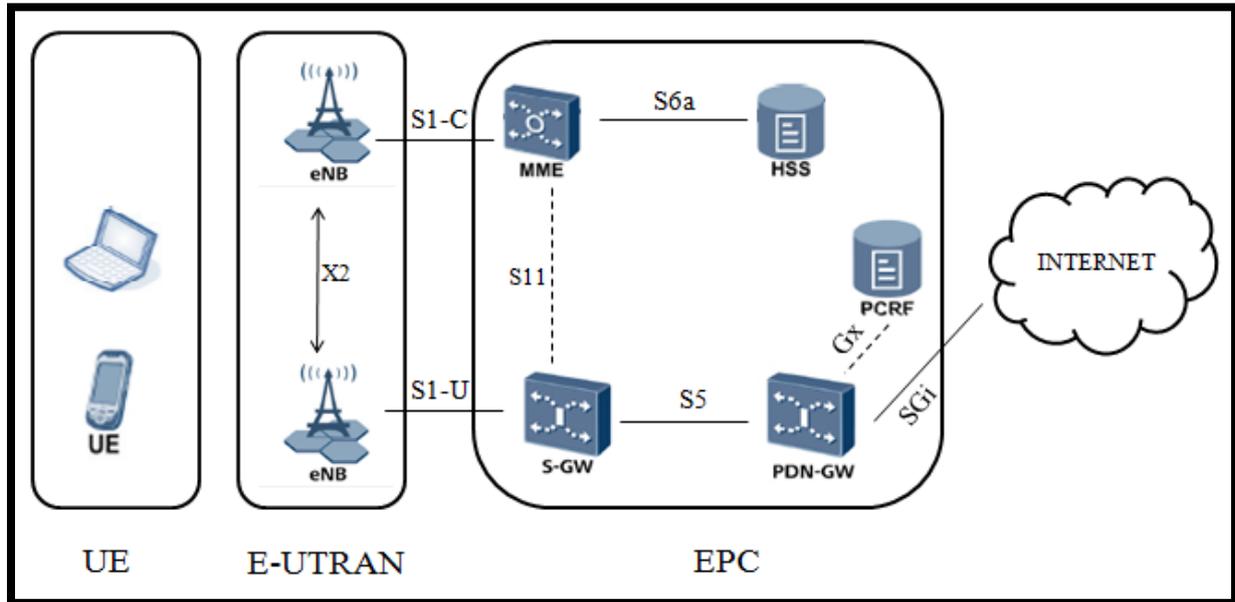


Figure 3.6 : Architecture détaillée du réseau EPC

3.4.2.2. MME (Mobility Management Entity) :

Cette partie est responsable de :

- La localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion.
- La réalisation du dernier point de protection par codage. Par conséquent, c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipement) et le réseau cœur. Elle assure l'établissement, la maintenance et l'élargissement de la porteuse radio services.
- L'authentification des UE à partir des informations recueillies du HSS.
- La 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.
- La gestion des messages de signalisation du réseau d'accès et du mobile, établit les connexions qu'il faut pour le trafic.

La gestion de la mobilité et de la sécurité au réseau d'accès.

3.4.2.3. HSS (Home Subscriber Service)

Il s'agit d'une base de données similaire au HLR en GSM qui contient les informations des utilisateurs relatives à sa souscription, et porte l'appel de contrôle et la session management.

Elle est principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.

3.4.2.4. PDN-GW(Packet Data Network GateWay):

Le PDN GW est sur le chemin de signalisation pour l'établissement 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.

Elle est porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments:

- La porteuse radio entre UE et eNodeB.
- La porteuse des données entre eNodeB et SGW.
- La porteuse des données entre SGW et PGW.

3.4.2.5. PCRF(Policy and Charging Rules Function):

Responsable de la décision principale du contrôle, il fournit une QoS d'autorisation pour déterminer le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

L'entité PCRF réalise deux fonctions :

- Elle fournit au PDN-GW les règles de taxation lorsqu'un défaut 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 bearers 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. Le PCRF dialogue alors avec le PDN-GW pour créer le dedicated bearer correspondant.

3.4.2.6. SGW (Serving Gateway) :

L'entité Serving GW a pour fonctions de :

- Acheminer les paquets des données,
- Maintenir la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis l'inter-système handover entre la LTE et le GSM/UMTS et réserver le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.
- Router les paquets sortant au PDN GW approprié et relayer les paquets entrants à l'eNodeB servant l'UE.
- Comptabiliser le nombre d'octets envoyés et reçus permettant l'échange de tickets de taxation inter-opérateurs pour les reversements.

3.4.3. Processus d'installation de l'eNodeB :

Avant de procéder à l'installation du réseau 4G, ALGERIE TELECOM accomplit différentes opérations avant d'aboutir à la réalisation définitive.

3.4.3.1. L'étude commerciale :

A partir de cette étape, décision est prise d'effectuer le projet de réalisation selon le nombre de demandes recensées par le service ACTEL dont l'objectif est d'atteindre le nombre de 700 abonnés ou un nombre avoisinant. L'intérêt est d'augmenter la capacité d'accès.

3.4.3.2. L'étude technique :

- **Installation et mise en œuvre du site :**

En ce qui concerne le code de l'urbanisme, les opérateurs doivent s'assurer que leurs projets respectent les plans locaux d'urbanisme (constructibilité, implantation, distances, hauteurs de construction...). Si l'installation ne dépasse pas 10 m², elle est soumise à la procédure de déclaration de travaux.

Un permis de construire est exigé si l'installation comporte un ouvrage technique de plus de 100 m² de surface hors œuvre brute sur un terrain non bâti, ou plus de 20 m² de surface hors œuvre brute sur un terrain bâti. On notera que le code de l'urbanisme ne prend pas en compte les poteaux ou pylônes d'une hauteur n'excédant pas 12 mètres au-dessus du sol et

pour les antennes d'émission ou de réception de signaux électriques qui ne dépassent pas 4 mètres.

L'opérateur définit de nouvelles zones à équiper, pour compléter la couverture du territoire ; pour cela, il commande à une entreprise spécialisée la réalisation d'une étude pour de nouveaux emplacements .L'opérateur définit une zone de quelques kilomètres en zone rurale ou de quelques centaines de mètres en ville, il définit aussi les besoins de couverture, la capacité en trafic, les fréquences.

1. Recherche des emplacements après la visite technique qui définit la position des baies et des antennes, une proposition est faite au propriétaire.

2. Les services de l'opérateur font une visite technique sur place, pour définir le type d'antenne et leurs positions. L'entreprise fait elle aussi des relevés pour prévoir l'installation du matériel et des chemins de câbles.

3. L'opérateur donne les spécifications générales du site à l'entreprise, qui va établir un dossier technique minimal contenant les plans, descriptifs des travaux. Une fois le dossier retourné à l'opérateur, celui-ci va le compléter en faisant des simulations pour choisir définitivement le type d'antennes, leur orientation,

4. L'entreprise choisie par l'opérateur organise les travaux, elle les réalise entièrement ou peut en sous-traiter une partie à d'autres entreprises spécialisées dans le gros œuvre, l'installation du pylône, etc....

Une fois la décision retenue, il est nécessaire de passer par une étude technique qui déterminera les paramètres suivants :

- **La faisabilité du projet sur la base de :**

Choix du site (situation élevée souhaitable – point haut)

- Disponibilité d'un abri qui servirait à la salle d'équipements (l'existence d'un bâtiment éviterait des dépenses inutiles)
- Disponibilité d'un pylône (à partager avec un autre opérateur, remplacer WLL)
- Disponibilité d'un support de transmission (FO en quel cas il sera remplacé par FH)
- Exigence environnementale (existence de l'énergie, climatisation)

- Un appel d'offres auprès des entreprises et choisir celle qui se chargera de la réalisation (HUWAWI,.....)
- Réalisation et vérification de l'installation

3.4.4. Les contraintes :

Afin de résoudre le problème qui nous est posé concernant la localisation des eNodeB nous allons devoir surmonter les contraintes suivantes :

- Le nombre d'abonnés exigé pour chaque antenne est de 200 abonnés
- Chaque antenne couvre 120°
- Chaque pylône de l'eNodeB contient 3 secteurs
- La distance de couverture optimale est de 1.5km, il est à noter que l'abonné distant de 10km reçoit les données mais à faible débit
- La distance entre deux eNodeB est de 10km
- La hauteur de pylônes est de 12 à 30 mètres
- La bande de fréquence entre l'eNodeB et l'abonné est de 1800 MHz
- La bande passante pour chaque eNodeB est de 450 Mbits/s
- Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1.4 MHz à 20MHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la « vrai 4G » atteint 1Gbit/s.
- Selon les critères de l'Union internationale de télécommunication (UIT), qui établit les normes pour les réseaux cellulaires, le vrai 4G devrait offrir des vitesses de téléchargement de 100Mbit/s pour un utilisateur en mouvement de 1Gbit/s en mode stationnaire .
- La charge électrique l'eNodeB est de 380V et 88A, en cas de panne électrique l'eNodeB possède des batteries. Chaque secteur distribue 150 Mbite par seconde
- Possibilité de mettre, dans un pilon, un (mât ou antenne ou secteur)
- Le cout général de l'installation atteint 1 milliard et demi ,l'équipement est de 900 millions.

