

UNIVERSITE AMAR TELIDJI de LAGHOUAT



FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE
DEPARTEMENT DE GENIE INFORMATIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention Du Diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN INFORMATIQUE

Option : Systèmes Parallèles et Distribués

Thème :

**Etude de la qualité de service dans la
technologie WiMAX**

Réalisé par :

- KHENE Younes
- NAAMA Ahmed Badreddine

Encadré par:

- M. DJOUDI Mohamed

N° d'ordre:/2009-PFE/DGI

Dédicaces

Je dédie ce modeste fruit :

A mon cher père

Et ma chère mère

Pour leurs patiences et leurs encouragements,

En leur souhaitant longue vie.

A mes chers frères

Salim, Youcef, Yacine et Ilyes

Pour leurs soutiens,

En leur souhaitant la réussite dans leurs études et dans leurs vies.

A tous mes amis(es)

En leur souhaitant beaucoup de succès dans leurs vies aussi bien professionnelle

que familiale.

A tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail,

J'exprime mes sentiments les plus profonds.

Dédicaces

A ma chère grande mère,

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui m'ont tant donné pour faire de moi ce que je suis

A ma sœur et à mes frères,

A tous ceux qui comptent pour moi,

A tous ceux pour qui je compte.

Je leur dédie ce modeste travail en guise de reconnaissance

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force physique et morale pour accomplir ce travail, et pour les richesses dont il nous comble.

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Mr. DJOUADI Mohamed** pour le suivi et les conseils fournis afin de mettre en œuvre ce travail.*

*Nos remerciements sont à transmettre également aux membres de jury a savoir MM. **MB. Yagoubi** et **N. Lagraa**, maitres de conférences à l'université de Laghouat.*

Que tous ceux qui ont contribués, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Résumé

Le WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access) est une technologie sans fil, fondée sur les spécifications de la norme IEEE 802.16 permettant l'accès au réseau sur de larges distances, délivrant des performances comparables aux technologies filaires DSL ou câble.

*Le standard WiMAX intègre nativement la notion de **Qualité de Service** (souvent notée **QoS** pour **Quality Of Service**), c'est-à-dire la capacité à garantir le fonctionnement d'un service à un utilisateur.*

L'intérêt de notre travail réside dans la compréhension et la maîtrise d'une telle technologie. Les différentes simulations réalisées nous ont permis de comparer les différents services de WiMAX (UGS, rtPS, nrtPS et BE) et donc de mesurer la QoS à travers un ensemble de métriques telles que la bande passante, le délai de bout en bout et le taux de perte.

Abstract

This thesis is related to the WiMAX (World Interoperability Microwave Access) technology which is the standard elaborated by the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) under the 802.16 family. It, also, gives an overview of the QoS mechanisms built into the WiMAX. The PHY and MAC layers of 802.16 are described.

We used simulation to test the performance of this technology. Our contribution consists of the addition of the QoS classes as well as the management of the QoS requirements; unicast and contention request opportunities mechanisms for the UGS, rtPS and BE QoS classes. Simulation results provide interesting observations about the throughput and end to end delay and loss rate values. Simulation results show that our UGS, rtPS, nrtPS and BE schedulers are in accordance with the specification of the QoS classes defined in the IEEE 802.16 standard.

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	2
<i>Remerciements</i>	4
<i>Résumé</i>	5
<i>Abstract</i>	6
<i>Introduction générale</i>	13
<i>Chapitre 1 : WiMAX (Généralité, Normes et Spécificités techniques)</i>	16
1. Généralités sur les réseaux sans fil	17
2. Aperçu sur WiMAX	18
3. Evolution des normes	20
4. Architecture du réseau WiMAX	22
5. Caractéristiques techniques de WiMAX	23
5.1 La couche physique.....	24
5.1.1 Les différentes versions de la couche physique.....	24
5.1.2 Les techniques de multiplexage.....	25
5.2 La couche MAC.....	27
5.2.1 La sous-couche SSCS.....	27
5.2.2 La sous-couche CPS.....	28
5.2.3 La sous-couche PS.....	28
6. WiMAX versus WiFi	29
7. WiMAX en Algérie	30
8. Conclusion	32
<i>Chapitre 2 : La qualité de service dans WiMAX</i>	33
1. Définition de la qualité de service	34
2. Les paramètres de la qualité de service	36
2.1 La disponibilité.....	36
2.2 La bande passante.....	36
2.3 Le délai.....	36
2.4 La gigue.....	36
2.5 Le taux de perte.....	36
3. Classes de services du WiMAX	37
3.1 Unsolicited Grant Services (UGS).....	37
3.2 Real-time Polling Services (rtPS).....	37
3.3 Non-Real-time Polling Services (nrtPS).....	37

3.4	Best effort (BE)	37
4.	Structure de la trame	38
5.	Les échanges au niveau du réseau	40
5.1	L'initialisation de la station de base	40
5.1.1	Acquisition d'un canal descendant	40
5.1.2	Synchronisation avec la station de base	41
5.1.3	Obtention des paramètres du canal montant.....	41
5.2	L'établissement du lien entre la station de base et la station réceptrice	41
5.3	L'authentification	42
6.	Conclusion	43
	<i>Chapitre 3 : Simulation et analyse des résultats</i>	<i>44</i>
1.	Environnement de simulation	45
1.1	Choix du simulateur	45
1.2	Choix de la plate forme de simulation.....	46
2.	Présentation de NS2	46
1.	Définition.....	46
2.	Historique	47
3.	Les phases de simulation	47
4.	Implémentation du module QoS-WiMAX	48
5.	Présentation du fichier trace	49
3.	Présentation de NAM (NETWORK ANIMATOR)	51
4.	Trace Graph	53
5.	Flot de simulation	55
6.	Contexte de la simulation	56
7.	Description des scenarios	57
7.1	Paramètres de simulation.....	57
7.2	Paramètres du réseau WiMAX.....	57
7.3	Modèle de propagation	58
7.4	Protocole de routage	58
7.5	Configuration de la station de base	59
7.6	Modèle de Trafic	59
8.	Analyse et discussion des résultats	60
8.1	La métrique / Délai de bout en bout	61
8.2	La métrique / La bande passante	62

8.2.1	Service BE	62
8.2.2	Service nrtPS.....	64
8.2.3	Service rtPS.....	66
8.2.4	Service UGS.....	68
8.3	La métrique / Le taux de perte des bits.....	70
9.	Conclusion	71
	<i>Conclusion générale et perspectives</i>	<i>72</i>
	Conclusion générale	73
	Perspectives.....	73
	<i>Glossaire</i>	<i>74</i>
	Glossaire.....	75
	<i>Bibliographie</i>	<i>78</i>
	Bibliographie.....	79
	<i>Annexes</i>	<i>81</i>
	Script de la simulation.....	82

Liste des figures

Figure 1 : Les normes des réseaux sans fil.....	17
Figure 2 : Le logo du WiMAX.....	19
Figure 3 : Interconnexion entre WiMAX et différents types de réseaux	22
Figure 4 : L'émission en LOS et en NLOS	23
Figure 5 : L'architecture de la norme IEEE 802.16	23
Figure 6 : La modulation OFDM.	25
Figure 7 : La modulation OFDMA.	26
Figure 8 : La modulation adaptative.	27
Figure 9 : WiMAX Vs WiFi.	30
Figure 10 : Structure de la trame	39
Figure 11 : Schématisation de l'initialisation de la station réceptrice.....	40
Figure 12 : Schématisation de l'établissement du lien entre la station de base et la station réceptrice	42
Figure 13 : La relation entre les objets du module WiMAX et les objets existants de NS2....	48
Figure 14 : Fichier trace ancien.....	50
Figure 15 : Fichier trace NAM.....	52
Figure 16 : NAM.....	53
Figure 17 : Trace Graph	54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution des normes	20
Tableau 2 : Spécifications techniques des différentes normes IEEE 802 .16 x	21
Tableau 3 : Les différentes versions de la couche physique.	24
Tableau 4 : WiMAX Vs WiFi	29
Tableau 5 : Classe de services WiMAX.....	38
Tableau 6 : Paramètres d'un réseau WiMAX	58
Tableau 7 : Configuration de la station de base	59
Tableau 8 : La métrique délai de bout en bout	61

Liste des graphes

Graphe 1 : Délai de bout en bout.....	61
Graphe 2 : Taille de paquet en moyenne par nœud.....	62
Graphe 3 : Nombre d’octets envoyés et reçus.....	62
Graphe 4 : Bande passante de paquets	63
Graphe 5 : Taille de paquet en moyenne par nœud.....	64
Graphe 6 : Nombre d’octets envoyés et reçus par nœud.....	64
Graphe 7 : Bande passante de paquets	65
Graphe 8 : Taille de paquets en moyenne par nœud	66
Graphe 9 : Nombre d’octets envoyés et reçus par nœud.....	66
Graphe 10 : Bande passante de paquets	67
Graphe 11 : Taille de paquets en moyenne par nœud	68
Graphe 12 : Nombre d’octets envoyés et reçus par nœud.....	68
Graphe 13 : Bande passante de paquets	69
Graphe 14 : Pourcentage de bits perdus par nœud	70

Introduction générale

Les télécommunications jouent un rôle très important dans notre vie, on a de plus en plus besoin de communiquer et d'échanger des informations de n'importe où et à n'importe quel moment. De plus les utilisateurs devenant exigeant pour la rapidité et la qualité des transmissions.

L'enjeu actuel des télécoms est d'offrir des communications à haut débit assurant une bonne qualité de service.

Plusieurs solutions d'interconnexion existaient. On trouve les techniques filaires et sans fils, avec ou sans infrastructure.

La référence actuelle dans le monde et en Algérie est l'ADSL qui est une technique filaire d'acheminement du haut débit. Notre travail consistait à étudier une technique sans fils d'acheminement du haut débit qui est le WiMAX.

WiMAX est un acronyme pour World Interoperability for Microwave Access.

WiMAX est avant tout une famille de normes, certaines encore en chantier, définissant les connexions à haut débit par voie hertzienne. C'est également un nom commercial pour ces normes, comme l'est Wi-Fi pour 802.11 (la Wi-Fi Alliance est en cela comparable au WiMAX Forum).

Le WiMAX offre la possibilité de couvrir une large bande d'ondes allant de 2 à 66 GHz. Avec un aussi grand choix de fréquences, il est plus facile d'interagir avec divers types de produits existant sur le marché. Les technologies cellulaires, WiFi, Bluetooth et autres types d'ondes à courte portée pourront ainsi être relayées à des antennes qui ont une portée théorique de 50Km et un débit de 75Mbit/s.

Avec le boom des multimédias et l'avènement de l'Internet, le besoin de transmettre des flux de voix, de vidéo, d'images fixes ou autres types d'informations, conjugué aux besoins de communiquer librement sans l'aide d'infrastructures coûteuses ou dans des zones d'accès difficile a fortement boosté la technologie WiMAX. Cependant pour transmettre des flux temps-réel, voix ou vidéo, ou pour des services à contraintes temporelles, avec la qualité requise pour chaque flux, la solution consiste en l'introduction de la **QoS dans les réseaux WiMAX**.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la qualité de service dans les réseaux WiMAX. Ainsi, notre travail présente dans sa première partie une étude bibliographique. Afin de mieux cerner certains aspects de WiMAX, l'étape de simulation sous NS2 a concerné un réseau comprenant une station de base (SB) et 20 stations connectées 802.16.

Le but recherché étant d'étudier les performances en QoS de ce réseau. Un ensemble de métriques telles que bande passante, délai de bout en bout et le taux de perte ont été retenus nous permettant, ainsi, de mieux apprécier les performances.

Chapitre 1 : WiMAX (Généralité, Normes et Spécificités techniques)

Le début du nouveau millénaire témoigne de l'évolution énorme des technologies sans fil à large bande. La bande passante élevée, la flexibilité et la baisse du coût de ces technologies sont vues, par les opérateurs de télécommunications, comme des solutions pour remédier aux limitations des technologies filaires (fibre optique et les technologies xDSL).

Ce chapitre fournit une introduction aux réseaux sans fil à large bande. Il présente les origines, les normes et les règlements de la technologie WiMAX.

1. Généralités sur les réseaux sans fil

Depuis quelques années, nous entendons parler des réseaux sans fil informatiques.

NB : *Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire.*

Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouge) à la place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions (TANENBAUM, 2003).

Aujourd'hui, divers équipements sont accessibles aux entreprises et au grand public permettant la connexion des appareils sans fil (PDA, Téléphone Mobile, Ordinateur portable...). Plusieurs communautés collaborent afin de standardiser les technologies de ces réseaux. La figure (1) présente les normes les plus répandues des réseaux sans fil :

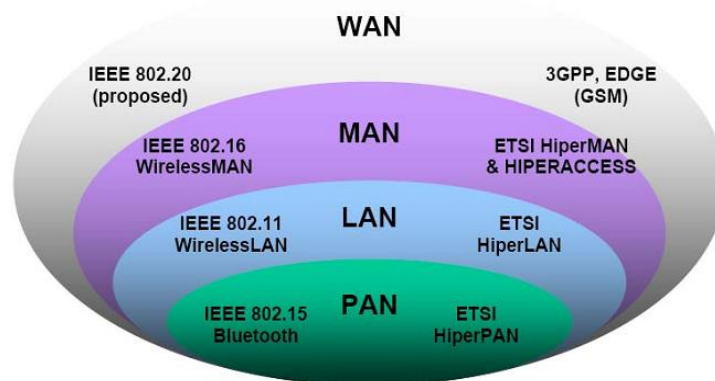


Figure 1 : Les normes des réseaux sans fil (PUJOLLE, 2008)

Les groupes de travail qui se chargent de la normalisation des produits commercialisés pour les réseaux sans fil sont IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) aux états unis et l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

On distingue généralement quatre catégories de réseaux informatiques, différenciées par la distance maximale séparant les points les plus éloignés du réseau (PUJOLLE, 2008) :

- Les réseaux personnels, ou PAN (Personal Area Network), interconnectent sur quelques mètres des équipements personnels, les principales normes sont IEEE 802.15 (Bluetooth) et ETSI HiperPAN.
- Les réseaux locaux, ou LAN (Local Area Network), correspondant par leur taille aux réseaux intra-entreprises. Ils servent au transport de toutes les informations numériques de l'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Les principales normes sont IEEE 802.11 (WiFi) et ETSI HyperLAN.
- Les réseaux métropolitains, ou MAN (Metropolitan Area Network), permettent l'interconnexion des entreprises ou éventuellement des particuliers sur un réseau spécialisé à haut débit qui est géré à l'échelle d'une métropole. Sa portée atteignant plus de dix kilomètres. Elles doivent être capables d'interconnecter les réseaux locaux des différentes entreprises pour leur donner la possibilité de dialoguer avec l'extérieur. Les principales normes sont IEEE 802.16 et ETSI HiperMAN.
- Les réseaux étendus, ou WAN (Wide Area Network), sont destinés à transporter des données numériques sur des distances à l'échelle d'un pays. Les principales normes sont IEEE 802.20, 3GPP et EDGE (PUJOLLE, 2008).

2. Aperçu sur WiMAX

Le WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est une technologie hertzienne de transmission de données à haut débit. Elle permet de surfer sur Internet en haut débit, de téléphonie (VoIP), ou encore d'interconnecter des réseaux d'entreprises.

Contrairement à l'ADSL ou une autre technologie filaire, le WiMAX utilise les ondes radio, tout comme utilisées déjà dans les téléphones portables (ALGERIE_TELECOM, 2009).

Cette technologie permet de :

- Transporter l'ensemble des flux de communication (Internet, données, voix sur IP), avec un niveau de garantie défini selon les besoins.
- Interconnecter l'ensemble de vos sites et vos utilisateurs nomades quelque soit l'endroit où se trouvent vos utilisateurs.

- En toute sécurité et simplicité pour vous faciliter la gestion et l'administration de votre réseau.

WiMAX est une norme technique basée sur le standard IEEE 802.16, validé en 2001 par l'organisme international de normalisation IEEE. WiMAX adresse notamment le marché des réseaux métropolitains, elle est activement développée par le consortium WiMAX Forum, qui rassemble une soixantaine d'industriels. Le WiMAX est désormais un label commercial délivré par le WiMAX Forum. Voici son logo officiel (Fig. 2) :



Figure 2 : Le logo du WiMAX (WIMAXFORUM)

La version initiale du standard travaille dans la bande de fréquences 10-66 GHz et nécessite un espace dépourvu d'obstacles entre l'émetteur et le récepteur. Cependant, l'extension 802.16a, travaille dans une bande de fréquences 2-11GHz, mieux adaptée aux réglementations en vigueur, et permet une transmission à travers certains obstacles.

À la différence du Wi-Fi 802.11, le WiMAX permettra, à partir de ces stations de base WiMAX, de couvrir des villages en milieu urbain ou en zone rurale à faible pénétration. WiMAX permet alors d'atteindre des régions encore non connectées à moindre coût, ainsi que certaines régions rurales où seules les communications satellites étaient possibles jusqu'à Aujourd'hui.

Le WiMAX serait alors une alternative aux technologies filaires à haut débit. Il viendrait renforcer la connexion en termes de capacité de débit et de couverture. Ses capacités de transmission sont théoriquement de 70 Mbit/s pour un rayon de 50 Km. Cependant, dans la pratique, il permet un débit de 10 Mbit/s et une portée de 20 km.

3. Evolution des normes

!Le tableau 1 montre bien que WiMAX réunit plusieurs standards, tous à des états d'avancement différents, qui sont autant d'axes de travail du groupe IEEE 802.16.

<u>Standard</u>	<u>Bande de fréquence</u>	<u>Date de publication</u>	<u>Statut</u>
IEEE std 802.16	Définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz).	8 avril 2002	Obsolète
IEEE std 802.16a	Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.	29 janvier 2003	Obsolète
IEEE std 802.16b	Définit des réseaux métropolitains sans fil dans les bandes de fréquences entre 10 et 60 GHz.		Fusionné avec 802.16a (Obsolète)
IEEE std 802.16c	Définit des options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.	juillet 2003	Obsolète
IEEE std 802.16d (IEEE std 802.16-2004)	Révision intégrant les standards 802.16, 802.16a et 802.16c	1 ^{er} octobre 2004	Actif
IEEE std 802.16e	Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard.	7 décembre 2005	Actif
IEEE std 802.16f	Définit la possibilité d'utilisation de réseaux sans fil maillés (mesh network)	22 janvier 2006	Actif

Tableau 1 : Evolution des normes (BAMAGO, 2006)

D'abord conçu pour la partie 10-66 GHz en 2001, la 802.16 s'est intéressé par la suite aux bandes 2-11 GHz pour donner naissance en 2003 à la 802.16a. En Europe, c'est autour des 3,5 GHz que la 802.16a peut se déployer ; aux États-Unis, c'est dans des bandes proches de celles utilisées par le Wi-Fi, 2,4 et 5 GHz. Cette partie de la bande est celle qui a le plus d'activités au sein du WiMAX Forum aujourd'hui.

