



Mémoire de Master

Présenté au

Département: Génie Électrique

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Télécommunications

Spécialité: Systèmes de Télécommunications

Réalisé par :

Fouad Bouchachi

Thème : IEEE 802.16 : Simulation et évaluations des performances

Soutenu le:/..../2023

Devant le Jury composé de :

Mr :	Prof.	Univ. Bouira	Président
.....	M.C.A	Univ. Bouira	Rapporteur
.....	M.C.B	Univ. Bouira	Examineur
.....	M.A.A	Univ. Bouira	Examineur

Dédicaces

À ma famille, qui a été mon pilier tout au long de ce parcours académique. Votre amour, votre soutien et votre compréhension m'ont permis d'atteindre ce jalon.

À mes amis, pour les moments de détente, les encouragements et les rires partagés qui ont équilibré cette aventure académique.

À mes professeurs et mentors, dont la guidance et l'expertise ont été inestimables. Votre enseignement m'a inspiré et m'a aidé à grandir en tant que chercheur.

Ce mémoire reflète l'effort collectif de nombreuses personnes et représente un chapitre important de ma vie. Merci à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Département des Sciences et sciences appliquées de l'Université de Bouira.

Je tiens à remercier, en premier lieu, Dr.Saoud Bilal, Directeur de ce mémoire. qui m'a soutenue tout le long de la préparation de notre mémoire de fin d'étude. Les conseils et le soutien qu'il m'a offert m'ont permis de progresser et de mener à bien notre projet.

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

Prof.....

Dr.....

Mr.....

Dr.....

.....
.....
.....
.....

Enfin, j'associe à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

Résumé

Dans cette recherche approfondie, nous nous plongeons dans l'univers du WiMAX / IEEE 802.16, en mettant en évidence son évolution, sa caractérisation et son rôle essentiel dans les réseaux sans fil modernes. Notre étude s'appuie sur des sources de qualité pour examiner de près l'architecture système du WiMAX et son impact sur la qualité de service (QoS).

Nous commençons par une exploration des technologies sans fil, soulignant leur prépondérance croissante dans notre vie quotidienne. En passant en revue divers types de réseaux sans fil, tels que les réseaux cellulaires, le WiFi, le Bluetooth, Zigbee et le WiMAX, nous analysons rigoureusement leurs avantages et leurs inconvénients. Cette mise en contexte est cruciale pour la compréhension de notre étude.

Notre mémoire se plonge ensuite dans les mécanismes techniques et l'architecture réseau spécifiques au WiMAX. Nous examinons en détail les opportunités offertes par cette technologie pour une multitude de services et d'applications.

Cependant, l'apogée de notre recherche réside dans le troisième chapitre, où nous utilisons l'outil de simulation OPNET pour évaluer l'impact de la QoS dans un environnement WiMAX. À travers deux scénarios distincts, nous étudions le réseau WiMAX sans QoS puis avec une QoS stratégiquement définie en trois catégories (Gold, Silver, Bronze) pour répondre aux exigences et aux priorités des différentes applications. Nos résultats de simulation illustrent clairement comment l'introduction de la QoS améliore significativement les performances du réseau et la qualité des applications.

Cette recherche vise à apporter une contribution substantielle à la compréhension de l'importance de la QoS dans les réseaux WiMAX modernes, tout en mettant en lumière les opportunités et les défis de cette technologie

Mots clés : WIMAX, IEEE802.16, QOS, OFDM, WMAN

Table des Matières

Remerciements.....	I
Résumé	II
Table des Matières.....	III
Liste des Figures.....	IV
Liste des Tableaux.....	V

Introduction Générale **1**

Chapitre 1 : Généralités sur les technologies sans fils

1. Introduction	2
2. Les technologies sans fil	2
2.1. Catégories des technologies sans fil	2
2.1.1. Les réseaux cellulaires	3
2.1.2. Les réseaux locaux sans fil	4
2.1.3. Les réseaux de capteurs sans fil	5
2.1.4. Les réseaux satellitaires	6
2.1.5. Les réseaux optiques sans fil.....	6
3. Le réseau personnel sans fil.....	7
3.1. Le Bluetooth	8
3.1.1. Présentation de la technologie Bluetooth	8
3.1.2. Caractéristiques du Bluetooth	8
3.1.3. Les utilisations courantes du Bluetooth	9
3.1.4. Les normes et réglementations du Bluetooth.....	10
3.1.5. Les avantages et inconvénients du Bluetooth	10
3.2. Le ZigBee	11
3.2.1. Présentation de la technologie.....	11
3.2.2. Les couches du modèle Zigbee	11
3.2.3. Les topologies de réseau Zigbee	12
3.2.4. Les applications du Zigbee	13
3.2.5. Les avantages et limites du Zigbee.....	14
4. Le réseau local sans fil	4
4.1. Le Wi-Fi (802.11)	14
4.1.1. Présentation de la technologie Wi-Fi	14
4.1.2. Les principales caractéristiques du Wi-Fi	15
4.2. Normes et protocoles WLAN	15
5. Le réseau métropolitain sans fil.....	16
5.1. Le WiMAX (802.16).....	16

5.1.1. Catégories du WIMAX.....	17
5.1.2. Fonctionnement du WIMAX	17
6. Conclusion.....	18

Chapitre 2 : La technologie WIMAX

1. Introduction	20
2. Caractéristiques de la norme IEEE 802.16.....	21
3. Couches du modèle OSI associées au WiMAX	21
3.1. Couche physique (Physical layer).....	22
3.2. Couches liaison de données (Data link layer).....	22
4. Les Plages de Fréquences Prises en Charge	23
4.1. Plage de Fréquences de 10 à 66 GHz	23
4.2. Plage de Fréquences de 2 à 11 GHz	23
5. Architecture Globale du Réseau WiMAX	23
5.1. Réseau d'Accès WiMAX (ASN)	24
5.2. Réseau de Distribution (RN)	25
6. Topologies WiMAX	25
6.1. Le Mode PMP	25
6.2. Le mode Mesh	26
7. Applications du WiMAX	26
8. Conclusion	27

Chapitre3 : Simulation et l'analyse des performances du WIMAX

1. Introduction	28
2. Description générale d'OPNET	28
3. Description des Scénarios de Simulation.....	29
4. Résultats et Discussion.....	32
5. Conclusion.....	38

Conclusion Générale 39

Références 41

Liste des Figures

Fig. 1.1. Architecture de réseau cellulaire pour un système distribué mobile	4
Fig. 1.2. Réseau sans fil WLAN.....	5
Fig. 1.3. Réseau WSN.....	5
Fig. 1.4. Les différentes catégories des réseaux sans fils	6
Fig. 1.5. Représentation de la topologie en étoile	12
Fig. 1.6. Topologies de réseau Zigbee	13
Fig. 1.7. Le principe de fonctionnement du WiMAX	18
Fig. 2.1. Les Différentes configurations du WiMAX.....	20
Fig. 2.2. L'évolution du standard IEEE802.16	21
Fig. 2.3. Structure en couche du standard IEEE802.16.....	22
Fig. 2.4. Exemple d'un réseau WiMAX	24
Fig. 2.5. Architecture PMP	25
Fig. 2.6. Architecture Mesh.....	26
Fig. 3.1. Modèle de simulation WIMAX	31
Fig. 3.2. Sources et destinations du trafic des applications	32
Fig. 3.3. Temps de réponse HTTP (avec QOS)	33
Fig. 3.4. PDV et le jitter dans la VOIP	33
Fig. 3.5. Trafic VOIP envoyé et reçu	35
Fig. 3.6. Visioconférence PDV	35
Fig. 3.7. Comparaison des variations du jitter pour la VoIP	36
Fig. 3.8. Comparaison de la variation de délai des paquets VOIP.....	36
Fig. 3.9. Comparaison de la variation de délai des paquets pour les vidéoconférences	37
Fig. 3.10. Comparaison du débit WiMAX.....	37

Liste des Tableaux

Tab.1.1. avantages et inconvénients du Bluetooth.....	10
Tab.1.2. avantages et limites du Zigbee	13
Tab.3.1. les paramètres utilisés dans les scénarios.....	31

Introduction Générale

Dans l'ère moderne, les réseaux sans fil ont transformé notre manière d'interagir, de travailler et d'accéder à l'information. Ces technologies ont créé un monde interconnecté, permettant aux appareils et aux individus de se connecter instantanément, quel que soit l'endroit où ils se trouvent. Cette révolution a ouvert la voie à une communication en temps réel, à l'échange d'informations sans effort et à la collaboration en ligne.

Cependant, l'essor rapide des réseaux sans fil s'accompagne de défis considérables. L'augmentation exponentielle de la demande en bande passante, la nécessité d'assurer une qualité de service (QoS) fiable et la gestion efficace des réseaux sans fil posent des questions cruciales. Comment pouvons-nous garantir des performances optimales dans le contexte complexe des réseaux sans fil ?

Au cœur de cette révolution technologique, la problématique qui se pose est la suivante : Comment pouvons-nous répondre aux défis croissants des réseaux sans fil, en particulier du WiMAX, pour assurer une connectivité fluide, des débits élevés et une QoS fiable ?

Ce mémoire se propose d'explorer cette problématique en plongeant dans l'univers des réseaux sans fil, en examinant les spécificités techniques du WiMAX et en utilisant la simulation pour évaluer la QoS. Tout au long de cette étude, nous mettrons en lumière les solutions potentielles aux défis posés par ces réseaux de communication en constante évolution.

Chapitre 1 : Dans ce chapitre, nous allons introduire les technologies sans fil et expliquer leur importance dans la vie quotidienne. Nous allons également discuter de différents types de technologies sans fil et de leurs avantages et limitations.

Chapitre 2 : ce chapitre sera consacré à une présentation générale puis détaillée du WIMAX en explorant l'architecture du réseau WIMAX avant de passer aux applications qu'il permet d'offrir.

Chapitre 3 : Dans ce chapitre, nous allons utiliser le logiciel OPNET pour simuler un réseau WiMAX et évaluer ses performances.

Finalement, le mémoire se termine par une conclusion générale qui résume l'ensemble de ce travail.

Chapitre1:

Généralités sur les technologies sans fils

1.Introduction :

Le développement rapide de la technologie sans fil a révolutionné la façon dont les gens communiquent, travaillent, se divertissent et interagissent avec leur environnement. Les technologies sans fil offrent une connectivité pratique et instantanée qui a transformé la façon dont nous percevons et utilisons les technologies de l'information et de la communication. Les réseaux sans fil permettent une communication et une collaboration à distance entre des appareils tels que des ordinateurs, des Smartphones, des tablettes, des objets connectés, des véhicules autonomes et bien d'autres encore.

Dans ce premier chapitre, nous allons aborder les généralités des technologies sans fil, en explorant les différents types de réseaux sans fil disponibles, leurs avantages et leurs inconvénients, ainsi que les normes et les protocoles utilisés pour assurer leur bon fonctionnement.

Nous commencerons par une définition des technologies sans fil et de leurs applications, ensuite on va examiner les principales catégories de réseaux sans fil, à savoir les réseaux cellulaires, les réseaux WiFi, les réseaux Bluetooth, les réseaux Zigbee, les réseaux WIMAX.

Nous terminerons ce chapitre en abordant les normes et les protocoles les plus couramment utilisés dans les réseaux sans fil, tels que les normes IEEE.

2. Les technologies sans fil :

Les avancées dans le domaine des technologies sans fil ont permis la transmission d'informations entre appareils électroniques sans recourir à l'encombrement des câbles ou des fils physiques. Ces méthodes exploitent les propriétés des signaux électromagnétiques, principalement à travers l'utilisation d'ondes radio et de micro-ondes, pour véhiculer efficacement les données entre les dispositifs. Ces innovations sont appliquées dans une variété de secteurs, comprenant les communications mobiles, l'Internet des objets, les réseaux de capteurs sans fil, la domotique, les réseaux locaux sans fil, la télémédecine, et bien d'autres encore.

2.1. Catégories des technologies sans fil :

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

D'après Theodore S. Rappaport, les technologies sans fil peuvent être regroupées en cinq catégories majeures :

a) Réseaux cellulaires : Ces infrastructures sans fil sont dédiées aux communications longue distance, englobant les appels téléphoniques, les SMS, l'accès à Internet mobile et d'autres services [1]

b) Réseaux locaux sans fil : Cette catégorie vise les transmissions à courte portée, interconnectant notamment des ordinateurs, des imprimantes, des Smartphones et des tablettes. Parmi les exemples figurent les réseaux Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc. [1].

c) Réseaux de capteurs sans fil : Ces réseaux reposent sur des capteurs qui collectent des données environnementales, de santé, de sécurité, et autres. Ces informations sont ensuite acheminées sans fil vers un système central de traitement [1].

d) Réseaux satellitaires : Utilisés pour les liaisons longue distance dans des zones rurales, maritimes, aériennes, et autres régions éloignées [1]

e) Réseaux optiques sans fil : Ce type de réseau exploite des ondes lumineuses pour acheminer les données entre des bâtiments, des campus universitaires, et d'autres zones géographiquement restreintes [1]

Cette systématisation offre une meilleure appréhension des diverses applications et des attributs des technologies sans fil, en fonction de leur portée, de leur fréquence, de leur largeur de bande et d'autres paramètres pertinents.

2.1.1. Les réseaux cellulaires :

Un réseau cellulaire représente un système de communication à grande échelle dépourvu de fils qui tire profit d'une multitude de cellules géographiques pour offrir un accès sans fil à une population mobile d'utilisateurs. Chaque cellule est desservie par une ou plusieurs stations de base qui gèrent les échanges avec les utilisateurs mobiles se situant à l'intérieur de la cellule. Les réseaux cellulaires font appel à des technologies de modulation de fréquence et de multiplexage dans le but de permettre à plusieurs usagers d'exploiter simultanément les mêmes fréquences sans subir d'interférences.

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

Les réseaux cellulaires sont conçus pour permettre des communications mobiles continues lors du passage des utilisateurs d'une cellule à une autre tout en maintenant la qualité de service appropriée [2].

