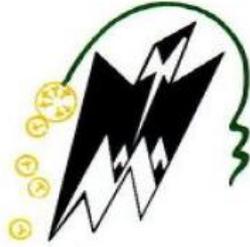


MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

MEMOIRE DE MASTER

SPECIALITE : INFORMATIQUE

OPTION : SYSTEMES INFORMATIQUES

Thème

**Evaluation des protocoles de routage
dans les MANETS pour une utilisation
de données multimédia**

Proposé par :

M^r HAMRIOUI SOFIANE.

Présenté par :

M^{elle} BESSADI Katia.

M^{elle} YAHATENE Lisa.

Année 2012/2013

Remerciement

Si ce mémoire a pu voir le jour, c'est certainement grâce à Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience, ainsi le soutien et l'aide de plusieurs personnes qui nous ont permis d'accomplir ce travail dans des conditions idéales. Nous profitons de cet espace pour les remercier tous.

- ✚ Nous exprimons nos profonds remerciements à nos familles pour leur soutien inconditionnel, merci pour nous avoir encouragés, supportés et pour avoir acceptés tant de sacrifices durant cette période.
- ✚ Nous tenons à remercier notre promoteur M^r HAMRIOUI Sofiane de nous avoir proposé le sujet et pour tous les conseils qu'il nous a prodigué tout au long de la réalisation de ce travail.
- ✚ Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'honorer par leur jugement notre travail.
- ✚ Nous tenons surtout à remercier Karim pour la peine qu'il s'est donné afin de nous corriger notre travail.
- ✚ Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à :

- ✚ Mes très chers parents
- ✚ A tata Houria & dada Cid
- ✚ Mon frère Dadou
- ✚ A mes deux sœurs Nony & Massiva
- ✚ mes tantes & mes oncles
- ✚ Tous mes amis (es)
- ✚ Ma copine Lilia & ses parents
- ✚ Mon meilleur ami Adel & sa famille
- ✚ Ma binôme Lisa & sa famille (ses parents, Zahoua, Ridon et Amer)

Katia

Je dédie ce modeste travail à :

✚ Mes très chers parents

✚ A ma sœur Zahoua

✚ Mes frères Ridon & Amer

✚ Ma copine Badia & sa famille

✚ Ma binôme Katia & sa famille

✚ Tous mes amis (es)

Lazlouzzz

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

**CHAPITRE II : Le routage et Données Multimédia
dans Les MANETS**

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition d'un réseau ad-hoc	3
I.3. Modélisation d'un réseau ad-hoc	4
I.4. Avantages des réseaux ad-hoc	5
I.5. Architecture des réseaux ad-hoc	5
a. Architecture plate	6
b. Architecture hiérarchique (clustering).....	6
I.6. Acheminement de l'information dans un réseau ad-hoc	6
a. envoi direct.....	6
b. Envoi par routage	6
I.7. Types des réseaux ad-hoc	7
a. Les réseaux mobiles ad-hoc.....	7
b. Les réseaux de capteurs	8
c. Les réseaux maillés	8
I.8. Différences entre WSNs, WMNs et MANETs	9
I.9. Caractéristiques des réseaux mobiles ad hoc	10
I.10. Les applications des réseaux mobiles ad-hoc.....	10
a. Applications militaires	12
b. Opérations de sauvetage	12
c. Domaine commercial	12
d. Réseau d'entreprise	12
I.11. Contraintes liées aux réseaux mobiles ad-hoc.....	13
a. Limitations dues au support de transmission	13
b. Limitations dues aux stations mobiles.....	14
I.12. Conclusion	15

Table des matières

CHAPITRE II : Le routage et Données Multimédia dans Les MANETS

II.1. Introduction.....	16
II.2. Les objectifs des protocoles de routage	16
II.3. Propriétés requises pour les protocoles de routage dans les MANETS.....	17
a. Implémentation distribuée.....	17
b. Utilisation efficace de la bande passante.....	17
c. Optimisation de la consommation d'énergie.....	17
d. Robustesse.....	17
e. Routes multiples.....	17
f. Elimination des boucles de routage.....	17
g. Support des liens unidirectionnels.....	18
h. Scalabilité.....	18
i. Optimisation des métriques	18
II.4. Classification des protocoles de routages dans les MANETS	24
a. Les protocoles proactifs (Table-Driven)	18
b. Les protocoles réactifs (On-Demand)	20
c. Les protocoles hybrides.....	20
II.5. Description de quelques protocoles de routage dans les réseaux mobile ad hoc	21
II.5.1. Le protocole DSR	21
a. La découverte de route	21
b. La maintenance de route	22
c. Évaluation	23
II.5.2. Le protocole AODV.....	24
a. La découverte de route	25
b. La maintenance de route	26
c. Évaluation	27
V.5.3. le protocole OLSR.....	28
Évaluation	29
II.6. Caractéristiques majeures des applications multimédias.....	31
II.7. Types de données multimédia.....	31
II.7.1. Les Applications à média audio	31

Table des matières

a. Audio Conférence, Voix sur IP	31
b. Messagerie vocale	32
c. Streaming Audio.....	32
II.7.2. Les applications à média vidéo	32
a. Vidéo Conférence.....	32
b. Streaming Vidéo.....	33
II.7.3. Les applications De données	33
a. Transfert de fichiers	33
b. Navigation Web Services de transaction à priorité élevée.....	33
c. Services de transaction à priorité élevée	34
d. Images fixes	34
e. Jeux interactifs	34
f. Courrier électronique	34
g. Messagerie instantanée	35
II.8. Conclusion	35

CHAPITRE III : Etude comparative des Simulateurs

III.1. Introduction	36
III.2. Qu'est ce que la simulation ?.....	36
III.3. Quand et pourquoi simuler	37
III.4. Les méthodes de simulation	38
III.5. Quelques simulateurs	38
a. Glomosim.....	38
b. NS2.....	39
c. OMNET.....	39
d. J-Sim.....	41
e. OPNET.....	42
III.6. Choix de l'outil simulation.....	43
III.7. Pourquoi OPNET	45

Table des matières

CHAPITRE IV : Simulation et analyse des résultats

IV.1.Introduction.....	46
IV.2 .Métriques de performance dans les MANETS.....	46
IV.3.Simulation sous OPNET	47
IV.4. Evaluation d'un réseau sous OPNET	47
a. Déploiement d'un réseau sans fil ad hoc.....	49
b. Déploiement d'une application	50
c. Configuration du modèle de mobilité Random WayPoint	54
d. Sélection des valeurs statistiques pour les résultats	55
e. Configuration et exécution des simulations	56
f. Visualisation des résultats de simulation.....	57
IV.5. Scénarios de simulation et analyse des résultats	58
V.5.1. Impact de la mobilité sur l'évaluation des protocoles des routages dans les Mantes60	
a. résultats obtenus.....	61
b. Analyse et discussion des résultats obtenus.....	62
c. Conclusion	63
V.5.2.Evaluation des protocoles de routages pour l'utilisation de données multimédia63	
V.5.2.1. Envoie de la donnée texte sur le réseau	64
• Discussion et analyse des résultats obtenus	64
a. En termes de charge du réseau	64
b. En termes de délai	65
c. En termes de débit	66
d. Conclusion.....	67
V.5.2.2. Envoie de vidéo en streaming sur le réseau	68
• Discussion et analyse des résultats obtenus	68
a. En termes de charge du réseau.....	68
b. En termes de délai.....	69
c. En termes de débit.....	70
d. Conclusion	71
V.5.2.3. Envoie de l'audio en streaming sur le réseau.....	71

Table des matières

• Discussion et analyse des résultats obtenus	71
a. En termes de charge du réseau	71
b. En termes de délai	72
c. En termes de débit	74
d. Conclusion.....	74
V.5.3. Différence du comportement des protocoles DSR, OLSR et AODV pour les trois types d'application.....	75
V.6.Conclusion.....	82
Conclusion Générale & perspectives.....	84

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : Les classes des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc.....	21
Tableau II.2: Les protocoles de routage pour les réseaux ad hoc.....	30
Tableau II. 3: Objectif de qualité pour les applications audio et vidéo	30
Tableau II.4: Objectif de qualité pour les applications de données.....	35
Tableau III.1 : Tableaux comparatif entre les simulateurs définis en haut.....	42
Tableau IV.1 : les paramètres de simulation.....	57
Tableau IV.2 : Les applications et les protocoles utilisés dans notre simulation.....	58
Tableau IV.3 : tableau récapitulatif des résultats obtenus.....	76

Liste des acronymes

AODV	Ad-hoc On Demand Distance Vector
API	Application Programming Interface
CM	Compound Module
CBR	constant bit rate traffic
CSMA	Carrier Sense Multiple Acces
DAG	Directed Acyclic Graph
DES	Discrete event simulation
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector
DSR	Dynamic Source Routing
FSR	Fisheye State Routing
FTP	File transport Protocol
GloMoSim	Global Mobile information System Simulator
GNED	G Network Description
HSR	Hierarchical State Routing
J-Sim	Java Sim
LS	Link State
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad-hoc NETwork
MPR	Multi Point Relay
NS-2	Network Simulator 2
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLSR	Optimized Link State Routing
OMNeT++	Objective Modolor Network Test bed in C++
OPNET	Optimized network engineering tool
PC	personal computeur
QoS	Qualité de Service
QRY	Query
QualNet	Version commercial de glomosim
RERR	Route Error
RREP	Route Reply
RTP	Real-time Transport Protocol
RWP	Random Way Point
SM	Simple Module

Liste des acronymes

TTL	Time To Live
TBRPF	Topology Dissemination Based On Reverse Path Forwarding
TC	Topology Control
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TORA	Temporary Ordering Routing Algorithm
TCL	Tool Command Language
VoD	Video on Demand
VOIP	voice over internet protocol
WiFi	Wireless Fidelity
WMNs	Wireless Mesh Networks
WSNs	Wireless Sensor Networks

Résumé

Les recherches actuelles dans les réseaux ad-hoc sont dirigées vers les algorithmes de routage. En effet à cause de la mobilité des nœuds il est très difficile de localiser une destination à un instant donné, les protocoles de routage conçus pour des réseaux statiques sont donc inadaptés pour ce type de réseaux. Plusieurs protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ont été développés, chaque protocole essaye de maximiser les performances du réseau en minimisant le délai de livraison des paquets, l'utilisation de la bande passante et la consommation d'énergie. Les algorithmes de routage pour les réseaux ad hoc peuvent se classer en trois catégories, les protocoles Table-Driven, les protocoles On-Demande et les protocoles hybrides.

Notre travail consiste à simuler plusieurs scénarios afin d'évaluer les performances des protocoles de routage les plus utilisés dans les MANETs pour l'envoi des données multimédia tels que le streaming vidéo, le streaming audio et l'envoi d'une donnée texte, et cela en utilisant différents critères d'évaluation tels que la charge sur le réseau, le délai que prends un paquet pour atteindre la destination, le débit...Etc. Cela en utilisant la plateforme de simulation OPNET 14.5 qui est une plateforme très utilisée dans le monde de la recherche sur les réseaux.

Introduction générale :

Ces dernières années le développement de la technologie sans fil a ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications, les réseaux mobiles basés sur la technologie sans fil connaissent aujourd'hui une forte expansion. Les réseaux mobiles offrent une grande flexibilité d'emploi, ils permettent aux utilisateurs de se déplacer librement tout en continuant normalement leurs communications. Il existe deux types de réseaux mobiles, les réseaux mobiles avec infrastructure et les réseaux mobiles ad hoc. Les réseaux mobiles avec infrastructure sont basés sur un ensemble de sites fixes appelés stations de base, ces sites vont relier les différents nœuds mobiles pour former un réseau interconnecté. L'inconvénient de ce type de réseau c'est qu'il requière le déploiement d'une importante infrastructure fixe. Les réseaux ad hoc en contrepartie n'ont besoin d'aucune infrastructure fixe préexistante.

Un réseau ad hoc est constitué d'un ensemble d'unités de calcul portables comme les PDA (Personal Digital Assistant) et les laptops qui sont munis d'une interface de communications sans fil. Ces unités se déplacent librement dans une certaine zone géographique et forment ensemble d'une manière dynamique un réseau interconnecté. Pour pouvoir communiquer entre eux chaque unité mobile doit jouer le rôle d'un routeur et d'un terminal, et doit retransmettre les paquets des autres unités mobiles. Les réseaux ad hoc offrent une grande flexibilité d'emploi et une grande robustesse et peuvent se déployer très rapidement.

Les recherches actuelles dans les réseaux ad-hoc sont dirigées vers les algorithmes de routage. En effet à cause de la mobilité des nœuds il est très difficile de localiser une destination à un instant donné, les protocoles de routage conçus pour des réseaux statiques sont donc inadaptés pour ce type de réseaux. Plusieurs protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ont été développés, chaque protocole essaye de maximiser les performances du réseau en minimisant le délai de livraison des paquets, l'utilisation de la bande passante et la consommation d'énergie. Les algorithmes de routage pour les réseaux ad hoc peuvent se classer en trois catégories, les protocoles Table-Driven, les protocoles On-Demande et les protocoles hybrides.

Les utilisateurs de réseaux MANTES (Mobile Ad-hoc NETwork) souhaitent avoir les mêmes services que ceux offerts par les réseaux filaires. En d'autres termes, les applications utilisées dans les réseaux filaires doivent être fonctionnelles sur les réseaux ad hoc, en particulier, les applications multimédia et temps-réel (vidéoconférence, téléphonie sur internet, vidéo sur

Introduction Générale

demande...). Les ressources limitées des réseaux MANETs rendent complexes le support de telles applications qui nécessite des ressources importantes (notamment la bande passante). De nombreux facteurs, au niveau physique (collisions par exemple) ou par le fonctionnement de certaines couches (couche réseau par exemple), réduisent la bande passante de ces réseaux.

Contribution :

Notre contribution consiste à simuler plusieurs scénarios afin d'évaluer les performances des protocoles de routage les plus utilisés dans les MANETs pour l'envoi des données multimédia tels que le streaming vidéo, le streaming audio et l'envoi d'une donnée texte, et cela en utilisant différents critères d'évaluation tels que la charge sur le réseau, le délai que prends un paquet pour atteindre la destination, le débit...Etc. Cela en utilisant la plateforme de simulation OPNET 14.5 qui est une plateforme très utilisée dans le monde de la recherche sur les réseaux.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre, présente les réseaux MANETs dans un contexte général, le deuxième chapitre présente une classification des différents protocoles de routages pour les réseaux ad hoc et une description détaillée de quelques protocoles en indiquant leur avantages et leurs inconvénients ainsi que les caractéristiques majeurs des applications multimédia.