La 802.16a a été amendée depuis, par la 802.16-2004, et en toute rigueur on ne devrait plus parler de cette version. Conduite par le groupe de travail IEEE 802.16 d, cette version amendée est parfois également appelée 802.16d.

À côté de 802.16-2004, qui est le WiMAX de l'année 2005, on trouve également 802.16 e, qui définit l'interopérabilité entre toutes les solutions 802.16 et les solutions (comme Wi-Fi) qui sont présentés sur les mêmes bandes de fréquence. Le standard IEEE 802.16e est la version la plus avancée et la plus intéressante. Cette version apporte la mobilité.

Donc, les révisions du standard IEEE 802.16 se déclinent en deux catégories (BOHLI, 2006):

- **WiMAX fixe/résidentiel (802.16-2004)** destiné à un usage fixe, du domicile à l'antenne relais et opérant dans des bandes de fréquences de 2.5 GHz et 3.5 GHz (avec licence d'exploitation obligatoire) et 5.8 GHz (bande libre) en Europe. Le débit maximum théorique est de 75 Mbit/s pour une portée de 50 à 70 kilomètres.

- **WiMAX mobile/nomade (802.16 e)** prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau Internet. Le WiMAX mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles haut débit. Le débit maximum théorique est de 30 Mbit/s pour une portée de 2 à 5 kilomètres.

Actuellement les standards WiMAX actifs ou en cours de normalisation, sont limités aux fréquences entre 2 et 11 GHz. Selon les pays, les bandes WiMAX sont soit libres soit soumises à une licence.

Le tableau 2 résume les caractéristiques techniques des plus importants standards à savoir IEEE 802.16, IEEE 802.16d et IEEE 802.16e :

	802.16	802.16 d	802.16 e
Spectre	10 – 66 GHz	< 11 GHz	< 5 GHz
Condition canal	Uniquement LOS	NLOS	NLOS
Débit	32-134 Mbps à 128 GHz	Jusqu'à 75 Mbps à 20 GHz	Jusqu'à 15 Mbps à 5 GHz
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256-OFDM, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Mobilité	Fixe	Fixe	Nomadisme
Bandes passantes	20, 25 et 28 MHz	Au choix entre 1.25 et 20 MHz	Comme 802.16 avec sous canaux montants pour conserver la puissance
Rayons de cellule typique	2 - 5 Km	5 -10 Km, max 50 Km	2 – 5 km

Tableau 2 : Spécifications techniques des différentes normes IEEE 802.16 x (BOHLI, 2006)

Dans tout ce qui suit nous allons intéresser uniquement à la norme **802.16d** connue aussi sous le nom de *WiMAX fixe/résidentiel*.

4. Architecture du réseau WiMAX

L'architecture de la technologie WiMax se compose de stations de base (BS/Base Station) et des stations d'abonnés (SS/Subscriber Station). La station de base joue le rôle d'une antenne centrale chargée de communiquer et de desservir les stations d'abonnés qui, à leur tour, servent les clients utilisant le WiFi ou l'ADSL(ABDELFFETTAH, 2007).

La figure 3 représente l'architecture générale d'un réseau d'accès à large bande :

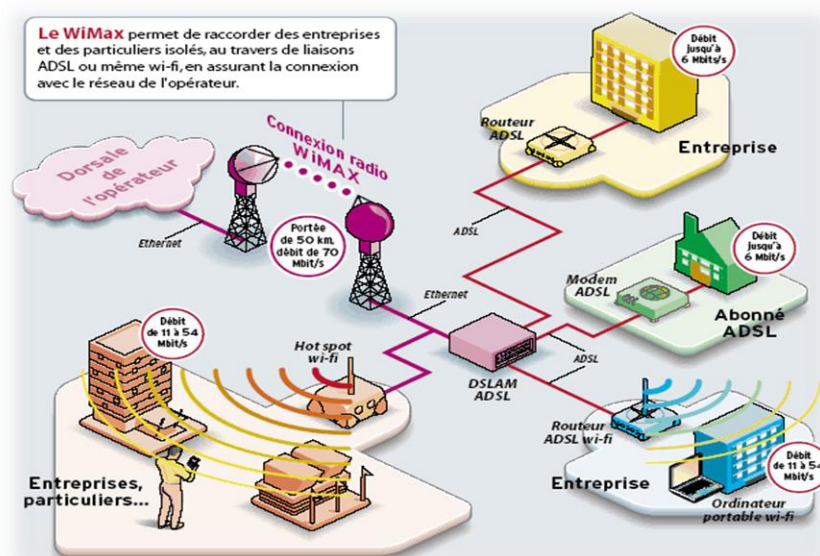
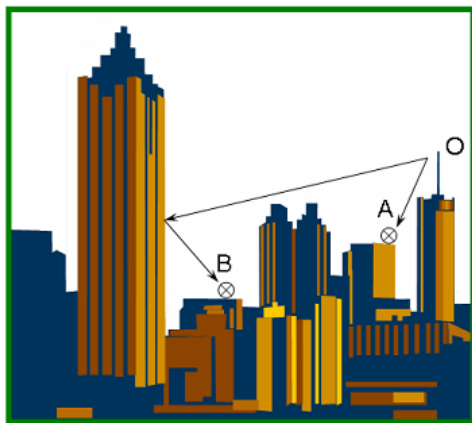


Figure 3 : Interconnexion entre WiMAX et différents types de réseaux(ABDELFFETTAH, 2007)

Le but est de relier le client final à un réseau métropolitain afin qu'il puisse accéder à Internet.

Pour cela, le client doit posséder un récepteur WiMAX (une puce intégrée ou une borne) se trouvant dans le champ d'action d'un émetteur. La portée, les débits, et surtout la nécessité ou non d'être en ligne de vue de l'antenne émettrice, dépendent de la bande de fréquence utilisée. Dans la bande 11-66 GHz, les connexions se font en ligne de vue (LOS/Line Of Sight) alors que sur la partie 2-11 GHz les connexions se font en (NLOS) c'est-à-dire que le client ne se trouve pas en vue directe avec l'antenne (figure 4). En effet, les bâtiments ou la végétation que l'on trouve dans les villes forcent le signal à être détourné grâce à l'utilisation de la modulation de fréquence OFDM.



L'émission du point O vers A est en LOS.

L'émission du point O vers B est en NLOS.

Figure 4 : L'émission en LOS et en NLOS (VIKEN TORAMANIAN, 2009)

5. Caractéristiques techniques de WiMAX

La norme 802.16 donne des spécifications relatives à l'implémentation de la couche physique et la sous-couche MAC (Couche liaison de données du modèle ISO) pour les réseaux métropolitains à liaison sans fil (WMAN).

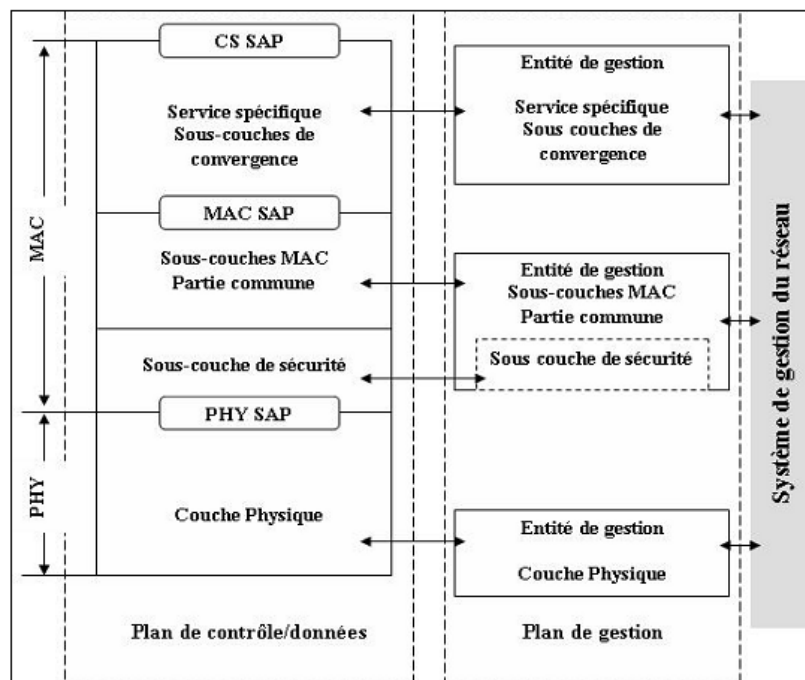


Figure 5 : L'architecture de la norme IEEE 802.16 (IEEE)

La figure 5 présente l'architecture de la norme IEEE 802.16. Nous distinguons une couche physique ainsi que trois sous-couches de la couche MAC.

5.1 La couche physique

5.1.1 Les différentes versions de la couche physique

Comme toutes les technologies utilisant la voie hertzienne, le WiMAX est soumis aux interférences du milieu dans lequel les ondes se propagent. Plusieurs technologies permettent d'atténuer la perturbation du signal par le bruit environnant. Ces technologies ont évolué avec les versions du WiMAX (tableau 3)(ABDELFETTAH, 2007):

Désignation	Fréquence	LoS/NLoS	Options	Duplexage
WirelessMAN-SC	10-66Ghz	LoS	AAS, ARQ, STC	TDD,FDD
WirelessMAN-SCa	2,5-11Ghz	NLoS	AAS, ARQ, STC, Mesh	TDD,FDD
WirelessMAN-OFDM	2,5-11Ghz	NLoS	AAS, ARQ, STC	TDD,FDD
WirelessMAN-OFDMA	2,5-11Ghz	NLoS	AAS, ARQ, STC	TDD,FDD
Wireless-HUMAN	2,5-11Ghz	NLoS	ARQ, STC, Mesh	TDD

Tableau 3 : Les différentes versions de la couche physique.

Les options :

- AAS : Antennes Adaptives
- AQR : Automatic Retransmission Request
- STC : Schéma de diversité
- Mesh : topologie mesh

Le duplexage :

- TDD
- FDD

La couche physique pour la spécification 11-66 GHz se base sur une propagation « en ligne de vue » (LOS). Les stations qui communiquent ensemble sont visibles l'une de l'autre directement sans obstacles.

Pour la spécification 2-11 GHz, la couche physique a été implémentée pour répondre au cas où les stations communiquent « en non ligne de vue » (NLOS), dans le cas des environnements urbains avec la présence d'obstacles entre deux stations.

Pour répondre à ces spécifications, trois types d'interfaces de transmission ont été définis :

- ✓ **SC (Single Carrier):** Elle définit une transmission sur un seul canal de fréquence.
- ✓ **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) :** cette interface utilise plusieurs bandes de fréquence qu'elle divise en plusieurs porteuses pour la transmission d'un signal. Chaque bande est utilisée à des fins différentes.

- ✓ **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)** : similaire à l'OFDM, cette interface offre un plus grand nombre de porteuses du fait du multiplexage effectué sur la fréquence.

Dans ce qui suit, les différentes techniques de multiplexage, qui peuvent être mises en œuvre au niveau de la couche physique de la norme 802.16, vont être abordées.

5.1.2 Les techniques de multiplexage

Sur une liaison radio la modulation de fréquence va permettre de diviser le canal pour plusieurs utilisateurs mais surtout la modulation va rendre le signal moins sensible aux perturbations extérieures et permettre ainsi une meilleure transmission. La modulation peut permettre au signal de traverser de petits obstacles, d'augmenter son rayon d'action, etc.

a) L'OFDM

Le principe de l'OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*) est la transmission sur plusieurs fréquences orthogonales. Ce principe va diminuer la perception des interférences notamment en NLOS. La modulation OFDM permet de moduler en fréquence jusqu'à 256 Clients (Fig. 6).

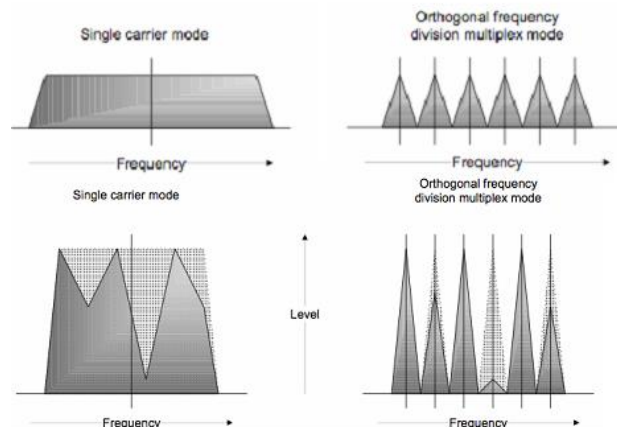


Figure 6 : La modulation OFDM.

Les avantages :

- Meilleur débit en NLOS.
- Résiste aux interférences.
- Meilleur recouvrement.

b) L'OFDMA

L'OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiples Acces*) reprend le principe de l'OFDM. Dans cette version il est désormais possible d'attribuer jusqu'à 2048 utilisateurs qui cette fois, à la différence de l'OFDM, sont attribués de manière dynamique (figure 7). En effet si un utilisateur a besoin de trois fois plus de bande passante qu'un autre utilisateur, la modulation lui allouera 3 emplacements alors que l'utilisateur normal n'en aura qu'un seul.

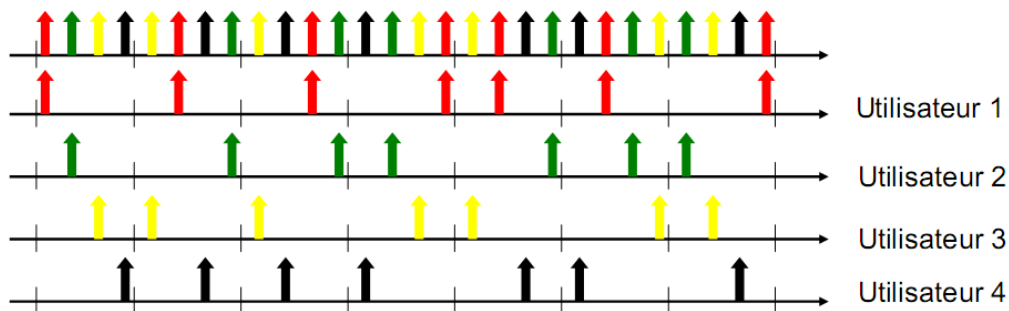


Figure 7 : La modulation OFDMA.

Les avantages :

- Réduction des interférences.
- Augmente la capacité.
- Diminution de l'allocation de la Bande passante.

c) Modulation adaptative

Comme la puissance du signal diminue nettement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la station de base, le rapport signal/bruit décroît également. C'est pour cette raison que la norme 802.16 utilise trois techniques différentes de modulation en fonction de la distance entre la station de base et l'utilisateur (figure 8) (SKALLI, 2008).

- QAM-64 (Quadrature Amplitude Modulation) : 6 bit/ baud. Pour les abonnés proches.
- QAM-16 : 4 bit/ baud. Pour les abonnés moyennement distants.
- QPSK (Quaternary Phase Shift Keying): 2 bit/ baud. Pour les abonnés éloignés.

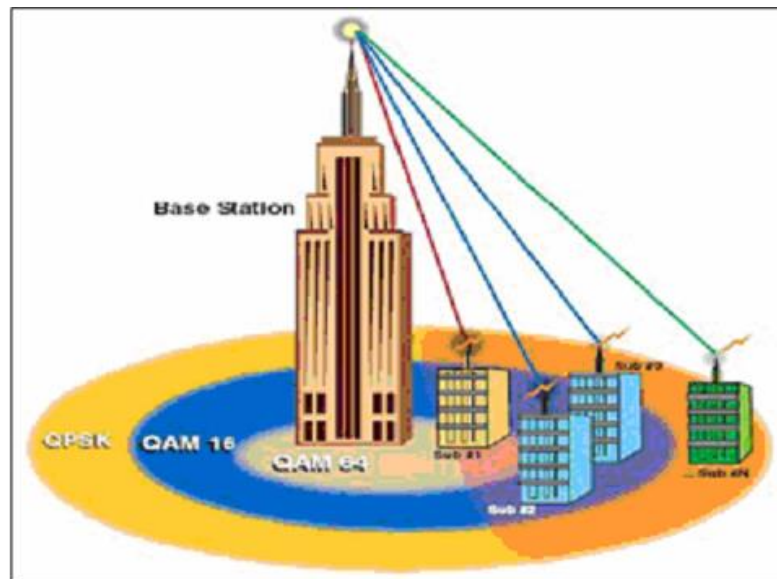


Figure 8 : La modulation adaptative.

5.2 La couche MAC

L'IEEE 802.16 a été conçue pour des applications sans fil à large bande de type point-multipoint. A partir d'une antenne centrale on cherche à toucher de multiples terminaux. Elle prend en charge le transport des cellules ATM mais aussi celui des paquets IP, et joue un rôle important dans la gestion de la qualité de service (CASTRO-PENA, 2006).

La couche MAC s'appuie sur trois sous-couches : une sous-couche de convergence spécifique (SSCS/Service Specific Convergence Sublayer), une sous-couche commune (CPS/Common Part Sublayer), et une sous-couche sécurité (PS/Privacy Sublayer).

5.2.1 La sous-couche SSCS

La SSCS fournit toute transformation de données ou le mappage de réseaux externes reçu par la CPS pour le raccordement de réseaux externes. Elle fournit aussi deux sous-couches de convergence (CS : convergence sublayer) :

- ✓ **Pour les réseaux ATM** : Il s'agit d'une interface qui associe les différents services ATM avec la couche MAC-CPS.
- ✓ **Pour les réseaux à base de paquet** : Il est utilisé pour le mappage de tout protocole à base de paquet, tels que Ethernet, PPP, et les protocoles Internet tels que IPv4, IPv6.

5.2.2 La sous-couche CPS

La CPS fournit les règles et les mécanismes d'accès, l'allocation de la bande passante, et la maintenance de la connexion. Elle reçoit les données des sous couches de convergence. De plus, elle gère également la partie qualité de service (QoS).

5.2.3 La sous-couche PS

La PS est le lien qui réunit la couche MAC à la couche PHY. Elle fournit la sécurité à travers le réseau sans fil à large bande en cryptant la connexion entre la station de base et l'abonné au service. De plus, la PS est utilisée pour l'authentification et l'échange de clefs de sécurité.

6. WiMAX versus WiFi

Grâce à des débits théoriques sept fois supérieurs et une couverture qui s'étend jusqu'à 50 kilomètres là où les bornes WiFi se limitent à quelques centaines de mètres, WiMAX peut, théoriquement, sérieusement concurrencer WiFi.

Pourtant, dans un premier temps, les deux technologies n'ont pas pu faire concurrence. Ce sont deux normes complémentaires : le WiMAX est plus adapté pour le transport alors que le Wifi se destine plus aux réseaux locaux d'entreprise.

En effet, Ces deux normes ne sont pas conçues pour le même usage mais elles sont basées sur le même principe. WiFi est fait pour les réseaux locaux dont les distances s'expriment en centaines de mètres, alors que WiMAX est fait pour les réseaux de plusieurs kilomètres de distance.

L'autre grande différence entre Wi-Fi et WiMAX est que ce dernier est soumis à une licence préalable ; ce qui n'est pas le cas du WiFi (DUCHATEAU, 2005).