3.4.5. Capacité et couverture du réseau 4G :

La portée du réseau 4G dépend évidemment de la configuration si on est en ville ou à la campagne. L'opérateur ALGERIE TELECOM, lorsqu'il a beaucoup de clients à servir, cela en zone urbaine va mettre un grand nombre de stations de bases et la zone couverte par la station de base s'appelle une cellule, elle est de taille plus petite. En zone périurbaine elle sera un peu plus grande et en zone rurale elle sera encore plus grande.

L'opérateur distribue le réseau par rapport au découpage du territoire en cellule et déploie des stations de base le plus régulièrement possible de façon à couvrir une zone soit urbaine ou bien rurale.

Le concept cellulaire consiste donc à découper le territoire en cellules, chaque cellule est desservie par une station de base dont l'équipement «modem» des personnes qui accèdent au réseau va transmettre vers la station de base ensuite va être envoyé dans le réseau.

Note :

- La capacité d'une cellule en Mbit/s ne dépend pas de la taille de la cellule
- Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées *cellules*, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base.

En résumé, une cellule se caractérise :

- par sa *puissance d'émission* .ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.,
- par la *fréquence de porteuse* utilisée pour l'émission radioélectrique
- par le *réseau* auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone,
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, . . .),
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, . . .),
- de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau.

Zone rurale :

En zone rurale on a une faible densité d'utilisateurs, l'opérateur va juste assurer la couverture et déployer suffisamment de stations de base pour qu'en tout point du territoire un modem 4G soit sous la portée d'une station de base.

Remarque :

Algérie télécom de CHLEF propose de remplacer la WLL dans les zones rurales par le réseau 4G LTE (par les eNodeB) afin de satisfaire ses clients et leur fournir une capacité supérieure qu'auparavant.

Zone urbaine :

En zone urbaine on a une forte densité d'utilisateurs, dans ce cas Les stations de base sont déployées pour fournir une capacité suffisante, l'opérateur cherche toujours à déployer suffisamment de stations de base pour que la capacité en Mbit/s par km² soit supérieure au trafic engendré par les clients

3.5. Conclusion :

La compréhension du fonctionnement de la 4G nous permet de préciser la phase principale dans la distribution du réseau de la 4G qui est la localisation des eNodeB. A partir de là une étude d'optimisation permettra de trouver le meilleur emplacement possible des eNodeB pour répondre au mieux au besoin de client.

4.1. Introduction :

Le problème de la localisation du réseau 4G en zone rurale présente des contraintes de couverture des demandes et de préservation des intérêts de l'entreprise, c'est donc un problème d'optimisation avec une seule fonction objective. Nous allons devoir optimiser le coût de l'installation de l'eNodeB. Ce qui se traduit mathématiquement par un modèle basé principalement sur le problème du centre et le problème P-médian. Pour ce faire nous proposons la résolution de notre problème par l'utilisation des programmes d'optimisation LINGO et CPLEX pour leur fiabilité et leur rapidité d'exécution.

4.2. La modélisation :

La modélisation est la conception d'un modèle selon son objectif, il existe plusieurs types de modélisation. Dans notre cas nous allons utiliser la modélisation mathématique basée sur les modèles des problèmes de localisation. Il s'agit d'un problème de P-médian et problème du centre total pour lequel sera utilisé un modèle déterministe. Une modélisation est effectuée d'abord pour une seule zone puis est généralisée pour les autres zones en ajoutant l'indice k qui représente toutes les zones. Il est à noter que notre objectif est de minimiser les coûts d'implantation en satisfaisant les demandes avec la localisation d'un nombre minimum d'eNodeB. Pour modéliser notre modèle nous devons d'abord connaître la procédure suivie par l'entreprise.

L'opérateur AT, avant d'installer les eNodeB dans une zone donnée, effectue une étude à travers laquelle il s'agira de découper le territoire en dessinant des cercles de 5 Km dans toute la zone en réalisant des groupes de demandes. Cela induit une implantation de plusieurs eNodeB ainsi qu'un manque de service pour quelques clients qui ne sont pas inclus dans l'ensemble des groupes de demandes car ils sont en dehors du cercle dessiné.

4.2.1. La modélisation pour une seule zone de demande

4.2.1.1. Les données

I : Ensemble des clients

J : Ensemble des eNodeB potentiels

k : Ensemble des zones rurales

f_j : Coût de la localisation

d_{ij} : Distance entre le client i et l'eNodeB j

D : Distance maximale

4.2.1.2. **La fonction objective :**

$$\text{Min } \sum_j f_j * X_j \quad \Leftrightarrow \quad \text{Min } f_j \sum_j X_j \quad (01)$$

La fonction objective retenue (01) concerne la minimisation des coûts de localisation des eNodeB, dans tous les cas, le cout f_j est identique pour tous les eNodeB « j », donc l'objectif revient à minimiser le nombre des eNodeB à localiser. Notons aussi que les eNodeB sont localisés dans les mêmes zones que les clients.

4.2.1.3. **Les variables de décision :**

$$X_j \begin{cases} 1 \text{ si l'eNodeB est localisé} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

$$Y_{ij} \begin{cases} 1 \text{ si le client } i \text{ est affecté à l'eNodeB } j \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

4.2.1.4. **Les contraintes :**

$$\sum_{j \in J} X_j \geq 1 \quad (1.1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1.2)$$

$$D > d_{ij} * Y_{ij} \quad \forall i, \forall j \quad (1.3)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, \forall j \quad (1.4)$$

- La contrainte (1) assure qu'au moins un eNodeB est localisé.
- La contrainte (2) indique que chaque client « i » est affecté à un et un seul eNodeB « J ».
- La contrainte (3) assure que chaque client « i » est affecté à un eNodeB « j » dont la distance d_{ij} ne dépasse pas la distance maximale D.

- La contrainte (4) permet l'affectation des clients seulement aux eNodeB localisés.

4.2.2. La modélisation pour toutes les zones de demandes

Dans cette modélisation, toutes les zones sont prises en considération dont l'indice « k » représente à les zones dans lesquelles il y a lieu de localiser les eNodeB. L'objectif étant de minimiser les coûts de localisation des eNodeB dans toutes les zones. Nous obtenons le modèle ci-après :

4.2.2.1. La fonction objective

$$\text{Min} \sum_k \sum_j f_{jk} * X_{jk} \quad (2)$$

4.2.2.2. Les variables de décision

$$X_{jk} \begin{cases} 1 \text{ si l'eNodeB } j \text{ est localisé dans la zone } K \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

$$Y_{ijk} \begin{cases} 1 \text{ si le client } i \text{ est affecté à un eNodeB } j \text{ dans la zone } k \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

4.2.2.3. Les contraintes

$$\sum_{j \in J} X_{jk} \geq 1 \quad \forall k \quad (2.1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijk} = 1 \quad \forall i, \forall k \quad (2.2)$$

$$D > d_{jik} * Y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (2.3)$$

$$Y_{ijk} \leq X_{jk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (2.4)$$

- La contrainte (1) assure qu'au moins un eNodeB est localisé dans chaque zone « k ».
- La contrainte (2) indique que dans chaque zone « k », chaque client « i » est affecté à un et un seul eNodeB « j ».

- la contrainte (3) assure que dans chaque zone « k », chaque client « i » est affecté à un eNodeB « j » dont la distance d_{ijk} ne dépasse pas la distance maximale D.
- la contrainte (4) permet l'affectation des clients seulement aux eNodeB localisés, et ceci dans chaque zone « k ».

