



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID- TLEMCEM

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DU GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE

LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS

MEMOIRE

Pour l'obtention du

DIPLOME DE MASTER EN

PHOTONIQUE ET RESEAUX OPTIQUE DE TELECOMMUNICATIONS

Présentée par

RIAHI Mohammed Nadjib

Thème

**CONCEPTION DES RESEAUX LOCAUX SANS FIL
AVEC LOGICIEL OPNET**

Soutenu en Juin 2014 devant le jury composé de :

M^r. M. CHIKH-BLED

Prof, Université de Tlemcen

Président

M^r. B. BENADDA

MCA, Université de Tlemcen

Examineur

M^{elle}. Y.BELHADEF

MAB, Université de Tlemcen

Encadreur

Année universitaire : 2013-2014

Dédicace

C'est avec un grand plaisir Je dédie ce modeste travail en guise de respect et de reconnaissances à :

♥ *Mes Très Chers Parents, en témoignage et en gratitude de leur dévouement et leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon éducation et mon instruction pour me voir réussir un jour ...Que Dieu les garde...*

♥ *Mon frère et mes sœurs.*

♥ *Mes amis et tous ceux qui m'ont aidés de loin et de près.*

♥ *A toute la promotion de Télécommunication.*

RIAHI Mohammed Nadjib

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je tiens à remercier « Allah », le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je voudrais exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur Melle. Y.BELHADEF pour le temps consacré à m'écouter, et à m'orienter, et pour les conseils qu'elle a su me prodiguer durant l'évolution de mon projet.

Je voudrais aussi remercier tous les professeurs qui ont contribué à ma formation. Que tous les membres du jury trouvent ici l'expression de mes profonds respects pour avoir pris la peine d'examiner mon mémoire.

Enfin, mes remerciements vont également à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragement.

Sommaire

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION GENERAL..... | 1 |
| CHAPITRE I ETAT DE L'ART SUR LES RESEAUX SANS FIL.... | 3 |
| I.1. Introduction..... | 3 |
| I.2. Panorama des réseaux sans fil..... | 3 |
| I.3. Faisceaux Hertiens..... | 5 |
| I.3.1. Utilisation..... | 5 |
| I.3.2. Avantages..... | 6 |
| I.3.3. Inconvénients..... | 6 |
| I.4. WPANs (Wireless Personal Area Network)..... | 6 |
| I.4.1. Utilisation..... | 6 |
| I.4.2. Avantages..... | 7 |
| I.4.3. Inconvénients..... | 7 |
| I.5. WLANs (Wireless Local Area Network)..... | 7 |
| I.5.1. Utilisation..... | 8 |
| I.5.2. Avantages..... | 8 |
| I.5.3. Inconvénients..... | 8 |
| I.6. Réseaux métropolitains sans fil WMAN..... | 8 |
| I.7. Réseaux étendus sans fil WWAN..... | 9 |
| I.8. Eléments caractérisant un système de réseaux sans fil : la couche MAC et la couche physique..... | 10 |
| I.8.1. Description du modèle en couche ISO..... | 10 |
| I.8.2. Couche physique : quelques principes fondamentaux..... | 13 |
| a-Transmission en bande de base..... | 14 |
| b-Transmission modulée..... | 15 |
| I.8.3. Couche MAC..... | 15 |
| I.8.4. Routage dans les réseaux sans fil..... | 16 |
| I.9. Conclusion..... | 17 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| CHAPITRE II PRESENTATION DES RESEAUX LOCAUX SANS FIL..... | 18 |
| II.1. Introduction..... | 18 |
| II.2. Réseaux locaux filaires..... | 19 |
| II.2.1. Ethernet..... | 19 |
| II.2.2. Le coaxial..... | 20 |
| II.2.3. L'USB..... | 21 |
| II.2.4. La fibre optique..... | 21 |
| II.3. Réseaux locaux sans fil WLAN | 21 |
| II.3.1. Le Wifi..... | 23 |
| II.3.2 Standard 802.11n..... | 24 |
| II.3.3. Norme HiperLAN2 | 24 |
| II.4. Présentation de Wifi (802.11)..... | 24 |
| II.5. Topologies du réseau 802.11 sans fil..... | 25 |
| II.5.1. Mode Infrastructure..... | 25 |
| II.5.2. Mode ad hoc..... | 26 |
| II.6. Eléments d'un réseau Wifi..... | 27 |
| II.6.1. Independent BSS (IBSS) | 28 |
| II.5.2. Infrastructure BSS..... | 28 |
| II.5.3. Extended Service Set (ESS) | 29 |
| II.6. Déployer un réseau sans fil | 31 |
| II.7. Dérivés de la norme IEEE 802.11 | 31 |
| II.7.1. 802.11a | 32 |
| II.7.2. 802.11b | 33 |
| II.7.3. 802.11c | 34 |
| II.7.4. 802.11d..... | 34 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.7.5. 802.11e..... | 34 |
| II.7.6. 802.11g..... | 34 |
| II.7.7. 802.11h | 35 |
| II.7.8. 802.11i | 36 |
| II.7.9. 802.11j | 36 |
| II.7.10. 802.11n | 36 |
| II.7.11. 802.1x | 38 |
| II.8. Qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11 | 38 |
| II.9. Sécurité..... | 39 |
| II.10. Conclusion | 40 |
| CHAPITRE III CONCEPTION DES RESEAUX FILAIRES PAR LE LOGICIEL OPNET..... | 41 |
| III.1. Introduction | 41 |
| III.2. Etude du logiciel OPNET Modeler | 41 |
| III.2.1. Notions de base à assimiler | 42 |
| III.2.2. Séquencement des actions dans l'espace de travail | 42 |
| III.2.3. Accès aux éditeurs | 43 |
| III.2.3.1. Editeur de projet..... | 43 |
| III.2.3.2. Editeur de nœuds | 44 |
| III.2.3.3. Editeur de processus..... | 45 |
| <i>a- Résumé et principe de développement d'un projet.....</i> | <i>47</i> |
| III.2.3.4. Editeur de liens | 48 |
| III.2.3.5. Editeur de paquets | 49 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| III.2.3.6. Editeurs OPNET supplémentaires | 50 |
| <i>a- Editeur de diagramme de rayonnement</i> | 50 |
| <i>b- Editeur de sondes (Probe editor)</i> | 51 |
| III.2.4. Prise de statistiques | 52 |
| III.2.5. Modélisation Radio | 52 |
| III.2.5. 1.Nœud radio | 52 |
| III.2.5. 2.Liens radio | 53 |
| III.2.5. 3.Antennes | 54 |
| III.2.6. Fenêtre de définition d'une simulation | 54 |
| III.2.7. Fenêtre de présentation des résultats de simulation | 56 |
| III.3. Réseaux locaux filaires : Petits Internetworks | 57 |
| III.3.1. Premier réseau proposé | 57 |
| III.3.1.1. Eléments de réseau | 57 |
| III.3.1.2. Extension du réseau | 58 |
| III.3.2. Deuxième réseau proposé | 62 |
| III.4. Conclusion | 65 |
| CHAPITRE IV SIMULATION ET RESULTATS | 66 |
| IV.1. Introduction | 66 |
| IV.2. Modèle de réseau WLAN simple | 67 |
| IV.2.1. Application Configuration | 69 |
| IV.2.2. Profil Configuration | 69 |
| IV.2.3. Client configuration | 71 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.2.4. Server configuration | 71 |
| IV.2.5. Influence des facteurs de réseau | 72 |
| IV.2.5.1. Influence de la puissance de transmission | 72 |
| IV.2.5.2. Influence de nombre de PC | 73 |
| IV.2.5.3. Influence des dimensions d'un réseau WLAN | 74 |
| IV.3. Evaluation de la performance des réseaux locaux sans fil 802.11g... | 75 |
| IV.4. Réseau sans fil de topologie étoile..... | 78 |
| IV.5. Implémentation d'un réseau LAN en utilisant les sous réseaux... | 81 |
| IV.5.1. Topologie filaire | 81 |
| IV.5.1.1. Premier scénario avec 5 serveurs différents | 81 |
| IV.5.1.2. Deuxième scénario avec un seul serveur principal | 82 |
| IV.5.1.3. Comparaison du deuxième scénario filaire avec la même topologie sans fil | 84 |
| IV.6. Réseau sans fil de mode Ad hoc..... | 86 |
| IV.7. Réseau IEEE 802.11 de mode Ad Hoc..... | 88 |
| IV.8. Conclusion | 90 |

Introduction Générale

Dans la société actuelle, nous sommes envahis par le terme "réseau". Internet, réseaux téléphoniques, réseaux sociaux, réseaux de chemins de fer... la simple évocation de ces entités nous ramène à des concepts simples : la mise en relation par des liens entre deux nœuds. L'origine du mot réseau provient du latin "rete" qui signifie "filet", et qui a donné l'adjectif "réticulé", caractérisant les objets ayant une structure formant un filet. Dès lors, l'utilisation du terme "la toile" pour décrire le World Wide Web d'Internet prend tout son sens.

L'aventure d'Internet à commencer aux Etats-Unis dans les années 1960. La peur d'une guerre nucléaire incite à cette époque les responsables de l'armée américaine, au sein du Pentagone, à inventer un système de communication qui serait toujours en état de fonctionnement : Internet était né près de 10 ans plus tard, Internet quitte le domaine militaire pour celui de l'Université. Les calculateurs de quatre universités américaines sont connectés entre eux. Mais il faut attendre 1990 et la mise en service par le CERN (Centre Européen de la Recherche Nucléaire) du WWW (World Wide Web) pour que les ordinateurs du monde entier puissent communiquer entre eux grâce à ce langage. De nos jours, au vu du nombre de personnes désirant s'abonner à Internet, ce dernier doit se servir de tous les moyens de communication mis à sa disposition, par conséquent les ondes hertziennes.

Plus tard, le progrès aidant, de multiples réseaux technologiques vont se former, et notamment ceux dédiés au transport de l'information. Le téléphone, puis l'informatique vont contribuer à passer d'une construction désordonnée et propriétaire des réseaux à une volonté de normalisation et d'interconnexion. L'avènement du numérique a parachevé cette transformation, ouvrant définitivement la voie à la transmission de données.

Parallèlement, l'invention de la radio dès 1885 par Marconi révolutionne les moyens de communications. Tout d'abord limitée aux équivalents longue distance des liaisons télégraphiques, elle évoluera ensuite vers la diffusion radio, puis permettra la retransmission de l'image, avec la télévision. Mais ce sont les progrès du numérique qui feront évoluer la radio vers la transmission de données, analogiques, puis numériques, ouvrant désormais la porte à des réseaux ambiants, à l'aide d'une technologie telle que le WiFi (appelé souvent par sa norme, IEEE 802.11). Le Wi-Fi est un ensemble de fréquences radio qui élimine les câbles, partage une connexion Internet et permet l'échange de données entre plusieurs postes.

Dans ce mémoire, nous allons faire la conception des réseaux sans fil avec le logiciel OPNET. Nous allons donc introduire toutes les notions qui sont reliées et tenter d'expliquer le fonctionnement et l'utilisation de ces derniers. Ce document est organisé comme suit :

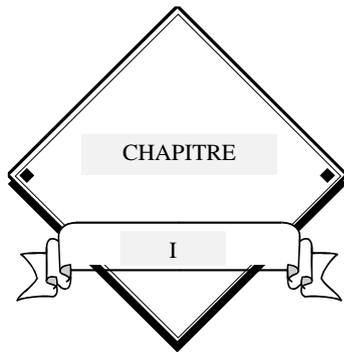
Dans le premier chapitre, nous allons présenter l'état de l'art sur les réseaux sans fil, les bases essentielles sur les réseaux, qu'ils soient filaires ou hertziens et en nous intéressons plus particulièrement aux couches liaison de données et physique utilisées dans le modèle OSI.

Dans le deuxième chapitre, nous commençons par donner un aperçu sur la technologie IEEE 802.11 et présenter ainsi que ses défaillances en termes de support de la qualité de service, passons par les dérivés de cette dernière et puis une présentation de la 802.11b (WiFi).

Pour le chapitre III, nous faisons une description détaillée du fonctionnement de logiciel OPNET, utilisé pendant ce travail comme un outil de conception des réseaux de communication, afin de terminer par un exemple de réseau local de topologie étoile simulé par ce dernier.

Enfin, le quatrième chapitre représente la partie la plus importante puisqu'elle comprend les résultats des études faites durant ce mémoire des projets différents qui représentent des réseaux locaux sans fil WLAN simulés par le logiciel OPNET.

Ce mémoire se termine par une conclusion des travaux présentés ainsi que les perspectives qu'ouvrent ces derniers.



ETAT DE L'ART SUR LES RESEAUX SANS FILS

I.1. Introduction

Les récents progrès réalisés en matière de technologie sans fil [1] ont amenés le développement des réseaux sans fil dits « Wireless ». Les gains sont considérables en termes d'infrastructures [2] puisque l'on n'a plus besoin de fils pour relier les différents sites. De plus, le simple fait que chaque machine ne soit plus reliée aux autres par un fil permet la mobilité dans l'espace de celle-ci [3].

Le développement constant de ces réseaux sans fil a amené la création de nouvelles normes afin de mieux interconnecter les machines. En effet, cette mobilité et ce gain en infrastructure ne sont malheureusement pas sans conséquence : on se heurte à des problèmes physiques liés à l'utilisation même du media radio. La propagation électromagnétique (obstacles multi trajets) et le fait que le signal soit accessible à tous, sont deux phénomènes fortement gênants pour la sécurité des données transmises.

De plus l'ART (l'Agence de Régulation des Télécoms), ne permet pas d'utiliser toutes les fréquences à n'importe quelle puissance ce qui est préjudiciable à l'utilisation de ce média. Nous allons brièvement décrire les systèmes les plus courants utilisant la technologie sans fil pour connecter deux ou plusieurs sites entre eux [4].

I.2. Panorama des réseaux sans fils

Un réseau sans fil est un système de communication permettant de véhiculer les informations sans contraintes de câblage. Dans les réseaux sans fil, on entend parfois parler de « mobilité », du fait qu'un utilisateur a la possibilité de rester connecter tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu.

Dans un réseau sans fil les informations sont transmises soit par liaison infrarouge, soit par onde radio. La transmission par onde radio est la méthode la plus répandue en raison de sa plus large couverture géographique et son débit plus élevé.

Il existe plusieurs technologies de transmission se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée et d'autre part par le débit et la portée.

Les réseaux sans fil se sont développés au départ essentiellement pour répondre aux deux besoins suivants : mettre en place des transmissions dans les endroits où la pose de câbles est difficile, voire impossible (par exemple, transmission entre deux bâtiments), et assurer la transmission de données pour des applications mobiles.

Là où le câblage est difficile, les réseaux sans fil répondent à la motivation classique de l'économie des coûts [5]. Ajoutons que l'installation des réseaux sans fil est assez facile à mettre en place, ce qui a valu un développement rapide de ce type de réseaux.

En contrepartie, se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radio. En effet, ces transmissions sont utilisées dans un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs ...), mais sont sensibles aux interférences.

Par conséquent, une réglementation est nécessaire afin de définir les puissances maximales d'émission et les règles de coexistence dans les bandes de fréquences utilisées par plusieurs applications.

On distingue habituellement également plusieurs catégories de réseaux sans fil, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture).

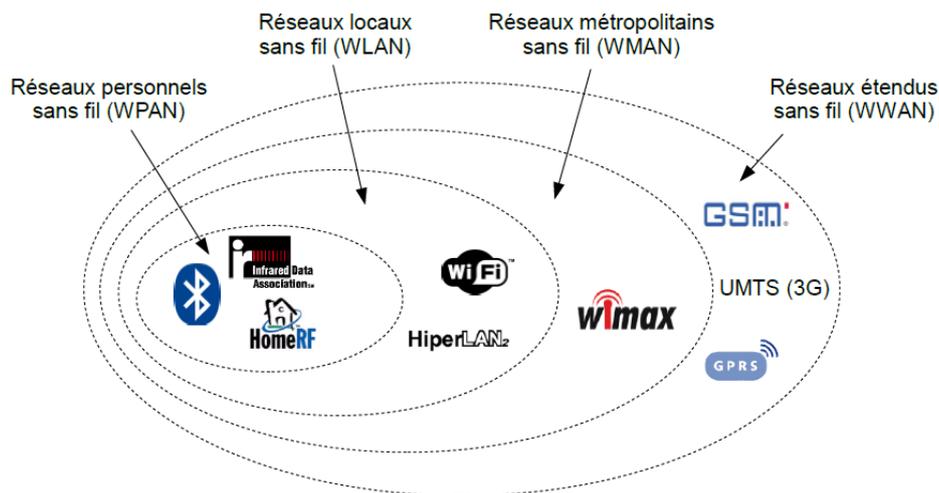


Figure I.1 : Catégories des réseaux sans fils.

I.3. Faisceaux Hertiens

Les faisceaux hertiens [6] sont utilisés pour une liaison point à point (Figure I.2). Ils permettent l'interconnexion de deux points fixes en hyperfréquence.

I.3.1. Utilisation

L'émission en hyperfréquences est idéale pour une liaison point à point puisqu'elle permet facilement la concentration d'un faisceau d'ondes radio dans une direction bien précise par le biais d'antennes directives. Ils sont utilisés pour relier deux réseaux d'infrastructures entre eux, par exemple des réseaux d'infrastructures de sécurité, des réseaux linéaires à longue distance, des réseaux privés indépendants, des banques, hôpitaux, universités, collectivités locales, ...

Les bandes de fréquences où cette technologie s'applique s'étalent de 1 GHz à 40 GHz.

La fréquence est attribuée en fonction de la distance souhaitée (jusqu'à quelques dizaines de km), du débit souhaité, des cohabitants éventuels. Les débits vont de 2 à 155 Mbits/sec, un exemple se trouve être celui de l'université de Limoges reliant deux sites distants de quelques km à 2 Mbits/sec.

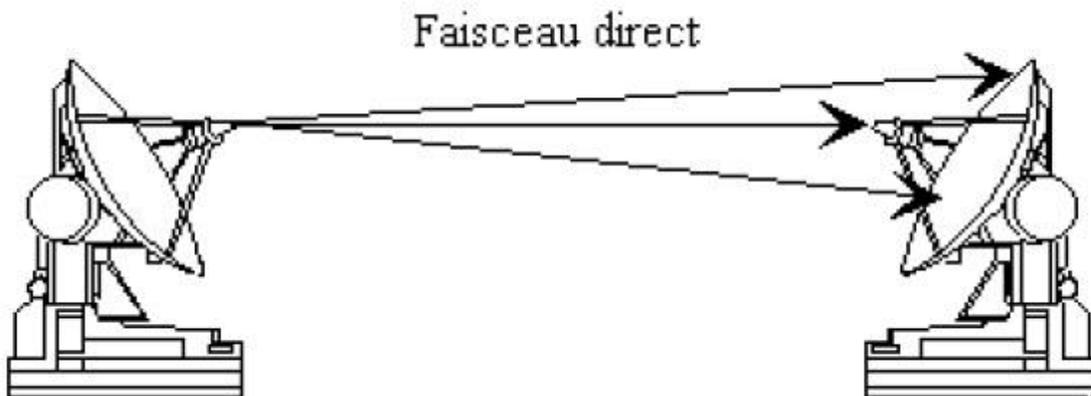


Figure I.2 : Faisceau hertzien.

I.3.2. Avantages

Le rayonnement est très directif afin de transmettre le maximum de puissance vers le récepteur. De part leur infrastructure simple, les coûts de fonctionnement sont relativement faibles.

L'aspect sécurité est bien pourvu car le piratage d'une liaison F.H. nécessiterait l'accès aux équipements pour récupérer le signal, la connaissance du protocole de transmission,

l'utilisation de matériels radio coûteux, et de placer son équipement dans le faisceau et donc de le couper.

I.3.3. Inconvénients

Les inconvénients techniques sont principalement le besoin de visibilité entre les sites à interconnecter, l'utilisation d'antennes hyper directives, la sensibilité possible aux perturbations atmosphériques et la vulnérabilité au phénomène de multi trajets.

I.4. WPANs (Wireless Personal Area Network)

Les WPANs se trouvent utiles pour tout ce qui concerne l'interconnexion de matériel.

I.4.1. Utilisation

Les WPANs[8] sont utilisés pour les réseaux personnels à savoir pour relier des équipements comme un ordinateur portable, un agenda électronique, une souris sans fil. Les normes utilisées le plus souvent sont Bluetooth ou 802.15 et fonctionnent à la fréquence de 2.4 GHz (Figure I.3).

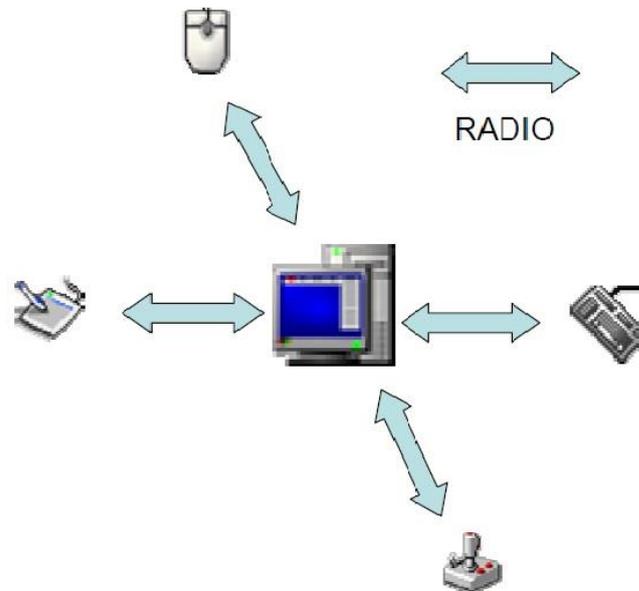


Figure I.3 : Exemple de configuration d'un WPAN.

I.4.2. Avantages

Grâce à la standardisation du matériel utilisé (Bluetooth, 802.15), l'interconnexion est facile et peu coûteuse. De plus, les WPANs peuvent être utilisés pour d'autres systèmes comme les réseaux de capteurs, la domotique etc....

I.4.3. Inconvénients

Du fait de la faible bande passante permise, il est impossible d'appliquer des services nécessitant des débits élevés. En effet les WPANs offrent un débit faible (<1Mbits/sec) partagé entre tous les sites ce qui convient parfaitement pour l'interconnexion de matériel mais pas pour d'autres services comme le transfert de données.

I.5. WLANs (Wireless Local Area Network)

Un WLAN [7] est un réseau local sans fil, fournissant toutes les caractéristiques et avantages d'un réseau local traditionnel comme Ethernet. Au lieu d'utiliser des câbles à paires torsadées, coaxiaux ou fibres optiques, les réseaux locaux sans fil utilisent les fréquences radio pour recevoir et émettre des données entre PCs ou d'autres équipements de réseaux sans câble ni fil.

I.5.1. Utilisation

Les réseaux locaux utilisent des ondes radio à spectre diffus, moins sensibles aux bruits et interférences radio et ainsi sont idéaux pour des communications informatiques. Ce type de réseau utilise les principes point multipoints et multipoint multipoints.

I.5.2. Avantages

L'utilisation de réseau WLAN procure un confort d'utilisation non négligeable aux utilisateurs tant particuliers que professionnels, ceux-ci n'ayant pas à se «brancher à un mur», et étant par conséquent libres de leurs mouvements et non contraints à se placer près de la prise réseau murale. Ce confort est encore plus fortement perçu par les utilisateurs d'ordinateurs

portables, ceux-ci n'ont en effet plus aucun fil à brancher car l'alimentation est fournie par la batterie, ce qui leur procure un confort d'utilisation inégalé.

I.5.3. Inconvénients

La limitation forte en distance reste un des inconvénients majeurs des WLANs à cause de la faible puissance autorisée aux fréquences utilisées.

Vu que toutes les machines présentes dans le réseau partagent le même média donc la même bande passante en termes de débit (bits/sec), le nombre de nœuds (machines) limite le débit par machine.

I.6. Réseaux métropolitains sans fil WMAN

Les plus connus des réseaux métropolitains sans fil (WMAN : (Wireless Metropolitan Area Networks) sont ceux qui obéissent aux spécifications des normes 802.16 [9]. Ces normes ont la particularité de fonctionner sur une gamme de fréquences très large qui va de 2GHz à 66GHz.

Les normes IEEE 802.16a et IEEE 802.16b couvrent respectivement les bandes 10-66 GHz et 2-10 GHz et leurs porteuses sont modulées en OFDM. Le débit maximal correspondant est de 75Mbits.s^{-1} .

Quant au standard IEEE 802.16d ou norme WiMax fixe, il est apparu en 2004. Il existe aussi la norme IEEE 802.16e qui couvre la bande de 2 à 6 GHz pour un débit de 30Mbits.s^{-1} et une couverture de 3,5 km. C'est une norme qui permet une mobilité pouvant atteindre 120 km.h^{-1} .

Elle est également connue sous l'appellation de WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) mobile et n'est autre qu'une extension du concept de base du label WiFi (plus de la mobilité) à un réseau métropolitain. Il offre un débit de l'ordre de 72 Mbits/s et couvre un rayon de 50 km [10 -11].

I.7. Réseaux étendus sans fil WWAN

Le réseau étendu sans fil WWAN (Wireless Wide Area Network), connu également sous le nom de réseau cellulaire mobile, est le réseau sans fil le plus répandu. Les principales technologies utilisées dans ces réseaux sont les suivantes :

- **GSM** (Global System for Mobile Communication ou en français Groupe Spécial Mobile) : Il s'agit d'un standard de téléphonie de seconde génération de téléphonie mobile qui fût établi en 1982 par la CEPT (Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications). En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis en revanche, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 Kbits/s, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume (par exemple : SMS pour Short Message Service). La méthode d'accès utilisée est la méthode TDMA (Time Division Multiple Access).

- **GPRS** (General Packet Radio Service): Il s'agit d'une norme pour la téléphonie mobile dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé. On la qualifie souvent de 2,5G pour indiquer que c'est une technologie à mi-chemin entre le GSM (2^{me} génération) et l'UMTS (3^{me} génération). Le GPRS ajoute par rapport au GSM la transmission par paquets. Cette méthode est plus adaptée à la transmission des données. Le débit théorique maximal est de 170 Kbits/s.

- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System): Il s'agit d'une norme de téléphonie mobile de troisième génération (3G). Elle repose sur la méthode d'accès CDMA (Code Division Multiple Access). L'UMTS permet théoriquement d'atteindre des débits de transfert jusqu'à 2 Mbits/s.

I.8. Eléments caractérisant un système de réseaux sans fil : la couche MAC et la couche physique

Dans les paragraphes précédents, nous avons vu différents systèmes de communications sans fil dont les caractéristiques diffèrent. Ce paragraphe va tenter de mettre en avant les éléments déterminants un système de communication en termes de performances (porté, débit, etc...). Avant cela, il est nécessaire d'apporter quelques éléments de théories des réseaux.

I.8.1. Description du modèle en couche ISO

Pour réaliser le transport de données d'une extrémité à l'autre d'un réseau, il faut bien sûr un support physique ou hertzien de communication. Cependant, pour s'assurer que les données arriveront correctement au destinataire, il faut une architecture logicielle complexe et structurée. Nous allons maintenant tenter de présenter cette architecture.

L'architecture proposée par l'OSI (Open System Interconnexion) comporte 7 couches que nous allons décrire dans les lignes qui suivent [12]. La figure I.4 illustre ce modèle.

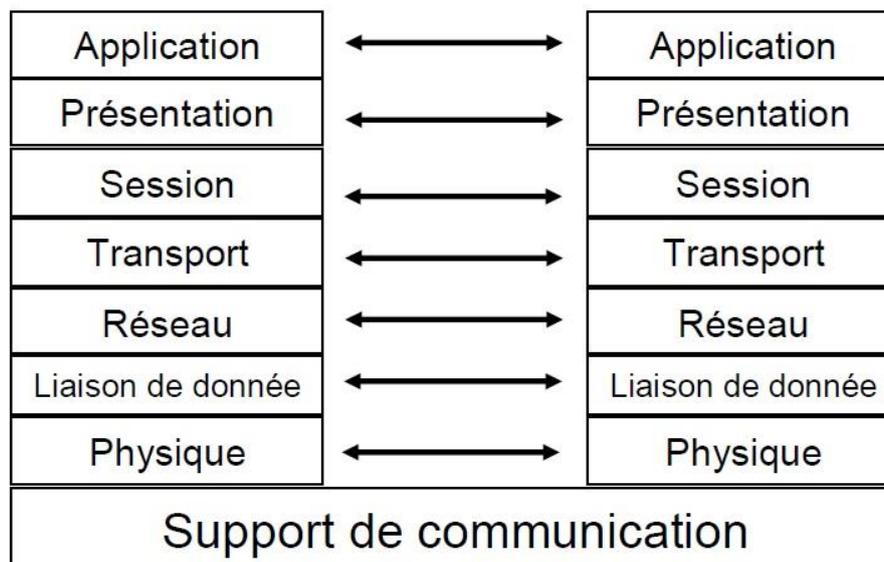


Figure I.4 :Architecture OSI (Open System Interconnexion).

La présentation des différentes couches n'est pas exhaustive mais montre les aspects essentiels pour aborder l'étude des systèmes de communications dans ce mémoire.

- * **La couche application** donne au processus d'application (par exemple un navigateur Internet) le moyen d'accéder à l'environnement OSI. Elle contient toutes les fonctions impliquant des communications entre systèmes.

- * **La couche présentation** permet de transcrire les données dans un format compréhensible, elle assure le codage des données dans une norme de réseau reconnue et le cryptage éventuel des données.
- * **Le rôle de la couche session** est de fournir aux entités de présentation les moyens nécessaires pour organiser et synchroniser leurs dialogues. Pour arriver à ce but, la couche session doit fournir les services nécessaires à l'établissement d'une connexion, son maintien et de sa libération.
- * **La couche transport** assure le transfert des données de bout en bout entre deux machines d'extrémités, à savoir qu'un processus d'une machine source dialogue avec un processus similaire appartenant à une machine distante (Figure I.4).

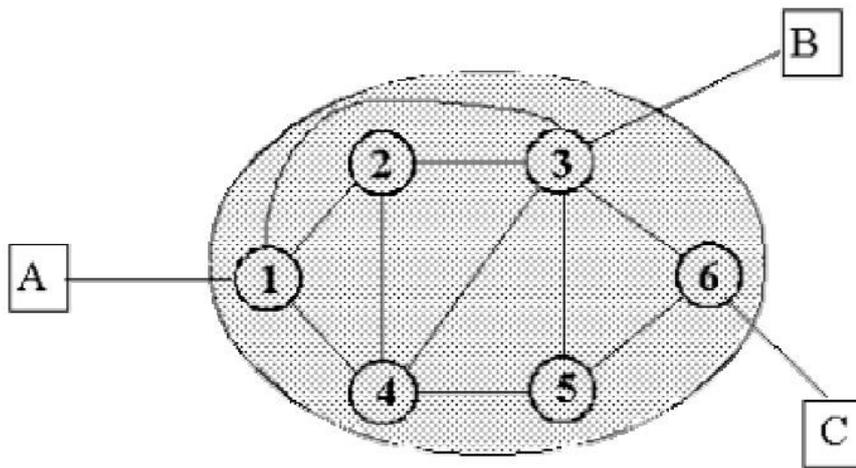


Figure I.4 : Exemple de configuration de réseau.

