



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et télécommunications

Réf. :

Présenté et soutenu par :
-Boucetta Yasmine - Meraidja Zakaria

Le : [Click here to enter a date.](#)

Les protocoles de transport dans un réseau de télécommunication

Jury :

Mrs. Atamna Nora	MAA	Université de Biskra	Président
Mr. Abdesselam Salim	MCB	Université de Biskra	Examineur
Mrs. Hendaoui Mounira	MCB	Université de Biskra	Rapporteur

Résumé :

Les réseaux de télécommunications ont besoin de protocoles pour gérer tous les processus de transmission et de présentation tels que les protocoles de la couche transport qui fournissent des informations orientées connexion sessions et des services de livraison de données fiables c'est pour ça ils sont considérés comme une base de la suite de protocoles Internet. Ce travail cherche à refléter une analyse comparative entre les deux protocoles de la couche de transport, qui sont TCP et UDP donc pour déterminer ces performances avec précision nous avons mis en œuvre une structure de réseau ,l'un sans fil qui est le WIMAX et l'autre filaire (réseau internet basé sur la configuration client-serveur) à l'aide d'OPNET Modeler dans le but d'examinés ces protocoles en termes de plusieurs paramètres. Enfin, sur la base des résultats obtenus nous présentons une conclusion qui montre la différence entre ces deux protocoles et comment ils fonctionnent.

Les mots clés: Couche transport, protocole TCP, protocole UDP, réseaux de télécommunications, Modèle OSI, OPNET Modeler.

ملخص :

تحتاج شبكات الاتصالات إلى بروتوكولات للتحكم في جميع عمليات الإرسال والعرض مثل بروتوكولات طبقة النقل التي توفر معلومات موجهة للجلسة وخدمات توصيل بيانات موثقة، وهذا هو سبب اعتبارها قاعدة لمجموعة بروتوكولات الإنترنت. يسعى هذا العمل إلى عكس تحليل مقارن بين بروتوكولي طبقة النقل ، وهما TCP و UDP ، لذلك لتحديد هذه الأداء بدقة ، نقوم بتنفيذ بنية شبكة واحدة لاسلكية وهي WIMAX والأخرى سلكية (شبكة الإنترنت القائمة على شبك تكوين خادم-عميل) باستخدام OPNET Modeler لفحص هذه البروتوكولات من حيث العديد من الإعدادات. أخيرًا، بناءً على النتائج العملية التي تم الحصول عليها، نقدم استنتاجًا يوضح الفرق بين البروتوكولين وكيفية عملهما.

الكلمات المفتاحية : طبقة النقل ، نموذج TCP ، نموذج UDP ، شبكات الاتصالات ، نموذج OSI ، OPNET Modeler.

Abstract:

Telecommunication networks need protocols to govern all transmission and presentation processes such as transport layer protocols which provide session connection oriented information and reliable data delivery services that is why they are considered as a base of the Internet protocol suite. This work seeks to reflect a comparative analysis between

the two transport layer protocols, which are TCP and UDP therefore to determine these performances with precision we implement a network structure one wireless which is the WIMAX and the other wired (internet network based on the client-server configuration) using OPNET Modeler in order to examine these protocols in terms of many parameters. Finally, based on the practical results obtained, we present a conclusion that shows the difference between these two protocols and how they work.

Keywords: Transport layer, TCP protocol, UDP protocol, telecommunications networks, OSI model, OPNET Modeler.

Remerciement

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices; nos remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'étude. Je tiens aussi à adresser mes remerciements à nos familles, et plus précisément à nos parents qui ont toujours soutenus et poussés à continuer notre études. Ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien.

*Nous offrons de sincères et chaleureux remerciements à notre encadrant **M.Hindaoui** pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*L'adresse aussi mes très sincères remerciements à ma sœur **Boucetta Abir**, Docteur dans le laboratoire de modélisation des systèmes embarquées LMSE à l'Université de Biskra pour leur disponibilités, leur idées, leur conseils et leur encouragements qui m'ont permis de mener à bien cet mémoire.*

Je voudrais également remercier les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de me diriger et corriger ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier toutes les équipes de département de Génie électrique spécialité Réseaux et télécommunications pour leur professionnalisme et leur disponibilité tout au long de ces cinq années de scolarité.

À nos camarades de la promotion 2021-2022

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Mille excuses et merci également à ceux que j'ai pu oublier !



DÉDICACE

El Hamdolillah à Dieu le tout puissant de nous avoir donnés le courage et la force pour réaliser ce mémoire, qui n'aurait jamais été réalisé sans sa bénédiction.

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont les plus chères au monde et qui m'ont encouragé tout le long de ma vie par leurs amours inconditionnels et leurs soutiens constants :

Ma chère mère, qui est la source de mon énergie et de mon inspiration, elle est celle qui m'a accompagné à chaque étape de ma vie et a cherché mon bonheur.

Mon cher père, qui est mon soutien et la source de mon bonheur, il m'a tout donné tout au long de ma vie.

Que Dieu me les gardes pour toujours.

*À toute la famille **Boucetta.***

À mes sœurs et mon frère :

Abir, Nermine, Randa, Dabel, Moncef.

À mes amis et mes collègues.

*Surtout mon binôme **Meraidja Zakaria.***

Boucetta Yasmine.

DÉDICACE



El Hamdolillah, que m'a réussi à accomplir ce travail modeste, fruit de plusieurs années d'efforts.

Je dédie ce travail :

Ma chère Mère, que a toujours été présente pour moi, dans les moments le plus difficiles et que sans cesse veille sur moi avec ses prières, pour ses grands sacrifices et tout l'amour.

Mon cher Père, pour tous ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.

Que dieu me les grades.

À mes frères et ma sœur :

Zohair, Ali, Ayman, Sofwan, Aya.

Tous les membres de ma famille.

Tous les amis de la promotion 2022.

Surtout mon binôme Boucetta Yasmine.

Meraijsa Zakaria



"بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ"

"سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا

مَا

عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ

الْحَكِيمُ"

"العظيم الله صدق"



Liste des Acronymes

Liste des acronymes

ACL: Access control list.

ARP: Adresse Resolution Protocol.

BGP: Border Gateway Protocol.

BSD: Berkeley Software Distribution.

DCCP: Datagram Congestion Control Protocol.

DNS: Domain Name System.

FTP: File Transfer Protocol.

HTTP: HyperText Transfert Protocol.

ICMP: Internet Control Message Protocol.

IETF: Internet Engineering Task Force.

IGMP: Internet Group Management Protocol.

IP: Internet Protocol.

IRC: Internet Relay Chat.

ISO: International Organization for Standardization.

LAN: Local Area Network.

Linux: Linus Torvald's UNIX.

LLC: Logical Link Control.

MAC: Media Access Control.

MAN: Métropolitains Area Network.

MAU: Multistation Access Unit.

NIC: Network Interface Card.

OPNET: Optimum Network Performance.

OS: open system.

OSI: Open Systems Interconnection.

Liste des acronymes

OSPF: Open Shortest Path First.

PDU: Protocol Data Unit.

PPP: Point-to-Point Protocol.

RARP: Reverse Address Resolution Protocol.

RIP: Routing Information Protocol.

Rom: Read Only Memory.

RTP: Real Time Transport Protocol.

SCTP: Stream Control Transmission Protocol.

SDU: Service Data Unit.

SLIP: Serial Line Internet Protocol

SMTP: Simple Mail Transfert Protocol.

SPX: Sequenced Packet Exchange.

SSH: Secure Shell.

TCAP: Transaction Capabilities Application Part.

TCP: Transmission Control Protocol.

Tel net: Network Terminal Protocol.

UDP: User Datagram Protocol.

UNIX: Universal Network Information Exchange.

VoIP: Voice over IP.

WAN: Wide Area Network.

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

WIMAX: Worldwide interoperability for microware access.

XMPP: Extensible Messaging and Presence Protocol.



*Liste des
Figures et des
Tableaux*

Liste des figures et tableaux

N° Figure	Titre	Page
	CHAPITRE I	
Figure I.1	Modèle du logiciel Client-serveur	8
Figure I.2	Schéma explicatif du Serveur WEB	9
Figure I.3	Schéma explicatif du Serveur DNS	9
Figure I.4	Schéma explicatif du serveur d'impression	9
Figure I.5	Schéma explicatif du serveur de messagerie	10
Figure I.6	Schéma explicatif du serveur d'application	10
Figure I.7	Schéma explicatif du Serveur de données	11
Figure I.8	Schéma de constituants d'un ordinateur	13
Figure I.9	Schéma d'une carte réseau	14
Figure I.10	Principe de fonctionnement d'un répéteur.	14
Figure I.11	Schéma explicatif d'une Connexion matérielle du Modem routeur Wi-fi	16
Figure I.12	Différentes Catégories des réseaux selon la distance et la taille	18
Figure I.13	Topologie en bus	19
Figure I.14	Topologie en étoile	20
Figure I.15	Topologie en anneau	21
Figure I.16	différents dispositifs de système Pare-feu	21
Figure I.17	principe de fonctionnement de l'ACL	22
Figure I.18	Architecture du modèle standard ISO	24
Figure I.19	Les différentes règles de communication d'un réseau en 7 couches d'OSI	25
Figure I.20	Le processus d'encapsulation	29
	CHAPITRE II	
Figure II.1	Le modèle OSI et l'architecture TCP/IP	32
Figure II.2	Communication du transport de bout en bout	34
Figure II.3	Format d'un paquet TCP	37
Figure II.4	Datagramme du pré en-tête TCP	38
Figure II.5	Établissement d'une connexion	39
Figure II.6	Transfert des données	40
Figure II.7	Clôture de connexion	41
Figure II.8	Datagramme d'UDP	42
Figure II.9	Datagramme du pré en-tête UDP	42

Liste des figures et tableaux

CHAPITRE III		
Figure III.1	Version académique d'OPNET	47
Figure III.2	Version commerciale d'OPNET	47
Figure III.3	Project editor	48
Figure III.4	Palette des objets OPNET	50
Figure III.5	Node model editor	51
Figure III.6	Création d'un projet	52
Figure III.7	Nouveau projet	52
Figure III.8	Type de projet	53
Figure III.9	Dimension de réseau	53
Figure III.10	Duplication de scénario	54
Figure III.11	L'architecture de réseau implémenté	54
Figure III.12	La durée de simulation	57
Figure III.13	Résultats de simulation	58
Figure III.14	Temps de réponse (secondes) de TCP et UDP	58
Figure III.15	Trafic reçus (paquets/sec) pour le serveur	59
Figure III.16	Trafic émis (paquets/sec) pour le serveur	60
Figure III.17	Trafics/liens utilisés du WAN au serveur	60
Figure III.18	La configuration de la dimension du paquet (bytes)	61
Figure III.19	La configuration du taux de rejet de paquets	62
Figure III.20	Utilisation de la liaison avec un taux de rejet de paquets de 1 %	62
Figure III.21	Implémentation d'un réseau sans fil	63
Figure III.22	Spécification de la technologie	64
Figure III.23	Spécification de dimension et superposition géographique	64
Figure III.24	Les composants de réseau simulé	65
Figure III.25	L'architecture de réseau WIMAX implémenté	65
Figure III.26	Les différents scénarios utilisés	66
Figure III.27	Résultat de simulation	67
Figure III.28	Le temps de retard d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX	67
Figure III.29	Le chargement d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX	68
Figure III.30	Les données perdues d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX	69

Liste des figures et tableaux

Tableau I.1	Les composants d'un système d'exploitation réseau	12
Tableau II.1	Caractéristiques des protocoles de transport IETF	43
Tableau III.1	Les composants de réseau implémenté	55
Tableau III.2	Les paramètres de simulation	57
Tableau III.3	Les paramètres de configuration de WIMAX	66
Tableau III.4	Les paramètres de configuration de station de base	66



Table des Matières



Table des Matières

Liste des Acronymes..... I
Liste des Figures et tableaux III
Table des Matières.....VI
Introduction Générale.....2

Chapitre I

Généralités sur les réseaux informatiques et télécommunications

Introduction.....5
I-1 Définition5
 I-1-1 Le réseau de télécommunications5
 I-1-2 Définition de réseaux informatiques6
I-2 Les composants des réseaux informatiques et télécommunications7
 I-2-1 Constituants logiciels d'un réseau informatique7
 I-2-2 Les constituants matériels d'un réseau de télécommunication 13
I.3 Classement des réseaux informatiques et télécommunications.....16
 I-3-1 Classement des réseaux selon les domaines d'application16
 I-3-2 Classements des réseaux selon les distances couvertes et la taille.....17
 I-3-3 Classements des réseaux selon les débits18
 I-3-4 Classement des réseaux selon la mobilité.....18
I-4 Les topologies d'un réseau.....19

Table des matières

I-4-1 La topologie logique.....	19
I-4-2 La topologie physique.....	19
1-Topologie en bus.....	19
2-Topologie en étoile.....	20
3-Topologie en anneau	20
I-5 La sécurité des réseaux informatiques	21
I-5-1 Pare-feu	21
I-5-2 Les listes de contrôles d'accès (ACL)	22
I-6 Les avantages et les défis des réseaux informatiques et télécommunications.....	22
I-6-1 Les avantages.....	22
I-6-2 Les défis.....	23
I-7 Le modèle de référence OSI	23
I-7-1 Définition.....	23
I-7-2 Principe du modèle	24
1- La couche physique.....	25
2- La couche liaison de données	26
3- La couche réseau.....	26
4- La couche transport	26
5- La couche session	27
6- La couche présentation.....	27
7- La couche application.....	28
I-7-3 Transmission de données à travers le modèle OSI	28
I-7-3-1 L'encapsulation.....	28

Conclusion.....29

Chapitre II

Les protocoles de la couche de transport TCP et UDP

Introduction.....31

II-1- Le modèle TCP/IP.....31

 II-1-1- Définition.....31

 II-1-2- Description des couches TCP/IP.....31

 II-1-2-1 Couche application.....31

 II-1-2-2 Couche transport.....32

 II-1-2-3 Couche Internet.....32

 II-1-2-4 Couche Accès réseau.....32

II-2- Caractéristiques de la pile TCP/IP.....33

II-3- La couche transport du modèle TCP/IP.....33

 II-3-1- Principe de la couche transport.....34

 II-3-1-1 Communication bout en bout.....34

 II-3-1-2 Identification de connexion transport (adresse IP, port).....34

 II-3-1-3 Service transport.....35

 II-3-2- Les protocoles de la couche transport.....35

 II-3-2-1- Le protocole TCP (Transmission Control Protocol).....36

 II-3-2-2- Le protocole UDP (User Datagram Protocol).....41

Conclusion.....44

Chapitre III

Evaluation de performances des protocoles de la couche de transport TCP et UDP

Introduction.....46

III-1 Simulation des réseaux.....46

III-2 Présentation d’outil de simulation (OPNET modeler)46

 III-2-1 Principales interfaces.....48

III-3 Simulation et interprétation des résultats.....52

 III-3-1 Réseau N°1 : (client/serveur)52

 III-3-1-1 Topologie de réseau simulé.....52

 III-3-1-2 Discussion des résultats obtenus57

 III-3-2 Réseau N°2 : Le réseau WIMAX63

 III-3-2-1 Topologie de réseau simulé.....63

 III-3-2-2 Discussion des résultats obtenus.....67

Conclusion.....69

Conclusion générale72



Introduction

Générale

Introduction générale :

Les réseaux de télécommunications modernes dépendent fortement de l'échange rapide et fiable de leurs paramètres de fonctionnement entre différentes entités, c'est ce qui a motivé l'organisation internationale de normalisation (ISO) en 1978 à offrir un standard universel pour l'échange d'informations entre réseaux au-delà des frontières géographiques. Ce standard d'architecture de réseau était le modèle à sept couches pour l'interconnexion de systèmes ouverts (OSI) dont chacune correspond à une fonctionnalité particulière d'un réseau, les quatre premières couches dites basses, assurent l'acheminement des informations entre les extrémités concernées et dépendent du support physique et les trois autres couches dites hautes, sont responsables du traitement de l'information relative à la gestion des échanges entre systèmes informatiques ce qui a permis le modèle OSI de contribuer plus de conformité dans la conception des réseaux de communications et dans le contrôle des traitements répartis [1].

Les constructeurs réalisent des ordinateurs et des équipements dotés de plus d'intelligence afin que les réseaux de données privés ou publics aient été créés pour connecter ces matériels, car les communications entre ces systèmes répartis requièrent une approche standard dans la conception de réseau, qui définit les relations et les intersections entre les services et les fonctions de réseau, grâce à des interfaces et des protocoles communs [2].

Cette approche nécessite un ensemble de règles qui régissent les échanges de données entre différentes entités. En effet, cet échange supporte des services de communications de base tels que les protocoles, qui jouent un rôle important dans la gestion de divers réseaux selon des mécanismes de haute précision [3].

Les protocoles TCP et UDP sont des composants principaux de la couche de transport qui est un élément central de l'architecture réseau en couches, leur but ultime est de fournir un service efficace, rentable à ses utilisateurs, elle a le rôle d'offrir des appuis de communication directement aux processus d'application s'exécutant sur différents hôtes, donc c'est le transporteur logique de bout en bout pour le transfert des données d'un point à un autre de l'Internet grâce à ces protocoles [4].

Introduction Générale

Alors dans notre travail présenté par ce projet, nous nous intéressons à l'étude et la compréhension de la performance des deux protocoles de transport TCP et UDP en vue de répondre aux problèmes posés par leurs utilisation pour déterminer qui est le meilleur, c'est pour ça nous avons mené une étude à l'aide d'un simulateur OPNET Modeler pour découvrir les différences entre eux, en identifiant leurs points négatifs et positifs afin d'évaluer les performances de chacun d'entre eux dans son domaine.

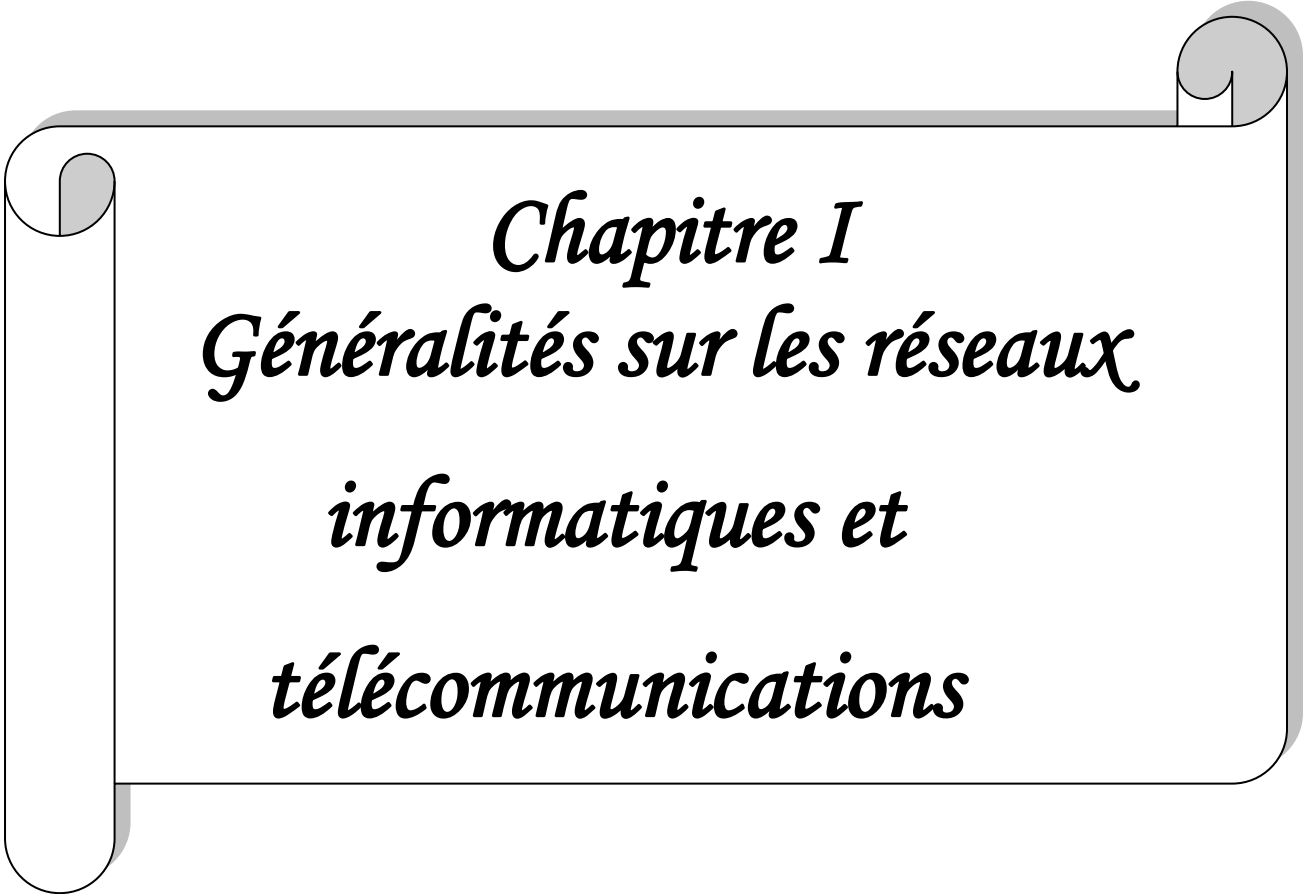
Selon les besoins et les objectifs de notre étude, ce travail est réparti sur trois chapitres présentant l'enchaînement suivi pour résoudre la problématique posée ci-dessus. Les principaux chapitres sont présentés comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à l'étude d'un aperçu général sur les réseaux informatiques et télécommunications, leurs concepts et leurs caractéristiques.

Le deuxième chapitre est réservé à présenter la couche transport en examinant son importance et son principe de fonctionnement, notamment au niveau du modèle hiérarchique, et à définir les protocoles de base qui réalisent ses tâches, qui sont : TCP et UDP.

Le dernier chapitre traite la partie pratique qui comporte une étude et évaluation des performances de ces protocoles pour découvrir les différences entre eux, en créant une architecture de réseau filaire et sans fil basée sur le simulateur OPNET Modeler.

Comme tout travail de recherche, une conclusion s'impose, cette dernière reprendra les points essentiels de tout le travail et les perspectives envisagés. Nous présenterons par la suite la liste bibliographique qui nous a servi dans l'élaboration de ce mémoire.



Chapitre I
Généralités sur les réseaux
informatiques et
télécommunications

Introduction :

Auparavant, les systèmes informatiques étaient constitués de matériel et de logiciels hétérogènes, de sorte que l'échange de données entre eux était difficile mais avec le développement des technologies, l'intégration des réseaux informatiques et des télécommunications a rendu la communication possible. Ceci est lié au progrès rapide de la technologie continue (l'évolution des systèmes d'exploitation, la puissance et la vitesse des processeurs, la capacité et la vitesse des disques, etc.) sans oublier les efforts de normalisation des normes internationales qui ont établi des modèles contribuant efficacement à la communication entre les réseaux (OSI Modèle).

I-1 Définition :

Le terme **RESEAU** en anglais **NETWORK** définit un ensemble d'entités (objets, personnes, ordinateurs, etc.) interconnectées les unes avec les autres. Un réseau permet de faire circuler des éléments matériels ou immatériels entre chacune de ces entités selon des **règles bien définies**. Selon le type d'entités interconnectées, le terme sera ainsi différent [5] :

- ▶ **Réseau de transport** : ensemble d'infrastructures et de disposition permettant de transporter des personnes et des biens entre plusieurs zones géographiques.
- ▶ **Réseau téléphonique** : ensemble d'infrastructures permettant de faire circuler la voix entre plusieurs postes téléphoniques.
- ▶ **Réseau informatique** : désigne un ensemble des périphériques informatiques reliés au moyen des lignes physiques (support de transmission) en vue de communiquer, s'échanger de données et partager les ressources.

I-1-1 Définition de réseau de télécommunications :

Est un ensemble des équipements et des supports de transmission dont une des fonctions est de permettre le transfert d'informations. Les réseaux sont nés d'un besoin d'échanger des informations de manière simple et rapide entre des machines. Ils sont donc arrivés à relier d'abord ces machines entre elles (les réseaux locaux). Plus tard ils ont éprouvé le besoin d'échanger des informations entre des sites. Exemples de réseaux de

télécommunications : réseau de télévision, réseau aéronautique, réseau internet [6]. Comme vous pouvez le constater, l'informatique est désormais tellement bien intégré dans le domaine des télécommunications qu'il est devenu presque impossible de les dissocier.