Le troisième chapitre, présente une étude comparative des différents simulateurs réseaux afin d'en choisir le mieux adapté à notre travail, Le dernier chapitre présente l'analyse et la discussion des résultats de simulation. Notre travail se termine par une conclusion générale et une présentation de quelques perspectives pour la poursuite de ce travail.

I.1. Introduction

Ces dernières années, les réseaux sans fil ont connu une forte demande dans plusieurs secteurs de notre vie, à savoir: l'industrie, la santé, l'environnement et la culture. Le nomadisme des utilisateurs exige de plus en plus une facilité et une fiabilité d'emploi des réseaux. De plus, certains types d'application nécessitent un faible coût de mise en œuvre lors du passage à l'échelle. De ce fait, les réseaux ad-hoc répondent à ces attentes car leurs caractéristiques (absence d'infrastructure, liaison sans fil, etc.) offrent une diversité et une richesse de services (installation facile, extensibilité de la taille, etc.).

Les réseaux ad hoc sont composés de plusieurs nœuds présentant des équipements mobiles. Grâce à l'évolution rapide de la technologie sans fil, ces équipements sont devenus très petits et très puissants. Leur principe de fonctionnement permet la transmission de données entre les nœuds via un ou plusieurs sauts. En revanche, pour assurer la connectivité entre ces équipements et prolonger leur durée de vie, de nombreux défis se posent. Ceci explique les nombreuses études et recherches en cours sur ces thématiques.

I.2. Définition des réseaux ad hoc

Un réseau ad-hoc est une collection d'hôtes équipés par des antennes qui peuvent communiquer entre eux sans aucune administration centralisée, en utilisant une technologie de communication sans fil comme WiFi, Bluetooth, etc. À l'opposé des réseaux filaires où uniquement certains nœuds dits "routeurs" sont responsables de l'acheminement des données, dans un réseau ad-hoc tous les nœuds sont à la fois routeurs et terminaux. Le choix des nœuds qui vont assurer une session de communication dans un réseau ad-hoc se fait dynamiquement selon la connectivité du réseau, d'où l'appellation "ad-hoc".

Dans un réseau ad-hoc, un nœud peut communiquer directement (mode *point-à-point*) avec n'importe quel nœud s'il est situé dans sa zone de transmission, tandis que la communication avec un nœud situé en dehors de sa zone de transmission s'effectue via plusieurs nœuds intermédiaires (mode *multi-sauts*) [4].

La figure I.1 représente un réseau ad-hoc constitué de plusieurs nœuds mobiles (téléphone portable, PC, PC portable, PDA) et plusieurs arcs correspondant aux liens radio entre ces nœuds, chaque cercle correspond à la portée de transmission du nœud.

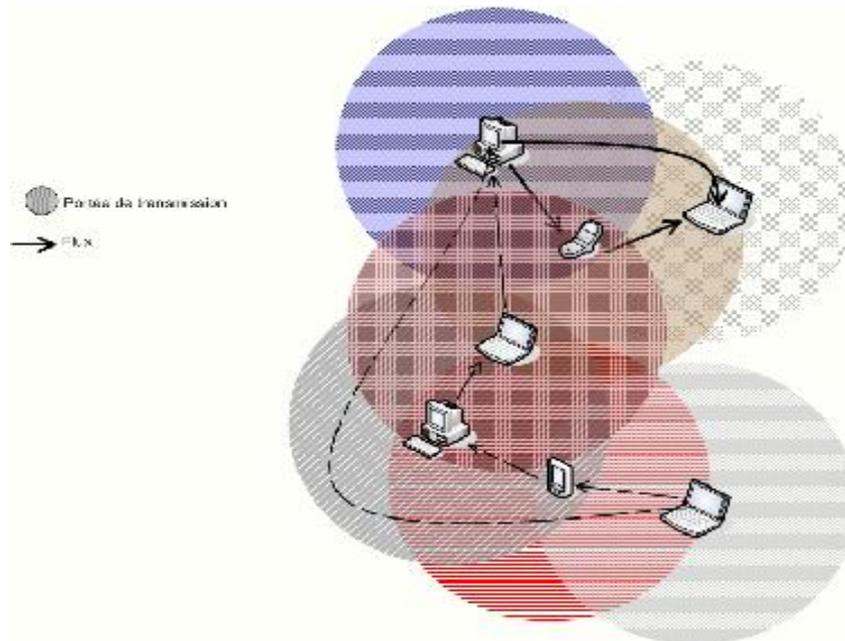


Figure I.1 : Un réseau ad-hoc [2].

I.3. Modélisation d'un réseau ad-hoc

Un réseau ad hoc peut être modélisé par un graphe $G_t = (V_t, E_t)$. Où : V_t représente l'ensemble des nœuds (i.e. les unités ou les hôtes mobiles) du réseau et E_t modélise l'ensemble les connexions qui existent entre ces nœuds.

Si $e = (u, v) \in E_t$, cela veut dire que les nœuds u et v sont en mesure de communiquer directement à l'instant t [3]. La figure I.2 montre le graphe du réseau ad-hoc composé de 8 nœuds à un instant donné.

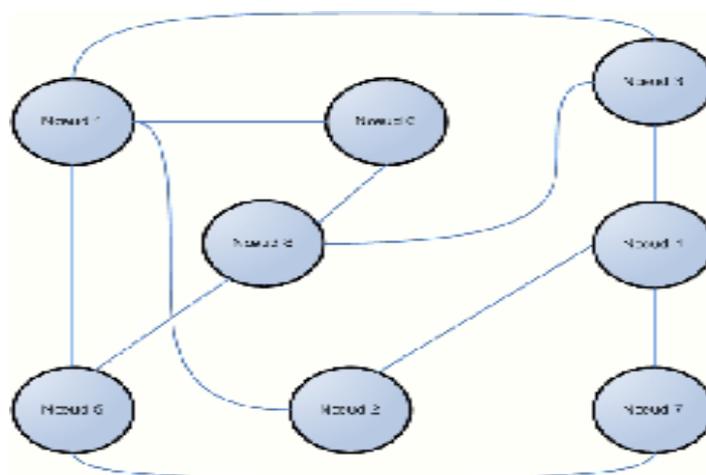


Figure I.2 : graphe du réseau ad-hoc [2].

I.4. Les avantages des réseaux ad-hoc

Les réseaux ad-hoc présentent plusieurs avantages, les plus importants sont :

- Installation facile et rapide car il suffit de connecter quelques équipements mobiles pour réaliser le réseau.
- Structure sans câblage qui offre aux nœuds une grande liberté de déplacement.
- Peu coûteux par rapport aux autres réseaux.
- L'extensibilité de la taille du réseau : étant donné qu'un réseau ad hoc est évolutif, l'ajout d'un seul nœud au réseau préexistant nécessite seulement de rapprocher le nouveau venu à l'un des membres du réseau [2].
- La tolérance aux pannes : un réseau ad-hoc continue à fonctionner même si quelques nœuds tombent en panne, ceci est dû au fait qu'il ne comporte pas de nœuds centraux [4].

I.5. Architecture ou topologie des réseaux Ad Hoc

L'architecture des réseaux Ad Hoc peut être soit hiérarchique soit plate.

a. Architecture plate

Dans cette architecture (*voir la figure I.3*) tous les nœuds sont au même niveau donc, participent tous au routage des paquets [5].

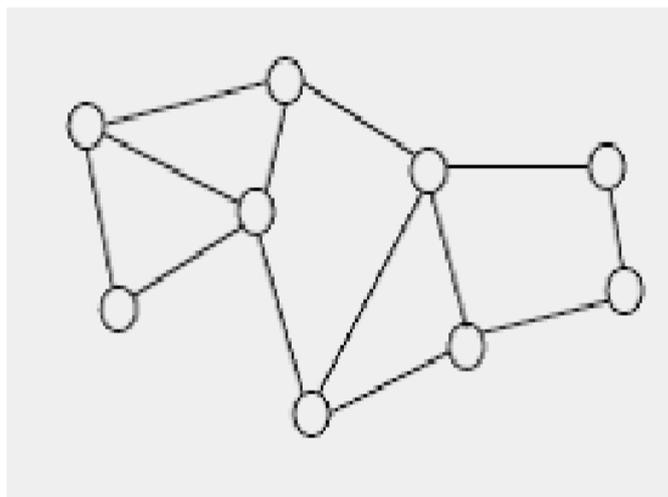


Figure I.3: Architecture plate

b. Architecture hiérarchique

Ici les nœuds ne participent pas tous au routage des paquets. Dans des groupes en clusters, un maître est élu .Ce dernier appelé aussi cluster-head se charge essentiellement du routage [5]. (Voir Figure I.4)

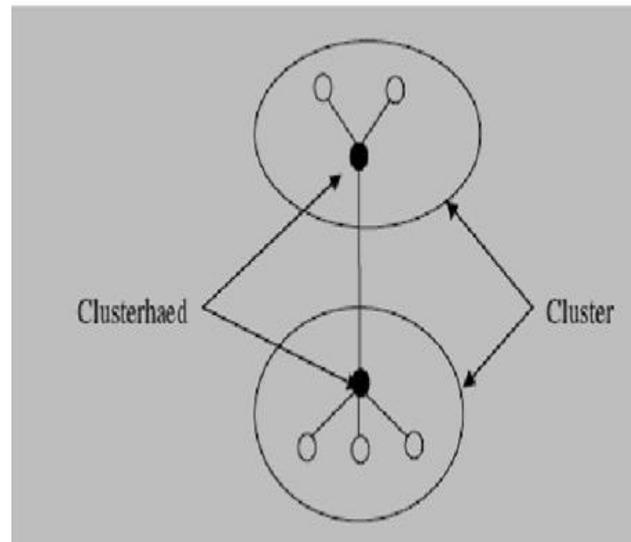


Figure I.4 : Architecture hiérarchique

I.6. Acheminement de l'information dans un réseau ad-hoc

Un réseau ad hoc s'évertue à acheminer l'information vers une destination, son support de transmission est sans fil : hertzien, infrarouge etc.

Deux types d'acheminements de l'information sont possibles : l'envoi direct et le routage [6].

a. L'envoi direct

L'émetteur doit pouvoir envoyer ses données directement d'un nœud à un autre, quel que soit la destination de ces données, les mobiles sont suffisamment proches les uns des autres pour que le signal reçu ne soit pas trop atténué, de sorte que chaque nœud est en lien étroit avec n'importe quel autre, et aucun intermédiaire ne peut s'interposer dans cette relation directe.

b. L'envoi par routage

Un envoi par routage se déroule entre les nœuds relativement éloignés, dans ce cas, un hôte mobile intermédiaire est nécessaire pour pouvoir communiquer.

Les nœuds jouent à la fois le rôle d'un client et d'un serveur, relayant les paquets vers leur destination finale.

I.7. Types de réseaux ad-hoc

Dans cette section, nous décrivons les trois types de réseaux ad-hoc, à savoir : les réseaux mobiles ad-hoc (*MANETs*), les réseaux de capteurs (*WSNs*) et les réseaux maillés (*WMNs*). Même si les *WSNs* et *WMNs* ont plusieurs caractéristiques communes avec les *MANETs*, ils présentent, par ailleurs, plusieurs dissimilitudes impliquant naturellement des solutions de communication différentes [4].

a. Les réseaux mobiles ad-hoc (*MANETs*)

Un *MANET* (*Mobile Ad-hoc NETWORK*) (voir figure I.5) est un réseau ad-hoc dont les nœuds (par exemple : ordinateurs portables, téléphones mobiles, PDAs, etc.) sont souvent caractérisés par une constante mobilité [4], ces nœuds communiquent les uns avec les autres sans le support d'une quelconque infrastructure de gestion prédéfinie [7].

C'est un réseau où chaque nœud peut directement joindre ses voisins en utilisant son interface radio et il a aussi la possibilité de contacter n'importe quel autre nœud à l'intérieur du réseau en utilisant les nœuds intermédiaires (situés entre la source et le destinataire). Ces derniers se chargent de relayer les messages et ainsi offrir un réseau autonome [8].

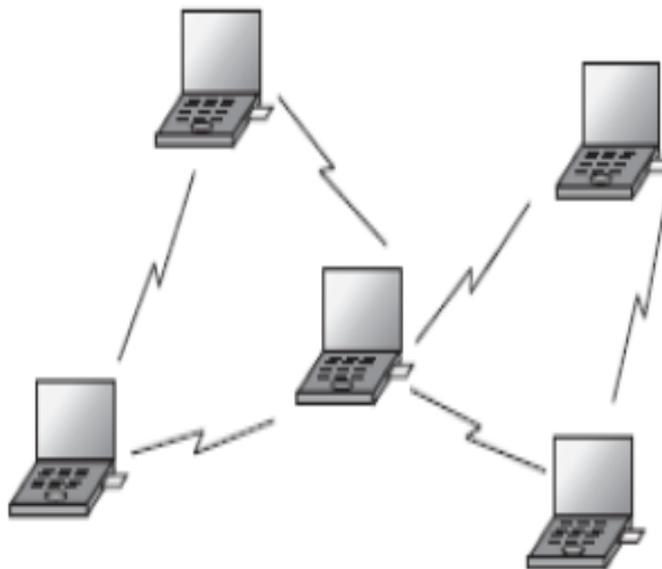


Figure I.5 : Un réseau mobile ad hoc [4]

b. Les réseaux de capteurs (WSNs)

Les WSNs (*Wireless Sensor Networks*) sont des réseaux dans lesquels les nœuds sont des capteurs intelligents. Ils se composent généralement d'un grand nombre de capteurs communiquant entre eux via des liens radio pour le partage d'information et le traitement coopératif [9]. En plus des nœuds capteurs, un WSN comprend des stations de base riches en énergie (nœuds puits) caractérisées par une capacité de traitement et de stockage plus importante. Ces dernières agissent comme des passerelles entre les nœuds capteurs et l'utilisateur final (voir figure I.6).