Cette couche assure donc un protocole entre la machine émettrice et la machine réceptrice. Les unités de données sont acheminées sans erreurs en séquences, sans pertes ni duplications.

La couche réseau doit fournir d'une part les moyens d'établir, de maintenir, et de libérer des connexions entre les systèmes ouverts et, d'autre part, de donner les moyens fonctionnels et les procédures nécessaires pour échanger des données entre les entités de transport et les unités du service réseau. Elle a pour but l'envoi de paquets (ensemble structuré de bits) et doit assurer une indépendance vis-à-vis du réseau de communication utilisé (commutation par paquets). Elle doit établir, maintenir et rompre la connexion. Ses principales fonctions sont :

- * Le routage à travers un réseau pour deux entités non connectées directement (point à point, multipoint ou par diffusion "broadcast").
- * Assurer le contrôle de trafic (contrôle de flux, contrôle de congestion etc...).
- * Assurer le contrôle d'erreur (que faire si un nœud du réseau tombe en panne; comment garantir que le réseau ne perdra aucun paquet ?).

La couche liaison de données fournit les moyens fonctionnels et les procédures nécessaires à l'établissement, le maintien et à la libération des connexions de liaison de données entre entités adjacentes du réseau. Elle détecte et corrige, si possible, les erreurs dues au support physique et signale à la couche réseaux les erreurs irrécupérables. Elle supervise le fonctionnement de la transmission et définit la structure syntaxique des messages, la manière d'enchaîner les échanges selon un protocole normalisé ou non. Une connexion de liaison de données est réalisée à l'aide d'une ou plusieurs liaisons physiques entre deux machines adjacentes dans le réseau donc sans nœud intermédiaire entre elles. A noter que dans ce rapport, nous parlerons de la couche MAC (Medium Access Control) qui se trouve être avec la couche LLC (Link Layer Control), l'équivalent de la couche liaison dans le modèle 802.

La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procédures nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données. Ici, on s'occupe donc de la transmission des bits de façon brute, l'important est que l'on soit sûr que si l'émetteur envoie un bit à 1, alors le récepteur reçoit un bit à 1. Les normes et standards de la couche physique définissent le type de signaux émis (modulation, puissance, portée...), la nature et les caractéristiques des supports (câble, fibre optique...), les sens de transmission... . L'objectif de la couche 1 du modèle OSI est aussi de fixer les caractéristiques des matériels utilisés pour relier physiquement les équipements d'un réseau.

D'après ce modèle, il est facile de conclure que les deux premières couches du modèle OSI vont fortement contribuer aux performances du réseau. En effet, étant parmi les plus basses du modèle OSI, si elles sont défectueuses ou peu performantes, toutes les couches supérieures seront affectées. C'est dans cette optique que cette partie a été effectuée et pour cela que nous allons, dans les deux paragraphes suivants, étudier de façon générale la couche MAC et la couche physique.

I.8.2. Couche physique : quelques principes fondamentaux

Dans ce paragraphe, nous allons étudier de plus près la couche physique. Tout d'abord une liaison entre 2 équipements A et B peut être simplex (unidirectionnelle), dans ce cas A est toujours l'émetteur et B le récepteur. La communication est half-duplex quand le rôle de A et B peut changer [13], la communication change de sens à tour de rôle (comme avec des talkies walkies). Elle est full-duplex (bidirectionnelle simultanée) quand A et B peuvent émettre et recevoir en même temps (comme dans le cas du téléphone).

La transmission de plusieurs bits peut s'effectuer en série ou en parallèle. [13] En série, les bits sont envoyés les uns derrière les autres de manière synchrone ou asynchrone.

Dans le mode synchrone l'émetteur et le récepteur se mettent d'accord sur une base de temps (un top d'horloge) qui se répète régulièrement durant tout l'échange. À chaque top d'horloge (ou k tops d'horloge, k entier fixé définitivement) un bit est envoyé et le récepteur saura ainsi quand lui arrivent les bits.

Dans le mode asynchrone, il n'y a pas de négociation préalable mais chaque caractère envoyé est précédé d'un bit de START et immédiatement suivi d'un bit de STOP. Ces deux bits spéciaux servent à caler l'horloge du récepteur pour qu'il échantillonne le signal afin d'y décoder les bits qu'il reçoit.

En parallèle, les bits d'un même caractère sont envoyés en même temps chacun sur un fil distinct, mais cela pose des problèmes de synchronisation et n'est utilisé que sur de courtes distances (bus par exemple) et encore moins en communications sans fil.

Quel que soit le mode de transmission retenu, l'émission est toujours cadencée par une horloge dont la vitesse donne la rapidité de modulation de la ligne en bauds, c'est-à-dire le nombre de tops d'horloge en une seconde. Ainsi, une ligne d'un débit de 100 bauds autorise 100 émissions par seconde.

a) Transmission en bande de base

La transmission en bande de base consiste à envoyer directement les suites de bits sur le support à l'aide de signaux carrés constitués par un courant électrique pouvant prendre 2 valeurs (5 Volts ou 0 par exemple). On ne détaillera pas les différents codages des bits possibles, mais dans tous les cas l'émetteur envoie sur la ligne un signal carré du type de celui de la figure I.5 pour la séquence de bits 1010 par exemple.

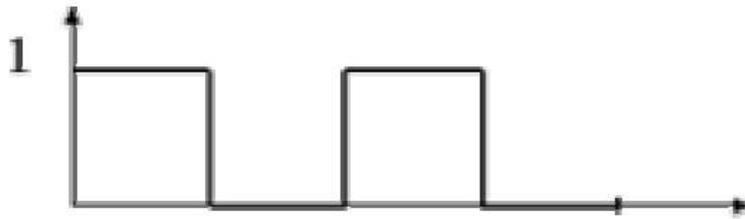


Figure I.5 : Signal carré de la séquence de bits 1010.

b) Transmission modulée

Le principal problème de la transmission en bande de base est la dégradation du signal très rapide en fonction de la distance parcourue, c'est pourquoi elle n'est utilisée qu'en réseau local (<5km) et pas du tout en radio. Il serait en effet trop coûteux de prévoir des répéteurs pour régénérer régulièrement le signal. C'est pourquoi sur les longues distances on émet un signal sinusoïdal qui, même s'il est affaibli, sera facilement décodable par le récepteur. Ce signal sinusoïdal est obtenu grâce à un modem (modulateur démodulateur) qui est un équipement électronique capable de prendre en entrée un signal en bande de base pour en faire un signal sinusoïdal (modulation) et l'inverse à savoir restituer un signal carré à partir d'un signal sinusoïdal (démodulation). Autrement dit, il permet de passer de signaux numériques discrets (0 ou 1) à des signaux analogiques continus faciles à transmettre en radio.

I.8.3. Couche MAC

La couche MAC utilisée dans le modèle 802 détermine donc la façon dont les différentes machines du réseau vont se partager le médium (radio, paire torsadée...). Ce paragraphe décrit les différents moyens utilisés pour mener à bien cette tâche.

Afin de partager de manière efficace ce médium de communication, plusieurs méthodes ont été mises au point. Le multiplexage est le terme qui désigne ces moyens de partage de ressources mis en œuvre par la couche MAC.

Le multiplexage consiste à faire transiter sur une seule et même ligne de liaison, dite voie haute vitesse, des communications appartenant à plusieurs paires d'équipements émetteurs et récepteurs comme représentée dans la figure I.6. Chaque émetteur est raccordé à un

multiplexeur et chaque récepteur est raccordé à un démultiplexeur par une liaison dit voie basse vitesse.



Figure I.6 : Principe de multiplexage

I.8.4. Routage dans les réseaux sans fil

L'Internet change et se développe constamment. De nouveaux réseaux sont continuellement ajoutés et des liens entre les réseaux sont s'ajoutés, enlevés, rompus et se rétablis à nouveau. C'est le travail du routage de déterminer le meilleur chemin pour arriver à destination et de créer une table de routage présentant le meilleur chemin pour toutes les différentes destinations.

Le routage statique est le terme utilisé quand la table de routage est créée par configuration manuelle. Ceci est parfois opportun pour de petits réseaux mais peut facilement devenir très difficile et enclin aux erreurs pour de plus grands réseaux.

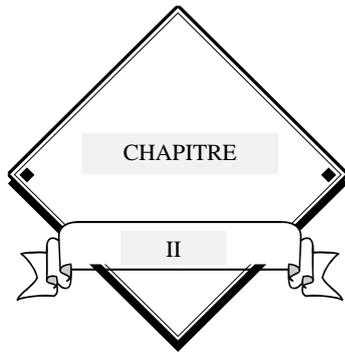
Le routage dynamique est une méthode dans laquelle les éléments réseau, en particulier les routeurs, échangent de l'information sur leurs état et l'état de leurs voisins dans le réseau, et emploient ensuite cette information pour sélectionner automatiquement le meilleur chemin et pour créer la table de routage. Si quelque chose change, comme un routeur qui ne fonctionne plus ou un nouveau routeur qui serait mis en service, alors les protocoles dynamiques de routage font des ajustements à la table de routage. Le système d'échange de paquets et de prise de décision est connu comme protocole de routage. Il y a beaucoup de protocoles de routage qui sont aujourd'hui employés au niveau d'Internet, entre autres l'OSPF, le BGP, le RIP et l'EIGRP.

Les réseaux sans fil sont comme les réseaux câblés du fait qu'ils ont besoin de protocoles dynamiques de routage, mais ont également assez de différences pour requérir de protocoles de routage orientés à leurs besoins spécifiques. En particulier, les connexions de réseau câblé fonctionnent généralement bien ou ne fonctionnent pas du tout (par exemple, un câble Ethernet est branché, ou il ne l'est pas). Les choses ne sont pas aussi claires en travaillant avec des réseaux sans fil. La communication sans fil peut être affectée par des objets entrant dans le chemin du

signal, ou par des signaux faisant interférence. En conséquence, les liens peuvent bien fonctionner ou fonctionner pauvrement, ou encore varier entre les deux extrêmes. Puisque les protocoles de réseau existants ne tiennent pas compte de la qualité d'un lien en prenant des décisions concernant le routage, les comités IEEE 802.11 et l'IETF travaillent à normaliser des protocoles pour les réseaux sans fil. Actuellement, il est difficile de savoir quand est-ce qu'une norme unique prenant en considération les liens de qualité variable émergera.

1.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps décrit les informations nécessaires pour comprendre la suite de ce manuscrit à savoir quelques informations généralistes sur les réseaux sans fil. Puis, nous avons cité en détaille la plupart des systèmes utilisés dans les réseaux sans fil avant de décrire le modèle OSI à travers de ses différentes couches. Dans le deuxième chapitre, on va s'intéressé principalement aux réseaux locaux filaires et sans fils pour lesquels nous allons détailler ses types de réseaux afin de pouvoir à la suite simulés quelques exemples avec OPNET.



PRESENTATION DES RESEAUX LOCAUX SANS FILS

II.1. Introduction

La mobilité des utilisateurs et leurs besoins d'accès itinérant aux réseaux informatiques rendent les réseaux traditionnels (filaires) obsolètes. De plus, le besoin accru d'accéder à différents types d'applications via le support radio pousse la recherche vers de nouvelles solutions de plus en plus adaptées à cet environnement. Ainsi, on note ces dernières années des avancées rapides dans la standardisation de nombreuses technologies sans fil allant des réseaux personnels à faible couverture jusqu'aux réseaux à couverture mondiale. Dans notre étude, nous nous intéressons au standard 802.11, nommé également Wi-Fi (Wireless Fidelity). Les réseaux locaux sans fil utilisant le standard 802.11 sont des réseaux peu coûteux qui ont une couverture de plusieurs centaines de mètres et qui interconnectent facilement les équipements informatiques de l'entreprise, du domicile, etc. Ces réseaux permettent un débit allant de quelques Mbit/s à quelques centaines de Mbit/s.

Ces réseaux ont été initialement conçus pour les applications de transfert de données et de la navigation web. Aujourd'hui, avec l'avènement de la VoIP et de la vidéo sur les réseaux IP, l'extension du potentiel de ce type de réseau pour le support des applications multimédia devient une réalité. Pour répondre à ce besoin, on assiste depuis une dizaine d'années à une augmentation constante des performances de ces réseaux aussi bien au niveau physique qu'au niveau liaison de données. Au niveau physique, de nouvelles propositions, appelées amendements, apparaissent régulièrement visant à augmenter la bande passante des réseaux 802.11 par l'introduction de nouvelles techniques de modulation du signal sur les bandes de fréquences dédiées aux réseaux locaux sans fil ou WLANs. Au niveau liaison de données, on s'intéresse à l'utilisation de cette bande passante avec priorité d'accès.

II.2. Réseaux locaux filaires

Ils permettent aux ordinateurs, au modem et à d'autres éléments à communiquer entre eux. Ils vont permettre d'avoir Internet sur différents ordinateurs, mais également de pouvoir faire communiquer différents ordinateurs entre eux, ou autres éléments entre eux.

II.2.1. Ethernet

L'Ethernet est un standard du réseau filaire de l'informatique. Dans les années 2000, l'Ethernet a fait sa grande apparition avec un débit de 10Mbps. Maintenant, un grand nombre de matériels actuels ont un débit de 100Mbps. Le 1000Mbps (Gigabit LAN) est en train de prendre la relève, pendant que le 10000Mbps est en cours de conception. Si les paramètres réseau de votre ordinateur n'ont pas été modifiés, il suffit de brancher le câble Ethernet au modem et vous avez Internet ! Donc rien de plus simple.

NB : il existe les câbles « droits » et « croisés », sachez juste qu'un câble « croisé » sert à relier 2 ordinateurs entre eux ou deux autres matériels informatiques entre eux, tel 2 routeurs ou un routeur et un Switch.

Un grand nombre de matériel actuel gère les deux systèmes (droit et croisé), vous pouvez bien souvent utiliser n'importe quel type de câble. Les câbles droits correspondent à 99% des câbles que nous utilisons.

Au niveau de l'Ethernet, il existe différents matériels utiles à connaître :

Un modem : Ils permettent de recevoir les données transmises par le réseau téléphonique ou similaire et le retranscrire pour le réseau local. Il ne permet le branchement que d'un ordinateur ou d'un routeur.

Un routeur : sert à gérer un réseau, si on relie 2 ordinateurs ensemble directement, il faut configurer le réseau. Si on branche 2 ordinateurs sur un routeur, le routeur va configurer les 2 postes afin qu'ils puissent communiquer ensemble.

Un modem-routeur : Généralement votre « box », il s'agit d'un mélange entre un modem ET d'un routeur. Il permet donc de recevoir les données Internet et de pouvoir les partager sur différents ordinateurs.

Un Switch : est une sorte de « multiprise » réseau, si votre modem routeur contient 2 ports et que vous avez 3 ordinateurs, l'ajout d'un Switch peut être utile.

Un hub : est également une sorte de multiprise qui n'est à ce jour presque plus vendue. Contrairement au Switch, il ne gère pas la transmission de données et se contente de l'envoyer sur chaque poste. En pratique, si 2 ordinateurs communiquent avec 2 autres ordinateurs, avec un Switch 100Mbps, le débit des 2 transferts est de 100Mbps, alors qu'avec un hub de 100Mbps, ayant 2 transferts, le débit sera de $100/2$ Mbps, soit 50 Mbps.

Le CPL : (courant par ligne) est une solution « alternative » principalement au Wifi. Cette technologie permet de faire un « pont » entre 2 points en Ethernet. Les données transitent par le réseau électrique, certaines conditions sont à respecter. Mais dans la théorie, cette technologie est très utile, mais dispose de débits variables en fonction des modèles, donc peut limiter le débit en réseau local. Il reste néanmoins fiable qu'un simple câble. Dans le principe, il « suffit » de brancher un adaptateur CPL au modem par un câble Ethernet, puis de relier les différents éléments par d'autres CPL branchés où vous le désirez dans votre domicile, par le biais d'adaptateurs supplémentaires par poste. Donc pour 2 ordinateurs à 2 étages différents et du modem, on a besoin de 3 adaptateurs. Le CPL se sert de la technologie Ethernet, donc on peut très bien relier n'importe quel matériel à un adaptateur, tels une imprimante, un ordinateur, un Switch, un point d'accès Wifi, un NAS...

Le point d'accès Wifi : sert à diffuser le réseau filaire en Wifi. Ce matériel est généralement inclus dans les box. Il peut éventuellement servir pour étendre un réseau sans fil ou en créer un autre à un autre emplacement.

II.2.2. Le coaxial

Il était utilisé à une époque pour les réseaux locaux, son débit maximum à l'époque étant de 10Mbps. Il peut encore être utilisé par des entreprises, mais n'est presque jamais utilisé et n'a peu d'intérêt pour un particulier.

II.2.3. L'USB

Il est utilisé pour certains anciens modems. Il a un débit très limité et une fiabilité des plus limitées. Il est donc à l'heure actuelle à proscrire. Il était couramment utilisé autour des années 2002 où les ordinateurs ne disposaient pas de carte Ethernet.

II.2.4. La fibre optique

Cette fibre optique est approximativement la même que pour les arrivées des connexions Internet en fibre optique. Vu les coûts et l'intérêt que cela apporte par rapport à un besoin domestique, elle n'est jamais utilisée chez le particulier.

On peut néanmoins la trouver dans quelques entreprises, par exemple pour relier 2 bâtiments.

II.3. Réseaux locaux sans fil WLAN

Le réseau local sans fil WLAN (Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, d'une maison, ou d'un espace public tel qu'un aéroport, un hôtel... Tous les terminaux présents dans la zone de couverture peuvent être reliés entre eux.

Un grand nombre de contraintes inhérentes aux LAN à câbles - coût, maintenance, installation - ne sont plus un problème dès lors que l'on fait intervenir avec discernement les techniques radioélectriques modernes. Par exemple, des architectures à microcellules hertziennes combinées à des techniques de modulation très adaptables permettent d'envisager des réseaux locaux hertziens (WLAN) dans lesquels les cellules sont reliées au réseau soit par l'intermédiaire de liaisons par câbles soit par d'autres moyens radioélectriques.

L'un des avantages des WLAN – que n'offrent pas les LAN par câbles – et que les utilisateurs sont tout à fait indépendants et en principe libres de se connecter au réseau ou de se déconnecter ou encore de se déplacer dans le réseau et entre réseaux.

Ces moyens de communication libres ou encore «sans fil» permettent notamment d'envisager l'établissement de liaisons privées, sur place, non couvertes par les traditionnelles définitions des communications fixes ou mobiles. Les utilisateurs sans fil ne sont donc pas liés à un imposant ordinateur personnel de bureau. Ils peuvent emporter avec eux leur petit ordinateur personnel ou agenda électronique, dans tous les coins et recoins de l'organisation, et même à l'extérieur, tout en conservant la possibilité de se raccorder aux autres systèmes du réseau local et de les exploiter. A l'avenir, ces systèmes de communication sans fil pourraient bien être à l'origine d'une remise en question de ces deux notions bien établies que sont les communications fixes et les communications mobiles.

Citons, à titre d'exemple, certaines caractéristiques générales que l'on peut trouver dans un WLAN:

- Compatibilité avec les réseaux locaux câblés au niveau des débits de données, des protocoles, des normes et des caractéristiques de fonctionnement;
- Compatibilité avec les applications portables (petits équipements de faible puissance) et, au besoin, capacité de transfert d'un réseau à l'autre;
- Compatibilité avec les débits de communication extrêmement élevés typiques des liaisons établis entre ordinateurs;
- Enfin, possibilité d'envisager des applications dans lesquelles le temps de transport des données est critique (par exemple, communications vocales et vidéo, notamment vidéoconférences).

En fonction de l'application, on devra prévoir une très large gamme de débits de données (jusqu'à plus de 100 Mbit/s).

Les WLAN peuvent être utilisés à l'intérieur ou à l'extérieur, ou en combinaison, mais les problèmes de brouillage peuvent différer d'une configuration à l'autre. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de confiner l'utilisation à l'intérieur des bâtiments afin de respecter les critères locaux de partage des fréquences.

Dans les applications internes des WLAN, il faut tenir compte de certaines conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments (qui ne sont pas toujours bien connues). Le fonctionnement des liaisons radioélectriques dépend de certains facteurs tels que la dimension des bâtiments et les matériaux de construction utilisés, ... effet des bâtiments adjacents (par les fenêtres), répartition des meubles de bureau par rapport aux trajets radioélectriques, enfin variations dynamiques de la géométrie des trajets.

D'autres études seront nécessaires pour mieux caractériser les conditions de propagation applicables aux WLAN.

Dans ce type de réseaux on trouve :

II.3.1. Le WiFi

La technologie WiFi (Wireless Fidelity) (fondée sur les standards IEEE 802.11), opérant dans la bande de fréquences autour de 2.4 GHz, offre des débits allant jusqu'à 11 Mbits/s en 802.11b et 54 Mbits/s en 802.11g sur une distance de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres). Dans un environnement ouvert, la portée peut atteindre plusieurs centaines de mètres voire dans des conditions optimales plusieurs dizaines de kilomètres. Notons aussi l'existence de la norme IEEE 802.11a (baptisée WiFi5), fonctionnant dans la bande des 5 GHz et offrant un débit théorique de 54 Mbits/s jusqu'à 10 m de portée.

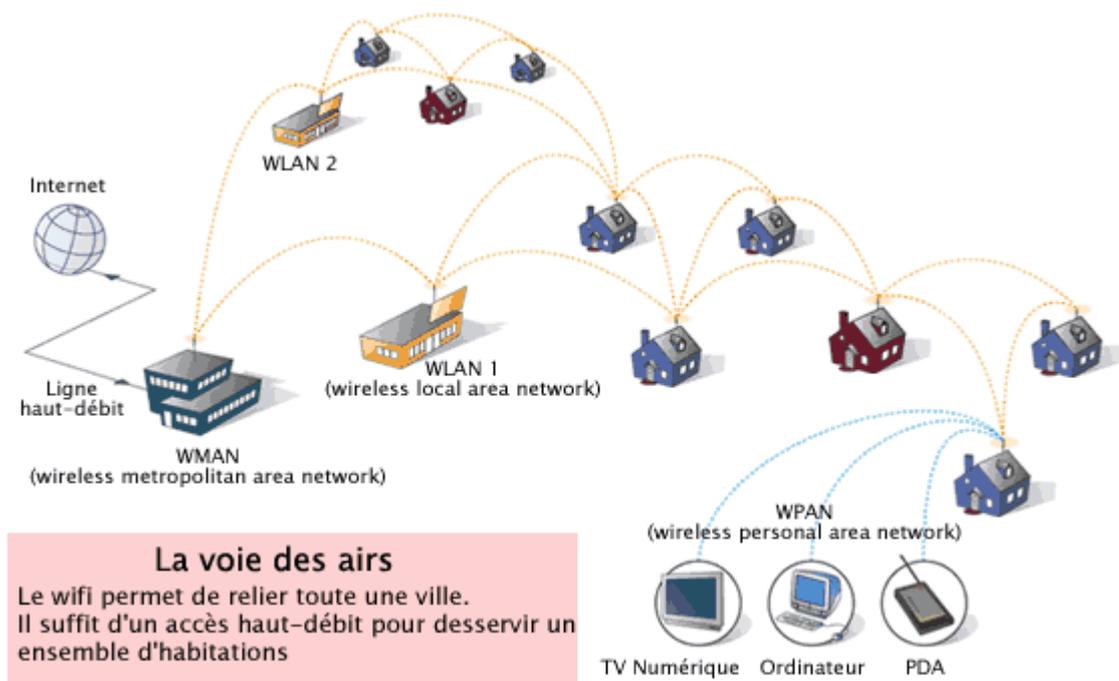


Figure II.1 : Exemple de réseaux utilisant le Wi-Fi.

II.3.2 Standard 802.11n

Il s'agit d'un standard de seconde génération, très haut débit.

Le groupe de travail lancé mi-2004 pour succéder 802.11g, étudie un standard pour la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui pourrait multiplier par 4 le débit de 802.11g, c'est-à-dire atteindre des débits de l'ordre de quelques centaines de Mbits/s.

II.3.3. Norme HiperLAN2

(Pour High Performance Radio Local Area Network 2.0), norme européenne élaborée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN2 opère dans la bande de fréquences autour de 5 GHz en utilisant l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et permet d'obtenir un débit théorique allant jusqu'à 54 Mbits/s sur une zone de couverture de plusieurs dizaines de mètres. Cette norme est concurrencée par 802.11a, malgré de meilleures performances puisqu'elle apporte une certaine qualité de service et la gestion du roaming.

II.4. Présentation de WiFi (802.11)

La norme 802.11 s'attache à définir les couches basses du modèle OSI pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire :

- **La couche physique** (notée parfois couche PHY), proposant trois types de codage de l'information.
- **La couche liaison** de données, constituée de deux sous-couches : le contrôle de liaison logique (*Logical Link Control*, ou LLC) et le contrôle d'accès au support (*Media Access Control*, ou MAC)

La couche physique définit la modulation des ondes radio-électriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données, tandis que la couche liaison de données définit l'interface entre le bus de la machine et la couche physique, notamment une méthode d'accès proche de celle utilisée dans le standard Ethernet et les règles de communication entre les différentes stations.

| | | | |
|---------------------------------|--------|------|-------------|
| Couche Liaison de données (MAC) | 802.2 | | |
| | 802.11 | | |
| Couche Physique (PHY) | DSSS | FHSS | Infrarouges |

Tableau II.1 : Niveaux basses du modèle OSI pour le 802.11 sans fil.

En couche physique, trois modes de transmission sont définis dans ces spécifications. Le premier utilisant la diffusion infrarouge, de 850 à 950 nm, ne nous intéresse pas dans le cadre de cet ouvrage. Les deux autres exploitent les ondes radio, sur la bande des 2.4 GHz, par les

techniques FrequencyHoppingSpread Spectrum (FHSS) ou Direct SequenceSpread Spectrum (DSSS).

Les débits initiaux de la norme 802.11 étaient de 1 et 2 Mbps.

La couche Physique, qui définit le codage et les caractéristiques de la transmission de données, est divisée en deux sous couches :

Physical Layer Convergence Protocol (PLCP), pour la traduction des trames MAC.

Physical Medium Dependent (PMD), pour la modulation et le codage.

II.5. Topologies du réseau 802.11 sans fil

La norme 802.11 définit deux modes de topologies : le mode infrastructure et le mode ad hoc.

II.5.1. Mode Infrastructure

Dans ce mode, il y a au moins un point d'accès qui relie les stations entre elles, et/ou vers d'autres réseaux filaires, par l'intermédiaire d'un système de distribution. L'ensemble de postes sans fil reliés à un même point d'accès forme un BSS (Basic Service Set ou ensemble de services de base) matérialisé par un dispositif d'émission/réception. Plusieurs BSS interconnectés par un système de distribution forment un ESS (Extended Service Set ou ensemble de services étendu). Où, n'importe quel LAN peut être interconnecté à un BSS (par l'intermédiaire d'une passerelle) formant aussi un ESS. Le système de distribution est implémenté indépendamment de la structure hertzienne de la partie sans fil, il peut correspondre à un réseau Ethernet, Token ring, FDDI ou un autre réseau IEEE mobiles, une passerelle d'accès vers un réseau fixe, tel qu'Internet. Avant toute communication au sein d'un BSS ou cellule, les stations sans fil doivent exécuter une procédure d'association avec le point d'accès.

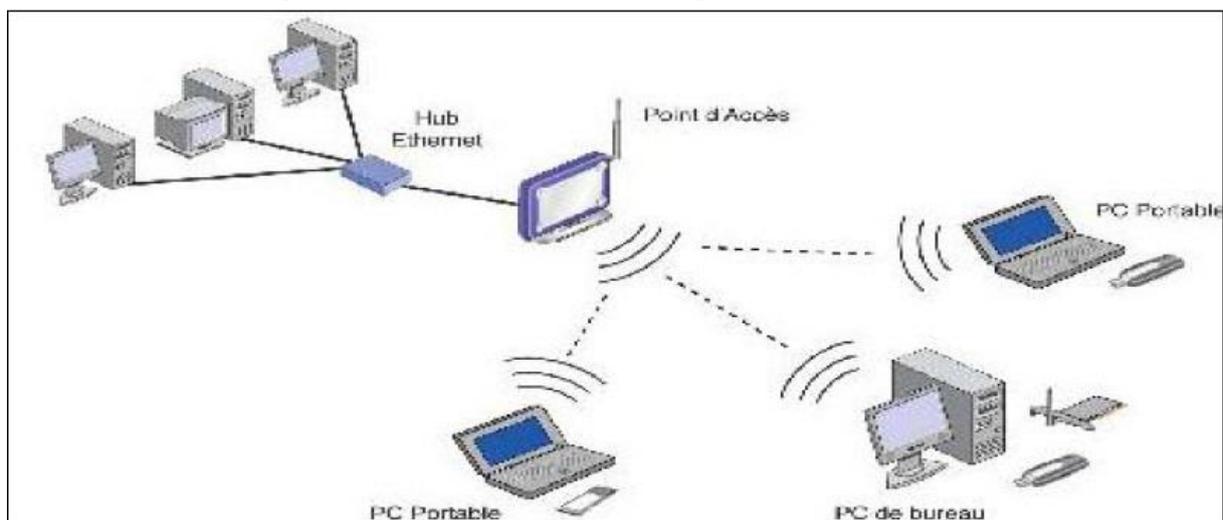


Figure II.2 : Mode Infrastructure.

II.5.2. Mode ad hoc

Le mode ad hoc (généralement baptisé point à point) représente simplement un ensemble de stations 802.11 sans fil qui communiquent entre elles sans avoir recours à un point d'accès ou une connexion à un réseau filaire à travers le système de distribution. Chaque station peut établir une communication avec n'importe quelle autre station dans la cellule que l'on appelle cellule indépendante IBSS : Independent BSS. Ces réseaux ont été étudiés au début des années 1970 à des fins militaires sous le nom de réseaux en mode paquet.

Dans les deux modes infrastructure et ad hoc, chaque réseau de service est identifié par un identificateur de réseau SSID : Service Set IDentity. Par conséquent, toute station désirant se connecter au réseau étendu doit connaître au préalable la valeur du SSID.

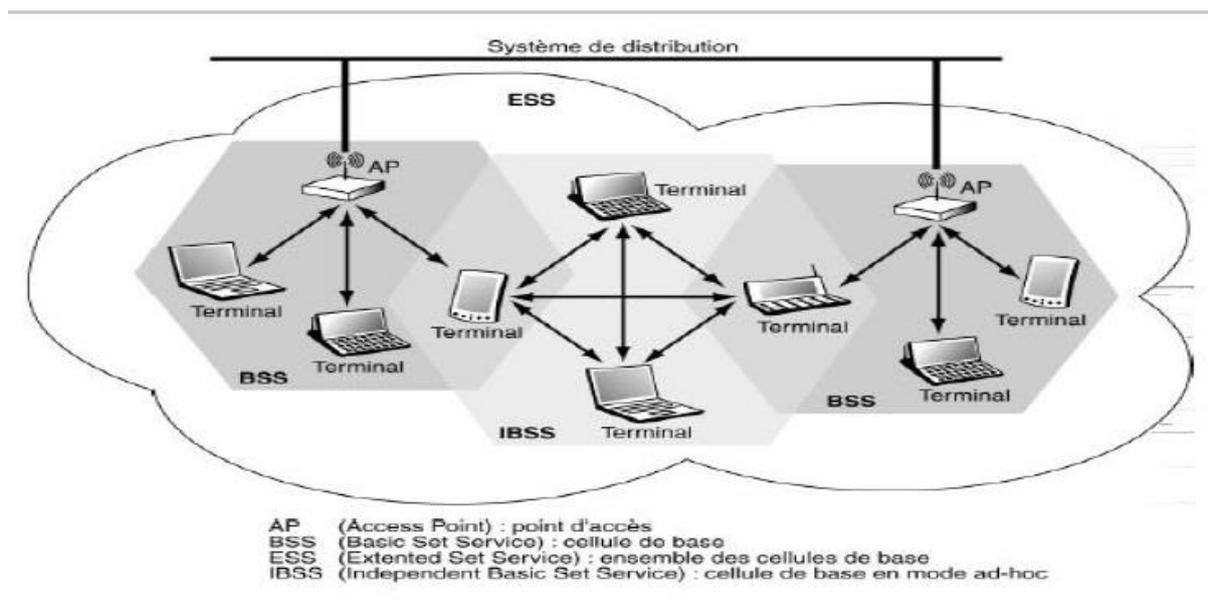


Figure II.3:Mode Ad Hoc.