I-1-2 Définition de réseaux informatiques :

Le réseau informatique est un ensemble de ressources matérielles et logicielles permettant à des utilisateurs distants de coopérer, d'utiliser des informations communes ou des logiciels communs, de partager des imprimantes, etc. Les lignes de transmission et les équipements de raccordement sont le plus souvent la propriété de l'utilisateur tel que [7] :

- **L'informatique centralisée :** (Concentrée ou Canalisée : c'est un ensemble des réseaux interconnecté des ordinateurs autonomes).
- **L'informatique répartie :** (distribuée ou partagée : c'est un réseau où les ordinateurs sont rendus transparents à l'utilisateur à l'aide d'un système logiciel).
- **L'informatique synergique :** (coopérative ou parallèle : c'est un réseau permettant de communiquer, d'échanger les informations, de partager des ressources, afin de coopérer pour réalisation des applications en commun).

Les entités qui communiquent au sein d'un réseau informatique sont des ressources informatiques dont on distingue deux types [7]:

- **les ressources matérielles:** C'est une partie informatique pouvant être employée par différents utilisateurs comme les équipements de traitement (les ordinateurs, les imprimantes, les scanners, qui sont les équipements de traitement des données automatisées) et les techniques de transmission de données automatisées (les modems, les cartes réseaux, les commutateurs, les routeurs, les câbles, qui sont des composants de transmission).
- **les ressources logicielles:** C'est un ensemble des Règles de communications entre les composantes et systèmes interconnectés, outre, ce sont les protocoles de communication. par exemple : applications informatiques, jeux, bases de données.

I-2 Les composants des réseaux informatiques et télécommunications :

I-2-1 Constituants logiciels d'un réseau informatique :

Un composant logiciel est un élément constitutif d'un logiciel destiné à être incorporé en tant que pièce détachée dans des applications. Ces composants logiciels peuvent être classifiés en fonction de trois axes : la granularité, l'activité et le domaine [8].

1. Le client : C'est un ordinateur connecté au réseau par l'intermédiaire d'une carte réseau, il caractérise par plusieurs tâches, par exemple [8] :

- C'est un consommateur de service.
- Il établit une connexion au serveur.
- Il envoie des requêtes au serveur.
- Il attend et reçoit les réponses du serveur.

Nous distinguerons deux grandes catégories des logiciels clients selon la tâche à exécuter :

→ **Les logiciels clients par usage :** ce sont des logiciels clients que nous manipulons selon leurs fonctions [8]:

- ✓ Client de messagerie.
- ✓ Client HTTP (web).
- ✓ Client IRC (chat)
- ✓ Client FTP (transfert de fichiers).
- ✓ Client Jabber/XMPP (messagerie instantanée).
- ✓ Client SSH (connexion sécurisée).

→ **Les logiciels clients par ressources :** sont subdivisés en trois grandes sous catégories [9]:

- ✓ **Un client léger :** est entièrement géré par un serveur, de la gestion au stockage des données. Les utilisateurs de l'application auront accès aux données par un portail sécurisé depuis leur navigateur (Internet Explorer, Firefox...).
- ✓ **Un client lourd :** englobe toutes les applications que l'on installe sur chaque poste de travail des différents collaborateurs. Ces applications peuvent être liées à un serveur qui sauvegardera les données. Exemple : Word ou Excel.

- ✓ **Un client riche** : C'est un programme qui permet d'afficher l'interface utilisateur d'une application distante (une application web la plupart du temps), avec cette particularité que l'interface utilisateur est riche, avec un comportement et une ergonomie identique à ce que l'on trouve dans les logiciels desktops.

2. **Serveur** : C'est un ordinateur spécifique ou un ensemble de logiciels qui partagent leurs ressources dans le but de répondre automatiquement aux demandes envoyées par les clients, qui possède les caractéristiques suivantes [10] :

- Il est fournisseur de service.
- Il est à l'écoute et prêt à répondre aux requêtes envoyées par des clients.
- Dès qu'une requête lui parvient, il la traite et envoie une réponse à son expéditeur.

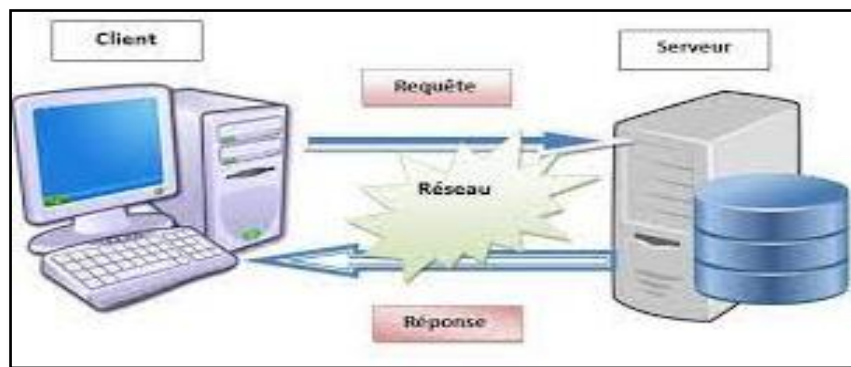


Figure I.1 : Modèle du logiciel Client-serveur [10]

Il existe des nombreux types de serveurs, notamment [11] :

- **Le serveur web** : est une combinaison de logiciels et de matériel qui utilise le protocole HTTP ou d'autres protocoles connexes pour répondre aux demandes des clients sur le réseau. La tâche principale de serveur web est de fournir le contenu demandé, et le serveur y parvient par le stockage, le traitement et la récupération effective des pages web pour les utilisateurs.

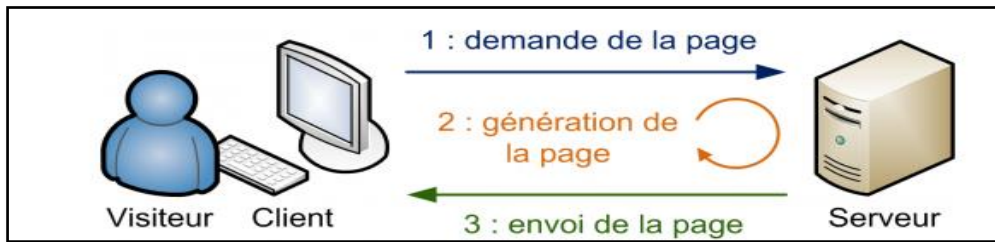


Figure I.2 : schéma explicatif du Serveur WEB [11]

→ **Le serveur DNS** : Le serveur DNS (pour Domain Name System) est un serveur d'applications utilisé pour résoudre les noms de domaines des ordinateurs clients, c'est-à-dire qu'il permet de traduire des noms compris de l'homme en adresses IP exploitables par une machine.

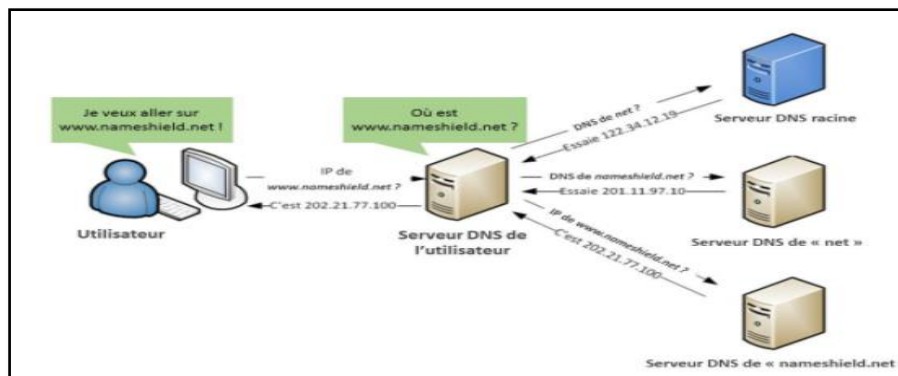


Figure I.3 : schéma explicatif du Serveur DNS [11]

→ **Le serveur d'impression** : est un serveur qui permet de partager une imprimante entre plusieurs utilisateurs situé sur un même réseau informatique.

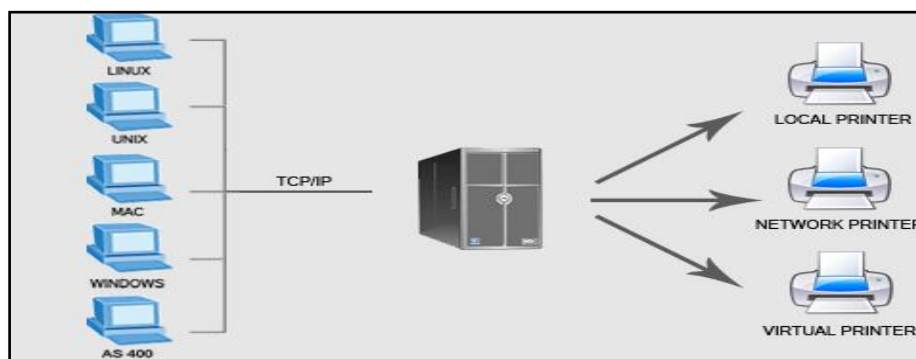


Figure I.4 : schéma explicatif du serveur d'impression [11]

→ **Le serveur mail** : est un serveur de messagerie électronique ou un logiciel qui connecté à Internet, permet à ses utilisateurs d'envoyer et de recevoir des courriers électroniques.

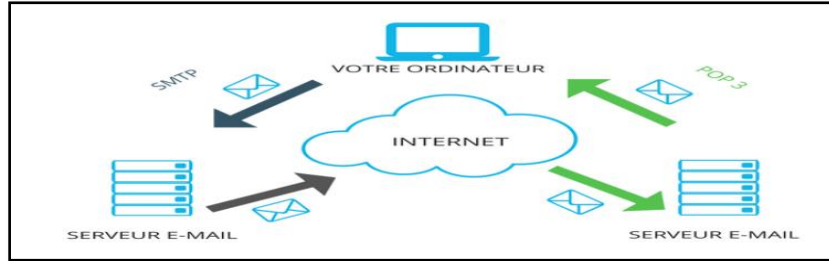


Figure I.5 : schéma explicatif du serveur de messagerie [11].

→ **Le serveur d'applications** : est un logiciel situé entre l'utilisateur et l'architecture transactionnelle. Il permet de centraliser les applications sur un poste de travail, communiquer avec bases de données, de consulter des web-services, effectuer des recherches piloter un robot etc.

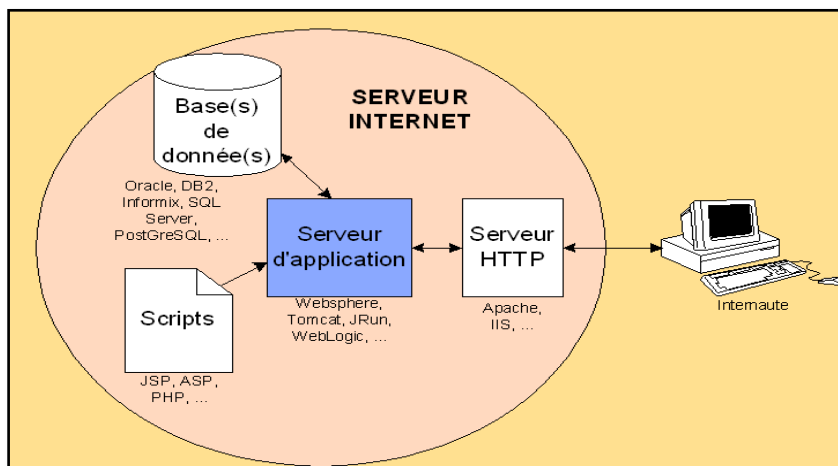


Figure I.6: schéma explicatif du serveur d'application [11]

→ **Le serveur de base de données** : c'est un serveur sert à stocker, à extraire et à gérer les données dans une base de données. Parmi leurs principaux services : Il donne un accès simultané à cette base à plusieurs serveurs Web et utilisateurs, il assure la sécurité et l'intégrité des données.

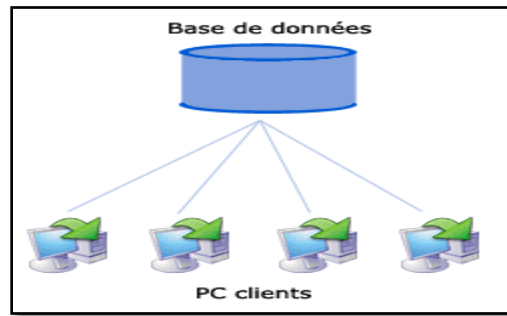


Figure I.7 : schéma explicatif du Serveur de données [11]

3- Le système d'exploitation réseau :

Un système d'exploitation (OS) est un ensemble de logiciels qui gère les ressources matérielles de l'ordinateur et fournit des services communs aux programmes informatiques. Parmi les systèmes d'exploitation réseau incluent Microsoft Windows Server 2003, Microsoft Windows Server 2008, UNIX, Linux, Mac OS X, Novell NetWare et BSD [11].

On distingue deux catégories :

✓ Les systèmes d'exploitation conçus pour fonctionner sur une machine isolée :

Leurs rôle est de gérer l'allocation et l'utilisation de toutes les ressources de l'ordinateur, La mémoire de travail, L'exécution des applications, L'espace disque (mémoire de stockage, ROM), La lecture et l'écriture de fichiers, Les ports et les périphériques, Les IRQ), et coordonne les interactions entre l'utilisateur et les programmes qui sont exécutés sur l'ordinateur.

✓ Les systèmes d'exploitation conçus pour fonctionner en réseau :

Ils sont construits pour satisfaire toutes les demandes de service qui leur sont adressées en même temps par des clients différents.

→ Le rôle de système d'exploitation réseau :

Le système d'exploitation réseau est le chef de gare du réseau. Le rôle du système d'exploitation réseau est multiple [11] :

- L'accès des utilisateurs au réseau:
 - Créer et gérer les comptes des utilisateurs qui ont accès au réseau
 - Définir les permissions des utilisateurs et des groupes (lire, enregistrer, supprimer, exécuter, ...)
- Le partage des ressources:
 - Définir le degré de partage des ressources
 - Des documents :
 - Au niveau des répertoires
 - Au niveau des fichiers
 - Des périphériques :
 - Partager les imprimantes
 - Coordonner les accès simultanés à la même ressource
- La surveillance du réseau :
 - Les performances
 - La sécurité

→ **Les composants d'un système d'exploitation réseau :**

Un réseau est composé au moins deux ordinateurs, un serveur et un client (dans une organisation de type Client/serveur). Les deux ordinateurs peuvent être à la fois client et serveur (dans une organisation de type postes à postes) [11].

Les composants d'un système d'exploitation réseau		
	Le client	Le serveur
Partie du SER	Le logiciel client	Le logiciel serveur
Fonctionnalités	L'accès au réseau	Accepte les requêtes des clients
Nom	Le redirecteur	Le service

Tableau I.1: Les composants d'un système d'exploitation réseau [11]

I-2-2 Les constituants matériels d'un réseau de télécommunication :

Un réseau devient accessible à toute machine si celle-ci dispose d'interfaces et d'un système physique de câblage. Les principaux types de composants d'interconnexion sont [12]:

1. Ordinateur :

Un ordinateur est un équipement d'interconnexion informatique comprenant les organes nécessaires à son fonctionnement autonome qui assure l'exécution, le traitement rapide de données codées sous forme numérique qui peuvent être conservées et transmises.

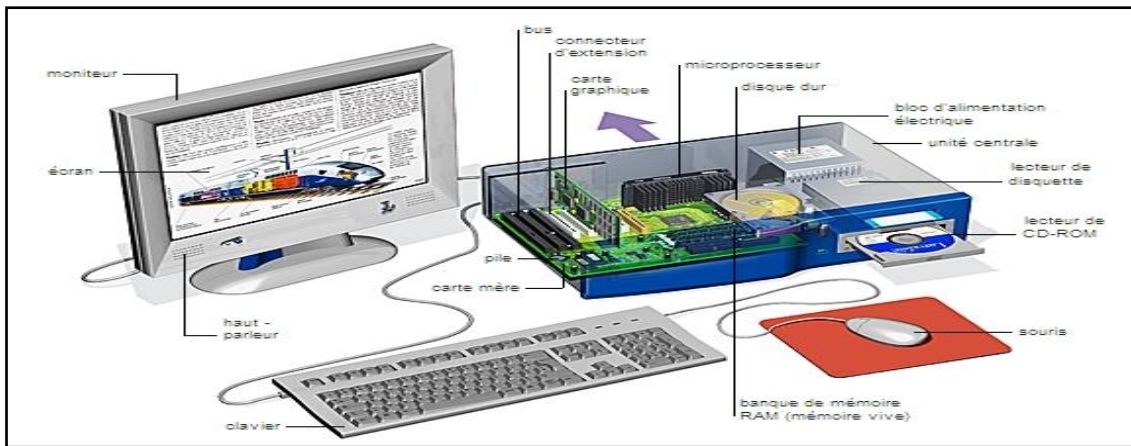


Figure I.8 : Schéma de constituants d'un ordinateur [12]

2. Les câbles :

Ensemble de fils conducteurs isolés les uns des autres et enfermés dans une gaine commune qui les protège électriquement et mécaniquement, utilisé pour l'alimentation électrique ou dans les réseaux de télécommunications.

3. La carte réseau : (Network Interface Card « NIC »)

C'est une carte de circuits imprimés qui possède une adresse physique unique (adresse MAC) et une adresse logique (adresse IP).son rôle est de communiquer le réseau depuis et vers un ordinateur pour envoyer et contrôler les données.

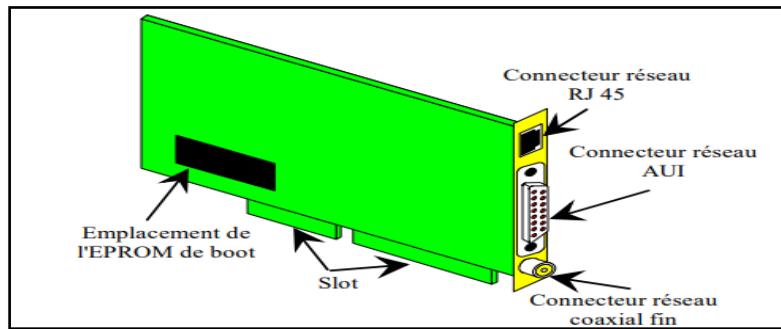


Figure I.9 : Schéma d'une carte réseau [12]

4. Répéteur (Repeater) :

C'est un dispositif électronique combinant un récepteur et un émetteur, qui compense les pertes de transmission d'un média (ligne, fibre, radio) en amplifiant et traitant éventuellement le signal, sans modifier son contenu.

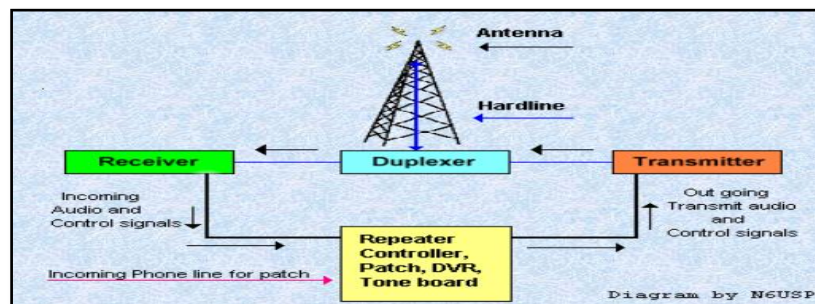


Figure I.10 : principe de fonctionnement d'un répéteur [12]

5. Les concentrateurs (Hubs) :

Servent à relier entre elles toutes les parties d'un même réseau physique, généralement tous les ordinateurs sont reliés à un Hub, sauf dans le cas d'un câblage coaxial où le Hub est inutile. Lorsqu'une information arrive sur un Hub, elle est rediffusée vers toutes les destinations possibles à partir de celui-ci, c'est à dire vers toutes ses prises [12].

6. Les commutateurs (Switches) :

Le commutateur (ou Switch) est un système assurant l'interconnexion de stations ou de segments d'un LAN en leur attribuant l'intégralité de la bande passante, à l'inverse du concentrateur qui la partage. Les commutateurs ont donc été introduits pour augmenter la bande passante globale d'un réseau d'entreprise et sont une évolution des concentrateurs Ethernet (ou HUB) [12].

7. Les ponts (Bridges) :

Ils servent à relier entre eux deux réseaux différents d'un point de vue physique. De plus ils filtrent les informations et ne laissent passer que celles qui doivent effectivement aller d'un réseau vers l'autre. Ils peuvent être utilisés pour augmenter les distances de câblage en cas d'affaiblissement prématuré du signal [12].

8. Les routeurs :

Un routeur est un périphérique multiport qui permet de connecter différents réseaux locaux et étendus, fonctionnant à plusieurs vitesses de transmission et utilisant des protocoles variés. Les routeurs fonctionnent au niveau de la couche réseau (couche 3) du modèle OSI [12].

9. Modem :

Un modem est un périphérique utilisé dans les transmissions par fil téléphonique (ou liaisons WAN) qui module les signaux numériques au niveau des émetteurs, puis démodule les signaux analogiques en signaux numériques au niveau du récepteur [12].

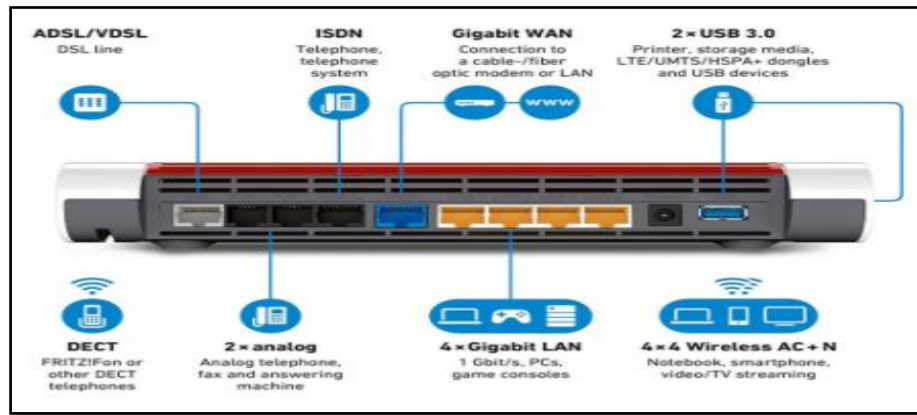


Figure I.11 : Schéma explicatif d'une Connexion matérielle du Modem routeur Wi-fi [12]

10. Les passerelles (Gateway) :

Sont des dispositifs permettant d'interconnecter des architectures de réseaux différentes. Elles offrent donc la conversion de tous les protocoles, au travers des 7 couches du modèle OSI [12].

I-3 Classement des réseaux informatiques et télécommunications:

Nous distinguons plusieurs types des réseaux classifiés selon différents critères tels que [13] :

- ✓ Les domaines d'application.
- ✓ Les distances couvertes.
- ✓ Les débits.
- ✓ La mobilité (Mode de transmission).

I-3-1 Classement des réseaux selon les domaines d'application [13] :

- 1- **Les Réseaux bureautiques** : utilisés pour la communication de données au sein d'une entreprise, université ou une administration pour l'échange d'informations.
- 2- **Les Réseaux industriels** : est un système de communication entre plusieurs équipements de type industriel (capteurs, automates, actionneurs, ...) dans une zone géographique limitée.
- 3- **Les Réseaux de télécommunications** : ensemble d'équipements informatiques reliés entre eux par des canaux de transmission et permettant le partage de ressources et l'échange de données.

4- Les Réseaux embarqués : utilisés dans les robots, les voitures, les trains, les avions, les engins spatiaux, etc.

5- Les Réseaux militaires : utilisés par les systèmes de commandement militaire.

I-3-2 Classements des réseaux selon les distances couvertes et la taille:

1- Le réseau personnel :

Un réseau personnel désigne un type de réseau informatique restreint en matière d'équipements, généralement mis en œuvre dans un espace d'une dizaine de mètres. D'autres appellations pour ce type de réseau sont : réseau domestique ou réseau individuel [13].

2- Les réseaux locaux :

Local Area Network (LAN) Un réseau local est un ensemble d'ordinateurs appartenant à une même organisation et reliés entre eux dans une petite aire géographique par un réseau dont la taille est de quelques kilomètres. Le débit est généralement compris entre 1 Mbit/s et 100 Gbit/s [13].

3- Les réseaux métropolitains :

Métropolitains Area Network (MAN) Un réseau MAN interconnecte plusieurs LANs géographiquement proches (au maximum quelques kilomètres) à des débits importants. Ainsi un MAN permet à deux nœuds distants de communiquer. Un MAN est formée de commutateurs ou de routeurs interconnectés par des liens de hauts débits (généralement de fibres Optiques) [13].

4- Les réseaux distants :

Wide Area Network (WAN) Les réseaux WAN interconnectent plusieurs LANs à travers de grandes distances géographiques. Les débits disponibles sur un MAN résultent d'un arbitrage avec le coût des liaisons (qui augmente avec la distance) et peuvent être faibles contrairement aux WAN qui fonctionnent grâce à des routeurs qui permettent de choisir le trajet le plus approprié pour atteindre un nœud du réseau .