Le tableau 4 montre les principales différences entre ces deux normes :

	WiMAX	WiFi
Bande de fréquence licenciée	Oui et Non	Non
Environnement	Optimisé pour extérieur Supporte réseau maillé Supporte Smart Antenna	Optimisé pour intérieur Pas de réseau maillé possible en standard Smart Antenna supportées par norme propriétaire
Couverture	Rayon de 50 Km Point-to-Multipoint Couche PHY et MAC conçu pour plusieurs couvertures	Rayon de 100 m Ad Hoc / infrastructure Couche PHY et MAC conçu pour un rayon de 100 m
Qualité de service	Grant request MAC Supporte vidéo et voix TDD / FDD – symétrique ou asymétrique QoS forcé centrale	Contention-based MAC, QOS non garantie Les standards ne garantissent pas les délais TDD – asymétrique 802.11e propose uniquement l'utilisation des priorités
Performance	Bande passante 10 ou 20 MHz Débit maximum 70 Mbps	Bande passante 20 MHz Débit maximum 54 Mbps
Echelle	Bande passante des canaux choisis par l'opérateur MAC supporte des milliers d'utilisateurs	Canaux larges de 20 MHz MAC supporte des dizaines d'utilisateurs

Tableau 4 : WiMAX Vs WiFi (DUCHATEAU, 2005).

De plus, les fréquences utilisées par WiMAX et Wifi ne sont pas les mêmes.

D'après ces informations, la figure 9 démontre qu'il n'y a pas à priori de concurrence directe entre les normes 802.11 et 802.16 mais qu'elles sont complémentaires et peuvent coexister sans problème.

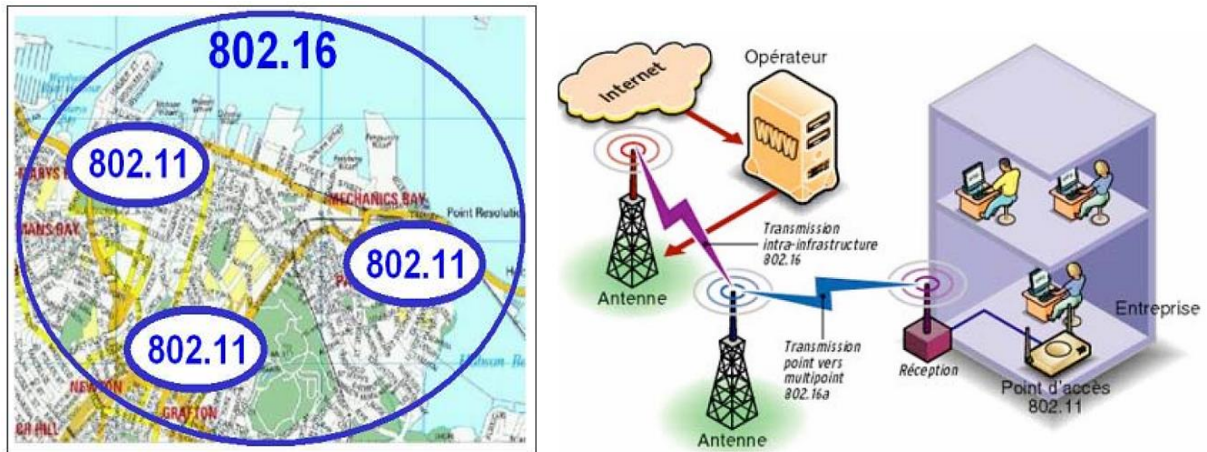


Figure 9 : WiMAX Vs WiFi.

7. WiMAX en Algérie

« *Statut et réglementation* » est le dernier rapport publié par « Arab Advisors Group » qui est un groupe de conseillers, d'analystes et de consultants spécialisés dans les télécommunications, les médias et les marchés de technologie dans le monde arabe.



Ce groupe a publié plus de 500 rapports pour ses 315 clients dont Alcatel, Motorola , National advanced Systems Company, Siemens, Saudi Telecom Company-STC, Sumitomo Corp , Intel GmbH...

Ce dernier rapport de « Arab Advisors Group » est constitué de 20 pages. Il comprend 9 exposés détaillés de la situation de la technologie de WiMax dans 18 pays arabes. Il analyse en détail le futur de WiMAX dans les pays arabes, les fréquences autorisées, les entités qui ont testé cette technologie ainsi que les fournisseurs de cette nouvelle technologie.

D'après ce rapport, l'Algérie est le premier pays qui a profité de cette technologie, depuis le 25 juillet 2005, avec le lancement d'un réseau multiservices RMS. L'œuvre est d'une entreprise privée. Il s'agit de SLC (Smart Link Communication). Autant en Afrique,

qu'en Méditerranée et au Moyen et Extrême-Orient, SLC est l'unique entreprise à fonder son business sur le WiMAX, une technologie d'avenir, prédisent les chercheurs.

Traditionnellement, une nouvelle technologie n'arrive dans les pays du rang de l'Algérie que lorsque son cycle de vie commence à se consumer. Par cette acquisition, notre pays prend les devants grâce à une équipe de chercheurs algériens établis aux Etats-Unis et qui, trouvant le cadre idéal d'investir dans leur pays, n'ont pas hésité à relever le défi d'introduire un procédé novateur. L'entreprise s'est même permise de créer le premier *Département de Recherche et Développement* dans toute la région pour, justement, garder une longueur d'avance sur une concurrence annoncée.

Le nouveau type de réseau avec une intégration illimitée de solutions se déploiera, progressivement, en Algérie. Le Centre et l'Est du pays sont prêts, alors que les travaux d'équipement se poursuivent pour l'Ouest. Jusqu'aux portes du Sud, SLC pourra installer ses relais. Onéreux en termes de coûts, le Grand Sahara sera relié à travers la fibre optique d'Algérie Télécom. Une convention a été signée en ce sens. L'entreprise assure, également, les prestations d'architectures informatiques selon les souhaits des entreprises et leurs spécificités. Pour exemple, l'OPU, l'éducation, les finances, les transports, les universités, l'énergie, les services, entre autres, ont sollicité SLC pour des prestations de réseaux. L'université Mentouri de Constantine est le fleuron de l'application du concept Smart Link. Le Campus central et 19 autres instituts implantés dans la région de Constantine ont été reliés par un réseau Wireless en 70 jours. L'exportation de l'ingénierie a eu lieu vers l'Arabie Saoudite et l'Espagne. En moins de quarante-huit heures, un client est raccordé avec un suivi de qualité, puisque, selon les dires des responsables de SLC, le centre de contrôle peut détecter en temps réel la source d'une panne avec une intervention immédiate des équipes d'ingénieurs.

Les 18 pays arabes couverts par cette analyse sont : l'Algérie, Bahrayn, Egypte, Irak, Jordanie, Koweït, Liban, Libye, Maroc, Sultanat d'Oman, Palestine, Qatar, Arabie Saoudite, Soudan, Syrie, EAU, Yémen et la Tunisie (Arab_Advisors_Group, 2006).

8. Conclusion

Nous avons vu que le WiMAX est une possibilité de connexion radio sans fil et une famille de normes successives, à savoir 802.16a, 802.16c, qui sont obsolètes mais servant de base pour les normes 802.16d, 802.16e, 802.16f. Ces différentes normes possèdent des caractéristiques qui leur permettent de rivaliser, voire supplanter les technologies concurrentes, notamment grâce à certaines propriétés exploitées des ondes radio. De plus, nous avons vu que ce standard possède des techniques de sécurité très élaborées.

Ainsi, la technologie WiMAX présente un certain nombre d'avantages, surtout en considérant les dernières modifications des normes, à savoir les 802.16e et 802.16f. En effet, ces deux spécifications apportent des fonctionnalités jusque là manquantes dans d'autres technologies, comme la mobilité.

La technologie WiMAX est attractive : avec des coûts comparables voire moindres que l'ADSL, elle peut permettre de combler une fracture numérique qui n'aura de cesse de s'élargir à mesure de la montée en débits. Mais elle peut être aussi une opportunité pour de nouveaux acteurs de concurrencer tant les opérateurs DSL que 3^{ème} G. Dans ce cas, elle contribuera à accentuer le caractère très concurrentiel du haut débit.

Bien que cette technologie possède des avantages indéniables, son déploiement reste pour le moment très limité, pour ainsi dire majoritairement expérimental. Un déploiement global pour le grand public est maintenant envisageable relativement rapidement. Les conditions sont réunies depuis l'attribution des licences WiMAX et la certification de matériels par le WiMAX Forum.

Chapitre 2 : La qualité de service dans WiMAX

L'explosion de l'internet et de la multitude de ses usages ont créé des besoins nouveaux pour les utilisateurs des réseaux. Dans le cas des réseaux IP, de nouvelles applications sensibles aux performances des réseaux ont émergé. A titre d'exemple citons :

- La téléphonie sur IP : Selon les statistiques, le nombre d'abonnements à un service téléphonique progresse de 4,0% sur un an grâce à la progression des offres de téléphonie sur IP.
- La diffusion de contenu multimédia : vidéoconférences, vidéo à la demande, radio en ligne ...
- Les jeux en ligne : ils ont existé dès la naissance des réseaux, mais la puissance de calcul disponible actuellement sur les ordinateurs permet de concevoir des jeux toujours plus gourmands en ressources. Les principaux constructeurs de consoles fournissent aujourd'hui des services de jeu en ligne s'appuyant sur internet.

D'autres applications plus anciennes ont été également transférées sur les réseaux IP telles que les fonctions d'administration (contrôle à distance), les applications bancaires ou de bourse, les applications médicales et les applications industrielles.

1. Définition de la qualité de service

Avec cette diversité d'applications, il n'est pas facile de donner une définition globale de la qualité de services (QoS/Quality of Service). Un utilisateur par exemple voudra tout simplement que le service fonctionne correctement alors qu'un autre exigera des performances minimales. Ce terme regroupe des critères différents selon les services et peut parfois être subjectif. Par exemple, pour le transfert de fichier le critère principal de jugement sera la vitesse et la fiabilité. Par contre, pour une vidéoconférence, il faudra des délais de transmission bornés tout en tolérant un faible taux de perte. Pour la visualisation d'un film, il faudra une bonne définition d'image et une bonne vitesse de rafraîchissement. Dans le cas

où l'on souhaiterait effectuer des virements bancaires, on s'intéressera surtout à la fiabilité et la sécurité de la transaction. Pour les jeux en réseaux, une bonne synchronisation entre les machines des différents joueurs est nécessaire. Pour des applications médicales ou industrielles, on s'intéresse plutôt aux délais maximum (délais de bout en bout bornés) et à la fiabilité des échanges. On pourrait probablement trouver encore de nombreux critères en énumérant plus d'applications.

Dans la terminologie réseau, il n'y a pas une définition exacte de la qualité de service, nous présentons ici quelques définitions issues de la littérature :

« Effet collectif de la performance des services, qui détermine le degré de satisfaction d'un utilisateur pour un service »(ITU.T, 1993).

« La qualité de service représente l'ensemble des caractéristiques quantitatives et qualitatives d'un système multimédia distribué nécessaire pour assurer les fonctionnalités requises d'une application »(Vogel, 1995).

« La qualité de service est l'ensemble des qualités reliées au comportement d'un ou plusieurs objets »(ISO/IEC_CD_13236.2, 1995).

« La qualité de service est un ensemble d'exigences de service devant être remplies par le réseau lors du transport d'un flux »(INTERNET_ENGINEERING_TASK_FORCE).

« La qualité de service est la mesure de base qui détermine si oui ou non le fonctionnement d'un système répond aux besoins des utilisateurs »(Malamos, 1999).

2. Les paramètres de la qualité de service

Afin de pouvoir discuter des exigences en termes de qualité de service, on a besoin de définir des critères précis. Les paramètres pertinents peuvent varier selon les environnements et il n'y a pas vraiment de critère universel, mais les paramètres classiquement associés à la qualité de service dans les réseaux sont: la disponibilité, la bande passante, la latence, la gigue et le taux de perte.

2.1 La disponibilité

Décrit la fiabilité du réseau et peut être définie comme un rapport entre le temps où la connexion au réseau est disponible et le temps total d'ouverture théorique du service. En particulier, la disponibilité concerne plus que la simple accessibilité au service. Elle concerne plutôt un niveau de service exploitable par l'utilisateur.

2.2 La bande passante

Est définie comme étant le débit ou la vitesse de transmission des données ou encore le nombre de bits transmis par unité de temps. Elle dépend des supports physiques utilisés et de la capacité de traitement des équipements du réseau traversé.

2.3 Le délai

Est défini comme étant le temps mis par un paquet (ou une information) pour parcourir le chemin entre une source et une destination. Ce paramètre dépend du support physique utilisé, du nombre d'équipements traversés sur le chemin entre la source et la destination, de la taille des paquets des protocoles MAC utilisés et du niveau de partage du réseau.

2.4 La gigue

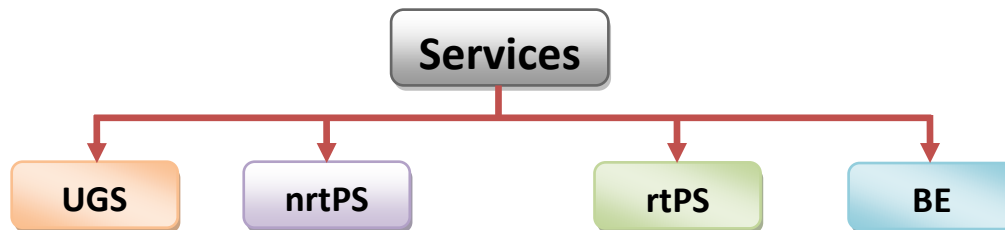
Est définie comme étant la variation des délais entre les différents paquets d'un même flux. Ce paramètre est assez important dans les applications multimédia et temps réel nécessitant une forte synchronisation entre source et destination.

2.5 Le taux de perte

Est défini comme le rapport entre le nombre d'octets émis et le nombre d'octets effectivement reçus. Ce paramètre permet d'avoir une idée sur la capacité de la transmission du réseau (Campedel, 2005).

3. Classes de services du WiMAX

La norme 802.16 a été conçue d'emblée pour offrir différents services à des clientèles différentes. Ainsi quatre classes de services ont été définies selon la qualité de service exigée:



Chaque connexion sur le lien montant (Uplink) est mappée à un service spécifique.

Chaque service est associé à un ensemble de règles imposées par l'ordonnanceur de la BS responsable d'assigner la capacité du lien montant et du protocole requête-concession entre SS et BS. (WAJIH, 2007).

3.1 Unsolicited Grant Services (UGS)

Cette classe de service est utilisée pour transmettre des flux temps réels. La transmission doit s'effectuer avec des trames de taille fixe à intervalle régulier.

3.2 Real-time Polling Services (rtPS)

Cette deuxième classe de service permet la transmission de flux temps réels de taille variable à intervalle régulier. Son utilisation convient très bien pour la transmission de vidéo MPEG.

3.3 Non-Real-time Polling Services (nrtPS)

Cette classe de service permet la transmission de flux qui tolèrent des délais. De plus ces flux contiennent des trames de tailles variables. Seul le taux de transfert minimum est garanti. Ce type de qualité de service convient très bien aux transferts de fichiers.

3.4 Best effort (BE)

Elle ne donne aucune garantie sur l'acheminement des flux de données. Il convient tout de même à certaines utilisations, par exemple la navigation sur internet.

Le tableau 5 résume ces quatre classes de services et leurs types d'applications.

Catégorie	Application	Service
Voice of IP	Skype SIP Phone	UGS
Vidéo conférence	320*240 (H.26L)	UGS
Streaming	Live Audio IPTV	rtPS
File Transfer	FTP, BT, Emule	nrtPS
Web Browsing	HTML, Blog, Dynamic Pages, Flash	BE
Instant Message	MSN , Yahoo Messenger	nrtPS /rtPS
E-mail	Outlook , Web mail	BE
E-commerce	Stock transaction, Online order, Online sell	nrtPS /rtPS
On-line Game	Play in turn or time critical	nrtPS /rtPS

Tableau 5 : Classe de services WiMAX

4. Structure de la trame

La couche MAC est composée de deux trames, l'une pour le lien montant (depuis la station d'abonné vers la station de base) et l'autre pour le lien descendant (chemin inverse) (Fig. 10).

La couche MAC de IEEE 802.16 supporte à la fois TDD (Time Division Duplex) où les liens montant et descendant se partagent le même canal mais ne transmettent pas simultanément, et FDD (Frequency Division Duplex), avec laquelle les deux liens montant et descendant utilisent deux canaux séparés, et peuvent transmettre simultanément.

Une trame montante est séparée de la trame descendante précédente par un intervalle de temps appelé TTG (Transmit Transition Gap) ; elle est séparée de la trame descendante suivante par le RTG (Receive Transition Gap).

La trame descendante commence par un préambule, un FCH (Frame Control Header), une DL-MAP (downlink map) et une UL-MAP (uplink map).

Le FCH spécifie le profile de burst et la longueur des premiers messages : DL-MAP, UL-MAP, UCD (Uplink Channel Descriptor), DCD (Downlink Channel Descriptor).

La DL-MAP indique les transitions physiques dans la trame descendante courante c'est à dire les changements de profiles de burst.

La UL-MAP indique les allocations de ressources pour la prochaine trame montante. Cette carte contient les codes UIUC (Uplink Interval Usage Code) désignant les profils de burst avec lesquels les utilisateurs transmettront.

Si des messages UCD et DCD sont envoyés, ils doivent immédiatement suivre les messages UL-MAP et DL-MAP. Ces messages associent chaque profile de burst à un code DIUC (Downlink Interval Usage Code) et UIUC (Uplink Interval Usage Code).

La trame montante commence par une région de ranging et une région d'acquiescement et d'information canal (CQI, channel quality indicator). Les utilisateurs envoient, durant les slots indiqués par la UL-MAP(CHEN, 2008).