II.6.Eléments d'un réseauWiFi

Les principales technologies permettant de développer des WLAN sont ceux appartenant aux normes IEEE 802.11, parmi lesquelles *Hiperlanet Bluetooth*. La norme la plus connue et la plus populaire de WLAN est le 802.11b (WiFi). Cette norme permet d'offrir un vaste panorama d'applications grâce aux caractéristiques avantageuses à la technologie Ethernet.

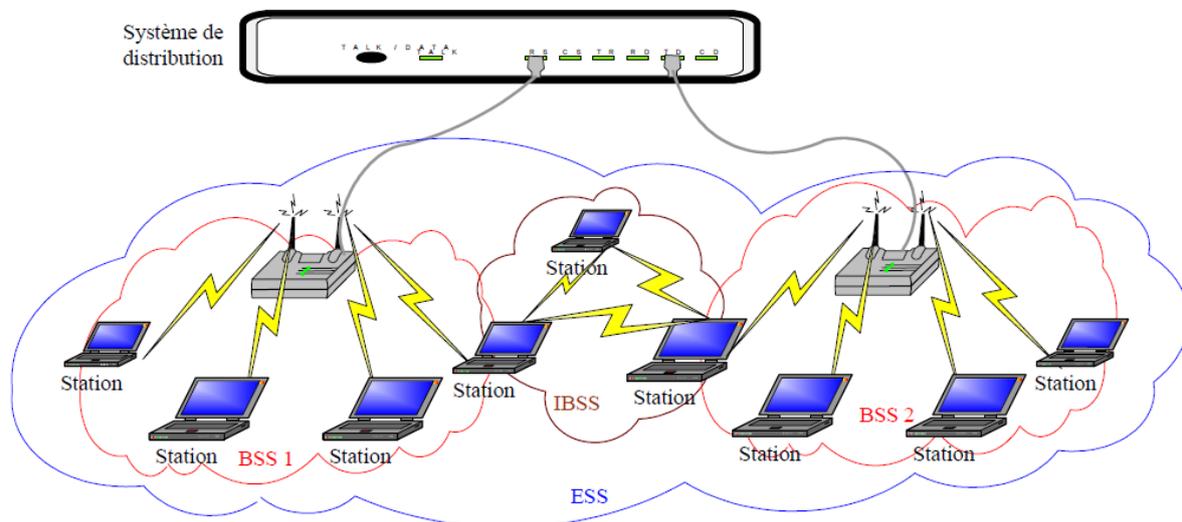


Figure II.4 : Architecture de 802.11 sans fil.

II.6.1. Independent BSS (IBSS)

La première architecture définie dans la norme 802.11 permet une communication point à point entre au moins deux stations mobiles ou fixes. Elle est nommée Independent Basic Service Set (IBSS), pour former des réseaux ad hoc.

Elle autorise une communication en direct entre les différents postes dont les cellules sont recouvrant, au sein d'un réseau autonome, auquel ils sont associés. Par exemple, il peut être intéressant de mettre en œuvre ponctuellement un tel réseau pour un échange de fichiers entre ordinateurs portables. Les tailles de cellules définies par de tels matériels étant généralement relativement peu importantes, l'étendue est plus de type RLAN, mais avec un débit supérieur à Bluetooth.

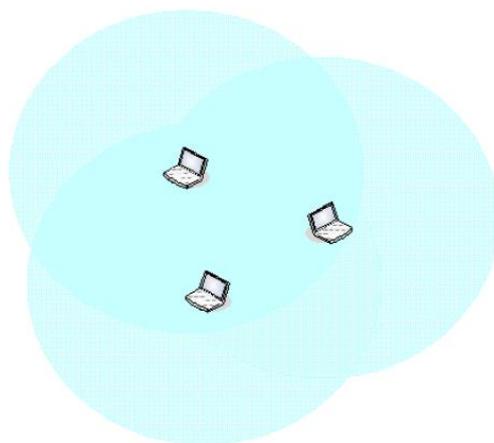


Figure II.5 : Réseau IBSS entre ordinateurs portables.

II.5.2. Infrastructure BSS

La seconde architecture nécessite un composant d'infrastructure, nommé Access Point (AP), en français point d'accès. Il permet l'interconnexion du réseau sans fil avec le réseau local filaire de l'entreprise, nommé dans les standards Distribution System (DS). Dans ce Basic Service Set (BSS), le point d'accès agit comme un maître pour les stations périphériques qui lui sont associées. Toutes les communications doivent passer par lui.

Le point d'accès définit ici une cellule nommée Basic Service Area (BSA), dont le nom est l'adresse MAC du point d'accès, ce qu'on appelle le Basic Service Set Identification (BSSID). Ce réseau peut être nommé et saisi sur le point d'accès.

Une salle de réunion peut ainsi être équipée, offrant un accès sans fil aux serveurs de l'entreprise, eux-mêmes connectés au réseau filaire.

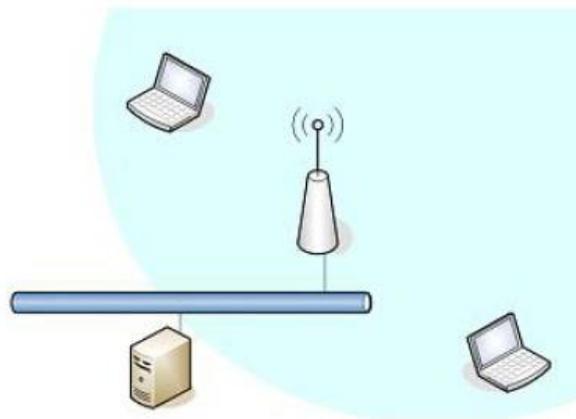


Figure II. 6 :Réseau BSS, permettant l'accès au réseau Ethernet.

II.5.3. Extended Service Set (ESS)

Un réseau de plus grande étendue, Extended Service Area (ESA) peut être défini avec plusieurs AP. On parle dans ce cas de réseau Extended Service Set (ESS), qui permet une communication sans fil entre ordinateurs associés à des points d'accès distincts. Pour cela, les cellules définies par ces derniers ne sont pas obligatoirement recouvrant, étant donné que le système de distribution (DS) est utilisé pour prolonger la communication.

Si l'itinérance complète des équipements portables est souhaitée, un recouvrement des cellules est recommandé. En effet, l'ordinateur peut ainsi s'associer à un autre point d'accès sans coupure de communication. Cette action de roaming utilise, pour ce basculement, le réseau filaire.

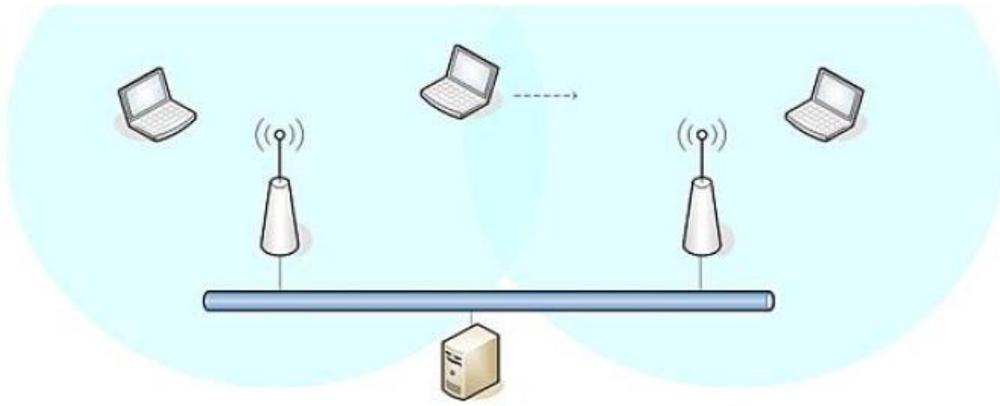


Figure II. 7 :Réseau ESS, autorisant le roaming.

Ce type de réseau est qualifié d'Extended Service Set Identifier (ESSID). Il est unique pour tous les points d'accès et les stations qui y sont associés.

Dans un réseau à infrastructure et à plusieurs cellules, les bornes sont connectées entre elles par une liaison ou un réseau filaire ou hertzien. Les terminaux peuvent alors se déplacer au sein de la cellule et garder une liaison directe avec le point d'accès, ou changer de cellule, ce qui s'appelle le roaming.

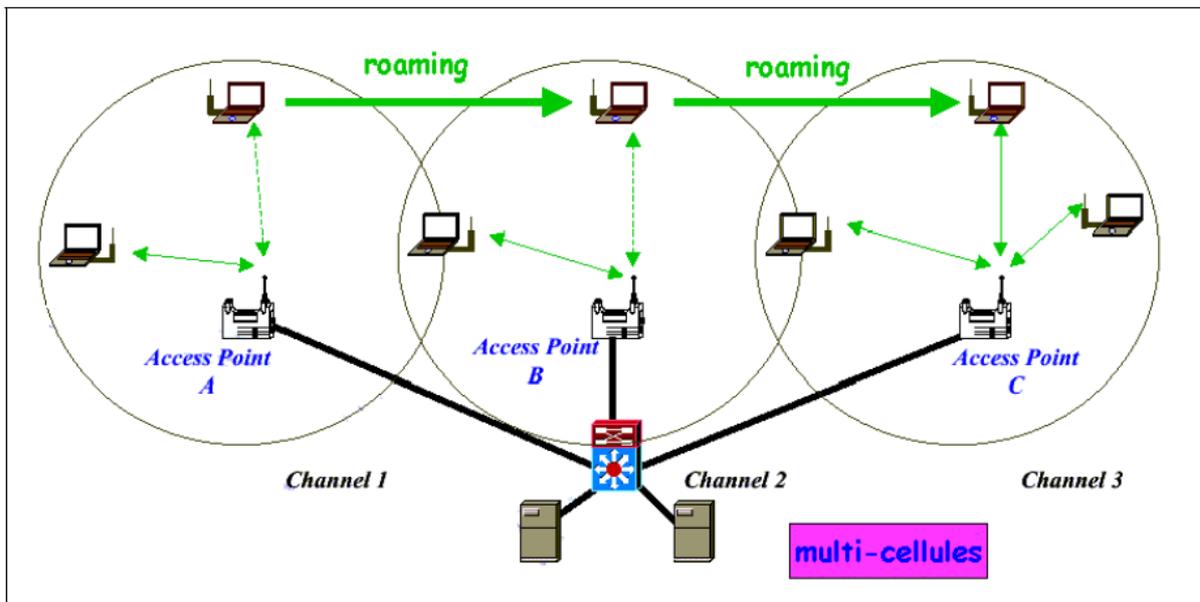


Figure II. 8 :Structure d'un réseau à infrastructure à cellules.

Remarque: dans certains cas, les différentes cellules se superposent complètement, ce qui permet d'offrir plusieurs fréquences aux utilisateurs de la cellule, et donc un débit plus satisfaisant.

II.6. Déployer un réseau sans fil

Depuis la décision de l'ART d'autoriser, sous certaines conditions, l'utilisation de réseaux sans fil, les particuliers découvrent les joies de la mobilité domestique. Pour peu de disposer d'une connexion haute débit, le partage familial de celle-ci élimine le traditionnel embouteillage pour consulter l'e-mail. Avec Windows XP, la mise en place d'un réseau domestique est prise en charge par le système qui fournit les informations de configuration de la couche de transport (TCP/IP). Il est même proposé de créer une disquette de configuration des autres postes clients. Le réseau Ethernet 802.11b est fondé sur une architecture cellulaire où chaque alvéole est contrôlé par un AP (ou Access Point). Relié à un ordinateur connecté à Internet cet AP sert alors de routeur Internet tandis que le PC hôte devient une passerelle dirigeant le trafic collecté par l'AP vers le Web.

Cette architecture centralisée grâce à un serveur est appelée Infrastructure. On peut aussi construire un réseau sans fil en Ad-hoc ou peer-to-peer où les postes clients communiquent les uns directement avec les autres à égalité. Les machines connectées échangent périodiquement leurs tables de routage et établissent des protocoles de routage en temps réel: les chemins sont établis à la demande. Pour deux ordinateurs, il faut alors envisager une solution de type Ad-hoc. Elle consiste à doter chaque PC d'une interface réseau Wi-Fi comme les adaptateurs USB. Une fois configurés, les deux PC peuvent partager une connexion Internet, l'un servant de passerelle à l'autre.

Mais pour déployer un réseau de 3 postes ou plus, une solution plus élaborée est à envisager: Il faut alors opter pour une borne d'accès (AP) et équiper postes clients de cartes d'accès. Les cartes adaptatrices PCI sont déconseillées: prix plus élevé et l'antenne d'une carte PCI est collée à l'arrière de la machine posée au sol ou au mieux sur le bureau. Ce qui n'est l'idéal pour une bonne réception.

II.7. Dérivés de la norme IEEE 802.11

Actuellement au sein du 802.11, plusieurs groupes de travail ont été créés afin d'améliorer ou de proposer de nouveaux mécanismes régissant divers aspects. Grâce au Wi-Fi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fils à haut débit pour que l'ordinateur peut connecter, il faut qu'il ne soit pas trop distant par rapport au point d'accès. Dans la pratique, le Wi-Fi permet de relier des ordinateurs portables, des ordinateurs de bureau, des assistants personnels (PDA) ou tout type de périphérique à une liaison haut débit (11 Mbits/s ou supérieur) sur un

rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert.

Ainsi, des opérateurs commencent à irriguer des zones à fortes concentration d'utilisateurs (gares, aéroports, hôtels, trains, ...) avec des réseaux sans fil. Ces zones d'accès sont appelées « hot spots ».

La norme 802.11 utilise la bande de fréquence 2.4 GHz et des débits de 1 à 2 Mbits/s pouvant utiliser aussi bien la méthode de l'étalement de spectre en saut de fréquence (Frequency Hopping Spread Spectrum FHSS) que la méthode de l'étalement de spectre en séquence directe (Direct Sequence Spread Spectrum DSSS). Peut être cité à titre historique comme le premier standard de la série.

Les différentes normes attachées au réseau 802.11 interviennent au niveau de la couche Physique et/ou Liaison de données et sont résumées ci-dessous :

II.7.1. 802.11a

La norme 802.11a est publiée en septembre 1999. Par contre, sa couche physique est prévue pour travailler sur les bandes UNII en 5 GHz, normalement non dédiées aux RLAN.

Ces bandes, beaucoup plus larges, de 300 MHz au maximum au lieu de 83.5 MHz en 2.4 GHz, permettent de réduire fortement les risques d'interférences entre réseaux. Cette montée en fréquence n'est pas sans conséquence pour la portée des équipements. En effet, les ondes radio à 5 GHz sont freinées beaucoup plus vite par l'environnement que celles à 2.4 GHz.

Les spécifications 802.11a autorisent une montée en débit significative par rapport au 802.11b. La transmission maximale est de 54 Mbps, des solutions de replis sont prévues, à 48, 36, 24, 18, 12, 9 et 6 Mbps. Pour atteindre de tels débits, 52 sous porteuses sont exploitées, selon la technique Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

À cause du changement de fréquence, les antennes 802.11a sont incompatibles avec celles 802.11b.

II.7.2. 802.11b

La norme IEEE.802.11b, est basée sur un standard de l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) datant de 1997, est commercialisée depuis 1999. Son évolution est

favorisée par ses faibles coûts de déploiement et son interopérabilité du matériel entre les différents fabricants.

La norme IEEE.802.11b est différente de la 802.11a en ce sens qu'elle utilise une porteuse plus basse en fréquence, de 2,4GHz à 2,487GHz. Elle permet d'avoir des débits théoriques de 11Mbits.s⁻¹ (avec des chutes jusqu'à 5.5, 2 et 1 Mbits/s). La largeur des canaux est de 22MHz et ils sont espacés de 5MHz. Selon le débit, dont la valeur maximale est en réalité de 6,5Mbits.s⁻¹, les modulations BPSK et QPSK avec étalement de spectre DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) sont appliquées. Cette norme a une portée de 100m en extérieur pour 30m en environnement interne avec une puissance variant entre 10 et 100 mW [14].

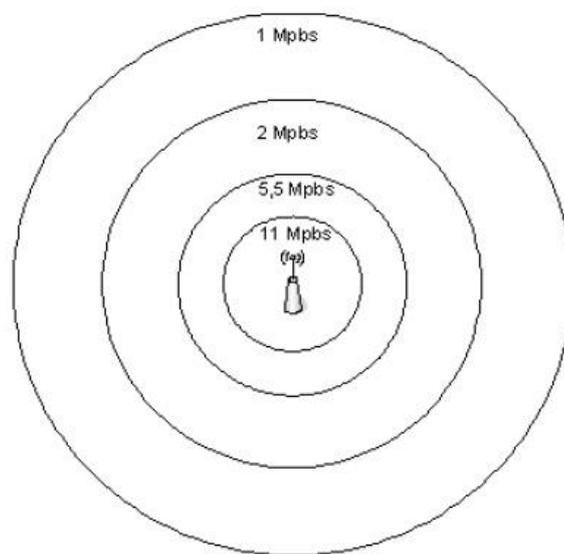


Figure II. 9 : Vitesses de transmission du 802.11b, autour d'une antenne omnidirectionnelle.

II.7.3. 802.11c

Apporte les informations nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des ponts réseaux. Ce standard est utilisé pour l'interopérabilité des points d'accès (Access Point : AP).

II.7.4. 802.11d

Les spécifications 802.11 doivent être applicables au niveau international et suivre pour cela les réglementations, différentes, par exemple aux USA, en Europe ou au Japon. Grâce à l'amendement 802.11d, les matériels deviennent capables de s'échanger les informations de fréquences et puissances de leurs pays d'origine, afin de rester conformes. Pour cela, les trames

transmises sont modifiées. L'application de la norme par le constructeur du matériel est certifiée par la WiFi alliance.

II.7.5. 802.11e

802.11e définit les améliorations nécessaires au WiFi en termes de qualité de service (QOS Quality Of Service). Ainsi, le transport du multimédia, voix et audio et vidéo est vraiment possible.

Pour cela, la sous couche MAC de la couche Liaison de données est modifiée. Les besoins en bande passante et en délai de propagation sont insérés. Les flux sont ainsi priorisés.

L'approbation de ce standard, important pour le 802.11n, date de septembre 2005.

II.7.6. 802.11 g

Ce standard, ratifié en juin 2003, succède finalement au 802.11b. Exploitant, comme cette dernière, la bande des 2.4 GHz, il autorise des débits à 54 Mbps. Les replis possibles sont les mêmes que 802.11a, soit 48, 36, 24, 18, 12, 9 et 6 Mbps.

Exploitant la même technique OFDM que le 802.11a, il apporte la compatibilité de fréquence avec 802.11b. Les matériels appliquant ces spécifications sont donc capables de fonctionner en 802.11b et 802.11g, avec une conséquence sur le débit de fonctionnement.

Par exemple, si un client 802.11b se connecte sur un point d'accès configuré en mode mixte, tous les clients 802.11g verront leurs débits chuter, comme le montre le tableau ci-dessous.

| | Débit (Avec en-têtes) | Débit réel (Sans en-têtes) | Rapport avec 802.11b |
|-------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 802.11b | 11 Mbit/s | 6 Mbit/s | 100% |
| 802.11g avec clients 802.11b (Mode mixte) | 54 Mbit/s | 8 Mbit/s | 133% |
| 802.11g seul | 54 Mbit/s | 22 Mbit/s | 367% |
| 802.11a | 54 Mbit/s | 25 Mbit/s | 417% |

Tableau II. 2 :Différentes vitesses de transmission en fonction des modes (source : Cisco).

802.11g améliore également le traitement des trames. Les spécifications de celles-ci sont quelques peu simplifiées et améliorées, afin de gagner encore en efficacité, donc en débit.

II.7.7. 802.11h

802.11h est une extension destinée à rapprocher 802.11a des contraintes européennes. Pour cela, un mécanisme de contrôle de la puissance Transmit Power Control (TPC) est mis en œuvre. Un second, Dynamic Frequency Selection (DFS), permet la détection de l'occupation d'un canal et son changement dynamique sur l'équipement. Le respect de ses spécifications, validées en 2003, est testé par la WiFi Alliance pour les matériels 802.11a.

The image shows a Wi-Fi Interoperability Certificate with the following details:

- WiFi CERTIFIED** logo
- Certification ID:** WFA5886
- Certificate Date:** January 7, 2008
- Category:** Enterprise Access Point, Switch/Controller or Router
- Company:** Cisco Systems
- Product:** Cisco Wireless LAN Controller Module for ISR (NME-AIR-WLC) and Cisco LAP1252AG AP
- Model/SKU#:** NME-AIR-WLC and AIR-LAP1252AG/NME-AIR-WLC and AIR-LAP1252AG

This product has passed Wi-Fi certification testing for the following standards:

| IEEE Standard | Security | Multimedia |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 802.11a | WPA™ - Personal | WMN® |
| 802.11b | WPA™ - Enterprise | WMN Power Save |
| 802.11g | WPA2™ - Personal | |
| 802.11n draft 2.0 | WPA2™ - Enterprise | |
| 802.11h | | |
| 802.11d | EAP Type(s) EAP-TLS EAP-TTLS/MSCHAPv2 PEAPv0/EAP-MSCHAPv2 PEAPv1/EAP-GTC EAP-SIM | |

For more information: www.wi-fi.org/certification_programs.php

Figure II. 9 :Exemple d'une certification par la WiFiAlliance.

II.7.8. 802.11i

802.11i, longtemps attendu, a été ratifié en juin 2004. Ce standard est également nommé WiFi Protected Access 2 (WPA2). Il apporte enfin des mécanismes de sécurisation de haut niveau, pour l'authentification et la confidentialité. L'utilisation de l'algorithme Advanced Encryption Standard (AES), pour le chiffrement, demande une puissance de calcul supérieure à celle disponible sur beaucoup d'équipements.

II.7.9. 802.11j

Décrit les modifications nécessaires à l'utilisation des bandes de fréquences à 4.9 GHz et 5 GHz en conformité avec la régulation japonaise.

II.7.10. 802.11n

802.11g reste, depuis 2003, la spécification la plus exploitée commercialement. L'évolution 802.11n tarde à être finalisée par l'IEEE. En effet, elle reste encore à l'état de brouillon (draft) et le moment de sortie de la spécification définitive, qui a déjà été beaucoup retardé, reste encore incertain.

Après les versions 1.0 et 1.1, le groupe de travail de l'IEEE a adopté, en mars 2007, la version 2.0 du brouillon, qui s'approcherait enfin du standard définitif. En terme de capacités, le 802.11n en version brouillon inclut d'ores et déjà, la qualité de service (QOS Quality of Service), le WMM (WiFi MultiMedia) pour les applications VoIP (Voice over IP) et le streaming.

Les évolutions à définir sont importantes, car il s'agit à la fois d'améliorer considérablement le débit et la couverture radio. Un certain nombre de procédés sont donc mis en œuvre et leurs définition dans le cadre d'un standard est un compromis parfois difficile à avaliser.

Tout d'abord, au niveau du travail sur le signal (couche Physique) la segmentation des données par OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), utilisée en 802.11a et 802.11g est améliorée. Cette avancée seule permet d'envisager un débit de 65 Mbps au lieu de 54 Mbps avec les spécifications précédentes.

La seconde amélioration sur les transmissions est amenée par une série de techniques liées à la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output). Par multiplexage spatial, ce sont jusqu'à 4 flux, au lieu d'un seul, qui peuvent être traités simultanément. En utilisant plus d'antennes de réception que de flux, il est possible de travailler en diversité, afin de recevoir des signaux de plusieurs chemins. Comme de tels systèmes sont gourmands en énergie, il est prévu de les utiliser uniquement quand les transmissions le nécessitent.

802.11n utilise les bandes de fréquences 2.4 et 5 GHz. Dans cette dernière, il est possible de doubler la largeur de canal exploité, ce qui permet de gagner encore en vitesse. Le débit maximal de la version finale du 802.11n devrait être de 300 Mbps. Les techniques utilisées permettraient d'aller en théorie jusqu'à 600 Mbps.

Les publications des premiers standards de l'IEEE 802.11 ont été relativement rapprochées. Il a été d'ailleurs parfois reproché au WiFi son instabilité, d'un point de vue commercial. Ce n'est pas le cas avec le 802.11n, qui se fait attendre. Sa longue gestation a entraîné différentes interprétations propriétaires, donc incompatibles, par les constructeurs de matériels. Le consortium WiFi Alliance a mis un terme aux spéculations et propose, depuis avril 2007, une certification "802.11n Draft".

II.7.11. 802.1x

Sécurisation de divers médias y compris le lien sans fil par le biais de mécanismes d'authentifications forts et de serveur RADIUS avec une distribution dynamique des clés.

Cette évolution montre clairement la volonté des groupes de travail IEEE à augmenter les débits afin de répondre aux besoins des applications multimédia exigeante en termes de bande passante.

II.8. Qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11

Le niveau de qualité de fonctionnement d'un WLAN est défini, pour l'essentiel, en fonction du projet du client. Toutefois, certaines indications utiles pour les concepteurs peuvent être trouvées dans la Norme IEEE 802.11.

Dans un WLAN, les interruptions de service sont souvent dues à des effets d'occultation d'origine artificielle. Le déplacement des personnes dans une pièce peut être une cause essentielle d'occultation. En particulier, dans un système à hautes fréquences, l'occultation du trajet en visibilité directe provoque une brutale et importante baisse de la puissance reçue. En conséquence, pour respecter les valeurs précitées, il est nécessaire de chercher à connaître la fréquence d'apparition de ces phénomènes d'occultation dans un environnement physique donné.

Il conviendrait d'étudier plus avant la définition du «temps d'interruption du service» dans le cas d'un WLAN. Dans le cas d'un réseau public représenté par le trajet hypothétique de référence défini dans la Recommandation UIT-T G.826, le temps d'interruption du service est en général exprimé en secondes sévèrement erronées (SSE). Toutefois, une interprétation différente de ce temps d'interruption du service sera peut-être nécessaire dans le cas de signaux

intermittents transmis par paquets. Autre facteur à considérer, la qualité de service, que les théoriciens devraient définir en fonction des besoins des utilisateurs des LAN.

Dans le cas de signaux MTA, les objectifs de qualité de fonctionnement définis sur la base des paramètres de transfert de cellules sont étudiés dans le cadre des activités de la Commission d'études 13 de la normalisation des télécommunications. Les résultats des études sont résumés dans la Recommandation UIT-T I.356, qui pourra servir de référence pour les concepteurs de WLAN [15].

II.9.Sécurité

Les réseaux Wi-Fi ont rapidement souffert d'une très mauvaise notoriété à cause de la mauvaise conception des mécanismes de sécurité (WEP) qui pouvaient être contournés sans trop de difficultés, et du fait que par défaut ces mécanismes même insuffisants n'étaient pas activés, laissant le réseau à la merci du tout-venant.

Les constructeurs ont réagi en rédigeant la norme 802.11i, qui propose des mécanismes de sécurité plus robustes et basés sur les conclusions tirées de l'échec cuisant du WEP. Malheureusement cette norme impose l'utilisation de l'algorithme de chiffrement AES, ce qui nécessite de changer l'ensemble des équipements Wi-Fi actuels, ceux-ci ne comportant pas le module de chiffrement adapté.

Afin d'effectuer une transition en douceur vers la norme 802.11i et pour ne pas obliger l'ensemble des utilisateurs à changer leur matériel de suite, la norme WPA a été mise au point et s'est imposée comme standard actuel. Il s'agit en fait d'une version de la norme 802.11i qui a été allégée afin de pouvoir conserver le matériel existant. Ainsi, bien que n'utilisant pas l'algorithme de chiffrement AES, WPA renforce considérablement le niveau de sécurité des liaisons Wi-Fi, et les experts s'accordent à dire que son utilisation permet de s'affranchir en toute confiance des problèmes de sécurité initialement constatés avec le WEP.

L'une des principales évolutions du WPA par rapport au WEP est que la clef de chiffrement permettant de sécuriser le canal radio est recalculée fréquemment, ce qui ne laisse pas le temps à un attaquant de réaliser son attaque. Cet aspect est basé sur le protocole TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).

L'autre évolution majeure du WPA permet l'authentification du poste souhaitant se connecter, de manière efficace. Pour cela, il est fait appel à la norme 802.1x, qui définit une méthode d'authentification fonctionnant aussi bien sur les réseaux filaires que radio. Lorsqu'un

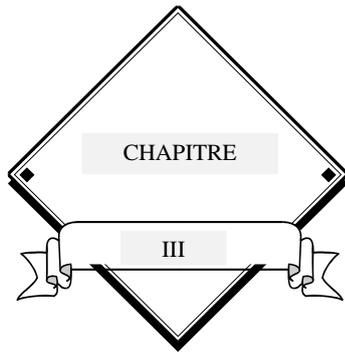
PC souhaite se raccorder au réseau, le point d'accès ou le commutateur compatible 802.1x lui demande de s'identifier par le biais d'un mot de passe ou mieux encore par le biais d'un certificat X509, selon le mode d'authentification choisi (EAP-TLS, EAP-TTLS, EAP-LEAP, EAP-PEAP etc.). Cette information est envoyée à un serveur Radius, qui effectue la vérification dans sa propre base d'autorisations ou bien via un serveur d'authentification tel qu'Active Directory. Une fois cette étape validée, le point d'accès ou le commutateur autorisent l'accès et attribuent un VLAN à l'ordinateur distant, qui pourra ainsi ensuite obtenir son adresse IP etc...[16]

Il existe des méthodes récentes d'attaque du protocole WPA, mais elles nécessitent des ressources onéreuses (processeurs spécialisés et FPGA) [17], que l'on ne peut pas considérer pour le moment comme étant à la portée du non spécialiste.

II.10.Conclusion

Actuellement, les réseaux IEEE 802.11 sont considérés comme une alternative sérieuse aux réseaux tout filaires pour l'accès à l'Internet. En effet, les nombreux avantages qu'offre cette technologie (rapidité de déploiement, réduction des coûts d'installation, mobilité, etc.) lui ont permis de s'imposer rapidement sur le marché. Ce monopole est conforté à la fois par l'augmentation continue du débit théorique de ces réseaux mais aussi par l'intégration d'une interface de communication 802.11 dans un large panel d'équipements (webcam, disque dur externe, casque audio, etc.) et de terminaux (téléphone mobile, PDA, laptop, etc.). Dans le contexte de la convergence de réseaux et de services vers le tout-IP, les réseaux d'accès 802.11 n'échappent pas à cette mouvance et sont de plus en plus sollicités pour la transmission de services IP, de voix et de vidéo, très exigeants en termes de qualité de service.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter en premier lieu une description particulière du logiciel OPNET de conception des réseaux de télécommunications mobiles et sans fil. Ensuite, nous nous intéresserons à la conception des réseaux locaux filaires par OPNET.