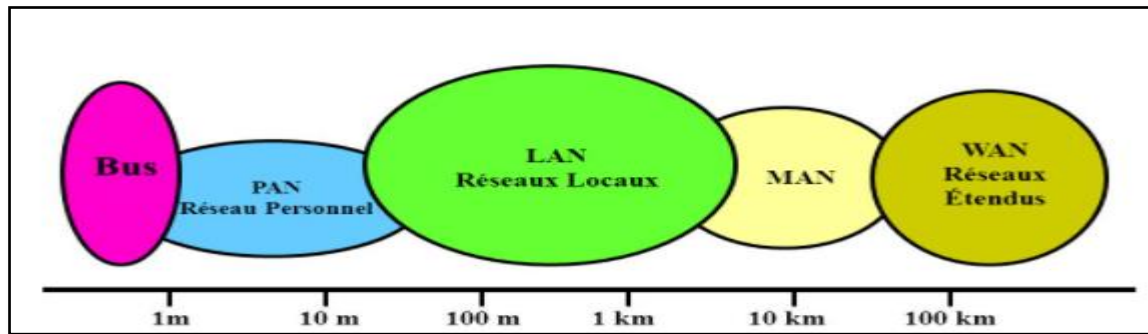


Figure I.12 : Différentes Catégories des réseaux selon la distance et la taille [13]

I-3-3 Classements des réseaux selon les débits :

Le débit d'un réseau désigne le nombre de bits qu'un équipement peut transmettre au maximum par seconde. Pour tenir compte du débit offert, les réseaux sont regroupés en trois catégories [14]:

- 1- Réseaux à faible débit (ou basse vitesse) :** leur débit est de quelques dizaines ou centaines de kb/s.
- 2-Réseaux haut débit :** leur débit varie de quelques Mb/s à 100 Mb/s.
- 3-Réseaux très haut débit :** leur débit dépasse la centaine de Mb/s et peut atteindre aujourd'hui des Gb/s.

I-3-4 Classement des réseaux selon la mobilité (Ou le Mode de transmission) :

On distingue aujourd'hui deux classes de technologie de réseaux [14] :

- 1-Réseaux filaires :** ils utilisent des câbles pour raccorder les équipements au réseau.
- 2-Réseaux sans fil :** les équipements émettent et reçoivent en utilisant des antennes, ce qui leur permet de se déplacer sans interruption de la communication. L'étendue de la mobilité dépend de l'infrastructure utilisée (types d'ondes utilisées, nombre de relais, puissance des relais, etc.).

Dans les réseaux sans fil on distingue deux classes :

- Les réseaux avec infrastructure (ceux sont les réseaux utilisant des points d'accès).
- Les réseaux ad hoc ou sans infrastructure.

I-4 Les topologies d'un réseau:

Il existe deux types de topologies : topologie logique et topologie physique [15].

I-4-1 La topologie logique :

Est la structure logique d'une topologie physique, Elle représente la façon dont les données transitent dans les lignes de communication ça dépend de la méthode d'accès au réseau [15].

Les topologies logiques les plus courantes sont :

- ✓ La méthode par contention (topologie d'initiative d'appel).
- ✓ La méthode interrogatoire (topologie par interrogation).
- ✓ La méthode de jeton passant (la topologie de passage de jeton).

I-4-2 La topologie physique :

La topologie physique est la façon dont les équipements sont connectés physiquement les uns aux autres grâce à des lignes de communication (câbles réseaux, etc.) et des éléments matériels (cartes réseau, etc.) [15]

Nous distinguons principalement trois grandes topologies physiques :

1-Topologie en bus:

Est l'organisation la plus simple d'un réseau. En effet, dans une topologie en bus tous les ordinateurs sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câble, généralement coaxial. Le mot "bus" désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau.

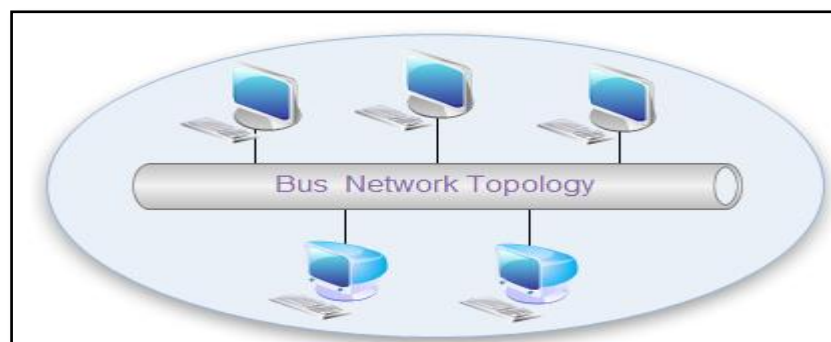


Figure I.13 : Topologie en bus [15]

2-Topologie en étoile:

Les ordinateurs du réseau sont reliés à un système matériel appelé hub ou concentrateur. Il s'agit d'une boîte comprenant un certain nombre de jonctions auxquelles nous pouvons connecter les câbles en provenance des ordinateurs. Celui-ci a pour rôle d'assurer la communication entre les différentes jonctions [15].

Contrairement aux réseaux construits sur une topologie en bus, les réseaux à topologie en étoile sont beaucoup moins vulnérables car nous pouvons aisément retirer une des connexions en la débranchant du concentrateur sans pour autant paralyser le reste du réseau.

En revanche, un réseau à topologie en étoile est plus coûteux qu'un réseau à topologie en bus car un matériel supplémentaire est nécessaire à savoir le hub.

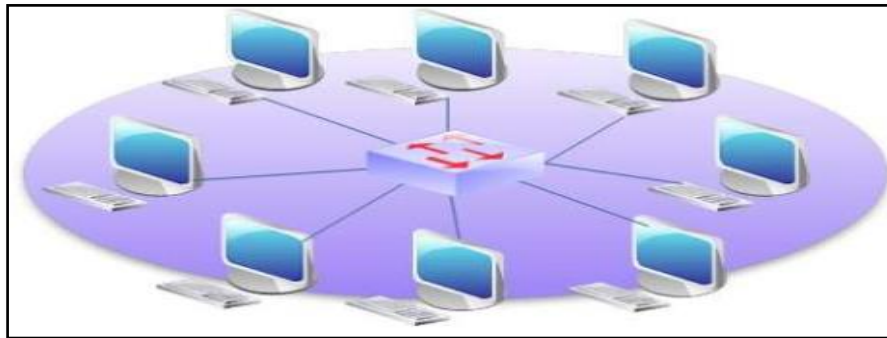


Figure I.14 : Topologie en étoile [15]

3-Topologie en anneau :

Dans un réseau en topologie en anneau les ordinateurs communiquent chacun à leur tour, nous avons donc une boucle d'ordinateurs sur laquelle chacun d'entre eux va avoir la parole successivement [15].

En réalité les ordinateurs d'un réseau en topologie anneau ne sont pas reliés en boucle, mais sont reliés à un répartiteur appelé MAU (Multistation Access Unit) qui gère la communication entre les ordinateurs qui lui sont reliés en accordant à chacun d'entre-eux un temps de parole.

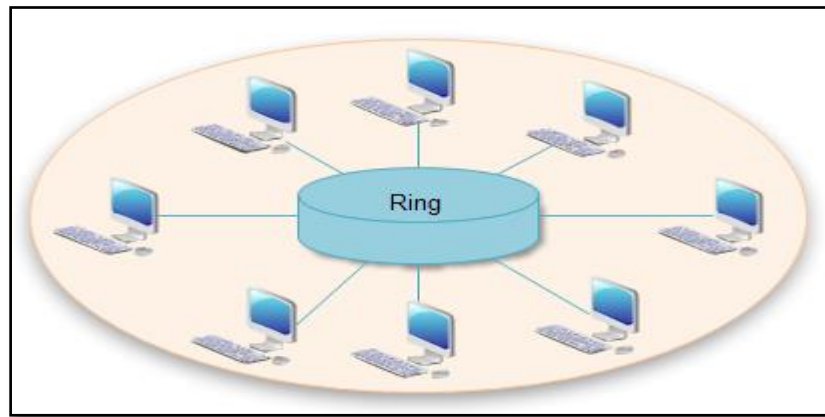


Figure I.15 : Topologie en anneau [15]

I-5 La sécurité des réseaux informatiques :

La sécurité des réseaux consiste à mettre en place des moyens en vue de garantir les propriétés de sécurité concernant des données critiques d'une entreprise, ainsi que de faire appliquer les règles définies dans une politique de sécurité, parmi lesquelles nous trouvons [16] :

I-5-1 Pare-feu :

Un pare-feu est un système ou un groupe de systèmes qui gère les contrôles d'accès entre deux réseaux. Ces dispositifs filtrent les trames des différentes couches du modèle TCP/IP afin de contrôler leur flux et de les bloquer en cas d'attaques, celles-ci pouvant prendre plusieurs formes [16].

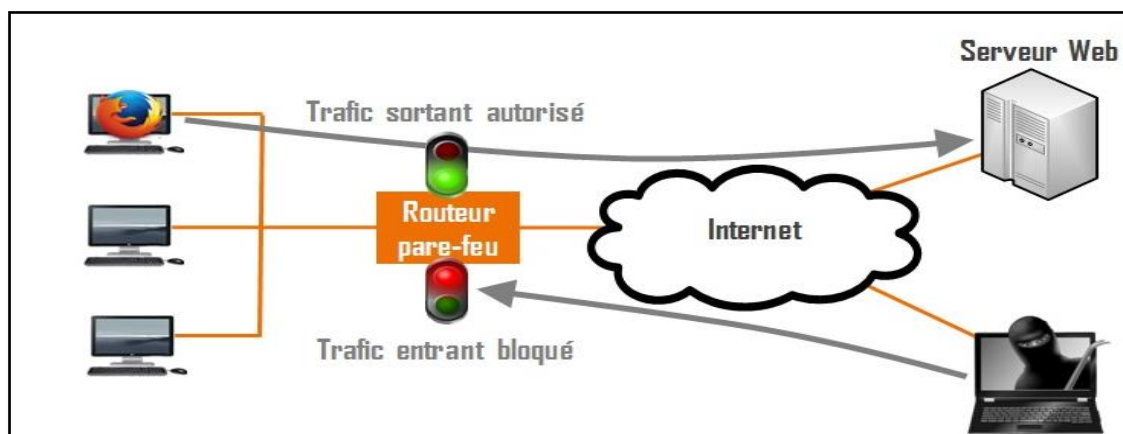


Figure I.16 : différents dispositifs de système Pare-feu [16]

Le filtrage réalisé par le pare-feu constitue la première défense de la protection du système d'information. Il peut être composé de périphériques comportant des filtres intégrés dont la fonction principale est de limiter et de contrôler le flux de trafic entre les différentes parties des réseaux.

I-5-2 Les listes de contrôles d'accès (ACL) :

Les listes de contrôle d'accès sont des listes de conditions qui sont appliquées généralement au trafic circulant via une interface de routeur. Ces listes indiquent au routeur les types de paquets à accepter ou à rejeter. L'acceptation et le refus peuvent être basés sur des conditions précises. Les ACL permettent de gérer le trafic et de sécuriser l'accès d'un réseau en entrée comme en sortie [16].

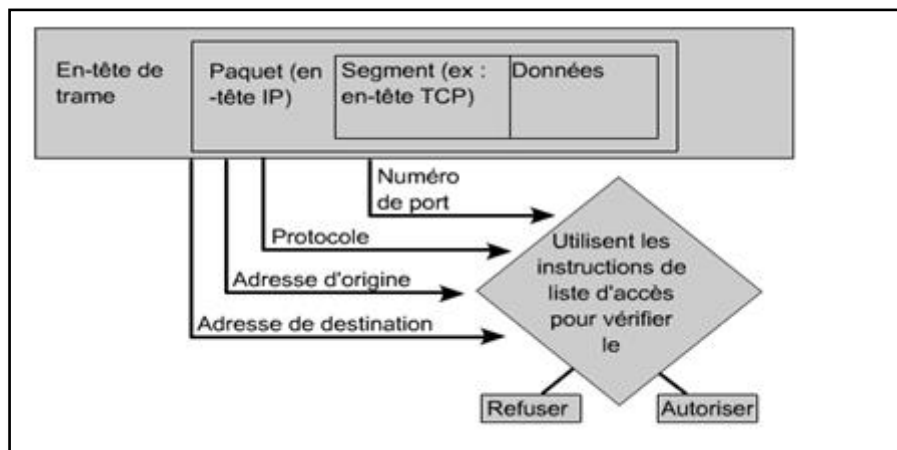


Figure I.17 : principe de fonctionnement de l'ACL [16]

I-6 Les avantages et les défis des réseaux informatiques et télécommunications :

I-6-1 Les avantages :

Les avantages offerts par les réseaux informatiques et télécommunications sont multiples et vont, en fait bien au-delà des privilèges quotidiens de l'informatique. Parmi les principaux avantages [17]:

- Une meilleure communication (Facile et rapide).
- Une Optimisation et gain du temps.
- Une productivité accrue.
- L'accès et la connexion à distance.

- Une prise sur l'avenir.
- Un investissement efficace.

I-6-2 Les défis:

Les nombreuses conséquences fâcheuses et les risques impliqués dans les réseaux informatique et télécommunications peuvent contribuer négativement à la mauvaise performance de ces réseaux. Voici quelques-uns des principaux défis [17] :

- Problèmes de sécurité.
- La propagation rapide de virus informatiques.
- Coût élevé des « Set-Up ».
- Dépendance sur le serveur de fichiers principal.

I-7 Le modèle de référence OSI :

I-7-1 Définition :

Le modèle OSI (Open System Interconnection) est un modèle d'architecture permettant à des réseaux hétérogènes de communiquer. Il s'agit d'une norme officielle, conceptuel, ouverte qui définit comment les systèmes réseaux communiquent et envoient des données d'un expéditeur à un destinataire [18].

Ce modèle constitue 7 couches décrivant l'architecture des réseaux selon un ensemble de caractéristiques qui étaient recherchées par l'ISO :

- Chaque couche possède un niveau d'abstraction distinct.
- Chaque couche remplit une fonction définie.
- Les couches sont définies pour créer des protocoles internationaux normalisés.
- Les couches facilitent la communication entre l'infrastructure et les applications.
- Chaque couche correspond à une fonction spécifique dans la communication réseau.
- Les frontières entre couches doivent être choisies de manière à minimiser le flux d'information aux interfaces.

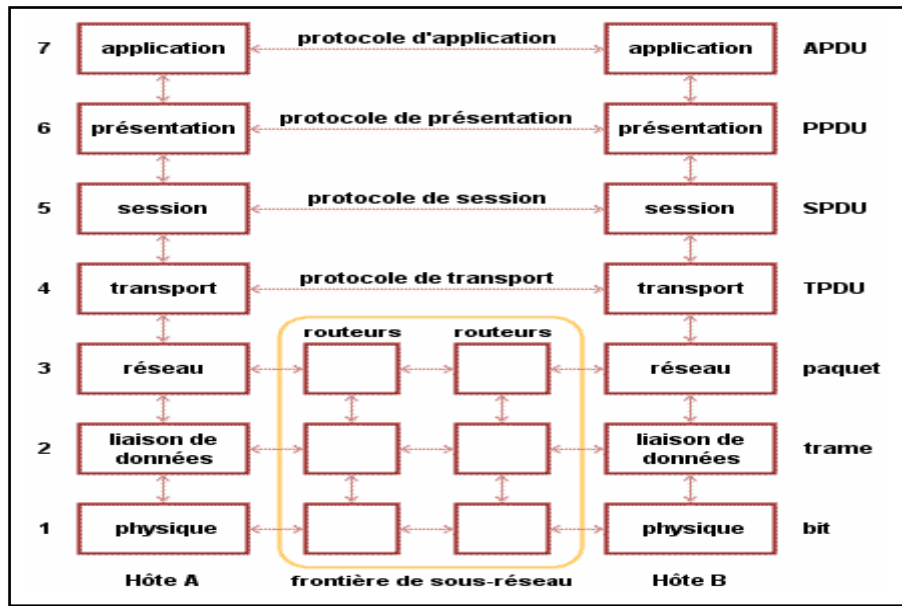


Figure I.18 : Architecture du modèle standard ISO [19]

I-7-2 Principe du modèle :

En 1977, l’Organisation Internationale de Normalisation (ISO) a créé pour des besoins de comptabilités entre les différentes machines tout un ensemble de lois de comptabilités baptisé modèle OSI (Open System Interconnection model).Celui-ci est appelé modèle de référence OSI parce qu’il traite de la connexion entre les systèmes ouverts, c'est-à-dire des systèmes pouvant s’interfacer avec d’autres systèmes.

Le modèle OSI propose le découpage de la communication en 7 couches, afin de permettre de normaliser les méthodes d’échange entre deux systèmes. Chaque couche a un rôle bien particulier et communique sur requête (sur demande) de la couche supérieure en utilisant des services de la couche inférieure (sauf pour la couche physique) [20].

Les données transférées par les services sont des SDU (Service Data Unit).Les échanges de l’information, suivant un protocole, avec les couches distantes de même niveau, sont des PDU (Protocol Data Unit).

Cette décomposition en couches a été créée pour simplifier considérablement la compréhension globale du système et pour faciliter sa mise en œuvre.



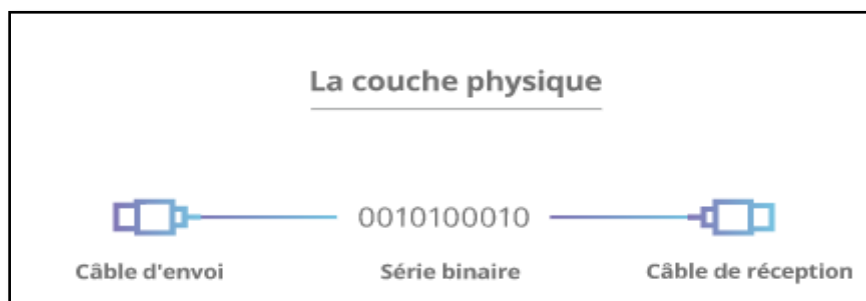
Figure I.19 : Les différentes règles de communication d'un réseau en 7 couches d'OSI [20]

Les différentes couches sont les suivantes [21] :

1. La couche physique :

Cette couche définit les caractéristiques techniques, électriques, fonctionnelles et procédure les nécessaires à l'activation et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de la couche liaisons de données [21].

Donc elle définit les caractéristiques électriques et mécaniques du support.



2. La couche liaison de données :

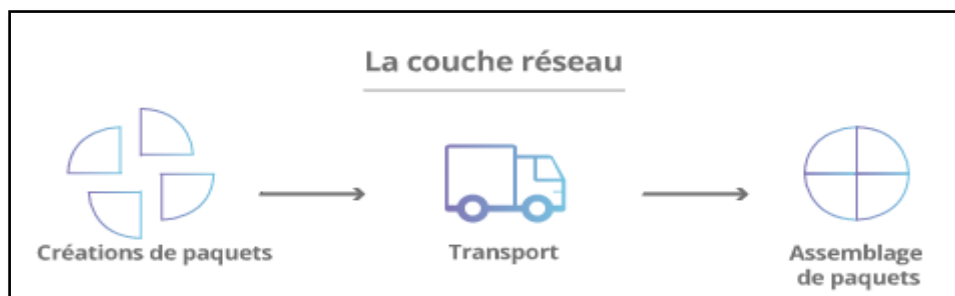
Cette couche définit les moyens fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation et à l'établissement de la connexion entre deux nœuds du réseau. Elle est divisée en deux sous-couches [21]:

- **La couche MAC :** qui structure les bits de données en trames et gère l'adressage des cartes réseaux.
- **La couche LLC :** qui assure le transport des trames et gère l'adressage des utilisateurs, c'est à dire des logiciels des couches supérieures.



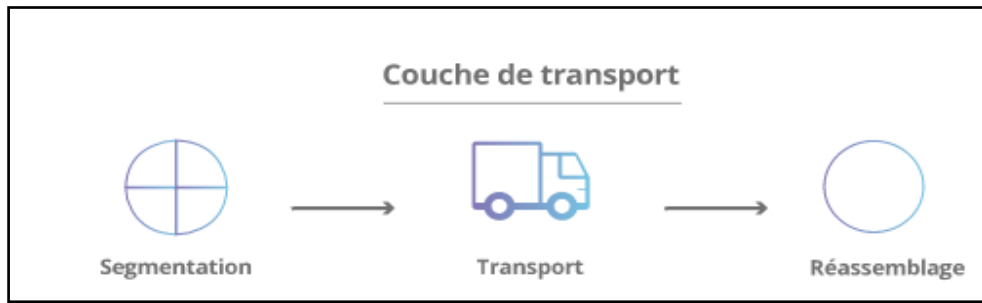
3. La couche réseau :

Elle traite la partie donnée utile contenue dans la trame. Elle connaît l'adresse de tous les destinataires et choisit le meilleur itinéraire pour l'acheminement. Elle gère donc l'adressage logique et le routage [21].



4. La couche transport :

Elle segmente les données de la couche session, prépare et contrôle les tâches de la couche réseau. Elle peut multiplier les voies d'accès et corriger les erreurs de transport [22].



5. La couche session :

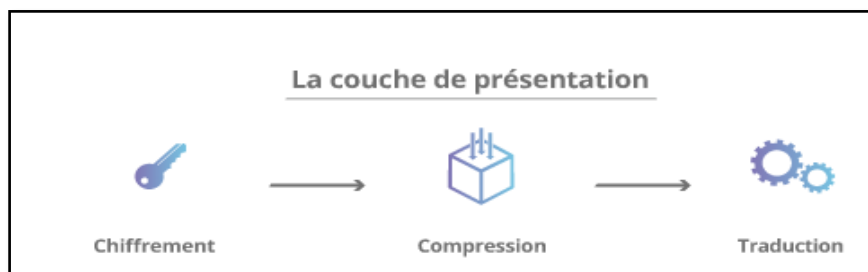
Cette couche fournit aux entités de la couche présentation les moyens d'organiser et de synchroniser les dialogues et les échanges de données. Il s'agit de la gestion d'accès, de sécurité et d'identification des services (noms d'utilisateurs, mots de passe, etc.) [22].



6. La couche présentation :

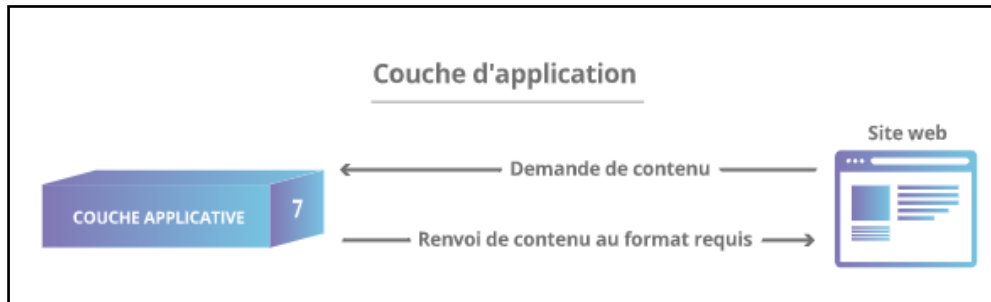
Cette couche assure la transparence du format des données à la couche application.

Elle convertit les données en informations compréhensibles par les applications et les utilisateurs, syntaxe, sémantique, conversion des caractères graphiques, format des fichiers, cryptage, compression [22].



7. La couche application :

C'est l'interface entre l'utilisateur ou les applications et le réseau. Elle concerne la messagerie, les transferts et partages de fichiers, l'émulation de terminaux [22].



I-7-3 Transmission de données à travers le modèle OSI :

I-7-3-1 L'encapsulation :

C'est un mécanisme de transmission de données. Lorsqu'une application envoie des données vers le réseau, chaque couche traversée exécute un processus d'encapsulation de l'unité de données fournie par la couche supérieure en ajoutant un entête, voire une remorque, qui lui est propre. Réciproquement à la réception, chaque couche exécutera une dés-encapsulation pour en final ne restituer que les données utilisateurs à l'application [23].

À chaque niveau, le paquet de données change d'aspect, car on lui ajoute un en-tête, ainsi les appellations changent suivant les couches :

- Le paquet de données est appelé message au niveau de la couche application.
- Le message est ensuite encapsulé sous forme de segment dans la couche transport.
- Le segment une fois encapsulé prend le nom de paquet dans la couche réseau.
- Enfin on parle de trame au niveau de la couche liaison.
- De signal au niveau de la couche physique.