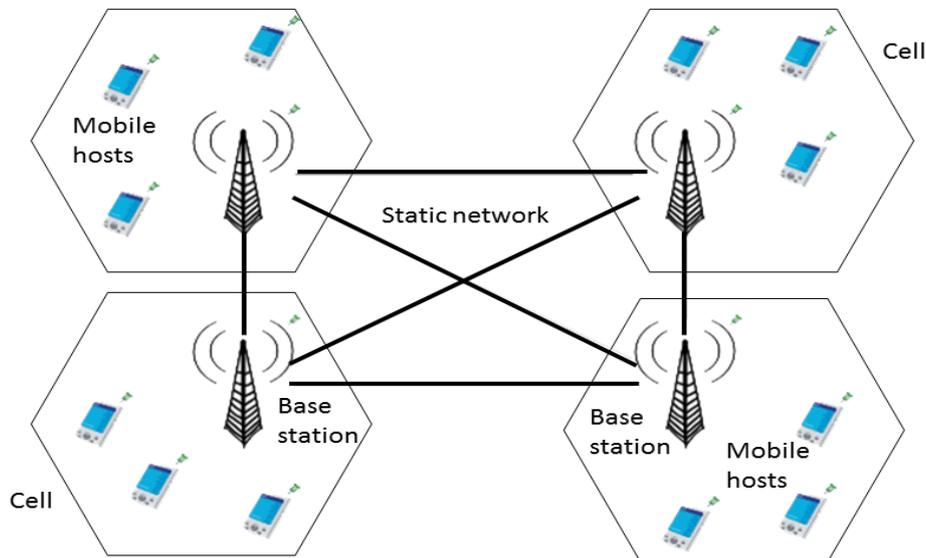


Figure 1.1 : Architecture de réseau cellulaire pour un système distribué mobile. [2]

2.1.2 Les réseaux locaux sans fil :

Un réseau local sans fil (WLAN) désigne un réseau local qui opte pour l'utilisation d'ondes radio à fréquence élevée au lieu de câbles pour instaurer des échanges entre les ordinateurs et les autres dispositifs du réseau. Un WLAN inclut généralement une ou plusieurs stations de base, qui acheminent et réceptionnent les données provenant de dispositifs WLAN tels que des ordinateurs portables et des Smartphones. Il compte également un ou plusieurs clients qui s'associent à la station de base pour accéder au réseau sans fil. Les réseaux locaux sans fil sont largement utilisés dans les entreprises, les établissements d'enseignement, les hôtels, les aéroports et les résidences, afin de procurer une connectivité réseau dépourvue de fil [3]

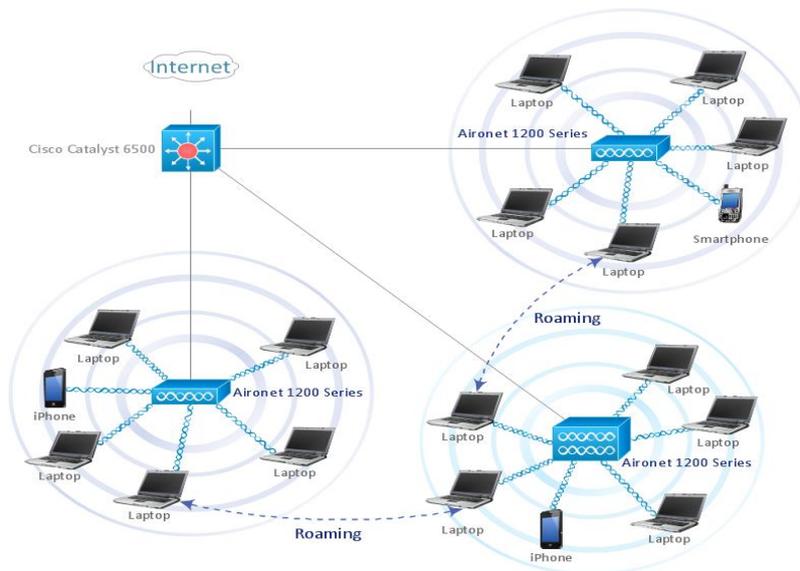


Figure 1.2 : Réseau sans fil WLAN[3]

2.1.3 Les réseaux de capteurs sans fil :

Un réseau de capteurs sans fil se réfère à un réseau constitué de dispositifs autonomes et économes en énergie. Ces dispositifs sont équipés de capteurs, de processeurs et de modules radio. Ils peuvent être déployés dans une zone définie dans le but de surveiller divers phénomènes physiques, tels que la température, la pression, les vibrations, etc. Au sein de ce réseau, les nœuds interagissent les uns avec les autres pour agréger les données captées. Ces données sont ensuite transmises à une station de base afin d'être stockées et soumises à un traitement ultérieur [3]

Cette définition met en évidence les caractéristiques clés des réseaux de capteurs sans fil, notamment leur capacité d'autonomie, leur efficacité énergétique ainsi que leur aptitude à surveiller et recueillir des données à partir d'une zone étendue.

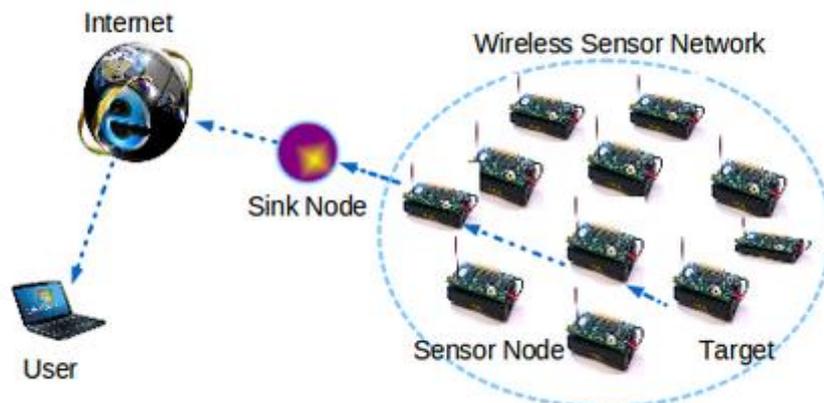


Figure 1.3 : Réseau WSN [3]

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

2.1.4 Les réseaux satellitaires :

Un réseau satellitaire désigne un système de communication qui exploite des satellites artificiels pour relayer des signaux entre des stations terrestres distantes. Cette transmission se réalise d'abord entre une station terrestre et un satellite, puis est relayée vers une autre station terrestre située à l'extrémité opposée de la liaison. Les réseaux satellitaires sont utilisés pour fournir divers services de communication tels que la téléphonie, la télévision et les données, notamment dans des régions où les infrastructures terrestres de communication sont soit absentes, soit peu pratique [4].

2.1.5 Les réseaux optiques sans fil :

Les réseaux optiques sans fil (OWC) sont des systèmes de communication qui exploitent des signaux lumineux pour transmettre des informations, évitant ainsi l'utilisation de câbles physiques. Ces signaux lumineux sont générés et captés par des dispositifs optiques, tels que des diodes électroluminescentes (LED) ou des photodétecteurs, intégrés dans des dispositifs électroniques. Les OWC peuvent être utilisés pour la communication de courte portée, ou pour la communication de longue portée [5].

Une autre classification des catégories des réseaux sans fil selon le périmètre géographique offrant la connectivité appelée : « zone de couverture »

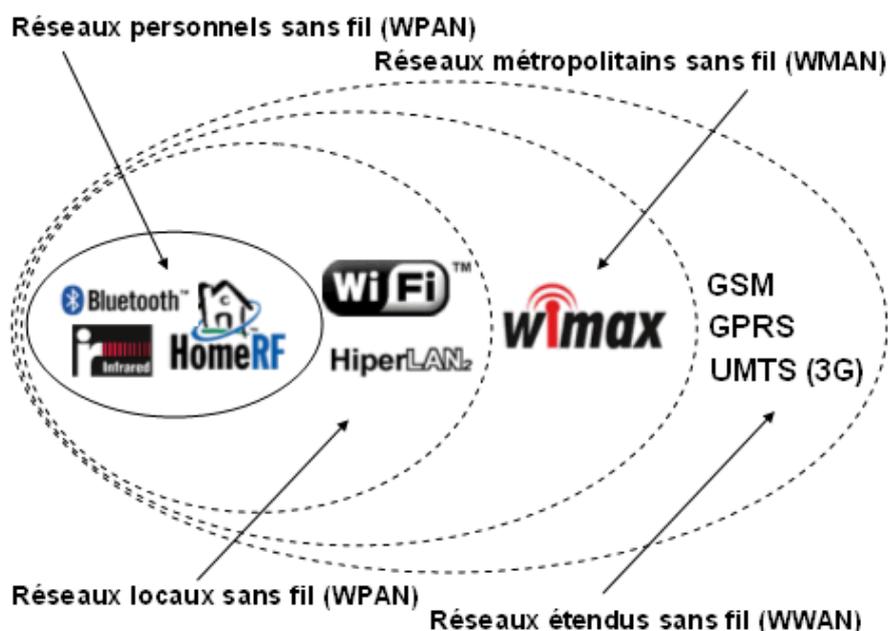


Figure 1.4 : les différentes catégories des réseaux sans fils [6]

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

- **WWAN** : L'acronyme WWAN fait référence à "Wireless Wide Area Network" en anglais, ce qui se traduit par "Réseau Étendu sans Fil" en français. Il s'agit d'un type de réseau sans fil qui permet la connexion d'appareils mobiles tels que Smartphones, tablettes ou ordinateurs portables à Internet et à d'autres réseaux sur de longues distances. Cette connexion s'établit au moyen de technologies telles que le GSM, le GPRS, le EDGE, le 3G, le 4G ou le 5G. Les réseaux WWAN sont déployés pour offrir une connectivité haut débit à des utilisateurs en mouvement sur de vastes territoires, leur permettant d'accéder à Internet et à d'autres réseaux tout en se déplaçant [7]
- **WMAN** : L'acronyme WMAN désigne "Wireless Métropolitain Area Network" en anglais, ce qui se traduit par "Réseau sans Fil de Zone Métropolitaine" en français. Il s'agit d'un type de réseau sans fil à courte portée conçu pour couvrir une zone géographique métropolitaine. Les WMAN sont spécialement conçus pour offrir un accès haut débit à Internet ainsi que des services de voix, de données et de vidéo tant aux entreprises qu'aux particuliers. Les technologies fréquemment utilisées pour les WMAN englobent les réseaux WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), les réseaux LTE (Long-Term Evolution) ainsi que les réseaux HSPA (High-Speed Packet Access) [7]
- **WLAN** : (Wireless Local Area Network) en français réseau local sans fil est un réseau local qui utilise des ondes radio plutôt que des fils pour la transmission de données. Les WLAN reposent sur la norme IEEE 802.11, qui établit les spécifications techniques fondamentales du système. En d'autres termes, un WLAN permet aux utilisateurs de se connecter sans fil à un réseau local déjà existant, généralement via une connexion Wi-Fi, évitant ainsi le recours à des câbles physiques [6]
- **WPAN** : (Wireless Personal Area Network ou réseau sans fil de zone personnelle) Un WPAN est un réseau sans fil à courte portée, généralement d'environ 10 mètres, destiné à la communication entre des dispositifs personnels tels que les téléphones mobiles, les ordinateurs portables, les assistants personnels numériques ainsi que des périphériques comme les claviers, les souris, les écouteurs et les imprimantes. Les technologies couramment utilisées pour les WPAN incluent Bluetooth et ZigBee [7].

Par la suite, nous explorerons chacun de ces types de réseaux, leurs caractéristiques et leurs applications ainsi que les protocoles qui les sous-tendent.

3. Le réseau personnel sans fil (WPAN) :

Les réseaux personnels sans fil (WPAN) sont des réseaux de communication sans fil à courte portée conçus pour connecter des appareils personnels tels que des téléphones mobiles, des ordinateurs

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

portables, des assistants numériques personnels (PDA) et des périphériques de jeu. Ces réseaux sont caractérisés par leur faible coût, leur faible consommation d'énergie, leur faible débit de données et leur faible portée, ce qui les rend idéaux pour les applications personnelles et domestiques [1]

3.1. Le Bluetooth :

3.1.1 Présentation de la technologie Bluetooth :

Bluetooth (déposé à l'IEEE, sous le nom de 802.15) est une norme de communication sans fil à courte portée développée pour connecter des appareils électroniques personnels tels que des téléphones mobiles, des ordinateurs portables, des écouteurs et des haut-parleurs. Les appareils Bluetooth peuvent communiquer les uns avec les autres dans un rayon d'environ 10 mètres en utilisant une bande de fréquences de 2,4 GHz. La norme Bluetooth permet également des connexions entre plusieurs appareils pour former des réseaux personnels sans fil appelés réseaux personnels Bluetooth (PAN) [1].

Bluetooth utilise des ondes radioélectriques pour établir une connexion entre les périphériques et permet l'échange de données à des vitesses allant jusqu'à 3 Mbit/s. Bluetooth est une norme de communication universelle qui permet la connectivité entre des périphériques de différents fabricants, ce qui facilite l'interopérabilité et l'échange de données.

3.1.2. Caractéristiques du Bluetooth :

Les caractéristiques principales de Bluetooth sont les suivantes :

- Faible consommation d'énergie : Bluetooth est conçu pour être une technologie à faible consommation d'énergie, ce qui signifie que les appareils Bluetooth peuvent fonctionner pendant des mois, voire des années, avec une seule pile.
- Faible portée : La portée typique de Bluetooth est d'environ 10 mètres, ce qui en fait une technologie de courte portée. Cependant, la portée peut être étendue en utilisant des répéteurs Bluetooth ou en augmentant la puissance d'émission de l'appareil.
- Faible débit de données : Bluetooth a une bande passante relativement limitée, ce qui signifie qu'il peut transmettre des données à un taux inférieur à celui des technologies sans fil plus avancées. Le débit de données typique de Bluetooth est de 1 à 3 Mbps.
- Connexion directe point à point : Bluetooth utilise une connexion point à point, ce qui signifie qu'il relie deux appareils directement entre eux, sans l'intervention d'un réseau ou d'un point d'accès.

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

- **Sécurité** : Bluetooth utilise un cryptage pour protéger les données contre les interceptions non autorisées, ce qui le rend relativement sûr.
- **Compatibilité universelle** : Bluetooth est largement utilisé et est intégré dans de nombreux appareils différents, ce qui le rend facilement accessible pour la plupart des utilisateurs.
- **Connectivité multi-appareils** : Bluetooth permet la connexion simultanée de plusieurs appareils à un seul appareil, ce qui facilite le partage de données entre les différents appareils.
- **Faible coût** : Les composants Bluetooth sont relativement peu coûteux, ce qui rend cette technologie abordable pour une large gamme d'applications [8]

3.1.3. Les utilisations courantes du Bluetooth :

Le Bluetooth est une technologie sans fil populaire qui permet de connecter différents périphériques. Il est utilisé dans une variété de domaines tels que la communication, la musique, l'automobile, les wearables, etc. Dans cette partie, nous allons explorer les utilisations courantes du Bluetooth et comment il a transformé nos vies quotidiennes.