4.3. Les données :

Une fois le problème arrêté, une collecte des données jugées en relation avec notre problème, a été réalisée auprès de l'entreprise ALGERIE TELECOM de la wilaya de CHELF. Après étude de ces données il nous a semblé plus judicieux de nous préoccuper des distances en raison de la variabilité par rapport à l'accès de connexion obtenu.

Il est à noter que les distances sont comptées en mètre.

4.3.1. Les zones de demande :

| Nom du site | Actel | Nature du site | Type de support | Potentiel de raccordement | Altitude | longitude |
|-------------------------|------------|----------------|-----------------|---------------------------|----------|-----------|
| BTS shaillia | Ain-lemren | Rurale | FHN | 300 | 36,161° | 0,971° |
| Sidi ziane | Chettia | Rurale | FHN | 100 | 36,158° | 1,240° |
| WLL Sidi Medour-Karimia | Chlef | Rurale | FHN | 300 | 36,165° | 1,240° |
| WLL Khenansa | Ain-Lemren | Rural | FHN | 200 | 36,161° | 0,971° |
| WLL Medjadja | Chlef | Rural | FHN | 200 | 36,165° | 1,335° |
| Lemekam | Ain-Lemren | Rural | FO | 200 | 36,161° | 0,971° |

Tableau 4.1 : les demandes des zones rurales potentielles de la wilaya de CHLEF

4.3.2. Les distances entre les zones :

| La zone 01 | La zone 02 | La distance |
|-------------|------------|-------------|
| Khenansa | Shaillia | 4.1 KM |
| Khenansa | Lemkam | 15 KM |
| Shaillia | Lemkam | 15KM |
| Ain-Lemren | Chettia | 34 KM |
| Ain- Lemren | Chlef | 43 KM |
| Chettia | Chlef | 12 KM |
| Medjaja | Karimia | 8 KM |
| Chettia | Sidi ziane | 5KM |

Tableau 4.2: les distances entre les zones potentielles

4.3.3. Les distances entre les groupes pour chaque zone rurale :

- Zone 1 : SIDI ZIANE

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| G1 | 0 m | 5000 m | 800 m | 200 m | 1800 m | 1000 m |
| G2 | 5000 m | 0 m | 1500 m | 4500 m | 120 m | 1300 m |
| G3 | 800 m | 1500 m | 0 m | 630 m | 400 m | 200 m |
| G4 | 200 m | 4500 m | 630 m | 0 m | 130 m | 160 m |
| G5 | 1800 m | 120 m | 400 m | 130 m | 0 m | 400 m |
| G6 | 1000 m | 1300 m | 200 m | 160 m | 400 m | 0m |

Tableau 4.3 : Les distances entre les groupes de demande de la zone SIDI ZIANE

- Zone 2 : MEDJAJA

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|------|------|------|-----|------|------|
| G1 | 0 | 1200 | 500 | 400 | 1800 | 2000 |
| G2 | 1200 | 0 | 1200 | 200 | 400 | 300 |
| G3 | 500 | 1200 | 0 | 350 | 1200 | 480 |
| G4 | 400 | 200 | 350 | 0 | 500 | 600 |
| G5 | 1800 | 400 | 1200 | 500 | 0 | 102 |
| G6 | 2000 | 300 | 450 | 600 | 102 | 0 |

Tableau 4.4 : Les distances entre les groupes de demande de la zone MEDJAJA

- Zone 3 : SHAILLIA

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|------|------|------|------|------|------|
| G1 | 0 | 500 | 550 | 400 | 1200 | 1300 |
| G2 | 500 | 0 | 1200 | 1800 | 500 | 2000 |
| G3 | 550 | 1200 | 0 | 220 | 180 | 320 |
| G4 | 400 | 1800 | 220 | 0 | 102 | 105 |
| G5 | 1200 | 500 | 180 | 102 | 0 | 1200 |
| G6 | 1800 | 2000 | 320 | 105 | 1200 | 0 |

Tableau 4.5 : Les distances entre les groupes de demande de la zone SHAILLIA

- Zone 4 : KHENENSSA

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|------|------|------|-----|------|------|
| G1 | 0 | 2000 | 1800 | 800 | 200 | 150 |
| G2 | 200 | 0 | 400 | 218 | 1511 | 1708 |
| G3 | 1800 | 400 | 0 | 300 | 1200 | 900 |
| G4 | 800 | 218 | 300 | 0 | 950 | 150 |
| G5 | 200 | 1511 | 1200 | 950 | 0 | 100 |
| G6 | 150 | 1708 | 900 | 150 | 100 | 0 |

Tableau 4.6 : Les distances entre les groupes de demande de la zone KHENENSSA

- Zone 5 : LEMKAM

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|------|------|-----|------|------|------|
| G1 | 0 | 1200 | 300 | 250 | 3000 | 2000 |
| G2 | 1200 | 0 | 250 | 4500 | 180 | 950 |
| G3 | 300 | 250 | 0 | 320 | 150 | 800 |
| G4 | 250 | 4500 | 320 | 0 | 3000 | 2500 |
| G5 | 3000 | 180 | 150 | 3000 | 0 | 700 |
| G6 | 2000 | 950 | 800 | 2500 | 700 | 0 |

Tableau 4.7: Les distances entre les groupes de demande de la zone LEMKAM

- Zone 6 : KARIMIA

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----|------|------|------|------|------|------|
| G1 | 0 | 800 | 1500 | 600 | 1200 | 1800 |
| G2 | 800 | 0 | 1300 | 400 | 600 | 200 |
| G3 | 1500 | 1300 | 0 | 1800 | 1000 | 1100 |
| G4 | 600 | 400 | 180 | 0 | 1200 | 120 |
| G5 | 1200 | 100 | 1000 | 1200 | 0 | 100 |
| G6 | 1800 | 1100 | 1100 | 120 | 100 | 0 |

Tableau 4.8: Les distances entre les groupes de demande de la zone KARIMIA

- **Remarque :**

Les distances entre les différents groupes varient avec un intervalle de [100m-5000m]. L'ensemble des groupes de demandes dans une zone est égale à six groupes au maximum.

4.3.4. Le cout de l'installation :

Pour installer une station de base pour la distribution de la 4G, ALGERIE TELECOM investit 1 500 000 000 DA.

4.4. L'approche de résolution

Il existe plusieurs approches de résolution de ce type de problème pour lesquelles nous privilégions les solveurs mathématiques CPLEX et LINGO en raison de leur rapidité d'exécution et la fiabilité des résultats.

4.4.1. Présentation du logiciel de résolution

4.4.1.1. CPLEX

CPLEX IDE est un logiciel de programmation mathématique (l'un des plus utilisés) permettant de résoudre des programmes linéaires avec des variables réelles et/ou entières, ainsi que des programmes quadratiques.

CPLEX est, à la base, un solveur de programmes linéaires. Il est commercialisé par la société ILOG depuis la version 6.0. La dernière version, à ce jour, est la version 12.0.

Il peut ainsi traiter des problèmes contenant plusieurs dizaines de milliers de variables et plusieurs centaines de milliers de contraintes. Pour les problèmes mixtes, la limite est sensiblement plus basse, mais elle dépend grandement du type de problème et du modèle appliqué.

4.4.1.2. LINGO

LINGO est un outil complet conçu pour formuler rapidement, facilement et efficacement les problèmes d'optimisation de modèles linéaires, non linéaires, quadratiques, de cônes du second degré et stochastiques. LINGO met à disposition : un langage puissant et un environnement complet pour construire et éditer les modèles, le tout complété d'un jeu de solveurs ultra-performants.

LINGO fait gagner un temps précieux dans les phases de développement : en effet, LINGO permet de formuler rapidement et facilement les problèmes d'optimisation linéaire, non-linéaire ou en nombres entiers. Grâce à ses outils de modélisation, les modèles sont exprimés de manière transparente à l'aide de sommes et de variables indicées.

4.5. Les résultats obtenus et interprétation

Comme indiqué préalablement notre problématique concerne la localisation des eNodeB dans les zones rurales de la wilaya de CHLEF qui font l'objet des données collectées. La résolution du modèle de localisation des eNodeB pour une seule zone a été réalisée. Le même modèle a été appliqué pour chaque zone puisque toutes les zones concernées sont distantes et indépendantes les unes par rapport aux autres. Considérant que chaque zone possède des groupes de demande ALGERIE TELECOM, afin de satisfaire ces demandes, devra installer des eNodeB dans chaque groupe. Ce qui induira un cout élevé d'investissement (qui reviendrait au prix de 45 000 000 000 DA).L'étude de localisation que nous avons élaborée permettra de réduire le nombre d'eNodeB et par conséquent du cout de localisation tout en préservant la demande des clients.