Cette figure matérialise le processus d'encapsulation :

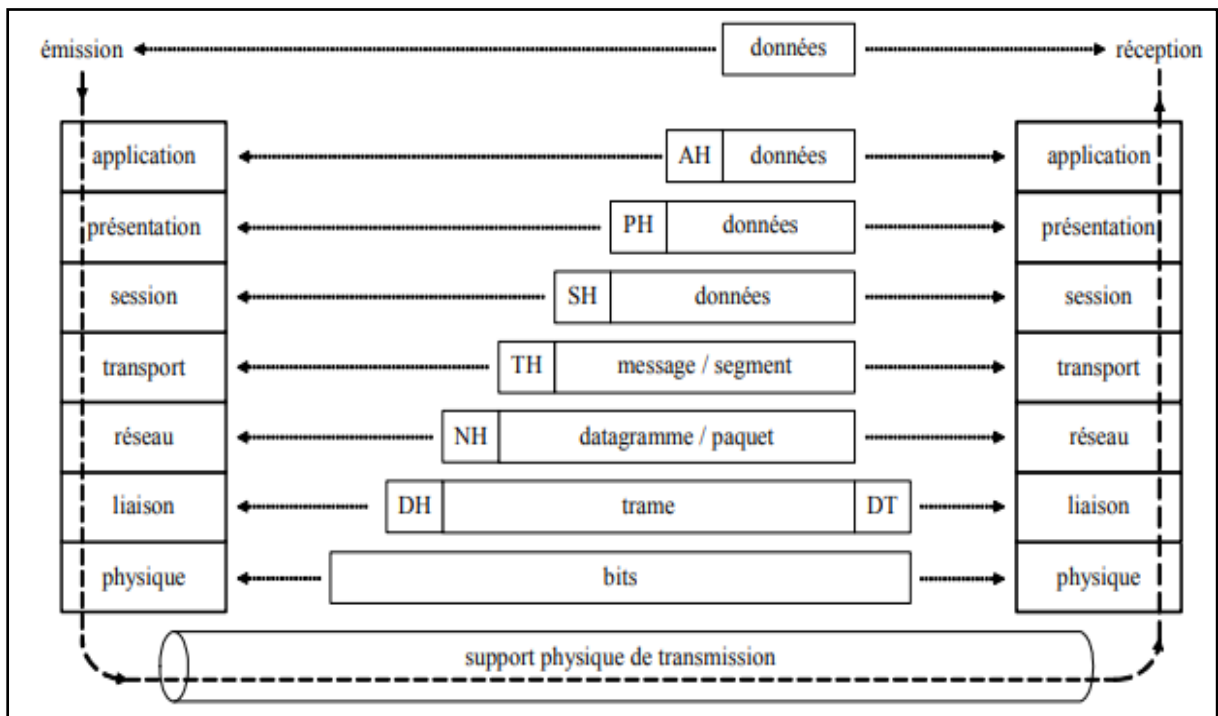


Figure I.20 : Le processus d'encapsulation [23]

Conclusion :

Tout au long de ce chapitre, nous avons expliqué les réseaux informatiques et télécommunications à partir de leurs composantes et de leurs fonctions ainsi que des règles, normes et standards qui les régissent.

Nous avons aussi étudié, le modèle OSI et les différentes règles de communication dans les 7 couches, dans le deuxième chapitre nous abordons en détail sur les protocoles de la couche de transport.

A decorative scroll graphic with a light gray background and a black outline. The scroll is unrolled in the center, with the top and bottom edges curled up. The text is centered within the unrolled portion.

Chapitre II

*Les protocoles de la couche de
transport TCP et UDP*

Introduction :

En raison du grand nombre de fonctions exécutées dans les réseaux, les ingénieurs réseaux ont divisé ces opérations en couches ou niveaux de protocole, Chacune a son propre nom qui caractérise ses propres fonctions de transmission de données sur le réseau, et à partir de là nous aborderons le rôle de la couche transport qui vise à réaliser une communication logique à distance en fournissant des services accessibles par un ensemble de protocoles de transport qui ont fait de cette couche le cœur du réseau.

II-1- Le modèle TCP/IP :

II-1-1- Définition :

Le modèle OSI plutôt théorique a été remplacé par un modèle plus pratique, le modèle TCP/IP. A la différence du modèle OSI, qui a d'abord été normalisé avant d'être appliqué, le modèle TCP/IP a tout d'abord été déployé avec succès avant d'être normalisé.

C'est le modèle (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) qui représente l'ensemble des règles de communication sur Internet et se base sur la notion d'adressage IP. Il offre une méthode pour transférer des informations d'une machine à une autre de manière indépendante du système d'exploitation. Il est un protocole de communication qui traite les erreurs survenant lors de la transmission, gère le routage et la livraison des données et contrôle la transmission elle-même. Ce protocole suppose donc l'existence d'un lien fiable entre les deux ordinateurs [24].

II-1-2- Description des couches TCP/IP :

II-1-2-1 Couche application

C'est la couche de haut niveau, elle correspond directement avec l'utilisateur. Elle englobe les couches OSI d'application, de présentation et de session. Elle s'assure que les données soient correctement "empaquetées" pour qu'elles soient lisibles par la couche suivante [25].

Les protocoles d'application les plus connus et fréquents sont :

- ✓ **Tel net** : (Network Terminal Protocol).
- ✓ **FTP** : (File Transfer Protocol).
- ✓ **SMTP** : (Simple Mail Transfert Protocol).
- ✓ **Http** : (hyper Texte Transfert Protocol).

II-1-2-2 Couche transport

Sa fonction se résume dans l'établissement et la fermeture des connexions, résoudre les problèmes liés aux transmissions des paquets dans les niveaux inférieurs tel la perte, la duplication et les erreurs sur les paquets.

II-1-2-3 Couche Internet

La couche Internet est chargée de fournir le paquet des données. Elle définit les datagrammes et gère la décomposition / recomposition des segments. La couche Internet utilise les cinq protocoles suivants : IP (Internet Protocol), ARP (Adresse Resolution Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol), RARP (Reverse Address Resolution Protocol), IGMP (Internet Group Management Protocol) [25].

II-1-2-4 Couche Accès réseau

Cette couche est regrouper les couches physique et liaison de données du modèle OSI. Il assure la bonne gestion du médium (détection de collisions) et permet l'acheminement des informations entre émetteur et destinataire au niveau des adresses MAC [25].

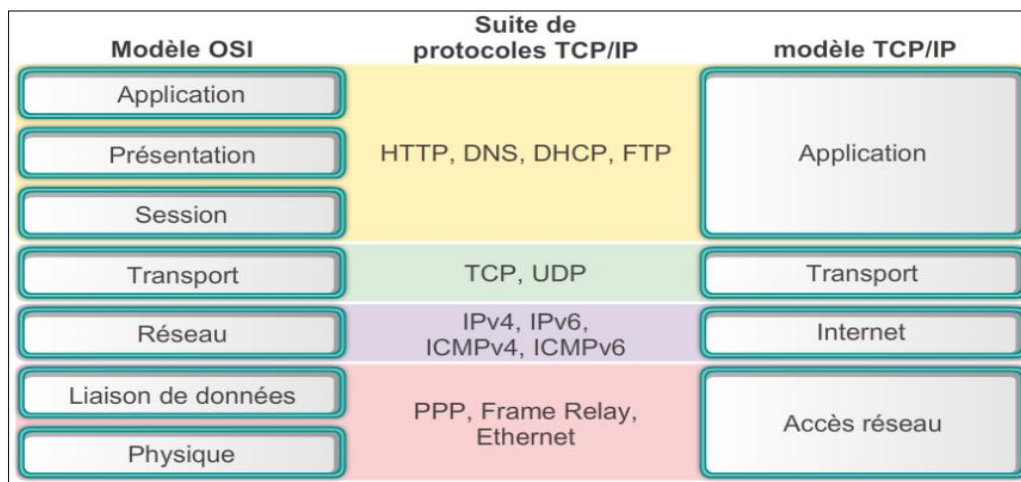


Figure II.1 : Le modèle OSI et l'architecture TCP/IP [25].

II-2- Caractéristiques de la pile TCP/IP :

Le succès de TCP/IP s'il vient d'abord d'un choix du gouvernement Américain s'appuie ensuite sur des caractéristiques intéressantes [18]:

1. C'est un protocole ouvert, les sources (C) en sont disponibles gratuitement et ont été développés indépendamment d'une architecture particulières, d'un système d'exploitation particulier, d'une structure commerciale propriétaire. Ils sont donc théoriquement transportables sur n'importe quel type de plate-forme, ce qui est prouvé de nos jours.

2. Ce protocole est indépendant du support physique du réseau. Cela permet à TCP/IP d'être véhiculé par des supports et des technologies aussi différents qu'une ligne série, un câble coaxial Ethernet, une liaison louée, un réseau token-ring, une liaison radio (satellites, wireless 802.11a/b/g, infrarouge, xDSL, fibre optique, la liste des supports et des technologies n'est pas exhaustive. . .).

3. Le mode d'adressage est commun à tous les utilisateurs de TCP/IP quelle que soit la plate-forme qui l'utilise. Si l'unicité de l'adresse est respectée, les communications aboutissent même si les hôtes sont aux antipodes.

4. Les protocoles de hauts niveaux sont standardisés ce qui permet des développements largement répandus et interopérables sur tous types de machines.

II-3- La couche transport du modèle TCP/IP :

Comme nous l'avons mentionné précédemment la couche transport est l'étape du processus de communication pendant laquelle les données seront regroupées en segments de données et ordonnées pour livraison par les standards de transport des données, elle permet à des applications tournant sur des machines distantes de communiquer.

Le problème consiste à identifier ces applications. En effet, suivant la machine et son système d'exploitation, l'application pourra être un programme, une tâche, un processus.

De plus, la dénomination de l'application peut varier d'un système à un autre, c'est la raison pour laquelle un système de numéro a été mis en place afin de pouvoir associer un type d'application à un type de données, ces identifiants sont appelés ports [26].

II-3-1- Principe de la couche transport :

Selon les modèles cités, un réseau est organisé d'une manière hiérarchique, où chaque couche assure un aspect spécifique de la communication à travers les protocoles déployés.

II-3-1-1 Communication bout en bout :

La couche transport a pour but de fournir des solutions de bout-en-bout pour le transfert des données depuis une application émettrice vers une application réceptrice : contrairement aux couches inférieures dont les protocoles opèrent entre les nœuds immédiatement adjacents [26]. Elle joue ainsi un rôle intermédiaire critique entre les couches basses (1, 2,3) et les couches hautes (5, 6, 7) du modèle OSI. En effet, elle récupère et traite les détails d'implémentation des sous-réseaux mais elle les masque aux couches hautes.

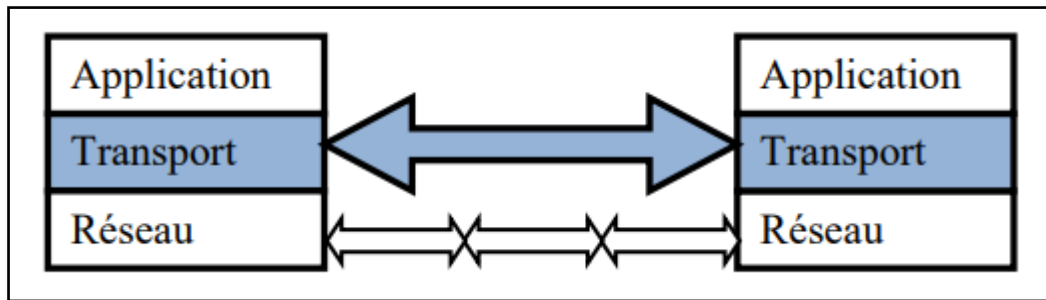


Figure II.2 : Communication Transport de bout à bout [26].

Les extrémités communicantes via le protocole de transport sont considérées respectivement client/serveur selon l'initiative/acceptation de la connexion transport.

II-3-1-2 Identification de connexion transport (adresse IP, port) :

Les adresses IP désignent les machines sur le réseau entre lesquelles d'éventuels processus communications sont établis. Lorsqu'un processus d'une machine identifiée par son adresse IP désire entrer en communication avec le processus d'une autre machine, il doit adresser le processus s'exécutant sur cette machine. L'adressage de ce processus est effectué selon un concept abstrait c'est le concept du port [26].

C'est pourquoi, dans le but d'échanger des informations entre deux hôtes d'un réseau une connexion de transport lie une paire d'extrémités identifiée chacune par un couple (adresse IP, port). La combinaison adresse IP + port est alors une adresse unique, elle est

appelée socket. Le quadruple « adresse source, N° de port », « adresse destination, N° de port » définit la connexion entre les deux extrémités utilisant un protocole transport.

Les valeurs des ports étant limitées et numériques, on en distingue 3 catégories : les ports réservés (de 0 à 1023), des ports inscrits (de 1024 à 49151) et des ports dynamique ou privé (de 49152 à 65535) se réfère à pour plus de précisions.

II-3-1-3 Service transport :

L'objectif principal de la couche de transport est de fournir un service de transmission de données plus élaboré (efficace, fiable et rentable).

Les principaux services sont :

- ✓ **Segmentation des messages** : une opération de division des messages longs provenant de la couche application en paquets de taille moindre et acceptable au niveau réseau.
- ✓ **Regroupement des messages** : lors de la phase d'encapsulation, les messages courts reçus de l'application sont regroupés en un seul paquet à transmettre à la couche réseau.
- ✓ **Reconstitution du message d'origine**: lors la phase de dés- encapsulation, les paquets reçus de la couche inférieure sont rassemblés en un seul message transmis à la couche applicative.
- ✓ **Acquittements ACK (Acknowledgments)** : des accusés de réception sont utilisés pour valider et confirmer la bonne réception des paquets entre les bouts communicants. Ils peuvent être immédiats ou cumulatifs.
- ✓ **Contrôle d'erreurs** : en utilisant le mécanisme de checksum pour chaque segment.

II-3-2- Les protocoles de la couche transport :

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre deux machines, c'est-à-dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau [27].

Parmi les protocoles de la couche transport nous citons :

- ✓ **DCCP (Datagram Congestion Control Protocol)** : est un nouveau protocole de transport conçu pour des applications de type unicast. Il offre un service de

transport non fiable, bidirectionnel, point à point et de bout en bout. DCCP met en œuvre des mécanismes de contrôle de congestion visant à réguler le taux d'émission de données, et un mécanisme d'acquittement des données reçues [27].

- ✓ **TCAP (Transaction Capabilities Application Part)** : est un protocole binaire du réseau SS7 encapsulé par le protocole SCCP. Il permet la transmission d'informations applicatives non-orientées appel entre différents Point Code du réseau de signalisation, notamment pour les réseaux intelligents (IN).
- ✓ **SPX (Sequenced Packet Exchange)**: est un protocole de séquençement pour les paquets réseau utilisés avec Novell NetWare. Il est principalement utilisé pour les applications client / serveur pour fournir des services réseau orientés connexion similaires à TCP / IP.
- ✓ **RTP (Real Time Transport Protocol)** : décrit le format de paquet standard de la transmission audio et vidéo en temps réel sur Internet.
- ✓ **SCTP (Stream Control Transmission Protocol)** : est un standard IETF pour un protocole de transport qui permet la transmission fiable et en ordre des messages tout en offrant un contrôle d'encombrement, de multiples autoguidages. il garde les principaux points forts de TCP tel que le contrôle de flux, la détection des erreurs et la retransmission tandis que de nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées, particulièrement le multi-homing, le multi-streaming pour améliorer la fiabilité et la stabilité de la connexion [28].

II-3-2-1- Le protocole TCP (Transmission Control Protocol) :

Le protocole TCP est défini dans le but de fournir un service de transfert de données de haute fiabilité entre deux machines. TCP est un protocole orienté connexion, c'est-à-dire qu'il permet à deux machines qui communiquent de contrôler l'état de la transmission.

Les caractéristiques principales du protocole TCP sont les suivantes [18]:

- TCP permet de remettre en ordre les datagrammes en provenance du protocole IP.
- TCP permet de vérifier le flux de données afin d'éviter une saturation du réseau.
- TCP permet de formater les données en segments de longueur variable afin de les "remettre" au protocole IP.

- TCP permet de multiplexer les données, c'est-à-dire de faire circuler simultanément des informations provenant de sources (applications par exemple) distinctes sur une même ligne.
- TCP permet enfin l'initialisation et la fin d'une communication de manière courtoise.

Grâce au protocole TCP, les applications peuvent communiquer de façon sûre, indépendamment des couches inférieures.

Lors d'une communication à travers le protocole TCP, les deux machines doivent établir une connexion. La machine émettrice (celle qui demande la connexion) est appelée client, tandis que la machine réceptrice est appelée serveur. On dit qu'on est alors dans un environnement client-serveur.

Les machines dans un tel environnement communiquent en full-duplex, c'est-à-dire que la communication se fait dans les deux sens.

a)- Format d'un paquet TCP :

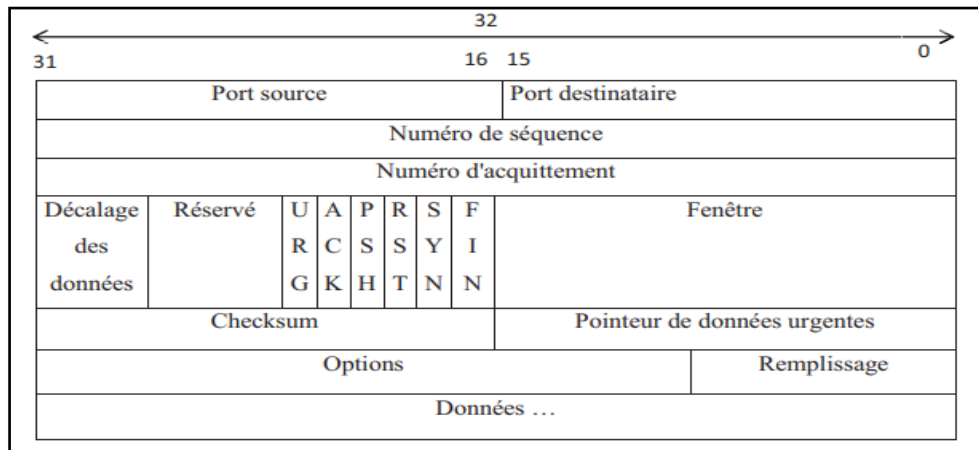


Figure II.3 : Format d'un paquet TCP [18].

- **Numéro du port source:** sur 16 bits, ce numéro correspond au point de communication utilisé par le service de la couche application de l'émetteur.
- **Numéro du port destination:** sur 16 bits, il correspond au point de communication utilisé par le service de la couche application du destinataire.
- **Numéro de séquence:** permet de rétablir l'ordre des paquets reçus et d'écartier les paquets dupliqués. Ce numéro est incrémenté d'une unité chaque fois qu'un octet est envoyé.

- **Acquittement** : Si le flag ACK est présent, ce champ désigne le prochain numéro de séquence attendu. Il constitue donc un acquittement de tous les segments dont le numéro de séquence est inférieur.
- **Décalage des données (4 bits)**: il permet de repérer le début des données dans le paquet. Le décalage est ici essentiel car le champ d'options est de taille variable.
- **Réservé** : Réservé pour un usage futur.
 - URG : Signale la présence de données URGentes.
 - ACK : Signale que le paquet est un accusé de réception (ACKnowledgement)
 - PSH : Données à envoyer tout de suite (PuSH).
 - RST : Rupture anormale de la connexion (ReSeT).
 - SYN : Demande de synchronisation (SYN) ou établissement de connexion
 - FIN : Demande la FIN de la connexion
- **Fenêtre** : Taille de fenêtre demandée, c'est-à-dire le nombre d'octets que le récepteur souhaite recevoir sans accusé de réception.
- **Checksum** : Somme de contrôle calculée sur l'ensemble de l'en-tête TCP et des données, mais aussi sur un pseudo en-tête (extrait de l'en-tête IP). Ce pseudo en-tête comporte les adresses Internet source et destinataires, le type de protocole et la longueur du message TCP. Ceci protège TCP contre les erreurs de routage. Cette information sera véhiculée par IP, et est donnée comme argument par l'interface TCP/Réseau lors des appels d'IP par TCP. Le datagramme du pré en-tête TCP est décrit dans la figure suivante :

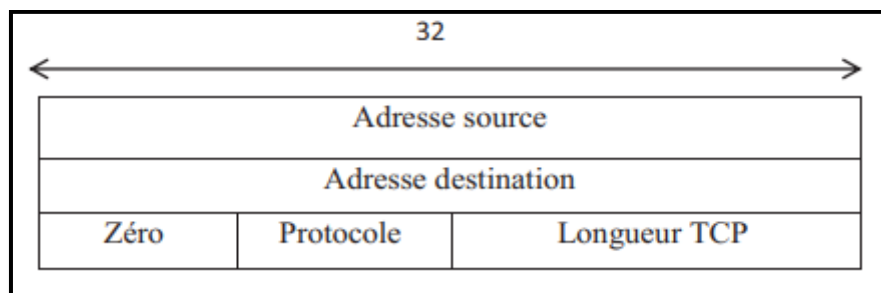


Figure II.4 : Datagramme du pré en-tête TCP [18]

- **Pointeur de données urgentes** : Position relative des dernières données urgentes.
- **Options** : Facultatives.
- **Remplissage** : Zéros ajoutés pour aligner les champs suivants du paquet sur 32 bits, si nécessaire.
- **Données** : Séquences d'octets transmis par l'application.

b)- Cycle des sessions TCP :

Une session TCP fonctionne en trois phases [29] :

➤ Établissement d'une connexion :

Pour ouvrir une connexion, TCP utilise les segments pour déterminer si le système récepteur est prêt à recevoir les données.

Lorsque le protocole TCP de l'hôte émetteur souhaite établir les connexions, il envoie un segment appelé SYN au protocole TCP de l'hôte récepteur.

Le TCP récepteur renvoie un segment appelé ACK afin d'accuser la réception du segment. Le TCP émetteur envoie un autre segment ACK, puis initialise l'envoi des données.

Cet échange d'informations de contrôle est appelé négociation en trois étapes tel que le mécanisme au niveau client appelé ouverture active et au niveau serveur l'ouverture passive.

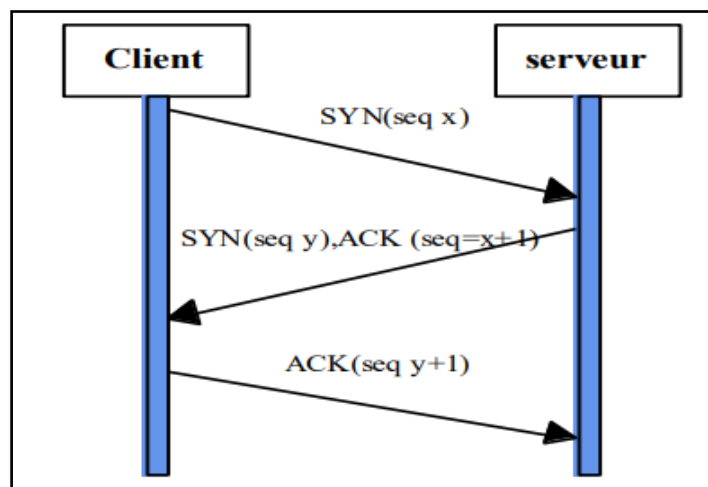


Figure II.5 : Établissement d'une connexion [29].

Cette figure illustre un processus de connexion permet entre autres d'initialiser et de synchroniser quelques valeurs de la connexion entre extrémités, tel que le numéro d'ordre (appelé aussi numéro de séquence) des segments :

- ✓ Le client envoie une séquence de synchronisation, avec le numéro de séquence. Le Flag "SYN" est positionné.
- ✓ Le serveur répond par une acceptation dans laquelle il renvoie :

- un numéro d'accusé de réception égal au numéro de séquence qu'il a reçu+1.
 - un numéro de séquence les flags SYN et ACK sont positionnés.
- ✓ Le client acquitte la réponse en envoyant :
- un numéro d'accusé de réception égal au numéro de séquence envoyé par le serveur +1.
 - un numéro de séquence égal au numéro d'accusé de réception envoyé par le serveur.

➤ **Transfert de données :**

Le protocole TCP possède un système d'accusé de réception permettant au client et au serveur de s'assurer de la bonne réception mutuelle des données. Lors de l'émission d'un segment, le numéro de séquence lui est associé. A réception d'un segment de donnée, la machine réceptrice va retourner un segment de donnée dont le drapeau ACK est à 1 (afin de signaler qu'il s'agit d'un accusé de réception) accompagné d'un numéro d'accusé de réception égal au numéro d'ordre précédent [30].