- a) **Les transferts de fichiers** : Bluetooth permet de transférer des fichiers entre deux appareils, tels que des photos, des vidéos ou des documents.
- b) **Les kits mains-libres pour voiture** : Les kits mains-libres Bluetooth permettent de passer des appels téléphoniques tout en gardant les mains sur le volant.
- c) **Les écouteurs sans fil** : Les écouteurs Bluetooth permettent de profiter de sa musique ou de ses vidéos sans avoir à se soucier des fils.
- d) **Les objets connectés** : Bluetooth est utilisé pour connecter des objets tels que des montres, des bracelets connectés ou des capteurs à des Smartphones ou des ordinateurs.
- e) **Les systèmes de localisation** : Bluetooth est utilisé pour localiser des objets ou des personnes dans un espace clos, tels que des salles de conférence ou des musées.
- f) **Les claviers et souris sans fil** : Bluetooth permet de connecter des claviers et des souris sans fil à des ordinateurs ou des tablettes.
- g) **Les systèmes audio sans fil** : Les enceintes Bluetooth permettent de diffuser de la musique sans fil à partir d'un Smartphone ou d'une tablette [9].

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

3.1.4. Les normes et réglementations du Bluetooth :

Le Bluetooth est régi par des normes et des réglementations qui définissent les caractéristiques et les fonctionnalités de la technologie Bluetooth établies par le Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group) qui est composé de membres de l'industrie et d'autres parties prenantes.

De plus, le Bluetooth doit respecter les réglementations en matière de fréquences radioélectriques établies par les autorités nationales et internationales. Ces réglementations limitent la puissance d'émission et la bande de fréquences utilisables par le Bluetooth afin d'éviter les interférences avec d'autres appareils sans fil [9].

Le Bluetooth est soumis à des réglementations et des normes qui varient selon les pays et les régions du monde. Aux États-Unis, les appareils Bluetooth sont réglementés par la Federal Communications Commission (FCC), qui établit des limites de puissance de transmission pour les appareils sans fil. En Europe, les normes sont établies par l'Européen Télécommunications Standards Institute (ETSI), qui détermine les fréquences et les canaux utilisés par le Bluetooth. Au Japon, le Bluetooth est réglementé par le ministère de la Communication, qui a établi des réglementations similaires à celles de la FCC. Les fabricants d'appareils Bluetooth doivent se conformer à ces normes et réglementations pour s'assurer que leurs produits peuvent être vendus sur les marchés internationaux. Les utilisateurs d'appareils Bluetooth doivent également être conscients de ces réglementations pour éviter toute violation des lois locales ou internationales [1].

3.1.5. Les avantages et inconvénients du Bluetooth :

Le tableau suivant résume les avantages et inconvénients du Bluetooth :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Faible consommation d'énergie• Large compatibilité avec différents appareils• Facilité d'utilisation et de mise en place• Coût relativement faible	<ul style="list-style-type: none">• Portée limitée• Débit de transmission relativement faible• Interférences possibles avec d'autres dispositifs• Risque de sécurité et de confidentialité des données

Tableau 1.1 : avantages et inconvénients du Bluetooth [8]

3.2. Le ZigBee :

3.2.1. Présentation de la technologie :

La technologie ZigBee aussi connue sous la norme IEEE 802.15.4 est une technologie de réseau sans fil à faible consommation d'énergie et à courte portée qui a été développée pour des applications telles que la domotique, l'automatisation industrielle, la surveillance et la sécurité. Basé sur la norme IEEE 802.15.4, Zigbee utilise une bande de fréquence de 2,4 GHz et offre un débit de données allant jusqu'à 250 kbps, une portée allant jusqu'à 100 mètres en champ libre et une faible consommation d'énergie.

Zigbee a été conçu pour permettre une connectivité fiable et à faible coût pour les appareils de l'Internet des objets (IoT) qui nécessitent une consommation d'énergie minimale et des coûts de fabrication abordables. Il utilise une architecture de réseau en maillage qui permet à chaque nœud du réseau de se connecter à plusieurs autres nœuds, permettant ainsi une communication multi-sauts pour atteindre des nœuds éloignés. Cette architecture permet également une grande fiabilité de la communication, car si un nœud tombe en panne, les autres nœuds peuvent continuer à communiquer en utilisant un chemin de communication alternatif [10]

3.2.2 Les couches du modèle Zigbee:

Le modèle Zigbee suit une architecture en couches. Chaque couche joue un rôle spécifique dans le fonctionnement du réseau. Les différentes couches du modèle Zigbee sont : la couche physique (PHY), la couche de liaison de données (MAC), la couche réseau et la couche application [8].

- a) **La couche physique (PHY)** : Cette couche est responsable de la transmission de bits sur le canal radio. Elle définit les caractéristiques physiques de la transmission, telles que la fréquence, la puissance de transmission, la modulation, etc.
- b) **La couche de liaison de données (MAC)** : Cette couche est responsable de la gestion du lien de données entre les nœuds du réseau. Elle fournit des services tels que la détection des erreurs, la retransmission des paquets, la gestion des canaux, etc.
- c) **La couche de réseau (NWK)** : Cette couche est responsable de la création et de la gestion du réseau. Elle fournit des services tels que la découverte de nœuds, le routage de paquets, la gestion de la sécurité, etc.
- d) **La couche d'application (APL)** : Cette couche est responsable de la gestion des applications spécifiques au réseau. Elle fournit des services tels que la gestion de groupe, la gestion de scène, la gestion de cluster, etc. [10]

3.2.3 Les topologies de réseau Zigbee :

Il existe trois topologies de réseau dans Zigbee : la topologie en étoile, la topologie en arbre et la topologie en maillage.

La topologie en étoile : tous les nœuds du réseau sont connectés directement à un concentrateur central (coordinateur), qui gère la communication entre les nœuds, Le coordinateur est en général fixe et alimenté pour garantir le fonctionnement du réseau. Cette topologie est adaptée pour les réseaux de petite taille (figure 1,5) [12]

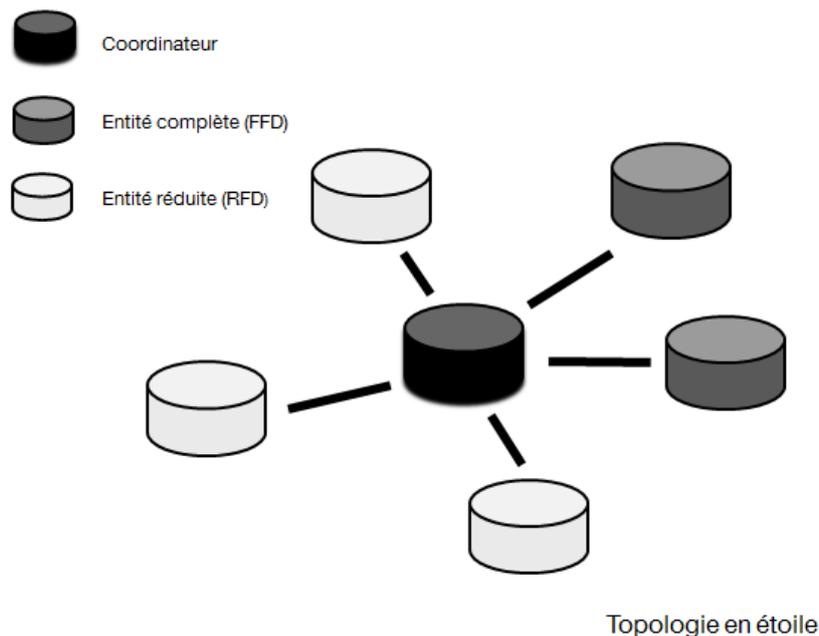


Figure 1.5 : Représentation de la topologie en étoile [11]

- a) **la topologie en arbre :** les nœuds sont organisés en hiérarchies, où chaque nœud est connecté à un autre nœud situé à un niveau supérieur dans l'arbre, jusqu'à atteindre le coordinateur. Cette topologie est adaptée pour les réseaux de taille moyenne.
- b) **la topologie en maillage :** tous les nœuds sont connectés les uns aux autres pour former un réseau interconnecté. Cette topologie est adaptée pour les réseaux de grande taille et permet une plus grande redondance et une plus grande robustesse. [12]

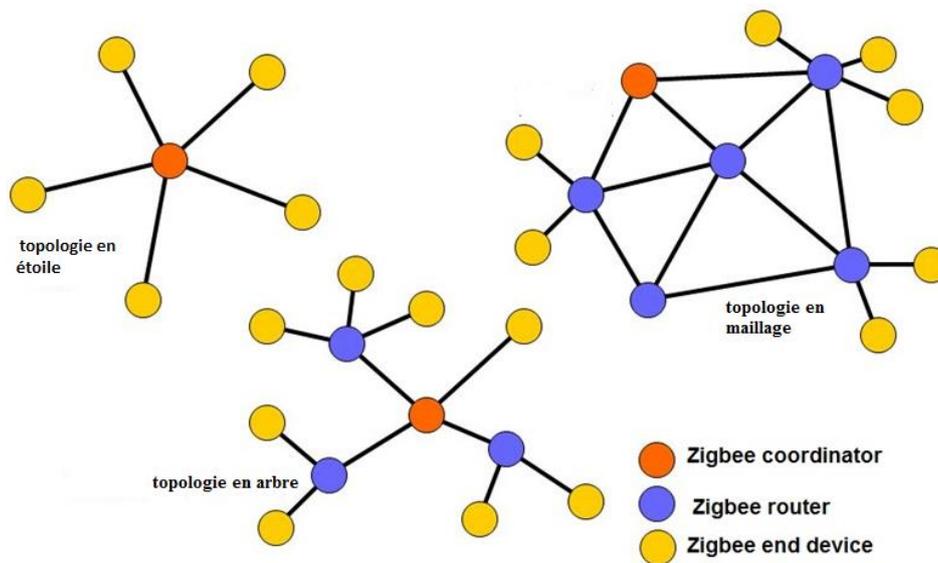


Figure 1.6 : Topologies de réseau Zigbee [11]

3.2.4. Les applications de Zigbee

Les applications de Zigbee sont très variées, allant de la domotique à l'industrie, en passant par l'énergie et la santé. Grâce à ses avantages tels que sa faible consommation d'énergie, sa grande portée et sa capacité à connecter un grand nombre de périphériques, Zigbee est utilisé dans de nombreuses applications qui nécessitent une communication sans fil fiable et efficace. Dans cette partie, nous allons explorer certaines des applications les plus courantes de Zigbee.

- Contrôle d'éclairage : Zigbee est souvent utilisé pour les systèmes de contrôle d'éclairage dans les bâtiments commerciaux et résidentiels. Il permet une gestion plus précise et économe en énergie.
- Domotique : Zigbee est largement utilisé dans les systèmes domotiques pour contrôler les thermostats, les volets roulants, les portes de garage, les serrures intelligentes.
- Capteurs et surveillance : Zigbee est souvent utilisé pour la surveillance de l'environnement, la détection d'incendie et de fumée, la surveillance de la qualité de l'air, la surveillance de la température et de l'humidité.
- Santé : Zigbee est utilisé dans les dispositifs médicaux portables pour surveiller les signes vitaux tels que la pression artérielle, la glycémie, le rythme cardiaque.
- Industrie : Zigbee est utilisé pour la surveillance des équipements et des processus industriels, la gestion des chaînes d'approvisionnement et le suivi des actifs.
- Réseaux de capteurs sans fil (WSN) : Zigbee est un choix populaire pour les réseaux de capteurs sans fil qui peuvent être utilisés pour la collecte de données environnementales, la surveillance de la sécurité, la surveillance de la santé [10].

3.2.5. Les avantages et limites de Zigbee

Zigbee présente plusieurs avantages en tant que technologie de réseau sans fil, tels que sa fiabilité et sa capacité à prendre en charge un grand nombre de nœuds sur un réseau. Cependant, il y a aussi des limites à considérer, notamment la faible bande passante et la portée limitée par rapport à d'autres technologies sans fil. Pour résumer les avantages et les inconvénients de Zigbee, un tableau peut être utilisé pour comparer ses caractéristiques avec d'autres technologies de réseau sans fil.

Avantages de Zigbee	Limites de Zigbee
<ul style="list-style-type: none">• Faible consommation d'énergie• Faible coût• Sécurité renforcée• Grande flexibilité de déploiement• Possibilité d'interconnexion de différents réseaux	<ul style="list-style-type: none">• Faible bande passante• Faible coût• Portée limitée• Complexité des protocoles• Nécessite des compétences techniques• Limites du nombre de nœuds connectés

Tableau 1.2 : avantages et limites du Zigbee [13]

4. Le réseau local sans fil (WLAN) :

Un réseau local sans fil (WLAN), constitue une infrastructure de communication qui autorise la connexion sans fil d'appareils électroniques, en vue d'établir des échanges de données et un accès à Internet, sans la nécessité de câblage physique. Les WLAN font fréquemment usage de la norme IEEE 802.11 pour régir les transmissions sans fil, ce qui permet aux utilisateurs de conserver leur connectivité tout en se déplaçant librement dans la zone de couverture. Ces réseaux sont largement déployés dans une variété d'environnements, tels que les entreprises, les institutions éducatives, les établissements hôteliers et les espaces publics, dans le but de procurer une connectivité sans fil pratique et performante [1]

4.1. Le Wi-Fi (802.11) :

4.1.1. Présentation de la technologie Wi-Fi :

La technologie Wi-Fi, constitue un système de communication sans fil largement déployé pour la connexion d'appareils tels qu'ordinateurs, Smartphones, tablettes et objets connectés. Son principal objectif est de permettre la connectivité à Internet et entre ces dispositifs au sein d'une zone locale restreinte. Les normes IEEE 802.11, qui établissent les spécifications des réseaux locaux sans fil, servent de base à cette technologie [2]

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

4.1.2. Les principales caractéristiques du Wi-Fi :

Connectivité sans câble: Le Wi-Fi se démarque par sa capacité à échanger des données sans recourir à des liaisons physiques, utilisant à la place des signaux radio. Ceci engendre une flexibilité appréciable et autorise une mobilité accrue pour les utilisateurs.

Usage répandu: On retrouve le Wi-Fi dans divers environnements tels que domiciles, bureaux, établissements scolaires, cafés, aéroports et hôtels. Il assure un accès à Internet haut débit et simplifie le partage de ressources.

Large bande passante: Les standards Wi-Fi fournissent des taux de transfert toujours plus élevés. Ceci permet de prendre en charge des activités consommatrices de bande passante telles que streaming vidéo, jeux en ligne et téléchargements de fichiers volumineux.

Sécurité: Les réseaux Wi-Fi peuvent mettre en place des mécanismes de sécurité comme le chiffrement WPA (Wi-Fi Protected Access) afin de prévenir l'accès non autorisé aux données des utilisateurs.

Configuration aisée: La majorité des appareils modernes intègrent des puces Wi-Fi et ont la capacité de détecter automatiquement les réseaux à portée. Les utilisateurs peuvent s'y connecter en saisissant un mot de passe, pour les réseaux sécurisés.