4.5.1. Par le logiciel CPLEX

4.5.1.1. Les résultats pour chaque zone

- **Zone 1 :**

```

// solution (optimal) with objective 3000000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               3.0000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          8.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)         0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      1 1 0 0 0];
y = [[0 0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 0 1 0 0 0]
      [0 0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 0 1 0 0 0]];

```

Figure 4.1: Résultats de la zone 1 (SIDI ZIANE)

- **Zone 2 :**

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Statistiques Profiteur DCloud Serveurs CPLEX Recherche
// solution (optimal) with objective 1500000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.5000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  7.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      1 0 0 0 0];
y = [[0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0]
      [0 1 0 0 0]];
    
```

Figure 4.2 : Résultats de la zone 2(MEDJAJA)

- **Zone 3 :**

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Statistiques Profiteur DCloud Serveurs CPLEX Recherche
// solution (optimal) with objective 1500000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                1.5000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  7.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      0 1 0 0 0];
y = [[0 0 1 0 0]
      [0 0 1 0 0]
      [0 0 1 0 0]
      [0 0 1 0 0]
      [0 0 1 0 0]];
    
```

Figure 4.3 : Résultats de la zone3 (SHAILLIA)

- **Zone 4 :**

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Statistiques Profiteur DOcloud Serveurs CPLEX Recherche
// solution (optimal) with objective 1500000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               1.5000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          7.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)          0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      0 0 1 0 0];
y = [[0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 1 0 0]];
    
```

Figure 4.4: Résultats de la zone4 (KHENESSA)

- **Zone 5 :**

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Statistiques Profiteur DOcloud Serveurs CPLEX Recherche
// solution (optimal) with objective 1500000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               1.5000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          7.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)          0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      1 0 0 0 0];
y = [[0 1 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]];
    
```

Figure 4.5 : Résultats de la zone5 (LEMKAME)

- **Zone 6 :**

```
// solution (optimal) with objective 3000000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                3.000000000e+009
// MILP solution norm |x| (Total, Max)  8.00000e+000 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)  0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [0
      0 0 0 1 1];
y = [[0 0 0 0 0 1]
      [0 0 0 0 1 0]
      [0 0 0 0 0 1]
      [0 0 0 0 0 1]
      [0 0 0 0 0 1]
      [0 0 0 0 0 1]];
```

Figure 4.6 : Résultats de la zone6 (KARIMIA)

• **L'interprétation :**

- **Zone1 :**

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | | | | | | |
| ENodeB3 | | | | | | |
| ENodeB4 | | | | | | |
| ENodeB5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.9 : La satisfaction des clients pour la zone1

- **Zone2 :**

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ENodeB3 | | | | | | |
| ENodeB4 | | | | | | |
| ENodeB5 | | | | | | |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.10: La satisfaction des clients pour la zone2

- Zone3 :

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | | | | | | |
| ENodeB3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ENodeB4 | | | | | | |
| ENodeB5 | | | | | | |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.11 : La satisfaction des clients pour la zone3

- Zone4 :

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | | | | | | |
| ENodeB3 | | | | | | |
| ENodeB4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ENodeB5 | | | | | | |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.12 : La satisfaction des clients pour la zone4

- Zone5 :

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ENodeB3 | | | | | | |
| ENodeB4 | | | | | | |
| ENodeB5 | | | | | | |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.13 : La satisfaction des clients pour la zone5

- Zone6 :

| | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ENodeB1 | | | | | | |
| ENodeB2 | | | | | | |
| ENodeB3 | | | | | | |
| ENodeB4 | 1 | | 1 | 1 | | |
| ENodeB5 | | 1 | | | 1 | 1 |
| ENodeB6 | | | | | | |

Tableau 4.14 : La satisfaction des clients pour la zone6

4.5.1.2. Les résultats pour toutes les zones :

```

Erreurs Journal de script Solutions Conflits Statistiques Profiteur DOcloud Serveurs CPLEX Recherche
// solution (optimal) with objective 10500000000
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                               1.0500000000e+010
// MILP solution norm |x| (Total, Max)          4.30000e+001 1.00000e+000
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)      0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)              0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)        0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)         0.00000e+000 0.00000e+000
//
x = [[0
      0 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 1]
      [0 0 1 0 1 1]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 0 0 0]
      [1 0 0 0 0 0]];
y = [[[0 0 0 0 0 0]
      [0 1 0 0 0 0]
      [0 0 1 0 1 1]
      [0 0 0 1 0 0]
      [0 0 0 0 0 0]
      [1 0 0 0 0 0]];

```

```

[[[0 0 0 0 0 0]
  [0 1 0 0 0 1]
  [0 0 1 0 1 0]
  [0 0 0 1 0 0]
  [0 0 0 0 0 0]
  [1 0 0 0 0 0]]]
[[[0 0 0 0 0 0]
  [0 1 0 0 0 0]
  [0 0 1 0 1 1]
  [0 0 0 1 0 0]
  [0 0 0 0 0 0]
  [1 0 0 0 0 0]]]
[[[0 0 0 0 0 0]
  [0 1 0 0 0 0]
  [0 0 1 0 1 1]
  [0 0 0 1 0 0]
  [0 0 0 0 0 0]
  [1 0 0 0 0 0]]]
[[[0 0 0 0 0 0]
  [0 1 0 0 0 1]
  [0 0 1 0 1 0]
  [0 0 0 1 0 0]
  [0 0 0 0 0 0]
  [1 0 0 0 0 0]]]
[[[0 0 0 0 0 0]
  [0 1 0 0 0 0]
  [0 0 1 0 1 1]
  [0 0 0 1 0 0]
  [0 0 0 0 0 0]
  [1 0 0 0 0 0]]];

```

Figure 4.7 : Résultats pour toutes les zones

- L'interprétation :

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'installer pour chaque zone un seul eNodeB avec la satisfaction de tous les groupes de demandes à l'exception de la zone 1 où il sera nécessaire de localiser deux eNodeB avec la satisfaction de tous les groupes de demandes, tel que (x) représente les eNodeB localisés et (y) représente l'affectation de l'eNodeB aux abonnés. L'entreprise aura à investir 10 500 000 000 DA au lieu de 54 000 000 000 DA tout en répondant au besoin de tous les groupes de demandes. Les mêmes résultats sont obtenus avec la programmation du deuxième modèle sur CPLEX.

4.5.2. Par le logiciel LINGO :

En ce qui concerne la modélisation sur LINGO, nous avons gardé le même modèle afin d'obtenir les résultats suivants pour toutes les zones de demande.

4.5.2.1. Pour toute les zones de demande :

```
Global optimal solution found.
Objective value:                0.1050000E+11
```

Figure 4.8 : la solution optimal sur le logiciel LINGO

Notre fonction objective a été minimisée à 10.500.000.000

| Variable | Value | Reduced Cost |
|------------|---------------|---------------|
| COU | 0.1500000E+10 | 0.000000 |
| DIST_MAX | 1200.000 | 0.000000 |
| X(E1, Z1) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E1, Z2) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E1, Z3) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E1, Z4) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E1, Z5) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E1, Z6) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z1) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z2) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z3) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z4) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z5) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E2, Z6) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z1) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z2) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z3) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z4) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z5) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E3, Z6) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z1) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z2) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z3) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z4) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z5) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E4, Z6) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z1) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z2) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z3) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z4) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z5) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E5, Z6) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z1) | 1.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z2) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z3) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z4) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z5) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |
| X(E6, Z6) | 0.000000 | 0.1500000E+10 |

Figure 4.9 : La localisation des eNodeB dans les zone de demande

Nous relevons que la localisation des eNodeB est réalisée pour toutes les zones et nous remarquons qu'il y a une implantation d'un eNodeB dans le groupe deux de la zone deux autre deux eNodeB dans la zone six et dans le groupe deux de la zone cinq ainsi pour les autre zones.