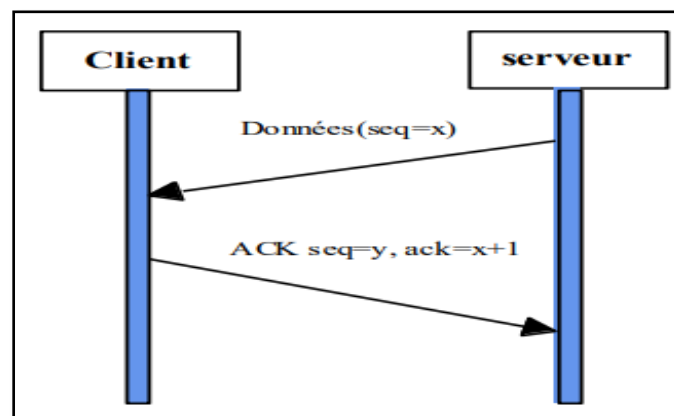


Figure II.6: Transfert des données [30].

De plus, grâce à une minuterie déclenchée dès l'envoi d'un segment au niveau de la machine émettrice, le segment est réexpédié dès que le temps imparti est écoulé, car dans ce cas la machine émettrice considère que le segment est perdu. Toutefois, si le segment n'est pas perdu et qu'il arrive tout de même à destination, la machine réceptrice saura grâce au numéro d'ordre qu'il s'agit d'un doublon de segment et ne conservera que le dernier segment arrivé à destination.

➤ **Terminaison d'une connexion :**

La fermeture d'une connexion se fait en deux manières : normale ou brutale.

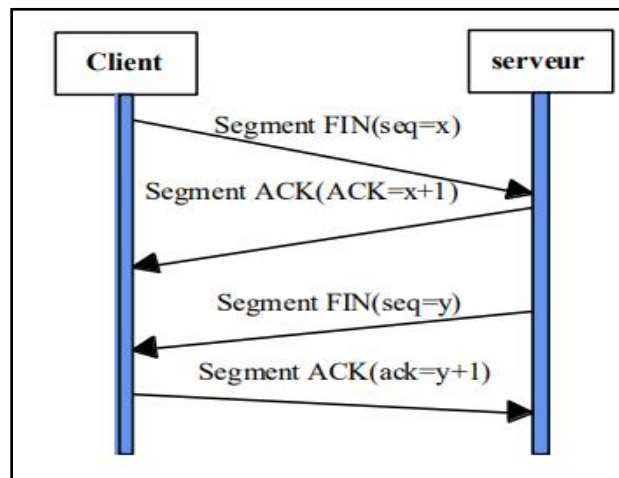


Figure II.7: Clôture de connexion [31].

Dans une terminaison normale de la connexion, le client peut demander à mettre fin à une connexion au même titre que le serveur, en suivant les étapes suivantes :

- ✓ Une des machines envoie un segment avec le drapeau FIN à sa valeur 1, et l'application se met en état d'attente de fin, c'est-à-dire qu'elle finit de recevoir le segment en cours et ignore les suivants.
- ✓ Après réception de ce segment, l'autre machine envoie un accusé (Ack) de réception avec le drapeau FIN à 1 et continue d'expédier les segments en cours. Suite à cela la machine informe l'application qu'un segment FIN a été reçu, puis envoie un segment FIN à l'autre machine, ce qui clôture la connexion [31].

Pour une terminaison brusque :

- Envoi de la primitive ABORT (flag RST=1).
- Toutes les transmissions ou réceptions sont interrompues et les tampons sont vidés

II-3-2-2- Le protocole UDP (User Datagram Protocol) :

User Datagram Protocol est un protocole de transport sans connexion. Le rôle de ce protocole est de permettre la transmission de données et de manière très simple entre deux entités, étant donné qu'il ne fournit pas de contrôle d'erreurs (perte de messages, messages non ordonnés, etc....) donc est un protocole non fiable [32].

a)- **Format du datagramme UDP :**

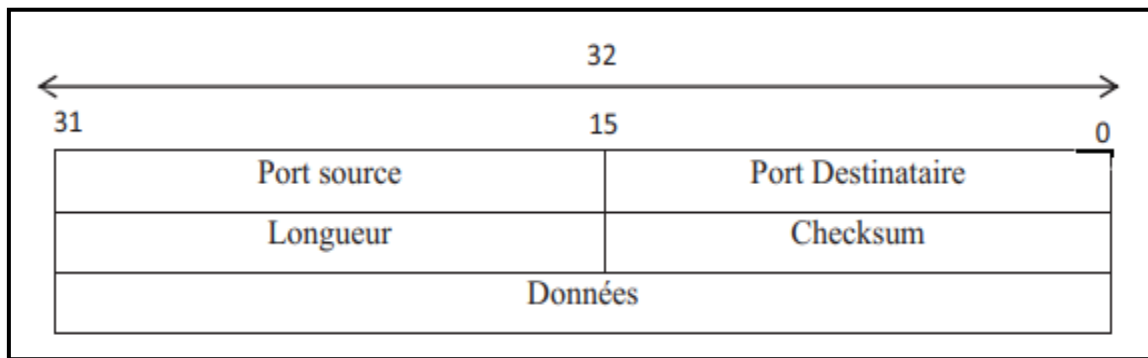


Figure II.8: Datagramme UDP [32]

- ✓ **Port source :** c'est un champ optionnel. indique depuis quel port le paquet a été envoyé.
- ✓ **Port Destinataire :** indique à quel port le paquet doit être envoyé.
- ✓ **Longueur :** indique la longueur totale du segment UDP (en-tête et données). La longueur minimale est donc de 8 octets (taille de l'en-tête).
- ✓ **Checksum :** celle-ci permet de s'assurer de l'intégrité du paquet reçu quand elle est différente de zéro. Elle est calculée sur l'ensemble de l'en-tête UDP et des données, mais aussi sur un pseudo en-tête constitué de l'information typique d'un en-tête IP.

Le pseudo entête Utilisé pour calculer le checksum à la source et à la destination ajoutée avant l'en-tête UDP contient l'adresse IP source, l'adresse IP destinataire, le code de protocole, et la longueur du segment UDP. Cette information permet d'augmenter l'immunité du réseau aux erreurs de routage de datagrammes.

Le datagramme du pré en-tête est décrit dans la figure suivante :

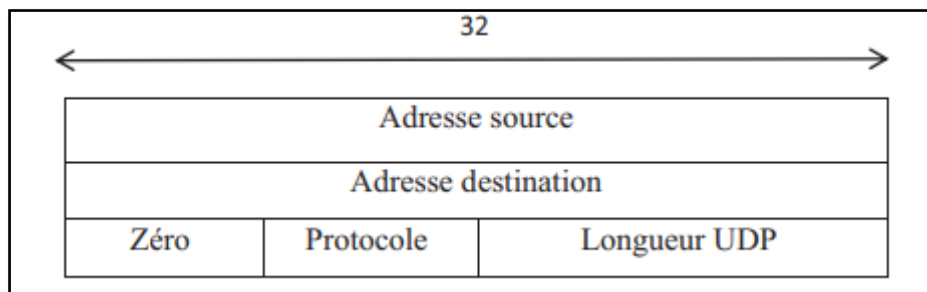


Figure II.9 : Datagramme du pré en-tête UDP [32].

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des protocoles de transport IETF les plus connus :

Les Caractéristiques	TCP	UDP	DCCP	SCTP
Request for comment RFC	RFC 793	RFC 768	RFC 4340	RFC 4960
Ordonnancement	Numérotations octets pour assurer l'ordre	Non assuré	Non assuré	Numérotation message pour transfert ordonné, ou non
Contrôle de congestion	Assuré par mécanismes fixés (additive increase and Multiplicative decrease : AIMD)	Non assuré	Assuré par choix de mécanisme CCID (control congestion Identifier)	Assuré, par mécanisme fixés (AIMD)
Etablissement de connexion	En 3 phases	Pas de connexion	En 3 phases	En 4 phases
Service de transfert fiable	Acquittement octets, retransmission	Pas d'assurance de livraison	Pas d'assurance de livraison mais détection de non livraison par acquittement de messages	Acquittement message, retransmission sélective
Multi homing	Pas supporté	Pas supporté	Pas supporté	Supporté
Multi streaming	Pas supporté	Pas supporté	Pas supporté	Supporté

Tableau II.1 : Caractéristiques des protocoles de transport IETF [32]

Conclusion :

Ce chapitre clarifie le parcours de l'information sur le modèle de référence TCP/IP, ses différentes couches et leurs fonctionnements. Ensuite, nous avons présenté en détail la couche de transport qui est le sujet le plus important de cette étude car elle joue un rôle fondamental dans la gestion de réseau et permet d'assurer des connexions sans perte de bout-en-bout (livraison en séquence, retransmission des paquets perdus et exploitation efficace de la connexion), ceci grâce à un ensemble de protocoles de transport, qui diffèrent entre eux selon leurs mécanismes.

Chapitre III

Evaluation de performances des protocoles de la couche de transport TCP et UDP

Introduction :

Ce chapitre vise à refléter une analyse comparative entre les deux protocoles de la couche transport (TCP, UDP) lors de la transmission de données du réseau, afin d'évaluer leurs performances en créant deux réseaux différents, l'un filaire (réseau internet basé sur la configuration client-serveur) et l'autre réseau sans fil (réseau WIMAX), en choisissant des métriques de mesure représentés en : **Le temps de réponse, les données reçus et émis ,le taux de rejet de paquets, les données perdus, chargement, le temps de retard.**

III-1 Simulation des réseaux :

La simulation des réseaux de télécommunication consiste à modéliser de façon conforme à réalité le comportement des différents éléments constituant ces réseaux par des outils informatiques afin de récolter des données statistiques. Elle complète souvent la modélisation mathématique et permet de mieux étudier les détails de fonctionnement d'un système complexe.

Leur but général est de comprendre le comportement dynamique du système, de comparer plusieurs configurations, d'évaluer différentes stratégies de pilotage, d'évaluer et d'optimiser des performances alors elle consiste :

- ✓ La conception du modèle du système (réel) étudié.
- ✓ L'évaluation des performances de ce système.
- ✓ Analyse des observations fournies par le déroulement du modèle et formulation des décisions relatives au système.

III-2 Présentation d'outil de simulation (OPNET modeler) :

OPNET (Optimum Network Performance) est un environnement graphique utilisé depuis 1986 dans la conception et l'étude des réseaux Offrant une grande flexibilité. Il permet de travailler sur toutes les couches du modèle OSI en Modélisant un grand nombre de protocoles et prenant en considération tous les attributs qui Spécifient chaque protocole.

Sur cet outil, nous pouvons aussi modéliser des équipements Mobiles en traçant leur chemin, en faisant varier leur vitesse de déplacement, ... C'est un outil qui est destiné au début aux besoins militaires mais qui est actuellement devenu un produit commercial.

Plusieurs grands vendeurs de produits de Communication comme Nokia, Ericsson, Cisco,... utilisent cet outil, et implémentent les Modèles de leurs produits. Pour cela l'un des grands intérêts d'OPNET est de pouvoir simuler des produits réels qui existent dans un réseau réel. Les intérêts de ce logiciel ne s'arrêtent pas là. OPNET fournit aussi la possibilité d'implémenter de nouveaux algorithmes et de nouveaux modèles, notamment par l'utilisation du formalisme EFSM (Extended Finite State Machine).

OPNET est un simulateur dont la structure interne des modèles est organisée de manière hiérarchique qui offre à l'utilisateur l'opportunité de définir très précisément la granularité de son modèle et ce qui permet lors de l'analyse des résultats d'avoir accès aux informations à tous les niveaux de l'hierarchie. Les couches basses du modèle général sont définies au travers d'un automate à état finis. Cet automate est généralement généré en utilisant une interface graphique, mais OPNET offre à l'utilisateur la possibilité de générer l'automate à l'aide d'un langage appelé proto-C, très proche de la syntaxe de langage C. Ce logiciel offre un environnement de développement très complet et permet la création de modèle très réaliste en contre-partie, il est parfois plus complexe à utiliser que les autres logiciels du domaine car il faut alors concevoir un automate à état finis pour chaque couche à modéliser. Bien que la bibliothèque de modèle soit importante et la réutilisabilité des modèles soit relativement bonne, la description des couches au travers d'automates n'est pas toujours très évidente [28].

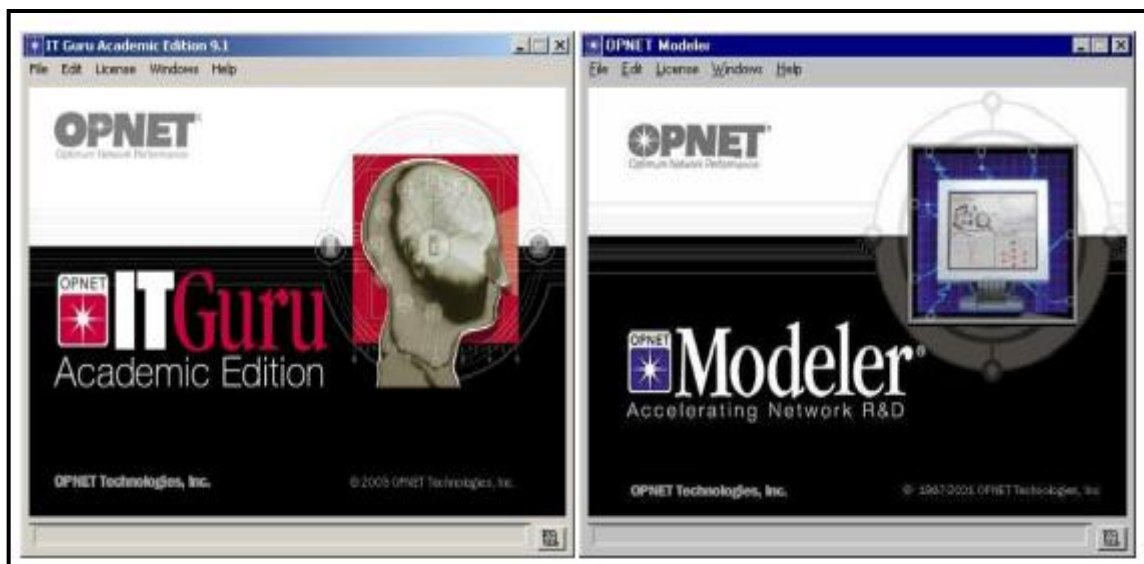


Figure III.1 : Version académique [28]

Figure III.2: Version commerciale [28].

III-2-1 Principales interfaces :

Parmi les nombreuses interfaces que propose OPNET au démarrage, on distingue les interfaces suivantes :

1. Éditeur de projet (Project Editor) :

C'est l'interface principale du logiciel. Elle permet d'implanter des modèles issus des bibliothèques OPNET ainsi que des modèles créés par l'utilisateur. C'est aussi à partir du Project Editor que les simulations peuvent être configurées puis lancées et que les résultats issus de ces simulations peuvent être affichés. Les principales fonctions de cette interface sont disponibles sous formes d'icônes.



Figure III.3 : Project editor

- 1- Ouvrir la palette d'objet.
- 2- Mise en panne d'un appareil ou d'un lien.
- 3- Remise en marche d'un appareil ou d'un lien.
- 4- Retour au réseau supérieur.
- 5/6- Zoom + / - .
- 7- importer la topologie à partir d'ACE.
- 8- importer la topologie à partir des configurations de périphérique.
- 9- importer la topologie à partir du serveur VNE.
- 10- ouvert centre de trafic.
- 11- Configurer / exécuter NetDoctorS.
- 12- Générer un rapport de différence de réseau.

- 13- Configurer / exécuter l'analyse flux.
- 14- Configurer / exécuter l'analyse de la survie.
- 15- Lancer la simulation.
- 16- Configurer / exécuter une action de conception.
- 17- Configurer / exécuter des tâches d'automatisation.
- 18- Web - ouvrir le serveur de rapports.
- 19- Afficher les résultats.
- 20- Visualiser tous les graphiques.

2. Éditeur de modèle de réseau : (Network Model Editor)

C'est le niveau le plus haut de cette hiérarchie, il représente la topologie physique d'un réseau de Communication formé d'un ensemble de nœuds et de liens pour les interconnecter entre eux.

À ce niveau, nous pouvons définir la position géographique et topologique ainsi que les caractéristiques des entités communicantes d'un réseau.

On trouve deux catégories de nœud dans ce modèle :

- ✓ **La catégorie "simple node" :** la structure d'un tel nœud est décrite par un modèle réalisé à l'aide de l'éditeur de nœud.
- ✓ **La catégorie "subnet" :** elle permet d'introduire une hiérarchie dans la topologie d'un réseau. Les nœuds de cette catégorie peuvent contenir des "simples nodes" et des "subnets".

Chacune de ces catégories de nœuds peut prendre un des types suivants:

- **Le type fixe :** permet de décrire des nœuds qui sont associés à une position statique dans la topologie.
- **Le type mobile :** par opposition, permet de décrire des nœuds pour lesquels les positions peuvent évoluer selon une trajectoire à travers la topologie.

- **Le type satellite :** permet de décrire des nœuds qui se déplacent selon une orbite autour de la terre.

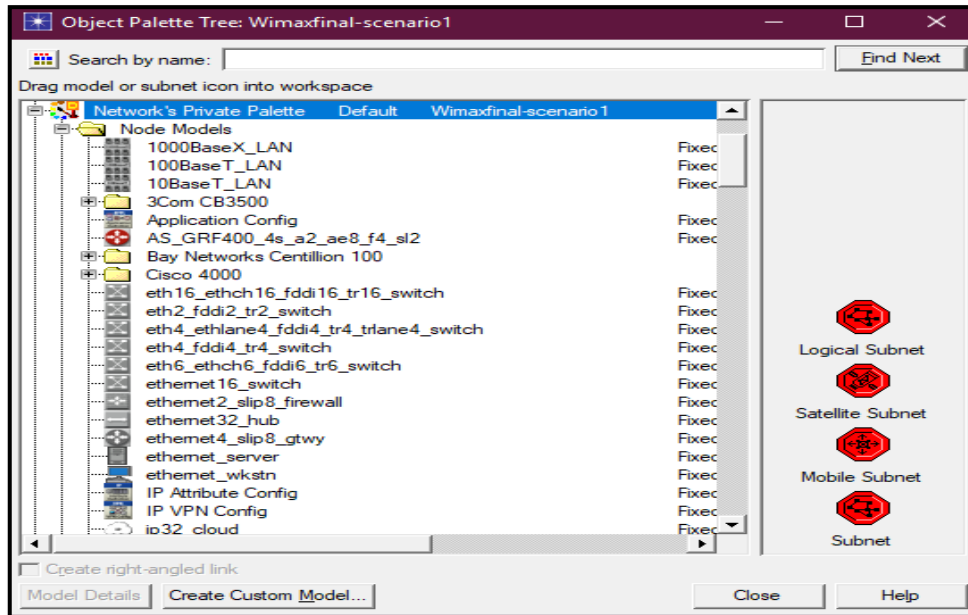


Figure III.4: palette des objets OPNET

3. Éditeur de modèle de nœud (Node Model Editor) :

C'est le niveau intermédiaire de l'hierarchie, il permet de définir la constitution de chaque entité communicante du réseau (station de travail, routeur, hub...etc.). Ce model est définit à l'aide de blocs appelés modules.

Il affiche une représentation modulaire d'un élément de la bibliothèque ou d'un élément créé par l'utilisateur. Chaque module envoie et reçoit des paquets vers d'autres modules. Les modules représentent des applications, des couches protocolaires ou des ressources physiques.

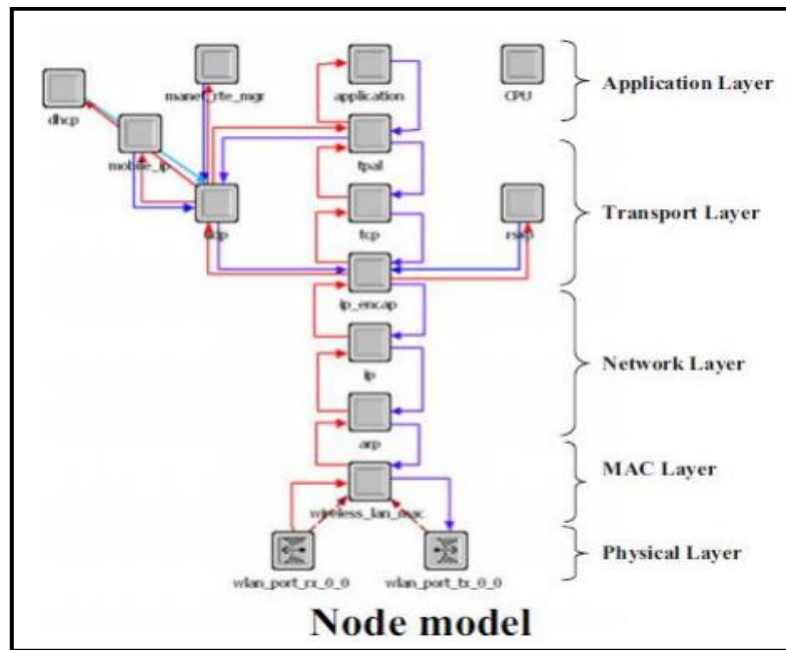


Figure III.5 : Node model editor

4. Éditeur de modèle de processus (Process Model Editor) :

Le modèle processus est le niveau le plus bas dans la hiérarchie OPNET. Il permet de représenter le comportement d'un bloc à l'aide d'un diagramme d'états/transitions du type EFSM dont les actions sont écrites à l'aide de fonctions codées en C/C++. Ce code est appelé Proto-C. Chaque état contient deux blocs de code, à l'entrée de l'état (Enter executive) et à la sortie de l'état (Exit executive).

Il donne une représentation d'un module par des machines à états finis, chaque état est lié à un autre état par des transitions conditionnelles ou non conditionnelles.

5. **Antenna Pattern :** Cette interface permet de modéliser une antenne pour radiocommunication par son diagramme de rayonnement 3D, coordonnées polaires.
6. **Modulation Curve :** Donne une visualisation du taux d'erreur binaire BER en fonction du rapport signal sur bruit pour différents types de modulations (bpsk, msk, fsk, ...etc.).
7. **Simulation Sequence :** Permet de paramétrer la ou les simulations OPNET en temps et attributs des modèles (types de liens, d'antenne, de services).
8. **Analysis Configuration :** Pour le stockage des résultats issus des simulations sous différentes formes.

III-3 Simulation et interprétation des résultats :

III-3-1 Réseau N°1 : (client/serveur) :

III-3-1-1 Topologie de réseau simulé :

- **Création d'un nouveau projet :** Pour créer un réseau, nous allons définir sa topologie initiale, son échelle, sa taille, le lieu et nous allons y associer une palette d'objet. Pour créer un nouveau projet, on choisit File -> New. La fenêtre suivante s'affiche :

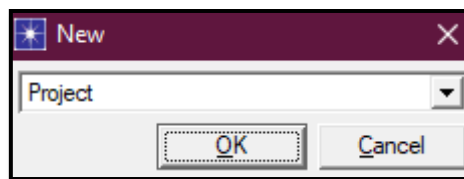


Figure III.6 : Création d'un projet

Sélectionne **Project** puis on donne un nom au projet et au scénario associé :

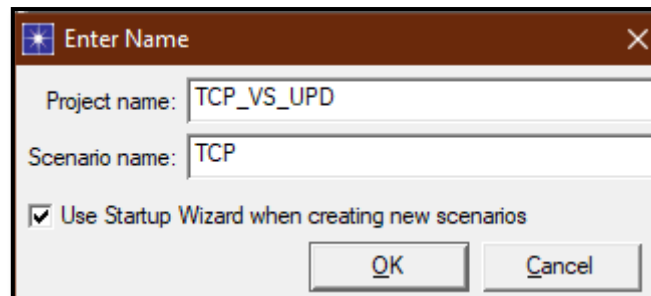


Figure III.7 : Nouveau projet

L'assistant de création d'un nouveau projet s'ouvre et propose différents types de projets. On peut alors choisir de commencer par un nouveau scénario vide.