Normes en constante évolution: Les normes Wi-Fi sont régulièrement améliorées en vue de supporter de nouvelles fonctionnalités et d'accroître l'efficacité du réseau [14]

4.2. Normes et Protocoles WLAN :

Les réseaux locaux sans fil (WLAN) sont régis par un ensemble d'accords techniques et de procédures opérationnelles établis par des normes et des protocoles. Ces directives jouent un rôle crucial en spécifiant les caractéristiques techniques et les exigences opérationnelles des dispositifs et des infrastructures de réseau dans le domaine [1].

L'IEEE 802.11, une série de normes majeures, a largement influencé le développement des réseaux WLAN. Parmi les jalons importants figurent :

IEEE 802.11a : Cette norme a marqué l'introduction de la technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pour la transmission de données à haut débit sur des fréquences de 5 GHz, offrant des débits théoriques jusqu'à 54 Mbps.

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

IEEE 802.11b : Utilisant la modulation DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) pour opérer dans la bande de 2,4 GHz, 802.11b, bien qu'offrant des vitesses plus modestes, a assuré la compatibilité avec les dispositifs plus anciens, contribuant ainsi à la popularité des réseaux Wi-Fi.

IEEE 802.11g : Introduisant des améliorations de débit significatives, cette norme a également utilisé la fréquence de 2,4 GHz, permettant des débits allant jusqu'à 54 Mbps via la technologie OFDM.

IEEE 802.11n : Pionnière dans l'adoption de l'antenne multiple (MIMO), cette norme a amélioré la portée et la fiabilité du signal, tout en offrant des débits pouvant atteindre 600 Mbps. Elle opère sur les bandes de fréquences 2,4 GHz et 5 GHz.

Ces normes ne sont qu'un échantillon parmi les différentes itérations de l'IEEE 802.11, qui ont évolué pour répondre aux besoins changeants des utilisateurs et des applications [2]. L'évolution se poursuit avec des normes telles que l'IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5) et l'IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6), qui repoussent les limites en termes de débit et de capacités, procurant des expériences de connectivité améliorées aux utilisateurs.

5. Le réseau métropolitain sans fil (WMAN) :

Il désigne une technologie de connectivité sans fil qui couvre une étendue géographique plus large que les réseaux locaux sans fil (WLAN), tout en étant moins étendue que les réseaux sans fil à large zone (WWAN). Son objectif principal est de fournir des services de communication à haut débit dans les zones métropolitaines, comme les agglomérations urbaines. Son but est de proposer une alternative aux infrastructures câblées traditionnelles, en assurant une connexion Internet performante et stable sur des distances plus considérables.

Le WMAN s'appuie souvent sur la norme IEEE 802.16, communément appelée WiMAX. Cette norme utilise des signaux radio pour acheminer des données à grande vitesse sur des distances étendues. Son déploiement peut se faire de manière centralisée, à partir d'une station de base unique, pour servir de nombreux utilisateurs ou dispositifs à l'intérieur d'une zone métropolitaine.

5.1. WiMAX (802.16) :

Le WiMAX est une technologie de communication sans fil à large bande qui a considérablement étendu les limites des connexions sans fil traditionnelles. En utilisant des fréquences radioélectriques, le WiMAX permet la transmission de données à haut débit sur des distances beaucoup plus grandes que les WLAN conventionnels.

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

Le WiMAX se distingue par ses caractéristiques avancées au niveau des couches physiques et MAC, ainsi que par son architecture de réseau sophistiquée. En adoptant des technologies de pointe, le WiMAX offre des vitesses de connexion élevées et une stabilité accrue, ce qui en fait une solution attrayante pour les fournisseurs de services Internet et les opérateurs télécoms [4]

L'introduction de la technologie WiMAX dans le paysage des WMAN a ouvert la voie à de nouvelles possibilités de connectivité pour les utilisateurs métropolitains. Dans le chapitre suivant, nous explorerons en détail les spécificités des couches physiques et MAC du WiMAX, ainsi que son architecture de réseau. Nous examinerons également les applications et les avantages qu'il offre dans un contexte métropolitain, démontrant comment cette technologie transforme la manière dont les individus et les entreprises se connectent et communiquent.

5.1.1 Catégories du WiMAX :

Le standard IEEE 802.16 est divisé en deux catégories distinctes :

a) WiMAX fixe : Aussi désigné sous le nom d'IEEE 802.16-2004, ce type de WiMAX est conçu pour un usage stationnaire, avec une antenne montée sur un toit, similaire à une antenne de télévision. Le WiMAX fixe opère dans les bandes de fréquences de 5,2 GHz et 3,5 GHz, requérant une licence d'exploitation pour ces fréquences, ainsi que la bande libre des 5,8 GHz.

b) WiMAX mobile : Également connu sous le nom d'IEEE 802.16e, cette variante offre la possibilité de connecter des clients mobiles à Internet. Le WiMAX mobile ouvre la voie à la téléphonie mobile sur IP, ainsi qu'à des services mobiles à haut débit de manière plus étendue.

5.1.2. Fonctionnement du WiMAX :

L'un des objectifs majeurs du WiMAX réside dans la fourniture de la desserte, également appelée boucle locale ou connexion du dernier kilomètre. Cette approche vise à connecter à Internet les

utilisateurs qui, actuellement, ne peuvent pas bénéficier d'un accès haut débit en raison de l'absence d'infrastructures filaires.

Dans la pratique, le WiMAX opère de manière similaire au Wifi, mais avec une capacité de transmission accrue, couvrant de plus grandes distances et offrant une prise en charge pour un nombre plus important d'utilisateurs. Le WiMAX pourrait potentiellement offrir la possibilité à des régions actuellement non desservies par certains fournisseurs d'accès Internet [16].

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils



Figure 1.7 : Le principe de fonctionnement du WiMAX [13]

Un système WiMAX est constitué de deux composants principaux :

1-Antenne WiMAX (station de base) : Cette antenne, similaire à une antenne GSM, constitue le point central du système. Une seule antenne WiMAX a la capacité théorique de couvrir une zone pouvant atteindre jusqu'à 8000 km².

2-Récepteur WiMAX : Le récepteur WiMAX est équipé d'une antenne et est contenu dans un boîtier compact, comparable à un modem actuel. Il peut également être intégré directement dans des ordinateurs portables, à l'instar du Wifi dans les ordinateurs portables actuels.

L'antenne WiMAX (station de base) a la possibilité de se connecter directement à Internet via une connexion câblée à haut débit. De plus, elle peut également établir une connexion avec d'autres antennes WiMAX. Cette capacité technique permet de fournir un accès même dans des zones éloignées. Les utilisateurs se connectent à l'antenne à l'aide d'une borne WiMAX dédiée ou d'une puce intégrée. Une caractéristique notable du WiMAX est qu'une ligne de vue directe (LOS) entre

l'utilisateur et l'antenne n'est pas nécessaire pour établir une connexion. En d'autres termes, la transmission ne requiert pas une ligne de visée directe entre les deux points.

6. Conclusion :

Les connexions sans fil offrent la possibilité de relier des appareils entre eux sans recourir à des câbles. La mise en place d'infrastructures sans fil se révèle souvent nettement plus économique par rapport aux solutions câblées conventionnelles. Néanmoins, l'instauration de réseaux sans fil ne vise pas uniquement à réaliser des économies. En offrant une accessibilité accrue et à moindre coût à Internet au sein de votre communauté locale, vous permettez à celle-ci de profiter directement des

Chapitre 1: Généralités sur mes technologies sans fils

avantages qu'Internet peut offrir. Les ressources temporelles et les efforts économisés pour accéder au réseau mondial d'informations se transforment en une source de prospérité locale, car davantage de tâches peuvent être accomplies en moins de temps et avec moins de difficultés. Cependant, même en l'absence d'accès à Internet, les réseaux communautaires sans fil revêtent une valeur inestimable. Ils favorisent la collaboration entre individus engagés dans des projets, indépendamment de la distance qui les sépare. Ce chapitre nous a permis d'explorer les diverses spécificités des réseaux sans fil. Dans le chapitre à venir, nous approfondirons notre compréhension des réseaux métropolitains, en nous penchant plus particulièrement sur l'étude du standard WiMAX.

Chapitre 2:

La technologie WiMAX

1.Introduction :

Le monde de la connectivité sans fil a connu une évolution rapide et fascinante, apportant avec elle une série de technologies novatrices visant à combler les lacunes de connectivité et à répondre aux besoins croissants en accès à Internet haut débit. Parmi ces technologies, le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) se démarque en tant que solution puissante pour fournir une connectivité étendue, à haut débit et adaptable à diverses applications. Dans ce chapitre, nous plongeons dans l'univers du WiMAX, en explorant ses spécificités techniques, son architecture réseau et les opportunités qu'il ouvre pour une gamme variée de services et d'applications.

Le réseau WiMAX repose sur plusieurs versions de la norme 802.16 et se décline en deux configurations distinctes : fixe et mobile. La configuration fixe vise à rivaliser avec les technologies d'accès DSL, tandis que la configuration mobile peut concurrencer les points d'accès WiFi (hotspots) tout en étant capable de rivaliser avec les réseaux cellulaires. Par conséquent, le WiMAX est catégorisé comme une technologie de troisième génération avancée (B3G).

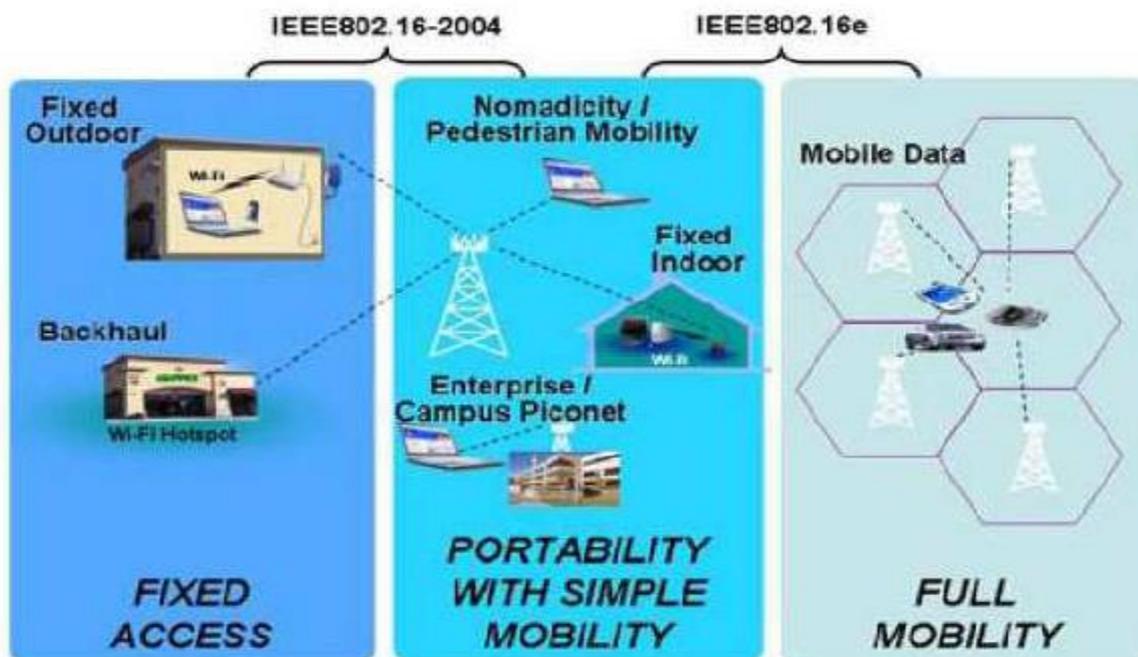


Figure 2.1 : Les Différentes configurations du WiMAX [11]

2. Caractéristiques de la norme IEEE 802.16

Les caractéristiques essentielles de la version initiale de la norme incluait :

- L'utilisation de porteuses à des fréquences inférieures à 11 GHz.
- L'adoption de la modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) comme technique de modulation.
- Un débit minimal d'environ 10 Mbit/s, avec une perspective de parvenir à des débits allant jusqu'à 100 Mbit/s.
- Une portée de couverture s'étendant jusqu'à 20 km [17]

Le tableau ci-dessous synthétise l'évolution du standard IEEE 802.16

Standard	Description	Publié	Statut
IEEE std 802.16-2001	définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieures à 10 GHz (jusqu'à 66 GHz)	8 avril 2002	obsolètes
IEEE std 802.16c-2002	définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz.	15 janvier 2003	
IEEE std 802.16a-2003	amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11 GHz.	1er avril 2003	
IEEE std 802.16-2004 (également désigné 802.16d)	il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c.	1er octobre 2004	obsolète/ actifs
IEEE 802.16e (également désigné IEEE std 802.16e-2005)	apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122 km/h.	7 décembre 2005	actifs
IEEE 802.16f	Spécifie la MIB (Management Information Base), pour les couches MAC (Media Access Control) et PHY (Physical)	22 janvier 2006	
IEEE 802.16m	Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/s et 100 Mbits/s en mobile grande vitesse. Convergence des technologies WiMAX, Wi-Fi et 4G	-	En cours

Figure 2.2 : L'évolution du standard IEEE802.16 [15]

3. Couches du modèle OSI associées au WiMAX

Le WiMAX, en tant que technologie de communication sans fil, est conçu pour fonctionner en respectant les différentes couches du modèle OSI (Open Systems Interconnection). Chaque couche

du modèle OSI joue un rôle spécifique dans la communication et l'acheminement des données au sein du réseau WiMAX. Voici comment les différentes couches du modèle OSI sont associées au WiMAX :

3.1. Couche Physique (Physical Layer) :

La couche associée à la physique dans le modèle OSI est chargée de la gestion des éléments matériels liés à la transmission de données, notamment les signaux électriques, les fréquences radio et les techniques de modulation. Dans le cas du WiMAX, cette couche joue un rôle crucial en transformant les données numériques en signaux radiofréquence adaptés à la transmission sans fil. Les particularités telles que la modulation, la multiplexion et d'autres paramètres liés aux caractéristiques physiques sont définies par les normes propres au WiMAX, ce qui favorise l'obtention de débits élevés sur des distances étendues [1]

3.2. Couche Liaison de Données (Data Link Layer) :

La couche de liaison de données, en conformité avec le modèle OSI, assume la responsabilité de faciliter la connexion directe et sécurisée entre les nœuds voisins d'un réseau, assurant ainsi une transmission de données fiable au sein d'une liaison physique. Au sein du WiMAX, cette couche englobe diverses fonctions, notamment la gestion des trames, la régulation du flux de données, la détection et la correction d'erreurs, ainsi que la gestion de l'accès au support de communication (MAC - Media Access Control). Les spécificités du protocole MAC propre au WiMAX, notamment le contrôle d'accès basé sur l'assignation de créneaux temporels, font partie intégrante de cette couche [7]