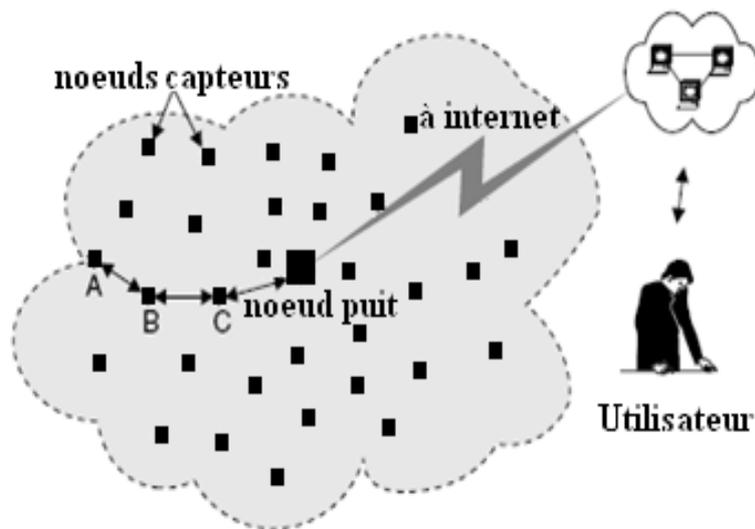


Figure I.6 : Paradigme de routage dans un réseau de capteurs [4].

c. Les réseaux maillés (WMNs)

WMNs (*Wireless Mesh Networks*). Un WMN est un ensemble des équipements informatiques sans fil (possèdent un ou plusieurs interfaces sans fil) interconnectés de proche en proche sans aucune hiérarchie centrale. Comme il est montré dans la figure I.7. La communication entre les nœuds est basé sur le principe de multi-sauts, d'ou plusieurs nœuds intermédiaire participent intelligemment dans la retransmission des informations jusqu'a la destination. C'est un réseau qui s'étend en fonction du nombre de participants [11].

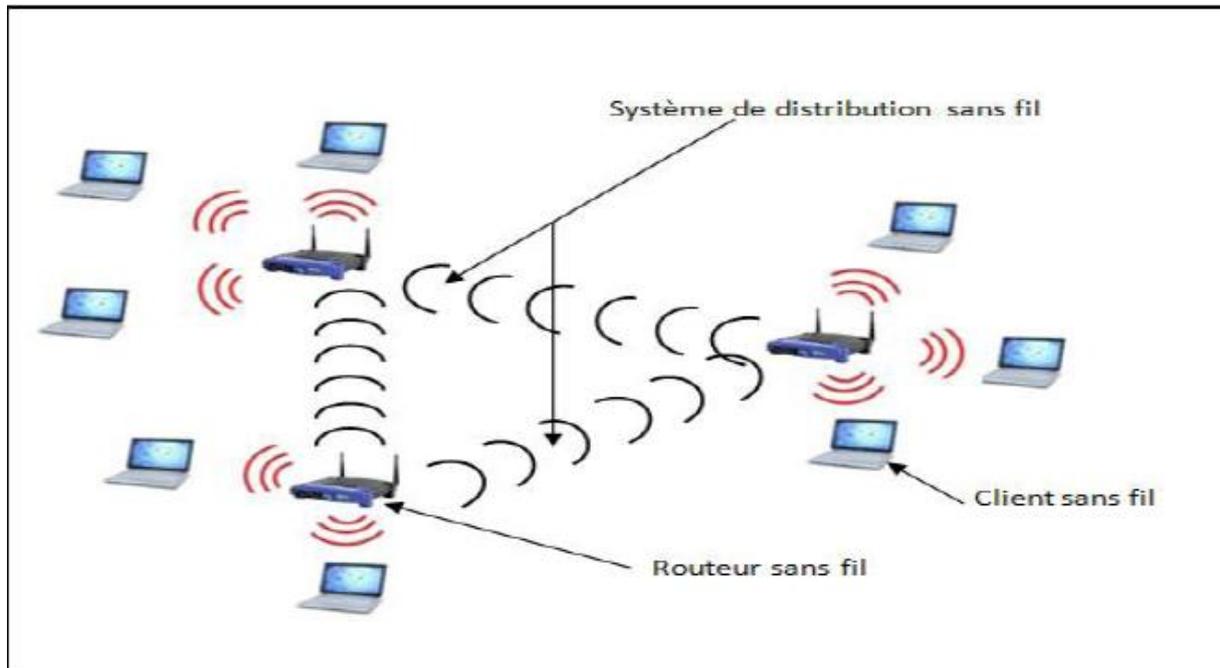


Figure I.7 : Architecture générale d'un réseau maillé [4].

I.8. Différences entre WSNs, WMNs et MANETs

Bien que les MANETs et les WSNs présentent plusieurs caractéristiques communes, mais ils se diffèrent en plusieurs aspects:

- La caractéristique principale des nœuds constituant un MANET est la mobilité, tandis que les nœuds capteurs dans un WSN sont statiques.
- Dans les MANETs la communication peut s'effectuer entre des nœuds quelconques du réseau, tandis que dans un WSN la communication est toujours initiée vers ou à partir des nœuds puits ; de plus les communications capteur-à-capteur sont rares, mais les transmissions multicast et broadcast sont communes.
- Dans un MANET tous les nœuds sont égaux, de ce fait la panne de n'importe quel nœud a la même importance, tandis qu'un WSN est plus sensible à la panne des nœuds puits qu'à celle des capteurs.

Les réseaux WMNs sont conceptuellement similaires aux MANETs dans le sens où la communication entre les mesh-routeurs s'effectue en mode multi-sauts. Cependant, ils ont les particularités suivantes :

- Les mesh-routeurs dans un WMNs sont statiques.
- La consommation d'énergie dans les WMNs n'est plus un problème, car les routeurs sont directement alimentés en électricité.

I.9. Caractéristiques des réseaux mobiles ad hoc (MANETS)

Les réseaux mobiles Ad hoc possèdent non seulement les mêmes caractéristiques que les réseaux mobiles, mais aussi un certain nombre de caractéristiques qui leur sont propres et qui les différencient des autres. Nous pouvons citer quelques caractéristiques principales [10]:

➤ **Absence d'infrastructure**

Pas de station de base ou de point d'accès, tous les nœuds du réseau se déplacent dans un environnement distribué sans point d'accès ou un point de rattachement à l'ensemble du réseau. Un nœud joue le rôle aussi bien d'un acteur actif dans le réseau émetteur et récepteur mais aussi de routeur pour relayer la communication des autres nœuds du réseau.

➤ **Une topologie dynamique**

Les nœuds du réseau sont autonomes et capables de se déplacer de manière arbitraire. Cette mobilité fait que la topologie réseau est dynamique car elle peut changer à tout instant de façon rapide et aléatoire (voir figure I.8). Les liens de la topologie peuvent être unis ou bidirectionnels

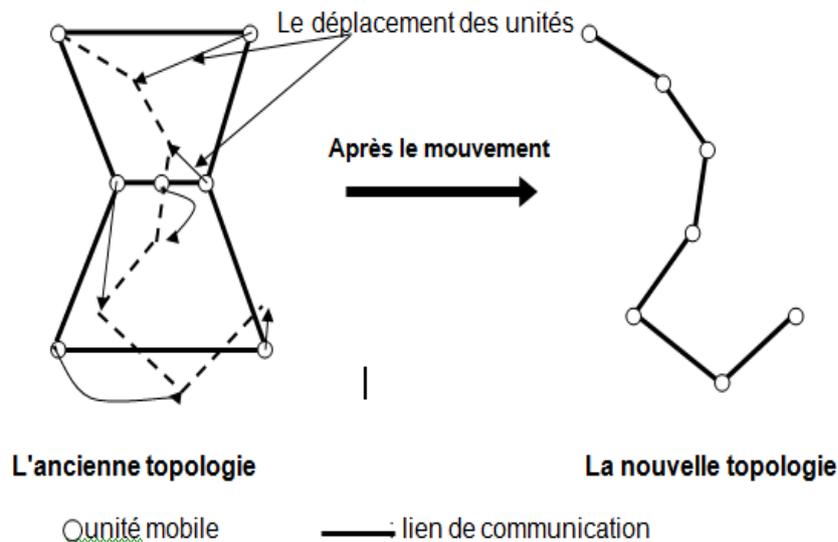


Figure I.8 : Le changement de la topologie des réseaux ad hoc [5].

➤ **Canal de communication sans fil**

Il est communément admis que les liaisons sans fil ont une capacité inférieure à des liaisons filaires: La bande passante est moins importante, et en plus le débit est confronté aux effets multiples d'interférences, le bruit etc.

➤ **Ressources limitées**

Les sources d'énergie telles que les batteries sont nécessaires pour la communication des nœuds mobiles. Malheureusement, ces sources d'énergie ont une durée de vie limitée et leur épuisement dépend du traitement effectué au niveau du nœud tel que les opérations de transmission, réception et les calculs complexes, etc. Par conséquent, la consommation d'énergie constitue un véritable problème. Les mécanismes de gestion d'énergie sont nécessaires pour les nœuds dans le but de conserver l'énergie et d'augmenter leur durée de vie. Donc, n'importe quelle solution destinée aux réseaux mobiles Ad hoc doit prendre en compte la contrainte de l'énergie.

➤ **Un routage multi-sauts**

Cela signifie que les communications entre deux nœuds doivent pouvoir s'effectuer même si ceux-ci sont hors de portée de communication directe. La connaissance réciproque de leurs existences et les échanges d'information doivent être possibles en traversant d'autres nœuds du réseau.

➤ **Chaque nœud su réseau est à la fois hôte et routeur**

Chaque nœud du réseau contribue au bon fonctionnement des informations dans le réseau pour ce faire, chaque nœud possède une connaissance partielle du réseau la plus étendue possible pour jouer le rôle de routeur pour lui-même et pour tout autre nœud qui le lui demandera. Cette connaissance partielle se manifeste par la connaissance des voisins immédiats et leurs positions en fonction du temps.

➤ **Taille du réseau**

Dans le réseau mobile Ad hoc, la portée de transmission des nœuds est petite ou moyenne. Cela a un impact sur la couverture du réseau (la taille du réseau est de quelques centaines de nœuds). C'est pourquoi le réseau est utilisé dans certains cas pour étendre temporairement un réseau filaire dans un environnement où le déploiement du réseau filaire n'est pas possible.

I.10. Les applications des réseaux mobiles ad hoc (MANETS)

Les réseaux mobiles Ad hoc ont réussi à s'imposer en tant que technologie prometteuse. Leurs caractéristiques et en particulier la mobilité et l'absence d'infrastructure élargissent leurs domaines d'application. On peut citer quelques exemples d'utilisations [10] :

a. Applications militaires

Les réseaux mobiles Ad hoc sont conçus à la base pour des applications et des opérations à caractère militaire. Ces réseaux sont adaptés aux environnements hostiles, car ils sont dynamiques et rapidement déployés. Les nœuds du réseau ne sont que des équipements militaires communiquant : soldats, véhicules blindés, etc. Cependant, l'application de ces réseaux a dépassé le domaine militaire grâce au développement technologique des réseaux sans fil tel que le Bluetooth.

b. Opérations de sauvetage

Les réseaux mobiles Ad hoc sont aussi utilisés lors des opérations de sauvetage, notamment lors de tremblements de terre ou autres catastrophes. Ces réseaux peuvent être rapidement déployés sur des terrains de sinistres pour assurer le relai et la liaison des communications entre sauveteurs.

c. Domaine commercial

Les réseaux mobiles Ad hoc peuvent étendre un réseau avec infrastructure pour offrir un service tel que l'accès à Internet à moindre coût. De plus, ils permettent de relier plusieurs ordinateurs entre eux pour partager des fichiers, des jeux, la communication entre agents, etc.

Il existe d'autres applications des réseaux mobiles Ad hoc, comme la communication entre les véhicules. Cette application est prometteuse car elle permet de réduire le risque d'accidents sur les autoroutes, d'assurer la communication des véhicules dans les tunnels, etc.

d. Réseau d'entreprise

La facilité à déployer ces réseaux et leur coût réduit intéressent de plus en plus les entreprises. Cela permet d'assurer une grande mobilité des agents, le partage des données et les conférences. Par exemple, lors d'une réunion ou conférence, l'intervenant peut communiquer avec tous les participants et créer un débat interactif.



Figure I.9 : Application des Réseaux Ad-hoc [2].

I.11. Contraintes liée aux réseaux mobiles ad-hoc (MANETS)

Les caractéristiques des réseaux ad hoc impliquent des contraintes spécifiques sur leur fonctionnement et donc leurs performances. Les principaux problèmes susceptibles d'être rencontrés dans un environnement mobile et ad-hoc peuvent être regroupés en deux catégories selon la source du problème :

- **Limitations dues au support de transmission**
 - **Partage du support de transmission**

Les stations mobiles opèrent sur la même bande de fréquence. Le partage du support de transmission peut engendrer des collisions. Ce problème est lié également à la diffusion des signaux.

➤ **Taux d'erreur élevé**

Les réseaux sans fil utilisent des ondes radio pour communiquer. Ces ondes ne peuvent pour autant s'affranchir à des contraintes liées à leur médium de transmission, Les perturbations électromagnétiques affectent les signaux Transmis.

➤ **Faible débit**

La modestie des débits des réseaux sans fil est un élément souvent mis en avant. Comparés à certains réseaux filaires, les débits peuvent paraître faibles. Et dans le cadre de transferts multimédia nécessitant des échanges de données continus, ces débits peuvent ainsi poser problème.

➤ **Variation de la qualité du signal**

Le canal ne cesse de changer avec le temps. En effet, les conditions extérieures peuvent modifier les caractéristiques de ce canal, par exemple la pluie peut accroître le taux d'affaiblissement de la liaison sans fil. De même, l'apparition d'obstacles peut modifier le canal augmentant le nombre de trajets entre une source et une destination.

➤ **Sécurité**

Les signaux étant diffusés, ils peuvent être écoutés par toute station mobile se trouvant dans la même zone de couverture. La confidentialité de certaines informations nécessite l'utilisation de mécanismes de sécurité adéquats.

➤ **Limitations dues aux stations mobiles**

➤ **Faible puissance**

Les stations mobiles sont la plupart du temps conçues pour une utilisation mobile. De ce fait, elles doivent être de petite taille et surtout doivent être capables de fonctionner de manière autonome (sur batterie). La prise en compte de tous ces éléments participe à la faible puissance de l'électronique embarquée.