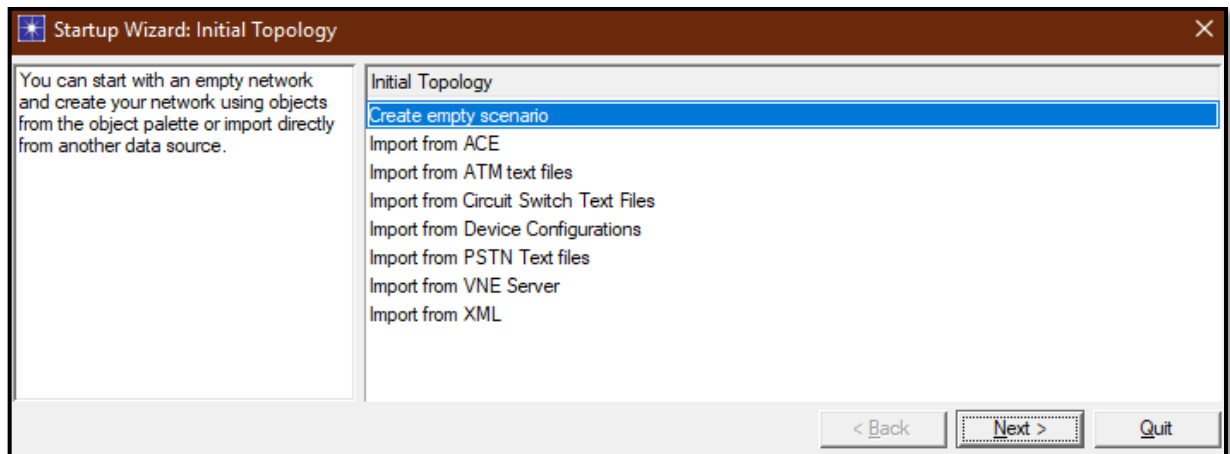


Figure III.8 : Type de projet

On choisit ensuite la taille du réseau : il s'agit de l'ordre mondial

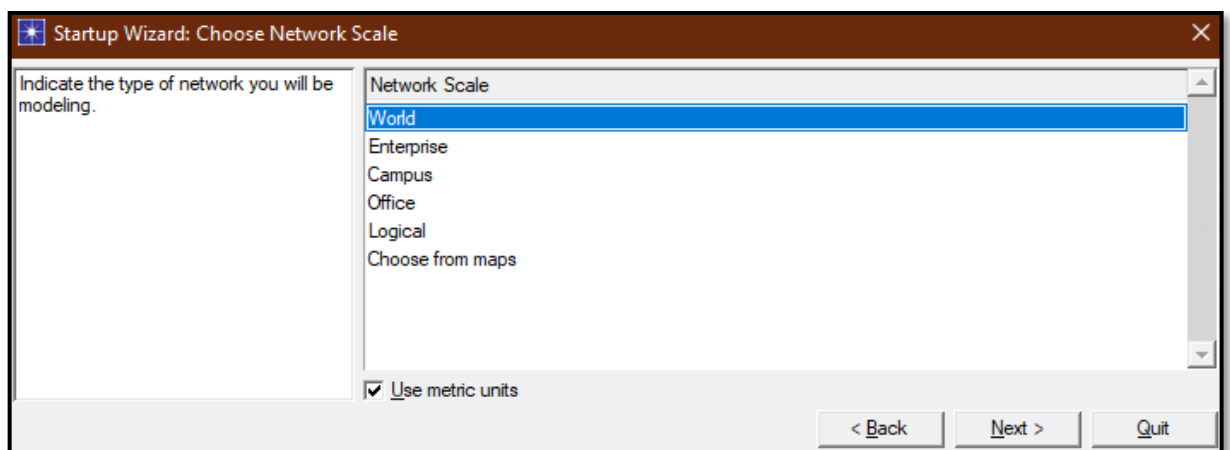


Figure III.9 : Dimension de réseau

Avec les mêmes paramètres réseau nous répétons le scénario avec le protocole UDP

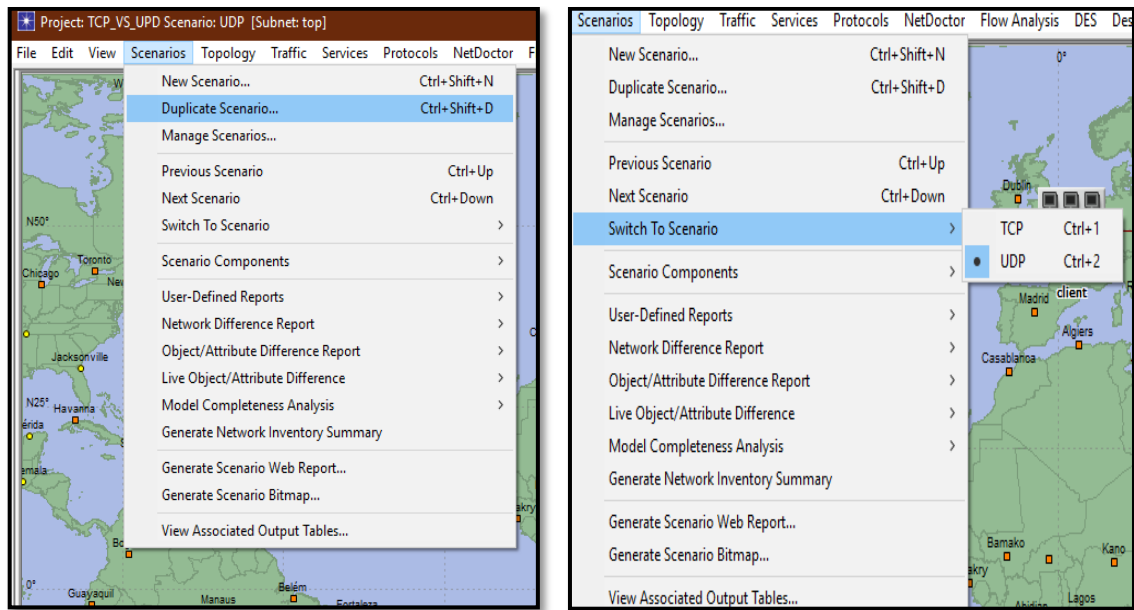


Figure III.10 : Duplication de scénario

Notre étude a examiné le comportement d'un réseau internet basé sur la configuration client-serveur, en utilisant les deux protocoles de transport TCP et UDP. L'application a été réalisée dans l'OPNET comment il est présenté dans la Figure III.11

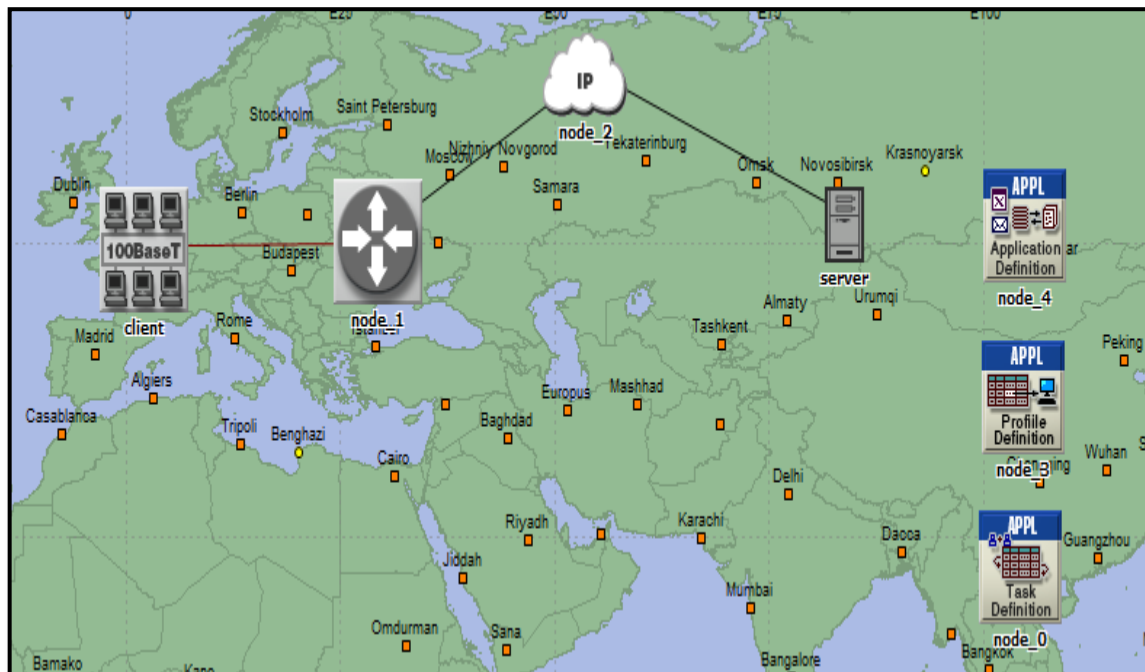


Figure III.11 : L'architecture de réseau implémenté






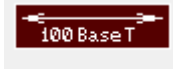

Composants :	Définitions :
<p>100 baseT8_LAN</p> 	<p>Il est utilisé pour représenter un Ethernet rapide LAN. Ce composant contient un certain nombre de clients ainsi qu'un serveur tel que le trafic client peut être dirigé vers un serveur interne ou bien serveur externes.</p> <p>Nombre de poste de travail est par défaut=10</p> <p>Les applications supportés par ce composant : FTP/Email/Costrum/Database/Video/http... qui s'effectues par TCP ou UDP.</p>
<p>Ethernet4_slip8_gateway</p> 	<p>Représente une passerelle basée sur IP il contient (4 ethernet hub interfaces, 8 serial line interfaces).il nécessite un temps fixe pour acheminer chaque paquet.</p> <p>Les protocoles supportés : UDP/ IP/ Ethernet/ SLIP/ RIP/ OSPF</p>
<p>IP_32_cloud</p> 	<p>Est un ensemble de serveurs en réseau incluant des systèmes d'exploitation et des logiciels installés dan un datacenter, qui exécutent les traitements et stockent les données.</p> <p>Il contient (32 serial line interfaces)</p> <p>Les protocoles supportés : TCP/UDP/IP/RIP/OSPF/BGP/IGRP</p>
<p>PPP_server</p> 	<p>Il représente un nœud serveur avec des applications serveur fonctionnant sur TCP/IP et UDP/IP</p>
<p>Task-config</p> 	<p>Il est utilisé pour définir les tâches qui caractérisent l'application personnalisée tel que cette application est utilisée pour créer des profils qui génèrent le trafic souhaité.</p>
<p>100 base_T</p> 	<p>C'est un lien qui est utilisé pour les connexions Ethernet à 100Mbps et point à point. Il peut connecter n'importe quelle combinaison sauf (hub to hub connection).</p>
<p>PPP_DS1</p> 	<p>C'est un lien qui connecte deux nœuds exécutant IP avec un débit de 1.544 Mbps</p>

Tableau III.1 : Les composants de réseau implémenté

Le réseau consiste en un WAN, qui prend en charge près de 32 interfaces de ligne série à travers lesquelles le trafic IP peut être modifié, connecté d'un cote à un réseau LAN composé de 10 postes de travail PC, sur lesquelles on peut exécuter des applications client-serveur utilisant SLIP avec un taux de transfert variable, connecté à une passerelle.

La vitesse de commutation pour le réseau est par défaut 500,000pkts/sec. Les paquets sont acheminés selon le principe de premier arrivé, premier servi et peuvent subir des retards aux ports, en fonction du taux de transfert de l'interface de sortie. de l'autre coté, le WAN est connecté à un serveur qui prend en charge TCP et UDP via une connexion SLIP. Le WAN est connecté via une liaison duplex avec un débit de 1.544 Mbps supportant un protocole PPP. Le réseau local est connecté à l'aide Liaison Ethernet 100BaseT. Toutes les interfaces sur le réseau lorsqu'ils sont attribués avec des adresses IP.

- **Les définitions de profil (profile definitions) :**

Sont utilisées pour créer des profils d'utilisateurs à spécifié dans différents nœuds du réseau. L'heure de début (en secondes) définit quand la simulation de profil session démarre qui est défini sur une valeur constante de 3. Le temps d'inter-répétition (secondes) est réglé sur une valeur de 20 et le nombre de répétitions à une valeur constante de 1. Cela signifie notre profil s'exécutera toutes les 20 secondes pendant la période de simulation.

Nous avons utilisé un modèle de configuration de tâche pour définir/créer des fonctions caractérisant l'application.

Cette tâche amènera l'ordinateur à l'intérieur de réseau LAN à envoyer un paquet de requête toutes les secondes avec une dimension de paquet de 1024 octets. Le temps de traitement de la demande en secondes obligera le serveur à répondre immédiatement à la demande LAN.

- **Application config :**

Spécifie le type d'application à utilisés : HTTP, FTP, E-mail et Voix ...etc.

Le type de service est réglé sur le meilleur effort, ce qui signifie que le réseau ne prend pas en charge QoS. Dans TCP fournit le meilleur service de livraison d'effort pour les paquets et garantissent la livraison.

Caractéristiques	Valeurs
La vitesse de commutation	500,000pkts/sec
La dimension de paquet	1024 octets
Le type de service	Best effort(0)
Le temps d'inter-répétition (secondes)	Constant(20)
Nombre de répétitions	Constant(1)
Heure de début	Constant(3)
Le taux de rejet de paquet	0%
La latence de paquet	Sans

Tableau III.2 : Les paramètres de simulation

III-3-1-2 Discussion des résultats obtenus :

Le temps de simulation est défini pour deux heures de transfert de données entre le réseau LAN et le serveur sans latence de paquet et un taux de rejet de paquets de 0 % pendant que les paquets traversent le WAN.

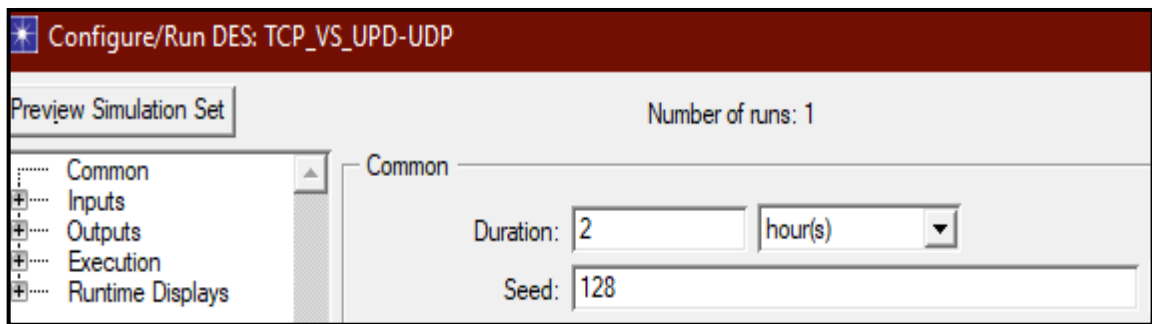


Figure III.12 : La durée de simulation

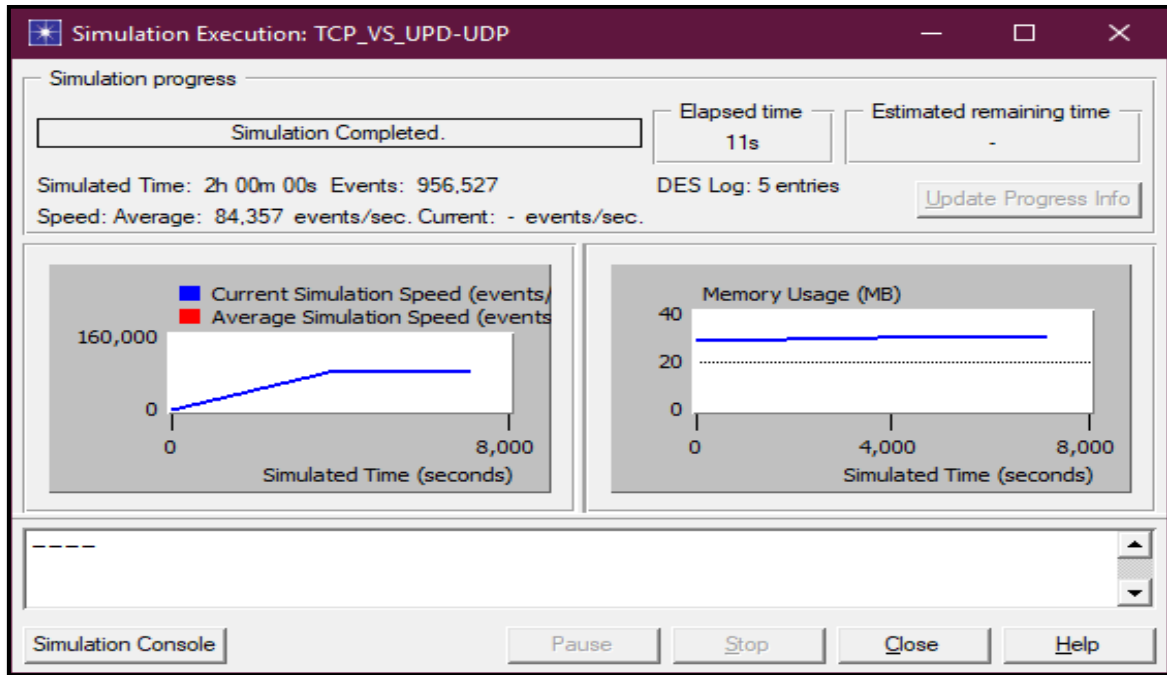


Figure III.13 : Résultats de simulation du modèle de base

a)- Le temps de réponse :

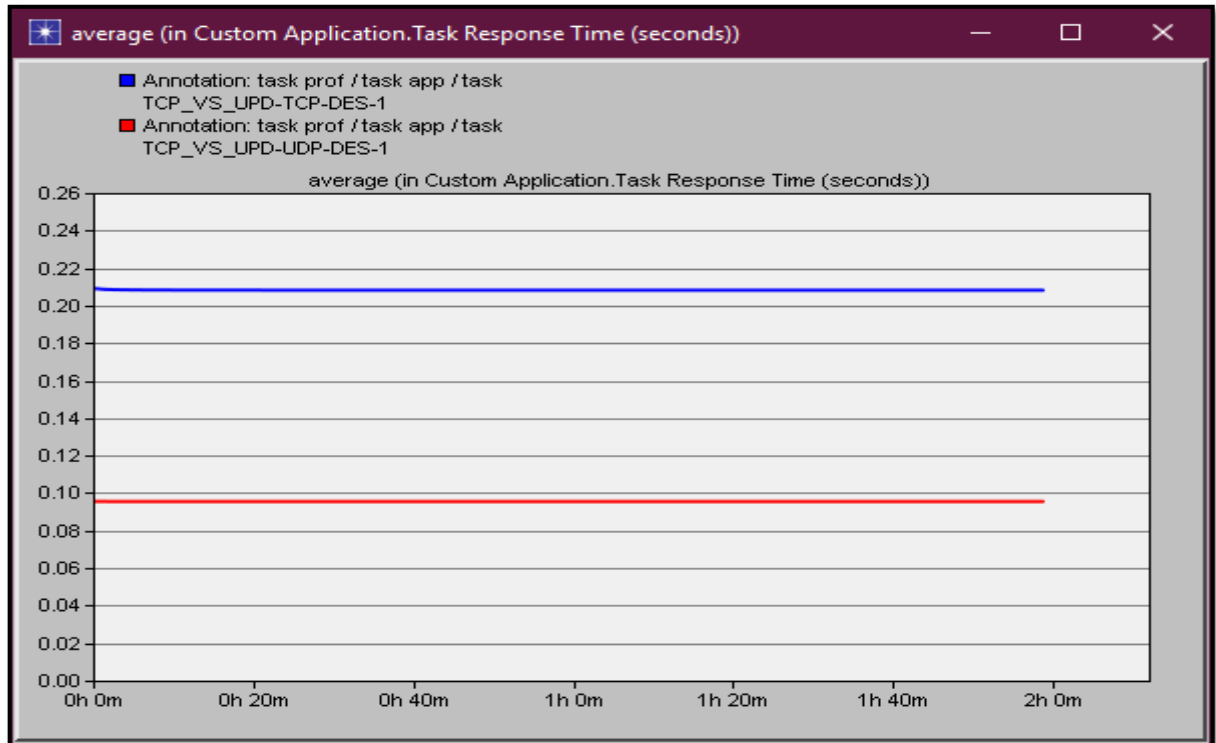


Figure III.14 : Temps de réponse (seconds) de TCP et UDP

Cette courbe représente le temps de réponse de la tâche en secondes (Figure III.14). On remarque que le temps de réponse du TCP est plus grand que celui du UDP car lors de l'utilisation de TCP, la source et la destination doivent effectuer une session de trois phases (three-way handshake) avant de commencer à envoyer les données et toutes les quantités de données doivent être reconnues par la destination quand il est reçu, cela prend donc plus de temps que l'UDP, qui n'effectue pas ces tâches.

b)- Les données reçus/émis pour le serveur :

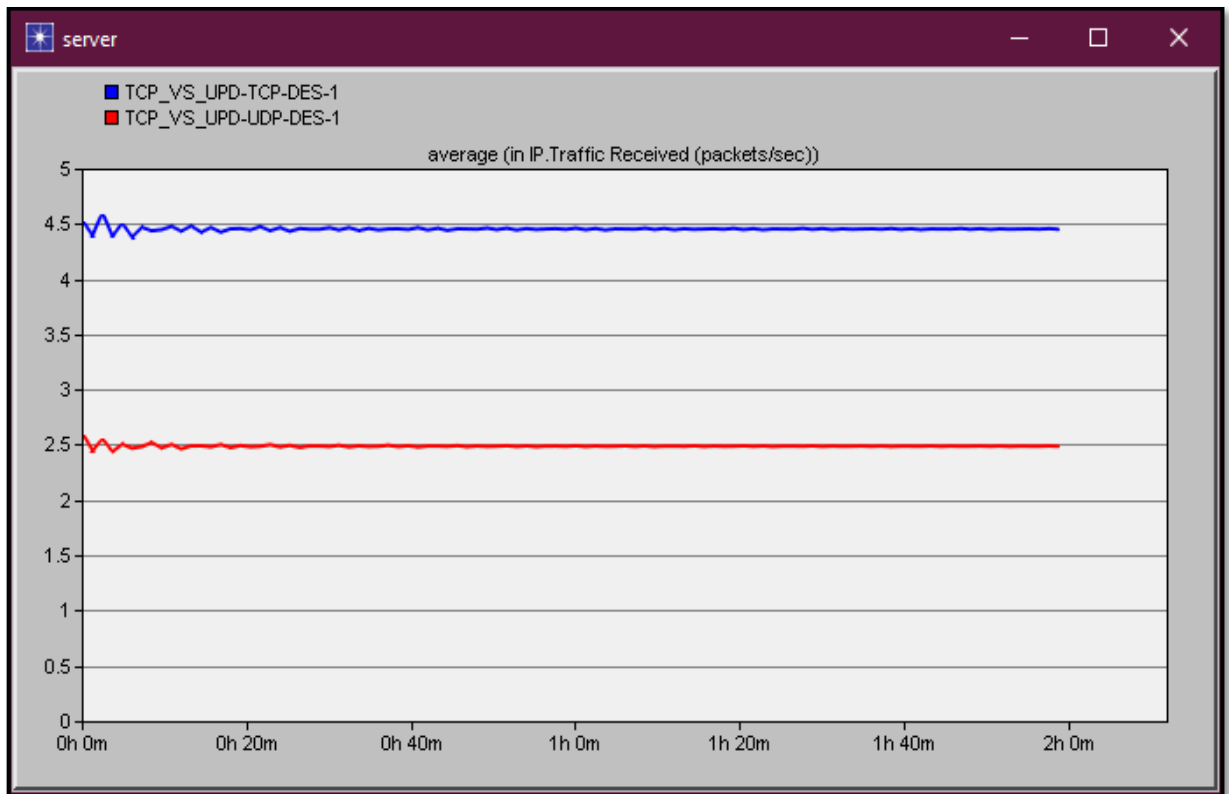


Figure III.15 : Trafic reçu (paquets/sec) pour le serveur

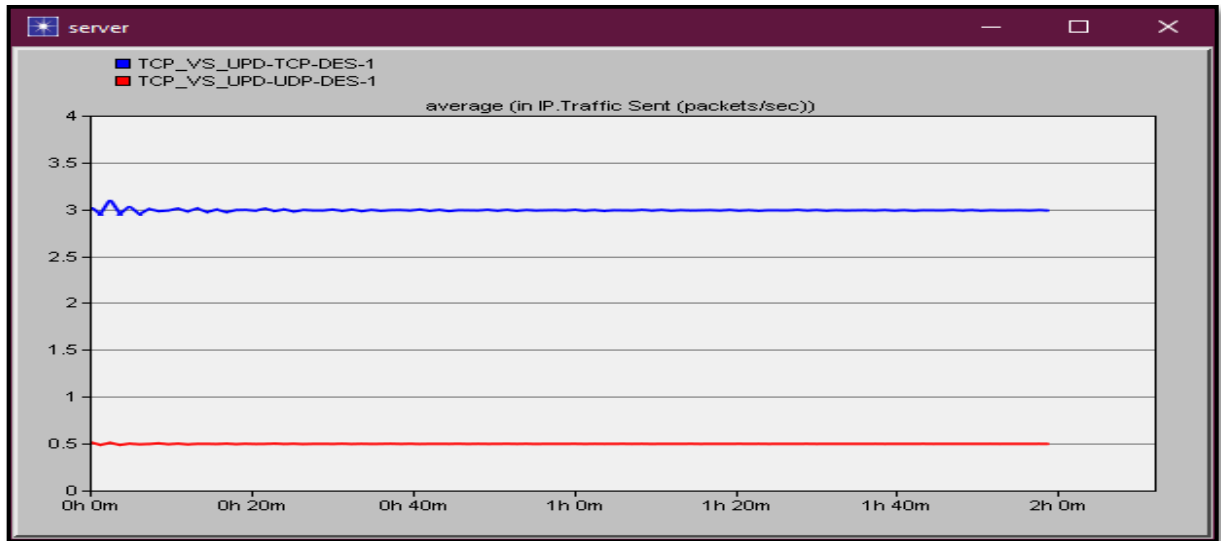


Figure III.16 : Trafic émis (paquets/sec) pour le serveur

Les données reçus/émis (paquets/sec) par le serveur est présenté dans la Figure III.15, Figure III.16 Pour les scénarios TCP et UDP. Le serveur reçoit et émis une plus grande quantité de paquets par seconde dans le cas TCP que l'UDP, parce que le TCP doit établir la connexion avec le serveur en premier, et seulement après la connexion est établie les paquets peuvent être envoyés à la destination.