Conception des réseaux filaires par le logiciel OPNET

III.1. Introduction

OPNET est un environnement graphique créé pour permettre de concevoir, étudier des réseaux numériques, et des protocoles de communication avec une grande flexibilité. Il travaille sur toutes les couches du modèle OSI et permet de récupérer une grande quantité d'informations tant que l'on reste au niveau de granularité égale au paquet. Il permet également de simuler un bon nombre de matériel existant comme les routeurs, les serveurs d'application etc... Grâce à cela, toutes les configurations de réseaux deviennent très faciles à modéliser et simuler.

Son approche est orientée objet [18] pour le développement et dispose d'une interface graphique simple dans laquelle on place les différents composants du réseau à étudier. OPNET supporte tous les types et toutes les technologies de réseaux. OPNET dispose de deux types de nœuds - fixes (serveurs, stations de travail, routeurs...) ou mobiles (téléphones portables, satellites...) - et de trois types de liens - point à point, bus ou radio.

Dans ce chapitre, nous avons expliqué premièrement le fonctionnement général du logiciel OPNET en présentant quelques éditeurs utilisés. Puis dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés à la conception des réseaux locaux filaires par OPNET pour faciliter la compréhension de la méthodologie utilisée avant de pouvoir simuler n'importe quel réseau local filaire ou sans fil par ce dernier.

III.2. Etude du logiciel OPNET Modeler

Le logiciel présente une Interface Utilisateur Graphique (GUI) conviviale. La page d'accueil est la suivante.

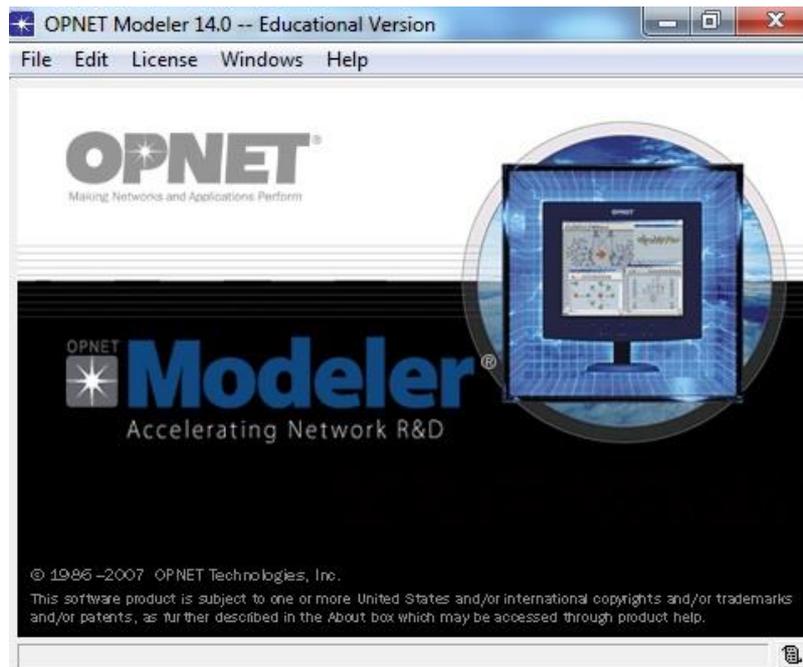


Figure III.1 : Page d'accueil OPNET.

III.2.1. Notions de base à assimiler

Pour s'initier progressivement au logiciel OPNET Modeler, il existe un tutorial en anglais qui est très directif et très détaillé et qui doit permettre l'assimilation des notions telles que:

- L'espace de travail (Workspace) : c'est ce qui définit l'environnement de travail au sein du logiciel, il se personnalise en fonction du type de scénario choisi.
- Les éditeurs (Editors) : c'est le point de passage obligé pour réaliser une quelconque des actions au niveau de votre projet.
- La dynamique des flux de trames (Modeler Workflow) : les flux de trames sont les unités animés de la vie d'une simulation. Cette troisième notion est abordée aux travers des éditeurs.

III.2.2. Séquencement des actions dans l'espace de travail

Voici la séquence des fonctions couvertes par le logiciel dans l'espace de travail. L'espace de travail est concrétisé dans l'éditeur de projet.

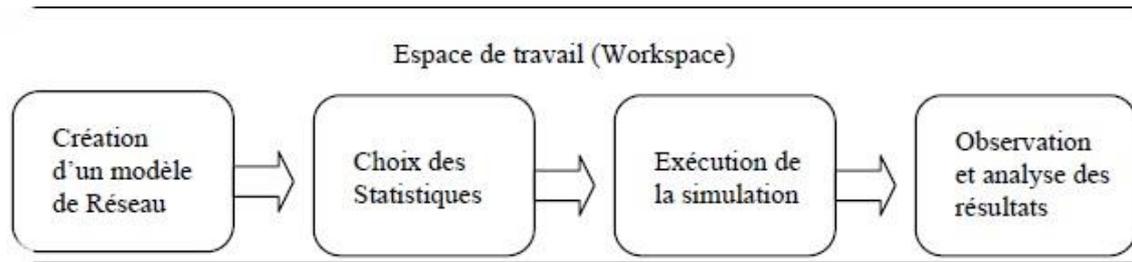


Figure III.2 : Séquencement des fonctions dans l'espace de travail.

III.2.3. Accès aux éditeurs

L'accès aux éditeurs se fait par la commande *New* ou *Open* du menu File de la page d'accueil d'OPNET Modeler.

III.2.3.1. Editeur de projet

L'éditeur de projet ou *Project Editor* est la principale scène pour la création d'une simulation de réseau. Il présente une fenêtre composée d'une barre de menu et d'une aire qui est le *Workspace*. De cet éditeur, il est possible de créer des modèles de réseau utilisant des modèles de la librairie, de collecter des statistiques, de lancer une simulation et de consulter les résultats.

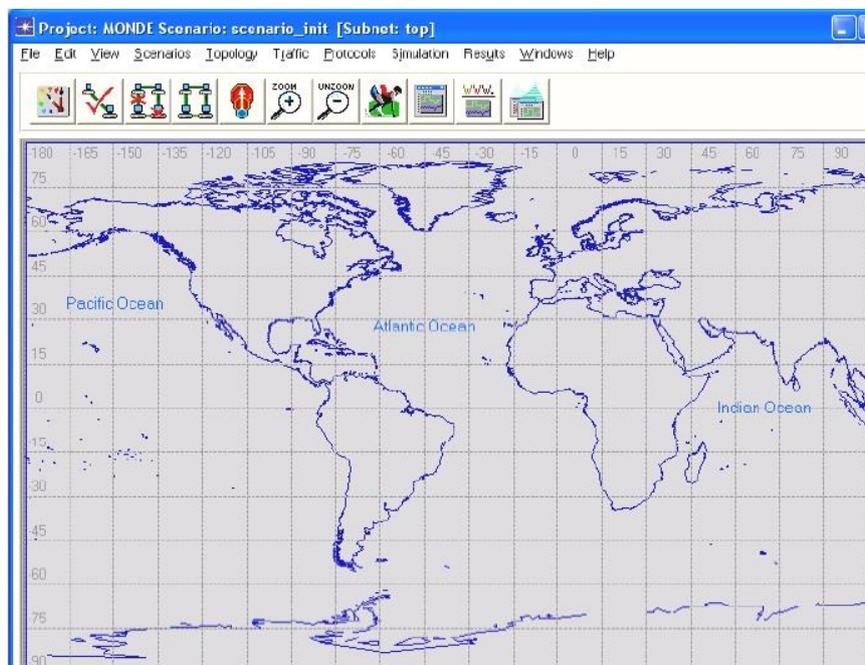


Figure III.3 : Editeur de projet.

La fourniture des modèles de la librairie standard se fait par prélèvement dans la palette d'objet :

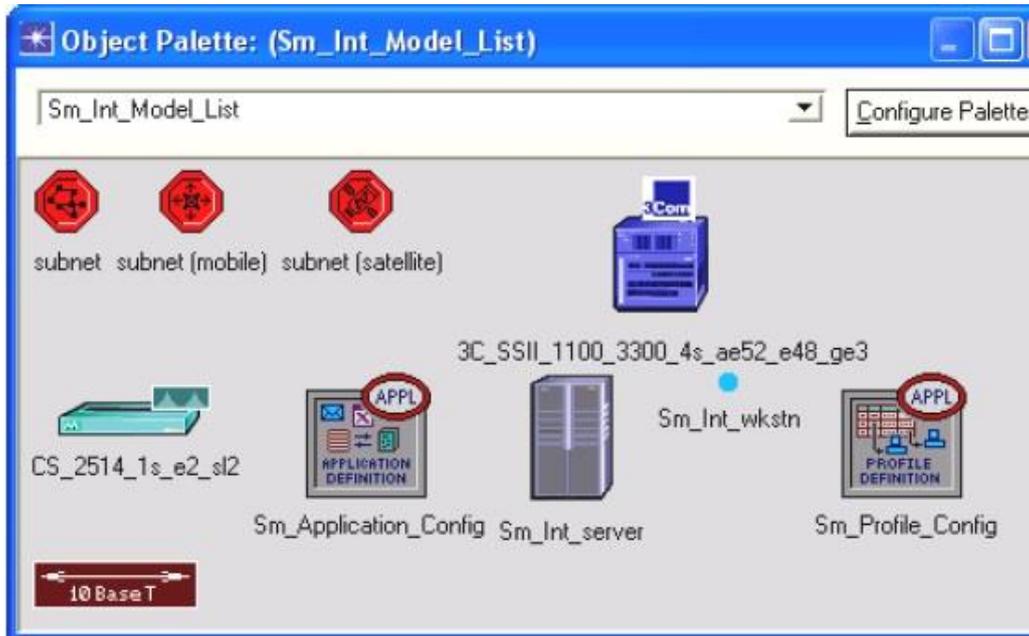


Figure III.4 : Palette d'objet.

Il est possible d'accéder à d'autres éditeurs.

III.2.3.2. Editeur de nœuds

Un nœud est formé d'un ensemble de blocs fonctionnels appelés modules de processus qui peuvent être des processeurs, des files d'attente, des générateurs, des émetteurs, des récepteurs ou bien des antennes. Ils sont liés entre eux par des connexions de type flux de paquets (pour le transport des données) ou de type fil statistique (pour la transmission de valeurs). Les éléments précédents sont assemblés grâce à l'éditeur de nœuds (figure III.5) appelé « Node Editor » afin de créer des éléments de réseau comme un routeur, un ordinateur, etc.

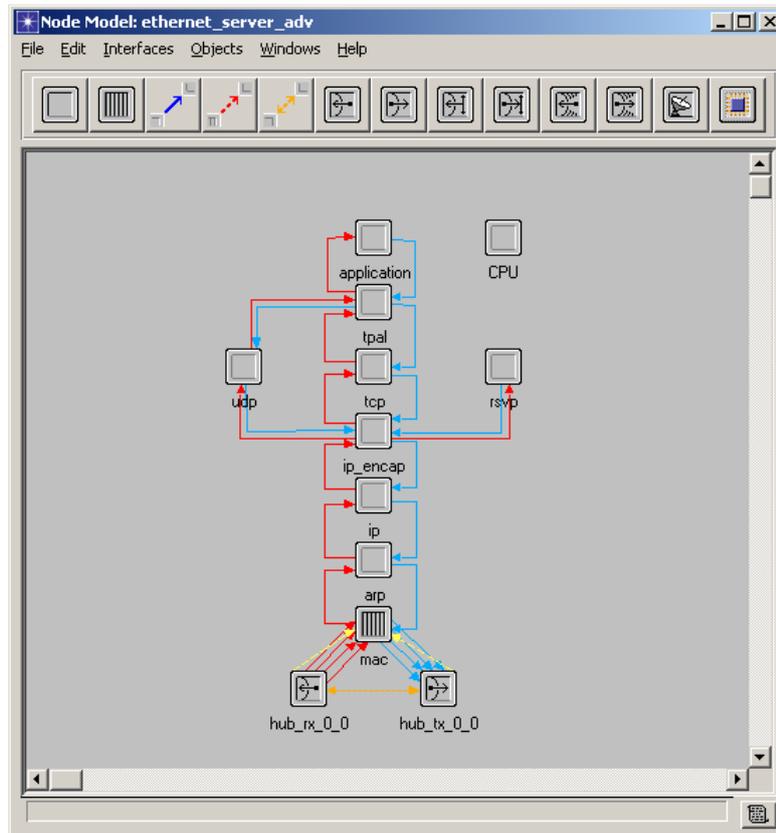


Figure III.5 : Exemple de nœud construit avec l'éditeur denœuds.

La figure III.5 montre un exemple de nœud à savoir un serveur Ethernet avec toutes les couches du modèle OSI utilisées par celui-ci (Application, TCP, IP, etc...).

III.2.3.3. Editeur de processus

Un processus définit le comportement d'un module appartenant à un nœud. Construit à partir de l'éditeur de processus (Process Editor), il est décrit par un diagramme de transitions et d'états. Chacun de ces états est programmé en langage C ou C++.

La figure III.6 illustre un diagramme d'état à l'intérieur d'un processus.

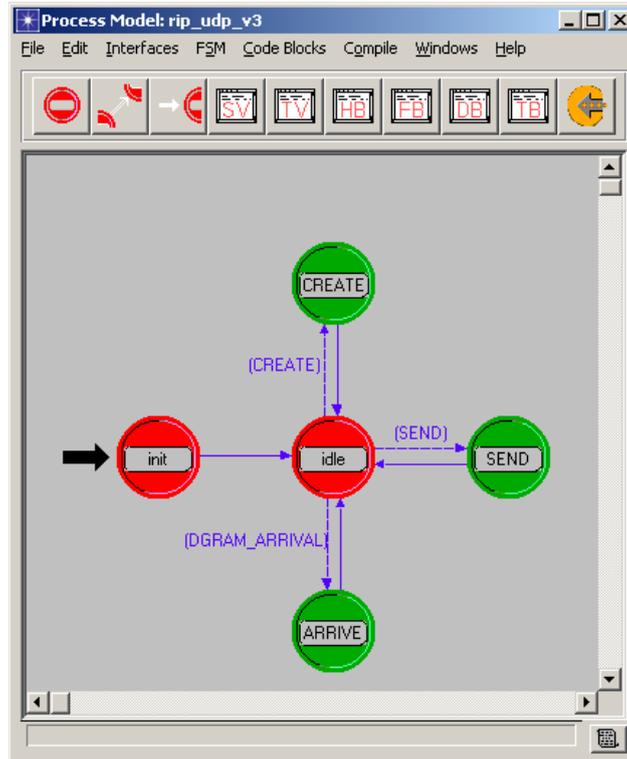


Figure III.6 : Editeur de processus avec le diagramme d'état.

Les états d'un modèle de processus sont de l'un des trois types suivants :

- État initial : état dans lequel se trouve un processus en début de simulation,
- État forcé (vert) : état dans lequel un processus ne peut pas interrompre son activité durant la simulation c'est-à-dire qu'il exécute en une seule fois toutes ses lignes de code,
- État non forcé (rouge) : état dans lequel un processus exécute une première partie de son code C, s'interrompt pour passer le relais au noyau de simulation ou à un autre module puis redevient actif lorsqu'il reprend la main.

Chaque état comporte deux blocs d'exécution : celui d'entrée (Enter Execs) qui s'exécute lorsque le processus entre dans cet état et celui de sortie qui se déroule avant que le processus ne le quitte. Les différents états sont reliés entre eux par des transitions qui décrivent la possibilité pour un processus de passer d'un état à un autre. Elles sont évaluées après l'exécution du code de sortie d'un état, en vue de ne sélectionner que celle dont la condition est vraie.

Une fois le processus construit, il est alors nécessaire de le compiler afin de le rendre exécutable et utilisable dans un modèle de nœud. La simulation de ce dernier est ensuite gérée par un outil appelé noyau de simulation (Simulation Kernel) qui coordonne les différents processus mis en jeu. A chaque exécution du code d'un état, il y a programmation dans une liste, connue sous le nom d'échéancier, d'un ou de plusieurs événements appelés interruptions.

Le noyau de simulation, qui gère cet échéancier, passe donc le contrôle de la simulation à un module donné, en lui envoyant l'interruption qui arrive à la tête de cette liste. L'événement suivant prend alors la place de l'interruption précédente.

b- Résumé et principe de développement d'un projet

Lorsque l'on crée un nouveau projet [19], il faut dans un premier temps définir les nœuds qui vont intervenir dans le réseau (ordinateurs, routeur, etc...). Chacun de ces nœuds, comme vu précédemment, va être composé de différents modules (files d'attente, générateur de paquets, etc...) qui eux même sont composés d'un processus réalisé avec un diagramme d'état. Ce diagramme d'état doit définir quel état prend le processus (donc le module) en fonction de l'évènement (arrivée d'un paquet par exemple) généré par le noyau de simulation.

Afin de clarifier ce principe, nous allons examiner en détail une simple communication entre deux machines à savoir la création et la transmission d'un seul paquet entre la machine numéro 0 et le numéro 1.

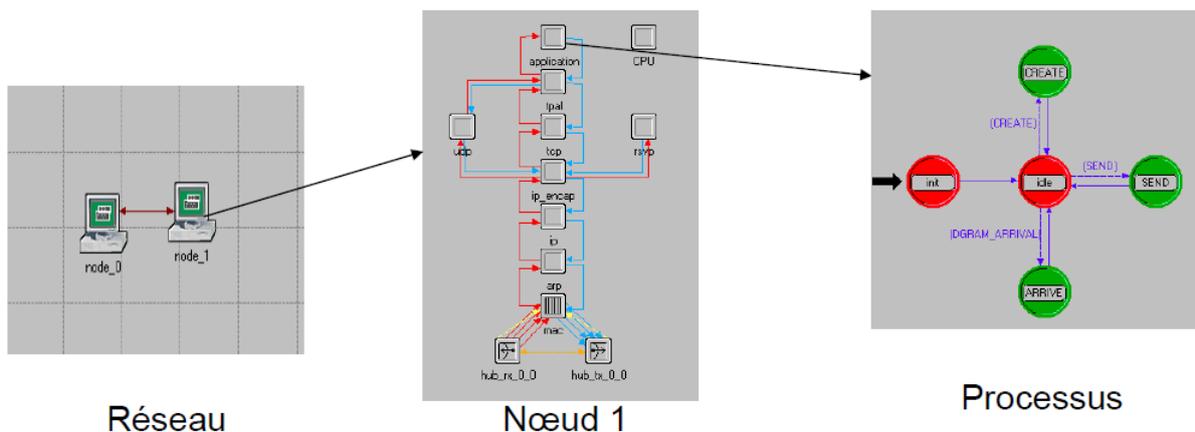
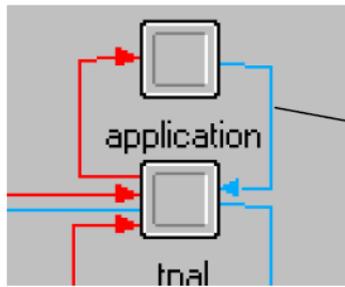


Figure III.7 : *Analyse d'une simulation simple.*

Tout d'abord, il faut créer le paquet dans la machine numéro 0 à savoir le nœud 0 au début de la simulation. Le paquet est donc créé dans le processus nommé ici application appartenant au nœud 0 au début de la simulation (figure III.7).

Ce paquet est ensuite transmis au module suivant par l'intermédiaire d'une connexion de type flux de paquets afin de subir certains traitements que nous ne détaillerons pas ici (figure III.8).



Flux de paquet permettant la transmission de paquets entre les modules d'un même nœud.

Figure III.8 : Transmission du paquet entre les modules.

Il finira par arriver aux modules de transmission qui le feront parvenir au nœud numéro 1 (machine 1).

A ce moment-là, le noyau de simulation va créer un évènement dans les processus de réception du nœud numéro 1. Ces processus vont ensuite se placer dans l'état prévu lorsque ils reçoivent un paquet et le traiter comme le développeur l'a programmé (le détruire, le transmettre à un autre nœud, etc....).

On a montré ici que le logiciel permet une modélisation très fine des différents éléments d'un réseau. Le développeur peut donc modéliser le comportement de différentes machines d'un réseau quelconque et analyser le fonctionnement de ce dernier[20].

III.2.3.4. Editeur de liens

L'éditeur de liens ou *Link Model Editor* est utilisé pour créer des nouveaux types de liens en vue d'être exploités dans le *Workspace* de l'éditeur de projet pour constituer un médium entre les appareils.

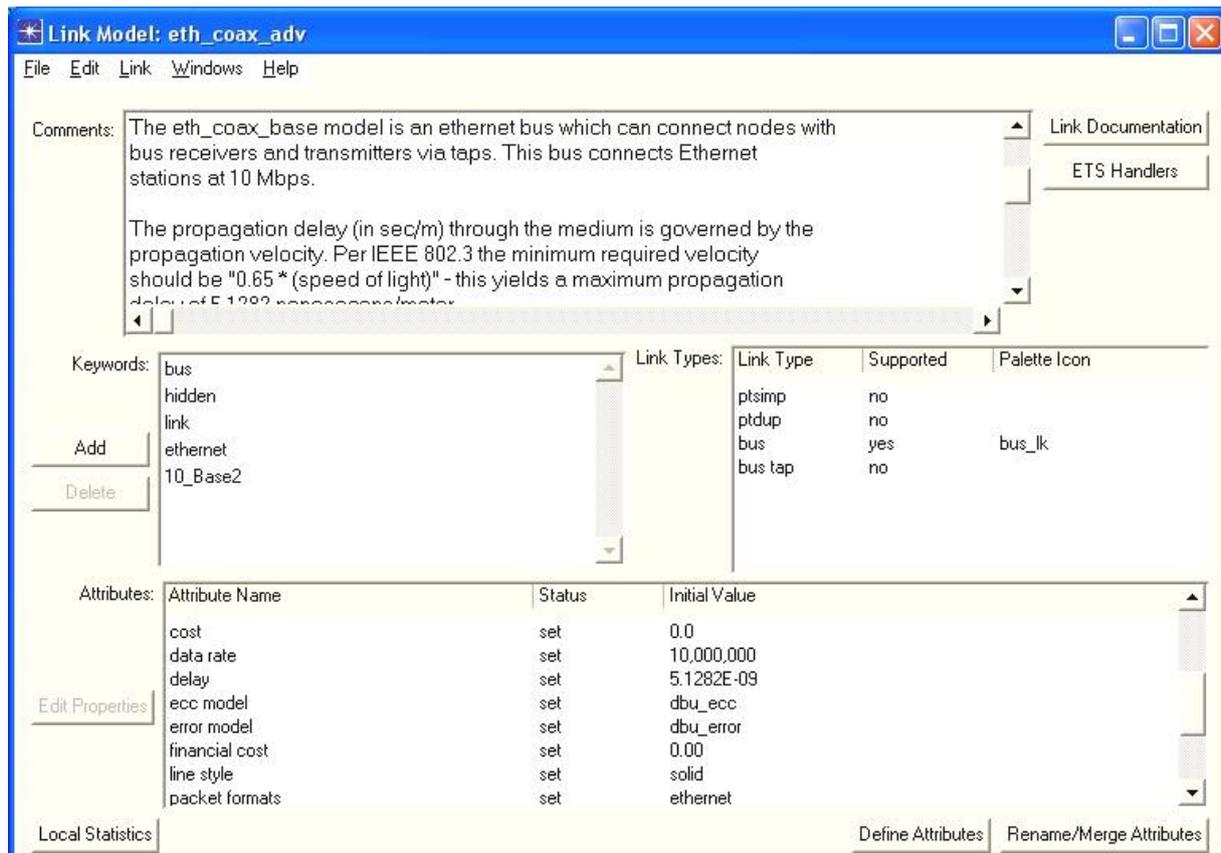


Figure III.9 : Editeur de liens.

Quatre types de liens sont proposés :

- Le point à point simplex (ptsimp),
- Le point à point duplex (ptdup),
- Le bus (bus),
- Le cordon de raccordement à un bus (bus tap).

Vingt attributs caractérisent un lien ou *Link Editor* permet d'en éditer les propriétés (débit des données, format des trames...).

III.2.3.5. Editeur de paquets

L'éditeur de paquets ou *Packet Format Editor* est utilisé pour définir la structure interne des paquets. Le format des paquets contient un ou plusieurs champs, chaque champ est représenté par un rectangle avec un nom et une taille en bits.

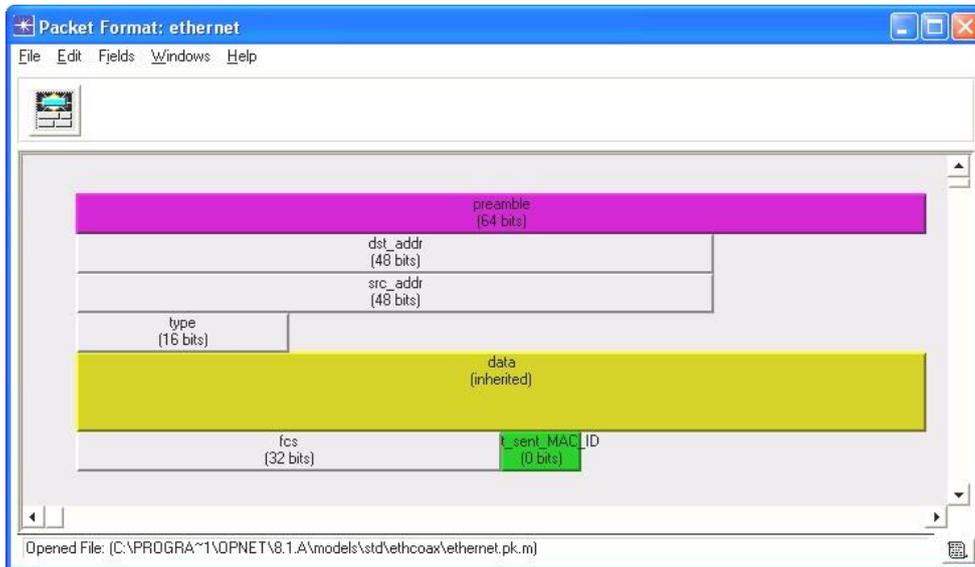


Figure III.10 : Editeur de paquets.

III.2.3.6. Editeurs OPNET supplémentaires

c- Editeur de diagramme de rayonnement

L'éditeur de diagramme de rayonnement de l'antenne ou *Antenna Pattern Editor* (valide si le logiciel a une licence optionnelle : Radio) permet de modéliser la propriété de gain d'antenne en fonction de la direction dans les 3 dimensions de l'espace.

Dans les projets des antennes, les positions relatives des appareils (ou *Nodes*) les uns par rapport aux autres sont prises en compte dans les simulations.

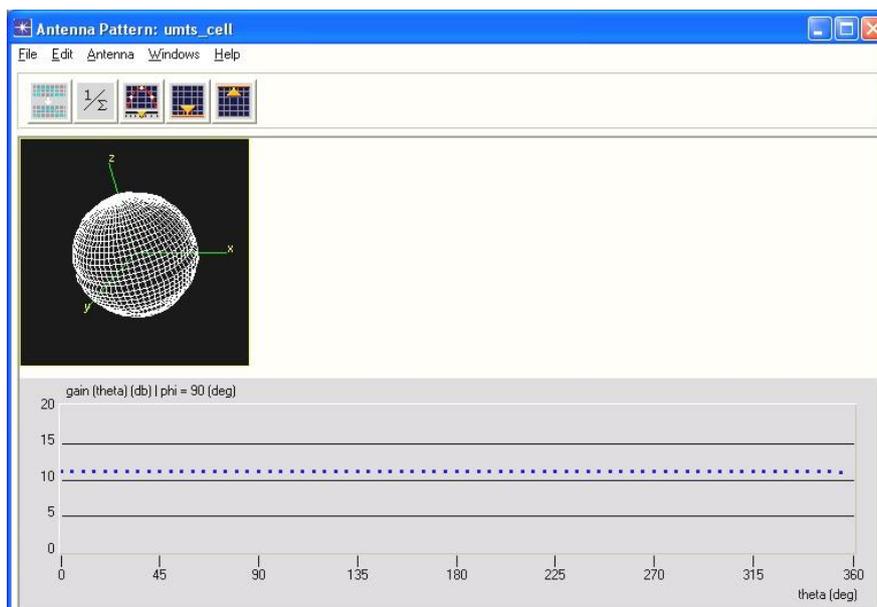


Figure III.11 : Editeur d'antenne.

d- Editeur de sondes (Probe editor)

Cet éditeur (figure III.12) permet de choisir les statistiques qui seront seules collectées lors de la simulation. Il existe différentes sortes de statistiques mais les deux plus utilisées sont :

- Les statistiques globales qui concernent le réseau dans son ensemble,
- Les statistiques locales qui sont spécifiques à un objet (lien ou nœud) particulier du réseau.

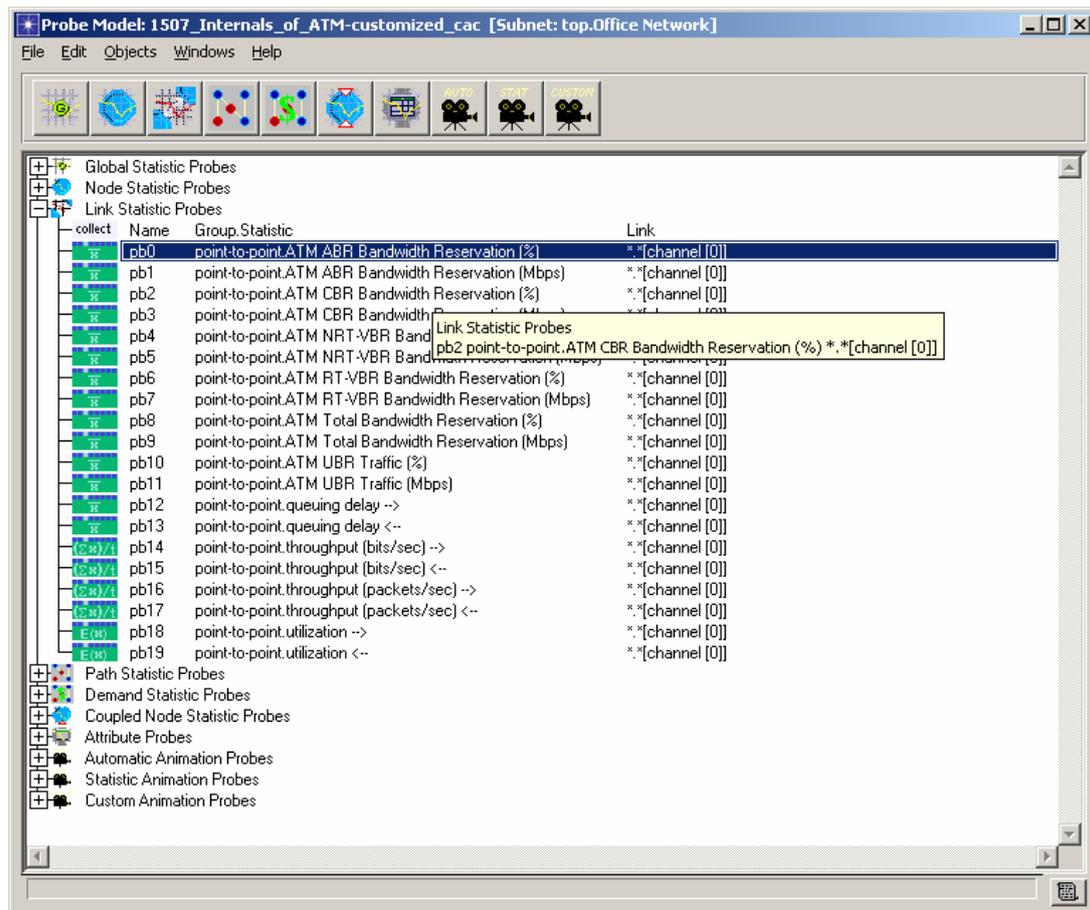


Figure III.12 : Editeur de sonde.