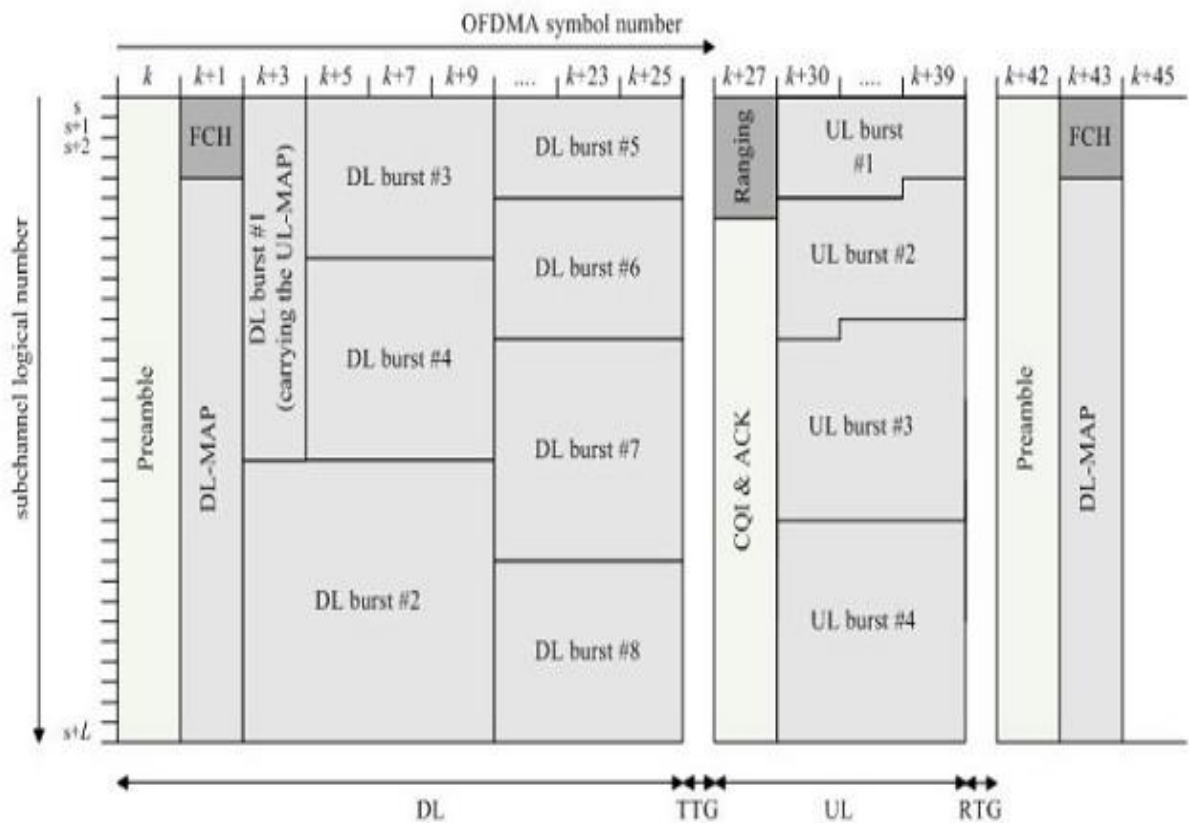


Figure 10 : Structure de la trame (CHEN, 2008)

5. Les échanges au niveau du réseau

Un certain nombre d'étapes sont nécessaires pour pouvoir établir une communication entre une station de base et un abonné. Il sera par exemple nécessaire d'initialiser la station de base et d'établir un lien entre la station de base et la station réceptrice (SCHELL, 2007).

Nous allons voir plus précisément certains de ces échanges.

5.1 L'initialisation de la station de base

5.1.1 Acquisition d'un canal descendant

Lorsqu'une station réceptrice souhaite s'initialiser ou lorsqu'elle vient de perdre le signal, elle doit acquérir un canal descendant.

Pour ceci, elle va dans un premier temps vérifier qu'elle ne possède pas de paramètres qu'elle pourrait utiliser pour acquérir un canal. Si elle possède de telles informations, elle test l'acquisition des canaux qu'elle a utilisés précédemment.

Si pour une raison quelconque l'acquisition d'un canal ne peut pas s'effectuer, la station réceptrice va continuer à scanner le réseau. Elle s'arrêtera uniquement lorsqu'elle aura trouvé un canal valide.

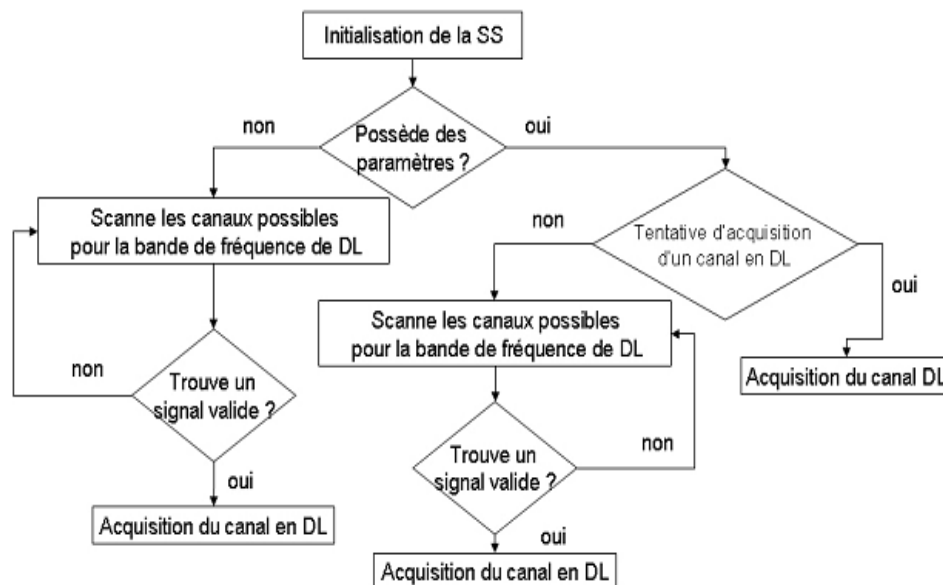


Figure 11 : Schématisation de l'initialisation de la station réceptrice

Ce schéma reprend les différentes étapes évoquées précédemment. Ainsi, nous pouvons voir l'enchaînement des différentes actions à effectuer pour permettre l'initialisation de la station réceptrice.

Rappelons que l'initialisation de la station réceptrice consiste à acquérir un canal descendant.

5.1.2 Synchronisation avec la station de base

La synchronisation entre la station de base et la station réceptrice s'effectue grâce à l'acquisition du préambule. Celui-ci permettra par la suite la lecture du FCH (Frame Control Header) qui fournit les informations nécessaires pour décoder la carte du lien descendant.

La synchronisation est effectuée dès que la station réceptrice reçoit sa première carte du lien descendant. Par la suite, elle sera maintenue aussi longtemps que la station réceptrice reçoit des cartes du lien descendant. Pour ceci, la station réceptrice observe le broadcast périodique (DCD) émis par la station de base. Les messages UCD contenus dans ces broadcast permettent aux stations réceptrices de connaître la modulation et les schémas FEC utilisés par la porteuse.

5.1.3 Obtention des paramètres du canal montant

La station réceptrice doit trouver un canal montant utilisable. Pour ceci, elle attend un message UCD (Uplink Channel Descriptor). Ce type de message est transmis périodiquement par la station de base. Le message UCD contient tous les canaux d'uplink disponibles.

Si la station réceptrice n'a pas trouvé de canal disponible durant un certain temps, elle devra scanner le réseau afin de trouver un autre canal descendant.

Cependant si la station réceptrice a reçu un UCD, elle va en extraire les paramètres d'uplink. Elle va ensuite attendre qu'une carte lui soit fournie pour ce canal. Elle pourra ensuite l'utiliser.

5.2 L'établissement du lien entre la station de base et la station réceptrice

Comme dans la plupart des réseaux, les capacités d'émission et de réception diffèrent entre les équipements. Les équipements doivent pouvoir s'adapter.

Les paramètres transmis dans la transmission initiale sont contenus dans la carte du montant. Par la suite, ces informations seront également présentes dans chaque trame.

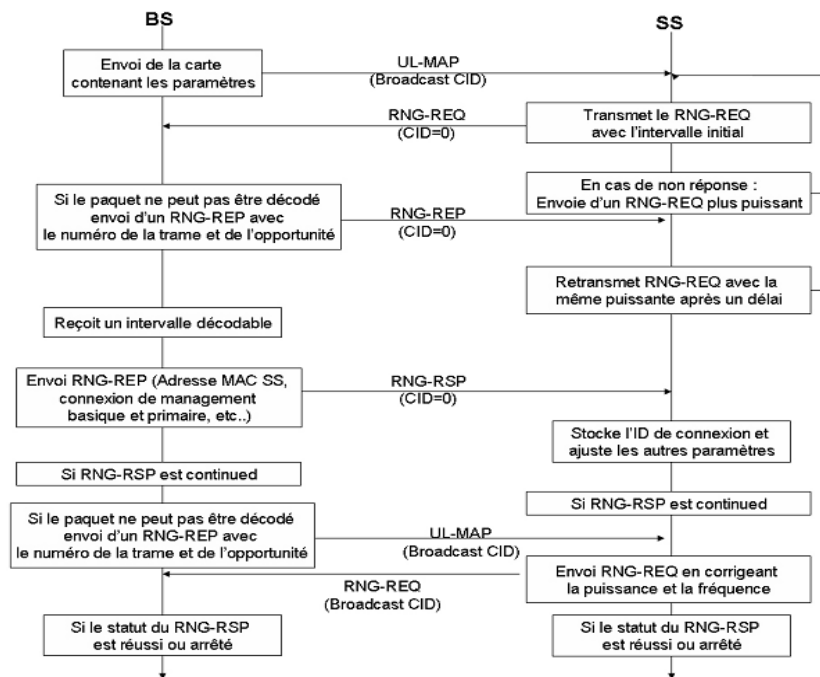


Figure 12 : Schématisation de l'établissement du lien entre la station de base et la station réceptrice

La station émettrice va choisir une puissance d'émission. Si elle n'obtient pas de réponse, elle va augmenter cette puissance jusqu'à obtenir une réponse de la station de base.

Il est possible que la station de base ne soit pas en mesure de décoder certaines informations. Dans ce cas, elle prévient la station réceptrice qui va retransmettre le message sans modifier sa puissance d'émission. Cette retransmission est possible puisque la station de base précise l'identifiant de la trame qu'elle n'a pas réussi à décoder.

Lorsque les échanges se sont bien passés, la station de base transmet les différents paramètres à la station réceptrice. Celle-ci pourra ainsi ajuster les siens.

5.3 L'authentification

La station réceptrice commence à envoyer un REG-REQ, requête d'authentification. Puis elle va attendre de recevoir un REG-RSP, réponse d'authentification.

Si la station de base reçoit le message, elle va émettre un REG-RSP en y ajoutant un message de management secondaire contenant un CID (identifiant de connexion) si la station réceptrice est une station réceptrice de management.

Une station réceptrice de management va ainsi pouvoir établir une connexion de management puis une connexion IP. Au contraire, une station réceptrice basique va initialiser une connexion IP provisionnée.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de mettre en correspondance les trafics et les paramètres de QoS dans les réseaux WiMAX. Nous avons listé les différentes classes de service avec les paramètres de QoS qui contrôlent chacune d'entre elles. Nous avons expliqué l'établissement de connexion entre la station de base(BS) et les autres terminaux(SS) ainsi que le format de la trame échangée.

Nous allons, par la suite, implémenter un réseau WiMAX d'une manière théorique en utilisant la technique de simulation en vu d'évaluer les services de QoS offerts en manipulant les différents paramètres.

Chapitre 3 : Simulation et analyse des résultats

Afin de tester l'application donnée d'un système, une première approche consiste à mettre réellement en œuvre le système. Cette solution est directe et efficace. Cependant, cette technique est coûteuse.

La simulation est une solution qui pallie à cet inconvénient.

Le but des simulations est d'apprécier les contraintes techniques lors du déploiement d'un réseau sans fil, compte tenu des technologies existantes et sans mettre en évidence le coût de celles-ci.

Il existe plusieurs simulateurs à événements discrets permettant de simuler un réseau sans fil tels que **NS2**, **OPNET**, **QualNet**, etc.

Avant de commencer la description des résultats des simulations obtenus pour ce travail, nous pensons nécessaire de décrire les domaines, les outils, les modèles et les hypothèses pris pour mener à bien les expériences de ce travail.

Ainsi, ce chapitre est découpé en deux parties. La première décrit le cadre de simulation à savoir le domaine, les hypothèses, les outils et les modèles utilisés. La seconde étudie la prise en main des outils, les scénarios choisis pour obtenir des résultats intéressants concernant les métriques utilisées en fonction du simulateur NS2.

1. Environnement de simulation

1.1 Choix du simulateur

Il existe plusieurs outils de simulation, citons : NS2 (network simulator 2), Glomosim (global mobile simulator), OPNET, QualNet... etc.

Afin de faciliter le choix définitif d'un simulateur, des aspects peuvent être considérés tels que : la précision des modèles, le passage à l'échelle, la possibilité d'analyser les résultats, etc.

Notre choix s'est porté sur le network simulator NS2 et ceci pour plusieurs raisons qui sont :

- Son modèle libre permet l'ajout très rapide de modèles correspondant à des technologies émergentes, ceci le rend le meilleur logiciel de simulation par événements discrets d'après les spécialistes de télécommunication.
- Le logiciel NS2 est fourni avec une interface graphique (NAM) permettant de démontrer le fonctionnement des réseaux.

Il permet d'étendre le simulateur et de le personnaliser, et il donne une liberté de programmation vu qu'il fournit avec son code source qu'on peut modifier et recompiler autant que l'on souhaite.

1.2 Choix de la plate forme de simulation



Linux

La version standard de NS2 fonctionne sous **linux**. Cependant, elle peut être utilisée sous Windows (à l'aide de l'émulateur **cygwin**(CYGWIN)), mais ce choix est déconseillé à cause de la difficulté de l'installation et à l'exécution lente.

Notre choix s'est porté sur la plate forme **linux** pour la simple raison que NS2 est nettement plus facile à installer et à configurer sous linux. Nous avons réalisé les simulations sous Linux Mandriva 2008, en utilisant la version NS-allinone-2.31.

2. Présentation de NS2

1. Définition

Network Simulator est l'un des outils de simulation les plus populaires au sein de la communauté scientifique. Il a été développé par le département des techniques informatiques à l'université de Berkeley en Californie depuis la fin des années 80.

NS-2 offre un moteur de simulation de réseaux permettant à l'utilisateur de décrire un réseau et de simuler des communications entre ses différents nœuds.

Il s'agit d'un simulateur d'événements discrets orienté objet écrit en C++ avec une interface utilisateur en OTCL (Object Tool Command Language).

À travers ces deux langages, il est possible de modéliser tout type de réseau et de décrire les conditions de simulation : la topologie du réseau (LAN, sans-fil, etc.), les caractéristiques des liens physiques, le type de trafic qui circule, les protocoles utilisés, les communications qui ont eu lieu, etc(NS2).

2. Historique

NS2 est un simulateur à événements discrets développé dans le but de recherche. Il est orienté objet, et il est fourni avec des outils d'analyse complémentaires écrits en C/C++ ou TCL/Tk. NS2 fournit un environnement permettant de réaliser des simulations entre des protocoles IP, TCP, routage et des protocoles multicast dans les réseaux filaires ainsi que dans les réseaux sans fil, avec un support de mobilité des nœuds. Network Simulator 2 a été originellement développé en tant que variante du "REAL network simulator" en 1989, et a considérablement évolué au cours des années. En 1995, NS-2 était développé par le projet VINT (collaboration des chercheurs à UC Berkeley, LBL, USC/ISI et Xerox PARC). Actuellement, son développement est supporté par le DARPA à travers SAMAN et par la NSF à travers CONSER, tout en incluant de nombreuses contributions extérieures, comme en particulier les codes pour les réseaux sans fil des projets Daedalus de l'UCB et Monarch de la CMU et de Sun Microsystems.

Le point fort de cet outil est de pouvoir intégrer de nouvelles fonctionnalités et de mettre à jour sa bibliothèque, chaque année, une nouvelle version de NS-2 apparaît.

Nous avons choisi de simuler avec ce logiciel les différentes classes de service qui gèrent la QoS dans le WiMAX. Par défaut la version récente (2.31) de NS2 n'implémente pas la norme 802.16.

3. Les phases de simulation

La simulation avec NS-2 passe en général par trois phases :

- **Définition de la topologie du réseau** : on crée les nœuds, avec les caractéristiques de chacun, ainsi que les liens entre les nœuds. On peut définir sur chaque lien, le délai, la bande passante, le fait qu'il soit simplexe ou duplexe et le type de file d'attente se trouvant à son extrémité.
- **Spécification du scénario de la simulation** : l'utilisateur spécifie les différents agents de la communication qui vont agir pendant la simulation. Il spécifie aussi la succession des différentes opérations (à l'instant t_1 , envoi des données ; à l'instant t_2 arrêt d'émission).
- **Exploitation des résultats** : cette dernière phase consiste en un recueil des statistiques de la simulation. Ces dernières peuvent être exploitées directement par NS-2 en faisant appel aux outils qui l'accompagnent, ou bien elles seront archivées pour une utilisation ultérieure par d'autres outils de traitements statistiques.

4. Implémentation du module QoS-WiMAX

Le module WiMAX proposé est originellement développé par le laboratoire **Networks & Distributed Systems Laboratory (NDSL)** à l'université **Chang Gung** de **Taiwan** en 2006(NDSL).

En NS2, beaucoup de protocoles sont implémentés, mais la norme IEE 802.16 ou le WiMAX n'est pas encore supporté. Le module NDSL basé sur le standard IEEE 802.16 avec le mécanisme (PMP : Point to Multipoint) comprend tous les fonctions fondamentales et les services spécifiques de la sous couche de convergence (CS), la sous couche commune (CPS) et la couche physique (PHY). Ainsi tous les paramètres de la qualité de service ont été implémentés (UGS, rtPS, nrtPS, et BE). Un simple mécanisme de contrôle d'admission (CAC) et d'ordonnancement est inclus dans ce module.

Voici un schéma représentant la relation entre les objets du module WiMAX et les objets existants de NS2 :

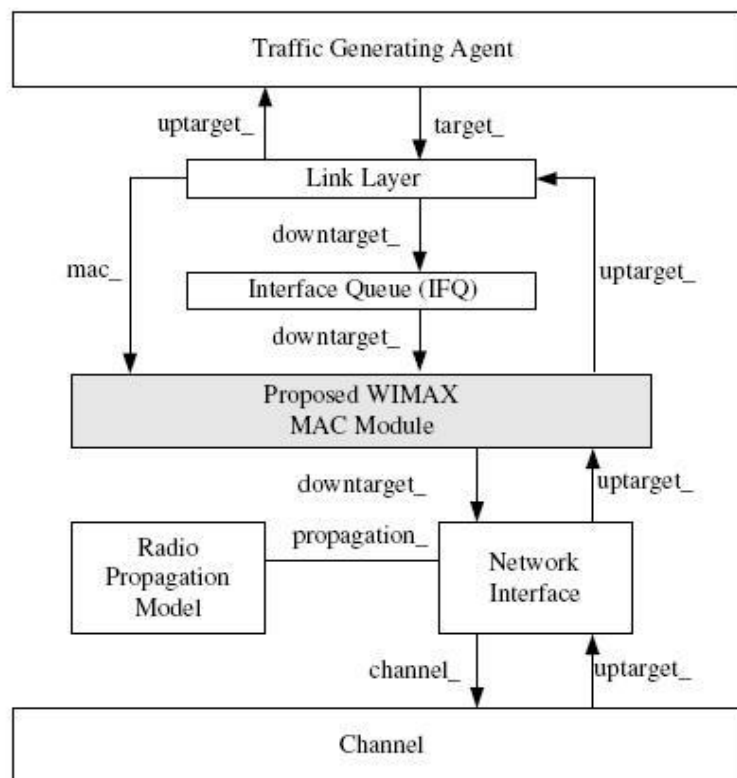


Figure 13 : La relation entre les objets du module WiMAX et les objets existants de NS2 (NDSL)

La version utilisée de NS est ns-allinone-2.31, pour implémenter ce module WiMAX, il y a lieu de suivre les instructions suivantes :

- ✓ Télécharger la dernière version [du ns-2 WiMAX module](#).
 - ✓ Décompresser l'archive qui contient les fichiers : mac-802_16, common, et queue.
 - ✓ Mettre le répertoire "mac-802_16" dans /home/"votre compte"/ns-allinone-2.31/ns-2.31/mac.
 - ✓ Mettre les fichiers qui sont dans "common" et "queue" respectivement en /home/"votre compte"/ns-allinone-2.31/ns-2.31/common et /home/"votre compte"/ns-allinone-2.31/ns-2.31/queue.
 - ✓ Modifier le fichier Makefile :
- Ajouter ces lignes après "mac/mac-802_3.o" dans le Makefile:

```
mac/mac-802_16/packet-802_16.o \  
mac/mac-802_16/timer-802_16.o \  
mac/mac-802_16/mac-802_16.o \  
mac/mac-802_16/traffic/UGS_traffic.o \  
mac/mac-802_16/traffic/ertPS_traffic.o \  
mac/mac-802_16/traffic/rtPS_traffic.o \  
mac/mac-802_16/traffic/nrtPS_traffic.o \  
mac/mac-802_16/traffic/BE_traffic.o \  

```

- ✓ Exécuter "make clean" puis "make" pour compiler.