c)- Traffics/liens utilisées du WAN au serveur:

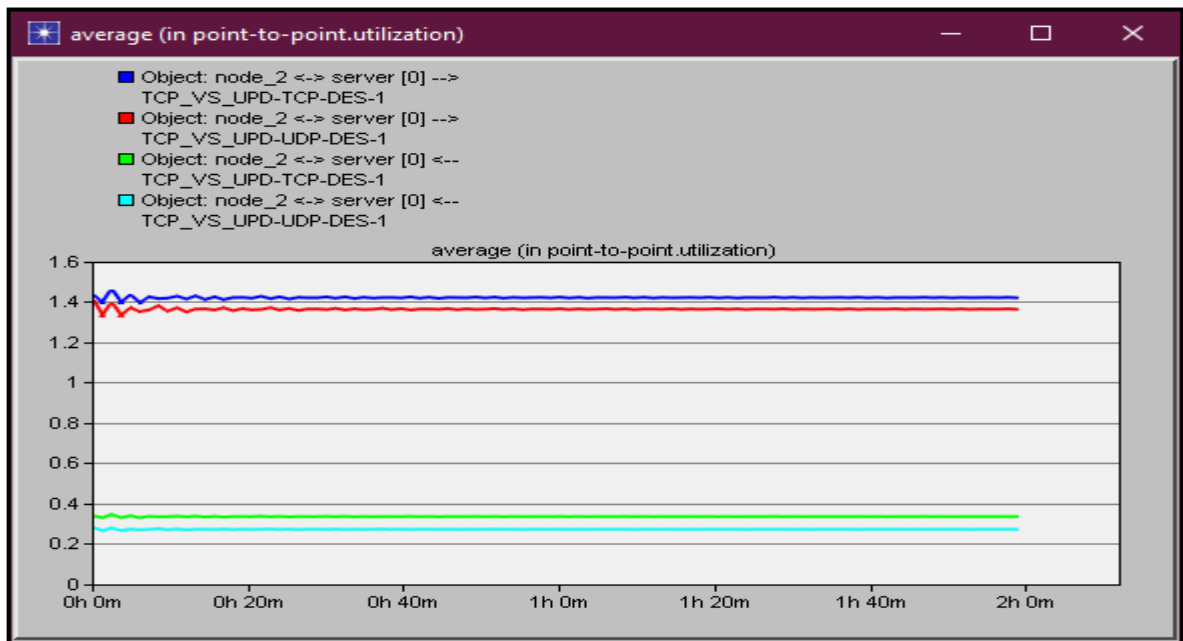


Figure III.17 : traffics/liens utilisées du WAN au serveur

La figure III.17 montre les résultats moyens du trafic reçu par le serveur d'application, dans la partie supérieure on remarque que lors de l'utilisation de TCP le serveur reçoit plus de paquets, contrairement à UDP parce qu'il n'est pas nécessaire d'envoyer la configuration de connexion (la connexion n'est pas établie). La partie inférieure indique l'utilisation du lien entre le serveur et le WAN comme nous pouvons le voir, lors de l'utilisation d'UDP il y a moins d'utilisation de ce lien, car UDP permet d'économiser en termes de délai et d'utilisation de la bande passante.

Nous voulons prouver la fiabilité de protocole TCP par rapport à UDP à travers l'étude de récupération des paquets rejetés alors nous augmentons la taille de la dimension du paquet à 10000 (bytes) et nous fixons un taux de rejet de paquets de 1 % ce qui peut amener TCP à renvoyer 1 % des paquets envoyés donc le lien entre serveur et le WAN a un débit/utilisation plus élevé dans le scénario TCP.

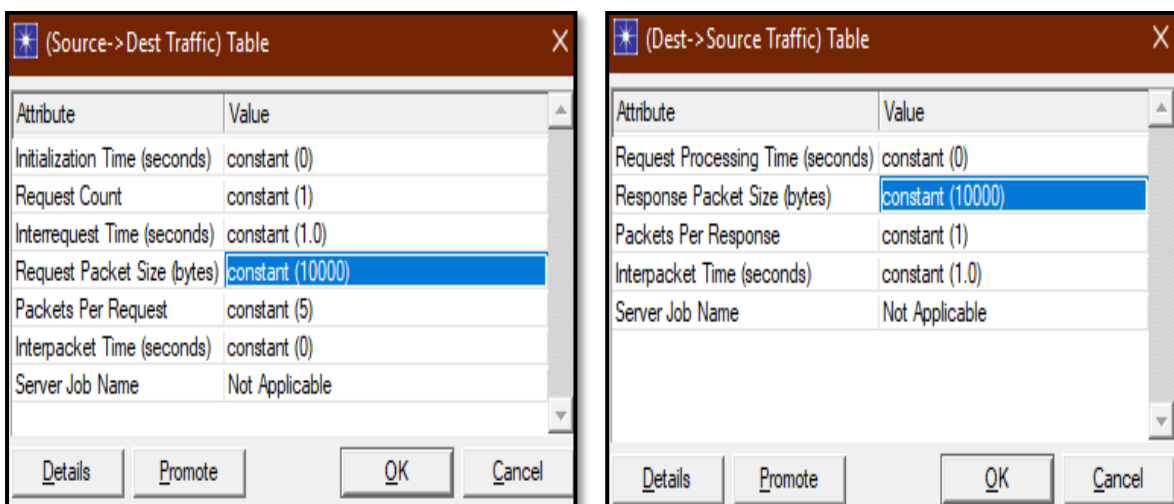


Figure III.18 : La configuration de la dimension du paquet (bytes)

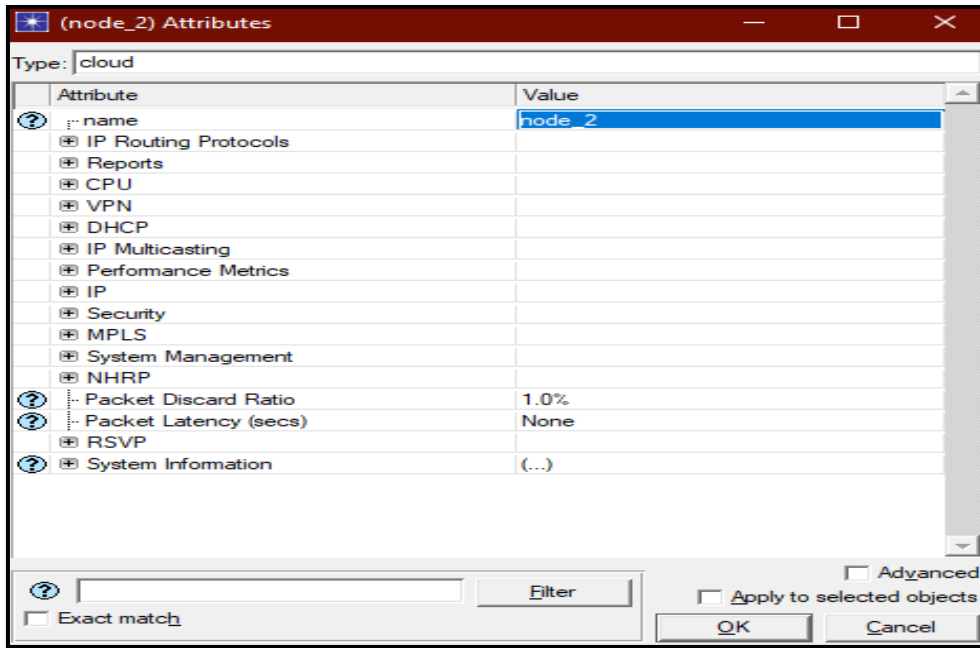


Figure III.19 : La configuration du taux de rejet de paquets

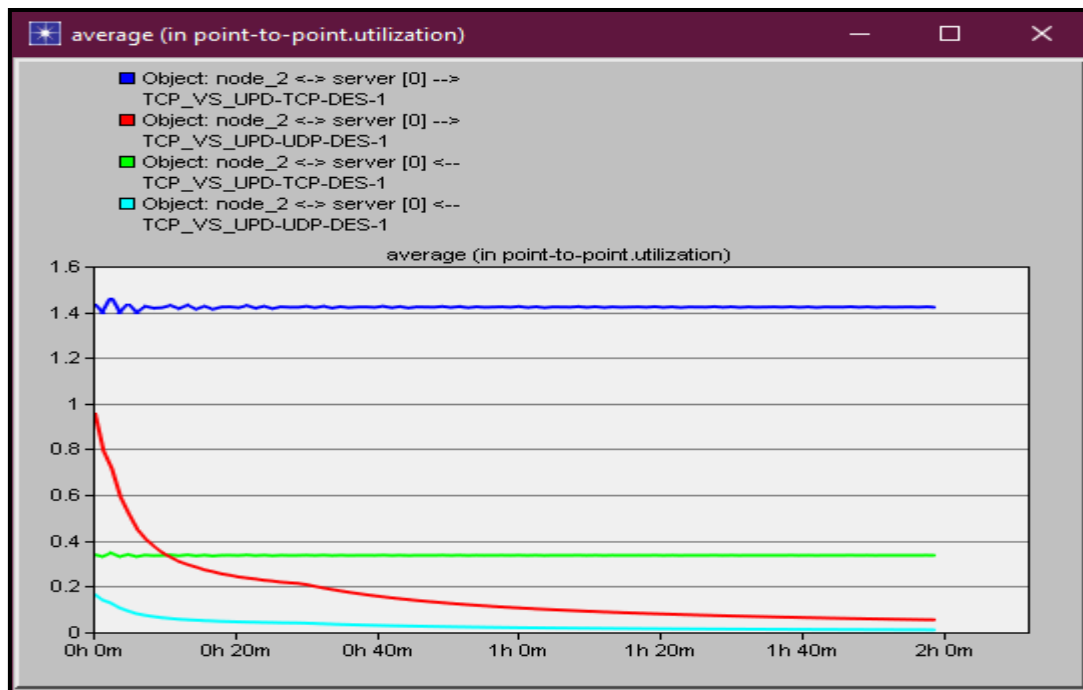


Figure III.20 : Utilisation de la liaison avec un taux de rejet de paquets de 1 %

La figure III.20 montre que le protocole TCP sera plus fortement affecté, donc UDP permettra aux données de se transférer plus rapidement et sans identification de la connexion.

III-3-2 Réseau N°2 : Le réseau WIMAX

WIMAX est une abréviation qui signifie Worldwide interoperability for microwave access, c'est la norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres. Elle permet de fournir un accès internet rapide à certaine zone rurale qu'il coûterait trop cher d'équipé en ADSL classique. WIMAX utilise des bandes de très hautes fréquences, situées entre 2 et 66 GHz. C'est une technologie de réseau sans fil fixe et mobile. Elle nécessite que les antennes émettrices et réceptrices soient situées l'une en face de l'autre pour que les transmissions passent [38].

III-3-2-1 Topologie de réseau simulé :

Après avoir créé le projet et déterminé le type de scénario, nous suivons les étapes suivantes :

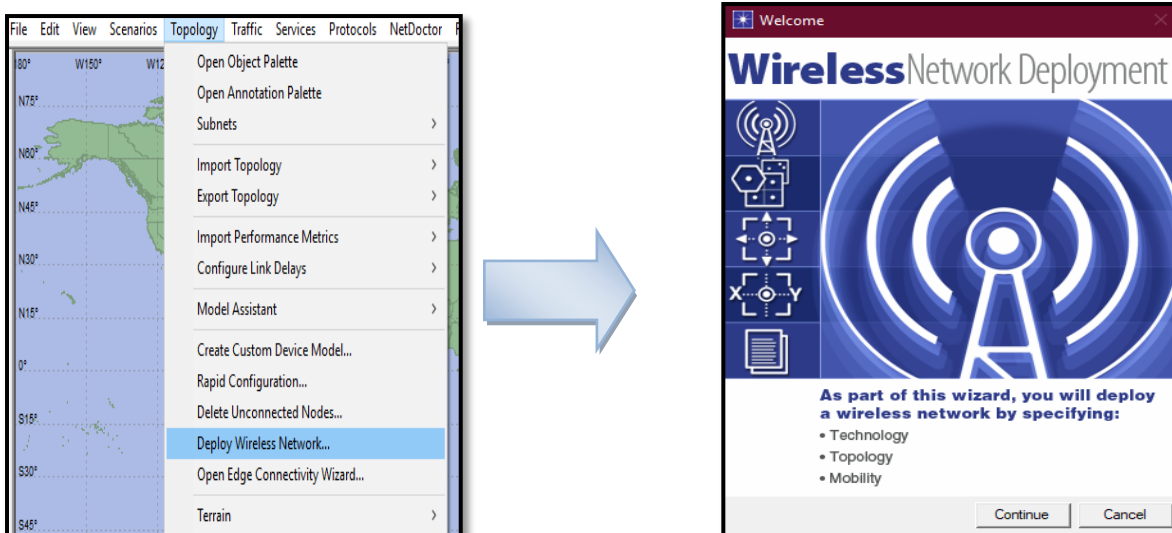


Figure III.21 : Implémentation d'un réseau sans fil

Cet assistant vous permet de créer un réseau sans fil en spécifiant les paramètres de technologie, topologie, mobilité.

Puis on précise la technologie qui est le WIMAX.

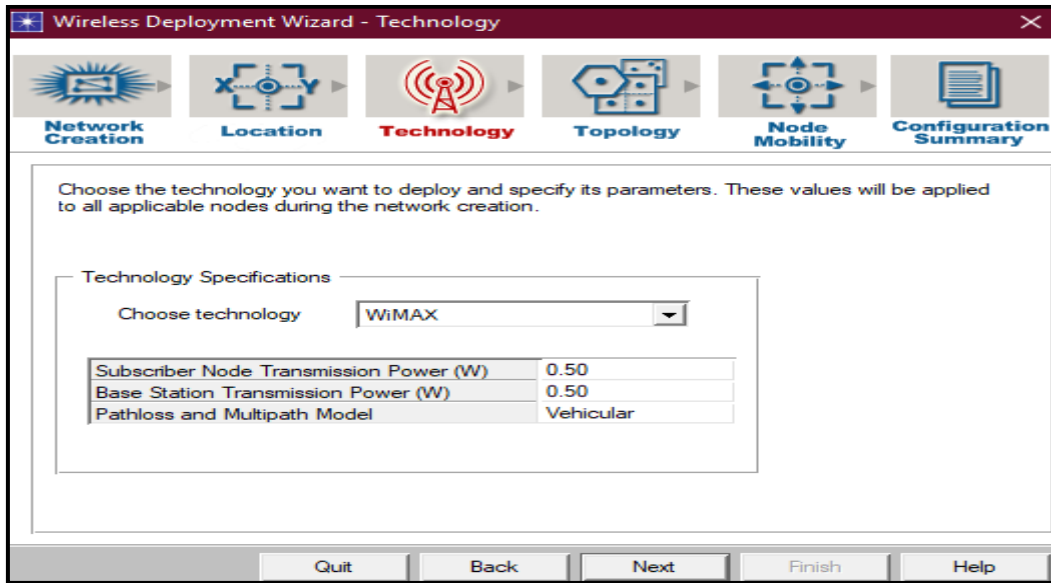


Figure III.22 : Spécification de la technologie

Nous choisissons une superposition géographique et spécifions la dimension de notre réseau

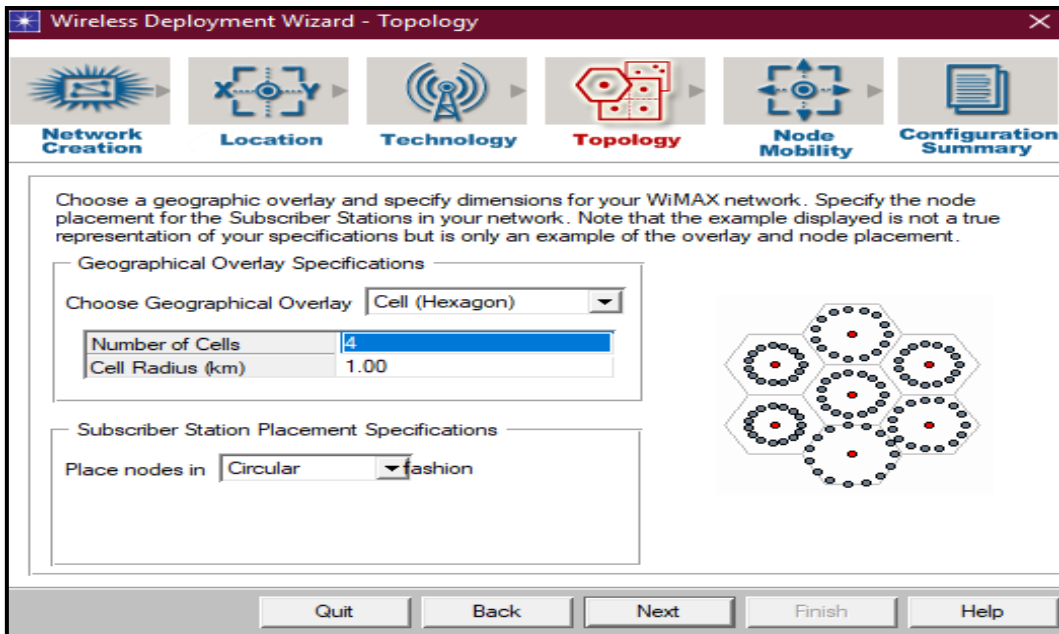


Figure III.23 : Spécification de dimension et superposition géographique

Finalement nous choisissons les composants de notre réseau

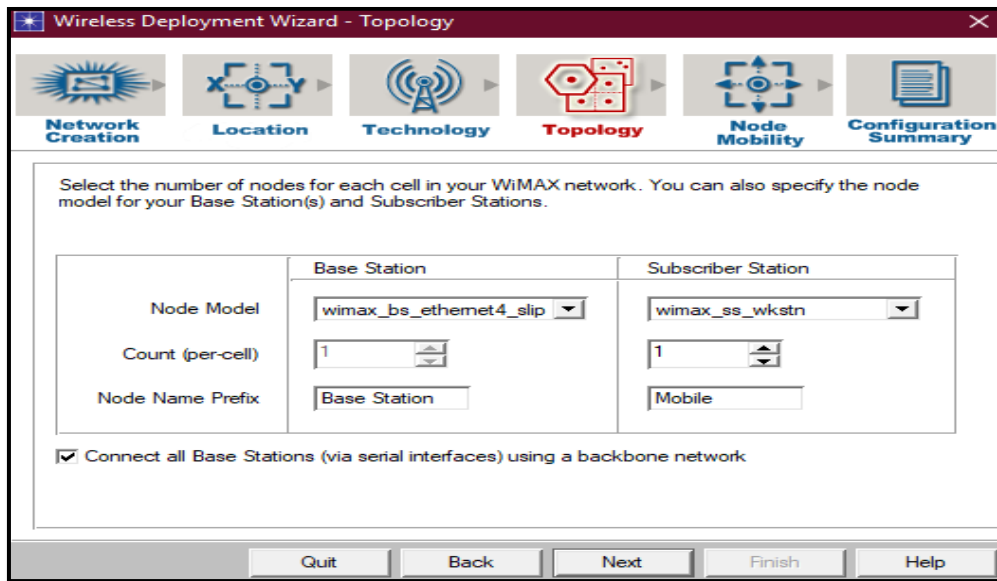


Figure III.24 : Les composants de réseau simulé

Le but de notre simulation est d'évaluer les performances du protocole TCP et UDP en termes : **paquets de données perdus (packets dropped)**, **temps de retard (delay)**, **chargement (load)** à travers la configuration d'un ensemble d'applications représentées en : Email, Voix(VoIP), FTP sur un réseau sans fil qui est le WIMAX où les données de ces dernier sont transmis via TCP ou UDP selon le type d'application. Nous avons utilisé un scénario qui nous permet de visualiser le résultat de l'objectif à atteindre car nous avons utilisé quatre mobiles et quatre BS (station de base) qui sont connectées à un Cloud.

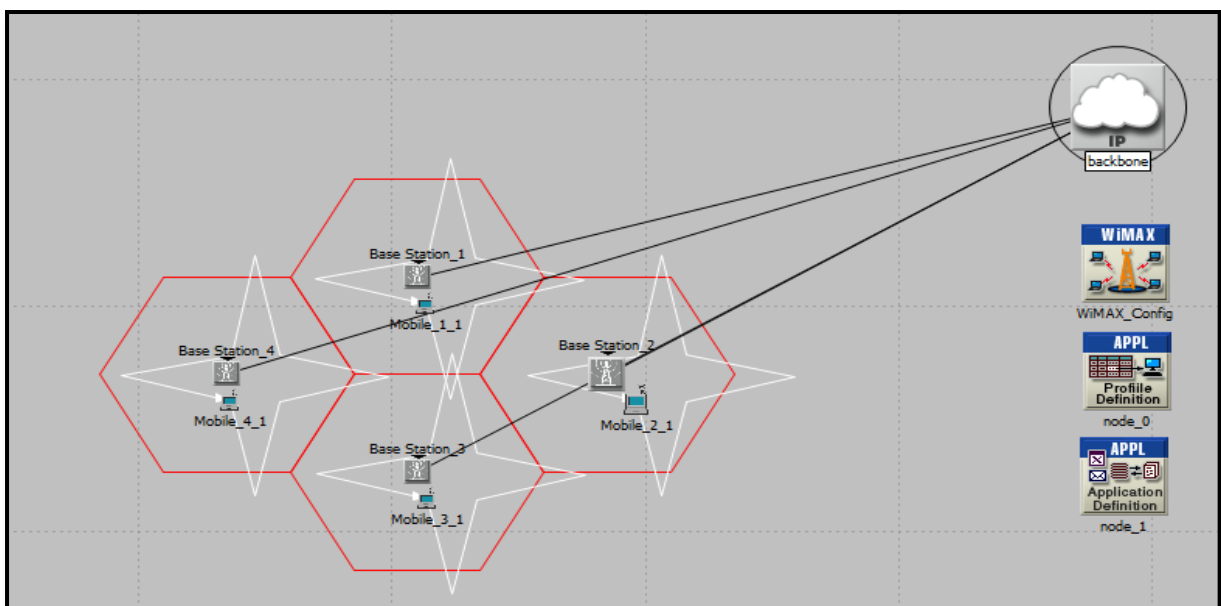


Figure III.25 : L'architecture de réseau WIMAX implémenté

Nous avons utilisé trois différents scénarios au même temps :

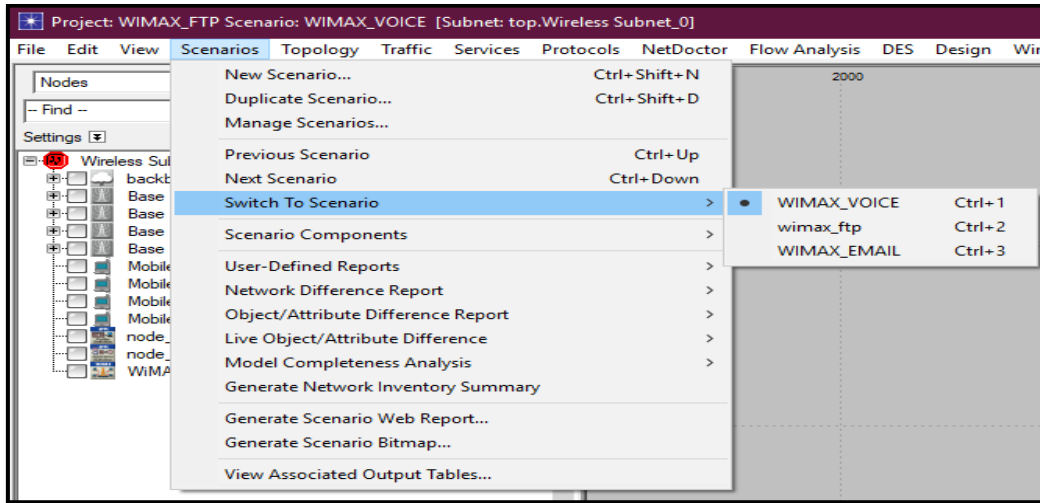


Figure III.26 : Les différents scénarios utilisés

Caractéristiques	Valeurs
Technique de multiplexage	TDD
Bande passante du canal	20 MHZ
Fréquence du canal	5.8 HZ
Puissance d'émission maximale	0.5 W
Durée de la trame	5 ms
Nombre de sous porteuse	2048