La figure III.11 montre un exemple de configuration des sondes avec l'éditeur. On peut y voir que la sonde pb0 mesure la bande passante d'une liaison point à point particulière.

III.2.4. Prise de statistiques

Le réseau étant établi, il est nécessaire de choisir les différentes statistiques qui devront être récoltées au cours de la simulation.

Certaines statistiques, telles que le temps de réponse ou le taux d'utilisation d'un serveur sont prédéfinies. Cependant, l'utilisateur peut en créer d'autres afin de caractériser au mieux son réseau.

Ces nouvelles statistiques sont alors déclarées dans les différents modèles de processus de manière à pouvoir être sondées.

III.2.5. Modélisation Radio

La présentation qui va suivre concerne l'aspect radio qui traite plus particulièrement la procédure d'établissement d'un lien radio entre deux nœuds. Chaque procédure sera décrite par un nœud radio, un lien radio, et une antenne. Le rôle de ces procédures va maintenant être détaillé.

III.2.5. 1. Nœud radio

OPNET Modeler/Radio permet de modéliser plusieurs types de réseaux de communications sans fil, que ce soit un réseau d'antennes fixes comme le réseau TV, un réseau mobile comme celui des téléphones portables ou bien un réseau satellitaire.

En effet, il permet d'utiliser trois catégories de nœuds adaptés à chacun de ces réseaux : des nœuds fixes, mobiles et satellites. Les premiers sont repérés dans l'espace par trois coordonnées (x, y, altitude) constantes au cours du temps. Les seconds, modélisant des composants de réseau terrestre comme des automobiles, des avions ou des bateaux, ont par définition une position variant au cours de la simulation. Ils sont caractérisés par (x, y, altitude) mais aussi par une trajectoire définie par l'utilisateur. Les nœuds satellites, quant à eux, modélisent des éléments de réseau en orbite autour de la Terre, comme des satellites ou des vaisseaux spatiaux.

III.2.5. 2.Liens radio

Lors d'une liaison radio, il y a propagation des ondes émises dans l'air. Cette diffusion à l'ensemble du réseau fait qu'un lien radio est susceptible d'exister entre toute paire émetteur/récepteur. Chaque lien, n'existant pas en tant qu'objet physique, est établi dynamiquement au cours de la simulation entre chaque paire potentielle, mais n'est effectif que si certains paramètres tels que les bandes de fréquence, le type de modulation, la puissance émise, la distance et la direction des antennes le permettent.

Pour caractériser une liaison radio, il est nécessaire d'associer aux antennes d'émission et de réception respectivement un émetteur et un récepteur radio. Ils sont représentés par la figure III.13 :

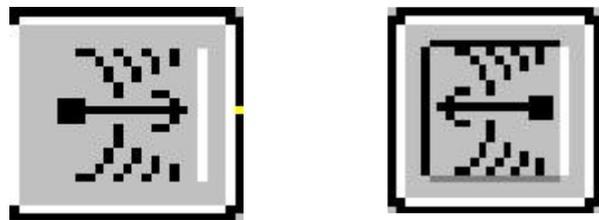


Figure III.13 : Icône de réception et émission radio.

Ceux-ci regroupent différents paramètres déterminants pour l'existence ou non du lien à un moment donné. Ces paramètres sont :

- *Channel* : caractérise les attributs du ou des canaux radio par les paramètres suivants:
 - *data rate* (bps) : débit d'émission ou de réception des données,
 - *packet format* : type de paquet qu'un canal peut émettre ou recevoir,
 - *bandwidth*(kHz) : largeur de bande du canal,
 - *Min frequency*(MHz) : fréquence basse du canal,
 - *spreading code* : utilisé pour spécifier du code utilisateur,
 - *power* (W) : puissance d'émission des paquets émis sur le canal (d'émission seulement),
 - *processing gain* : gain du canal de réception spécifié par l'utilisateur (donc seulement en réception).
- *Modulation* : nom de la table de modulation utilisée, calculant le taux d'erreur (BER) en fonction du rapport signal à bruit (SNR).
- *Noise figure* : représentation de l'effet du bruit thermique sur la transmission radio (réception seulement).

- *Ecc_threshold*(en bits) : proportion maximale de bits en erreur pour laquelle un paquet peut être accepté par un récepteur (réception seulement).
- *Model* : attributs du modèle de communication, c'est à dire étapes du *TransceiverPipeline*.

III.2.5. 3. Antennes

Elles permettent soit de rayonner, soit de capter des informations transmises dans l'espace. Chaque antenne modélisée sous OPNET possède divers attributs :

- *Pattern* : nom du diagramme de rayonnement défini au moyen de l'éditeur *AntennaPattern*,
- *Pointingref. phi* et *pointingref. theta*: angles définissant le point du diagramme de rayonnement à pointer vers un récepteur donné appelé cible (ils sont pris dans le repère de l'éditeur précité donc : $0^\circ < \phi < 180^\circ$ et $0^\circ < \theta < 360^\circ$),
- *Target latitude*, *target longitude* et *target altitude* : paramètres définissant la position de la cible dans l'espace et servant à orienter l'antenne vers celle-ci.

La procédure appelée *Transceiver Pipeline* modélise l'émission de paquets à travers le canal de communication en implémentant les caractéristiques de la couche physique. Elle est divisée en 14 étapes, chacune modélisant un aspect particulier du canal, six d'entre elles sont associées à l'émetteur, les huit autres au récepteur.

III.2.6. Fenêtre de définition d'une simulation

Juste avant d'exécuter une simulation, on ouvre une fenêtre « Simulation Set » semblable à :

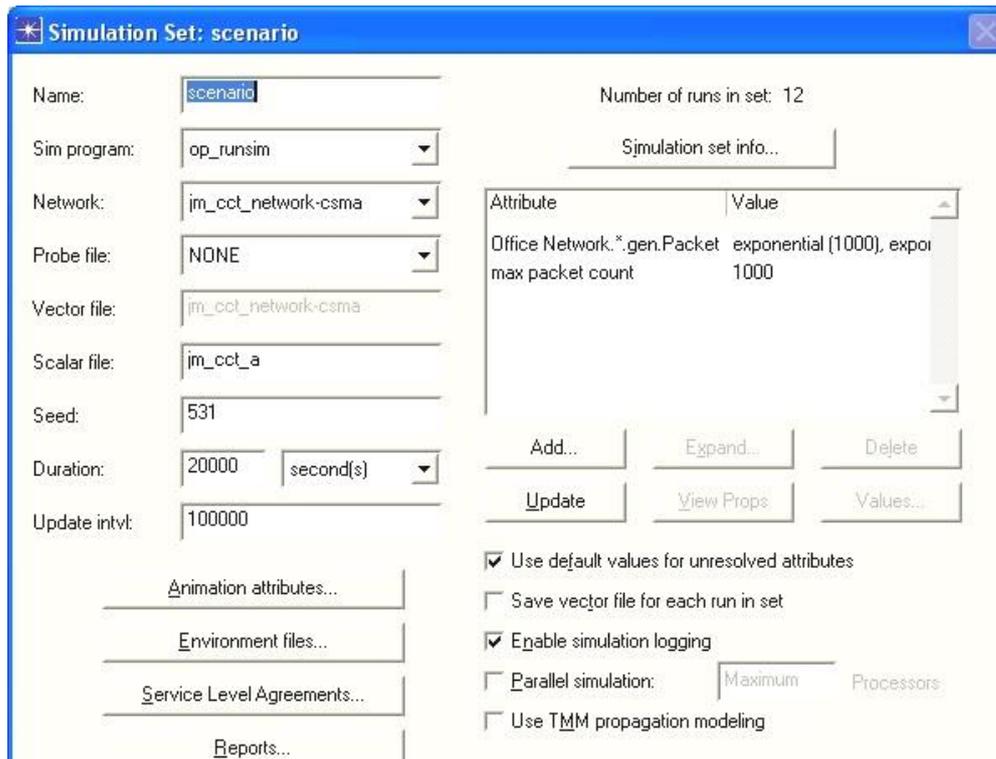


Figure III.14 : Fenêtre de définition d'une simulation.

Son accès se fait en partant du projet par la rubrique 'Configure Simulation (Advanced)' du menu Simulation, puis en éditant les attributs du scénario. [21]

On y trouve des informations comme le nom du réseau à soumettre à la simulation, le nom du fichier de stockage des résultats, la durée de la simulation (selon la puissance de l'ordinateur, une simulation programmée pour une durée de quelques heures peut s'exécuter en quelques secondes).

Dans certains projets, des paramètres ne sont pas définis car on leur prévoit plusieurs valeurs possibles, ce paramètre est déclaré « promoted » à la construction du modèle du réseau. C'est dans la fenêtre de simulation que l'on affectera les valeurs à utiliser séquentiellement pour les paramètres « promoted » : pour N valeurs différentes du paramètre, il y aura N simulations de durée t. Cette façon de simuler est intéressante lorsque l'on souhaite un résultat graphique en fonction d'un paramètre qui n'est pas le temps.

III.2.7. Fenêtre de présentation des résultats de simulation

Une fenêtre très utilisée est celle des présentations graphiques des résultats. Son accès se fait en choisissant «Analysis Configuration» à la place de «Project» dans le champ ouvert par le menu File...new.

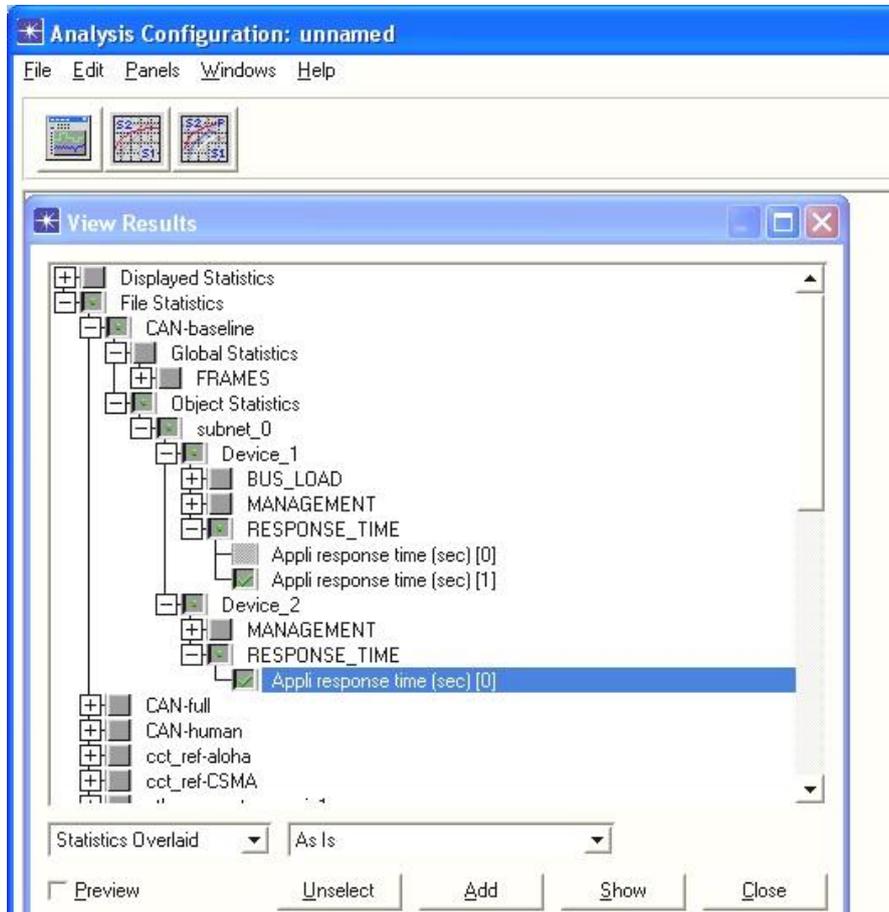


Figure III.15 : Fenêtre de présentation des résultats de simulation.

La diversité des statistiques collectées lors de la simulation ainsi que la façon de les présenter nécessitent des choix sur ce que l'on veut voir afficher.

Après l'affichage des résultats, l'utilisateur d'OPNET Modeler aura à :

- Faire des interprétations
- Exercer un esprit critique
- Tirer une conclusion.

III.3. Réseaux locaux filaires :Petits Internetworks

Une entreprise a un réseau de topologie d'étoile sur le premier étage de son bureau de bâtiment et des plans pour ajouter un réseau additionnel de topologie d'étoile sur un autre bureau. Nous allons construire un scénario pour assurer que la charge supplémentaire par le deuxième réseau ne fera pas échouer le réseau.

III.3.1. Premier réseau proposé

On créé un modèle de réseau initial composé de 30 stations, d'un commutateur et d'un serveur, ceci constitue une situation initiale qui sera le premier scénario (nommé : first-floor)[22].

Le tableau suivant montre les valeurs essentielles qu'on doit les écrire dans les zones de dialogue de *Startup Wizard*.

| Dialog Box Name | Value |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1. Initial Topology | Select the default value: Create empty scenario . |
| 2. Choose Network Scale | Select Office . Select the Use metric units checkbox. |
| 3. Specify Size | Select the default size: 100 m x 100 m |
| 4. Select Technologies | Include the Sm_Int_Model_List model family. |
| 5. Review | Check values, then click Finish . |

Tableau III.1 : Valeurs indiquées dans le Startup Wizard.

III.3.1.1.Éléments de réseau

Pour créer le premier réseau en utilisant *Rapid Configuration*



Figure III.16 :Le choix de la topologie étoile à partir du menu déroulant.

Les nœuds et les liens employés pour établir le premier réseau sont résumés dans la figure III.17.

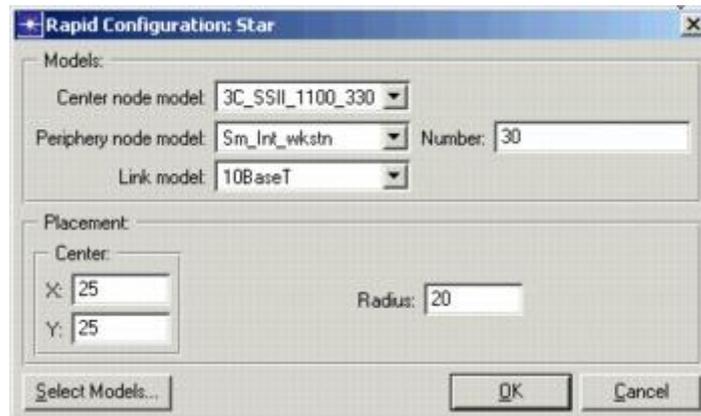


Figure III.17 : Zone de dialogue *Rapid Configuration*.

On ajoute maintenant à partir de la palette d'objet le serveur de type «**Sm_Int_server**» et les deux objets «**Sm_Application_Config,Sm_Profile_Config**» qui sont utilisés pour indiquer le trafic d'application. Le réseau est maintenant établi comme représente la figure suivante.

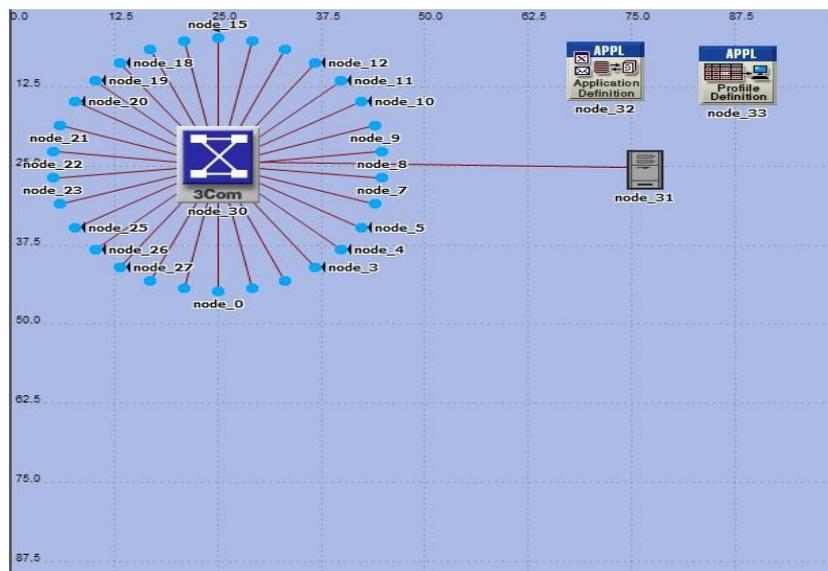


Figure III.18 :Premier scénario.

III.3.1.2.Extension du réseau

On duplique ce scénario (la copie est nommée : expansion) et on y ajoute un second commutateur 3Com entouré de 15 stations et un routeur Cisco pour relier les deux commutateurs. Pour reproduire un scénario :

1. Choisir **Scenarios > Duplicate Scenario...**
2. Écrire **expansion** comme un nom pour le nouveau scénario.
3. Cliquez **OK**.

Le segment de deuxième-étage ressemblera au segment de premier-étage selon la zone de dialogue *Rapid Configuration* donnée par la figure III.19.

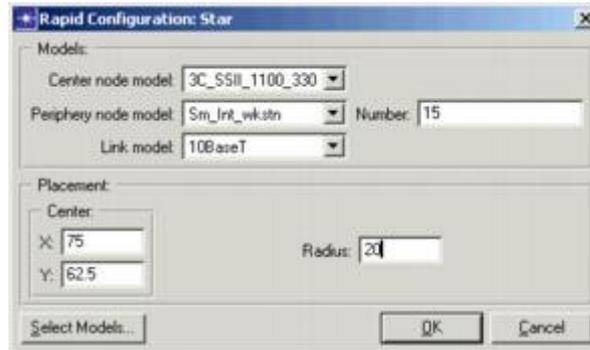


Figure III.19 : Zone de dialogue *Rapid Configuration* pour le deuxième scénario.

Ajouter l'icône de routeur **Cisco 2514** dans la zone de travail pour joindre les deux réseaux.



Figure III.20 : Chemise de Cisco 2514.

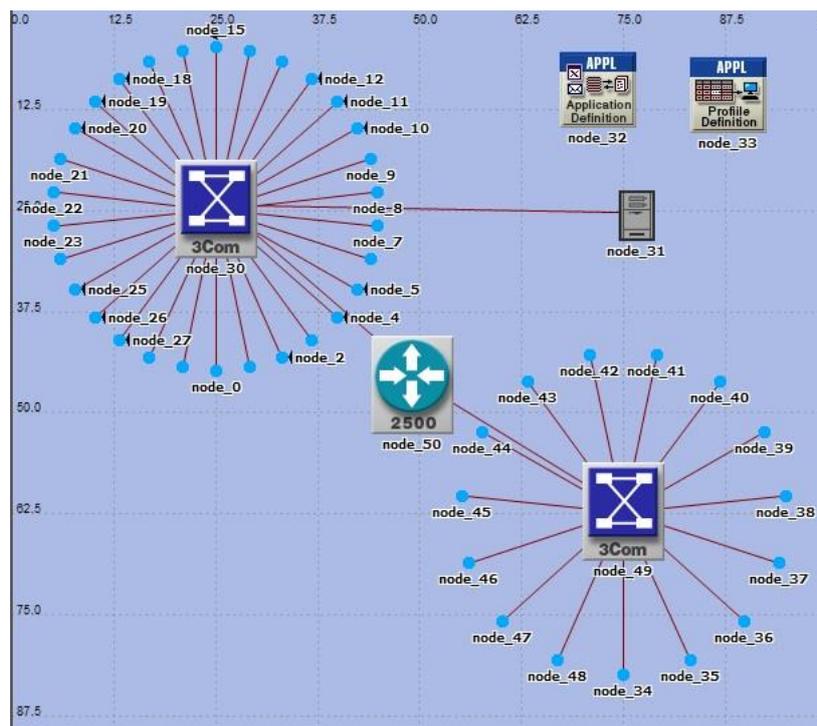


Figure III.21 : Scénario expansion.

Pour chaque scénario, la durée de simulation entrée est 0.5 h (30 minutes) et l'on prend 100 échantillons par statistique(Choisir **DES > Configure/RunDiscrete Event Simulation...**).

Les deux statistiques extraites seront : la charge sur le serveur (load) en bit/sec, et le délai maximum à travers le réseau (delay) en secondes.

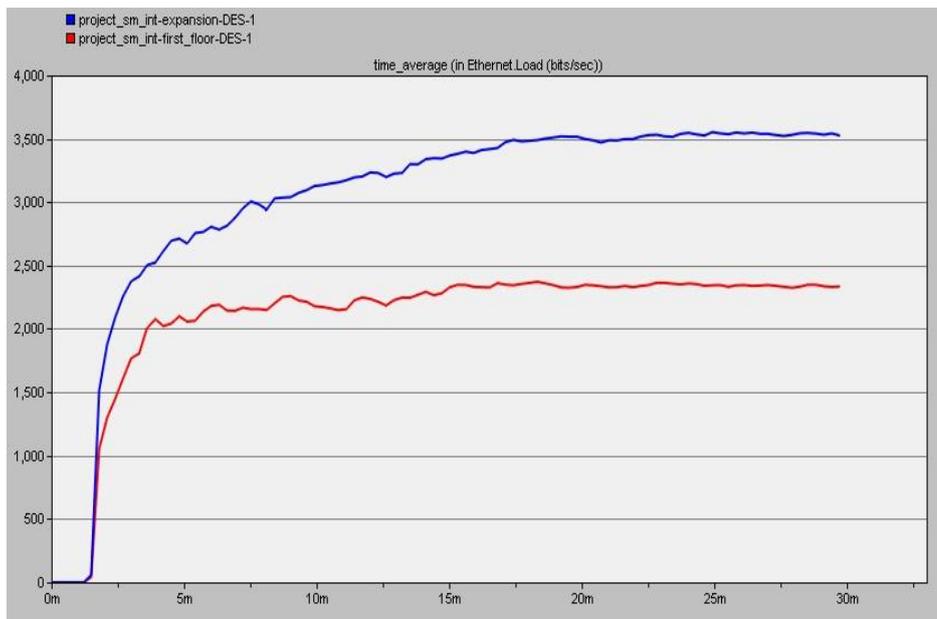


Figure III.22 : Charge sur le serveur (load) en bit/sec.

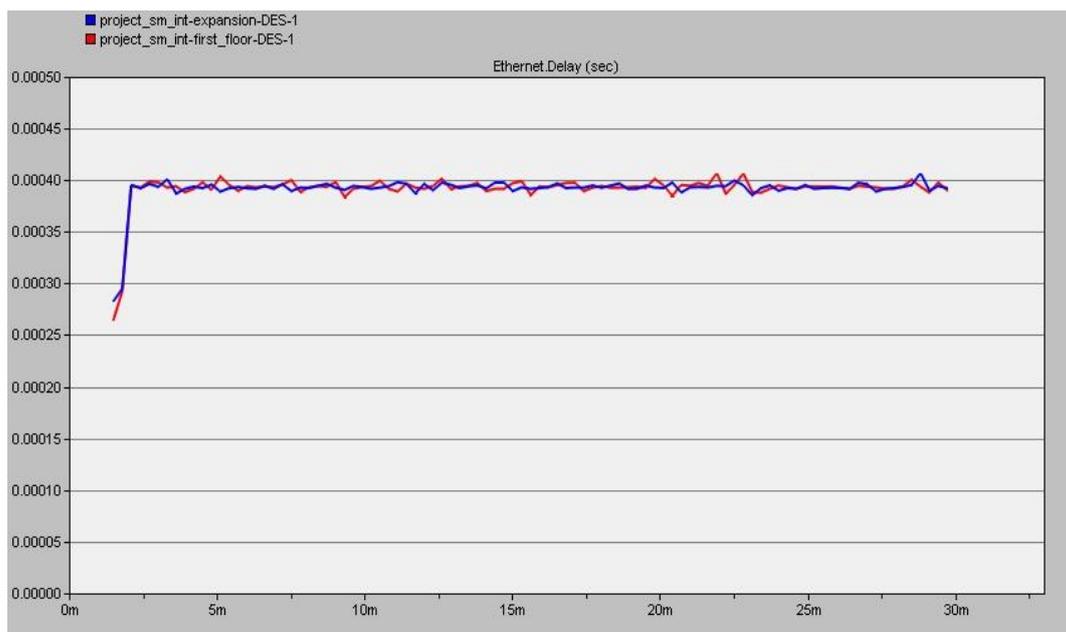


Figure III.23 : Délai maximum à travers le réseau (delay) en sec.

Les courbes qui représentent la charge du serveur dans les deux scénarios résultent d'un lissage moyenné, on constate une augmentation de la charge avec une augmentation du nombre de postes mais la charge reste inférieure à 4 kbps (kilobits par seconde).

Remarque : le réseau modélise de l'Ethernet 10BaseT soit un débit de 10Mbps.

Le délai semble stable aux environs de 0,4 ms malgré l'augmentation de la charge.

III.3.2. Deuxième réseau proposé

Dans ce réseau, on va modéliser un réseautilaire WMAN sur les côtes de l'Etats-Unis. Le réseau a des bureaux à Atlanta, à Philadelphie, à New York, et à Boston, qui sont reliés à un réseau central à Washington, D.C. Les bureaux emploient les lignes téléphoniques pour se relier entre eux, ils sont donc susceptibles à des retardes causés par l'addition, le trafic est indépendant sur les lignes téléphoniques[22].

On veut déterminer comment la charge de fond affecte le trafic de FTP dansce réseau. Pour faire ceci, onva modéliser l'application FTP sur le réseau, d'abord sans la charge de fondet puis avec la charge de fond.

Nous commençons lacréation des sous réseauxpour chaque ville et le réseau central comme ils sont indiqués dans les figures III.24/25.

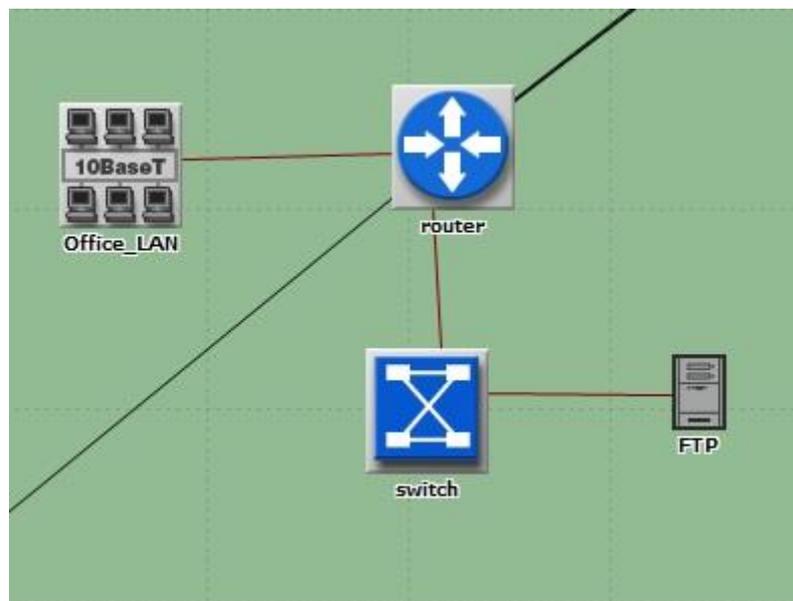


Figure III.24 : Réseau central àWashington.

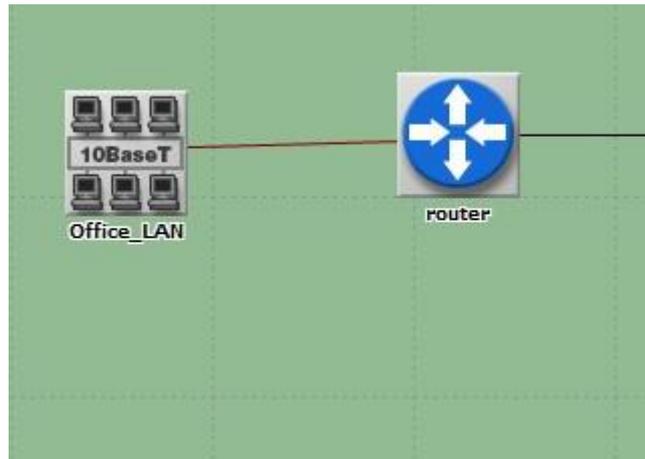


Figure III.25 : Structure de différents sous réseaux

Un objet simple de LAN (*10Base T LAN*) est composé de plusieurs éléments selon la figure III.26.

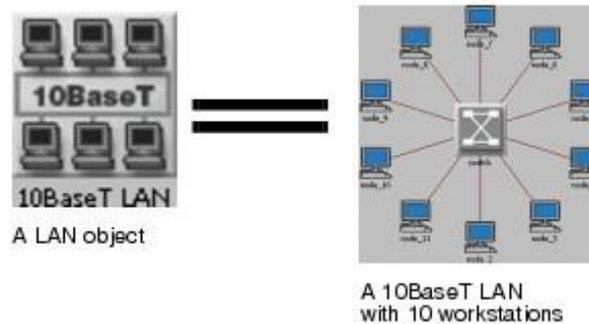


Figure III.26 : 10BaseT LAN.

Puis pour relier les différents sous réseaux et le réseau central de Washington on a utilisé ce type de lien de la figure III.27 :

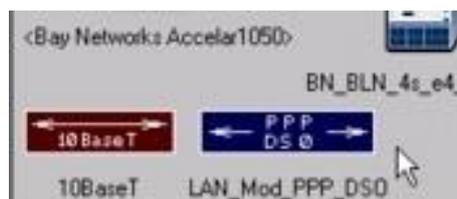


Figure III.27 : Lien pour relier les sous réseaux.

La topologie initiale de notre exemple est présentée par la figure III.28

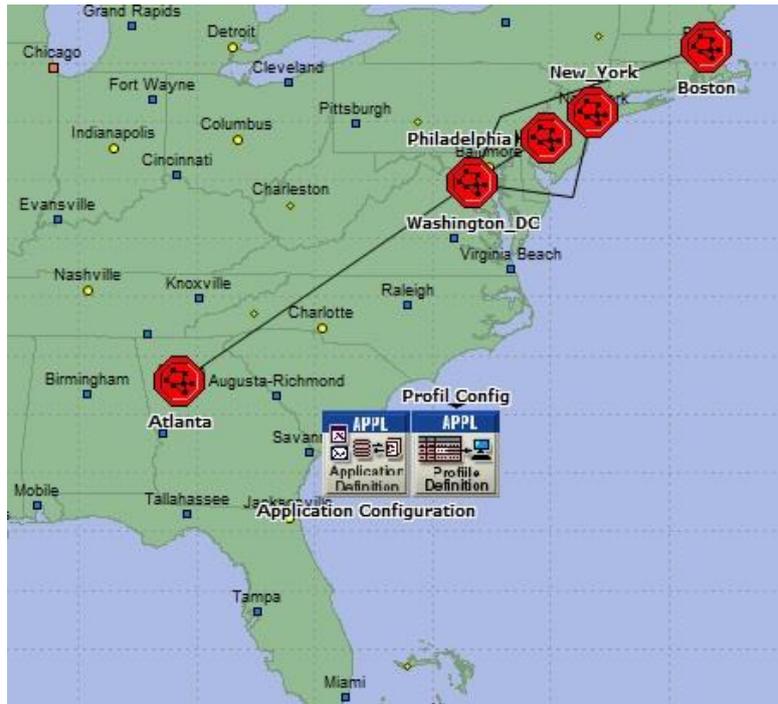


Figure III.28 :Topologie initiale.