➤ **Durée d'utilisation restreinte**

Les batteries ont une durée de vie limitée. De fait, le temps d'utilisation nomade d'une station est contraint par la capacité de sa batterie mais aussi par la puissance demandée (ressources processeur ou transmissions sans fil).

➤ **Rayon d'action**

La zone de couverture est en fonction de la puissance d'émission que peut fournir une station. Réduire la puissance d'émission, pour notamment économiser de l'énergie.

➤ **Modification de la topologie du réseau avec le temps**

Les stations pouvant être en constant déplacement, la topologie du réseau évolue également. Le voisinage d'un nœud peut varier continuellement : à tout moment des stations peuvent joindre ou quitter le réseau. La modification de la topologie est directement fonction de la vitesse de déplacement des stations et du rayon d'action du réseau. Avec un déplacement rapide et soutenu de l'ensemble des stations, la topologie ne cesse d'évoluer.

I.12. Conclusion

L'étude effectuée sur les réseaux ad-hoc nous a permis de connaître les différents types des réseaux ad-hoc et notamment les MANETS (*mobile ad hoc network*). Nous allons nous intéresser dans notre travail à la performance de transmission des données multimédia sur ces derniers. Nous allons surtout focaliser sur les trois types de données suivants : texte, audio et vidéo.

Nous avons aussi vu les contraintes liées à ces réseaux et leurs différentes caractéristiques, tels que l'absence d'infrastructure, topologie dynamique, bande passante limitée, sécurité limitée, consommation d'énergie limitée...etc. Et ainsi constater que leur apparition a, certes, facilité la mise en œuvre mobile ne supportant pas d'infrastructure préexistante.

II.1. Introduction

Plusieurs protocoles de routages ad hoc ont été proposés dans le but d'établir et bien maintenir les routes afin d'acheminer correctement les informations envoyées dans le réseau, ces protocoles sont classés comme suit : proactifs, réactifs ou hybrides.

Ces dernières années, les applications d'Internet ont considérablement évolué, passant des applications classiques basées sur l'échange de données essentiellement textuelles aux applications dites multimédias, impliquant la manipulation coordonnée et le transfert de plusieurs types de média (texte, graphisme, audio, vidéo, ...). Comparativement aux applications classiques, les applications multimédias présentent des contraintes nouvelles sur le transfert de certains de leurs médias (plus spécifiquement l'audio et la vidéo).

Dans ce chapitre, nous commencerons par la présentation des différents critères sur la base desquels la classification des protocoles de routage sera faite. Dans un premier temps, nous décrirons un ensemble de protocoles de routage appartenant à la famille des protocoles de routage unicast (une source envoie une donnée à une seule destination). Ensuite nous résumerons les caractéristiques majeures et les besoins en communication des applications multimédias les plus courantes.

II.2. Les objectifs des protocoles de routage

Les chemins optimaux : l'objectif principal d'un protocole de routage est de trouver et maintenir le chemin optimal multi saut pour une communication quelconque, le sens du mot optimal dépend de la nature du réseau, la nature de l'application ,la nature des informations échangées et la nature des utilisateurs ,on distingue plusieurs points de vu :[11]

- ➔ Chemin optimal qui consomme le minimum de ressources (bande passante, mémoire, processeur, énergie).
- ➔ Chemin optimal qui utilise le minimum de sauts (plus court chemin).
- ➔ Chemin optimal qui est le plus sûr.
- ➔ Chemin optimale qui assure la meilleure qualité de service...etc.

II.3. Propriétés requises pour les protocoles de routage dans les MANETS

Les propriétés que doivent vérifier les protocoles de routage dans les MANETS pour atteindre les objectifs cités en haut peuvent être résumées dans les points suivant [4]:

1. *Implémentation distribuée* : les MANETS sont des systèmes autonomes et auto-organisés. Les protocoles de routage doivent être distribués « Le calcul de route doit être distribué parce que le routage centralisé dans un réseau dynamique est impossible même pour les réseaux assez petits ».

2. *Utilisation efficace de la bande passante* : la bande passante est une ressource limitée dans les MANETS. Un protocole de routage doit générer le minimum possible de paquets de contrôle.

3. *Optimisation de la consommation d'énergie* : dans un réseau ad-hoc les nœuds ont besoin que leurs données soient acheminées par plusieurs nœuds intermédiaires pour qu'ils arrivent à leurs destinations. Une réduction en nombre de nœuds dégrade les performances du réseau. Les nœuds d'un MANET peuvent cesser de transmettre et/ou recevoir pendant des périodes de temps arbitraire pour prolonger la durée de vie de chaque nœud et donc du réseau complet. Un protocole de routage devrait pouvoir s'adapter à de telles périodes de sommeil sans conséquences excessivement défavorables.

4. *Robustesse*: les pertes des paquets sont fréquentes dans les MANETS et elles sont dues aux collisions, à la mobilité des nœuds et à leurs durées de vie limitées. De ce fait, les protocoles de routage doivent être conçus pour continuer à fonctionner correctement même en présence des pertes.

5. *routes multiples*: après la rupture d'un chemin, un protocole de routage doit rétablir un nouveau chemin le plus tôt possible pour cela des routes multiples doivent être utilisées et permettre ainsi la possibilité de rétablir de nouveaux chemins sans qu'il y est une nouvelle initialisation de découverte de routes.

6. *Elimination des boucles de routage* : comme les chemins sont maintenus de manière distribuée, la possibilité de création de boucles dans un chemin reste un problème sérieux. Le bouclage des paquets provoque une perte considérable en bande passante et en énergie. Les protocoles de routage doivent éviter/détecter la formation de boucles. La valeur TTL « qui est une sorte de durée de vie d'un paquet » pourrait être employé pour la destruction de ces paquets.

7. *Support des liens unidirectionnels* : dans les MANETS, il y a certains facteurs comme l'hétérogénéité des capacités de transmission des nœuds qui engendrent des liens

unidirectionnels. Un protocole de routage doit pouvoir fonctionner même en présence de liens unidirectionnels.

8. *Scalabilité*: les protocoles de routage doivent fonctionner efficacement même si la taille du réseau grandit. Cela n'est pas facile à réaliser, car établir un chemin entre deux nœuds mobiles devient coûteux en termes du temps requis, nombre d'opérations, et bande passante dissipée, quand le nombre de nœuds augmente.

9. *Optimisation des métriques* : parmi les métriques qui méritent d'être considérées lors de la conception des protocoles de routage pour les MANETS, on peut citer :

- ➔ Taux de délivrance maximal.
- ➔ Plus court chemin.
- ➔ Consommation d'énergie minimale.
- ➔ Minimum de charge de routage (bande passante).
- ➔ Stabilité des chemins.

II.4. Classification des protocoles de routages dans les MANETS

II.4.1. Les protocoles proactifs (Table-Driven)

Établissent et mettent à jour les routes pour tous les nœuds du réseau en se basant sur l'échange périodique d'information de routage. Ces protocoles ont l'avantage de la disponibilité immédiate des routes vers tous les nœuds du réseau. Ainsi, le délai d'acheminement des paquets est très court. Cependant, un trafic de contrôle important est nécessaire pour mettre à jour les routes et converger vers un état cohérent dans un réseau avec une topologie très dynamique. Les protocoles de cette catégorie sont basés sur deux méthodes utilisées dans les réseaux filaires, la méthode État de Lien (Link State) et la méthode Vecteur de Distance (Distance Vector).

- ➔ *Link state* : Dans la méthode Link State chaque nœud diffuse périodiquement (par inondation) l'état des liens avec ses voisins à tous les nœuds du réseau, chaque nœud maintient alors une vue globale de la topologie du réseau ce qui lui permet de calculer les routes pour atteindre chaque destination. On inonde aussi le réseau quand il y a un changement dans l'état des liens. Cette méthode permet de trouver rapidement des alternatives pour transmettre les paquets en cas de coupure d'une route, on peut aussi utiliser simultanément plusieurs routes pour atteindre la même destination.

Le problème avec cette méthode est que la quantité d'informations à stocker et diffuser peut devenir considérable si le réseau contient un grand nombre de nœuds.

→ **Distance Vector** : Dans la méthode Distance Vector chaque nœud transmet à ses voisins la distance (nombre de nœuds) qui le sépare de chaque destination dans le réseau et le nœud voisin à utiliser pour atteindre cette destination. En se basant sur les informations reçues depuis tous ses voisins, chaque nœud calcul le chemin le plus court vers n'importe quelle destination dans le réseau. Si la distance séparant deux nœuds change on répète le processus de calcul. Il est difficile de trouver des routes alternatives en cas de coupure d'une route ; Les liens entre les nœuds dans les réseaux ad hoc changent rapidement.

Les deux méthodes précédentes vont engendrer énormément de paquets de contrôle (inondation des états des liens, et transmission des vecteurs de distance) ce qui les rend inadaptés pour les réseaux ad hoc. Les protocoles Table-Driven calculent les routes à l'avance ils disposent donc des routes immédiatement vers les destinations du réseau. Le problème avec ces protocoles c'est qu'ils chargent le réseau avec les paquets de mise à jour des tables de routage même si le réseau n'est pas utilisé.

Les célèbres protocoles basés sur ce principe sont : DSDV, OLSR, FSR, TBRPF et HSR [15].

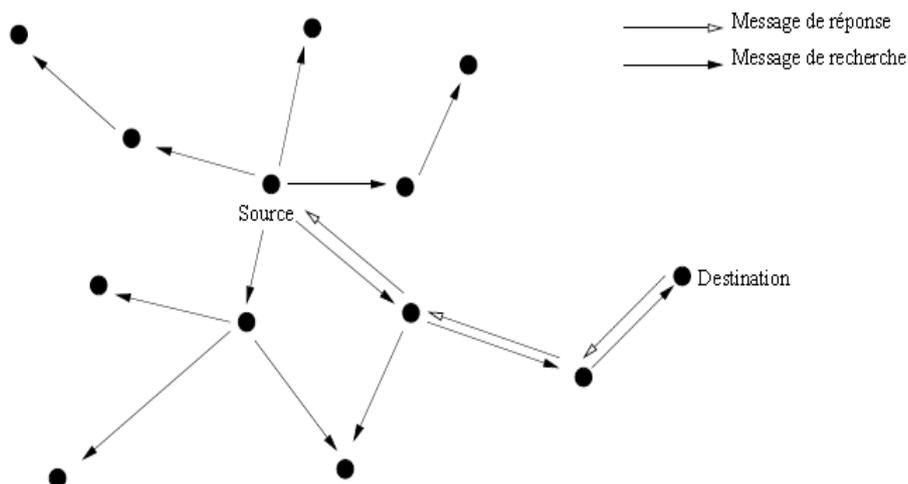


Figure II.1 : Recherche de route par un protocole réactif.

II.4.2. Les protocoles réactifs (On-Demand)

Le principe de cette classe est que les routes sont établies à la demande. Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de route est lancée, ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Ce type de routage minimise l'échange des messages de contrôle ce qui libère la bande passante, cependant il est lent à cause de la recherche des chemins, ce qui peut dégrader les performances des applications interactives [11].

II.4.3. Les protocoles hybrides

Les protocoles hybrides essaient de combiner les deux approches précédentes pour bénéficier de leurs avantages. Ils utilisent un protocole Table-Driven pour connaître les voisins les plus proches, dans le but de réduire le délai et un protocole On-Demand au-delà de cette zone prédéfinie dans le but de réduire la charge des paquets de contrôle. Les protocoles hybrides cumulent aussi les inconvénients des protocoles Table-Driven et des protocoles On-Demand à savoir les paquets de contrôle périodique, et le délai de découverte de route.

➤ **Tableau récapitulatif**

Nous décrivons dans le tableau suivant les différentes classes de protocoles de routage pour les réseaux ad hoc.

Classe	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Table-driven « Proactif »	Calculer les routes à l' avance.	Transmission immédiate des données.	Utiliser beaucoup de paquets de contrôles.
On-demand « Réactif »	Calculer les routes à la demande.	Utiliser moins de paquets de contrôles.	Délai initial avant de commencer la transmission des données.
Hybride	Combinaison des deux approches précédentes.	Bénéficier des avantages des deux approches précédentes.	Cumuler les inconvénients des deux approches précédentes.

Tableau II.1 : Les classes des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc [12].

II.5. Description de quelques protocoles de routage dans les réseaux mobile ad hoc

Nous présentons ci-après quelques protocoles de routage unicast dans les MANETS, Nous allons ensuite faire des simulations en utilisant ceux implémentés dans OPNET modeler 14.5 pour faire ainsi une comparaison et choisir le protocole de routage le mieux adapté pour les transmissions des données multimédia dans ces réseaux.

II.5.1. Le protocole DSR (Dynamic Source Routing)

Le protocole DSR est basé sur l'utilisation de technique "routage à la source" c'est-à-dire c'est à la source de déterminer la séquence complète des nœuds selon lesquelles, les paquets de données seront envoyés. Les nœuds n'ont pas besoin de tables de routage. Les deux opérations de base de DSR sont : la découverte de routes (route discovery) et la maintenance de routes (route maintenance) [13].

a. La découverte de routes : Le processus de découverte de routes dans DSR se fait comme suit :

Un nœud désirant émettre une donnée regarde d'abord dans son cache si une route vers la destination est présente.

- si une route existe le nœud diffuse le paquet en utilisant l'algorithme de routage à la source.
- si aucune route n'existe, le nœud diffuse un paquet de découverte RREQ (Route REQuest) qui contient:
 - ➔ l'adresse source (Src);
 - ➔ l'adresse destination (Dest);
 - ➔ la liste des nœuds traversés pour atteindre la destination (List), vide au départ;
 - ➔ un identifiant unique pour qu'un nœud ne propage que les paquets nouveaux.

Sur réception d'un RREQ (Src, Dest, List), un nœud N mémorise la liste dans son cache pour l'enrichir et vérifie si son adresse correspond à la destination.

- Si ce n'est pas le cas et s'il n'a pas déjà reçu le paquet, il consulte son cache:
 - ➔ Si la route vers le nœud destination est présente, il transmet un paquet de réponse RREP (Route REPLY) vers la source;
 - ➔ Sinon, il fait suivre le paquet de découverte à ses voisins en rajoutant sa propre adresse à la liste: RREQ (Src, Dest, List+N).
- Si le nœud est la destination, il diffuse un paquet de réponse RREP.