L'architecture de couches et de protocoles définie dans le WiMAX/802.16 est montrée dans la figure suivante :

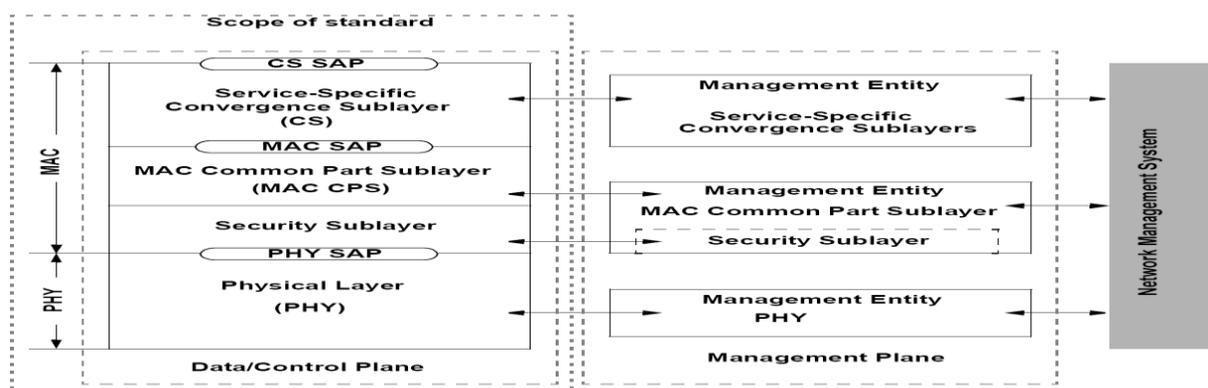


Figure 2.3 : Structure en couche du standard IEEE802.16 [7]

4. Les Plages de Fréquences Prises en Charge :

4.1. Plage de Fréquences de 10 à 66 GHz :

Au sein de cette gamme de fréquences, la nécessité de visibilité directe "LOS" (Line of Sight) due à la courte longueur d'onde engendre l'ignorance des effets de propagation à trajets multiples. Cette tranche de fréquences autorise des débits pouvant atteindre 120 Mbit/s. L'abondance de la bande passante disponible constitue un motif supplémentaire pour l'utilisation de cette gamme.

Contrairement aux plages de fréquences inférieures où les largeurs de bande sont souvent inférieures à 100 MHz, la majorité des plages de fréquences supérieures à 20 GHz peut offrir plusieurs centaines de mégahertz de bande passante. De plus, les canaux à l'intérieur de ces plages sont généralement de 25 ou 28 MHz de large.

4.2. Plage de Fréquences de 2 à 11 GHz :

À l'intérieur de cette gamme de fréquences, les bandes sous licence et exemptes de licence sont prises en considération. Des caractéristiques physiques ont été intégrées pour opérer dans des environnements "NLOS" (Non Line of Sight) et atténuer les effets de propagation à trajets multiples. Le mécanisme d'adressage physique et MAC, notamment la sélection dynamique de fréquence (DFS), est utilisée pour détecter et éviter les interférences. Même si la prestation de services dans cette plage de fréquences dépend grandement des objectifs de conception, les fournisseurs font généralement état de taux de transfert de données globaux pouvant atteindre 70

Mb/s dans un canal de 14 MHz [18]

5. Architecture Globale du Réseau WiMAX

L'architecture du réseau WiMAX repose sur une structure robuste et évolutive, conçue pour répondre aux besoins de connectivité haut débit sur de larges zones géographiques. Cette architecture, basée sur le modèle de réseau à deux niveaux, se compose de deux éléments clés : le Réseau d'Accès WiMAX (ASN - WiMAX Access Service Network) et le Réseau de Distribution WiMAX (DSN - WiMAX Distribution Service Network).

La figure 2.4 représente un exemple d'architecture générale d'un réseau d'accès à large bande:

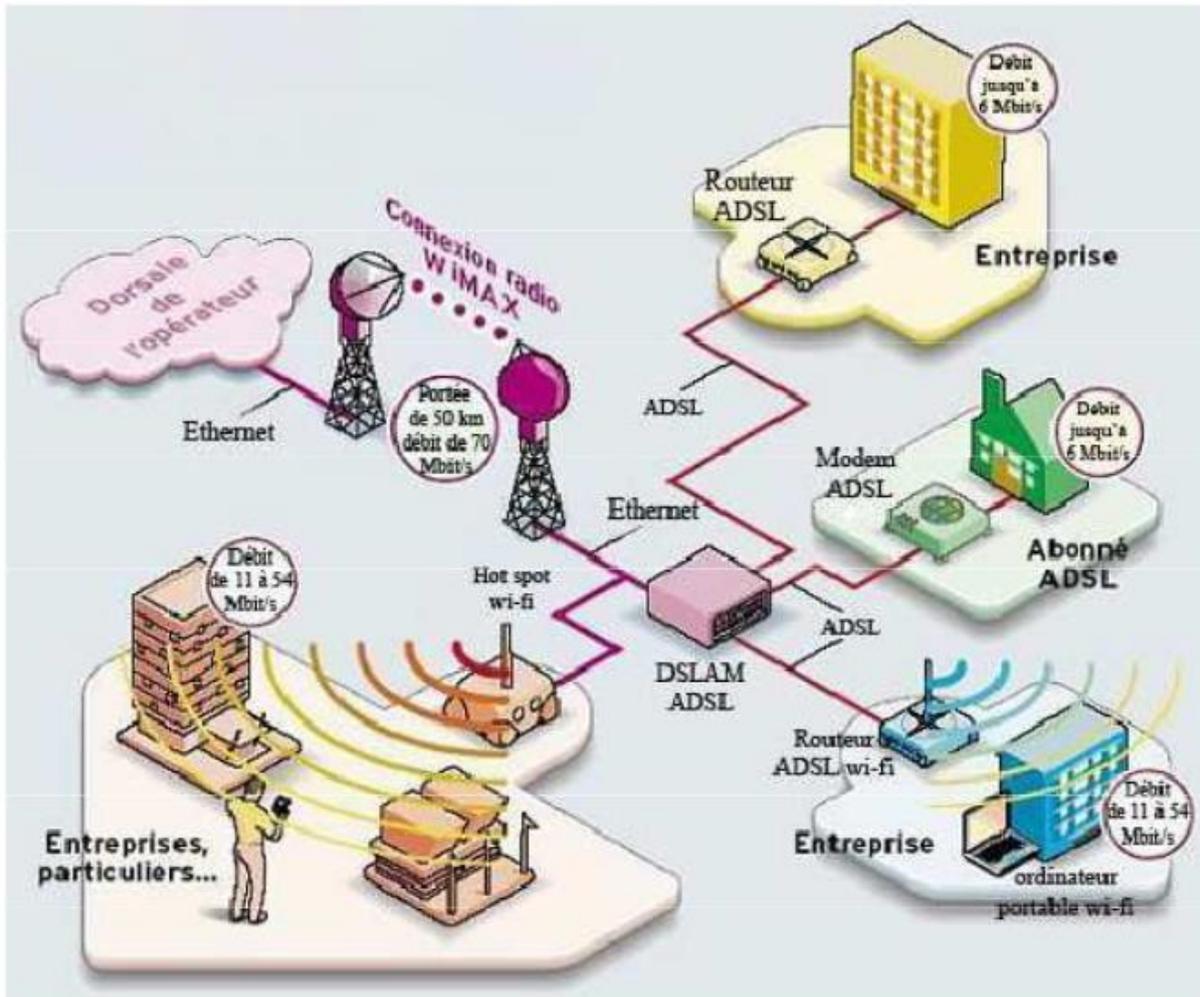


Figure 2.4 : Exemple d'un réseau WiMAX [19]

5.1. Réseau d'Accès WiMAX (ASN) :

Le Réseau d'Accès WiMAX (ASN) est la partie du réseau WiMAX qui se trouve entre les utilisateurs finaux et les Stations de Base (BS - Base Stations). Il gère l'accès des utilisateurs finaux au réseau et coordonne les transmissions entre les Stations de Base et les Stations Clients. L'ASN comprend les éléments suivants :

Stations de Base (BS) : Ces équipements servent de points d'accès pour les utilisateurs finaux. Ils assurent la connexion sans fil avec les Stations Clients et gèrent les communications dans leur zone de couverture. **Stations Clients (CS) :** Les Stations Clients sont les dispositifs utilisés par les abonnés pour se connecter au réseau WiMAX via les Stations de Base. Elles peuvent prendre différentes formes, telles que des ordinateurs portables, des smartphones ou des équipements spécifiques.

5.2. Réseau de Distribution (RN) :

Ce réseau transporte le trafic entre les Stations de Base et les Points de Connexion au Réseau (NAP - Network Access Points). Il peut être basé sur différentes technologies, telles que la fibre optique, pour assurer une connectivité à haut débit et une grande capacité de transfert de données. Le Réseau de Distribution WiMAX (DSN) assure la connectivité entre les Points de Connexion au Réseau (NAP) et les Stations de Base (BS). Il utilise la technologie WiMAX pour offrir une transmission de données à haut débit sur de longues distances. Le DSN joue un rôle crucial dans la connectivité du réseau, permettant de relier les différents Réseaux d'Accès WiMAX (ASN) entre eux et d'acheminer le trafic vers les Points de Connexion au Réseau [2]

6. Topologies WiMAX :

La norme 802.16 établit deux modes de topologie distincts : le mode PMP (Point to Multi Point) et le mode MESH. Ces deux modes seront examinés en détail dans les sections suivantes.

6.1. Le Mode PMP :

Le mode de communication fondamental du 802.16 est appelé mode PMP (Point to Multi Point), comme son nom l'indique, ce mode implique la transmission depuis un point central vers plusieurs points dans le réseau, tel que représenté dans la Figure. Dans cette configuration, le lien descendant DL (Down Link), allant de la BS (Base Station) vers l'utilisateur SS (Subscriber Station), opère en mode PMP : la BS est responsable de la gestion des transmissions dans sa zone de couverture, sans nécessiter de coordination avec les autres stations (BS ou SS).

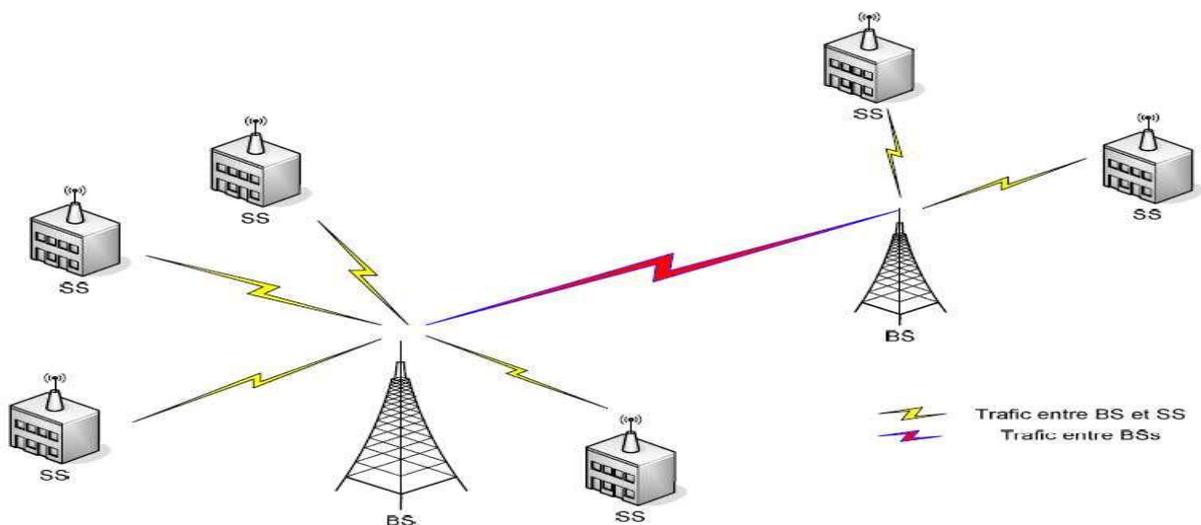


Figure 2.5 : Architecture PMP [19]

6.2. Le mode Mesh :

La distinction principale entre le mode PMP et le mode Mesh (Figure 2.6) est expliquée de manière détaillée ci-dessous. En mode PMP, le flux de trafic se limite à circuler entre les SS et la BS, tandis que dans le contexte du mode Mesh, les stations SS sont capables de communiquer directement entre elles sans nécessiter le passage par la BS.

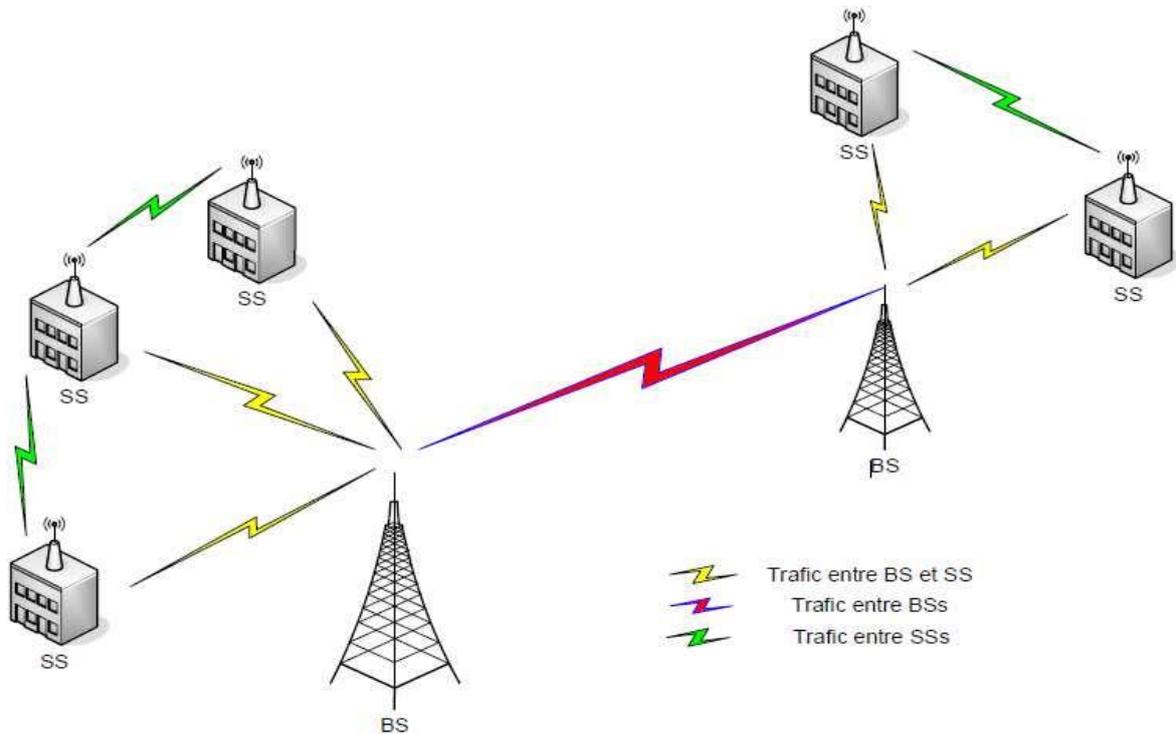


Figure 2.6 : Architecture Mesh [19]

7. Applications du WiMAX :

Le WiMAX offre une gamme diversifiée d'applications qui répondent aux besoins de divers secteurs :

1- Connectivité Internet à Haut Débit pour les Régions Éloignées : Le WiMAX joue un rôle primordial en apportant un accès Internet à haut débit dans les zones rurales et périurbaines qui souffrent d'un manque d'infrastructures câblées. Cette technologie comble les disparités numériques en offrant une connectivité rapide et stable, ouvrant ainsi la voie à l'éducation en ligne, aux services de santé à distance et à d'autres avantages de la société numérique.