Dans la deuxième étape, en reproduire le scénario existant, puis en ajoute la charge de fondau réseau proposé :

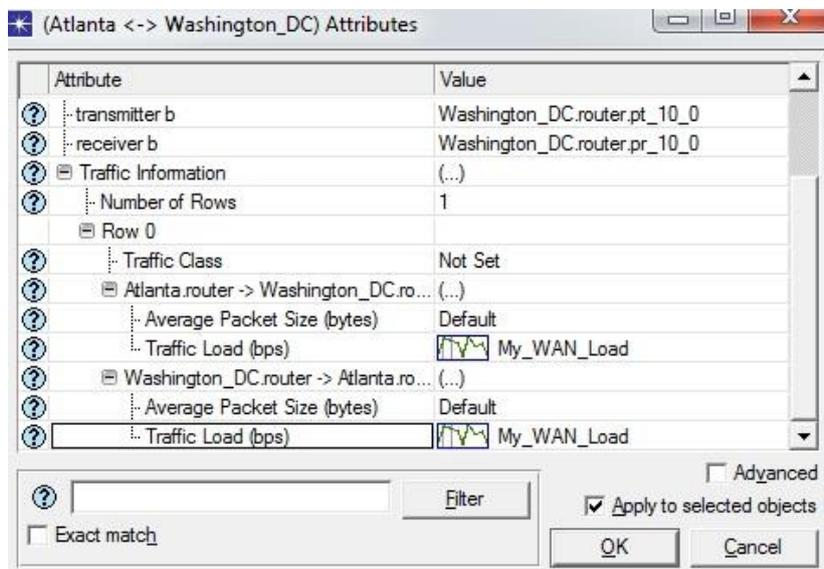


Figure III.29 :Ajout la charge de fond.

Et comme résultat de simulation nous avons :

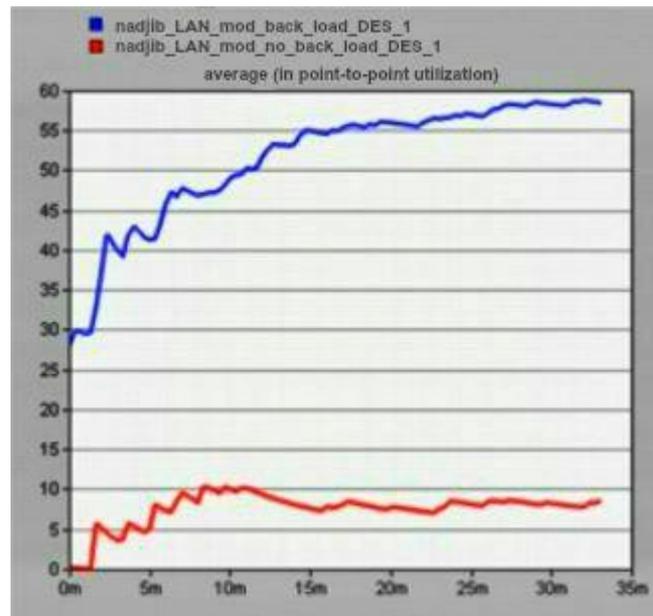


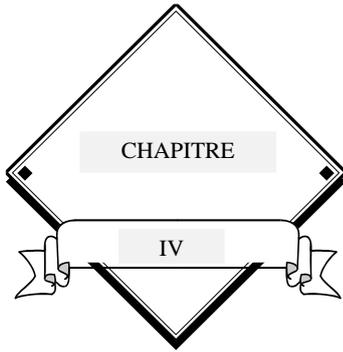
Figure III.30 :Moyenne d'utilisation point à pointAtlanta et Washington.

Selon la figure III.30, nous remarquons que l'ajout de la charge de fond à la topologie initiale engendre une augmentation importante de la charge de trafic du deuxième scénario.

III.4. Conclusion

Ce chapitre explique le fonctionnement général du logiciel OPNET en présentant chaque éditeur utilisé. OPNET a une puissance de calcul très grande et permet, de par son mode de calcul, une grande flexibilité. La complexité de ce logiciel peut paraître rebutante au premier abord mais permet le traitement des cas les plus divers comme des liaisons radio hautes fréquences. C'est cette complexité qui permet sa flexibilité.

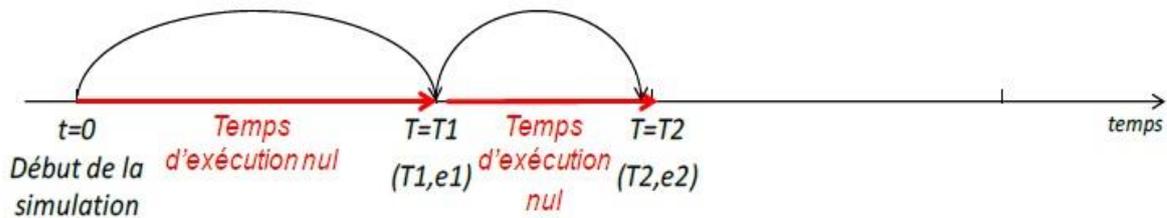
Rappelons tout d'abord qu'un réseau est un ensemble complexe constitué de matériels, logiciels et supports de transmissions, c'est à dire un ensemble de nœuds et de liens, interconnectés entre eux pour communiquer. A travers d'un exemple de système de communication nous avons montré que OPNET est très utile et très efficace pour simuler des réseaux de communications numériques. Nous sommes maintenant prêts à utiliser OPNET pour simuler des réseaux locaux sans fil.



SIMULATION ET RESULTATS

IV.1. Introduction

OPNET est un simulateur à événement discret. A une date précise, un événement provoque une action dans le modèle dont le résultat est immédiatement disponible. En d'autre terme, le temps, durant les simulations, n'avance que lors de l'occurrence d'un événement (Figure IV.1). Cette manière de simulation présente plusieurs avantages par rapport à la simulation en temps réel dans lequel le temps s'écoule en continu ou échantillonné. En effet, cette dernière a comme principal inconvénient la précision des résultats qui dépendent du taux d'échantillonnage pris. Plus la période d'échantillonnage est petite, plus la précision sur les résultats est grande mais plus l'espace d'état grandit. En plus, la simulation peut être inefficace si rien ne bouge (pas d'événement) pendant des longues périodes.



Afin de gérer tous les événements qui s'exécutent durant la simulation, OPNET possède une liste des événements. Cette liste contient trois colonnes : la date d'exécution, le type d'événement et finalement le module qui doit être exécuté. La tête de la liste correspond à l'événement qui doit être pris en compte en premier.

Finalement, OPNET offre des statistiques codées, il suffit de les cocher pour les surveiller. Mais l'outil permet aussi de coder ses propres statistiques afin de vérifier le comportement d'un équipement déjà modélisé.

Le « workflow » d'une simulation sous OPNET Modeler est illustré dans la Figure IV.2. Suite à la définition du modèle réseau à simuler, il faut choisir les bonnes statistiques à récupérer. Ensuite, l'exécution des simulations permet de récupérer les résultats et de pouvoir les analyser.

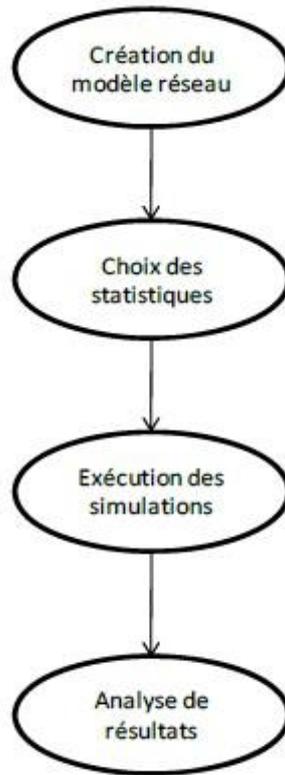


Figure IV.2 : Workflow sous OPNET.

IV.2. Modèle de réseau WLAN simple

Sous OPNET Modeler, nous avons configuré un réseau sans fil WLAN (dimensions de ce réseau : 100 m x 100 m), celui-ci est composé d'un poste de travail en liaison sans fil avec un point d'accès. Ce dernier est connecté à un Switch ainsi qu'un serveur qui fournit des applications utilisées pour la station de travail.

Les paramètres de WLAN (accès point, poste de travail) sont :

- Mode d'opération : 802.11g.
- Débit : 54 Mbps.
- La puissance de transmission : 0.005W.

Maintenant que nous avons défini notre topologie, nous devons générer un trafic sur notre réseau. Il existe plusieurs manières proposées par OPNET Modeler pour représenter ce trafic :

l'une consiste à importer le trafic et l'autre consiste à modéliser le trafic d'application en installant diverses applications.

Pour la seconde méthode, OPNET Modeler fournit les objets « globaux » afin de définir des profils et des applications. L'avantage d'employer un objet global est qu'une fois qu'il a été défini, il peut être réutilisé pour la topologie entière. Ces objets globaux sont des entités portatives qui sont indépendamment définies. Par conséquent, les objets globaux d'un projet peuvent être récupérés et réutilisés sur plusieurs scénarios.

Nous devons alors définir deux nœuds pour les applications et les profils comme représente la figure IV.3.



Figure IV.3 : Topologie d'un réseau

Pour configurer un poste de travail, on doit définir leur comportement. Le comportement ou le « profil » d'un utilisateur peut être décrit par les applications employées.

IV.2.1. Application Configuration

Un profil est construit en utilisant différentes applications pour chaque définition d'application, on peut indiquer des paramètres d'utilisation tels que l'heure de départ, la durée et la répétitivité [23].

Le logiciel permet d'indiquer un profil d'utilisateur se composant de plusieurs applications (application standards : FTP, http, Email...etc.) sont déjà prédéfinies à l'aide d'attributs représentés dans la figure ci-dessous.

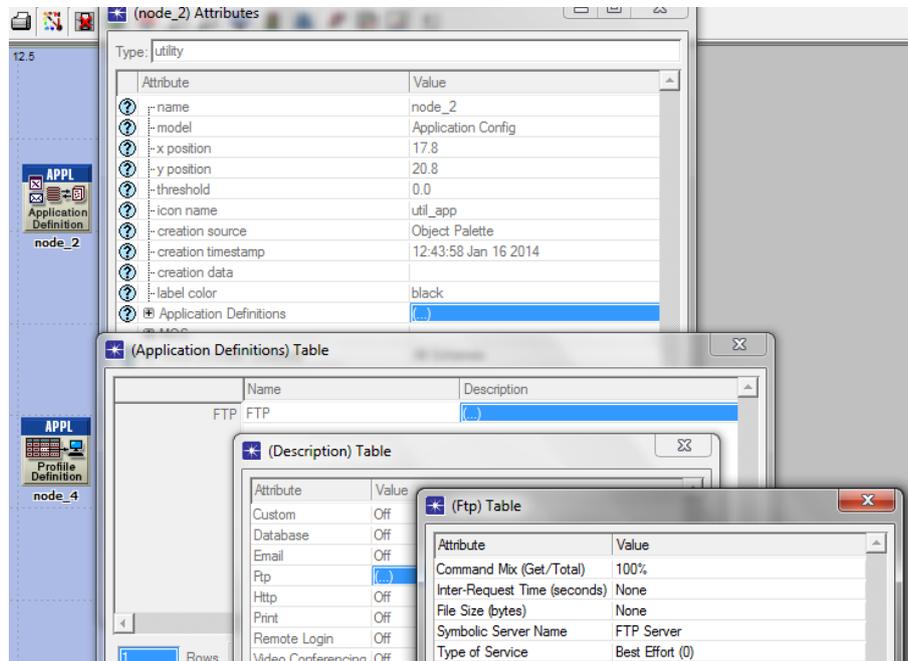


Figure IV.4 : Configuration d'une application.

Le scénario établi consiste à une application de transfert de fichier entre la station de travail équipée de carte WiFi et le serveur. A noter, pour déclarer de nouvelles applications, il suffit d'augmenter l'attribut « Row » encadré en bleu sur la figure ci-dessus.

La quatrième fenêtre nous permet de configurer les caractéristiques d'échange entre le client et le serveur.

IV.2.2. Profil Configuration

Les profils décrivent les modèles d'activité d'un utilisateur, ou d'un groupe d'utilisateurs, en termes d'applications utilisées sur une période de temps définie. Les profils peuvent s'exécuter à plusieurs reprises sur le même nœud, OPNET Modeler nous permet de configurer des répétitions de profil pour être simulé simultanément ou en série (l'une après l'autre). Les profils contiennent une liste d'applications que l'on peut configurer de la façon suivante [23]:

- Simultaneous ;
- Serial ordered : successivement, dans un ordre défini ;
- Serial random : successivement, dans un ordre aléatoire ;

L'objet de définition du profil définit l'ensemble des profils qui peuvent être employés dans un scénario. Seuls des profils qui ont été définis dans cet objet peuvent être appliqués aux stations. Ceci est valable également pour les applications qui ont été définies dans l'objet de définition d'application.

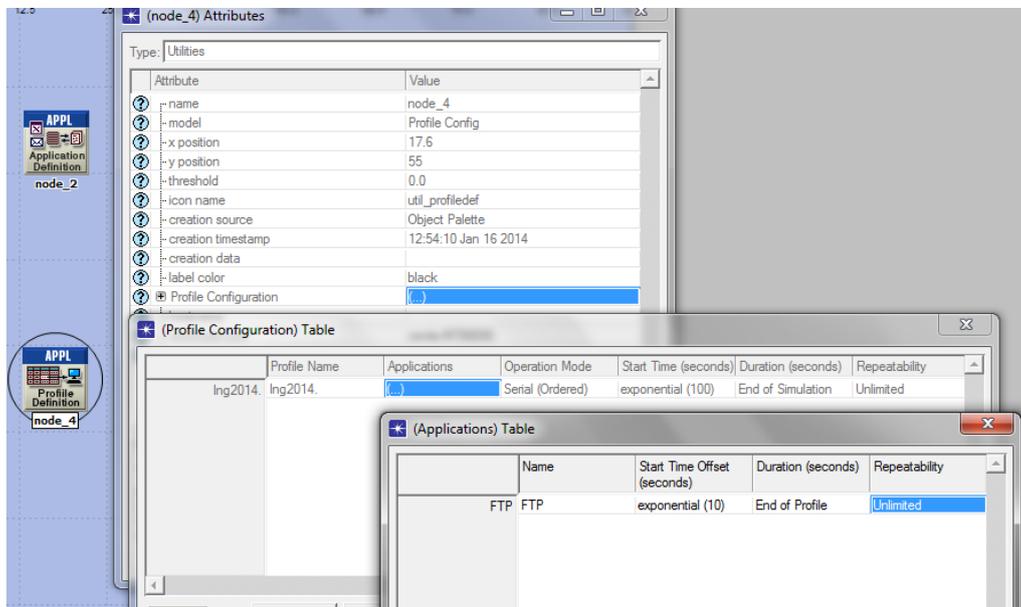


Figure IV.5 : Configuration d'un profil.

Les différentes fenêtres représentent le type de profil que l'on attribue à nos stations. Toujours dans un souci de simplicité, nous avons créé un seul type de profil, Ing2014. Ce profil sera supporté par la station de travail et leur permettra de générer l'application FTP.

Une fois que l'on a configuré les applications et les profils, nous devons les déployer sur les postes de travail et le serveur.

IV.2.3. Client configuration

Le profil établi, Ing2014, doit être indiqué sur la station de travail. Celui-ci permet à la station de supporter l'application FTP, et donc de créer des sources de trafic. La figure ci-dessous représente le mode opératoire pour indiquer le profil aux stations. Cependant, étant donné que la station est équipée de la carte Wifi, nous devons régler également certains paramètres WLAN.

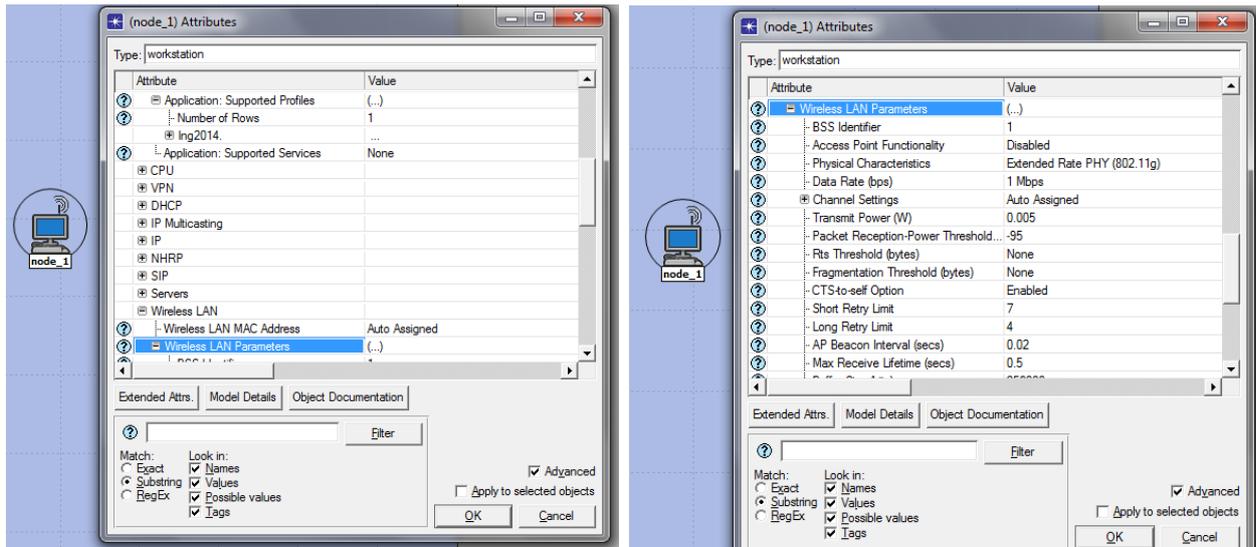


Figure IV.6 : Configuration d'un client.

IV.2.4. Server configuration

Une fois le profil installé sur les postes de travail, on doit configurer le serveur pour qu'il puisse supporter l'application souhaitée.

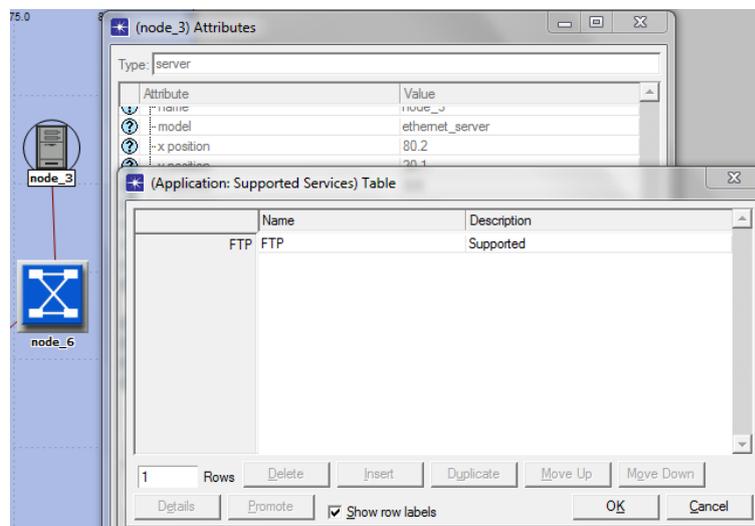


Figure IV.7 : Configuration d'un serveur.

Dans notre cas (figure IV.3), les configurations d'applications sont les suivantes : Email, FTP, et Web Browsing, Print (le tout avec high load).

- Durée de la simulation : 3,5 heures

Les résultats de la simulation sont indiqués par la figure IV.8.

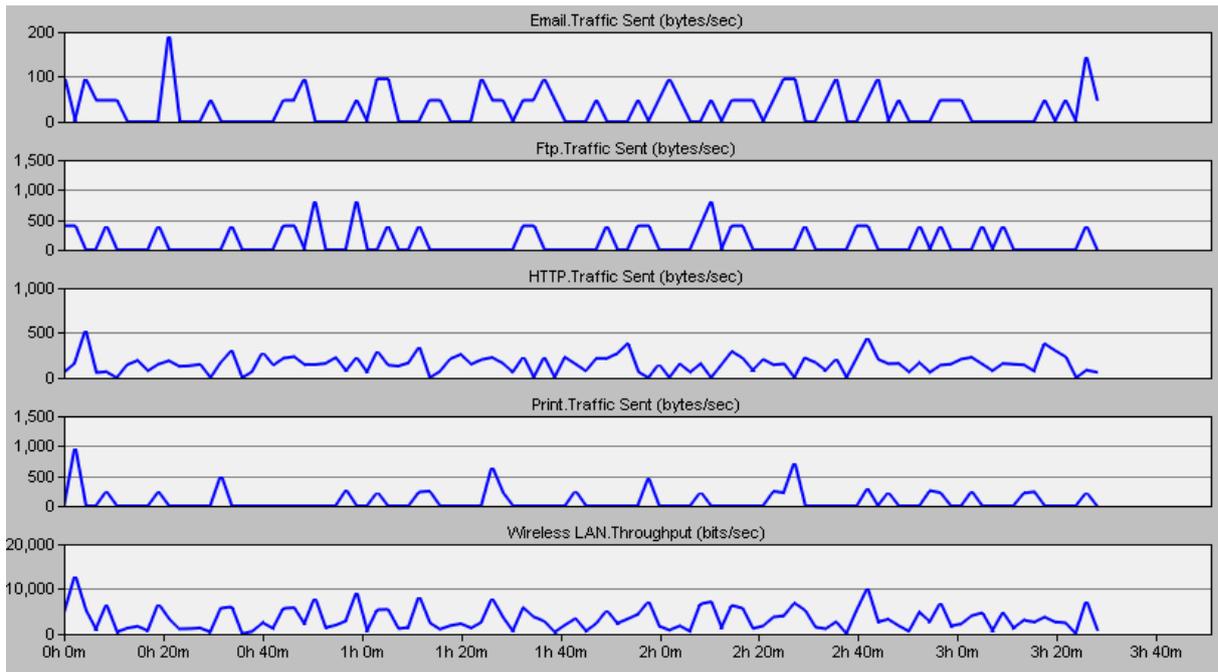


Figure IV.8 : Débit pour chaque application.

À partir des graphes de résultat de la simulation suivants, nous pouvons lire la valeur de débit pour chaque application, par exemple pour l'Email, le débit est autour de 100bytes/sec et pour le transfert de fichier est dans l'ordre de 500 bytes/sec, etc. Pour le dernier graphe, le débit du réseau entier est de 6.5Kbps qui reste négligeable par rapport au débit de la norme 802.11g qui est choisie comme un mode d'opération. Ceci revient à la simplicité de la topologie proposée. Maintenant, on va étudier l'influence de quelques paramètres de réseau sur le débit du WLAN.

IV.2.5. Influence des facteurs de réseau

IV.2.5.1. Influence de la puissance de transmission

Nous allons choisir quatre valeurs de puissance de transmission qui sont : 0.005W, 1W, 10W et 50W insérées dans quatre scénarios : scénario 1, 2, 3 et 4 respectivement.

Nous remarquons que la puissance de transmission n'influence pas sur le débit de la topologie initiale.

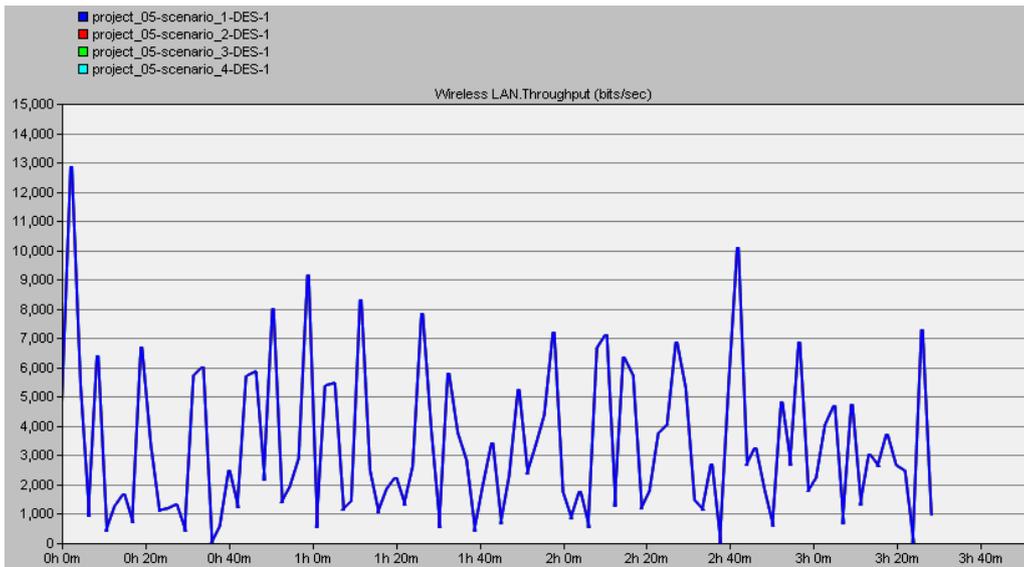


Figure IV.9 : Influence de la puissance de transmission sur le débit de réseaux proposé.

IV.2.5.2. Influence de nombre de PC

Nous allons maintenant augmenter le nombre de PC de 1, 5, 15 et 25 stations de travaux présentés dans quatre scénarios 1, 2, 3 et 4 respectivement. Selon la figure IV.10, nous observons que l'augmentation du nombre de PC augmente le débit du réseau.

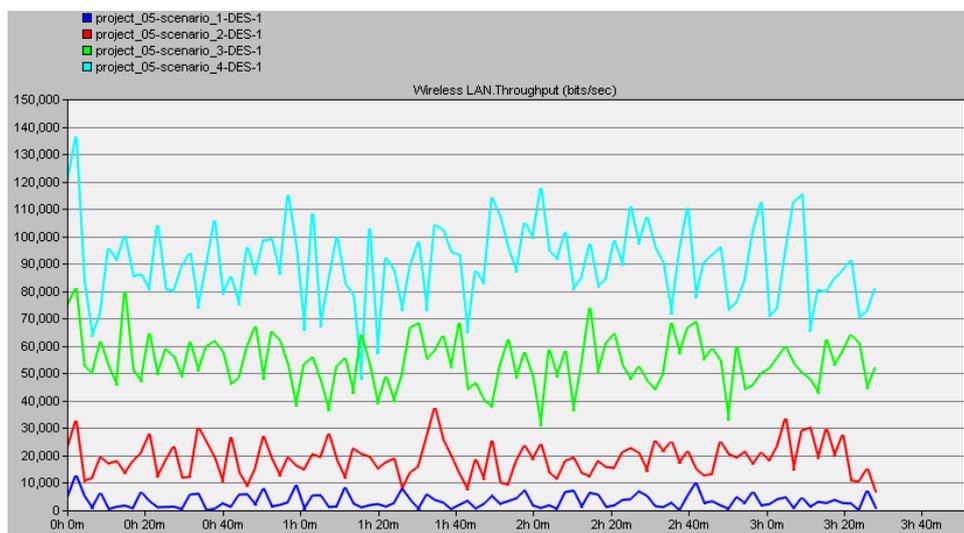
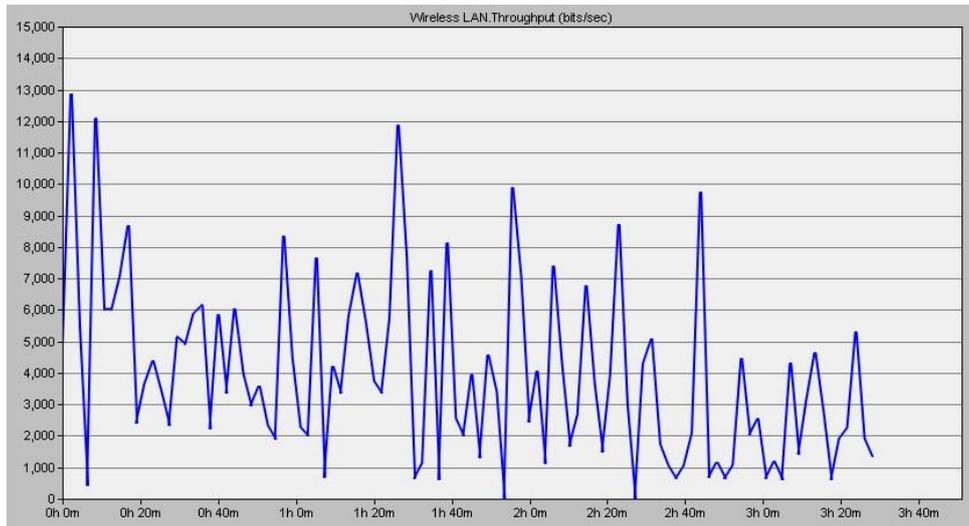


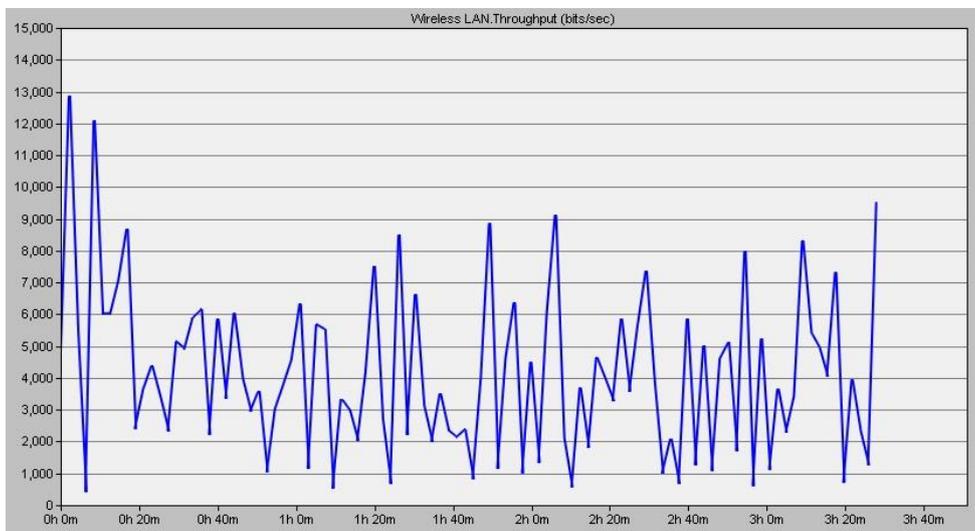
Figure IV.10 : Influence de nombre de PC sur le débit d'un réseau WLAN.

IV.2.5.3. Influence des dimensions d'un réseau WLAN

La figure IV.11 représente le débit du WLAN en fonction des dimensions de la zone de travail. Dans ce cas, nous avons basé sur les mêmes attributs que la topologie initiale, c-à-d la puissance d'émission égale 0.005W et le mode d'opération choisi est le 802.11g avec un débit de 54Mbps. A partir des deux allures représentées par la figure suivante, nous pouvons constater que l'augmentation des dimensions de ce réseau engendre une diminution légère de débit du WLAN.