Pour remonter le RREP, le nœud destination regarde son cache si une route vers la source est présente.

- si une route existe, le nœud diffuse le paquet en utilisant à son tour l'algorithme de routage à la source.
- si aucune route n'existe, deux cas peuvent se présenter:
 - ➔ les liens sont bidirectionnels, la destination transmet le RREP en inversant la liste des nœuds donnée dans RREQ;
 - ➔ les liens ne sont pas symétriques, la destination diffuse une recherche de route avec un nouveau de la destination vers la source.

Les nœuds intermédiaires transmettent le RREP en mémorisant également la liste dans leurs caches.

b. Maintenance de routes :

La maintenance de route est réalisée en utilisant des paquets d'erreur et des acquittements. Lorsqu'un nœud se trouvant sur la route empruntée par les données ne répond pas, après plusieurs tentatives de transmission, un paquet d'erreur RERR contenant les adresses des extrémités du lien défaillant est généré vers la source. Les nœuds en amont qui reçoivent de RERR suppriment le nœud en erreur de leur cache et toutes les routes contenant le lien défaillant sont modifiées en conséquence.

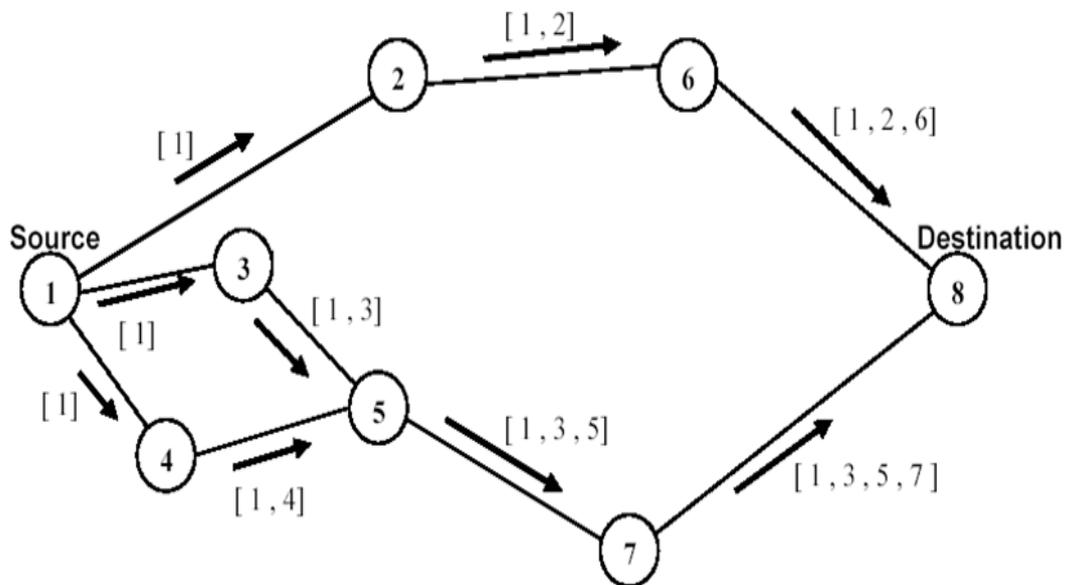


Figure II.2 : Construction de l'enregistrement des routes

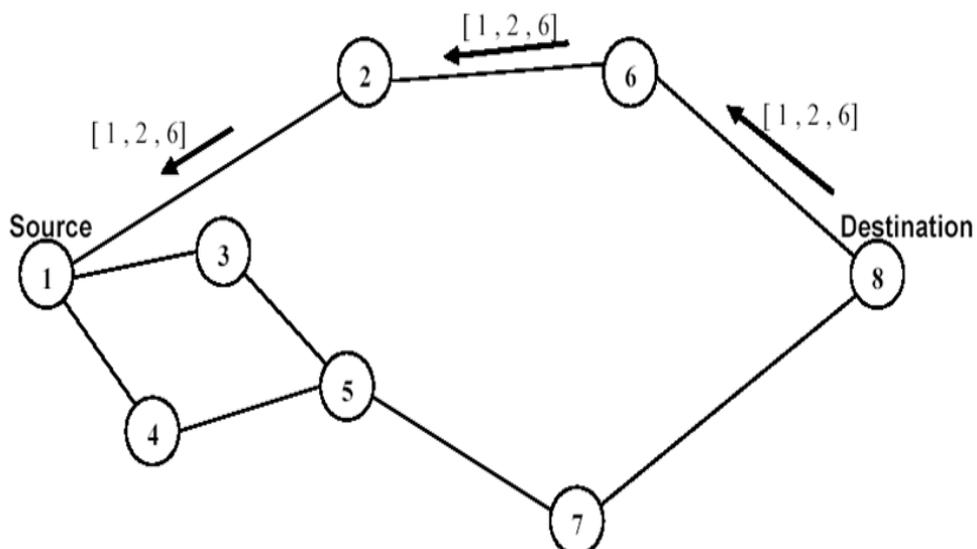


Figure II.3: La découverte de chemins dans le DSR.

c. Évaluation :

DSR est un protocole qui a l'avantage d'être relativement simple, tout en fournissant de bons résultats. L'approche réactive et l'absence de messages périodiques liés au routage permettent de ne pas avoir d'impact majeur en termes de charge sur le réseau, mais aussi d'énergie consommée. Les nœuds par lesquels aucune route ne passe ne consomment pas non plus d'énergie pour le bon fonctionnement du réseau, sauf durant la phase de découverte de route.

II.5.2. Le protocole AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*)

Le protocole AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*) appartient à la famille des protocoles On-Demand, il est basé sur deux mécanismes, la découverte de route et la maintenance de route. La découverte de route permet de trouver une route pour atteindre une destination et cela en inondant tout le réseau avec un paquet de requête. La maintenance de routes permet de détecter et signaler les coupures de routes provoquées éventuellement par la mobilité des nœuds. AODV n'utilise pas de mise à jour périodique, les routes sont découvertes et maintenues selon les besoins.

Chaque nœud intermédiaire qui se trouve dans la route entre un nœud source et un nœud destination (route active) maintient une table de routage qui contient :

- ➔ L'adresse de la destination.
- ➔ Le nœud suivant à utiliser pour atteindre la destination.
- ➔ La distance en nombre de nœud : C'est le nombre de nœud nécessaire pour atteindre la destination.
- ➔ Le numéro de séquence destination : Il permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes.
- ➔ la liste des prédécesseurs (nœuds voisins auxquels une réponse RREP à été transmise et qui pourront être altérées en cas de rupture de lien en aval).
- ➔ Le temps d'expiration de l'entrée de la table : C'est le temps au bout duquel l'entrée est valide.

AODV utilise trois types de messages pour créer et maintenir les routes, le RREQ(Route Request) pour demander une route, le RREP (Route Reply) pour répondre à une requête de demande de route, et le RERR (Route Error) pour signaler une coupure de route. [12].

a. La découverte de route:

Un nœud qui n'a pas de chemin valide dans sa table pour une destination voulue diffuse à ses voisins un paquet RREQ qui contient :

- ➔ L'adresse de la source (Src) et la destination(Dest) ;
- ➔ Le numéro de séquence de la source (Src_SN) et de la destination (Dest_SN) ;
- ➔ Le nombre de sauts (Hop Count) ;
- ➔ L'identifiant de la diffusion (broadcast ID) qui est incrémenté à chaque retransmission du RREQ.

Les nœuds suivants ignorent un RREQ déjà reçu (Src et broadcast ID identifient de manière unique une requête).

Sinon (le nœud n'a pas reçu le RREQ auparavant) chaque nœud atteint par un RREQ cherche une route dans sa table de routage pour la destination.

- S'il ne possède pas de route active assez récente(le Dest_SN reçu dans le RREQ est supérieur au Dest_SN mémorisé dans la table) le nœud diffuse le RREQ à son tour en incrémentant le nombre de sauts (en l'absence de réponse RREP au bout d'un certain temps, le nœud diffuse de nouveau le RREQ en incrémentant le broadcast ID).
- Sinon, il met à jour sa table de routage selon le RREQ reçu et renvoie un paquet de réponse RREP (Route REPLY) vers la source.

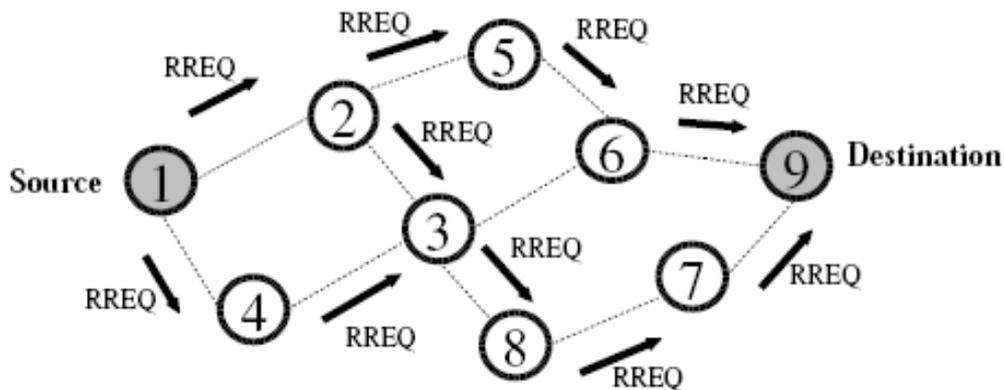
Le RREP contient ;

- ➔ L'adresse de la source (Src) et de la destination (Dest) ;
- ➔ Le numéro de séquence de la destination (Dest SN) ;
- ➔ Le nombre de sauts.

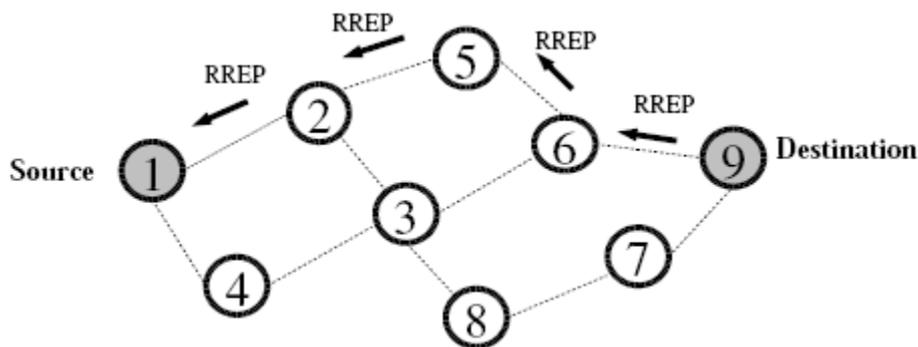
Les nœuds recevant en retour le RREP mettent à jour leur table et font suivre le paquet vers la source, qui commence à émettre ses données lorsqu'elle reçoit le premier RREP. La source changera de route si un RREP reçu par la suite lui en apprend une meilleure (Dest_SN supérieur ou nombre de sauts inférieur).

Pour maintenir la connaissance du chemin inverse et faire suivre un éventuel paquet RREP.les nœuds traversés lors de l'envoi du RREQ gardent en mémoire (pendant un temps basé sur le Src_SN) l'adresse du voisin ayant transmis la première copie du RREQ. De même, pour

mémoriser le chemin direct, les nœuds traversés par un RREP maintient un pointeur vers le nœud d'où vient le RREP ;



A. La propagation du paquet RREQ



B. renvoi du RREP dans AODV.

Figure II.4: Les deux requêtes RREQ et RREP utilisées dans le protocole AODV.

b. La maintenance de route

Dans le cas du déplacement d'un nœud source, il suffit que celui-ci relance une procédure de découverte de routes pour établir une nouvelle route.

La détection des ruptures de lien peut être réalisée à l'aide de message spécifique **HELLO**, diffusé périodiquement d'un nœud vers ses voisins immédiats ou par l'écoute de la transmission d'un paquet de donnée sur le lien suivant.

Le nœud qui détecte une rupture de lien pour le nœud suivant d'une route active (où qui reçoit un paquet de données à destination d'un nœud pour lequel il ne possède pas de route active) diffuse un message d'erreur RERR (RouteERRor)

Chapitre II : Routage Et Les Données multimédia dans MANETS

Les paquets RERR contiennent les informations suivantes :

- ➔ L'adresse (s) de la destination (s) inaccessible (s) ;
- ➔ Le numéro de séquence de la Destination inaccessible ;
- ➔ Le nombre de destinations inaccessibles.

Les nœuds recevant un paquet RERR le diffuse à leurs tours s'il provient d'un nœud en aval sur la route active. Dans certains cas, si la rupture a lieu sur un lien pas trop éloigné de la destination (nombre de saut inférieur à une valeur prédéfinie), le nœud situé en amont de la rupture de lien et qui a détecté celle-ci va d'abord tenter de réparer localement en relaçant un RREQ vers la destination,

- ➔ Si la réparation local est effective (au moins un RREP est reçu en retour), le nœud averti les stations en amont avec un message RERR spécifique (bit N à 1) pour que ces dernière n'effacent pas la route.
- ➔ sinon le message RERR standard est diffusé comme décrit précédemment

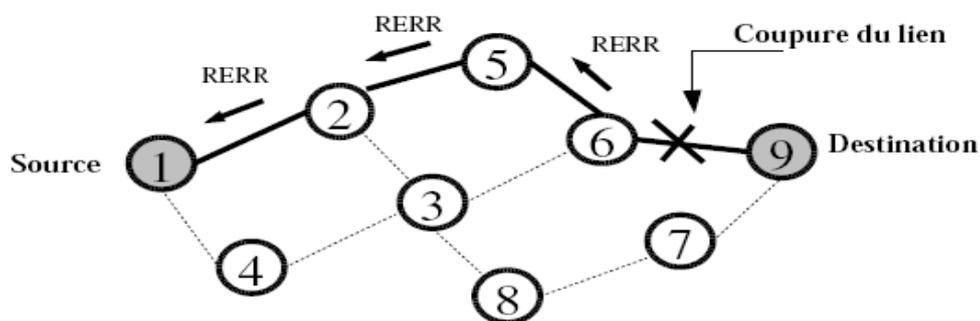


Figure II.5: Coupure de route et envoie du RERR dans AODV.

c. Évaluation

Comme tout protocole réactif, AODV souffre d'un délai lors de l'envoi des premiers paquets vers une destination non connue. L'utilisation des numéros de séquence crée aussi une certaine complexité, mais a l'avantage de permettre de fortement limiter les retransmissions inutiles. Ajouté au fait que l'approche réactive du protocole ne pèse que peu sur la charge du réseau, il en résulte qu'AODV n'a que peu d'impact sur celle-ci. Les messages HELLO périodiques restent cependant nécessaires.