2-Réseaux Métropolitains Sans Fil pour les Entreprises : Le WiMAX est également déployé dans les réseaux métropolitains sans fil (WMAN) destinés aux entreprises, universités et campus. Il propose des solutions de connectivité à haut débit pour les organisations nécessitant une

infrastructure de réseau étendue pour des applications telles que la sécurité, la communication interne et la liaison entre différents sites.

3-Communication dans les Infrastructures Critiques : Le WiMAX trouve son utilité dans les systèmes de communication critiques, comme les réseaux de sécurité publique et les infrastructures de transport en commun. Ces applications nécessitent une connectivité robuste et fiable pour la coordination des secours en cas d'urgence, la gestion du trafic et la communication en temps réel entre les services d'urgence.

4-Services Mobiles Haut Débit : Grâce à sa capacité mobile, le WiMAX facilite la fourniture de services haut débit mobiles, tels que la navigation Internet sur smartphones et tablettes. Cette technologie répond à la demande croissante de connectivité mobile rapide tout en offrant une expérience utilisateur fluide.

8. Conclusion :

Le chapitre 2 nous a plongés profondément dans le monde du WiMAX, une technologie fascinante qui a émergé pour répondre aux besoins croissants de connectivité haut débit dans un monde de plus en plus connecté. Nous avons exploré en détail les caractéristiques techniques du WiMAX, ses différentes versions de normes et ses configurations fixes et mobiles. De plus, nous avons étudié comment le WiMAX s'intègre harmonieusement dans le modèle OSI, en faisant correspondre chaque couche du modèle à son rôle au sein du réseau WiMAX.

Ce chapitre a jeté les bases nécessaires pour comprendre les aspects fondamentaux du WiMAX, de ses spécificités techniques à son architecture en passant par ses modes de communication. Cette compréhension approfondie prépare le terrain pour des explorations plus poussées. Dans le prochain et dernier chapitre, nous plongerons dans la simulation en mettant en place un réseau WiMAX virtuel. Nous allons simuler et évaluer les performances de ce réseau.

Chapitre 3:

Simulation et l'analyse des performances du WiMAX

1.Introduction :

Ce troisième chapitre marque une étape cruciale de notre recherche, car il nous permettra de passer de la théorie à la pratique. Nous allons maintenant plonger au cœur de notre étude en réalisant une expérience de simulation dans l'environnement OPNET (Optimized Network Engineering Tool). L'objectif de cette expérience est d'évaluer la qualité de service (QoS) dans un réseau WiMAX et d'analyser comment la mise en place de la QoS impacte les performances du réseau et la qualité des différentes applications utilisées.

L'expérience se déroulera en deux scénarios distincts. Dans le premier scénario, nous considérerons toutes les applications de manière équivalente, sans configuration spécifique de la QoS. Cela nous permettra d'observer les performances du réseau sans aucune différenciation entre les applications. Dans le deuxième scénario, nous mettrons en œuvre la QoS en classant les applications en différentes catégories (Gold, Silver, Bronze) selon leurs exigences et leurs priorités. Ce scénario nous permettra de comparer les résultats avec la mise en place de la QoS par rapport au scénario sans QoS.

Pour mener à bien cette expérience, nous commencerons par présenter l'environnement de simulation utilisé, l'outil OPNET, qui nous permettra de modéliser fidèlement le réseau WiMAX et les applications associées. Nous détaillerons les caractéristiques du réseau et des applications, ainsi que les paramètres de simulation spécifiques que nous utiliserons pour reproduire des conditions réalistes.

Cette partie pratique de notre étude est essentielle pour valider les concepts théoriques abordés dans les chapitres précédents et pour obtenir des résultats concrets qui nous permettront de tirer des conclusions solides sur l'efficacité de la QoS dans un réseau WiMAX.

2.Description générale d'OPNET :

OPNET est un logiciel de simulation de réseaux développé par Riverbed Technology, qui offre une suite complète d'outils de modélisation et de simulation pour la conception, l'analyse et

l'optimisation des réseaux de communication. Il est largement utilisé dans le domaine des télécommunications, de l'informatique et de l'ingénierie des réseaux pour étudier le comportement des réseaux sous différentes conditions et pour évaluer les performances des systèmes de communication.

L'environnement de simulation d'OPNET offre une approche basée sur les modèles, où les composants du réseau sont représentés par des modèles abstraits. Ces modèles permettent de décrire le comportement et les caractéristiques des différents éléments du réseau, tels que les routeurs, les commutateurs, les serveurs, les applications, les protocoles, etc. Les utilisateurs peuvent configurer et personnaliser ces modèles en fonction de leurs besoins spécifiques.

OPNET propose une interface graphique conviviale, qui permet aux utilisateurs de construire des topologies de réseau en faisant glisser et déposant les éléments du réseau dans l'environnement de simulation. Les utilisateurs peuvent définir les propriétés et les paramètres de chaque élément, ainsi que les interactions entre eux, pour créer des scénarios de simulation réalistes.

L'outil offre également des capacités avancées pour la collecte et l'analyse des données de simulation, permettant aux utilisateurs d'évaluer les performances du réseau en fonction de différentes métriques. Les résultats de la simulation peuvent être présentés sous forme de graphiques, de tableaux et de rapports détaillés pour faciliter l'interprétation et la prise de décision.

OPNET est utilisé dans divers domaines, tels que l'optimisation des réseaux sans fil, l'évaluation de la QoS, la planification des capacités, la conception de réseaux d'entreprise, la simulation de protocoles de communication, la modélisation de réseaux ad hoc, et bien plus encore. Il est apprécié pour sa flexibilité, sa précision et sa capacité à gérer des réseaux de grande taille et de complexité variable.

Pour notre étude sur l'évaluation de la QoS dans un réseau WiMAX, OPNET s'avère être un choix judicieux, car il nous permettra de modéliser fidèlement le réseau WiMAX et les applications associées, et d'observer leur comportement dans des conditions de simulation contrôlées. Nous pourrons ainsi réaliser des expériences pertinentes et obtenir des résultats fiables pour approfondir notre compréhension de l'impact de la QoS dans le réseau.

3.Description des Scénarios de Simulation :

Dans cette section, nous présenterons en détail les deux scénarios de simulation mis en place dans OPNET pour évaluer la Qualité de Service (QoS) dans un réseau WiMAX. Chaque scénario

représente une configuration spécifique du réseau avec des paramètres et des configurations distincts, visant à comparer les performances du réseau dans des conditions différentes.

Le premier scénario, que nous appellerons "Scénario sans QoS", considère toutes les applications utilisées (HTTP, VoIP et vidéoconférence) de manière équivalente sans aucune différenciation par classe de QoS. Dans ce scénario, les paquets de données sont partagés sans aucune priorisation ou gestion spécifique, ce qui permettra d'observer les performances du réseau sans la mise en place de la QoS. Le principal objectif de ce scénario est de servir de référence pour évaluer l'effet de la QoS sur les performances du réseau dans le deuxième scénario.

Le deuxième scénario, que nous appellerons "Scénario avec QoS", met en œuvre la Qualité de Service en différenciant les applications en trois classes de QoS : "Gold", "Silver" et "Bronze". Chaque classe de QoS a des attributs spécifiques définis pour répondre aux exigences et aux priorités des applications respectives. Par exemple, les applications de vidéoconférence peuvent être classées en "Gold" avec des attributs de haute priorité et de taux de trafic élevé, tandis que les applications HTTP peuvent être classées en "Bronze" avec des attributs de priorité moindre et de trafic plus faible.

Le scénario avec QoS vise à évaluer l'impact de la différenciation des applications par classe de QoS sur les performances du réseau. Nous pourrions comparer les métriques de performance telles que le jitter, la variation du délai des paquets, le débit, etc., entre les différentes classes de QoS et entre ce scénario et le scénario sans QoS.

La mise en place de ces deux scénarios dans OPNET nous permettra d'observer comment la QoS influence la gestion des ressources du réseau et la qualité des services offerts aux utilisateurs. Ces scénarios sont conçus de manière à créer un environnement de simulation réaliste pour notre étude sur l'évaluation de la QoS dans un réseau WiMAX, en prenant en compte les caractéristiques spécifiques de chaque application et leurs besoins en termes de performances. Les résultats obtenus nous permettront de tirer des conclusions significatives pour améliorer la gestion et l'optimisation des réseaux WiMAX.

Le modèle de simulation principal utilisé est présenté ci-dessous dans la figure 3.1

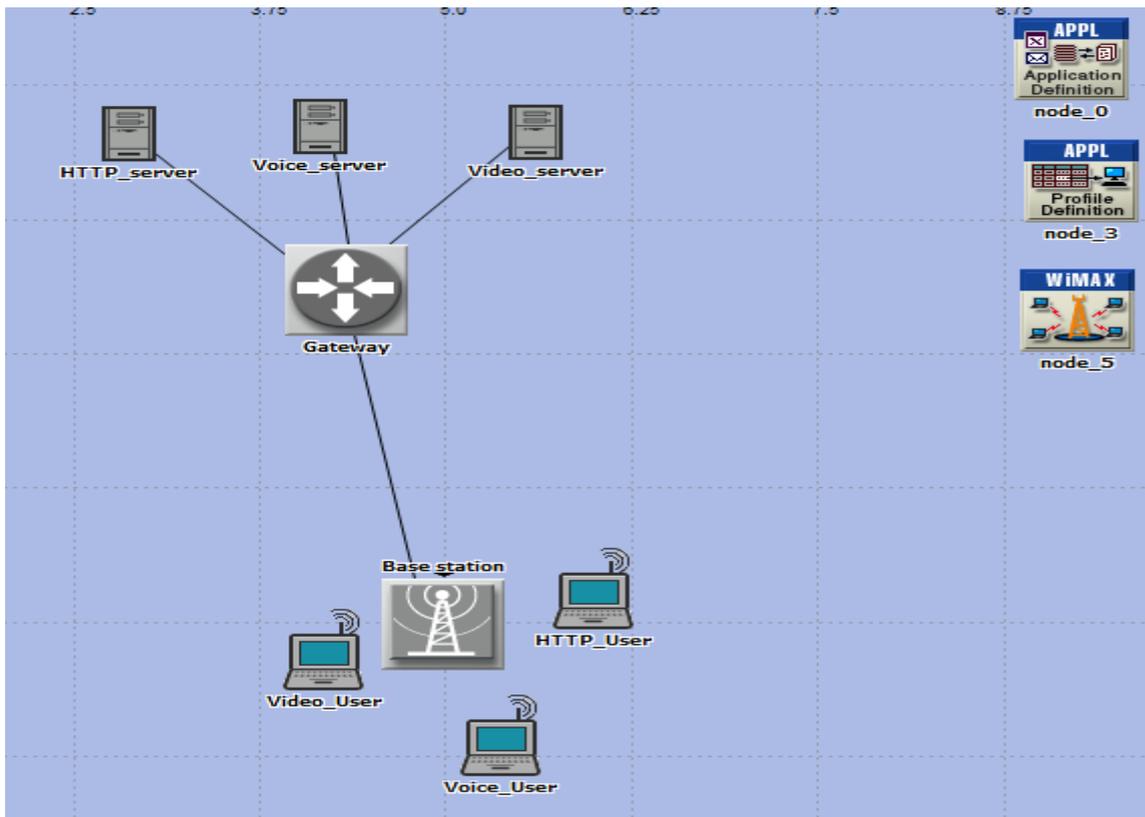


Figure 3.1 : modèle de simulation WIMAX

Les paramètres généraux de simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ce tableau récapitule tous les paramètres utilisés dans les deux scénarios :

Paramètre	Valeur
Applications	HTTP, VoIP et vidéoconférence
Nombre d'utilisateurs	3
Nombre de serveurs	3
Bande passante WiMAX	20 MHz
Couche physique	OFDMA
Nombre de sous-porteuses	2048
Technique duplex	TDD

Tableau 3.1 : les paramètres utilisés dans les scénarios

Le trafic est configuré en définissant les profils des utilisateurs dans l'équipement utilisateur et les services pris en charge côté serveur en tant que source et destination du trafic. La figure 3.2 ci-dessous illustre la configuration réelle du trafic entre les nœuds utilisés dans cette simulation :

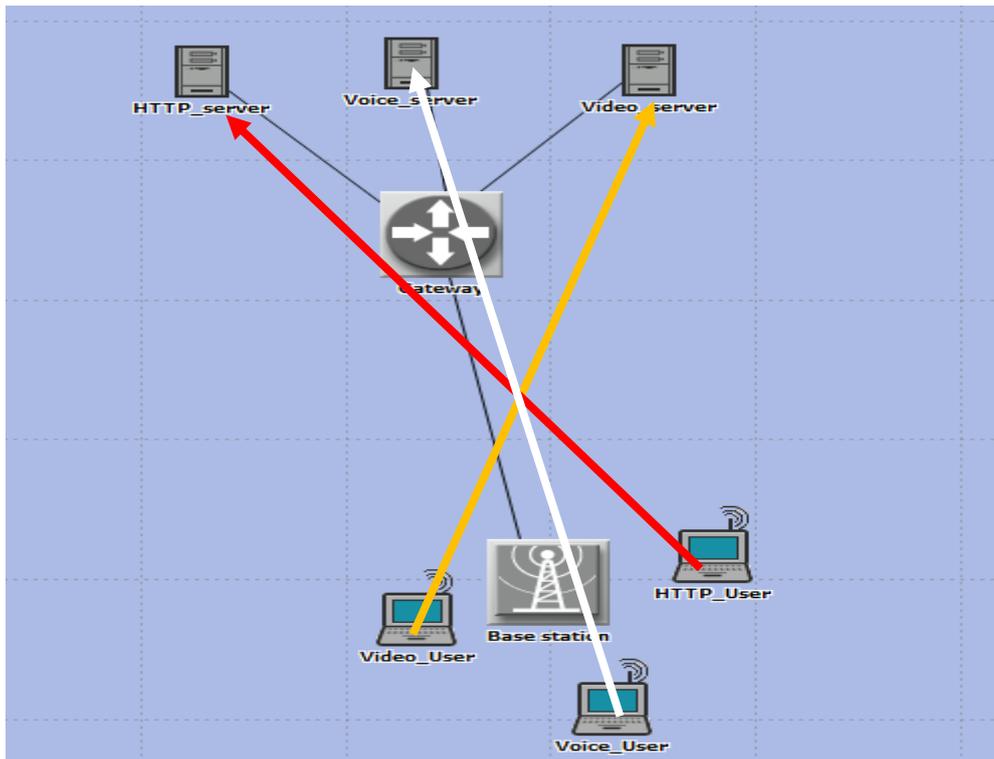


Figure 3.2 : Sources et destinations du trafic des applications

4. Résultats et Discussion :

Dans cette section, nous présentons les résultats de notre expérience de simulation et entamons une discussion approfondie sur les observations clés. Les résultats obtenus des deux scénarios de simulation - avec et sans QoS - sont analysés en détail pour évaluer l'impact de la QoS sur les performances du réseau WiMAX et la qualité des applications. Tout d'abord, la figure 3.3 ci-dessous confirme la précision de la configuration en indiquant que le trafic envoyé et reçu dans l'application HTTP était égal.