5. Présentation du fichier trace

Après avoir exécuté une simulation à partir d'un fichier TCL décrivant le scénario, NS2 génère des résultats sous la forme d'un fichier texte décrivant précisément l'avancement des paquets au sein du réseau de la simulation.

Le fichier trace est un fichier qui retrace tous les événements qui se sont déroulés pendant la simulation à savoir émission, réception, perte d'un paquet ainsi que le passage des paquets par les différentes couches du modèle TCP/IP.

Il existe deux formats de fichier trace, ancien et nouveau(LISCIVIOUS, 2005), voici d'ailleurs un fragment de fichier trace : une ligne de celui-ci :

```

s 2.000000000 _13_ AGT --- 50 UGS 210 [0 0 0 0] ----- [13:0 0:12 32 0]
s 2.000000000 _45_ AGT --- 51 UGS 210 [0 0 0 0] ----- [45:0 0:44 32 0]
s 2.000000000 _47_ AGT --- 52 UGS 210 [0 0 0 0] ----- [47:0 0:46 32 0]
r 2.000000349 _19_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000349 _19_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000498 _10_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000498 _10_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000500 _40_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000500 _40_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000516 _16_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000516 _16_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000547 _24_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000547 _24_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000657 _2_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000657 _2_ MAC --- 0 UCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]
r 2.000000662 _21_ MAC --- 0 DCD 24 [0 0 ffff0000 0] ----- [0:0 0:0 0 0]

```

Figure 14 : Fichier trace ancien

Les champs les plus importants de chaque ligne du fichier trace ancien format sont les suivants (FORMAT, 2009):

Exemple :

```
s 76.000000000 _98_ AGT --- 1812 cbr 32 [0 0 0 0] ----- [98:0 0:0 32 0]
```

S	76.00000000	98	AGT	1812	cbr	32	[0 0 0 0]	[98:0 0:0 32 0]
---	-------------	----	-----	------	-----	----	-----------	-----------------

- **Type d'événement :**

La première colonne prend les valeurs suivantes :

S : send (envoyé).

d : drop (perdu).

r : receive (reçu).

f : forward (relayé).

- **Temps :**

La deuxième colonne prend le temps, le moment où l'action s'est passée

- **Ou:** le nœud où l'action s'est passé

- **Couche :** La 4eme colonne prend type de couche

MAC : couche mac qui correspond à la couche 1 du modèle TCP/IP.

RTR : pour dire routeur, qui correspond à la couche 2 du modèle TCP/IP.

AGT: pour dire Agent qui correspond à la couche 3 du modèle.

LL : pour dire couche de liaison (ARP).

IFQ : pour dire paquet de la file d'attente sortante.

PHY : pour dire couche physique.

- **SEQNO:** le numéro de séquence du paquet

- **Type :** le type de paquet.

- **Taille:** la taille du paquet à la couche en cours,
[abcd]: Les informations suivantes concernent les paramètres de la couche MAC :
 - **a** : duration.
 - **b** : adresse Ethernet de la source.
 - **c** : adresse Ethernet de la destination.
 - **d** : type d'Ethernet.
- **[.....]:** Contenu de l'information du paquet au niveau **IP** [
IP du nœud source : Numéro port de nœud source
IP du nœud destination (-1 signifie diffusion): Numéro port de nœud destination
Nombre de sauts maximum du paquet
IP de la prochaine hop (0 signifie nœud 0 ou diffusion)]

3. Présentation de NAM (NETWORK ANIMATOR)

Il est utilisé pour visualiser et interpréter les données fournies à travers le fichier <<trace>> et donner un compte-rendu graphique. NAM est basé sur TCL/TK (Tool Command Language/ToolKit) qui est une extension de langage TCL pour la gestion graphique (HORLAIT, 1999).

NAM permet également de donner une représentation graphique du réseau décrit dans le fichier de simulation TCL tout en animant les liens entre les différents nœuds de réseau. Le modèle théorique de NAM a été non seulement créé pour lire un large ensemble de données d'animation, mais aussi suffisamment extensible pour être utilisé quelque soit le type de réseau simulé (fixe ou mobile ou mixte), ce qui permet de visualiser tout type de situation possible.

Les champs les plus importants du << nam trace >> sont :

- **Les caractéristiques de chaque nœud:** Le premier champ aura la valeur <<n>>, et les suivants auront les valeurs ci-dessus :
 - **t** : Time (time)
 - **a** : adresse(int)
 - **s** : Id nœud(int)
 - **x** : X abscisse (double)
 - **y** : Y abscisse (double)
 - **z** : Z abscisse (double)

- **u** : X vitesse (double)
- **v** :forme (cercle ,carré, hexagone)
- **c** : couleur
- **z** :taille nœud (double)
- **V** :Y vitesse (double)
- **i** : couleur étiquette.
- **b** :étiquette (string).
- **o** : couleur précédente

• *Pour les lignes qui concernent les paquets :*

Les premiers champs donneront le type de paquet :

- r** : reçu **d** : perdu **+** : enfilé **-** : défilé **h** : relayé
- **t** : time
- **d** : ID de la destination(int)
- **c** : conversation(string)
- **a** : couleur des paquets (int)
- **i** : ID (int)
- **s** :ID de la source (int)
- **l** :energie(int)
- **x** :commentaire
- **p** :type de paquet (string)

Voici une petite partie d'un fichier trace NAM :

```
+ -t 8.779473810 -s 39 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC |
- -t 8.779473810 -s 39 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
h -t 8.779473810 -s 39 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
+ -t 8.779473810 -s 1 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
- -t 8.779473810 -s 1 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
h -t 8.779473810 -s 1 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
+ -t 8.779473810 -s 49 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
- -t 8.779473810 -s 49 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
h -t 8.779473810 -s 49 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
+ -t 8.779473810 -s 38 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
- -t 8.779473810 -s 38 -d 0 -p UGS -e 224 -c 2 -a 0 -i 0 -k MAC
```

Figure 15 : Fichier trace NAM

On peut démarrer NAM en utilisant la commande (**nam < nom du fichier >**) ou **< nom du fichier >** est le nom du fichier trace NAM généré par NS.

Le schéma suivant montre une fenêtre NAM avec les principales fonctions qui s'y trouvent.

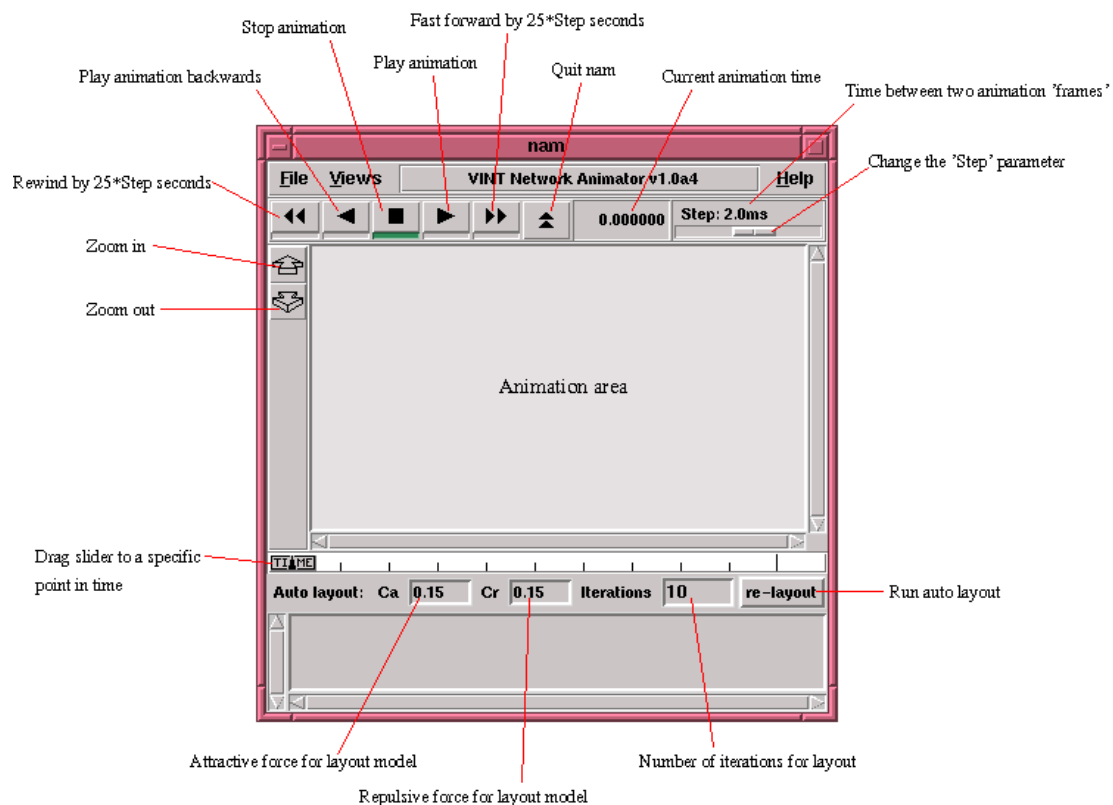


Figure 16 : NAM

4. Trace Graph

Les résultats obtenus avec NS2 se présentent sous la forme de fichier texte décrivant précisément l'avancement des paquets au sein du réseau de la simulation. En effet, chaque ligne représente un paquet envoyé ou reçu par un nœud du réseau.

Pour être exploitables, ces informations doivent être traitées par un filtre qui analyse chaque ligne du fichier pour donner des informations interprétables. NS2 ne propose pas ce filtre et l'utilisateur est libre de choisir le programme approprié pour lire le fichier texte. Nous avons choisi d'utiliser Trace Graph.

Trace Graph est un logiciel libre capable de créer des graphiques à partir des résultats d'une simulation sous NS2. Trace Graph utilise les bibliothèques de Matlab 6.5.

Développé par Jaroslaw Malek au sein de l'université de technologie de Wroclaw, le programme Trace Graph est un logiciel capable d'analyser des fichiers de trace provenant de Network Simulator 2 et tourne sous Windows, Linux et UNIX. Trace Graph supporte une

bonne partie des fichiers de trace de NS2, notamment les informations pour réseaux câblés, les satellites, les réseaux sans fil et les réseaux hybrides.

A partir de ces données, Trace Graph peut dessiner des graphiques coloriés en deux dimensions ou en trois dimensions et supporte des scripts pour prétraitement. Par exemple, Trace Graph peut afficher les délais, les gigue, le temps de traitement, le Round Trip Time, le nombre de nœuds intermédiaires, les débits et des informations statistiques et ce tant pour chacun des nœuds que pour le réseau analysé tout entier(TRACEGRAPH, 2009).

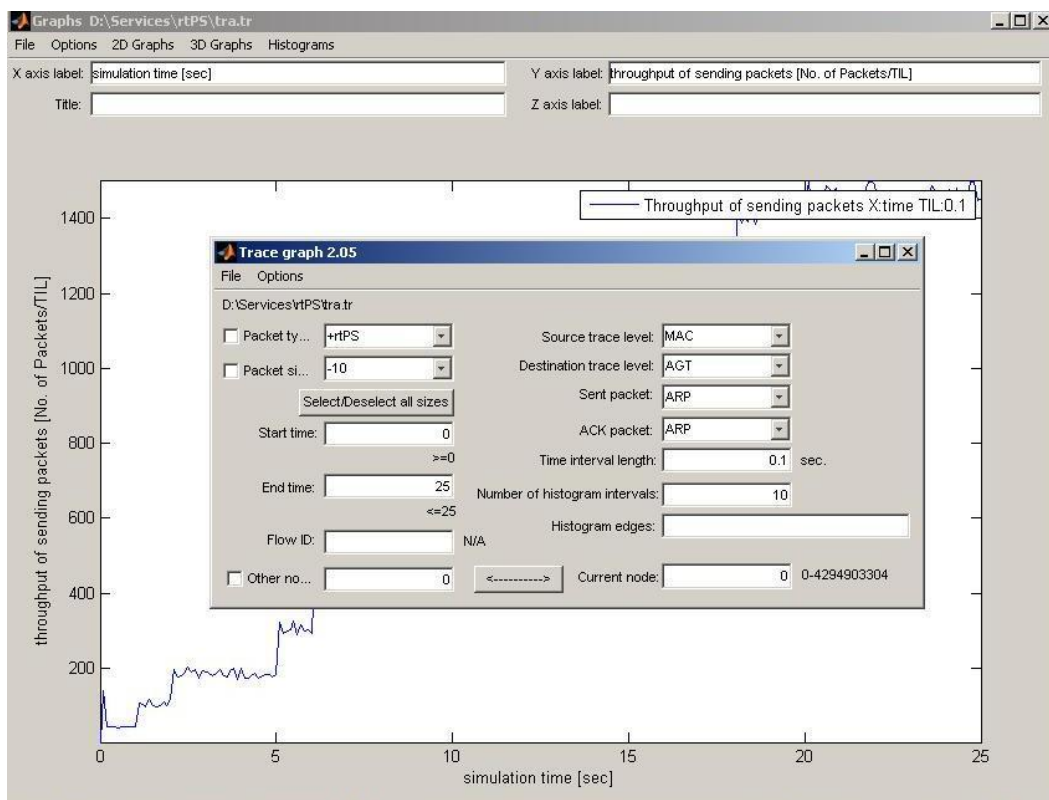


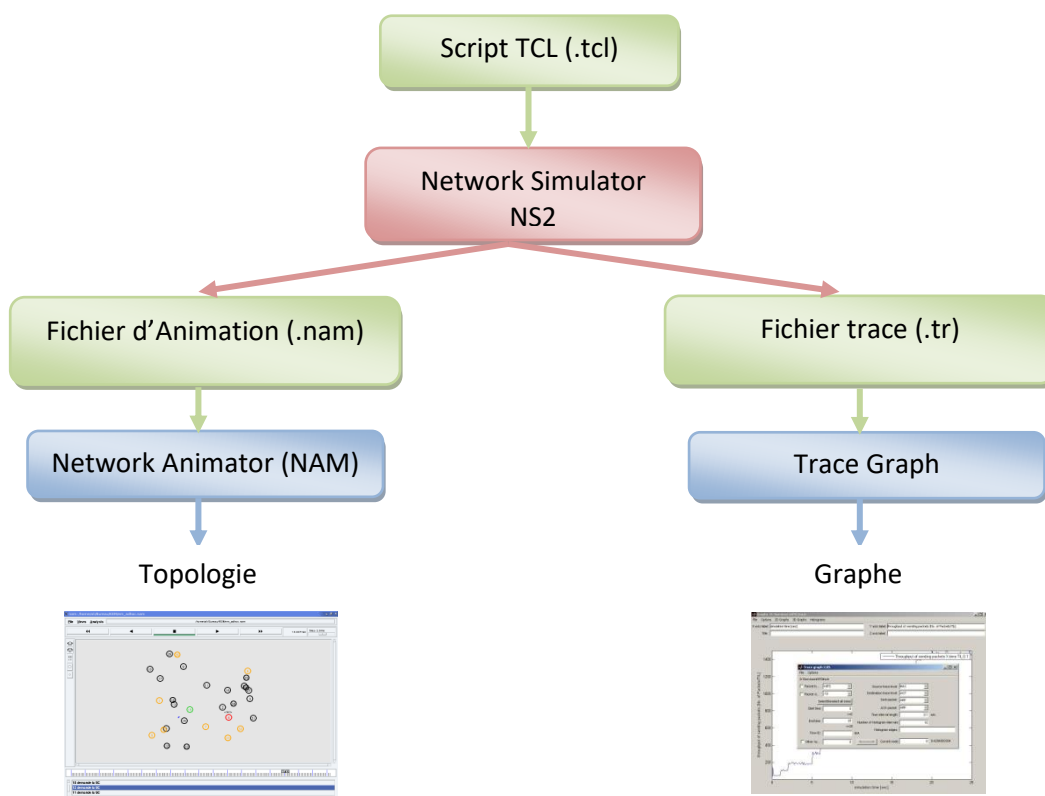
Figure 17 : Trace Graph

5. Flot de simulation

Jusqu'ici, nous avons présenté les différents outils permettant la simulation complète d'un réseau. Dans ce qui suit, nous vous présentons la démarche à suivre pour utiliser ces outils :

A travers OTCL, l'utilisateur décrit l'environnement de la simulation : la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés...etc. Cette description n'est rien qu'un ensemble de commandes écrites dans un fichier texte, appelé « script ».

NS2 interprète le script OTCL et exécute la simulation. Les résultats obtenus (fichier trace et fichier NAM) peuvent être visualisés avec l'outil NAM (NETWORK ANIMATOR), et analysés à partir des courbes tracées par l'outil TraceGraph (un traceur de graphes).



Dans cette partie, nous avons présenté le mode de fonctionnement de l'outil de simulation employé pour l'accomplissement de notre application, à savoir NS2.

Nous avons également essayé d'éclaircir la notion de fichier trace et ce en expliquant le rôle de chacun des champs qui le constituent. Enfin, nous avons donné un aperçu général sur les Logiciels utilisés pour l'interprétation des résultats : NAM pour la visualisation graphique, et TraceGraph pour le traçage des courbes. Il ne nous reste plus qu'à passer à l'étape de la réalisation.

La partie suivante donnera alors des explications détaillées sur les procédures utilisées dans notre programme afin de simuler notre application.

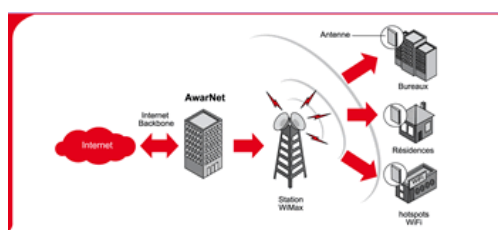
Dans la deuxième section de ce chapitre, nous allons présenter les programmes et définir l'ensemble des paramètres de simulation.