Une différence majeure d'AODV par rapport à DSR est le fait qu'un nœud intermédiaire sur une route peut modifier la route d'une source à une destination. C'est notamment le cas si un lien est rompu et que le nœud intermédiaire parvient à trouver une route alternative ou si une meilleure route devient disponible entre le nœud intermédiaire et la destination. On peut parler de réparation locale du lien et d'optimisation locale de la route car ces informations n'ont pas à être remontées jusqu'à la source.

II.5.3. Le protocole OLSR (*Optimized Link State Routing*)

Le fonctionnement du protocole OLSR est basé sur l'algorithme à état de liens. Un nœud du protocole à état de liens diffuse sa connaissance des voisins à l'ensemble de la topologie. Pour éviter l'inondation classique sur ce type d'algorithme le protocole prévoit l'élection de nœuds spécifiques, les MPR (Relais Multi Point) chargés de transmettre les infos sur la topologie. La sélection des MPR se fait à partir de *message hello* que les nœuds s'échangent mutuellement pour déduire la nature des liens symétriques ou asymétriques qui les relient. La condition pour devenir un MPR est de pouvoir atteindre avec un lien symétrique tous les nœuds voisins situés à deux sauts. L'ensemble des MPR d'un nœud MPR set (le nœud qui l'a élu pour devenir MPR) doit donc couvrir tout le voisinage situé à deux sauts pour que le protocole soit efficace. Le MPRset doit être minimisé, après élection, les MPR sont communiqués à tout le réseau par des messages TC (topology control) périodique, à la réception de TC, les nœuds mettent à jour leurs table de routage.

La limitation des diffusions est basée sur les deux règles suivantes :

- ➔ Les nœuds non MPR reçoivent et exploitent les messages de diffusion mais ne les diffusent pas (sauf à leurs MPR).
- ➔ Les MPR ne diffusent que les messages provenant des nœuds dont ils sont MPR.

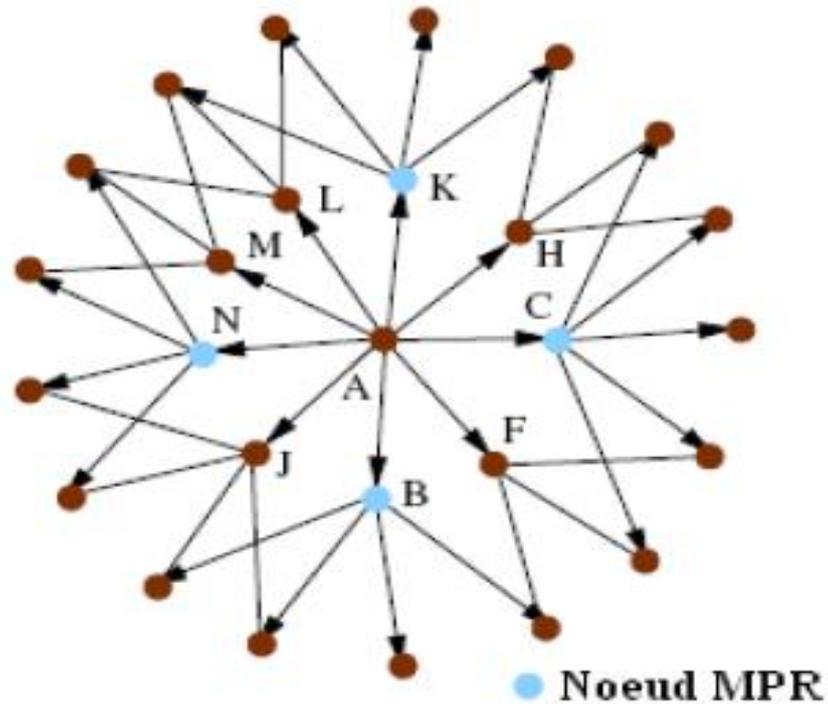


Figure II.6 : Les relais multipoints dans OLSR

Le nœud A n'a besoin de choisir que quatre nœuds parmi ses voisins à un saut pour que tous les nœuds voisins à deux sauts puissent communiquer avec lui (*comme le montre la figure II.6*).

Évaluation

OLSR est un protocole de routage efficace car il garantit des routes optimales en termes de sauts, et ne souffre pas de problème de délai pour l'émission des premiers paquets comme c'est le cas pour les protocoles réactifs. Indépendamment du protocole lui-même, la notion de relais multipoints est particulièrement intéressante car elle permet d'optimiser le mécanisme de diffusion en effectuant une inondation dans le réseau avec un impact moins important qu'une inondation normale [14].

➤ Tableau récapitulatif

Nous représentons dans ce tableau suivant les différents protocoles étudiés dans ce chapitre ainsi les classes à qui ils appartiennent, leurs avantages et leurs inconvénients :

Protocoles	Classe	Avantages	Inconvénients
OLSR	Table-Driven	-Garantit l'optimalité des routes en termes de sauts, - ne souffre pas de problème de délai pour l'émission des premiers paquets	- Souffre d'une surcharge sur le réseau cela est du a la maintenance régulière des tables de routage (échange périodique des messages de contrôle).
AODV	On-Demand	- Découvre les routes à la demande en inondant le réseau avec un paquet de requête.	- Délai initial avant de commencer la transmission des données.
DSR	On-Demand	- Découvre les routes à la demande en inondant le réseau avec un paquets de requête. - Les paquets de données peuvent être redirigé pendant leurs transmission.	- Délai initial avant de commencer la transmission des données. - La taille des paquets de données très grande quand le nombre de nœud dans réseau est grand.

Tableau II.2: Les protocoles de routage pour les réseaux ad hoc [12].

II.6. Caractéristiques majeures des applications multimédias

On distingue deux familles de médias, discrets (par exemple, un fichier texte) ou continus (par exemple, un flux vidéo). Pour chacun d'eux, on distingue trois types d'utilisation [30]

- **la diffusion différée**, qui implique une transmission intégrale du média avant utilisation ;
- **la diffusion en quasi temps réel**, qui implique une présentation du média (quasiment) au fur et à mesure de son arrivée ; un exemple type de ces applications est les applications dites de *streaming* audio ou vidéo ;
- **la diffusion interactive**, qui implique une présentation au fur et à mesure du média avec possibilité pour les utilisateurs d'interagir entre eux via ces médias ; un exemple type de ces applications est les applications de visioconférence.

II.7. Types de données multimédia

Les systèmes multimédias sont des systèmes de traitement d'information traitant une combinaison des données multimédia telle que l'audio, la vidéo et données [31].

II.7.1. Les Applications à média audio

Les applications audio sont caractérisées par une alternance entre des périodes de paroles et des périodes de silence. L'information audio est codée et encapsulée dans des paquets à taille fixe qui sont transmis à intervalles constants. Dans la catégorie d'applications à média audio, on retrouve trois classes d'applications :

a. Audio Conférence, Voix sur IP (VOIP)

Les applications d'audio conférence véhiculent des données audio, plus particulièrement des données de voix, et ceci de manière symétrique. Selon le délai de bout en bout unilatéral, deux effets sont remarqués sur les applications d'audio conférence :

- Des délais de l'ordre de dizaines de millisecondes créent un écho durant la conversation. Des mesures de réduction d'écho doivent être prises à ce stade.
- Lorsque le délai augmente (plusieurs centaines de millisecondes), il crée une désynchronisation dans la conversation et devient très perceptible par l'utilisateur.

En ce qui concerne la gigue, l'oreille humaine y est sensible. La suppression de cette gigue est nécessaire et possible au moyen de tampons de compensation de gigue : à l'arrivée des paquets à destination, ils sont mis en tampon. Cependant, comme tout tampon, il introduit un

délai supplémentaire. Ce dernier doit rester faible pour ne pas retomber sur le problème précédemment évoqué.

Pour les pertes d'informations, l'oreille humaine peut tolérer un certain degré de distorsion d'un signal vocal due à des pertes survenues durant le processus d'encodage.

b. Messagerie vocale

La messagerie vocale permet de laisser un message à données audio (ex. voix) à un destinataire. Comme toute messagerie classique, le service de délivrance du message s'effectue de manière asynchrone : sa lecture par le destinataire est donc différée. La tolérance au délai et à la gigue est donc complètement différente de celle de l'application audio conférence. Le délai à considérer ici est celui entre l'instant où l'utilisateur destinataire lance l'ordre de lecture du message vocal, et la production effective du signal sonore de ce message vocal. La tolérance de l'utilisateur face à ce délai reste difficile à quantifier, cependant quelques secondes devraient suffire à ne pas impatienter l'utilisateur. Par contre, la tolérance aux pertes d'informations sont pratiquement les mêmes que celles des applications audio conférence car le média est du même type.

c. Streaming Audio

Les applications de streaming audio offre un service d'écoute musical à la demande. Tout comme la messagerie vocale, elle implique une conversation unilatérale. Cependant, en termes de perte de paquets, les besoins sont beaucoup plus sévères, car les données audio sont censées être de bonne, voire de haute qualité.

II.7.2. Les applications à média vidéo

Les applications à média vidéo regroupent essentiellement deux grandes classes d'applications :

a. Vidéo Conférence

Les applications de vidéo conférence véhiculent à la fois les médias audio et vidéo, et ceci de manière symétrique. Par conséquent les prescriptions sont les mêmes que pour l'audio conférence. Par contre les deux medias (audio et vidéo) nécessitent d'être synchronisés mutuellement afin d'assurer la « synchronisation avec les lèvres ».

Tout comme l'oreille humaine, l'œil humain peut tolérer un certain degré de pertes d'informations visuelles dues au codage vidéo.

b. Streaming Vidéo

Les applications de streaming vidéo, communément appelées Vidéo à la Demande (Video on Demand : VoD) impliquent une communication unilatérale. Ainsi le délai et la gigue ne présentent pas nécessairement de contrainte. De même pour la synchronisation des medias audio et vidéo, elle peut être réalisée à la réception, par mise en tampon.

Le tableau II.3 récapitule les besoins en QoS des applications à média audio et vidéo en termes de métriques quantifiables :

Applications	Symétrie	Débits	Délai unilatéral	Gigue	Taux de Perte d'informations
Audio Conférence	Bilatéral	4 - 64 kbit/s	< 150 ms préféré < 400 ms limite	< 1 ms	< 3 %
Vidéo Conférence	Bilatéral	16 – 384 kbit/s	< 150 ms préféré < 400 ms limite	< 1 ms	< 1 %
Messagerie Vocale	Unilatéral	4 – 32 kbit/s	< 1 s (reproduction) < 2 s (enregistrement)	< 1 ms	< 3 %
Streaming Audio	Unilatéral	16 – 128 kbit/s	< 10 s	<< 1 ms	< 1 %
Streaming Vidéo	Unilatéral	16 – 384 kbit/s	< 10 s	< 1 ms	< 1 %

Tableau II. 3: Objectif de qualité pour les applications audio et vidéo[34].

II.7.3. Les applications de données

Les recommandations pour les applications de données ont un critère commun, à savoir un taux de perte nulle. En ce qui concerne la gigue, elle n'est généralement pas perceptible par l'utilisateur. La tolérance au délai cependant varie selon les applications de données.

a. Navigation Web

Le rôle de ces applications est d'extraire et de consulter un composant HTML d'une page web. Lorsque d'autres composants, telles que les images et les séquences audio/vidéo entrent en jeu, une synchronisation de ces flux médias est nécessaire. Du point de vue de l'utilisateur, ce dernier souhaite que les pages demandées apparaissent suffisamment rapidement. Des délais inférieurs à environ 10 secondes restent acceptables.

b. Transfert de fichiers

Les recommandations pour le transfert de fichiers sont intimement liées à la taille du fichier à transmettre. Du point de vue de l'utilisateur, il est requis d'avoir une indication de l'état d'avancement.

c. Services de transaction à priorité élevée

Dans, le cadre des services de transaction à priorité élevée, l'utilisateur a besoin d'être rassuré sur le bon déroulement de la transaction (ex. opération bancaire). Pour cela, des délais plutôt faibles (maximum quelques secondes) sont nécessaires afin de rassurer l'utilisateur sur le bon déroulement de l'opération.

d. Images fixes

Les images fixes, tout comme les medias audio et vidéo, sont généralement codées et par conséquent, un certain degré de perte du au codage est toléré. Cependant, certains codages sont moins tolérants aux erreurs isolées sur les bits, car ces pertes peuvent provoquer d'importantes perturbations dans l'image. Dans ce cas, un taux de perte d'informations quasiment nul est requis. Les recommandations pour le délai de transfert des images fixes s'apparentent à celles pour le transfert de données. Un affichage progressif durant la réception de l'image offrirait à l'utilisateur un état d'avancement du transfert.

e. Jeux interactifs

L'interactivité requise est très dépendante du type de jeu : en effet, des jeux temps réel en ligne nécessitent de très courts délais (inférieur à la seconde), compatibles avec l'interactivité requise.

f. Courrier électronique

Le courrier électronique, possède, en matière de délai, les mêmes propriétés que la messagerie vocale : c'est un service différé, il peut donc tolérer des délais de l'ordre de quelques secondes et plus.

g. Messagerie instantanée

La messagerie instantanée, généralement appelée « chat » transmet essentiellement des données textuelles. Mais elle peut également inclure des données audio, vidéo et graphiques. Bien que ces applications soient interactives, les délais de transmission peuvent être noyés dans le délai nécessaire à la saisie de ce message (ex. par clavier). Ainsi des retards de plusieurs secondes sont acceptables.

Compte tenu de l'analyse précédente, les objectifs de qualité pour les applications de données sont résumés dans le Tableaux suivant :

application	symétrie	Quantité de données	Délai unilatéral	Taux de perte d'information
Navigation web	Unilatéral	10 KO	<2s par page préféré < 4 par page acceptable	0 %
Transfert de fichier	Unilatéral	10 KO	<15 s préféré <60 s acceptable	0%
Transaction prioritaire	bilatéral	<10 KO	<2 s préféré <60 s acceptable	0%
Image fixe	Unilatéral	<100KO	<200 ms	0%
Jeux interactif	bilatéral	< 1 KO	< 200 ms	0%
Courier électronique	Unilatéral	<10 KO	<2s préféré <4 S acceptable	0%

Tableau II.4: Objectif de qualité pour les applications de données[34].