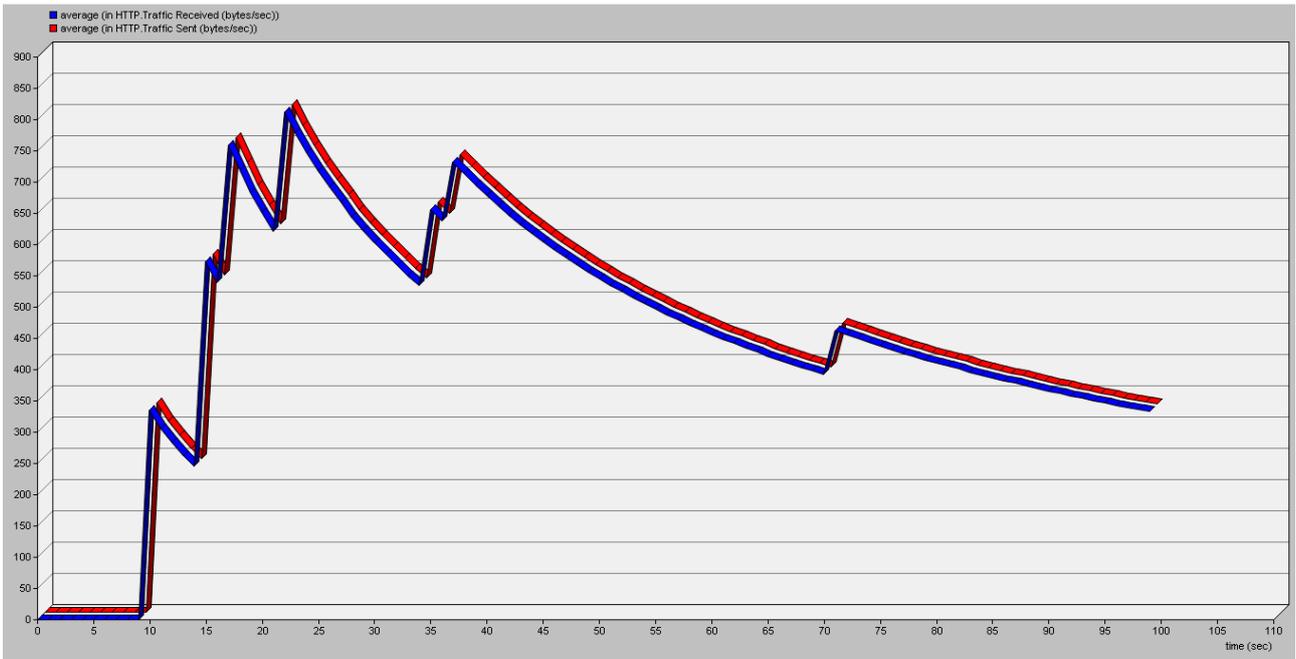


Figure 3.3 : Temps de réponse HTTP (avec QOS)

les mesures du jitter et de la variation du délai des paquets pour l'application VoIP sont affichées dans la figure 3.4 ci-dessous, et elles indiquent des valeurs extrêmement basses, ce qui est également un élément positif notable dans notre scénario.



Figure 3.4 : VoIP jitter et packet delay variation

La métrique jitter :

Le jitter est une mesure de la variation du délai de transmission des paquets dans un réseau. Il représente la différence de temps entre l'arrivée des paquets à leur destination prévue. En d'autres termes, le jitter mesure l'irrégularité des délais de transmission entre les paquets dans un flux de données.

Un jitter élevé signifie que les paquets arrivent à des moments très différents, ce qui peut entraîner des problèmes dans les applications sensibles au temps, telles que la VoIP ou la vidéoconférence. Des valeurs élevées de jitter peuvent provoquer des interruptions dans l'audio ou la vidéo lors des appels VoIP, ce qui nuit à la qualité de l'expérience utilisateur. En revanche, lorsque le jitter est faible, les paquets arrivent de manière plus régulière et constante, ce qui garantit une meilleure qualité de service pour les applications en temps réel. Des valeurs basses de jitter sont donc souhaitables, car elles indiquent une meilleure stabilité et cohérence dans la transmission des données, assurant ainsi une expérience utilisateur plus fluide et de meilleure qualité pour les applications sensibles au temps [20]

Variation du délai des paquets :

La "variation du délai des paquets" (ou "packet delay variation" en anglais) est une mesure qui représente la variation du temps de transit des paquets dans un réseau. C'est la différence de temps entre l'arrivée des paquets à leur destination prévue. Le PDV mesure l'instabilité du délai de transmission des paquets et indique à quel point les délais peuvent varier lorsqu'ils traversent le réseau. Un PDV élevé signifie que les délais des paquets peuvent varier considérablement, tandis qu'un PDV faible indique que les délais sont plus constants et prévisibles. La même chose pour les mesures du trafic VoIP envoyé et reçu dans le scénario de QoS sont également identiques, comme illustré dans la (figure 3.5) [12]

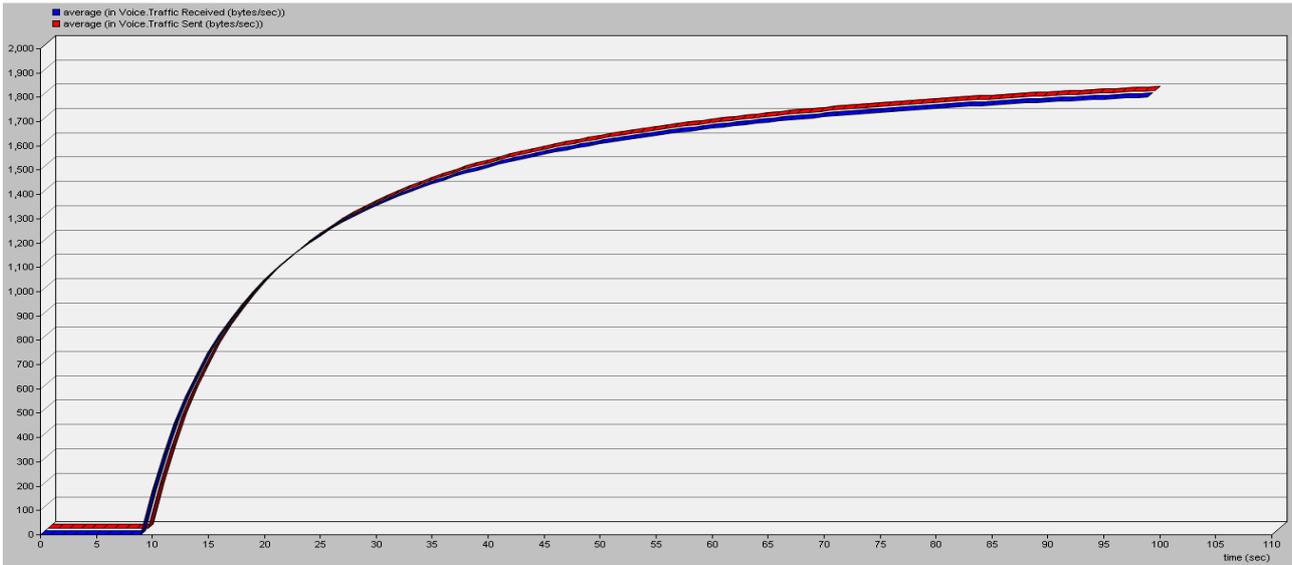


Figure 3.5 : Trafic VoIP envoyé et reçu.

Concernant l'application de visioconférence, les résultats de la variation du délai des paquets indiquent des enregistrements très bas, ce qui est également un point positif supplémentaire, car ces valeurs diminuent au fil du temps, comme illustré dans la figure 3.6 ci-dessous.

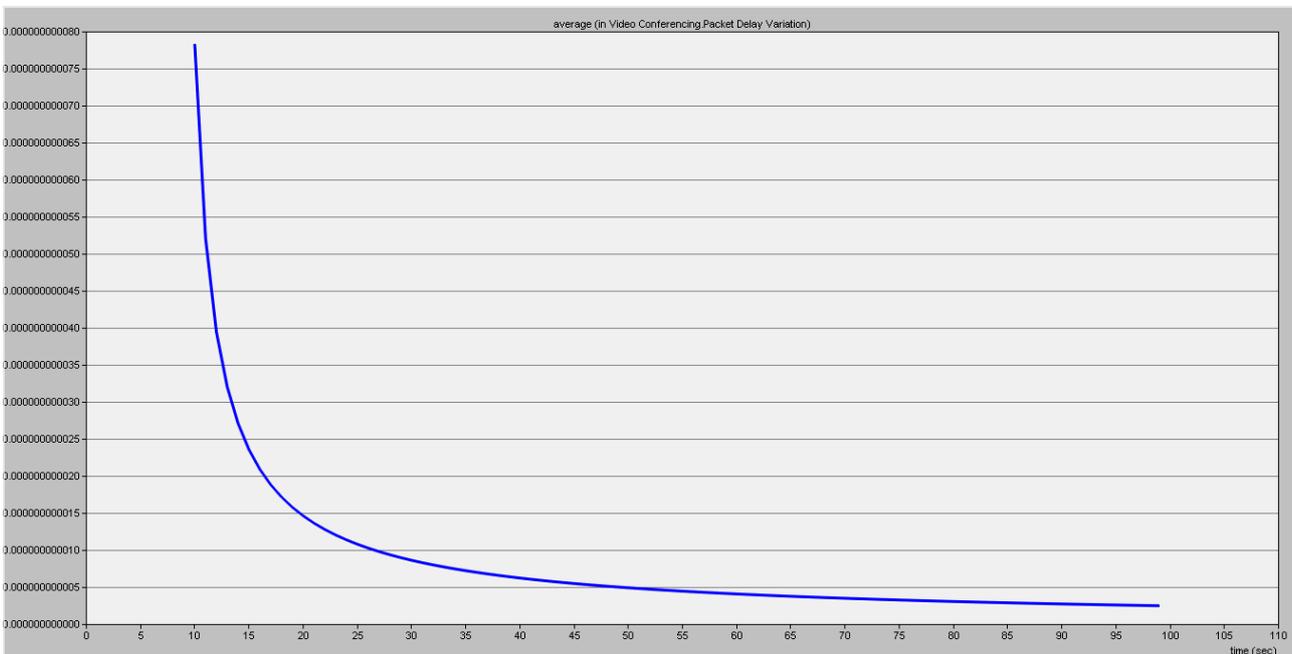


Figure 3.6 : visioconférence PDV

Pour garantir que notre configuration de simulation est bien adaptée au cas étudié, nous avons effectué une comparaison avec un autre scénario qui ne prend pas en compte l'utilisation de la classification QoS. Les résultats confirment que, comme illustré dans la figure 3.7 ci-dessous, le jitter dans la VoIP est considérablement élevé en l'absence de configuration QoS.

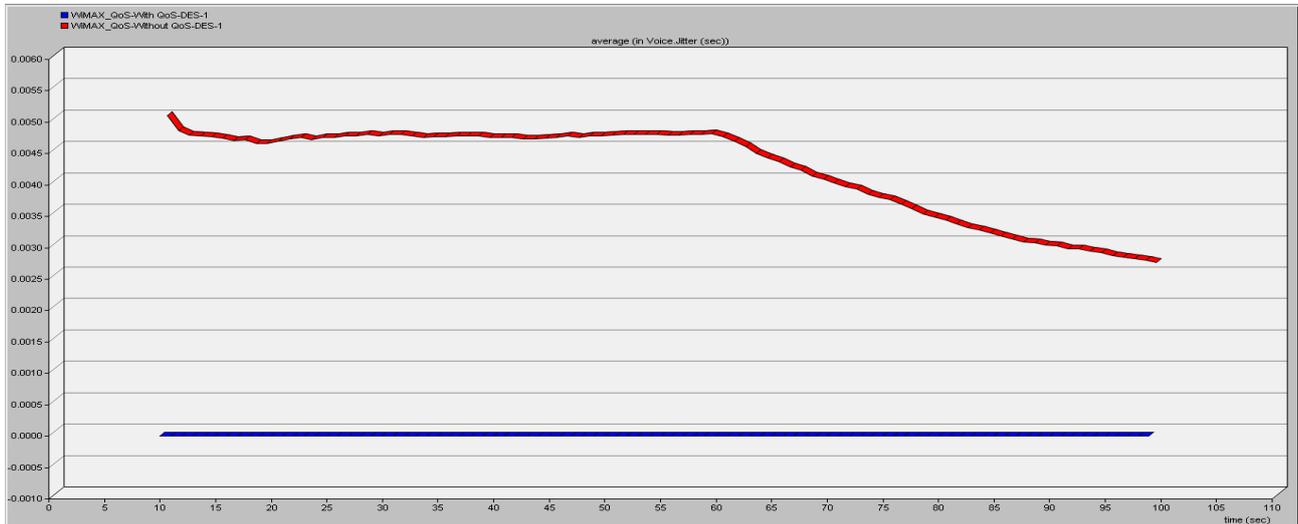


Figure 3.7 : Comparaison des variations du jitter pour la VoIP.