(a)



(b)

Figure IV.11. (a) : Débit du WLAN avec des dimensions 200m * 200m.
 (b) : Débit du WLAN avec des dimensions 300m * 300m.

IV.3. Evaluation de la performance des réseaux locaux sans fil 802.11g

On va garder la même structure de l'exemple précédent [24]. Cette conception est utilisée pour étudier les impacts d'un facteur sur les performances de réseau sans fil. Ce facteur comprend les caractéristiques du protocole HTTP. Les niveaux de facteur de simulation sont résumés dans le tableau IV.1

| facteur | Niveaux |
|--------------------------|-----------|
| Nombre de clients | 25 |
| HTTP | 8, 32, 64 |
| Taille du transfert (KB) | |
| Protocole HTTP | 1.0, |

Tableau IV.1 : Facteurs de simulation et les niveaux d'étude du réseau sans fil.

Sur la figure suivante, on représente le premier projet conçu sur OPNET avec 25 clients.

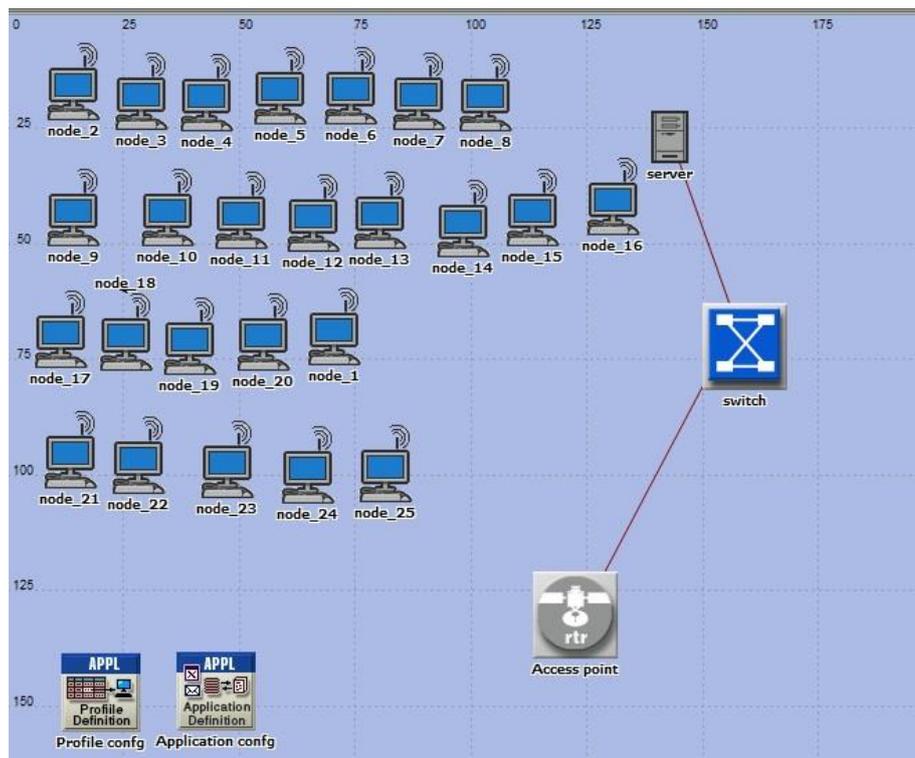
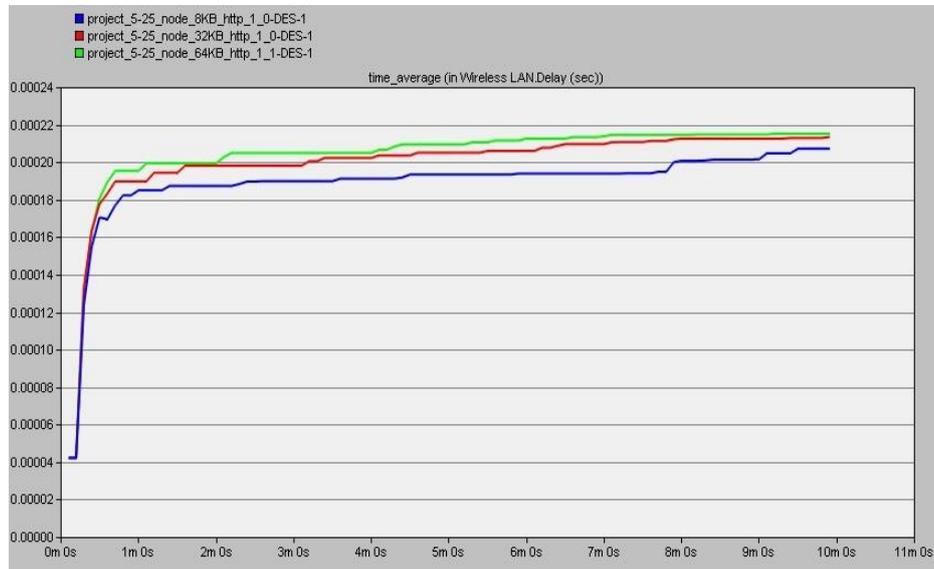
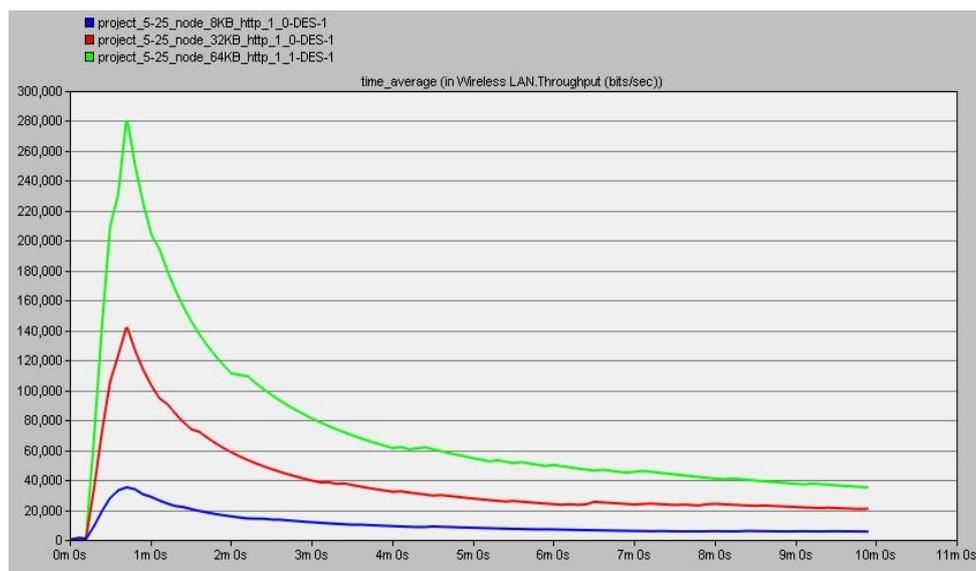


Figure IV.12 : Facteurs de simulation et les niveaux d'étude du réseau sans fil.

La figure IV.13 montre les résultats du premier projet de 25 clients utilisant HTTP/1.0. La taille de transfert de HTTP est de l'ordre de (8, 32, 64 KB) simulée dans trois scénarios différents.



(a)



(b)



Figure IV.13. (a) : Moyenne de retard de WLAN (s).
 (b) : Moyenne du débit de WLAN (bits/s).
 (c) : Temps de réponse de HTTP (s).

La figure IV.13. (a), représente le délai de notre réseau WLAN. On peut s'apercevoir que le délai est en moyenne d'environ 0.000195, 0.000205 et 0.00021 seconde pour les trois scénarios respectivement. La performance du délai est corrélée avec celle des données perdues.

Le débit de notre réseau est représenté par la figure IV.13. (b). On constate bien que le débit obtenu à environ 280, 140 et 39Kbps pour chaque scénario respectivement, mais il y a une chute du débit à partir de 1minute pour qu'il se stabilise à 5, 20 et 40 Kbps pour les trois cas respectivement.

La modification apportée à notre réseau de base agit également au niveau du temps de réponse. On peut constater que le temps de réponse est de l'ordre de 0.02, 0.065 et 0.125 seconds pour les trois simulations respectivement. Ces résultats reflètent une bonne performance de réseau proposé. D'autant plus que ce temps de réponse est faible engendre un nombre de données perdues assez faible.

IV.4. Réseau sans fil de topologie étoile

Dans cet exemple on va suivre la même topologie filaire présentée dans le premier exemple du chapitre III mais avec une connexion sans fil comme montre la figure IV.14.

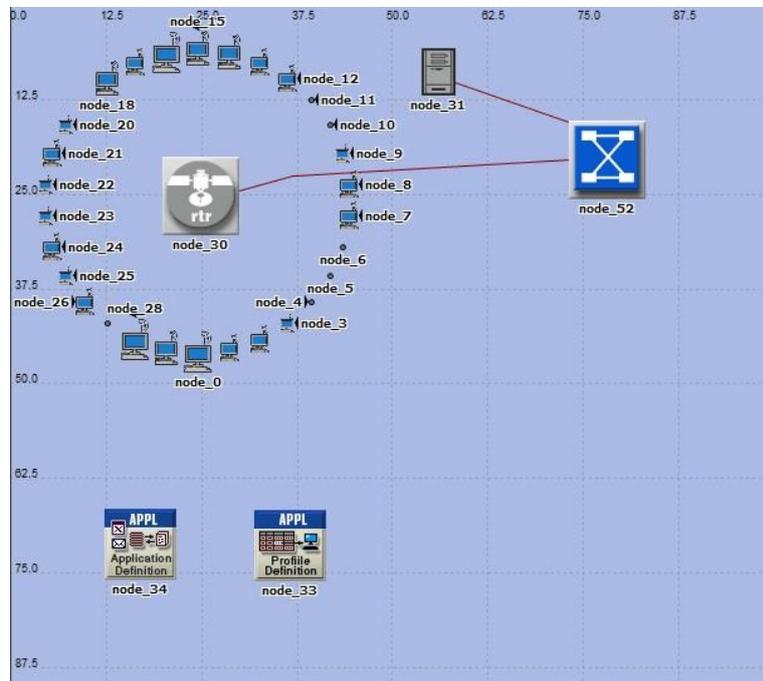
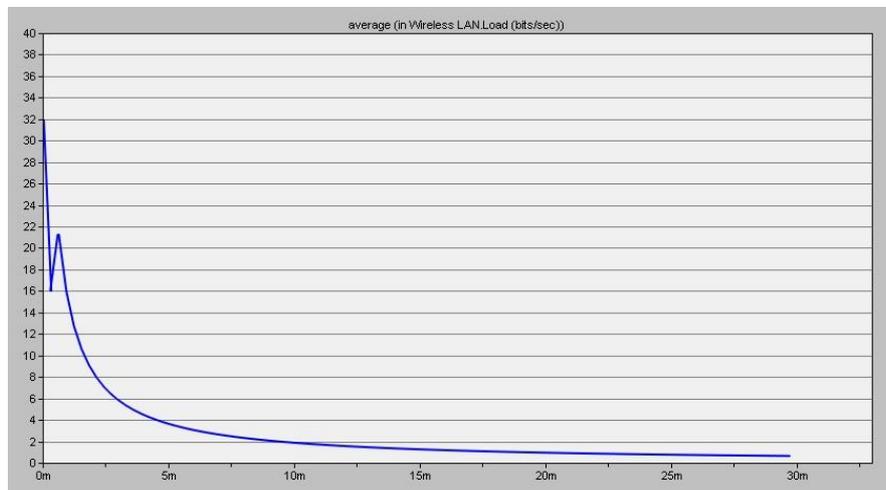
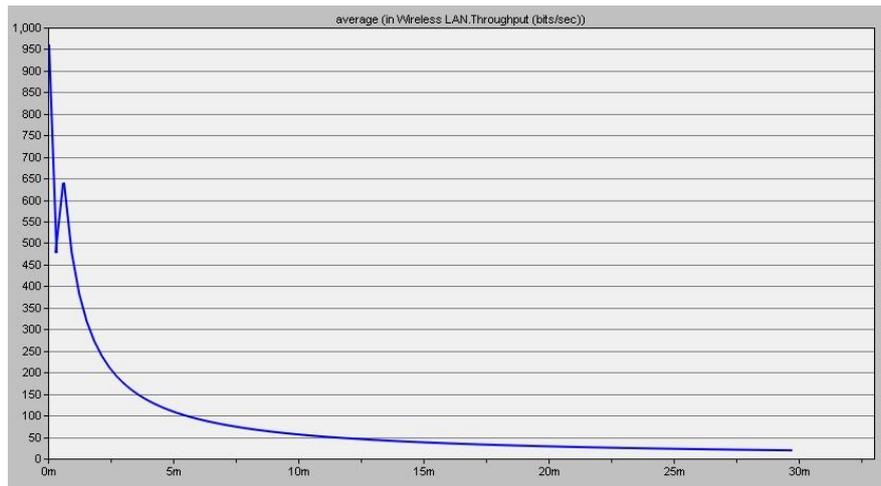


Figure IV.14 : Premier scénario de réseau sans fil de topologie étoile.



(a)



(b)

Figure IV.15. (a) : Moyenne de la charge du WLAN (bits/s).
 (b) : Moyenne du débit de WLAN (bit/s).

Plusieurs statistiques peuvent être recueillies pendant l'exécution de simulation. Nous allons nous attarder sur deux statistiques suivantes afin d'étudier les performances de notre réseau : la charge et le débit de WLAN. Pour les deux cas, nous remarquons une chute importante de la charge et de débit du WLAN selon la figure IV.15.

L'extension du premier exemple de réseau proposé précédemment est montrée dans la figure suivante.

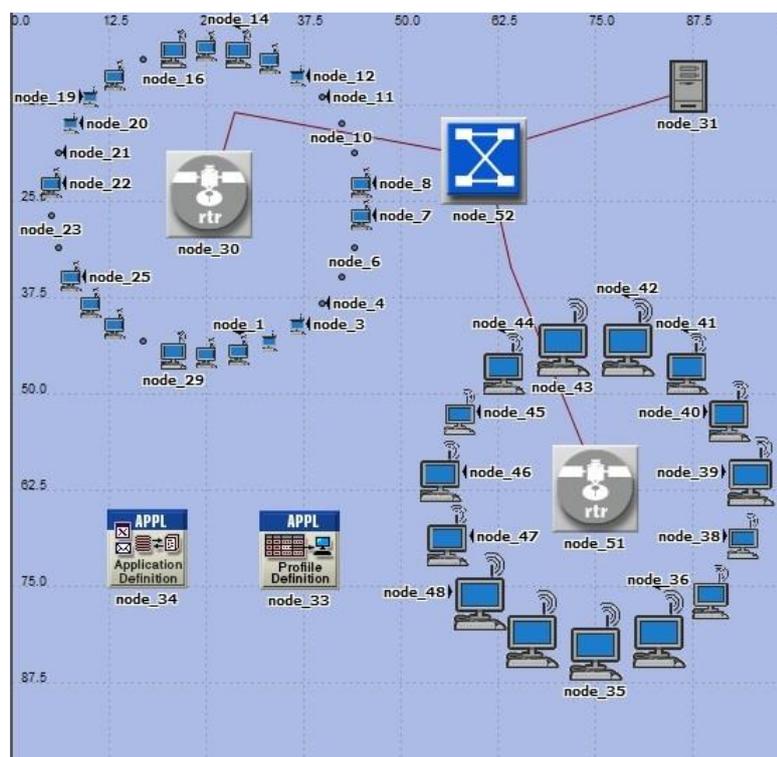
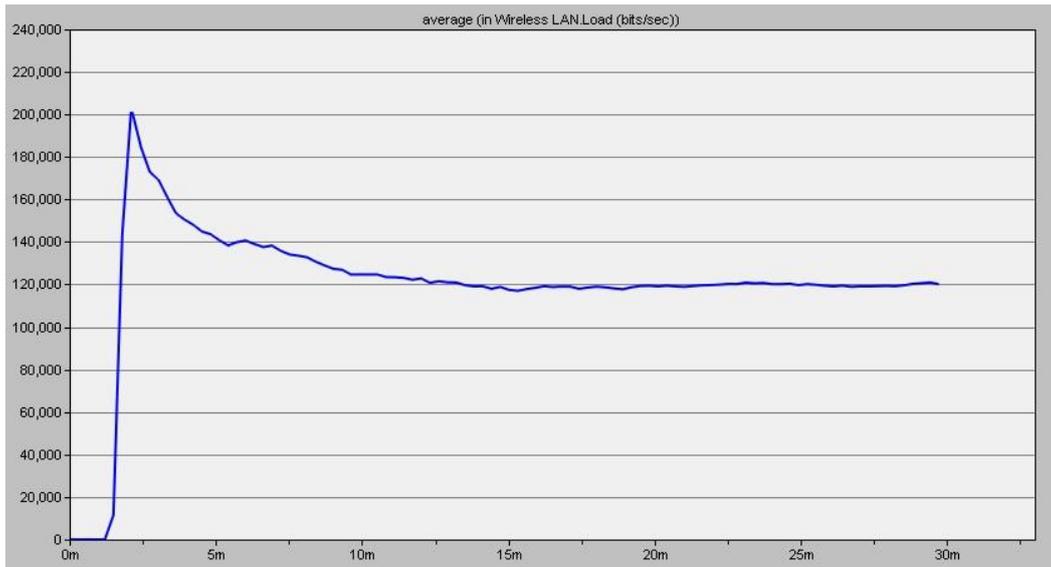
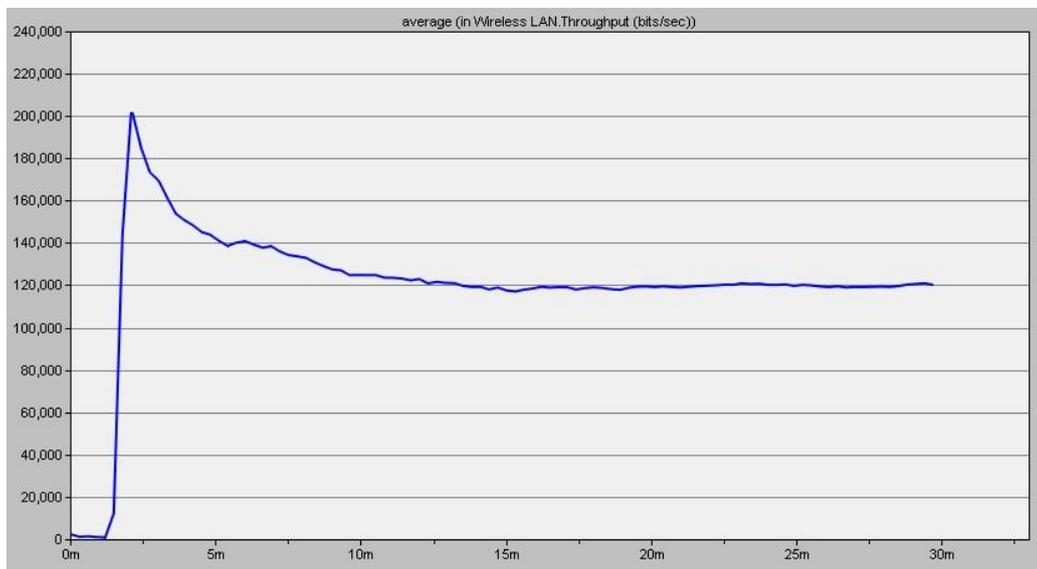


Figure IV.16 : Extension du premier réseau.



(a)



(b)

Figure IV.17. (a) : Moyenne de la charge du WLAN (bits/s) du réseau étendu.
(b) : Moyenne du débit de WLAN (bit/s) du réseau étendu.

Nous avons choisi d'établir un réseau Wifi sur une topologie légèrement différente. En effet, nous conservons la topologie précédente, en lui ajoutant une autre topologie étoile de 15 clients reliée au même Switch du premier réseau. La figure IV.17 présente deux graphes de formes et de valeurs identiques, une pour la charge et l'autre pour le débit du WLAN. Selon ces graphes, on constate une augmentation importante de la charge et de débit à l'instant 1.25 minute, nous remarquons ensuite une réduction légère de la charge et de débit de telles façons que celles-ci se stabilise à un débit de 120kbps.

IV.5. Implémentation d'un réseau LAN en utilisant les sous réseaux

IV.5.1. Topologie filaire

IV.5.1.1. Premier scénario avec 5 serveurs différents

L'objectif de ce projet est de montrer la conception de base d'un réseau local en utilisant des sous-réseaux, les utilisateurs, les commutateurs et les serveurs. Il existe deux scénarios dans ce projet [25].

- Réseau simple avec cinq serveurs différents.
- Un serveur contenant toutes les applications choisies

Le scénario se compose de trois sous-réseaux l'un connecté avec l'autre par un switch en utilisant un fil de 100BaseT. Le premier et le deuxième sous-réseau sont nommés « IT » et « Finance », tandis que le troisième réseau pour créer les serveurs.

On configure les applications, qui sont : Database Access, Email, File Transfer, Web Browsing, Telnet Session, et cela dans chaque composant de réseau.

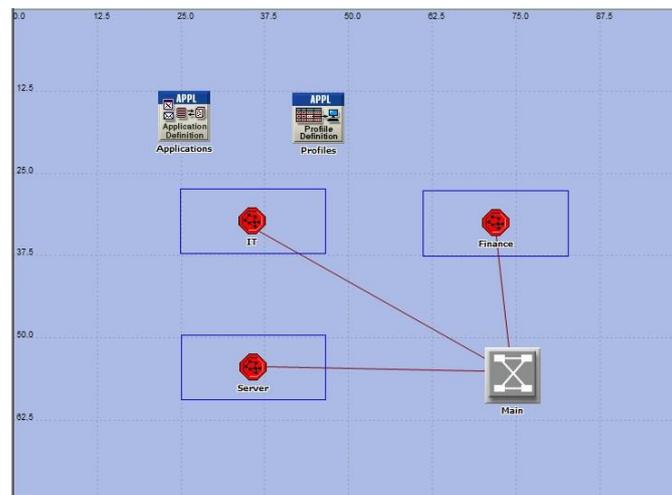
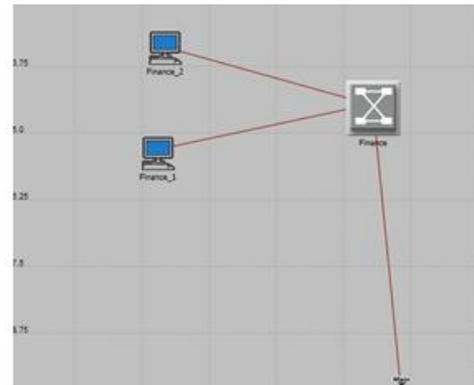


Figure IV.18 : Vue d'ensemble du réseau proposé.

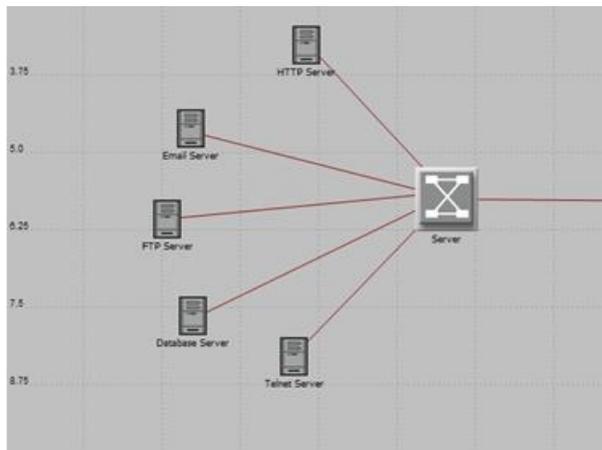
Les sous-réseaux « IT » et « Finance » ont une similaire architecture et le sous réseau « Server » contient 5 serveurs ou chacune des applications est configurée dans un serveur parmi les cinq serveurs qui appartiennent au troisième sous-réseau.



(a)



(b)



(c)

| Name | Description |
|------------------------|-------------|
| Database Access | Supported |
| Telnet Session (Heavy) | |
| Web Browsing (Heavy) | |
| File Transfer (Heavy) | |
| Email (Heavy) | |
| None | |

(d)

Figure IV.19. (a) : Sous réseau IT.
 (b) : Sous réseau Finance.
 (c) : Sous réseau Server.
 (d) : Table de service d'applications pour le serveur Database.

IV.5.1.2. Deuxième scénario avec un seul serveur principal

Maintenant en dupliquant le scénario précédent ; en entrant dans le sous-réseau "Server" et on supprime 4 serveurs. Dans ce cas, il reste qu'un seul server nommé « Main Server », comme il est indiqué dans la figure IV.19. (a). Puis nous configurons toutes les applications dans cet unique serveur selon la figure IV.19. (b)



(a)

| (Application: Supported Services) Table | | |
|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | Name | Description |
| ... | et Session (Heavy) | Telnet Session (Heavy) Supported |
| ... | Browsing (Heavy) | Web Browsing (Heavy) Supported |
| ... | File Transfer (Heavy) | File Transfer (Heavy) Supported |
| ... | Email (Heavy) | Email (Heavy) Supported |
| ... | Database Access | Database Access Supported |

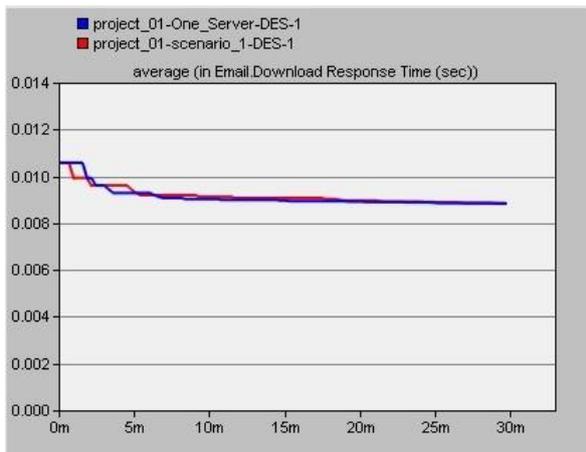
5 Rows | Delete | Insert | Duplicate | Move Up | Move Down | Details | Promote | Show row labels | OK | Cancel

(b)

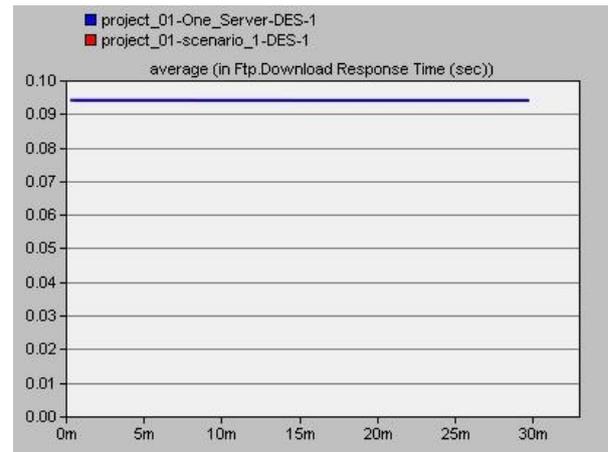
Figure IV.20. (a) : Sous réseau Server.

(b) : Table des services d'applications pour le serveur principale.

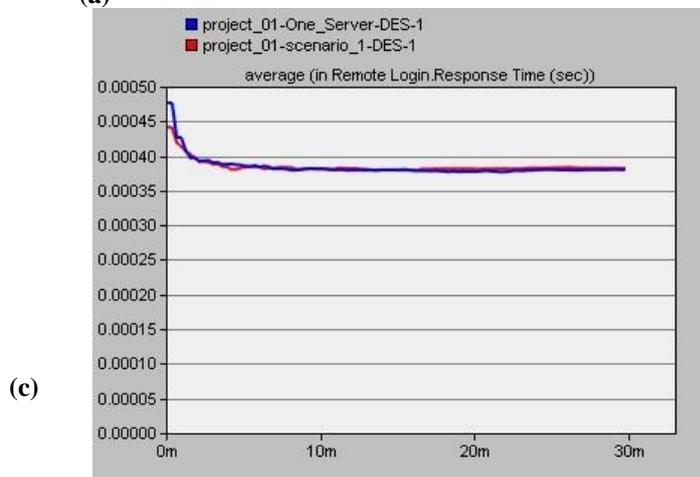
Les résultats de simulation des deux scénarios sont montrés dans les figures suivantes :



(a)



(b)



(c)

Figure IV.21. (a) : Temps de réponse de téléchargement de l'Email.

- (b) : Temps de réponse de téléchargement de Ftp.
- (c) : Temps de réponse de la connexion à distance

La valeur moyenne de temps de réponse de téléchargement pour Email est autour de 0.009 (s) pour les deux scénarios.

Les deux courbes sont identiques pour la valeur moyenne de temps de réponse de téléchargement pour Ftp qui est autour de 0.095 (s).

Même chose ; à propos des deux courbes de la moyenne de temps de réponse de la connexion à distance elles sont autour de 0.00038 (s).

On conclut que le temps de réponse de téléchargement ou de connexion à distance est le même que ce soit pour le premier réseau avec les cinq serveurs différents ou bien en utilisant un seul serveur contenant toutes les applications.

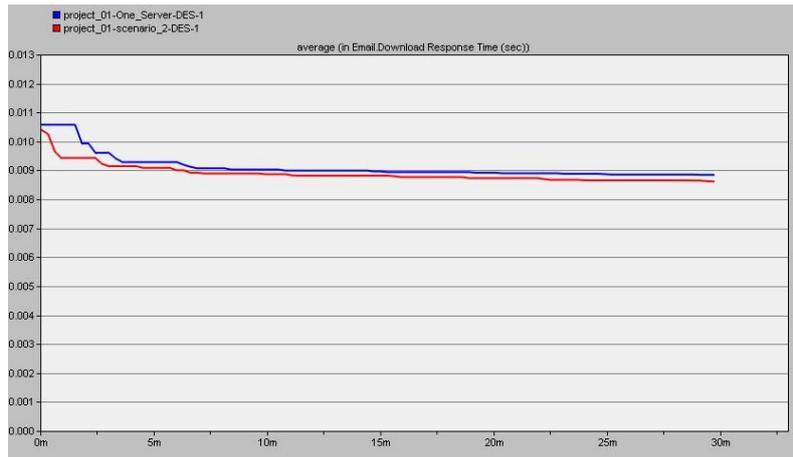
IV.5.1.3. Comparaison du deuxième scénario filaire avec la même topologie sans fil

Pour ce projet, on va faire une comparaison entre le réseau filaire avec un seul serveur et la même topologie de ce réseau mais sans fil. Pour le réseau sans fil, on conserve la même architecture précédente telle que nous faisons une modification dans les sous réseaux « IT » et «Finance » comme suit :

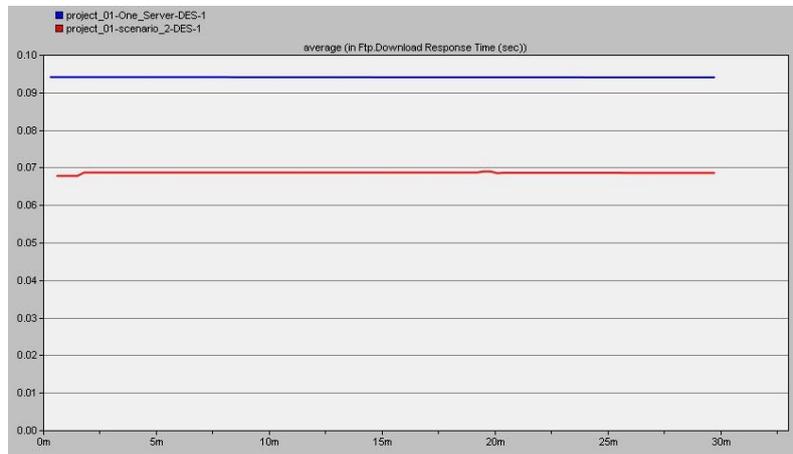


Figure IV.22 : Sous réseau IT ou Finance avec une topologie sans fil.