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C1, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C4, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C5, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C1, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.10 : La satisfaction des abonnées pour les groupes1

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C2, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C4, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C5, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C2, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.11 : La satisfaction des abonnées pour les groupes2

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C3, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C4, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C5, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C3, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.11 : La satisfaction des abonnés pour les groupes3

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C4, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C4, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C5, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C4, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.12 : La satisfaction des abonnés pour les groupes4

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C5, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C4, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C5, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C5, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.13 : La satisfaction des abonnés pour les groupes5

| | | |
|----------------|----------|----------|
| Y(C6, C1, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C1, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C1, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C1, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C1, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C1, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z2) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C2, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z3) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z5) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C3, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z4) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C4, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z1) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C5, Z6) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z1) | 1.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z2) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z3) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z4) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z5) | 0.000000 | 0.000000 |
| Y(C6, C6, Z6) | 0.000000 | 0.000000 |

Figure 4.14 : La satisfaction des abonnés pour les groupes6

Y représente la satisfaction des clients

Nous observons dans ces tableaux qu'une satisfaction pour tous les groupes de demandes dans toutes les zones de demande est accomplie.

4.5.2.2. **Étude comparative :**

| | CPLEX | | LINGO | |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | X=la localisation | Y= la satisfaction | X= la localisation | Y= la satisfaction |
| Zone 1 | (E6, Z1) | Tous les groupes de demande | (E6, Z1) | Tous les groupes de demande |
| Zone 2 | (E2, Z2) | Tous les groupes de demande | (E2, Z2) | Tous les groupes de demande |
| Zone 3 | (E3, Z3) | Tous les groupes de demande | (E3, Z3) | Tous les groupes de demande |
| Zone 4 | (E4, Z4) | Tous les groupes de demande | (E4, Z4) | Tous les groupes de demande |
| Zone 5 | (E3, Z5) | Tous les groupes de demande | (E3, Z5) | Tous les groupes de demande |
| Zone 6 | (E4, Z6) (E5, Z6) | C1,C4,C3 C2,C5,C6 | (E4, Z6) (E5, Z6) | C1,C4,C3 C2,C5,C6 |

Tableau 4.15 : Résumé de résultat pour les logiciels LINGO et CPLEX

Le tableau représente une comparaison entre les résultats obtenus par deux logiciels CPLEX et LINGO. Les deux logiciels nous ont fourni les mêmes résultats permettant de localiser au moins un eNodeB dans chaque zone avec la satisfaction de tous les groupes de demandes. Ainsi l'utilisation des deux logiciels nous a permis de garantir la satisfaction des groupes de demandes ainsi que la préservation de l'intérêt de l'entreprise.

4.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, sur la base d'une formule mathématique retenue nous avons pu procéder à l'optimisation et à la résolution de notre problème grâce à deux logiciels qui ont donné des résultats similaires et confirmés. Les résultats obtenus ont été satisfaisants car nous avons pu obtenir la minimisation du coût de l'implantation des eNodeB et la satisfaction de tous les groupes de demandes dans toutes les zones. Ceci en prenant compte les distances entre clients –clients et clients-eNodeB.

Introduction générale

Le domaine des télécommunications demeure, sans nul doute, un domaine des plus importants à l'heure actuelle, tant pour les enjeux économiques, culturels et sociaux qu'il représente que pour la diversité et la complexité de l'information qu'il suggère pour d'autres domaines aussi stratégiques. Internet, par exemple, est un vecteur de croissance important et un support pour l'invention de nouveaux services pour les entreprises. Il permet également la découverte de nouveaux contenus pour les particuliers. Internet connaît, alors, un essor sans précédent et se déploie rapidement de manière successive en plusieurs jusqu'à aboutir au réseau 4G.

ALGERIE TELECOM entreprise publique de services est considérée comme leader sur le marché des télécommunications algérien. C'est pourquoi nous avons privilégié d'effectuer notre stage de fin d'études dans une de ses filiales. À travers cette formation pratique dans le centre RMS de la wilaya de CHLEF nous avons pu tirer un certain nombre d'enseignements. En effet parmi tous les services visités, le service internet est le plus sollicité et le plus complexe en raison des différents dispositifs de distribution qui le constituent et la dynamique économique qu'il génère dans l'entreprise. Parmi les différents dispositifs de distribution proposés, l'intérêt est porté sur le réseau 4G. Celui-ci, en effet, s'exprime par l'accès à l'internet à très haut débit. Son installation se fait d'une manière simple et rapide et permet l'obtention du signal après un faible temps de latence et l'utilisation de différents supports wifi (laptop, tablette ou Smartphone). Une connexion sans fil est possible ainsi que l'accélération du multimédia, du visionnage de vidéos HD en streaming grâce à l'abondance des mégabits.

Néanmoins, il est à relever que la 4G est distribuée seulement dans les grandes agglomérations. Pourtant, il existe une forte demande dans les zones rurales et isolées (enclavées). Le besoin de l'outil de communication en question se fait alors pressant.

ALGERIE TELECOM ne pouvant répondre à la forte demande du réseau internet dans les zones rurales par voie filaire (ADSL) compte tenu du coût que cela implique. Nous préconisons comme moyen de substitution la 4G grâce à une exploitation optimale et rationnelle. Nous avons donc jugé opportun de nous intéresser à ce problème en établissant l'hypothèse éventuelle de la faisabilité de la localisation de la 4G dans les zones précitées. A partir de là, une étude bibliographique a établi que le sujet a été traité selon le problème de

localisation dans le domaine des télécommunications de manière générale, sans rapport direct avec la 4G compte tenu de la nouveauté du réseau. Par ailleurs, nous avons rencontré un seul cas d'étude ayant abordé la planification de la 4G sans pour autant faire référence à la localisation.

Nous avons alors proposé d'étudier le choix d'une bonne localisation d'un équipement qui distribue le réseau 4G. Cela relève, bien évidemment, des décisions stratégiques car l'emplacement de cet équipement dans n'importe quelle zone est en effet un investissement fixé sur le long terme par l'entreprise.

Compte tenu qu'il n'y a pas suffisamment d'infrastructures téléphoniques de base dans les zones rurales, il est nécessaire de maximiser les réseaux sans fil.

Une solution sans fil (LTE) est proposée dans le but de toucher le maximum d'abonnés en fonction de la répartition des habitants dans une zone donnée et en minimisant le coût d'investissement pour une meilleure rentabilité.

Afin de contribuer au traitement de ce problème, à savoir le concept de la modélisation d'une partie de la chaîne logistique dans un réseau de distribution 4G, nous avons structuré le contenu de notre travail en Quatre chapitres

Dans le chapitre 1, nous entamons notre travail d'abord par une présentation de l'entreprise où a été effectué notre stage et où a émergé l'idée de notre sujet suite aux observations et remarques retenues. Nous présentons ensuite les notions de base en relation avec notre sujet tel que l'étude de la télécommunication d'une part et de la chaîne logistique d'autre part afin de faire apparaître la relation entre la 4G qui fait partie du domaine des télécommunications et la localisation qui relève des décisions stratégiques de la chaîne logistique.

Le chapitre 2 concerne principalement la présentation de l'état de l'art des problèmes de conception des chaînes logistiques. Nous présentons les problèmes de localisation sur la base des modèles déterministes. Un aperçu historique sur l'évolution des concepts relatifs à la télécommunication est relaté pour s'intéresser particulièrement à la notion de la chaîne logistique et à la localisation des réseaux mobiles ainsi qu'à l'optimisation de cette dernière.

Le chapitre 3 suggère une démarche pour le traitement de la problématique, objet de l'étude. Ainsi, nous présentons un détail technique concernant la localisation du réseau de la quatrième génération ainsi que le cas d'étude dans les zones rurales.

Dans le chapitre 4 une étude du modèle mathématique convenant à notre problème de base sur la localisation est réalisée. Nous expliquons le modèle afin de procéder à sa modélisation sur deux logiciels en l'occurrence le CPLEX et le LINGO tout deux adéquats à l'approche de la résolution désirée.

Nous terminons le contenu de ce travail par un recensement des résultats obtenus et par une analyse comparative de ces résultats par rapport aux perspectives de recherche éventuelles.

Conclusion générale

La conception de la localisation est considérée comme une étape importante dans la chaîne logistique, elle fait partie des décisions stratégiques puisqu'elle représente un impact majeur sur le long terme. A ce sujet bon nombre de travaux ont été réalisés, pourtant une omission a été observée dans la méthode de résolution puisque les modèles de localisation n'ont pas été utilisés concernant l'installation du réseau 4G.