Par ailleurs, on constate une nette amélioration de la variation du délai des paquets dans la VoIP dans le scénario QoS, comme illustré dans la figure 3.8

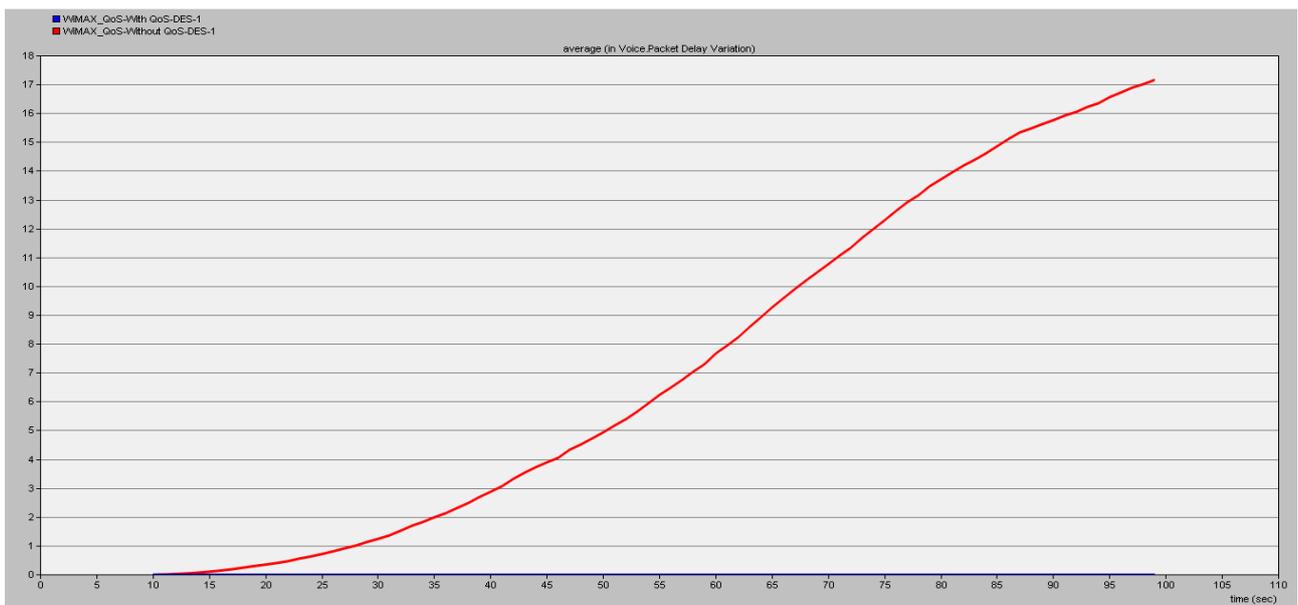


Figure 3.8 : Comparaison de la variation de délai des paquets VoIP.

De même, pour l'application de visioconférence, la variation du délai des paquets affiche de meilleurs résultats dans le scénario QoS, comme la montre la figure ci-dessous.

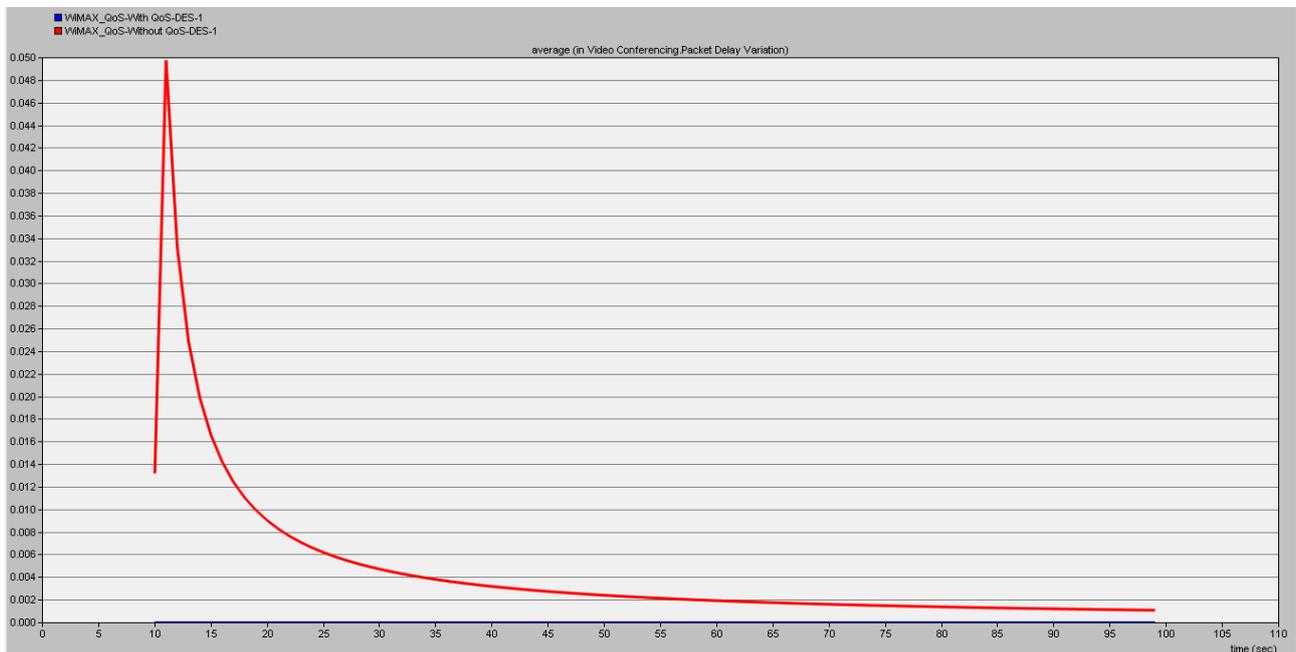


Figure 3.9 : Comparaison de la variation de délai des paquets pour les vidéoconférences.

Enfin, le débit du réseau WiMAX est illustré dans la figure ci-dessous, révélant également que la diminution du débit se produit en cas d'absence de configuration QoS.

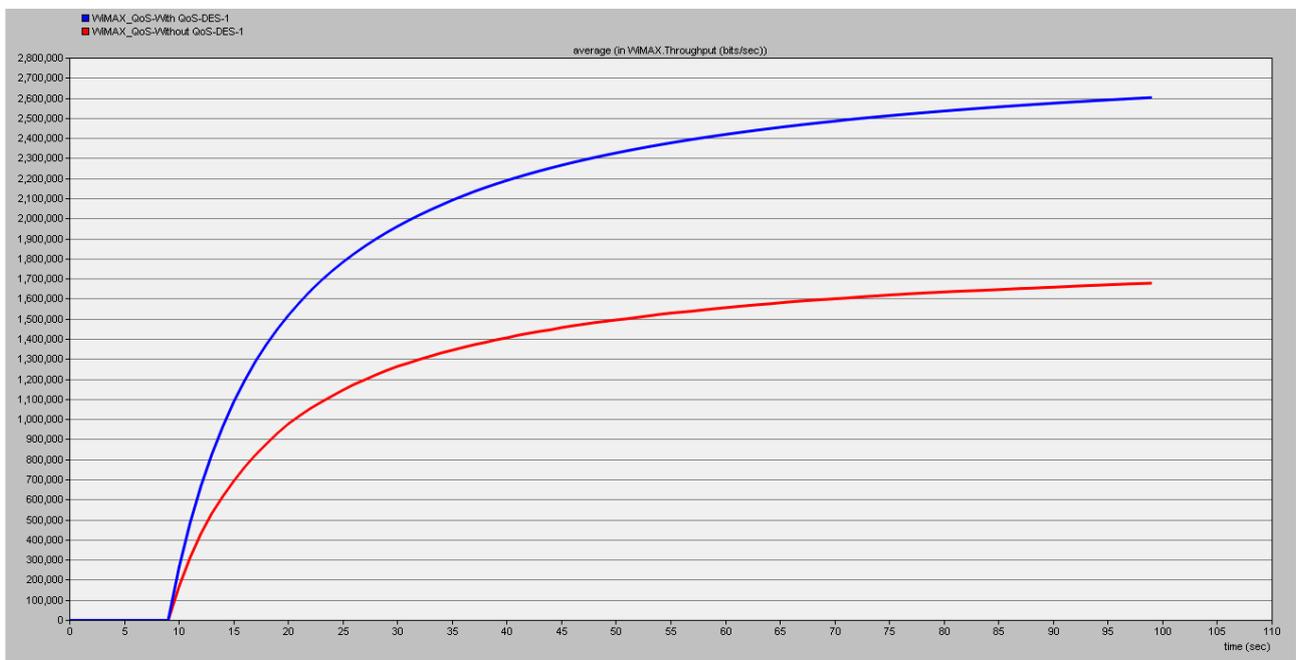


Figure 3.10 : Comparaison du débit WiMAX.

5. Conclusion

Les avancées technologiques futures dans le domaine des réseaux nécessitent des débits de données et des vitesses plus élevés. La Qualité de Service (QoS) représente ainsi une solution essentielle pour répondre à ces exigences et garantir une meilleure satisfaction des utilisateurs. Dans le cadre de ce projet, nous avons étudié et évalué la QoS dans le contexte du réseau WiMAX.

L'implémentation de la QoS sur le réseau WiMAX à l'aide du logiciel OPNET a permis de mettre en évidence son potentiel en tant que technologie prometteuse pour les développements futurs et les technologies émergentes. Les résultats obtenus ont clairement démontré les avantages de la QoS pour améliorer les performances et la fiabilité du réseau.

Conclusion Générale

La révolution des technologies sans fil a profondément transformé notre manière de communiquer, de travailler et d'interagir avec notre environnement. Ces avancées ont engendré des connexions entre des dispositifs et des individus situés à des distances considérables, facilitant la communication en temps réel, les échanges d'informations et la collaboration en ligne. De plus, elles ont donné naissance à de nouveaux services et applications, tels que les réseaux de capteurs, les systèmes de surveillance, les réseaux de contrôle et les objets connectés.

Parmi les récentes avancées dans le domaine des technologies sans fil, le WiMAX, une technologie de communication sans fil, se démarque par sa capacité à fournir des connexions haut débit sur de longues distances. Le WiMAX utilise des ondes radio pour transmettre des données, ce qui le rend particulièrement adapté aux régions rurales ou peu peuplées où les infrastructures câblées traditionnelles ne sont pas économiquement viables. Dans ce contexte, ce mémoire s'est fixé pour objectif la simulation et l'évaluation des performances du WiMAX.

L'ouvrage s'est articulé autour de trois chapitres. Le premier chapitre a introduit les concepts fondamentaux des technologies sans fil en mettant en lumière leur importance dans la vie quotidienne. Différentes catégories de réseaux sans fil, tels que les réseaux cellulaires, les réseaux WiFi, les réseaux Bluetooth, les réseaux Zigbee et les réseaux WiMAX, ont été explorées, soulignant leurs avantages et leurs limites. Les normes et les protocoles, notamment les normes IEEE, ont également été abordées.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur une exploration approfondie du WiMAX, en analysant son architecture réseau, ses spécificités techniques et les opportunités qu'il offre pour une variété de services et d'applications. Cette section a permis de mieux comprendre le rôle du WiMAX dans le paysage des technologies sans fil.

Le troisième chapitre a constitué le cœur de l'étude, en réalisant des simulations à l'aide de l'outil OPNET pour évaluer la qualité de service (QoS) dans un réseau WiMAX. Deux scénarios de simulation distincts ont été mis en place : l'un sans QoS, où toutes les applications étaient traitées de manière équivalente, et l'autre avec QoS, différenciant les applications en fonction de leurs exigences. Les résultats ont confirmé l'impact positif de la QoS sur les performances du réseau, avec une amélioration notable du jitter, de la variation du délai des paquets et du débit.

En conclusion, ce mémoire a abordé de manière approfondie l'évolution des technologies sans fil, en mettant l'accent sur le WiMAX en tant que solution de communication haut débit à longue distance. L'expérience de simulation a permis de valider la pertinence de la QoS dans un réseau WiMAX pour garantir des performances optimales et une expérience utilisateur de haute qualité. Ces connaissances sont cruciales pour l'optimisation future des réseaux WiMAX et pour répondre aux besoins croissants en débit et en qualité de service dans le paysage technologique en constante évolution.

Références bibliographiques

- [1] Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice* (2nd ed.). Prentice Hall PTR.
- [2] Gibson, J. D. (2012). *Mobile Communications Handbook*. CRC Press.
- [3] Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2017). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (7th ed.). Pearson Education, Inc.
- [4] Roddy, D. (2006). *Satellite Communications* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [5] Zhang, J., Yu, X., & Cheng, X. (2015). *Optical Wireless Communications: System and Channel Modeling with MATLAB®*. CRC Press.
- [6] Saoud, B. (2022) *Wireless Sensor network Lifetime Improving Based on Whale Optimization Algorithm*.
- [7] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2010). *Computer Networks* (5th ed.). Pearson Education.
- [8] Morrow, R. (2002). *Bluetooth: Operation and Use*. Cambridge University Press.
- [9] Huang, A. S., & Rudolph, L. (2018). *Bluetooth Essentials for Programmers*. Cambridge University Press.
- [10] Zhang, Y., et al. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Springer.
- [11] Kahoul, K. (2018). *Etude et simulation du standard de transmission de données sans fil*. Mémoire de fin d'études
- [12] Cerpa, A., & Estri, D. (2014). *Wireless Sensor Networks: Principles, Design, and Applications*.
- [13] Stallings, W. (2004). *Wireless Communications and Networks*.
- [14] Underdahl, K. (2006). *Wi-Fi Home Networking Just the Steps For Dummies*.
- [15] Sweeney, D. (2019). *WiMAX Operator's Manual*.
- [16] Ohrtman, F. (2005). *WiMAX Handbook: Building 802.16 Networks*.
- [17] Daniel, R. *WiMAX Technology and Network Evolution*.
- [18] Krishnakumar, A. S. (2008). *WiMAX: A Wireless Technology Revolution*.
- [19] Nuaymi, L. (Éd.). (2007). *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*.
- [20] Bonaventure, O. (2011). *Computer Networking: Principles, Protocols, and Practice*.

- [21] Smith, J. D. (2022). *Advanced Network Simulation with OPNET* (1ère édition). SimuPress.
- [22] Brown, J. A. (2023). *Optimizing Communication Networks in OPNET* (1ère édition). NetCom Books.
- [23] Wilson, D. R. (2024). *OPNET Simulation Techniques for Wireless Networks* (1ère édition). WirelessCom Publishin.