6. Contexte de la simulation

La technologie WiMAX est déjà lancée en Algérie dans trois Wilayas : Alger, Blida et Boumerdes, dans le but de développement de l'internet à haut débit par l'opérateur historique de téléphonie Algérie Telecom. Ce dernier continue à améliorer ses services afin d'élargir le WiMAX dans les autres Wilayas.

La simulation va porter sur un réseau constitué par notre université et ses différents sites implantés à Laghouat. Ainsi, la station de base sera installée à l'intérieur du périmètre géographique de l'université Amar Telidji .

Le réseau, une fois établi, va être géré et administré par le centre de calcul. Ses clients seront tous les départements (Informatique, Biologie, Mécanique, etc.) ainsi que les annexes telles que la faculté des sciences économiques (ex ITE) et l'institut de musique. Ce réseau va faciliter l'interconnexion et la communication entre les différentes structures de l'université permettant ainsi de partager tous les services offerts par cette nouvelle technologie, et aussi la connexion haut débit à l'Internet.



Nous avons proposé de simuler le réseau WiMAX sur une zone de (1500 m x 1500 m) représentant l'administration de l'université, avec une seule station de base d'une portée allant jusqu'à 30 Km et une capacité de 20 stations clients représentant les différents départements et annexes.

7. Description des scenarios

Notre travail consiste à :

- Modéliser et simuler 4 scenarios, chaque scénario pour chacun des services de WiMAX
 - Scenario 1 pour le service BE
 - Scenario 2 pour le service nrtPS
 - Scenario 3 pour le service rtPS
 - Scenario 4 pour le service UGS
- Etudier et mesurer la QoS avec les trois métriques (bande passante, délai et le taux de perte) et d'évaluer des performances entre eux.

Dans cette partie, nous définirons les paramètres et la configuration nécessaire pour le réseau.

7.1 Paramètres de simulation

- **Topographie de simulation** : c'est l'intervalle maximal utilisé par les nœuds pendant leurs mouvements, donc nous avons choisi une surface de (1500m x 1500 m).
- **Le temps de simulation** : c'est le temps total de simulation d'un scenario. Pour notre simulation la durée de simulation est fixée à **25** secondes.

7.2 Paramètres du réseau WiMAX

<i>Paramètres</i>	<i>Significations</i>
Channel/WirelessChannel	Type de canal
Propagation/TwoRayGround	Modèle de propagation radio
Phy/WirelessPhy	Type de l'interface réseau
Mac/802_16	Support de wireless
Queue/DropTail/PriQueue	Type de la couche liaison
LL	Type de la couche liaison
Antenna/OmniAntenna	Type de l'antenne
DSDV	Protocole de routage
50	Taille de la queue
20	Nombre de nœuds mobiles

Tableau 6 : Paramètres d'un réseau WiMAX

Le protocole IEEE 802.16 est utilisé comme protocole d'accès au medium.

Le type de gestion de la file ou queue en chaque nœud est « Drop Tail ». Dans ce type de gestion de files, les paquets venant de différents flots sont traités comme étant de même ordre de priorité (selon le principe FIFO). Le nombre maximum des paquets dans le tampon de station de base est de 50 paquets

7.3 Modèle de propagation

Dans NS2, trois modèles de propagation sont implémentés : free space, Shadowing, Two ray ground. Dans notre simulation, le modèle two ray ground est choisi comme modèle de propagation. Ce modèle est devenu un standard dans la recherche sur les réseaux mobiles.

Les Nœuds : nombre de nœuds dans la simulation est égale 20, le placement des nœuds se fait par l'intermédiaire d'une variable RandomVariable/Uniform.

```
• ...  
• set size_ [new RandomVariable/Uniform]; # Variable Random uniforme  
• $size_ set min_ 1; # Valeur minimum  
• $size_ set max_ 1500; # Valeur maximum  
•
```

```
set X [expr round([$size_ value]); # Position X en random sur la grille  
set Y [expr round([$size_ value]); # Position Y en random sur la grille  
$node_($i) set X_ $X; # Position X du noeud sur la grille  
$node_($i) set Y_ $Y; # Position Y du noeud sur la grille
```

7.4 Protocole de routage

Le protocole de routage permet de définir les chemins entre les nœuds pour échanger des messages. On a choisi un protocole déjà implémenté sur NS2, ce protocole est DSDV Destination Sequence Distance Vector (Protocole de routage à destination dynamique et vecteurs de distance séquencés), il est caractérisé par :

- Protocole proactif
 - Établir des tables de routage par l'échange régulier de messages de contrôle
 - Des tables de routage dynamiques permettent de tracer la route optimale
- Repose sur un vecteur de distance
 - L'une des destinations possibles
 - Le nombre de sauts pour y parvenir
 - Le nœud voisin à traverser

Le choix de ce protocole est basé sur la structure de WiMAX, car ce dernier existe en deux modes : mode point à multipoints (c'est le cas de notre simulation) et mode maillé. Les caractéristiques du mode maillé exigent aussi le choix de ce type de protocole.

7.5 Configuration de la station de base

Paramètres	Significations
BStation set X_ 500	X Coordonnée de station de base dans la surface de simulation
BStation set Y_ 500	Y Coordonnée de station de base dans la surface de simulation
RXThresh	=2.025e-12 # Seuil du signal transmis de la station de base
CSThresh	[expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]; ;# Seuil de detection de porteuse

Tableau 7 : Configuration de la station de base

7.6 Modèle de Trafic

Nous avons utilisé des applications qui sont des sources de trafic de type CBR (Constant Bit Rate) et qui émettent des paquets à intervalles réguliers. Ces sources de trafic modélisent la couche application sur des agents de transport UDP. L'utilisation de ce protocole permet d'éviter d'avoir à gérer le contrôle de flux qui amènerait à une analyse plus complexe des résultats. Donc les paramètres sont :

- Les paquets sont de taille **1000 octets**.
- Le débit utilisé est **2 Mb/s**.
- Le lancement des applications est fait aléatoirement par l'intermédiaire d'une variable *RandomVariable/Uniform*

```
• ...  
• set time_ [new RandomVariable/Uniform]; # Variable Random uniforme  
• $size_ set min_ 1; # Valeur minimum  
• $size_ set max_ 20; # Valeur maximum  
•
```

- Donc le lancement des applications se fait entre intervalle **1** seconde et **20** secondes, par la formule suivante :

```
$ns at [expr round([$time_ value])] "$cbr($i) start"
```

- Toutes les applications se terminent au temps égal à **25** secondes, dont la formule :

```
$ns at 25.0 "$cbr($i) stop"
```

8. Analyse et discussion des résultats

Il est important de fixer les critères que l'on va prendre en considération pour garantir une QoS. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés essentiellement aux trois métriques qui sont : la bande passante, le délai de bout en bout et le taux de paquets perdus.

Les statistiques et les graphes présentés ci après sont obtenus par **TraceGraphe**.

Les interprétations et discussions des résultats vont être organisées par métrique et par service comme suit :

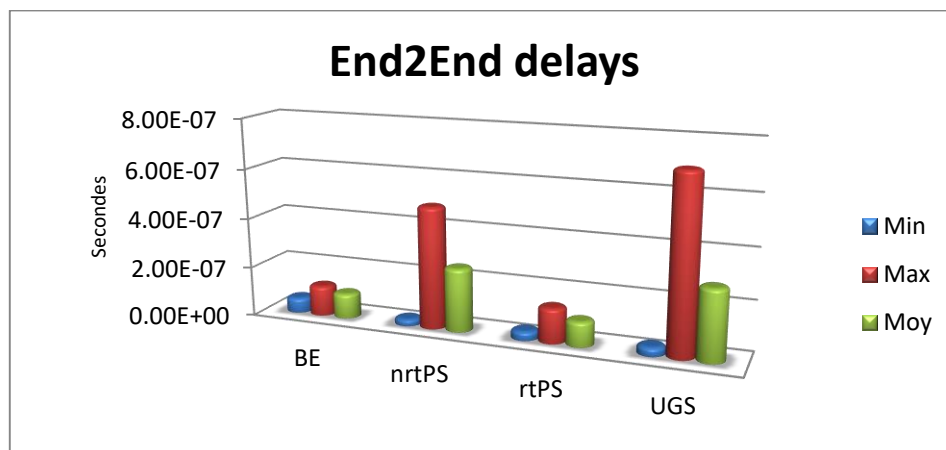
8.1 La métrique / Délai de bout en bout

Le délai de bout en bout est la somme des délais de propagation, de transmission et d'attente dans les files des stations de bases.

Les délais obtenus à partir de la simulation sont présentés dans la table suivante :

Service	BE	nrtPS	rtPS	UGS
Délai Min	6,10E-08	2,70E-08	3,60E-08	3,50E-08
Délai Max	1,22E-07	4,88E-07	1,40E-07	6,97E-07
Délai Moy	1,02E-07	2,56E-07	1,00E-07	2,83E-07

Tableau 8 : La métrique délai de bout en bout



Graphe 1 : Délai de bout en bout

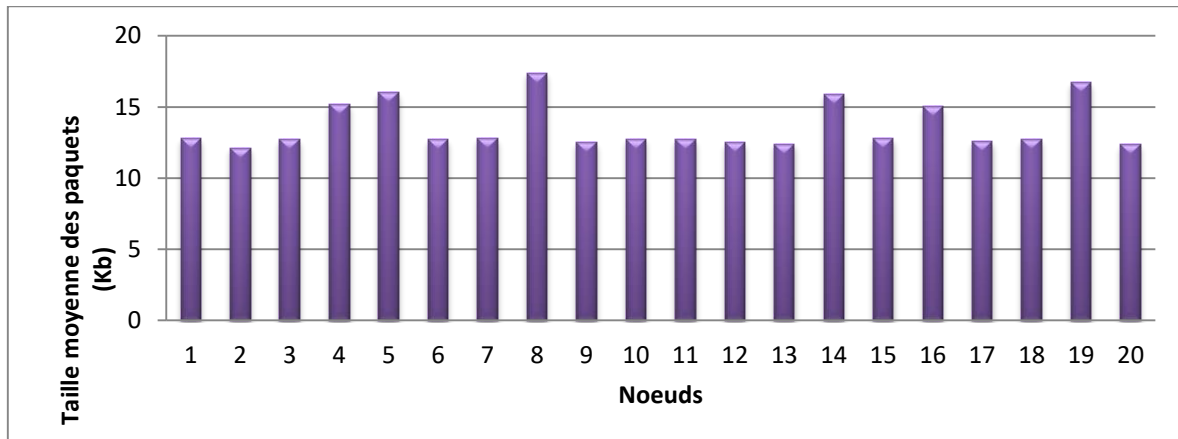
Les résultats concernant cette métrique ne permet pas la comparaison des performances des différents services vu l'incompatibilité des mesures telle que la taille des paquets, on a qu'à lire les résultats pour chaque service à part.

D'une vue générale, on remarque que les représentations graphiques de tous les délais se ressemblent deux à deux (BE avec rtPS et nrtPS avec UGS).

- Pour les services BE et rtPS, les valeurs des délais Min, Max et Moy sont plus proches les une des autres ce qui signifie une petite variation de délai, cela montre que les tailles des paquets sont presque identiques.
- Pour les services nrtPS et UGS, les valeurs des délais Min, Max et Moy sont plus éloignées les une des autres ce qui donne une grande variation de délai, cela signifie la variation des tailles des paquets utilisés. Le délai Max dans le service UGS est supérieur aux autres, ce qui signifie qu'il supporte des paquets de grandes tailles.

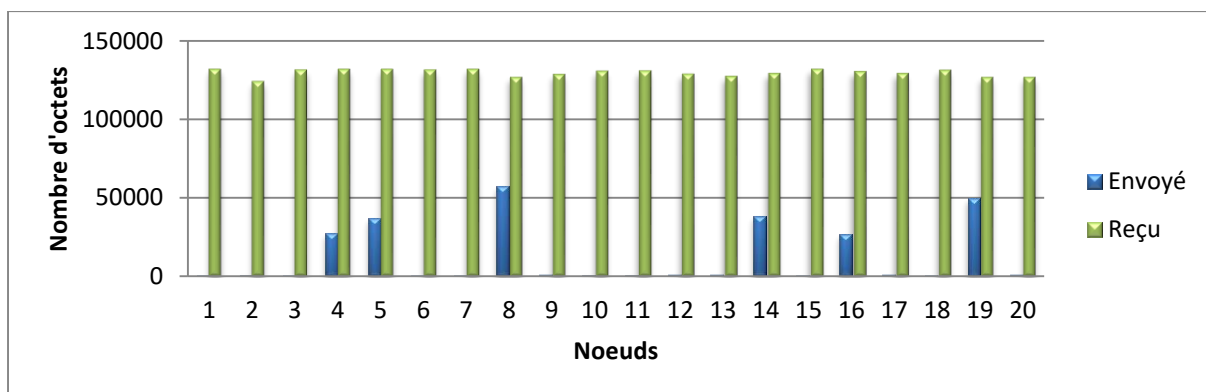
8.2 La métrique / La bande passante

8.2.1 Service BE



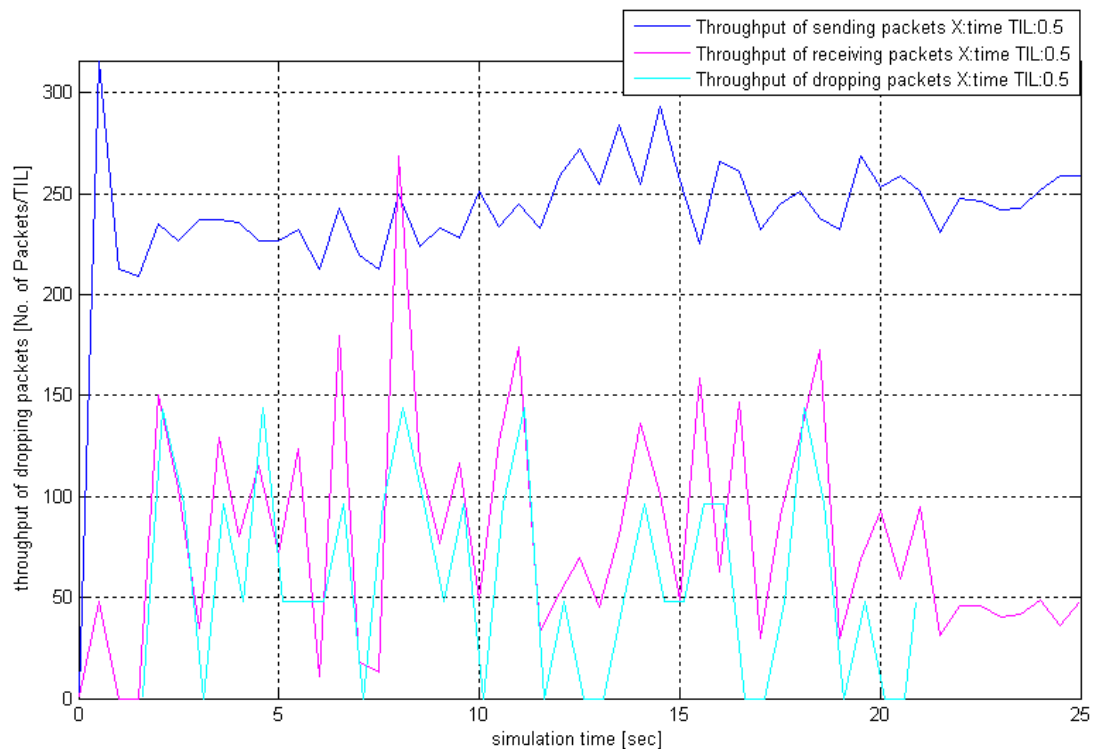
Graphe 2 : Taille de paquet en moyenne par nœud

Cet histogramme présente les tailles moyennes des paquets pour 20 stations pendant toute la durée de simulation. On remarque qu'elle varie entre 12 Kb et 18 Kb. Ceci montre que le service BE essaye de satisfaire tous les membres, alors qu'il partage l'information entre les stations en toute équité.



Graphe 3 : Nombre d'octets envoyés et reçus

L'historgramme ci-dessus évalue le nombre d'octets envoyés et reçus pour 20 nœuds pendant toute la durée de la simulation. On constate que le nombre d'octets reçus varie légèrement entre 120 000 octets et 130 000 octets. Ce dernier est nettement supérieur au nombre d'octets envoyés qui sont parfois très réduits. Cela signifie que malgré que les nœuds envoient des requêtes de demande de données (télécharger à partir d'un serveur) ou même pour les simples navigations, ils ne reçoivent aucun privilège ou priorité pour la réception.

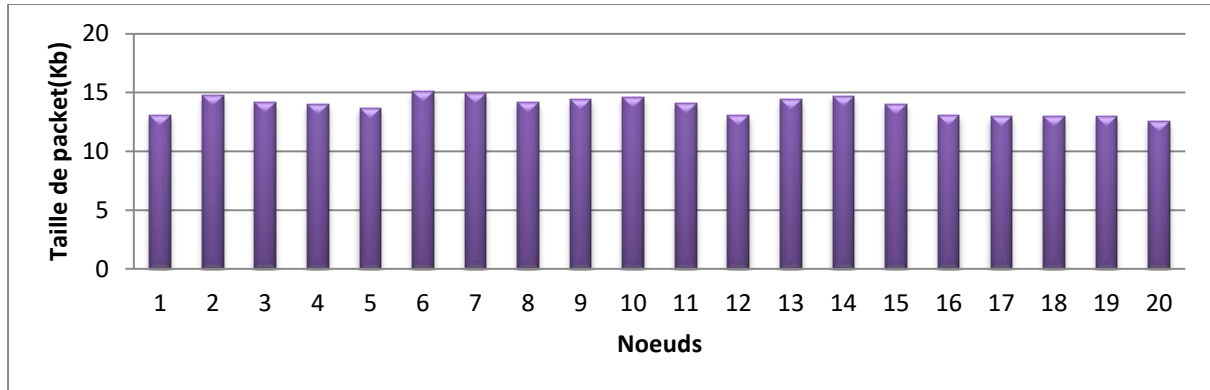


Grphe 4 : Bande passante de paquets

Ce graphique montre l'évolution de la bande passante pour les paquets envoyés, reçus, et perdus pour le type de flux BE pendant toute la durée de simulation. Concernant le nombre de paquets envoyés, il atteint une valeur max = 315 paquets à $t = 0.5$ s, cette valeur diminue directement arrivant à la valeur 210 paquets à $t = 1.6$ s, et continue à varier entre les deux valeurs 210 et 280 paquets jusqu'à la fin de la simulation.