Notre motivation principale dans ce mémoire était de concevoir un réseau de distribution de la 4G dans les zones rurales tout en respectant les besoins des clients et le coût de l'investissement de l'installation.

Dans ce travail nous avons considéré les distances des groupes de demandes aléatoires, nous avons proposé un modèle d'optimisation mathématique monocritère qui a été résolu grâce à des solveurs mathématiques. Nous avons, en effet, conçu un modèle de localisation pour les réseaux mobile 4G. Nous avons ensuite résolu le modèle en utilisant le solveur mathématique LINGO. Puis, pour une évaluation objective de notre modèle nous avons utilisé un autre solveur mathématique CPLEX qui confirme les résultats. La satisfaction des clients et la prise en compte du coût d'investissement ont été ainsi attestées.

Pourtant une analyse critique s'impose à notre travail :

- Pourquoi avoir utilisé les logiciels LINGO et CPLEX ?
- Pourquoi ne pas avoir utilisé les métaheuristiques ?

Il existe un grand nombre de solveurs mathématiques pour la résolution exacte de ce type de modèle, notre choix s'est porté d'abord sur LINGO pour sa disponibilité.

En ce qui concerne la deuxième question le temps imparti à la recherche ne nous a pas permis de procéder à l'application des métaheuristiques. Nous avons alors utilisé le logiciel CPLEX pour sa puissance, sa rapidité et sa fiabilité.

Une étude comparative entre les résultats obtenus tant par le logiciel LINGO que par le logiciel CPLEX nous a permis d'observer que les résultats sont les mêmes et confirmé.

Cette étude a donné lieu à une modeste contribution en se basant sur le problème du centre et le problème P-median pour la localisation des eNodeB en zone rurale qui pourrait permettre de planifier tout réseau qui présentera la même architecture.

Ce travail nous a permis d'engager plusieurs orientations futures, l'une d'elle serait d'appliquer les métaheuristiques à ce problème précis qui est la localisation des eNodeB (réseau 4G) l'autre voie de recherche serait d'étudier les indisponibilités des eNodeB lors de la conception du réseau 4G.

Résumé

En raison de l'évolution de la technologie de la télécommunication et de sa forte utilisation nous nous sommes rapprochés de l'entreprise ALGERIE TELECOM pour mieux connaître les besoins de cette entreprise qui sont divers et variés et pouvoir y apporter des réponses.

Internet étant très demandé de manière générale et en Algérie en particulier, nous avons voulu y consacrer notre étude. En effet, l'internet en Algérie est utilisé grâce à l'ADSL c'est-à-dire par voie de fibre optique nécessitant une téléphone fixe.

ALGERIE TELECOM ne pouvant répondre à la forte demande au réseau internet et par conséquent à l'installation du réseau téléphonique, elle a du intégrer, à son protocole, le réseau 4G. Néanmoins, il est à souligner que la 4G est distribuée seulement dans les grandes agglomérations. Pourtant il existe une forte demande dans les zones rurales et isolées. Pour cela le besoin y est pressant.

C'est pourquoi il serait intéressant de proposer une solution qui consiste en la localisation des eNodeB dans les zones rurales ou isolées afin de satisfaire le besoin des clients tout en préservant l'intérêt de l'entreprise. En effet une localisation aléatoire pourrait engendrer une dépense irrationnelle pour l'entreprise et une satisfaction disparate des clients.

L'objectif de cette étude est donc d'effectuer une optimisation de l'installation des eNodeB dans les zones rurales tout en tenant compte des contraintes bien définies qui sont la minimisation du coût d'installation des eNodeB et la maximisation de la couverture des demandes. Ce problème sera modélisé par le modèle de recouvrement en raison de son adéquation avec le problème posé. Il sera résolu de manière optimale en utilisant le solveur mathématique CPLEX.

Liste des abréviations :

A:

ACTEL : Agence Commerciale de Télécommunication

AMPS: Advanced Mobile Telephone System

ADSL: Asynchronous Digital Subscriber Line

B:

BSC: Base Station Controller

BTS: Base Transceiver Station

BS: Base Station

C:

CA: Centre d'Amplification

CAN: Controlled Area Network

CDMA: Code Division Multiple Access

D:

DRT : Direction régionale de télécommunication

D-AMPS : Digital- Advanced Mobil Phone System

DSL: Digital Subscriber Line

E:

eNodeB: evolved Nœud Base

ETCS: Extended total access communication system

EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution

E-UTRA: Evolved- Universal Terrestrial Radio Access

EPC : Evolved Packet Core

F:

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FO : Fibre Optique

FHN : Fréquence Hertzienne

G:

4G : quatrième Génération

GAN: Global Area Network

GSM: Global System for Mobile Communication

G1 : Première Génération

G2: Deuxième Génération

G3 : Troisième Génération

GPRS: General Packet Radio Service

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

H:

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access

HD: Haut Dimension

HLR: Home Location Register

I:

IP: Internet Protocole

L:

LAN: Local Area Network

LTE: Long Term Evolution

LISA: Localization of Industrialization standard Association

M:

MPLS: Multi-Protocol Label Switching

MAN: Metropolitan Area Network

MMS: Multimedia Messaging Service

MME: Mobility Management Entity

MSAN: Multi-Service Access Node

N:

NGN: Next Generation Network

NMT: Nordic Mobile Telephone

O:

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

P:

PAN: Personal Area Network

PCRF: Policy and Charging Rules Function

Q:

QOS: Quality of Service

R:

RevSat : Revolution Satellite

RMS : Réseau Multi-Service

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RF :Radio Frequency

RNC: Radio Network Controller

RRC : Radio Resource Control

S:

SAN: Storage Area Network

SMS: Short Message Service

S-GW : Serving-GetWay

SIP: Session Initiation Protocol

T:

TDM: Time Division Multiplexing

TACS: Total Access Communication System

TD-SCDMA: Time Division- Synchronous CDMA

U:

UIT: Union Internationale des Télécommunications

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UMB: Ultra Mobile Broadband

UE: User Equipment

V:

VLAN/IP: Virtual Local Area Network

VoIP: Voice over Internet Protocol

W:

WLL: Wireless Local Loop

WAN: Wide Area Network

WAP: Wireless Application Protocol

W-CDMA: Wideband- CDMA

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

WIFI: Wireless Fidelity

Liste des figures :

Figure 1.1 : La typologie de réseau

Figure 1.2 : Architecture de réseau NGN

Figure 1.3 : La chaîne logistique globale

Figure 1.4 : La chaîne logistique de réseau 4G

Figure 3.1 : La carte géographique de la wilaya de CHLEF

Figure 3.2 : La distance entre les zones potentielle

Figure 3.3 : Les distances entre les groupes de clients

Figure 3.4 : Les distances entre les groupes de client de la zone SHAILLIA

Figure 3.5 : Architecture globale de LTE (4G)

Figure 3.6 : Architecture détaillée du réseau EPC

Figure 4.1 : Résultat de la zone1 (SIDI ZIANE)

Figure 4.2 : Résultat de la zone 2 (MEDJAJA)

Figure 4.3 : Résultat de la zone3 (SHAILLIA)

Figure 4.4 : Résultat de la zone4 (KHNENSSA)

Figure 4.5 : Résultat de la zone5 (LEMKAME)

Figure 4.6 : Résultat de la zone6 (KARIMIA)

Figure 4.7 : Résultats pour toutes les zones

Figure 4.8 : La solution optimale sur le logiciel LINGO

Figure 4.9 : La localisation des eNodeB dans les zone de demande

Figure 4.10 : La satisfaction des abonnés pour les groupes1

Figure 4.11 : La satisfaction des abonnés pour les groupes2

Figure 4.11 : La satisfaction des abonnés pour les groupes3

Figure 4.12 : La satisfaction des abonnés pour les groupes4

Figure 4.13 : La satisfaction des abonnés pour les groupes5

Figure 4.14 : La satisfaction des abonnés pour les groupes6

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Différentes générations de réseau mobile.

Tableau 1.2: La différence entre 3G et la 4G.