Nous avons présenté ci-dessus les différents types d'applications multimédia en particulier le streaming audio et vidéo ainsi les trois protocoles de routages DSR, AODV et OLSR afin d'évaluer le comportement de ces derniers pour l'envoi de ces types d'application.

II.8 . Conclusion

Le routage est une des fonctions de base essentielles au bon fonctionnement des réseaux. Il s'agit donc d'un sujet qui a fait l'objet de très nombreuses recherches, et seule une infime partie de ces recherches a été présentée ici. On peut observer que les méthodes de routage traditionnelles ont jusqu'aujourd'hui une influence importante, et ceci est particulièrement visible quand on s'intéresse plus particulièrement au problème du routage dans les réseaux MANET. Cela s'explique par le fait que ces méthodes sont bien connues pour leurs qualités et la première voie qui est apparue pour résoudre le problème de routage dans les réseaux MANET a donc été d'adapter ces méthodes en les optimisant. Certaines nouvelles notions sont néanmoins apparues, comme la notion de relai multipoints.

III.1. Introduction

La simulation constitue actuellement la solution la plus pratique pour évaluer le comportement d'un système complexe dont la formalisation à l'aide de méthodes analytiques est difficile. Pour tester les performances d'un réseau mobile on a souvent recours à la simulation.

En effet il serait trop coûteux, voire impossible, de mettre en place un réseau à des fins de test pour certains critères. Par exemple, tester des applications sur des réseaux de grande envergure n'est possible en réalité que si l'on dispose de moyens matériels importants. Cependant, dans le cadre d'une simulation, il suffit de changer les paramètres de simulation correspondant à la taille du réseau.

Plusieurs simulateurs pour réseaux sans fil ont été proposés ces dernières années, parmi lesquels NS-2[19], GloMoSim[20], J-Sim[21], OMNeT++[22], Opnet[23], etc.

Ces simulateurs offrent tous un environnement de programmation pour l'implémentation et l'évaluation des performances des protocoles de communication.

III.2. Qu'est-ce que la simulation?

Simuler, c'est modéliser un système complexe, afin de prévoir son comportement dans le monde réel. Il s'agit d'une approche permettant de représenter le fonctionnement d'un système réel constitué de plusieurs entités, de modéliser les différentes interactions entre elles, et enfin évaluer le comportement global du système et son évolution dans le temps.

Le recours à la simulation permet de contourner les limites de la complexité des modèles analytiques. Toutefois, il est nécessaire de bien identifier les caractéristiques du système afin de le représenter, le plus finement possible, par des modèles abstraits. Si la représentation du système réel par des modèles abstraits est suffisamment réaliste et précise, il est alors possible de reporter les résultats obtenus avec ces modèles sur le système réel.

Le cycle correspondant aux étapes de modélisation, simulation et report des résultats est illustré sur la (figure III.1).

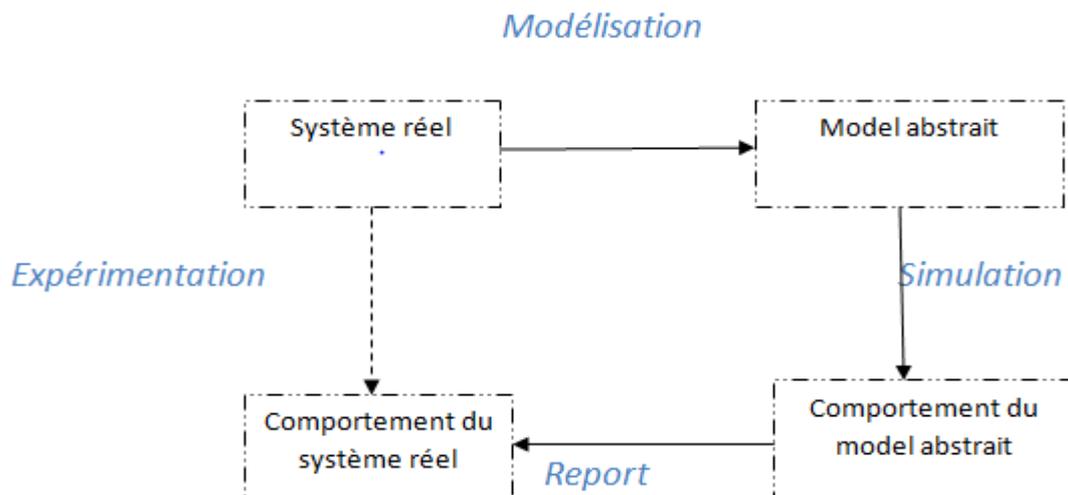


Figure III.1 : Modélisation d'un système

III.4.Quand et pourquoi simuler?

La simulation d'un système réel devient nécessaire des lors que les modèles analytiques deviennent, soit trop complexes en termes de calcul et de temps de résolution, soit trop simples vis-à-vis de la réalité rendant, par ce fait, les résultats obtenus non représentatifs du comportement du système dans un environnement réel. Ainsi, la simulation peut s'avérer nécessaire dans les cas suivants

- Le système n'est pas décomposable en sous-systèmes simples et indépendants l'un de l'autre, rendant une modélisation analytique très complexe.
- Le système n'existe pas encore. Dans ce cas, la simulation peut constituer une phase préliminaire, permettant aux concepteurs de prévoir le fonctionnement du système afin d'optimiser le dimensionnement de ses différents paramètres.
- Les expériences sur système réel sont trop coûteuses en termes de ressources matérielles et humaines.
- Les expériences sur système réel ne sont pas reproductibles ni représentatives de tous les environnements possibles. Dans ce cas, la simulation permet de caractériser le comportement global du système pour différents environnements.

III.4. Les méthodes de simulation

Lorsque la simulation s'avère nécessaire pour évaluer un système réel, quatre principales méthodes de simulation peuvent être utilisées en fonction de la nature du système cible :

- La simulation de Monte-Carlo qui se base sur la génération de nombres aléatoires a fin de reproduire les résultats d'un calcul pour lequel les données sont incertaines.
- La simulation continue qui permet d'analyser de manière continue le comportement d'un système, représente sous la forme d'équations différentielles, au cours du temps.
- La simulation analytique qui permet d'analyser des processus aléatoire à travers lesquels le système peut passer par différents états.
- La simulation discrète qui grâce à la génération d'évènements permet d'évaluer le comportement d'un système au cours du temps [6].

III .5. Présentation de Quelques simulateurs

Les besoins croissants de tester les nouvelles technologies et les nouveaux protocoles avant leur déploiement a conduit à la prolifération des simulateurs. On peut les classer en deux types: les logiciels libres et gratuits tels qu'OMNet++, J-Sim et NS2... et les logiciels commerciaux tels qu'OPNET et QualNet « la version commerciale de Glomosim »...

III.5.1. Le Simulateur GloMoSim

GloMoSim pour Global Mobile Information System Simulator est un simulateur conçu à l'origine pour la simulation de réseaux mobiles à grande échelle ; il peut simuler des réseaux fait de dizaines de milliers de dispositifs [26]. Il est construit à partir du langage Parsec.

GloMoSimest conçu suivant une conception modulaire et hiérarchique, dans laquelle, un ensemble de nœuds sont agrégés au sein d'une seule entité Parsec : *partition*.

De même, la pile de protocole est agrégée dans une seule entité de façon très fidèle au concept de structuration en couche du modèle Transport Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). Ces deux techniques d'agrégation lui confèrent cette très bonne scalabilité [18].

Les interactions *inter-couches* se font très simplement par l'utilisation d'APIs (Application Programming Interface) réutilisables et extensibles (Figure III.2) mais l'apprentissage de cette API peut se révéler difficile [26].

GloMoSim constitue l'un des simulateurs les plus riches, avec des modèles très évolués au niveau des couches basses. Il se vend en version commerciale sous le nom de *QualNet* [27].

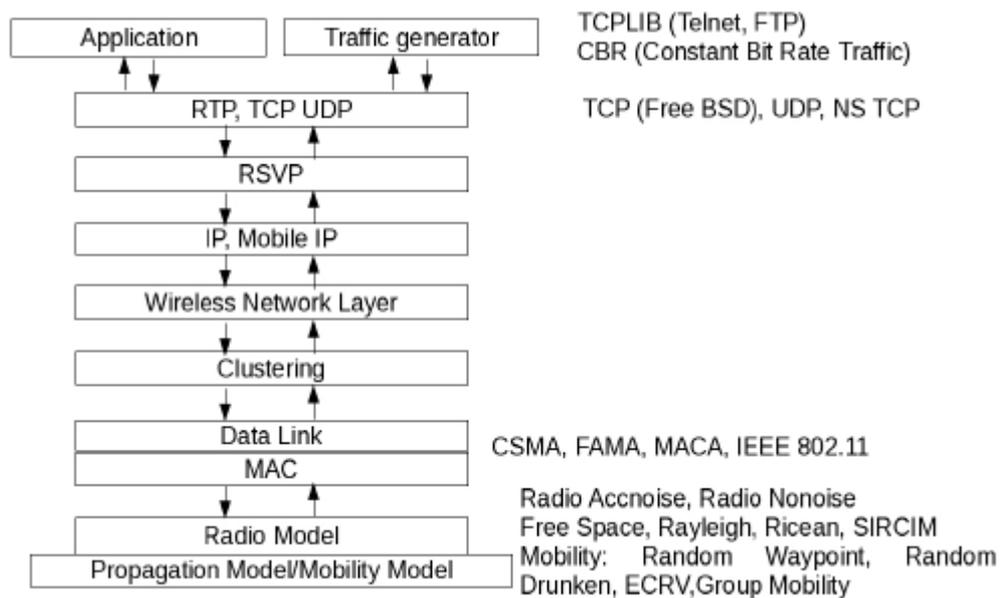


Figure III.2 :GloMoSim/QualNet tel que décrit dans [18]

III.5.2.Le Simulateur NS-2

Network Simulator 2 est certainement le plus populaire des simulateurs de réseaux donc utile pour la comparaison de protocoles. Il est conçu à partir du langage C++, suivant une approche orientée objet (voir Figure III.3) en utilisant le langage objet OTCL dérivé de TCL pour la description des conditions de simulation sous forme de script. Dans le script l'utilisateur fournit la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, le type de trafic généré par les sources, les événements, etc. [24].

Les entités de la simulation sont abstraites en classes d'objets. Sa richesse, réutilisabilité et extensibilité justifient sa popularité. Il dispose de nombreux modèles déjà disponibles, parmi lesquels des modules destinés à la simulation de réseaux sans fil. [18]

NS-2 est un outil de recherche très utile pour le design et la compréhension des protocoles. Il sert aussi bien dans l'étude des protocoles de routage qu'à l'étude des réseaux mobiles ou les communications par satellites. [24]

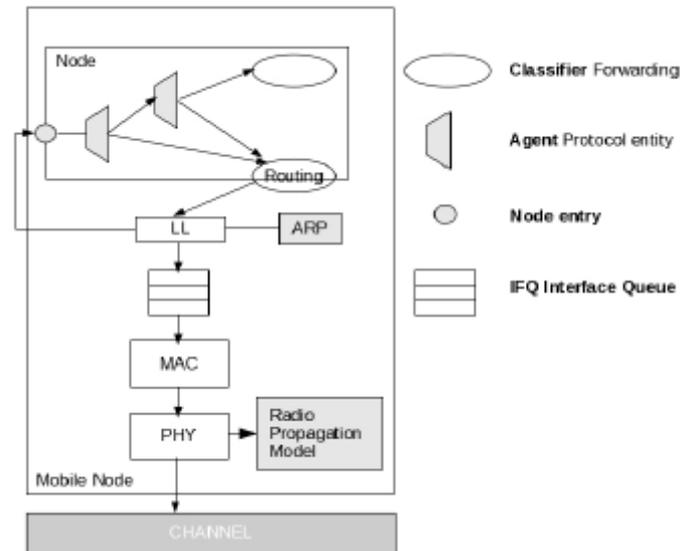


Figure III.3: Architecture général d'un nœud mobile dans NS-2 telle que décrite dans [18]

III.5.3. Le Simulateur OMNet++

OMNeT++ est un logiciel libre destiné à la simulation d'événements discrets écrit en langage objet C++. Il a été conçu pour la simulation des réseaux informatiques, des systèmes multiprocesseurs et d'autres systèmes répartis. Il est utilisé par de nombreux groupes de recherche pour l'évaluation et l'estimation des performances d'un réseau de télécommunication. Il est utile pour l'illustration, la correction, l'évaluation et l'amélioration des performances. Il fournit un ensemble d'outils qui aident à modifier ou à mettre en application de nouvelles caractéristiques d'une manière simple. [25]

OMNet ++ utilise une approche orientée composant, Son plus bas niveau de granularité pour l'abstraction reste les classes d'objets, les interactions se font donc à partir de la spécification des interfaces fournies (voir Figure III.4). Il se présente comme un ensemble de modules interconnectés et organisés de façon hiérarchique.

Les modules définis sont extensibles et réutilisables. Son outil de visualisation, très puissant, permet une description complète des scénarios basée sur le langage GNED (GNetwork Description) relativement proche du langage C [28], ce qui lui confère une très bonne facilité d'utilisation. Sa facilité de prise en main, sa disponibilité en licence libre pour les plateformes Windows et Unix expliquent son gain croissant de popularité [18].