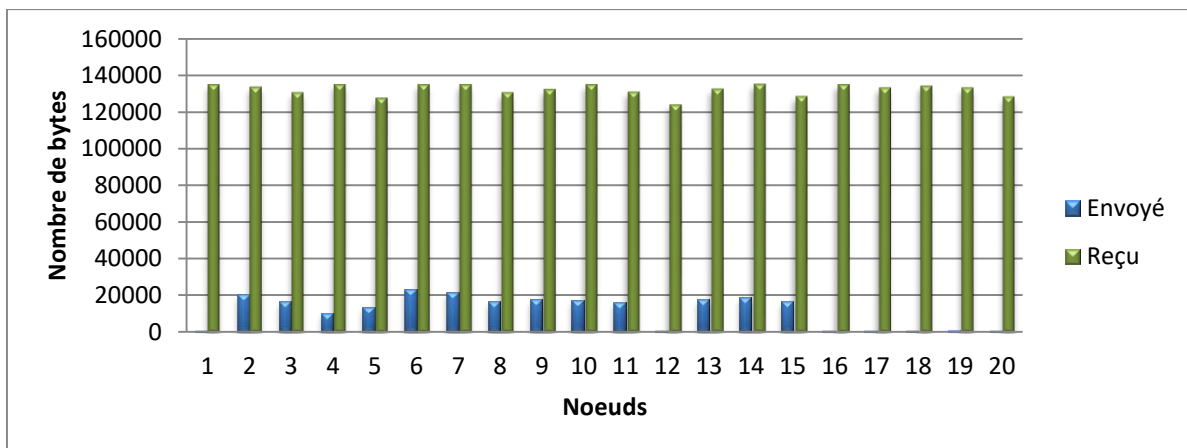
Cependant, la courbe des paquets reçus ainsi que la courbe des paquets perdus sont presque parallèles et situées nettement en dessous de la courbe des paquets envoyés. Ce parallélisme des deux graphes montre que le nombre des paquets reçus est presque le même que celui des paquets perdus. Le débit du flux perdu n'est pas négligeable vu la position du graphe non proche de l'axe des abscisses. Le réseau perd beaucoup, ainsi le volume des paquets reçus et perdus représente presque la moitié de flux de données circulant dans le réseau pendant la simulation.

8.2.2 Service nrtPS



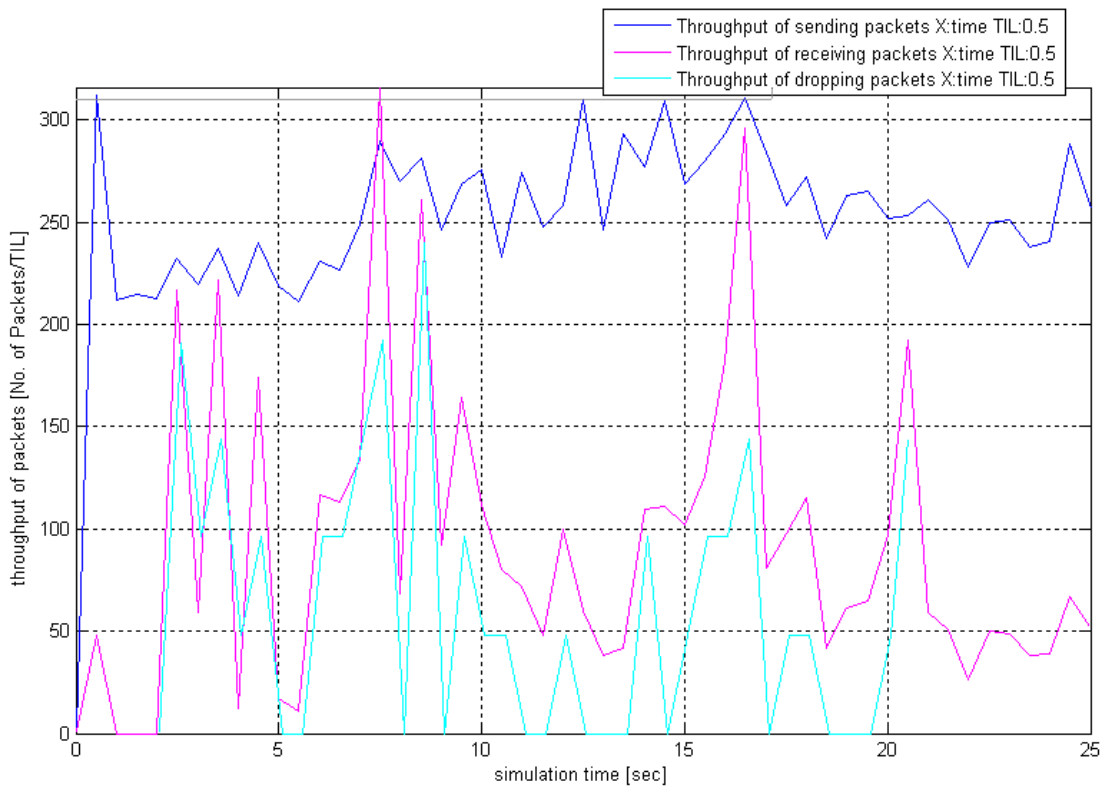
Graphe 5 : Taille de paquet en moyenne par nœud

Nous remarquons un comportement identique au service BE, sauf que la taille moyenne des paquets varie légèrement entre 13Kb et 15Kb.



Graphe 6 : Nombre d'octets envoyés et reçus par nœud

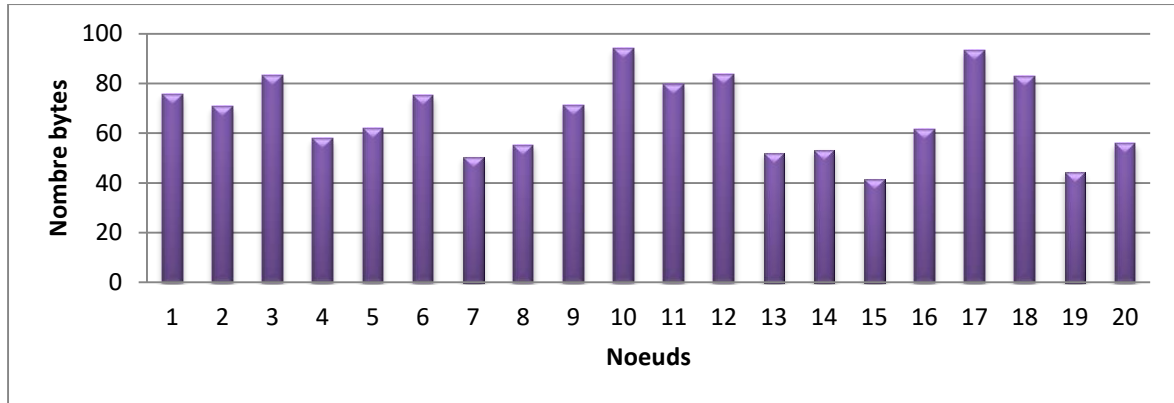
On constate que le nombre d'octets reçus pour tous les nœuds est presque le même et qui varie légèrement entre 120000 octets et 140000 octets. Ce dernier est nettement supérieur au nombre d'octets envoyés qui sont parfois très réduits.



Grappe 7 : Bande passante de paquets

Dans ce graphique on remarque la même forme et même situation du graphe des paquets envoyés que celui du service BE précédemment analysé. Il en est de même pour les autres graphes, sauf que l'intervalle de variation est plus large.

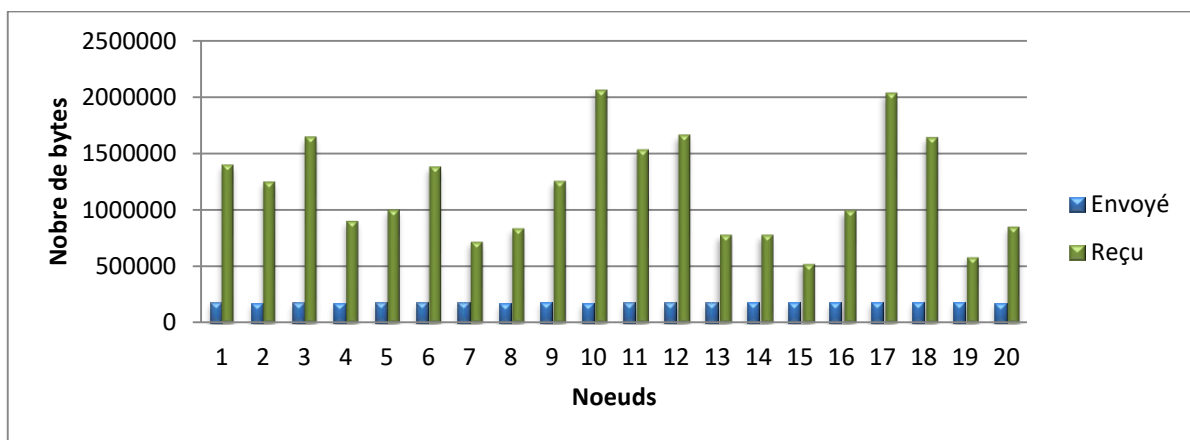
8.2.3 Service rtPS



Graphe 8 : Taille de paquets en moyenne par nœud

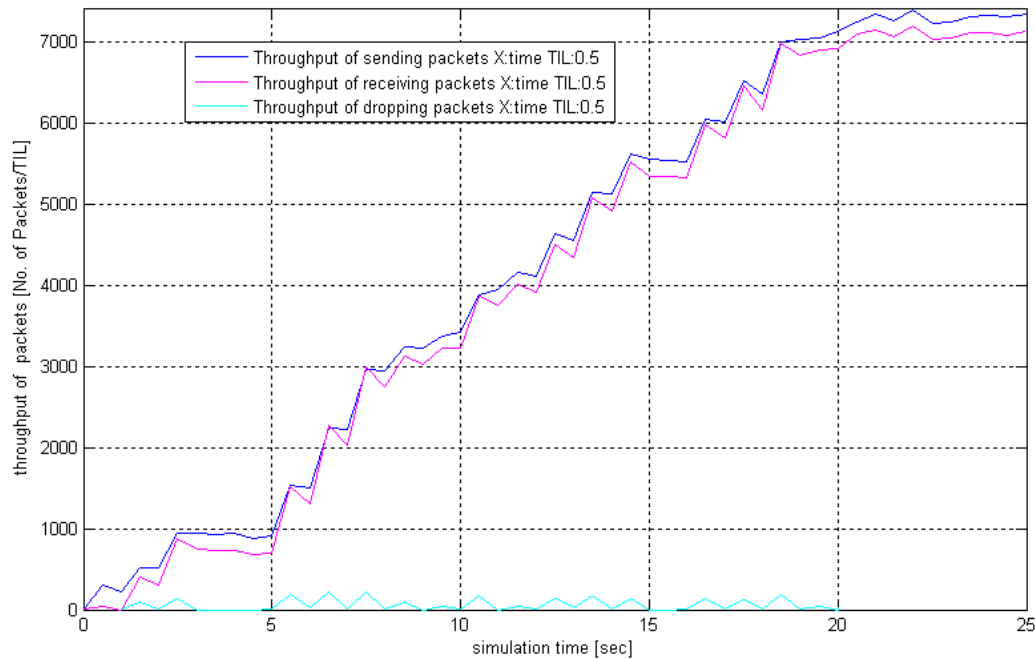
Dans ce graphique on remarque que les tailles moyennes des paquets prennent des valeurs grandes arrivant à 95Kb et avec une variation très apparente entre les nœuds, ce qui montre que les tailles de paquets ne sont pas identiques.

Dans un délai assez court, on remarque que les données inter changées sont volumineuses et qui signifie aussi qu'il n'y a pas une grande coupure entre les paquets échangés.



Graphe 9 : Nombre d'octets envoyés et reçus par nœud

Le nombre d'octets échangés est très grand pour tous les nœuds dans la même période de simulation, arrivant à 2.000.000 Octets. Le nombre d'octets reçus est nettement supérieur à celui envoyé. Ce dernier est à peu près égal à 180.000 Octets.

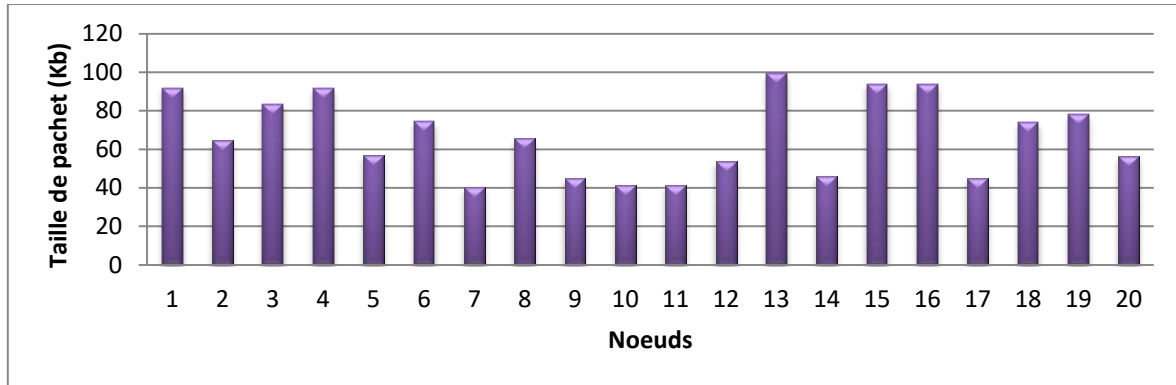


Graphe 10 : Bande passante de paquets

La courbe des paquets envoyés augmente petit à petit de presque 5000 paquets, ce qui signifie l'augmentation des paquets envoyés, et ceci à chaque fois qu'un flux rtPS démarre sinon le débit reste constant par le fait qu'il n'y a pas un autre flux qui va agir sur le rtPS.

La courbe des paquets reçus est située au dessous de celle des paquets envoyés et peut être considérée parallèle à celle-ci. Ce graphique montre que les paquets envoyés sont presque tous reçus, impliquant une petite perte montrée par l'espace entre les deux courbes ainsi que par la courbe des paquets perdus plus proche de l'axe des abscisses (ceci montre que les pertes sont négligeables).

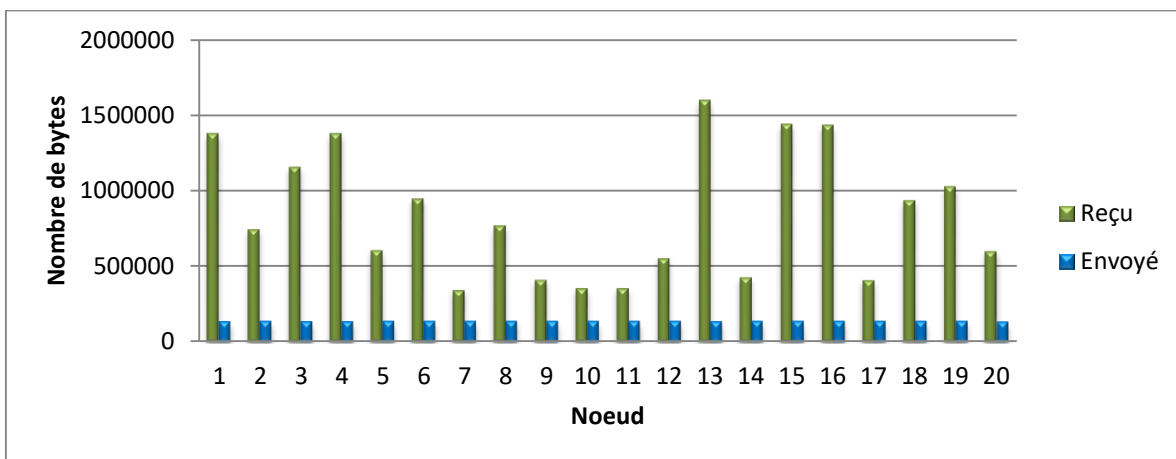
8.2.4 Service UGS



Graph 11 : Taille de paquets en moyenne par nœud

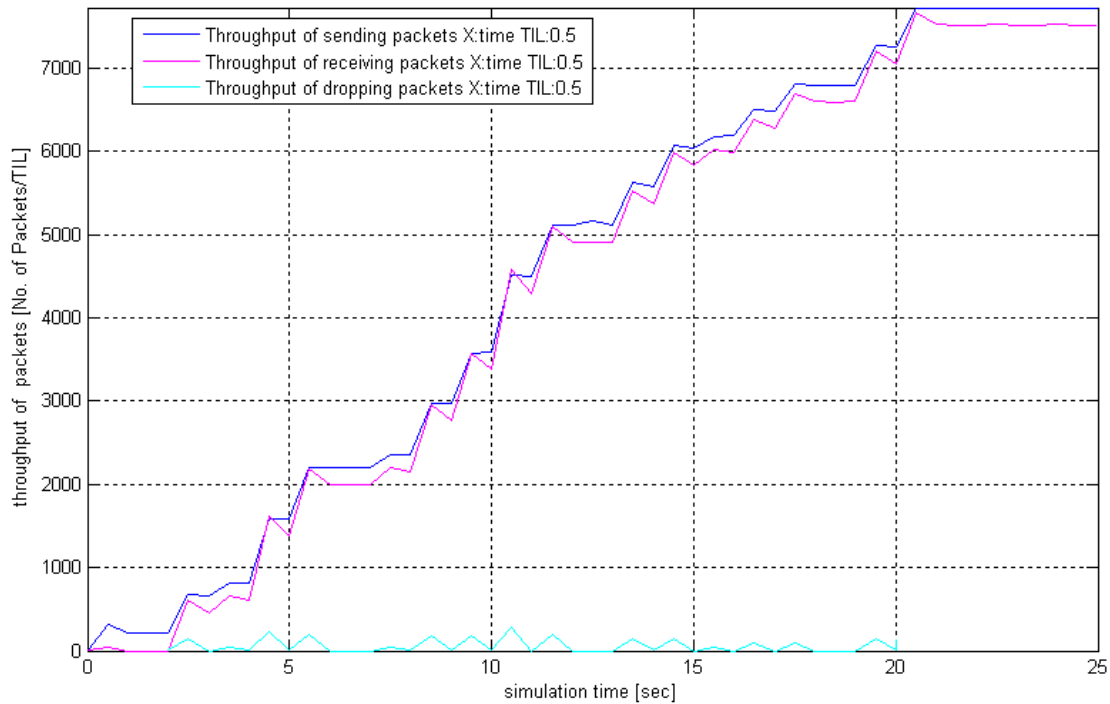
Dans ce graphique on remarque que les tailles moyennes des paquets prennent des valeurs grandes arrivant à 95Kb et avec une variation très apparente entre les nœuds, ce qui montre que les tailles de paquets ne sont pas identiques. (même résultat que le service rtPS).

Dans un délai assez court, on remarque que les données inter changées sont volumineuses et qui signifie aussi qu'il n'y a pas une grande coupure entre les paquets échangés.



Graph 12 : Nombre d'octets envoyés et reçus par nœud

Le nombre d'octets échangés est très grand pour tous les nœuds dans la même période de simulation, arrivant à 2.000.000 Octets. Le nombre d'octets reçus est nettement supérieur à celui envoyé. Ce dernier est équivalent et égal à 180.000 Octets.