Tableau 4.1 : les demandes des zones rurales potentielles de la wilaya de CHLEF

Tableau 4.2 : les distances entre les zones potentielles

Tableau 4.3 : Les distances entre les groupes de demande de la zone SIDI ZIANE

Tableau 4.4 : Les distances entre les groupes de demande de la zone MEDJAJA

Tableau 4.5 : Les distances entre les groupes de demande de la zone SHAILLIA

Tableau 4.6 : Les distances entre les groupes de demande de la zone KHENENSSA

Tableau 4.7: Les distances entre les groupes de demande de la zone LEMKAM

Tableau 4.8: Les distances entre les groupes de demande de la zone KARIMIA

Tableau 4.9 : La satisfaction des clients pour la zone1

Tableau 4.10: La satisfaction des clients pour la zone2

Tableau 4.11 : La satisfaction des clients pour la zone3

Tableau 4.11 : La satisfaction des clients pour la zone3

Tableau 4.13 : La satisfaction des clients pour la zone5

Tableau 4.14 : La satisfaction des clients pour la zone6

Tableau 4.15 : Résumé de résultat pour les logiciels LINGO et CPLEX

Références

[1] : BENCHERIF.Y.G, RAHMANI BOUZINA.D « Rapport de stage au ALGERIE TELECOM centre RMS », Université de Tlemcen, 2015.

[2] : MOOC cours, « Architecture et principes généraux », Avril 2016.

[3] : FLITTI.T, MERIT.K, « Etude et exploitation des softs switch hie 9200 et des Media Gateway hiG 1100 du RMS », Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Institut de télécommunication d'Oran Abdelhafid Boussouf, juin 2007.

[4] : HUAWEI Technologies, « LTE SAE System Overview Training, Training Material », Document manuel

[5] : MALIKI.F, « Résolution d'un problème stochastique de localisation de centres de distribution et de choix des fournisseurs », juin 2009.

[6] : BENSMAINE.A, BENYOUCEF.L, SARI .Z, « Simulation d'une chaine logistique à échelle réelle sous ARENA », Article pour la conférence internationale en génie industriel, BATNA – ALGERIE, Mai 2010.

[8] : Dimitra Anastasiou, Reinhard Schäler, « Translating Vital Information: Localisation, Internationalisation, and Globalisation », Article , *Centre for Next Generation Localisation*.

[9] : BOUCHENTOUF.H, BOUDGHENE STAMBOULI.R, « Etude des performances des réseaux 4G (LTE) », Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en télécommunication, Juin 2013.

[10] : TANONKOU.G, « Une approche par relaxation lagrangienne pour l'optimisation d'un réseau de distribution : modèles stochastiques et fiables », thèse pour l'obtention du grade de docteur en automatique, UNIVERSITE PAUL VERLAINE – METZ, Mars 2007.

[11] : Jean-Mathieu Segura, « Localisation et affectation : application aux réseaux de contenus », Thèse pour obtenir le titre de Docteur en Science d'informatique, UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS 6, Février 2011.

[12] : EUNICE ADJARATH LEMAMOU, « Planification globale des réseaux mobiles de la quatrième génération (4G) », Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur en génie informatique, Avril 2014.

[13] : <http://4g.at.dz/>, Date de consultation Mars 2016.

[15] : IBM, « Optimization modeling with IBM ILOG OPL », Document manuel, © Copyright IBM Corporation 2009.

[16] : [Tanonkou 2007] G. A. Tanonkou. Une approche par relaxation lagrangienne pour l'optimisation d'un réseau de distribution : modèles stochastiques et fiables. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine Metz (2007).

[17] : [Weber 1909] A. Weber. Uber den Standort der Industrien (Alfred Weber's Theory of the Location of Industries). University of Chicago (1909).

[18]: [Hakimi 1964] S.L. Hakimi. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research 12 : 450-459 (1964).

[19] : [Alp et al. 2003] O. Alp, E. Erkut et Z. Drezner. An Efficient Genetic Algorithm for the p-Median Problem. Annals of Operations Research 122 : 21-42 (2003).

[20] : [Toregas et al. 1971] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle et L. Bergman. The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research 19 : 1363-1373 (1971).

[21]: [Galvao et al. 1996] R.D. Galvao, C.ReVelle. A Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem. European Journal of Operational Research 88 : 114-123 (1996).

[22]: [Galvao et al. 2000] R.D. Galvao, L.G.A. Espejo et B.Boffey. A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem. European Journal of Operational Research 124 : 377-389 (2000).

- [23]: [ReVelle et al. 2008a] C. ReVelle, M. Scholssberg et J. Williams. Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration. *Computers & Operations Research* 35: 427-435 (2008).
- [24]: [Corrêa et Lorena 2006] F. de Assis Corrêa et L. A. N. Lorena. Application of lagrangian relaxation and the constructive genetic algorithm to solve the probabilistic problem of maximum location-allocation coverage. *gestão & Produção* Vol.13, No. 2 : 233-244 (2006).
- [26]: [Hakimi, 1965] S.L. Hakimi. Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. *Operations Research* 13, 462–475.
- [27]: [Francis *et al.*, 1982]. R.L. Francis, B.C. Tansel, et T.J. Lowe. A Biobjective Multifacility Minimax Location Problem on a Tree Network. *Transportation Science* 16, 407–429.
- [28]: [Kariv *et al.*, 1979] O. Kariv et S.L. Hakimi. An Algorithmic Approach to Network Location Problems. The *P*-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics* 37, 539–560.
- [29]: [Balinski 1965] M. L. Balinski. Integer programming : Methods, uses, computation. *Management Science* 12 : 253-313 (1965).
- [30]: [Galvão, 1993] R.D. Galvão. The Use of Lagrangean Relaxation in the Solution of Uncapacitated Facility Location Problem. *Location Science*, pp. 57-79.
- [31]: [Daskin, 1995] M. Daskin. Network et Discrete Location: Models, Algorithms and Applications. *John Wiley and Sons, Inc.*, New York.
- [32]: [Al-Sultan *et al.*, 1999] Al-Sultan et A. Fawzan. A Tabu Search approach to the Uncapacitated Facility Location Problem. *Annals of Operations Research*, pp. 91-103.
- [33]: [Krishnan 2000] P. Krishnan, Danny Raz et Yuval Shavitt. The cache location problem. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 8, no. 5, pages 568–582, 2000. 32, 33

- [34]: [Cronin 2002] E. Cronin, S. Jamin, C. Danny et R. Yuval. Constrained mirror placement on the internet, 2002. 32[Li 1999] Bo Li, M.J. Golin, G.F. Italiano, Xin Deng et K. Sohraby. On the optimal placement of web proxies in the Internet. INFOCOM '99. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, vol. 3, pages 1282–1290 vol.3, 1999. 33.
- [35]: [Hakimi 1979] L. Hakimi et O. Kariv. An algorithmic approach to network location problems. II : the p-medians. SIAM Journal of Applied Mathematics, vol. 37, 1979.
- [36]: [Lee 2003] Youngho Lee, Seong in Kim, Seungjun Lee et Kugchang Kang. A Location-Routing Problem in Designing Optical Internet Access with WDM Systems. Photonic Network Communications, vol. 6, no. 2, pages 151–160, 2003.
- [37]: [Tamir 1996] A. Tamir. An $O(pn^2)$ algorithm for the p-median and other related problems on tree graphs. Operations Research Letters, vol. 19, pages 59–64, 1996.
- [38]: [YARALI, A. et RAHMAN, S. 2009]. WiMAX : Architecture, planning and business model. Y. Zhang, éditeur, WiMAX Network Planning and Optimization, Auerbach Publications, Boston, MA, USA, chapitre 12. Première _edition, 245-265.
- [39]: [YU, Y., GENC, V., MURPHY, S. et MURPHY, L. 2009]. Network planning for IEEE 802.16j relay networks. Y. Zhang, _editeur, WiMAX Network Planning and Optimization, Auerbach Publications, Boca Raton, USA, chapitre 14. 289-310.
- [40]: [TETERIN, V. et HURLEY, S. 2014]. Optimized network dimensioning and planning for wimax technology. Ad Hoc Networks, 13, 381-403.
- [41]: [MOUSAVI, M., CHAMBERLAND, S. et QUINTERO, A. 2007]. A new approach for designing WiMAX networks. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2007 (CCECE 2007). 487- 490.
- [42]: [NTAGKOUNAKIS, K. et SHARIF, B. 2009]. WiMAX networks dimensioning. Y. Zhang, _editeur, WiMAX Network Planning and Optimization, Auerbach Publications, Boston, MA, USA, chapitre 13. Premi_ere _edition, 267-287.