Tableau III.3 : Les paramètres de configuration de WIMAX

Caractéristiques	Valeurs
Gain d'antenne	15dBi
Nombre d'émetteurs	SISO
Profile physique	Wireless OFDM 20MHZ
Puissance d'émission maximale	0.5 W

Tableau III.4 : Les paramètres de configuration de station de base

III-3-2-2 Discussion des résultats obtenus :

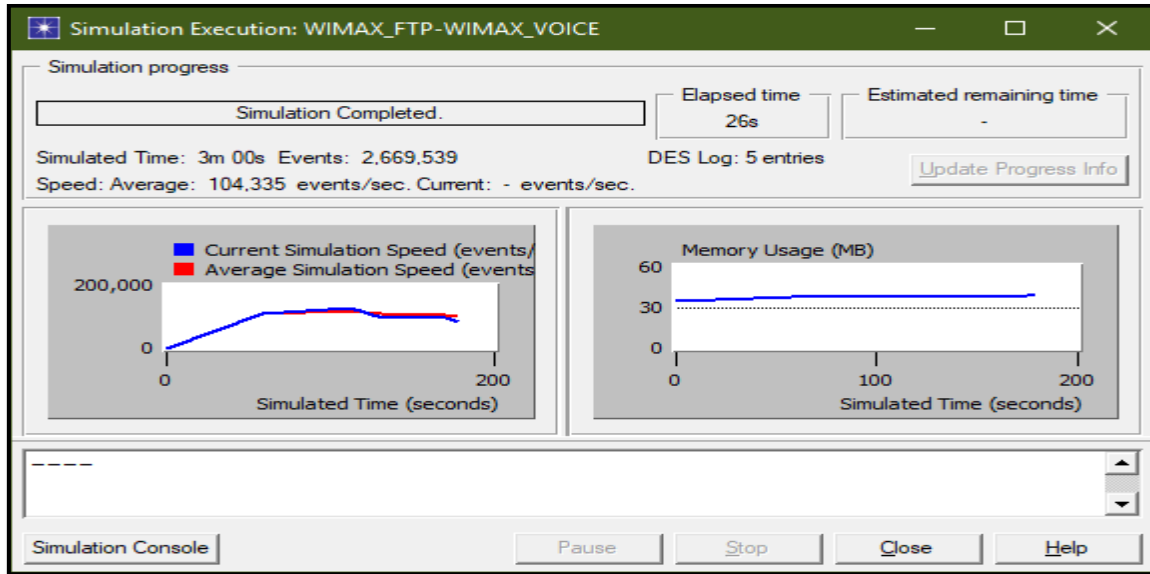


Figure III.27 : Résultat de simulation du modèle de base

a)- Le temps de retard (Delay):

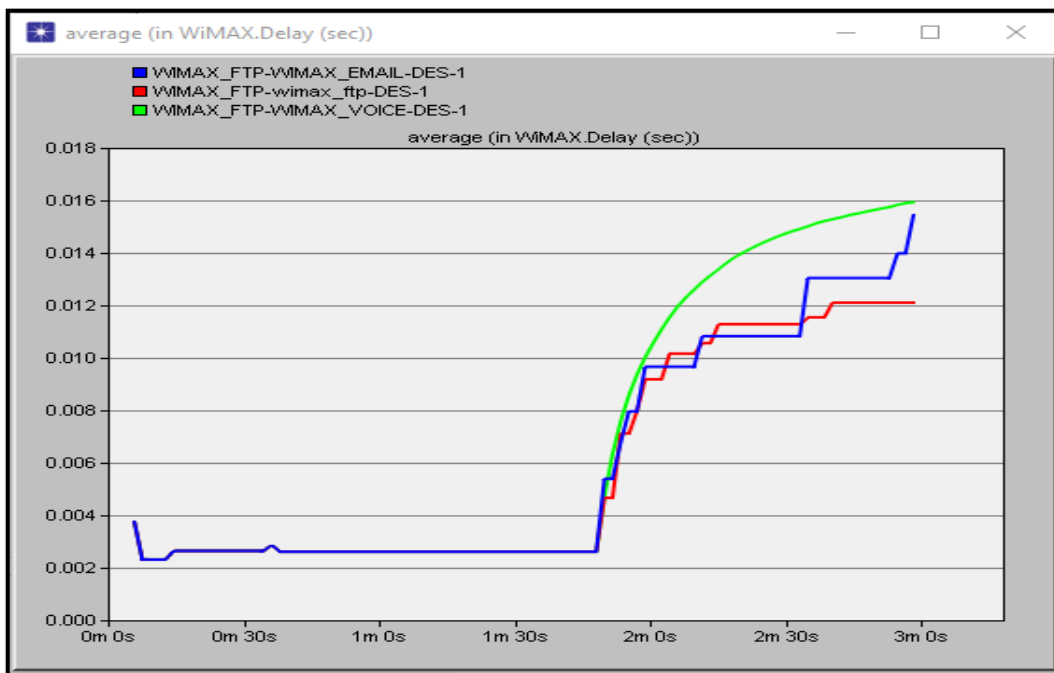


Figure III.28 : Le temps de retard d’Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX

La figure ci-dessus montre les résultats moyens de temps de retard pour l’Email, FTP et VoIP dans un réseau Wimax. On remarque que le temps de retard pour FTP et Email est

presque symétrique , cela est dû à l'utilisation du même protocole de transport TCP mais à certains moments, le délai du FTP est plus grand car il contient un ensemble de fichiers qui nécessitent plus de temps dans le cas de l'envoi d'Email simple et à certains moments, nous constatons que le délai d'Email est supérieur à FTP Cela est dû à la possibilité que l'Email contient des fichiers à envoyer et nécessite donc plus du temps.

Par rapport aux deux applications précédentes, nous constatons que le délai VoIP est plus élevé bien qu'il dépende du protocole UDP qui est plus rapide que TCP, puisque VoIP est une application audiovisuelle (Viber, Skype, whatsApp,... Etc) qui travail avec les exigences du temps réel.

b)- Le chargement (Load):

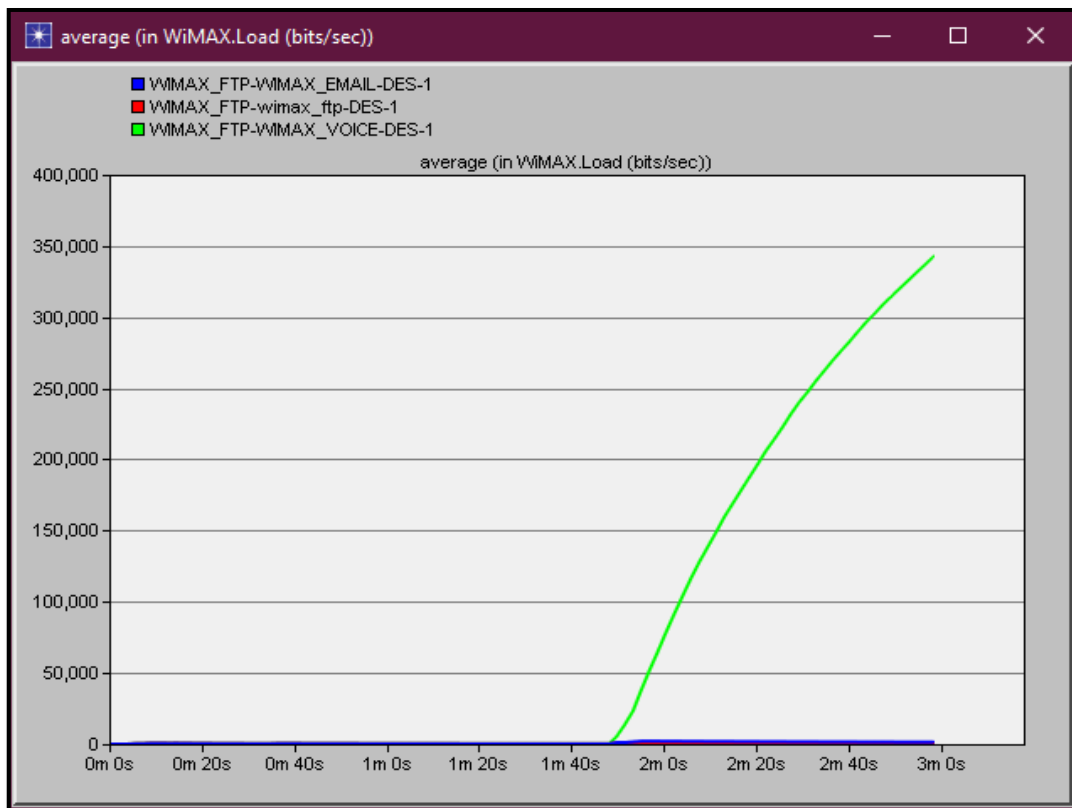


Figure III.29 : Le chargement d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX

Cette courbe représente le chargement d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX.

Nous constatons que le chargement d'Email et du ftp est proche et trop faible par rapport au chargement de la VoIP et pour cette raison, on retrouve que le délai de VoIP supérieur aux deux applications précédentes, bien que ses services soient basés sur le

protocole UDP, qui est rapide, mais cela est dû au fait qu'il s'agit d'une application audiovisuelle qui transmet le son et l'image à la fois.

c)- Les données perdues (Data dropped) :

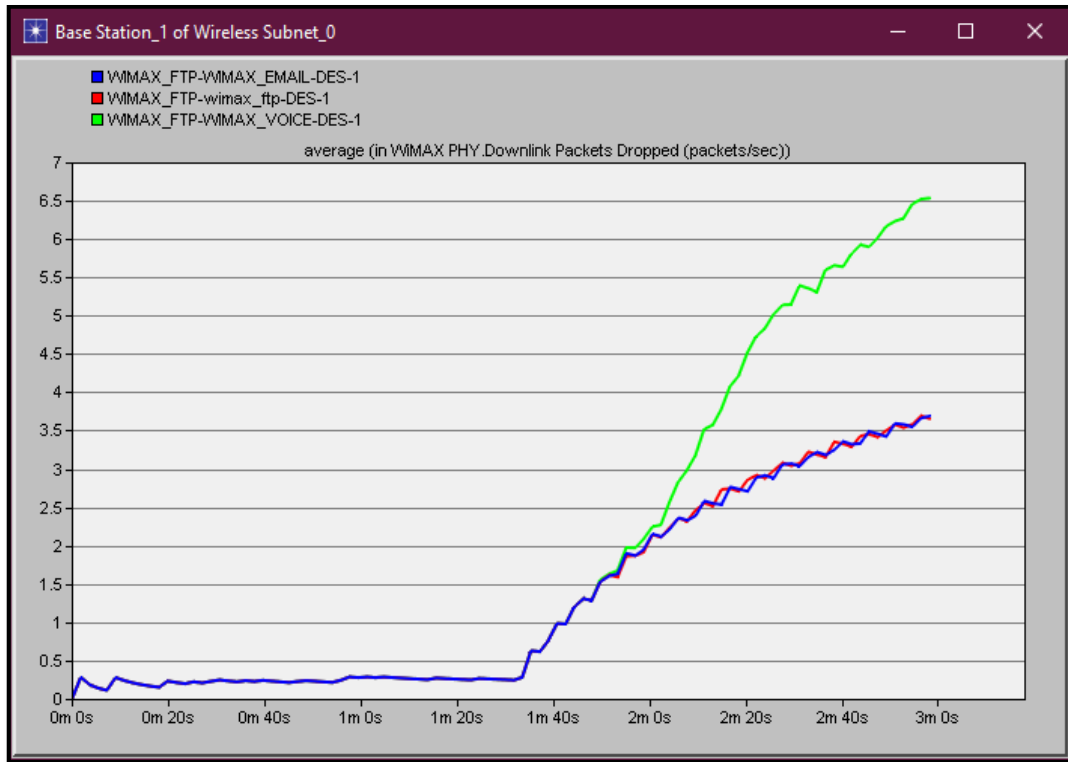


Figure III.30 : Les données perdues d'Email, FTP, VoIP dans le réseau WIMAX

La Figure III.30 montre le résultat moyen de la perte de paquets FTP, e-mail et VoIP dans le réseau WIMAX. On la trouve plus élevée en VoIP car les données sont envoyées sur la base d'UDP, qui fournit un service ne prend pas en charge le contrôle et la reprise des erreurs, contrairement à TCP, qui surveille l'arrivée des données vers sa destination et le renvoie en cas de perte et cela rend les pertes encore plus grande dans les applications qui utilisent UDP.

Conclusion :

À travers ce qui a été traité dans ce chapitre, les résultats ont été mis en correspondance avec les résultats théoriques, où nous avons appris que les protocoles de transport assez similaires, en ce sens qu'ils garantissent que vos données parviennent à leur destination en toute sécurité et sans être modifiées quelque part en cours de route, mais il existe quelque différences car TCP qui préfère la fiabilité à la rapidité, il contrôle le flux et renvoie les

paquets en cas d'erreur, ce qui le rend moins susceptible d'être perdu, contrairement à l'UDP qui privilège la rapidité à la fiabilité, il vérifie simplement si la destination est correcte et vérifie l'intégrité des paquets, mais ne demande pas à l'expéditeur de renvoyer les paquets perdus, et les abandonne simplement à la place, ce qui signifie que vous aurez une connexion plus rapide, mais vous pouvez déposer des paquets en cours de route. Alors on peut dire que TCP est un protocole fiable, orienté connexion et UDP non fiable, non connecté.



Conclusion générale

Conclusion générale :

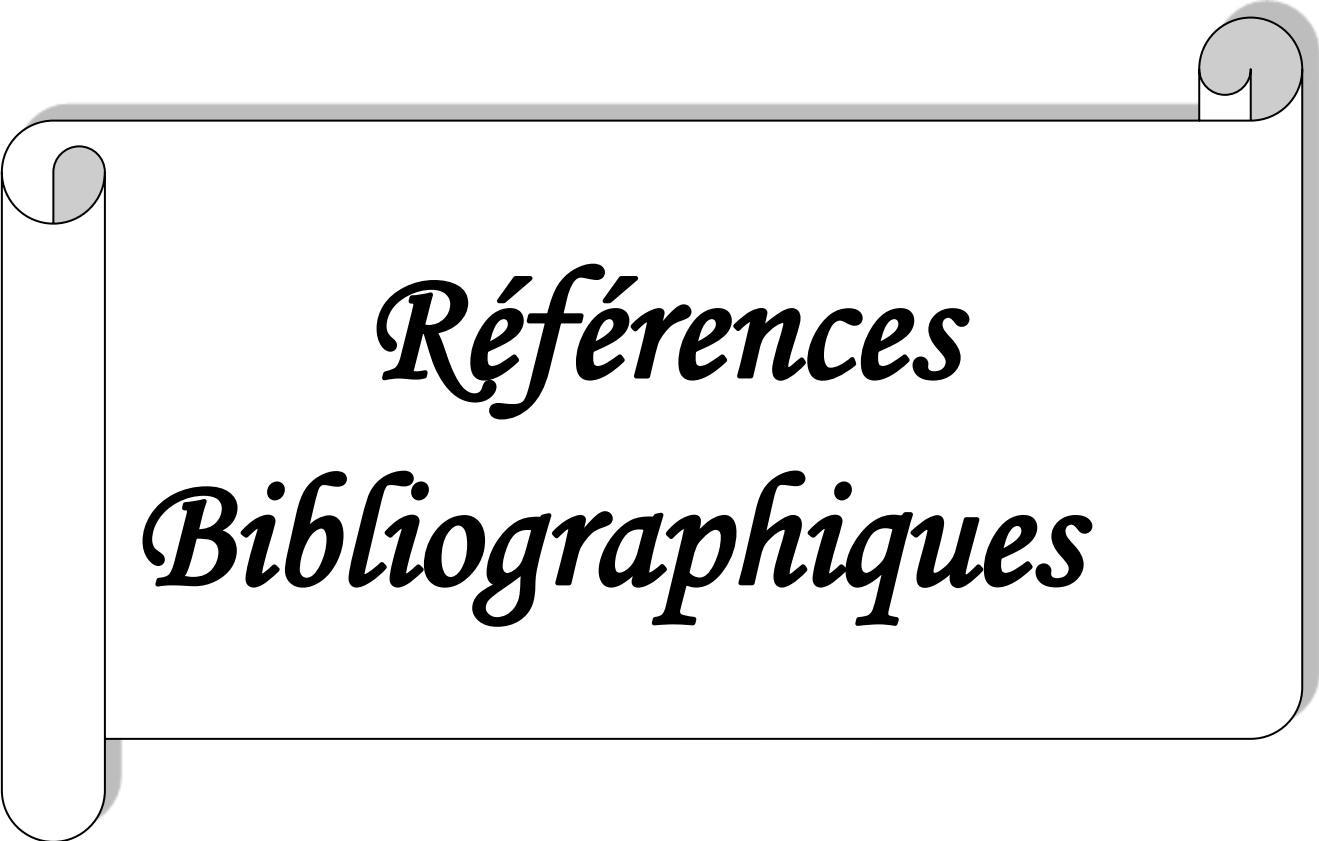
Ce projet vise à montrer l'importance de la couche transport, qui est représentée comme un médiateur entre les couches basses et les couches hautes, en étudiant le comportement des réseaux qui dépendent sur des protocoles de transport les plus importants, qui sont TCP et UDP.

Dans ce mémoire, nous avons présenté la démarche d'étude et d'évaluation des performances de ces protocoles en utilisant le simulateur OPNET pour obtenir les meilleures résultats qui nous à permis de connaître les différences entre ces deux protocoles et cela l'objectif principale de ce projet.

L'analyse des résultats obtenus des simulations clarifie que la principale différence entre ces deux protocoles est que TCP fournit des services de fiabilité et de contrôle de congestion, tandis que l'UDP est orienté pour améliorer les performances c'est-à-dire TCP et UDP se distinguent sur deux critères : la qualité et la rapidité tel que TCP est bien adapté aux communications nécessitant la fiabilité ce qui résulte une transmission de données parfaite, sans perte c'est un protocole qualifié de "robuste" et qui est utilisé par la plupart des applications (navigateur Web, transfert de fichiers, messagerie,etc.) par contre l'UDP qui privilégie la vitesse à la fiabilité et comme il n'exige pas de connexion persistante, il libère des ressources système de chaque côté, ce qui allège les applications, c'est pour ça il est employé avec les applications nécessitant du temps réel comme le jeu vidéo ou les conversations audio-visuels(skype, Viber , WhatsApp,etc.).

En résumé, quand vous devez choisir entre les deux protocoles lors d'une configuration, prenez TCP pour la fiabilité et UDP pour la rapidité. Et si vous avez des doutes, faites des tests comparatifs pour voir ce qui fonctionne le mieux en pratique, le choix étant toujours réversible.

Comme perspective de notre travail, nous souhaitons de prévoyez et de mener plusieurs études concernant le routage des paquets dans les réseaux informatiques afin d'améliorer l'intégrité des transmissions de données utilisant différents protocoles réseau.



*Références
Bibliographiques*

Références bibliographique

- [1] A.Tananbaum , “Réseaux Architectu re, Pr otocolos, Applicati on”, pretience-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, 1989.
- [2] O.Tharan, “Architecture Réseaux”, Institut Pasteur, IEB, pp.1-86, 2004.
- [3] A.Mehaoua, “Réseaux et Télécommunication”, Université Paris 5, 2006.
- [4] Peter Norton, Dave Kearns, “Retele de calculatoare”, Ed. Teora.
- [5] Saint-Jean A.O. Djungu, Réseaux par la pratique, Ed. CRIA2014.
- [6] http://staff.univ batna2.dz/sites/default/files/cherouat_soumeya/files/13 tc s5 cour srt.pdf
- [7] JF.PILLOU, Fabrice LEMAINAQUE, Tout sur les réseaux et internet, 4eme édition dunod, 3 juin 2015.
- [8] http://sti.ac-bordeaux.fr/techno/projets/FC12/5/tice_51.pdf
- [9] <https://adequasys.com/fr/client-leger-vs-client-lourd/>
- [10] HAMIMED Yazid(université abou bekr belkaid-telemcen) Présenté le 03 Juliet 2017
- [11] Raphael Yende, « télématique et protocoles de communications », Master. Congo-Kinshasa. 2018. cel-01965883.
- [12] Phillipe Atelin (2009), Réseaux informatiques : notions fondamentales.
- [13] Dean .T (2001). Réseaux Informatique. Edition RYNALD GOULET.
- [14] G. PUJOLLE, Initiation aux réseaux, Édition eyrolles, 27 février 2014.
- [15] Pascal Nicolas, *cours des réseaux Informatiques*, université d’Angers.
www.info.univ-angers.fr/pub/pn
- [16] G.DESGEORGE. La sécurité des réseaux ,3 éme édition Dunod ,2012.
- [17] TANENBAUM et al, *les Réseaux*, 5e édition ; Pearson Éducation France, 2011, 970 pages, ISBN : 978-2-7440-7521-6.
- [18] François Laissus, « Cours d’introduction à TCP/IP », 20 février 2005.

Références bibliographique

- [19] <https://www.frameip.com/osi/>
- [20] Eric Decke « Réseaux Locaux Industriels et Bus de Terrain » Janvier 2006.
- [21] ABED Amine et GUENOUNA Abdelwahab, « La voix sur IP », institut de la télécommunication Abdelhafid boussouf –ORAN. (2005).
- [22] JF.PILLOU, Tout sur les systèmes d'information, Paris Dunod 2006.
- [23] S. Schneider« Les bus et les réseaux de terrain en automatisme industriel » Ouahid Belkacem Novembre 2002.
- [24] Frédéric Jacquenod, « Normalisation des réseaux »,03 janvier 2008.
- [25] Talbi Hamza, «Architecture et politique de robustesse par le multihoming dans les réseaux ad hoc et les réseaux satellitaires», Thèse de Magistère, Université Constantine1.
- [26] Ahmed Mehaoua, «Couche Transport Tcp Et Udp», support de cours, Université Paris Descartes, Décembre 2009.
- [27] E. Kohler, M. Handley and S. Floyd. “Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)”, RFC 4340, IETF, March 2006.
- [28] R. Stewart, Q. Xie, K. Morneault, C. Sharp, H. Schwarzbauer, T. Taylor, I. Rytina, M. Kalla, L. Zhang and V. Paxson, “Stream Control Transmission Protocol”, RFC 2960, IETF, October 2000.
- [29] J. Postel, “Transmission Control Protocol”, RFC 793, IETF, September 1981.
- [30] Rami Langar, «Couche transport», support de cours (https://www.phare.lip6.fr/~langar/Polytech_courses.htm).
- [31] M. Duke, R. Braden, W. Eddy and E. Blanton, “A Roadmap for Transmission Control Protocol (TCP) Specification Documents”, RFC 4614, IETF, September 2006.
- [32] L. A. Larzon, M. Degermark, S. Pink, L. E. Jonsson and G. Fairhurst, “The Lightweight User Datagram Protocol (UDP-Lite)”, RFC 3828, IETF, July 2004.
- [33] Mounir-ssada, « Chapitre VI : Simulation et discussion des résultats» (<http://docslide.fr/documents/6-simulation-et-discussion-des-resultats.html>), juillet 2015.

Références bibliographique

[34] Louati Chaimae, Elhoussaini Smail, Wann Ibrahima, Hazaoud Alae «Simulateur interactif de la qualité de service dans un routeur », Rapport de Master, Centre d'Enseignement et de Recherche en Informatique, 2013.

[35] Saadane Houda « La qualité de service d'un streaming vidéo dans un réseau ad hoc (égale à égal) », mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 2012.

[36] Jarmo Prokkola , « OPNET - Network Simulator» Rapport de projet , Centre de Recherche Technique VTT de Finland , University de Oulu .

[37] Sidi Ykhlef Asma Et Kebir Khadidja « Modélisation et simulation d'un réseau en utilisant OPNET modeler » Mémoire de Licence, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Juin 2011.

[38] KHERBACHE Zeyneb et LARIBI Amina, Étude de la Qualité de Service (QoS) dans les réseaux WIFI, Université de tlemcen, 2011.