Grphe 13 : Bande passante de paquets

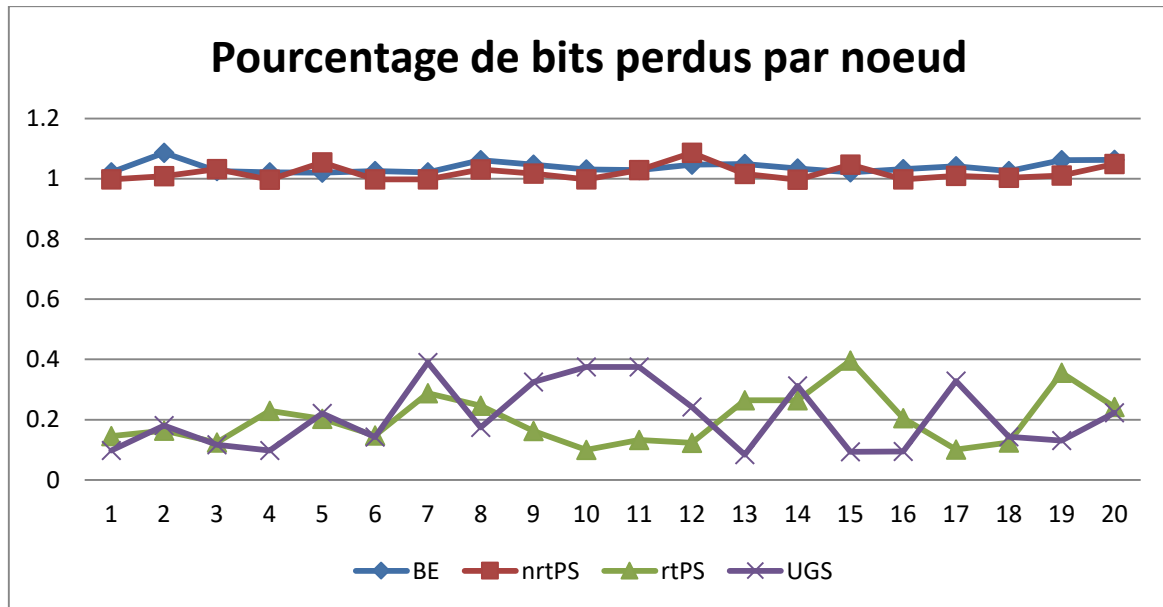
La courbe des paquets envoyés augmente petit à petit de presque 5000 paquets, ce qui signifie l'augmentation des paquets envoyés, et ceci à chaque fois qu'un flux UGS démarre sinon le débit reste constant par le fait qu'il n'y a pas un autre flux qui va agir sur le UGS.

La courbe des paquets reçus située au dessus de celle des paquets envoyés et évoluant en parallèle avec elle. Ce qui signifie que lorsqu'il y a des paquets envoyés ça implique la réception des mêmes paquets avec une petite perte montrée par l'espace entre les deux courbes et aussi par la courbe des paquets perdus plus prète de l'axe des abscisses, ce qui montre que les pertes sont négligeables.

8.3 La métrique / Le taux de perte des bits

La perte de paquets peut prendre plusieurs formes. Un paquet émis et non reçu est considéré comme perdu. De même, surtout pour un flux temps-réel, les paquets qui n'arrivent pas en séquence, sont aussi supposés perdus.

Les résultats obtenus pour les 20 premiers nœuds.



Graphe 14 : Pourcentage de bits perdus par nœud

De ce qui précède, on peut conclure que les qualités de QoS sont vérifiées (pertes de paquets $\leq 5\%$). Et à partir des situations des graphes, on remarque que la perte dans les services BE et nrtPS est supérieure de celle pour les services rtPS et UGS.

9. Conclusion

Dans cette partie, nous avons entamé la validation et la vérification des résultats théoriques présentés en utilisant la technique de simulation. Cette partie nous a vraiment pris du temps dans la recherche et la formation sur les outils de simulation spécifiques tels que **NS2**, **NAM** et **TraceGraph**, sans oublier l'environnement de travail, nouveau pour nous, **Linux**, voir son installation et mise en œuvre.

Le module WiMAX n'était pas intégré dans la version **NS2** fournie, nous avons recherché le module en vue de l'installer et l'utiliser. Ceci nécessite, bien sur, la familiarisation et la maîtrise des commandes **NS2** tant que **Linux**.

La partie de simulation utilisant **NS2**, après l'entrée des données et paramètres nécessaires, nous a fourni des résultats bruts, sous forme d'un fichier **Trace** de type texte difficile à déchiffrer. Ceci nous a poussé à utiliser un autre logiciel permettant de tracer des graphes à partir du fichier **Trace**, plus lisible et descriptifs et ce en utilisant le logiciel **TraceGraph**. Et pour visualiser le réseau en tout mouvement et activité, on a utilisé le logiciel spécialisé pour ça, sous Linux toujours, qui est le **NAM**.

Concernant l'analyse et l'interprétation des résultats (partie de loin la plus intéressante par son caractère formatif), les résultats obtenus sont conformes à ceux déclarés théoriquement.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale

L'objectif principal de notre projet est de simuler la qualité de service (QoS) dans les réseaux sans fil WiMAX. Pour cela, nous avons commencé par présenter le réseau d'accès à large bande WiMAX, son émergence et ses spécificités ainsi que l'évolution de sa norme 802.16.

En deuxième partie, nous avons étudié d'abord, les différents services offerts par la norme 802.16. Ensuite il nous a fallu distinguer les différentes métriques utilisées pour la mesure et l'évaluation des performances de ces services.

Et en dernière partie, nous avons entamés la validation et la vérification des résultats théoriques présentés par simulation.

Cette expérience en matière d'étude et expérimentation, nous a donné un solide bagage voir aussi bien culturel que professionnel et surtout concernant le domaine des nouvelles technologies.

Perspectives

Le WiMAX présente en plus d'une évolution technologique de taille pour la transmission sans fil à haut débit, une alternative pour les technologies d'accès à haut débit. Les opérateurs télécom pourront ainsi fournir l'accès dans les zones peu denses à moindre coût et ainsi remplir leurs obligations de service universel.

Nous pouvons ainsi atteindre un succès de cette nouvelle technologie dans les pays en voie de développement qui sera un moteur pour l'évolution du 802.20, qui est le concurrent annoncé de l'UMTS, et donner ainsi une solution de transmission sans fil de bout en bout à haut débit.

Glossaire

Glossaire

3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAS	Antennes Adaptives
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AQR	Automatic Retransmission Request
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BS	Base Station
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CID	Connection Identifier
CPS	Common Part Sublayer
CQI	Channel Quality Indicator
CS	Convergence Sublayer
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DCD	Downlink Channel Descriptor
DIUC	Downlink Interval Usage Code
DL-MAP	DownLink MAP
DSDV	Dynamic Destination Sequenced Distance Vector
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution European Telecommunications Standards
ETSI	Institute
FCH	Frame Control Header
FDD	Frequency Division Duplex
FIFO	First In First Out
FTP	File Transfer Protocol
Glomosim	Global mobile simulator
GSM	Global System for Mobile communications

HiperLAN	HIgh PERformance radio LAN
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IFQ	Interface Queue
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
LAN	Local Area Network
LL	Logical Layer
LOS	Line Of Sight
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
NAM	Network Animator
NDSL	Netowrks & Distributed Systems Laboratory
NLOS	Non Line Of Sight
nrtPS	non-real-time Polling Service
NS2	Network Simulator 2
OCTL	Object Tool Command Language
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OPGI	Office de Promotion et de Gestion Immobilière
OPNET	Optimum Network Performanc
OPU	Office des Publications Universitaires
OSI	Open System Interconnexion
PAN	Personal Area Network
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	Physique Layer
PMP	Point to MultiPoint
PPP	Point-to-Point Protocol
PS	Privacy Sublayer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation

QoS	Qualité of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
RTG	Receive Transition Gap
rtPS	real-time Polling Service
SAP	Service Access Point
SC	Single Carrier
SLC	Smart Link Communication
SONELGAZ	Société Nationale de l'Electricité et du GAZ
SS	Subscriber Station
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
STC	Schéma de diversité
TCL	Tools Command Language
TCL/TK	Tool Command Language/ToolKit
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TTG	Transmit Transition Gap
TTL	Time To Live
UCD	Uplink Channel Descriptor
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Services
UIUC	Uplink Interval Usage Code
UL-MAP	UpLink MAP
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VINT	Virtual Inter Network Testbed
VoIP	Voice of IP
WAN	Wide Area Network
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability of Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

Bibliographie

Bibliographie

- ABDELFTTAH, OULD BAMBA MED. 2007.** *DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL DE PLANIFICATION ET DIMENSIONNEMENT DE RESEAU WIMAX.* TUNIS : ECOLE SUPERIEUR DES COMMUNICATION, 2007.
- ALGERIE_TELECOM. 2009.** *CATALOGUE DE SERVICES.* ALGER : ALGERIE TELECOM, 2009.
- Arab_Advisors_Group. 2006.** *WIMAX DANS LE MONDE ARABE: STATUT ET REGLEMENTATION.* 2006.
- BAMAGO, MICHAEL G. L. FOLANE ET MARIUS G-W. 2006.** *ETUDE ET REALISATION DE L'INTERCONNEXION PAR LA TECHNOLOGIE WIMAX.* BURKINAFASO : UNIVERSITE UPB, 2006.
- BOHLI, KHAOULA. 2006.** *EVALUATION DES MECANISMES DE QOS DU RESEAU WIMAX.* TUNIS : ECOLE SUPERIEUR DES COMMUNICATION, 2006.
- Campedel, B. 2005.** *Les bases de la qualité de service. Contrôle dans les réseaux IP.* 2005.
- CASTRO-PENA, RAFAEL. 2006.** *LES RESEAUX WIMAX.* s.l. : SUPINFO, 2006.
- CHEN, YAN ZHANG ET HSIAO-HWA. 2008.** *MOBILE WIMAX.* TOKIO : AUERBACH, 2008.
- CYGWIN. CYGWIN.** [Online] www.cygwin.com.
- DUCHATEAU, MICHEL. 2005.** *ANALYSE ET SIMULATION DU DEPLOIEMENT D'UN RESEAU SANS FIL A L'ULB.* BRUXELLES : UNIVERSITE LIBRE, 2005.
- FORMAT, TRACE. 2009.** [En ligne] 2009. <http://ns2.superliu.co.cc/entries/ns2/how-to-interpret-the-ns2-tracefile-for-wireless-simulation>.
- HORLAI, P. ANELLI ET E. 1999.** *MANUEL _NS1.3.* 1999.
- IEEE. IEEE802.** [Online] WWW.IEEE802.ORG/16.
- INTERNET_ENGINEERING_TASK_FORCE. INTERNET ENGINEERING TASK FORCE.** [En ligne] WWW.IETF.ORG.
- ISO/IEC_CD_13236.2. 1995.** *Quality of service.* 1995.
- ITU.T. 1993.** *Terms and definitions related to quality of service and network.* 1993.
- LISCIVIOUS, PITER. 2005.** *NS-2 TRACE FORMATS .* 2005.
- Malamos, A.G.,E.N.Malamas, T.A.Varvarigou et S.R.Ahuja. 1999.** *On the definition,modellingand implementation of Quality of Service(QoS) in distributed multimedia systems.* 1999.
- NDSL. telechargement module wimax.** [En ligne] <http://ndsl.csie.cgu.edu.tw/>.
- NS2. NS2.** [Online] www.isi.edu/nsnam/ns/.
- PUJOLLE, GUY. 2008.** *LES RESEAUX.* PARIS : EDITION EYROLLES, 2008.
- SHELL, AURELIE. 2007.** *LE WIMAX LA NORME 802.16.* PARIS : UNIVERSITE PARIS EST, 2007.

SKALLI, ALI. 2008. *GESTION DE PLUSIEURS COMMUNICATIONS WIMAX INSTANTANEEES.* FRANCE : UNIVERSITE D'AVIGNON, 2008.

TANENBAUM, ANDREW S. 2003. *COMPUTER NETWORKS.* s.l. : PRENTICE HALL, 2003.

TRACEGRAPH. 2009. [En ligne] 2009. www.tracegraph.com.

VIKEN TORAMANIAN, MICHELE GERMAIN, GERARD PELIKS. 2009. *WIMAX A L'USAGE DES COMMUNICATIONS HAUT DEBIT.* ATENA : FORUM ATENA, 2009.

Vogel, A.,B.Kerhervé,G.V.BochmannetJ.Gecsei. 1995. *Distributed multimedia and QoS.* 1995.

WAJIH, HAOUAS MOHAMED. 2007. *ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU WIMAX.* TUNIS : ECOLE SUPERIEUR DES COMMUNICATIONS, 2007.

WIMAXFORUM. *WIMAX FORUM.* [Online] <http://www.wimaxforum.org/>.

Annexes

Script de la simulation

```
#####  
#          Remusé de ce script  
#####  
  
#####  
# Définition des variables pour la simulation de notre réseau sans-fil  
#####  
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# Type de canal  
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# Modele de propagation radio  
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# Type de l'interface reseau  
set val(mac) Mac/802_16 ;# Support de wireless  
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# Priorité de la file  
set val(ll) LL ;# Type de la couche liaison  
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# Type de l'antenne  
set val(ifqlen) 50 ;# Taille de la queue  
set val(nn) 50 ;# nombre de neouds mobiles  
set val(rp) DSDV ;# protocole de routage  
set val(x) 1500 ;# X dimension of topography  
set val(y) 1500 ;# Y dimension of topography  
set val(stop) 25 ;# temps de la fin de simulation  
  
#Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025 ;# puissance du signal trasmis de la station de base  
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 2.025e-12 ;# 500m radius # Seuil du signal transmis de la station de base  
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]] ;# Seuil de detection de porteuse  
  
#####  
#          Programme Principale  
#####  
  
#####  
# Définition de la variable de Random pour le placement des nœuds dans la région  
#####  
global defaultRNG  
$defaultRNG seed 0  
set sizeRNG [new RNG]  
$sizeRNG next-substream  
  
# Variable de random utilisée pour un point sur la grille  
set size_ [new RandomVariable/Uniform]; # Variable Random uniforme  
$size_ set min_ 1; # Valeur minimum  
$size_ set max_ 1499; # Valeur maximum  
$size_ use-rng $sizeRNG  
  
set time_ [new RandomVariable/Uniform]; # Variable Random uniforme  
$time_ set min_ 1; # Valeur minimum  
$time_ set max_ 20; # Valeur maximum  
$time_ use-rng $sizeRNG
```

```

#=====
# Création du simulateur NS
#=====

set ns [new Simulator]

#=====
# Création des fichiers de trace
#=====
set f [open tra.tr w]
$ns trace-all $f
$ns eventtrace-all

set nf [open ani.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $nf $val(x) $val(y)

#=====
# Topographie de la simulation
#=====

set topo [new Topography]

#=====
# Création de la région pour la simulation
#=====

$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
puts "Création de la grille $val(x) x $val(y)\n"

#=====
# Création de God
#=====

create-god $val(nn)

#=====
# Paramétrage de Mac
#=====

Mac/802_16 set channelSize_ 20
Mac/802_16 set modulation_ 0 ;# il supporte le type de modulation est QPSK
Mac/802_16 set codeRate_ 0

#=====
#Création des fichiers de trace
#=====

set chan [new $val(chan)]

```

```

#=====
# Configuration du neoud mobile
#=====
$ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channel $chan \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF

#=====
# Création Station de base
#=====

set node_(BStation) [$ns node]
$node_(BStation) set X_ 500
$node_(BStation) set Y_ 500
$node_(BStation) set Z_ 0.0
$ns initial_node_pos $node_(BStation) 70

#=====
# Création des nœuds pour la simulation
#=====
for {set i 1} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    set node_($i) [$ns node]
    $node_($i) random-motion 0
}

#=====
# Position des nœuds dans la région de manière aléatoire
#=====
for {set i 1} {$i < $val(nn)} {incr i} {

    set X [expr round([$size_value]); # Position X en random sur la grille
    set Y [expr round([$size_value]); # Position Y en random sur la grille
    $node_($i) set X_ $X; # Position X du noeud sur la grille
    $node_($i) set Y_ $Y; # Position Y du noeud sur la grille
    $node_($i) set Z_ 0.0; # Position Z du noeud sur la grille

}

```

```

=====
# Positionne les nœuds sur la grille
=====
for {set i 1} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns initial_node_pos $node_($i) 30; # 30 : taille du noeud dans nam
}

=====
# Creation des Agents
=====
for {set i 1} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    set udp($i) [new Agent/UDP]
    $ns attach-agent $node_($i) $udp($i)

    set null($i) [new Agent/Null]
    $ns attach-agent $node_(BStation) $null($i)

    $ns connect $udp($i) $null($i)
}

=====
# Creation des Application
=====
for {set i 1} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    set cbr($i) [new Application/Traffic/UGS]
    $cbr($i) attach-agent $udp($i)
    $cbr($i) set type_ CBR
    $cbr($i) set packet_size_ 1000
    $cbr($i) set rate_ 512Kb
    $cbr($i) set random_ false

    $ns at [expr round([$time_ value])] "$cbr($i) start"
    $ns at 25.0 "$cbr($i) stop"
}

=====
# Arrêt de la simulation
=====
$ns at $val(stop) "finish"
$ns at [expr $val(stop) + 0.1] "puts \"NS EXITING...\"; $ns halt"

=====
# Fonction appelée pour terminer la simulation
=====
proc finish {} {
    global ns f nf val
    $ns flush-trace
    close $f
    close $nf
    #exec nam aadv_sim.nam &
    exit 0
}

=====
# Début de la simulation
=====
puts "Starting Simulation..."
$ns run

```

Résumé

Le WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access) est une technologie sans fil, fondée sur les spécifications de la norme IEEE 802.16 permettant l'accès au réseau sur de larges distances, délivrant des performances comparables aux technologies filaires DSL ou câble.

*Le standard WiMAX intègre nativement la notion de **Qualité de Service** (souvent notée **QoS** pour *Quality Of Service*), c'est-à-dire la capacité à garantir le fonctionnement d'un service à un utilisateur.*

L'intérêt de notre travail réside dans la compréhension et la maîtrise d'une telle technologie. Les différentes simulations réalisées nous ont permis de comparer les différents services de WiMAX (UGS, rtPS, nrtPS et BE) et donc de mesurer la QoS à travers un ensemble de métriques telles que la bande passante, le délai de bout en bout et le taux de perte.

Abstract

This thesis is related to the WiMAX (World Interoperability Microwave Access) technology which is the standard elaborated by the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) under the 802.16 family. It, also, gives an overview of the QoS mechanisms built into the WiMAX. The PHY and MAC layers of 802.16 are described.

We used simulation to test the performance of this technology. Our contribution consists of the addition of the QoS classes as well as the management of the QoS requirements; unicast and contention request opportunities mechanisms for the UGS, rtPS and BE QoS classes. Simulation results provide interesting observations about the throughput and end to end delay and loss rate values. Simulation results show that our UGS, rtPS, nrtPS and BE schedulers are in accordance with the specification of the QoS classes defined in the IEEE 802.16 standard.