[43]: [GORDEJUELA-S_ANCHEZ, F., JUTTNER, A. et ZHANG, J. 2009]. A multiobjective optimization framework for IEEE 802.16e network design and performance analysis. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 27, 202-216.

[44]: [GORDEJUELA-S_ANCHEZ, F. et ZHANG, J. 2008]. Practical design of IEEE 802.16e networks : A mathematical model and algorithms. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 2008. 1-5.

[45]: [D'ANDREAGIOVANNI, F. et MANNINO, C. 2009]. An optimization model for WiMAX network planning. Y. Zhang, _editeur, WiMAX Network Planning and Optimization, Auerbach Publications, Boca Raton, USA, chapitre 18. 369-386.

[46]: [CARLOS HINCAPI_E, R. et BUSTAMANTE MILLER, R. 2009]. Automatic and optimized cell-mesh planning in WiMAX. Y. Zhang, _editeur, WiMAX Network Planning and Optimization, Auerbach Publications, Boston, MA, USA, chapitre 16. Premi_ere_edition, 329-348.

[47]: [HU, T., CHEN, Y. et BANZHAF, W. 2010]. WiMAX network planning using adaptive-population-size genetic algorithm. Applications of Evolutionary Computation, 31-40.

Abstract

Due to the rapid technological change in télécommunications and its powerful use, we got closer to ALGERIA TELECOM to better understand the various needs of this company so that to provide answers.

The internet is of a great demand in Algeria in particular where we wanted to devote our study. In fact, it is used in Algeria thanks to ADSL, that is to say, via an optical fiber requiring a landline phone.

ALGERIA TELECOM may not provide the strong demand to the Internet and therefore the installation of the telephone network, she had to integrate in its protocol, the 4G network. However, it is emphasized that 4G is distributed only in large cities. Yet there is a strong demand in rural and isolated areas. For such a reason, the internet is needed most.

That is why it would be interesting to suggest a solution that consists of locating eNodeB in rural or isolated areas to satisfy the needs of customers while preserving the interests of the company. In fact, a random location could create an irrational expenditure for the company and disparate customer satisfaction.

The objective of this study is to perform an optimization of the eNodeB installation in rural areas while taking into account well-defined constraints that are minimizing installation costs and maximizing eNodeB coverage requests. This problem will be modelled by the recovery model due to its consistent with the problem at hand. It will be solved optimally using mathematical solver CPLEX.

Table des matières :

Remerciement

Dédicace

| | |
|-----------------------------|----|
| Table des matières..... | 1 |
| Liste des figures | 4 |
| Liste des tableaux..... | 5 |
| Liste des abréviations..... | 6 |
| Introduction générale..... | 10 |

Chapitre 01 : Les notions de base

| | |
|---|----|
| 1.1. Introduction..... | 13 |
| 1.2. Environnement de stage | 13 |
| 1.2.1. Présentation de l'entreprise ALGERIE TELECOM | 13 |
| 1.2.2. Présentation de la DRT de la wilaya de CHLEF | 14 |
| 1.2.3. Présentation de centre RMS de la wilaya de CHLEF | 14 |
| 1.3. Les définitions..... | 15 |
| 1.3.1. La télécommunication | 15 |
| 1.3.2. Le réseau | 15 |
| 1.3.3. Les réseaux mobiles cellulaires..... | 18 |
| 1.3.4. La chaine logistique globale | 23 |
| 1.3.5. La chaine logistique de réseau 4G | 24 |
| 1.3.6. La localisation | 25 |
| 1.3.7. ENodeB | 25 |
| 1.3.8. station de base | 25 |
| 1.3.9. LTE | 26 |
| 1.4. Conclusion | 26 |

Chapitre 02 : Etat de l'art

| | |
|--|----|
| 2.1. Introduction | 27 |
| 2.2. Les modèles de localisation | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.3. La localisation dans les réseaux de télécommunication | 33 |
| 2.4. L'optimisation dans les réseaux mobiles..... | 35 |
| 2.5. Conclusion | 38 |

Chapitre 03 : Problématique et cas d'étude

| | |
|--|----|
| 3.1. Introduction | 39 |
| 3.2. Description de problème | 39 |
| 3.2.1. Analyse du problème | 39 |
| 3.2.2. L'objectif de recherche | 41 |
| 3.3. Cas d'étude | 41 |
| 3.3.1 Présentation du site étudiant (wilaya de CHLEF) | 41 |
| 3.3.2. Les zones rurales étudiant..... | 42 |
| 3.4. Etude détaillé de la 4G | 44 |
| 3.4.1. Processus de fonctionnement de la distribution de la 4G | 44 |
| 3.4.2. Les équipements de réseau EPC | 45 |
| 3.4.3 Processus d'installation de l'eNodeB | 48 |
| 3.4.4. Les paramètres d'installation | 50 |
| 3.4.5. La capacité de couverture de réseau 4G | 51 |
| 3.5. Conclusion..... | 52 |

Chapitre 04 : Modélisation et interprétation des résultats

| | |
|---|----|
| 4.1. Introduction..... | 53 |
| 4.2 La modélisation..... | 53 |
| 4.2.1 La modélisation pour une seule zone de demande | 53 |
| 4.2.2. La modélisation pour toutes les zones de demande | 55 |
| 4.3. Les données collectés de l'entreprise | 56 |
| 4.3.1. Les zones de demande | 56 |
| 4.3.2. Les distances entre les zones | 57 |
| 4.3.3. Les distances entre les groupes pour chaque zone..... | 57 |
| 4.3.4. Le cout de l'installation | 59 |
| 4.4. L'approche de résolution | 59 |
| 4.4.1. Présentation du logiciel de résolution | 59 |
| 4.5. Les résultats obtenues et interprétation | 60 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.5.1. Par le logiciel CPLEX | 60 |
| 4.5.2. Par le logiciel LINGO | 66 |
| 4.6. Conclusion | 71 |
| Conclusion générale | 72 |
| Résumé | 74 |
| Abstract | 75 |
| Bibliographie | |

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah, le tout puissant, pour nous avoir accordé sa bénédiction dans tous les actes de notre vie. Ce mémoire en fait partie.

Nous remercions infiniment nos chers parents pour leur amour inconditionnel et leur soutien permanent et sans faille.

Nous remercions nos frères (B.Yassine ,R.Nadhir, R.Nourdine, R.Amine, R.Walid), nos sœurs (B.Amina , L.Imane,R.Imane,R.Yassamine) et Nos beaux-frères (Saïd & Abdellah) qui ont toujours exprimé un dévouement certain à nos égards.

Nous remercions notre encadreur Mr MALIKI d'avoir accepté de nous apporter toute son aide pour la réalisation de ce mémoire et de nous avoir facilité le travail par sa généreuse disponibilité.

Nous remercions tous les membres de l'entreprise ALGERIE TELECOM et plus particulièrement Mr SADOON, Mr DJELLILE, Mr BOUKHEDIM d'avoir eu l'amabilité de nous aider et de nous encourager pour la réalisation de ce mémoire.

- Je remercie ma tante H.SAYEH et son mari qui m' ont toujours grandement ouvert la porte pour me permettre d'avancer aisément dans mes études.
- Je ne remercierai jamais suffisamment mon binôme Douaa, qui est à la fois ma sœur et mon amie, pour son soutien dans les moments les plus difficiles .Elle a su m'accompagner.
- Je tiens à remercier mon super binôme yasmine en laquelle je ne pensais vraiment pas pouvoir trouver autant de réconfort et de soutien durant tout mon parcours universitaire. Merci ma sœur.

A tous nos enseignants, nous disons un grand merci.

Nous remercions vivement les membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre mémoire.

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

NB : Nous ne saurons terminer cette page de remerciements sans penser à Monsieur SARI. Nous voulons lui dire que nous lui reconnaissons toute son abnégation, son sérieux, sa foi en ce qu'il a entrepris pour nous. Il a été pour nous un modèle et a su éveillé en nous l'intérêt pour la productique. Sa gestion sans pareil de l'institut et sa prise en charge responsable de nos préoccupations nous laissent espérer en des lendemains meilleurs. MERCI

BENCHERIF Yasmine Ghizlène

RAHMANI BOUZINA Douaa

Dédicace

***Ce mémoire est dédié à
Nos parents,
Nos familles,
Nos ami(e)s,
Tous ceux qui nous aiment et que nous aimons.***