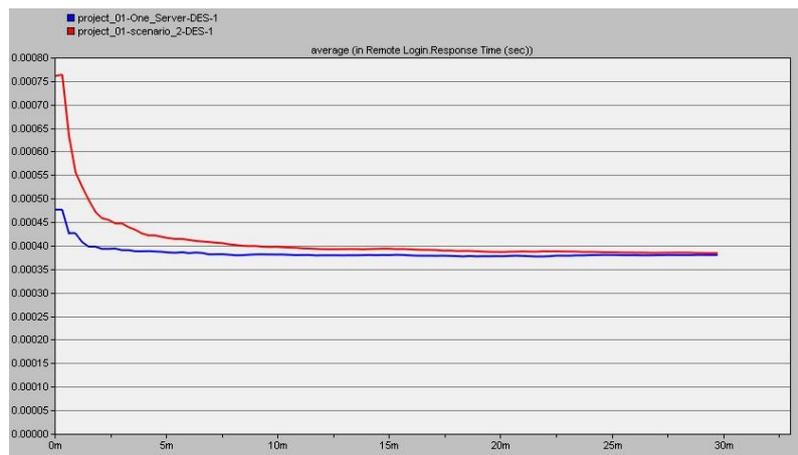
D'après l'étude de cette comparaison on a eu les résultats suivants :



(a)



(b)



(c)

Figure IV.23 : Comparaison entre le deuxième scénario et la même topologie sans fil.

(a) : Temps de réponse de téléchargement de l'Email.

(b) : Temps de réponse de téléchargement de Ftp.

(c) : Temps de réponse de la connexion à distance.

La valeur moyenne de temps de réponse de téléchargement pour Email est autour de 0.009 (s) pour les deux scénarios avec une simple diminution pour la topologie sans fil.

Les deux courbes de la valeur moyenne de temps de réponse de téléchargement pour Ftp sont parallèles où la valeur de réseau sans fil est autour de 0.07 qui reste faible par rapport à celle du réseau filaire qui est autour de 0.095 (s).

En quelque sorte, la valeur moyenne de temps de réponse de la connexion à distance pour le réseau sans fil : 0.0004 (s) est un peu élevée par rapport au filaire 0.00038 (s).

On distingue que le temps de réponse de téléchargement ou de connexion à distance est presque identique sauf pour le temps de réponse de téléchargement de Ftp qui présente une valeur inférieure pour le réseau sans-fil par rapport au réseau filaire.

IV.6. Réseau sans fil de mode Ad hoc

Dans cet exemple, on va configurer un réseau WLAN à l'aide des stations WLAN. Nous voulons envoyer un trafic de 1 Mbps de nœud mobile 0 au nœud mobile 1 [26].



Figure IV.24 : Réseau WLAN de mode Ad hoc.

On doit configurer le premier nœud comme suit :

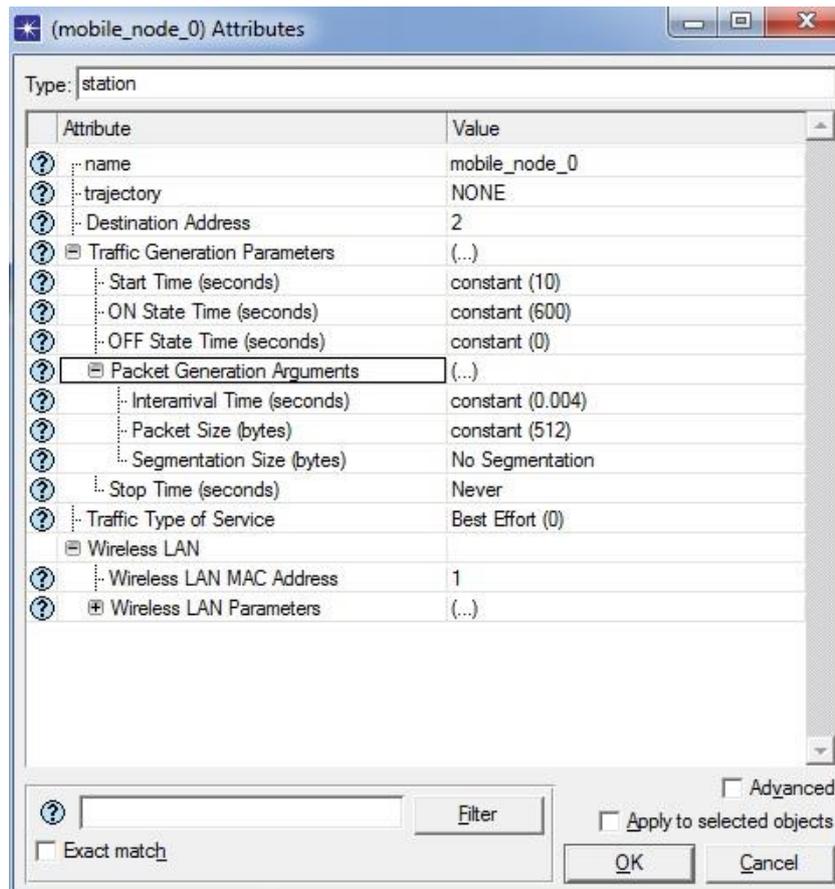


Figure IV.25 : Configuration du premier nœud.

Pour le deuxième nœud on doit changer son adresse MAC à 2. Le résultat de simulation est indiqué dans la figure suivante.

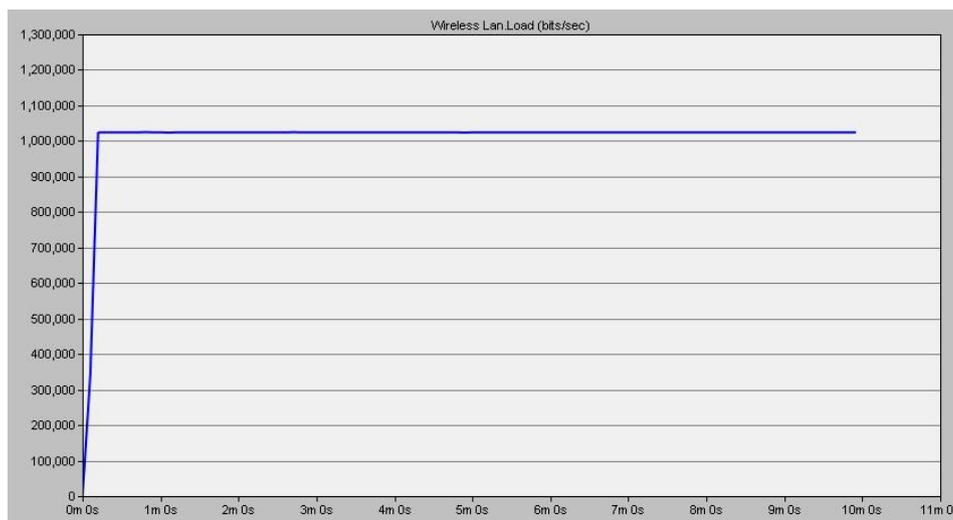


Figure IV.26 : Charge du WLAN entre deux clients.

Ce résultat répond bien à nos besoins puisque la charge de notre réseau sans fil est de 1 Mbps.

IV.7. Réseau IEEE 802.11 de mode Ad Hoc

Réseau de l'échantillon est composé d'un point d'accès qui est entouré par deux stations sans fil (ordinateurs portables). Premièrement, on doit sélectionner un nœud pour fonctionner comme un point d'accès. Son attribut devrait ressembler à la figure IV.27. (a) [27] :

Puis, on va sélectionner le nœud 1 pour fonctionner comme un ordinateur portable sans fil, la même chose pour le nœud 2.

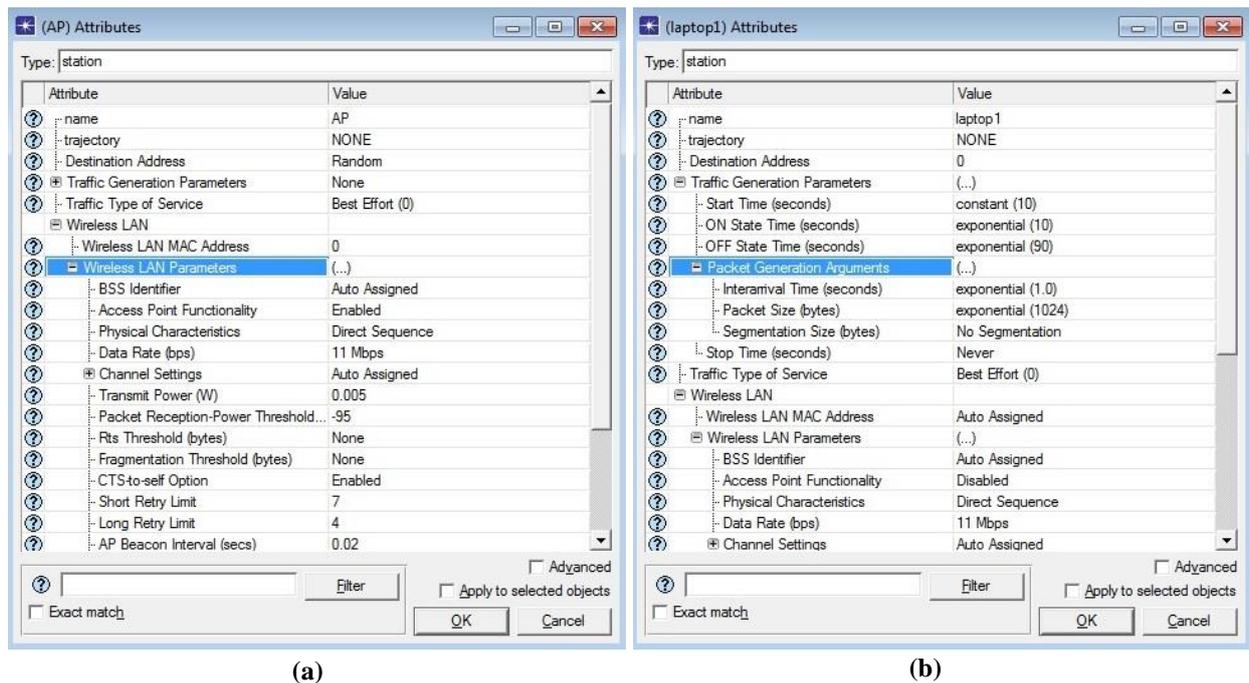


Figure IV.27. (a) : Attributs de point d'accès.
(b) : Attributs du Laptop 1.

En fin le schéma final doit être comme suit :

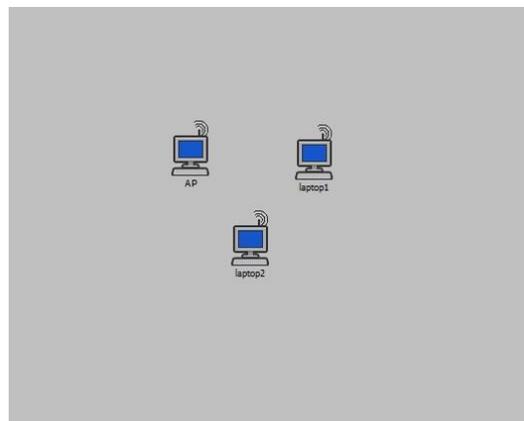
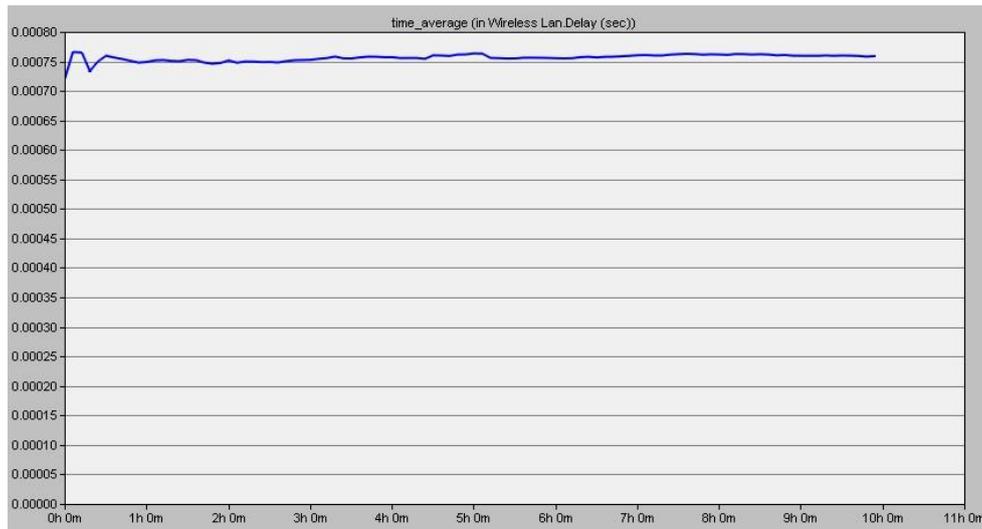
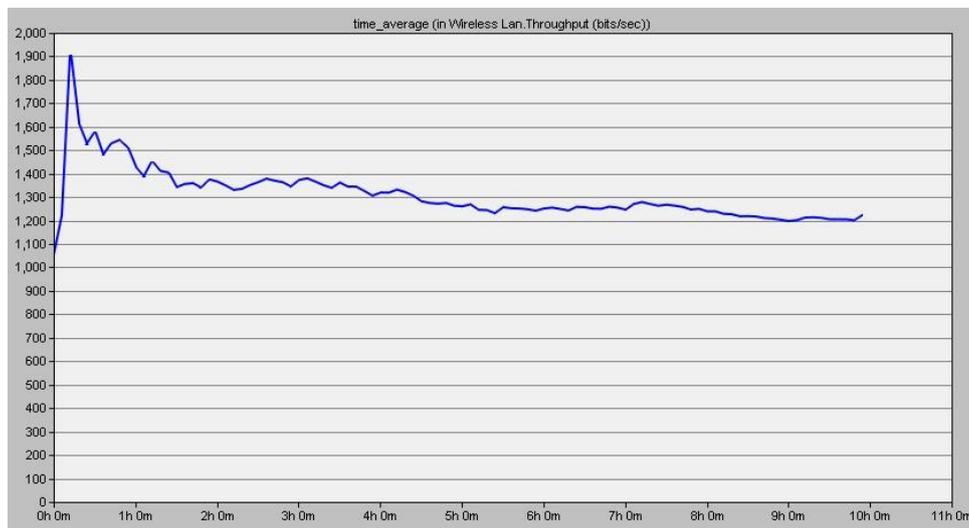


Figure IV.28 : Deuxième exemple WLAN de mode Ad Hoc.

Les résultats de simulations sont présentés dans les figures suivantes :



(a)



(b)

Figure IV.29 : (a) : Schéma représentant le délai moyen.
(b) : Schéma représentant le débit moyenne.

La moyenne de retard sans fil est égale à 750 micros seconds. La courbe de la figure IV.26. (b), montre la moyenne du débit de WLAN qui est égale à 1,250 bit /s. Alors ses résultats sont proches de réalité.

IV.8. Conclusion

Dans le but de trouver un outil fiable pour une modélisation d'un réseau local sans fil et donc l'évaluation de ses performances, ce chapitre exploite l'outil présenté dans le chapitre précédent.

La convergence des résultats à la réalité a confirmé la bonne modélisation des réseaux sans fil dans cet outil. Par conséquent, cet outil (OPNET) peut être utilisé pour concevoir des réseaux WLAN.

Ce chapitre a été consacré à expliquer l'effet des différents paramètres sur des réseaux locaux sans fils en fonction des différents attributs existants dans le but d'étudier les performances de ces systèmes. Plusieurs réseaux sans fil ont été proposés de modes infrastructures et Adhoc, les résultats de simulation sont alors présentés et discutés.

Conclusion Générale

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. Grâce aux réseaux sans fils, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". Les réseaux sans fils sont basés sur une liaison utilisant des ondes radio-électriques (radio et infrarouges) en lieu et 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.

Au travers de ce mémoire, nous nous sommes attachés à comprendre et modéliser différents systèmes de communications sans fils appliqués aux réseaux locaux par le logiciel OPNET.

Premièrement nous avons donné une présentation des différents types de réseaux sans fil ainsi qu'une classification de ces réseaux. Dans un deuxième temps, il a fallu nous familiariser à la lecture de standards de communications numériques et en particulier à ceux définissant les couches MAC et physique. En effet la terminologie utilisée dans ces derniers est très spécifique et relativement complexe pour les lecteurs non-initiés.

Pour le deuxième chapitre, nous nous sommes focalisés sur les réseaux locaux sans fils WLAN et spécialement le 802.11, et son extension, le 802.11b avec ses modes opératoires. Une fois accoutumés, il a fallu prendre en main le logiciel de simulation de réseaux OPNET présenté dans le chapitre III.

Le quatrième chapitre représente et décrit le fonctionnement général de la conception des réseaux sans fils précisément le Wi-Fi et rentre progressivement dans les détails pour expliquer les travaux proposés à travers la conception de ces derniers. Ces travaux ont été simulés par le logiciel OPNET.

Enfin ce mémoire nous a permis de collecter plusieurs informations concernant la conception des réseaux locaux sans fils à l'aide du logiciel OPNET et de connaître les divers facteurs affectant pour des meilleures performances.

A partir de ces travaux, plusieurs perspectives peuvent être avancées :

De nouvelles conceptions de réseaux WiFi pourraient être faites par OPNET de telles façons d'évaluer les performances d'une couverture WiFi plus étendue par l'interconnexion de plusieurs sous réseaux de WiFi.

Une deuxième perspective serait d'implémenter ces réseaux locaux sans fils que nous avons simulé par OPNET en utilisant le bon matériel, mais aussi tester des communications audio et vidéo et de fait apprécier l'amélioration apportée.

Liste des figures

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1 : Catégories des réseaux sans fil..... | 4 |
| Figure I.2 : Faisceau hertzien. | 5 |
| Figure I.3 : Exemple de configuration d'un WPAN. | 7 |
| Figure I.4 : Architecture OSI (Open System Interconnexion). | 11 |
| Figure I.5 : Exemple de configuration de réseau. | 12 |
| Figure I.6 : Signal carré de la séquence de bits 1010. | 14 |
| Figure I.7 : Principe de multiplexage..... | 15 |
| Figure II.1 : Exemple de réseaux utilisant le Wi-Fi | 23 |
| Figure II.2 : Mode Infrastructure. | 26 |
| Figure II.3 : Mode Ad Hoc. | 27 |
| Figure II.4 : Architecture de 802.11 sans fil. | 27 |
| Figure II.5 : Réseau IBSS entre ordinateurs portables. | 28 |
| Figure II.6 : Réseau BSS, permettant l'accès au réseau Ethernet. | 29 |
| Figure II.7 : Réseau ESS, autorisant le roaming. | 30 |
| Figure II. 8 : Structure d'un réseau à infrastructure à cellules. | 30 |
| Figure II. 9 : Vitesses de transmission du 802.11b, autour d'une antenne omnidirectionnelle. | 33 |
| Figure II. 10 : Exemple d'une certification par la Wifi Alliance. | 36 |
| Figure III.1 : Page d'accueil OPNET. | 42 |
| Figure III.2 : Séquencement des fonctions dans l'espace de travail. | 43 |
| Figure III.3 : Editeur de projet. | 43 |
| Figure III.4 : Palette d'objet. | 44 |
| Figure III.5 : Exemple de nœud construit avec l'éditeur de nœuds. | 45 |
| Figure III.6 : <i>Editeur de processus avec le diagramme d'état.</i> | 46 |
| Figure III.7 : <i>Analyse d'une simulation simple.</i> | 47 |
| Figure III.8 : Transmission du paquet entre les modules. | 48 |
| Figure III.9 : Editeur de liens. | 49 |
| Figure III.10 : Editeur de paquets. | 50 |
| Figure III.11 : Editeur d'antenne. | 50 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.12 : Editeur de sonde. | 51 |
| Figure III.13 : Icône de réception et émission radio. | 53 |
| Figure III.14 : Fenêtre de définition d'une simulation. | 55 |
| Figure III.15 : Fenêtre de présentation des résultats de simulation. | 56 |
| Figure III.16 : Le choix de la topologie étoile à partir du menu déroulant. | 57 |
| Figure III.17 : Zone de dialogue <i>Rapid Configuration</i> | 58 |
| Figure III.18 : Premier scénario. | 58 |
| Figure III.19 : Zone de dialogue <i>Rapid Configuration</i> pour le deuxième scénario. | 59 |
| Figure III.20 : Chemise de Cisco 2514. | 59 |
| Figure III.21 : Scénario expansion. | 60 |
| Figure III.22 : Charge sur le serveur (load) en bit/sec. | 61 |
| Figure III.23 : Délai maximum à travers le réseau (delay) en sec. | 61 |
| Figure III.24 : Réseau central à Washington. | 62 |
| Figure III.25 : Structure de différents sous réseaux. | 63 |
| Figure III.26 : 10BaseT LAN. | 63 |
| Figure III.27 : Lien pour relier les sous réseaux. | 16 |
| Figure III.28 : Topologie initiale. | 64 |
| Figure III.29 : Ajout la charge de fond. | 64 |
| Figure III.30 : Moyenne d'utilisation point à point Atlanta et Washington. | 65 |
| Figure IV.1 : Principe d'exécution d'OPNET. | 66 |
| Figure IV.2 : Workflow sous OPNET. | 67 |
| Figure IV.3 : Topologie d'un réseau WLAN. | 68 |
| Figure IV.4 : Configuration d'un réseau WLAN. | 69 |
| Figure IV.5 : Configuration d'un profil. | 70 |
| Figure IV.6 : Configuration d'un client. | 71 |
| Figure IV.7 : Configuration d'un serveur. | 71 |
| Figure IV.8 : Débit pour chaque application. | 72 |
| Figure IV.9 : Influence de la puissance de transmission sur le débit de réseaux proposé. | 73 |
| Figure IV.10 : Influence de nombre de PC sur le débit d'un réseau WLAN. | 73 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Figure IV.11. (a) : Débit du WLAN avec des dimensions 200m * 200m. | |
| (b) : Débit du WLAN avec des dimensions 300m * 300m. | 74 |
| Figure IV.12 : Facteurs de simulation et les niveaux d'étude du réseau sans fil. | 75 |
| Figure IV.13. (a) : Moyenne de retard de WLAN (s). | |
| (b) : Moyenne du débit de WLAN (bits/s). | |
| (c) : Temps de réponse de HTTP (s). | 76/77 |
| Figure IV.14 : Premier scénario de réseau sans fil de topologie étoile. | 78 |
| Figure IV.15. (a) : Moyenne de la charge du WLAN (bits/s). | |
| (b) : Moyenne du débit de WLAN (bit/s). | 78/79 |
| Figure IV.16 : Extension du premier réseau. | 79 |
| Figure IV.17. (a) : Moyenne de la charge du WLAN (bits/s) du réseau étendu. | |
| (b) : Moyenne du débit de WLAN (bit/s) du réseau étendu. | 80 |
| Figure IV.18 : Vue d'ensemble du réseau proposé. | 81 |
| Figure IV.19. (a) : Sous réseau IT. | |
| (b) : Sous réseau Finance. | |
| (c) : Sous réseau Server. | |
| (d) : Table de service d'applications pour le serveur Database. | 82 |
| Figure IV.20. (a) : Sous réseau Server. | |
| (b) : Table des services d'applications pour le serveur principale. | 83 |
| Figure IV.21. (a) : Temps de réponse de téléchargement de l'Email. | |
| (b) : Temps de réponse de téléchargement de Ftp. | |
| (c) : Temps de réponse de la connexion à distance. | 83 |
| Figure IV.22. : Sous réseau IT ou Finance avec une topologie sans fil. | 84 |
| Figure IV.23 : Comparaison entre le deuxième scénario et la même topologie sans fil. | |
| (a) : Temps de réponse de téléchargement de l'Email. | |
| (b) : Temps de réponse de téléchargement de Ftp. | |
| (c) : Temps de réponse de la connexion à distance. | 85 |
| Figure IV.24 : Réseau WLAN de mode Ad hoc. | 86 |

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.25 : Configuration du premier nœud. | 87 |
| Figure IV.26 : Charge du WLAN entre deux clients. | 87 |
| Figure IV.27. (a) : Attributs de point d'accès | |
| (b) : Attributs du Laptop 1. | 88 |
| Figure IV.28 : Deuxième exemple WLAN de mode Ad Hoc. | 89 |
| Figure IV.29 : (a) : Schéma représentant le délai moyen. | |
| (b) : Schéma représentant le débit moyenne. | 90 |

Liste des tableaux

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1 : Niveaux basses du modèle OSI pour le 802.11 sans fil..... | 25 |
| Tableau II. 2 : Différentes vitesses de transmission en fonction des modes (source : Cisco)..... | 35 |
| Tableau III.1 : Valeurs indiquées dans le Startup Wizard..... | 57 |
| Tableau IV.1 : Facteurs de simulation et les niveaux d'étude du réseau sans fil..... | 75 |

BIBLIOGRAPHIE

[1] **Regis J. BATES**, “*Wireless Networked Communications*”, Edition McGraw-Hill, Inc, 1994.

[2] **A. BRAZEAU**, “*Quel est l'état actuel du déploiement sans fil ?* ”, Directeur Wireless ATM – NEWBRIDGE (Canada) ATM 99 Rennes France.

[3] **ALAGHA, PUJOLLE, VIVIER**, “*Réseaux de mobiles & réseaux sans fil*”, Edition Eyrolles 2001.

[4] **L. TOUTAIN**, “*Réseaux locaux et Internet des protocoles à l'interconnexion*”, Editeur HERMES SCIENCE PUBLICATION 2003.

[5] **J. B. Andersen, T. S. Rappaport, S. Yoshida**, “Propagation measurements and models for wireless communications channels”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, no.1, pp. 42-49, 1995.

[6] **Vincent ALLAIN**, “*Solution d'Interconnexion par Faisceau Hertzien* ”, JTR 2002 Limoges

[7] **Vincent BLAVET**, “*Technologies des réseaux locaux*”, JTR 2002 Limoges

[8] **Jennifer BRAY, Charles F. STURMAN**, “*Bluetooth 1.1 Connexions sans fil*”, Editions Campus Press 2002

[9] **H. L. Bertoni**, “*Radio Propagation for Modern Wireless Systems*”, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, Etats-Unis, 2000.

[10] **N. Blaunstein**, “*Radio Propagation in Cellular Networks*”, Artech House, Boston, Etats-Unis, 1999.

[11] **G. D. Durgin**, “*Space-Time Wireless Channels*”, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, Etats-Unis, 2003.

[12] **Guy PUJOLLE**, “*Les réseaux*”, Edition Eyrolles 2000.

[13] **Collectif d'auteurs sous la direction de G. BAUDOIN**, “*Radiocommunications numériques /1*”, Edition Dunod 2002.

[14] **DI GALLO Frédéric**, “*WiFi : L'essentiel qu'il faut savoir...* ”, *Extraits de source diverses récoltées en 2003*.

[15] **DIDI née LAHFA FEDOUA**, “*Qualité de Service dans les réseaux locaux sans fil de type IEEE 802.11*”, Soutenue le 6 janvier 2010.

[16] **Philippe ATELIN**, “*WiFi : Réseaux sans fil 802.11 : Technologie - Déploiement – Sécurisation*”, Editions ENI.

[17] **Source** : <http://www.recon.cx/en/s/dhulton.html>.

[18] **MIL3 Inc**, “*OPNET Modeling Concepts*”, 2001.

[19] **MIL3 Inc**, “*OPNET Modeling Reference*”, 2001.

[20] **David CARSENAT**, “Contribution à l’étude de réseaux de communication sans fil, Application au LMDS ”, Thèse de Doctorat en Télécommunications, 15 Octobre 2003.

[21] **Jean-Michel TIERS**, “*PROJET D’ETUDES SUR LE LOGICIEL DE SIMULATION OPNET MODELER*”, Département IMA POLYTECH’LILLE (Ex – EUDIL).

[22] **Help du logiciel OPNET**

[23] Charley BATAILLE, Sofia DJERROUD, Saïd ISSAOUB ALLAH, Christine PHAM DANG, Virginie ROCHE, ING5 TR, « PROJET DE FIN D’ETUDES : Réalisation d’un réseau WiFi sous OPNET et implémentation de mécanismes de sécurité », Ecole centrale d’électronique, Groupe ECE.

[24] Salam A. Najim, Ibrahiem M. M. El Emary, and Samir M. Saied, «Performance Evaluation of Wireless IEEE 802.11b used for E-Learning Classroom Network», IAENG International Journal of Computer Science, 34:1, IJCS_34_1_7, University Amman, Jordan

[25] Ya Bao, «OPNET Experiments, LAB 2 LAN Implementation», ECI-M-917, Faculty of Engineering, Science and the Built Environment, 2010-2011.

[26]<http://www.stidentsplanet.net/>

[27] Dr. Ashraf S. Mahmoud, «Network Simulation Tools – OPNET Modeler, Wi-Fi Network Implementation», 25/2/2007.

Résumé

Ce travail est consacré à la conception des réseaux sans fils avec le logiciel OPNET. Un réseau sans fil est un réseau dans lequel au moins deux terminaux sont capables de communiquer entre eux grâce à des signaux radioélectriques. Afin de connaître les performances d'un réseau sans fil, le logiciel OPNET est utilisé parmi les logiciels commerciaux qui permettent de construire des simulations d'infrastructure réseau et recueillir les statistiques au sujet de performance de réseau.

Ce projet de fin d'études s'intéresse à l'étude des réseaux locaux sans fils plus précisément la conception des réseaux WiFi avec le logiciel OPNET dans le but de connaître les performances de tels systèmes et ainsi de prévoir ses comportements vis-à-vis aux différents effets qui l'influencent.

Abstract

This work is devoted to the wireless networks design with OPNET software. A wireless network is a network in which at least two terminals are able to communicate between them using to radioelectric signals. In order to know the performances of a wireless network, the OPNET software is used among the commercial software that allows you to build network infrastructure simulations and to collect the statistics about network performance.

This project of studies end is interested in the study of the wireless local area networks more precisely the WiFi networks design with OPNET software in the purpose to know the performances of such systems and thus to envisage its behaviors opposite with the various effects which influence it.

ملخص

يختص هذا العمل لتصميم الشبكات اللاسلكية ببرنامج OPNET الشبكة اللاسلكية هي عبارة عن شبكة فيها جهازين على الأقل قادرة على التواصل مع بعضها باستخدام إشارات الراديو الكهرومغناطيسية. لمعرفة نتائج أداء شبكة لاسلكية نستخدم البرنامج OPNET من بين البرمجيات التجارية التي تسمح لكم بمحاكاة شبكة ذات بنية تحتية وجمع إحصاءات حول نتائج أداء الشبكة.

هذا المشروع للتخرج الدراسي مهتم لدراسة الشبكات المحلية اللاسلكية خاصة لتصميم شبكات WIFI ببرنامج OPNET من أجل معرفة نتائج أداء هذه الأنظمة وبالتالي التنبؤ بالنتائج التي تنجم عن مختلف التغيرات التي تؤثر عليها.