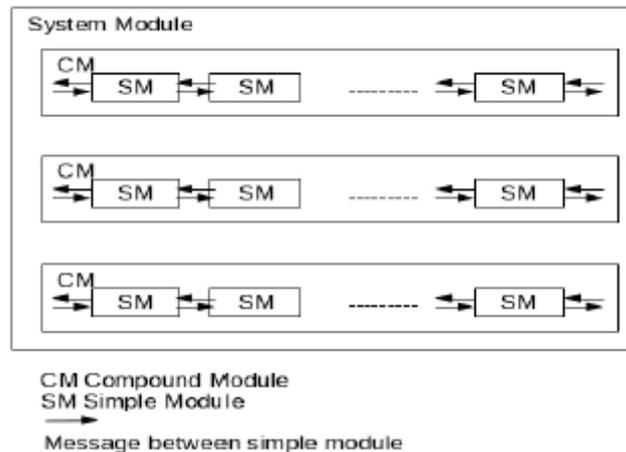


Figure III.4: Structure de OMNet ++ telle que décrite dans [18]

III.5.4. Le Simulateur J-Sim

J-Sim, autrefois connu sous le nom de *Java Sim*, est un simulateur réalisé en *Java*. Il offre une bibliothèque de simulation de réseaux de capteurs et est conçu suivant une approche orientée composants. Son objectif étant la mise à disposition de composants réutilisables en informatique comme cela se fait déjà en électronique pour les circuits. Son architecture se subdivise en trois types de composants : un premier pour contenir la représentation des nœuds, un deuxième pour la représentation du canal de captage et un troisième pour la représentation du canal radio (voir Figure III.5).

L'utilisation du langage *Java* pour la réalisation du moteur de simulation constitue un handicap pour la simulation des réseaux à grande échelle.

Enfin, comme dans NS-2, *J-Sim* propose que la description des scénarios se fasse par un langage de script, une extension du TCL pour *Java*, ce qui rend sa prise en main moins évidente [18].

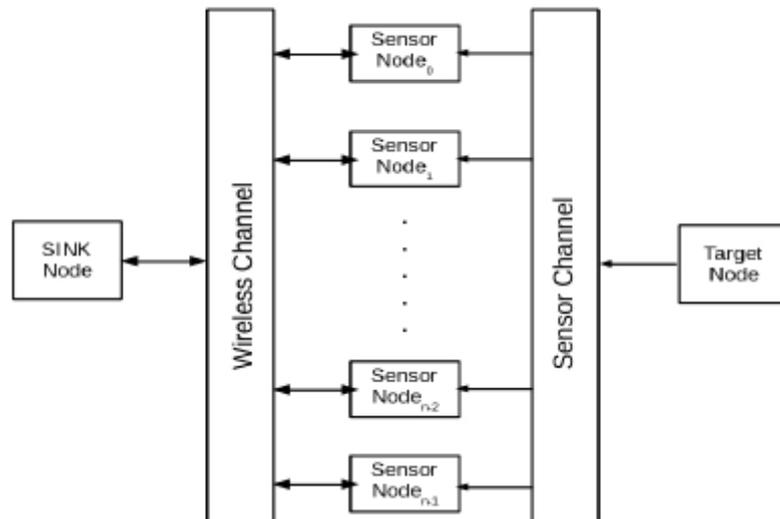


Figure III.5 : Architecture générale de J-Sim telle que décrite dans [18]

III.5.5. Le simulateur OPNET

OPNET est un outil qui a été essentiellement développé pour la simulation des réseaux informatiques et télécommunication, qui a déjà fait ses preuves car il est commercialisé depuis 1986 [29].

il a connu un grand succès auprès des industriels. Il fournit de nombreuses bibliothèques de modèles de réseaux et reste assez ouvert puisque on a accès aux programmes sources de la plupart des modèles.

OPNET est un outil dont la structure interne des modèles est organisée de manière hiérarchique. Cette manière de structurer les modèles 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].

III.6. Choix de l'outil de simulation

Afin de pouvoir comparer plus facilement notre panel de simulateurs (NS2, OMNet++, OPNet, Glomosim et Jsim), nous avons défini quelques points de comparaisons relatifs.

- Le passage à l'échelle des modèles (nombre de nœuds, nombre de flux simulables) ;
- La modélisation correcte des phénomènes physique dans les réseaux sans fil ;
- Le nombre de modèles fournis dans le simulateur ;
- La qualité des outils statistiques pour l'analyse des résultats;
- Les outils d'aide à la création de modèles, ainsi que les outils d'aide à la programmation de modèles ;
- La qualité des outils statistiques ;
- Flexible: capable de simuler des protocoles de réseau différents, les applications sous une large gamme de conditions de fonctionnement ;
- Clair: facile à identifier des problèmes de modélisation et des fautes de simulation
- La plate forme d'exécution: caractérise la machine abstraite sur la (les) quel (les) l'outil est compatible (système d'exploitation et compilateur).
- La facilité d'utilisation: elle peut être évaluée par la présence ou la puissance d'outil de visualisation, de support de description de topologie, de support de débogage etc.
- Le type de licence : il définit, pour chaque entité (personne physique ou morale), comment se procurer d'une version de l'outil en toute légalité.
- Richesse: Exprime la disponibilité de protocoles (conçus pour différents niveaux du modèle de référence) ou de modèles déjà valides au sein de la communauté scientifique. [28]

Le tableau III.1 présente une comparaison entre les différents simulateurs décrits en haut

Simulateurs	GloMoSim	J-SIM	NS-2	OMNet++	OPNet
Architecture	-	Orienté composant	Orienté objet	orienté composant	Orienté objet
Utilisation	difficile	-	difficile	facile	facile
Mobilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
documentation	Peu documenté	Très difficile d'en trouver	Très bonne documentation	bonne	bonne
Interface	Parsec (C)	Java	C++/OTCL	C++	C
Licence	Gratuit	Gratuit	Gratuit	Gratuit pour les universitaires Et pour toute utilisation non lucrative	Commercial & Gratuit pour les universitaires
Plate-forme	Linux Windows Sun, Mac	Java	Windows UNIX (Linux Solaris)	Windows (Cygwin) Unix	Windows Solaris

III.1 Tableaux comparatif entre les simulateurs défini en haut.

III.7. Pourquoi OPNET?

Après avoir recueilli les informations nécessaires, nous avons pu dresser un tableau comparatif. Il en résulte que NS2 reste sans nul doute le simulateur le plus documenté et le plus polyvalent. Seul défaut: sa maniabilité et sa prise en main difficile. En le comparant à OMNet et OPNET, on remarque que ces simulateurs se valent à la différence que la prise en main d'OMNet++ et OPNET est largement plus facile (présence d'une interface graphique). Quant à Glomosim, on ne peut s'empêcher de noter qu'il est très performant pour la simulation des réseaux sans fil (il intègre un large panel de protocoles de routage). Comme NS2, il possède un outil de visualisation de simulation (Glomosim Visualization Tool).

La documentation peut cependant sembler assez légère. J-sim est celui le plus à plaindre quand à la documentation: très difficile d'en trouver. C'est ce qui explique le manque de certitude lors de l'évaluation de ce simulateur. On sait toutefois qu'il est très performant (ce qui est dû au moteur codé en Java).

Nous avons opté dans notre cas pour OPNET grâce sa maniabilité et sa prise en main facile grâce à l'interface homme machine qu'il possède. En plus il est acclamé par les professionnels de réseau parce qu'il à toutes ces propriétés.

De plus OPNET supporte la plupart des protocoles de réseau existants. Il peut être utilisé pour modéliser et analyser un système complexe en exécutant des simulations d'événements discrets.

Conclusion Générale

L'étude réalisée dans ce projet nous a permis de découvrir le monde des MANTEs, connaître leurs caractéristique et les classes des protocoles de routage proposées pour ces réseaux.

Dans ce mémoire, nous nous somme intéressés aux travaux relatifs à la couche réseau, notamment aux protocoles de routage dans les MANETs. Le routage dans ces réseaux est loin d'être un problème simple ; dans la conception de ces protocoles, deux buts non compatibles doivent être atteints : d'une part il faut garder une vue consistante sur la topologie du réseau ce qui demande des fréquentes mises à jour à cause de la constante mobilité des nœuds et de l'instabilité du médium de communication sans fil, et d'autre part il faut optimiser la consommation de la bande passante qui est une ressource limitée dans les MANETs.

Pour cela nous nous sommes intéressés dans notre travail à l'analyse des performances des protocoles de routage dans ces réseaux pour l'envoi des données multimédia en streaming selon différents critères d'évaluation tels que la charge du réseau, le débit et le délai de transmission des données.

Après plusieurs simulations nous avons pu collecter plusieurs résultats qui nous ont permis de suivre le comportement des trois protocoles tels que DSR, AODV et OLSR, suivant les métriques déjà citées. Nous avons pu montrer le protocole le plus adapté pour chaque application.

La réalisation de notre travail nous a permis de :

1. acquérir de bonnes connaissances sur un simulateur très puissant, qui permet de nombreuses modélisations de réseaux grâce à ses nombreuses bibliothèques, il est très utilisé dans le monde des recherche sur les réseaux et même recommander par beaucoup de chercheurs. Nous avons surtout pu nous familiariser avec ce logiciel et découvrir nous même certaines de ces fonctionnalités malgré sa complexité et ses nombreuses possibilités de paramétrages. Cela en faisant des tests et suivre les erreurs signalé dans OPNET et aussi en consultant l'aide de ce logiciel.

2. Etudier le fonctionnement détaillé des trois protocoles DSR, AODV et OLSR, et comparer les résultats obtenus en se basant sur les mécanismes utilisés dans chaque protocole et l'impact qu'a ces mécanismes sur les différentes métriques d'évaluation que nous avons utilisées.

Perspectives

Dans le future afin de mieux étudier les performances des protocoles de routage dans les MANETS, nous devons varier le maximum de paramètres afin d'avoir plus de précision sur le changement du comportement de ces protocoles, notamment AODV, car il s'est montré le plus performant dans nos résultats.

Et pourquoi pas se dévouer entièrement a la recherche dans ce domaine et proposer une solution pour l'amélioration de ce protocole de sorte à ce qu'il ait une meilleur vu sur le réseau sans qu'il y est beaucoup de charge sur ce dernier.

I. Téléchargement du logiciel

OPNET offre gratuitement son logiciel commercial aux professeurs et aux étudiants pour la recherche et l'enseignement académique dans les universités et les écoles d'ingénieurs. Ces universités doivent répondre aux critères d'éligibilité définis par OPNET. Afin de postuler pour une licence de ce logiciel commercial, il suffit de visiter leur site Internet et remplir le formulaire s'affichant :

http://www.opnet.com/university_program/research_with_opnet/index.html Le Programme universitaire d'OPNET offre aussi gratuitement le logiciel académique intitulé : IT Guru® Academic Edition, qui est une version limitée du logiciel commercial. Ce logiciel peut être téléchargé rapidement et directement sur le site Internet au lien suivant : http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/

II. Installation d'OPNET Modeler 14.5

II.1. Avant d'installer OPNET, on a installé Microsoft visual studio 2010,

II.2. Exécuter ensuite les trois fichiers suivant :

- modeler_145A_PL8_7808_win
- modeler_docs_02-Sep-2008_win
- models_145A_PL8_24Sep08_win

1. Exécuter "modeler_145A_PL8_7808_win",

Le message suivant s'affiche "*A compiler was found, but is not configured properly*" (il nous montre qu'on est sur le bon chemin), cliquer sur **YES**,

- Choisir **C:\OPNET** comme emplacement de fichier d'installation (si on choisi un autre emplacement on doit utiliser ce dernier dans la variable path dans l'étape IV.), cliquer sur **NEXT**,
- Cliquer sur **NEXT**,
- Sélectionner la version **STANDALONE**, cliquer sur **NEXT**,
- Cocher les trois champs suivant : ACE Capture files – OPNET Model Files - OPNET Project Files, puis cliquer sur **NEXT**,
- Cliquer sur **INSTALL**,
- Cliquer sur **DONE**.

2.

- Exécuter “modeler_docs_02-Sep-2008_win”,
- Cliquer sur *NEXT* jusqu’à la fin.

3.

- Exécuter “models_145A_PL8_24Sep08_win”,
- Cliquer sur *NEXT* jusqu’à la fin.
- Dans cette étape on passe au changement de variables d’environnement aller sur *ordinateur-> propriétés système-> paramètres système avancés-> variables d’environnement* : si ces variables existent on fait une modification sinon on les crée en leurs accordant les valeurs suivantes :

1. DevEnvDir

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\Common7\IDE;

2. Framework35Version

v3.5;

3. FrameworkDir

C:\WINDOWS\Microsoft.NET\Framework;

4. FrameworkVersion

v2.0.50727;

5. INCLUDE

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio
10.0\VC\ATLMFC\INCLUDE;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio
10.0\VC\INCLUDE;C:\Program Files (x86)\Microsoft
SDKs\Windows\v7.0A\Include;

6. LIB

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\VC\atlmfc\lib;C:\Program
Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\VC\lib;C:\Program Files (x86)\Microsoft
SDKs\Windows\v7.0A\Lib;

7. LIBPATH

C:\WINDOWS\Microsoft.NET\Framework\v3.5;C:\WINDOWS\Microsoft.NET\Fra
mework\v2.0.50727;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio
10.0\VC\ATLMFC\LIB;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio
10.0\VC\LIB;

8. Path

;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio

10.0\VC\BIN;C:\WINDOWS\Microsoft.NET\Framework\v3.5;C:\WINDOWS\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\VC\VCackages;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\Common7\IDE;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\Common7\Tools;C:\Program Files (x86)\Microsoft SDKs\Windows\v7.0A\Bin;

9. VCINSTALLDIR

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\VC

10. VS100COMNTOOLS

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0\Common7\Tools\

11. VSINSTALLDIR

C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 10.0

12. WindowsSdkDir

C:\Program Files (x86)\Microsoft SDKs\Windows\v7.0A;

III. Pourquoi ces variables d'environnement

Nous avons vu précédemment que nous pouvons utiliser les modèles des nœuds préprogrammés d'OPNET, en définissant leurs attributs et le code sera généré automatiquement. Donc tout ce que nous pouvons concevoir graphiquement, un code en C sera généré et doit être compilé avant de faire les simulations.

Donc toute variable que nous avons défini ci-dessus va définir le chemin de tous les fichiers en tête nécessaire pour la compilation et l'exécution du réseau.

C'est pour quoi OPNET nécessite une installation préalable de visual studio (dans notre cas nous avons installé visual studio 2010) pour la compilation et l'exécution du code.

IV. Configuration d'OPNET

Avant de commencer à utiliser OPNET, nous devons le configurer correctement pour éviter l'apparition de certains problèmes lors de l'utilisation, la meilleure façon de le faire est de vérifier les préférences du programme qui déterminent quels sont les paramètres du programme par défaut.

Aller sur *Edit -> préférences* depuis la page d'accueil du programme ou l'éditeur du projet

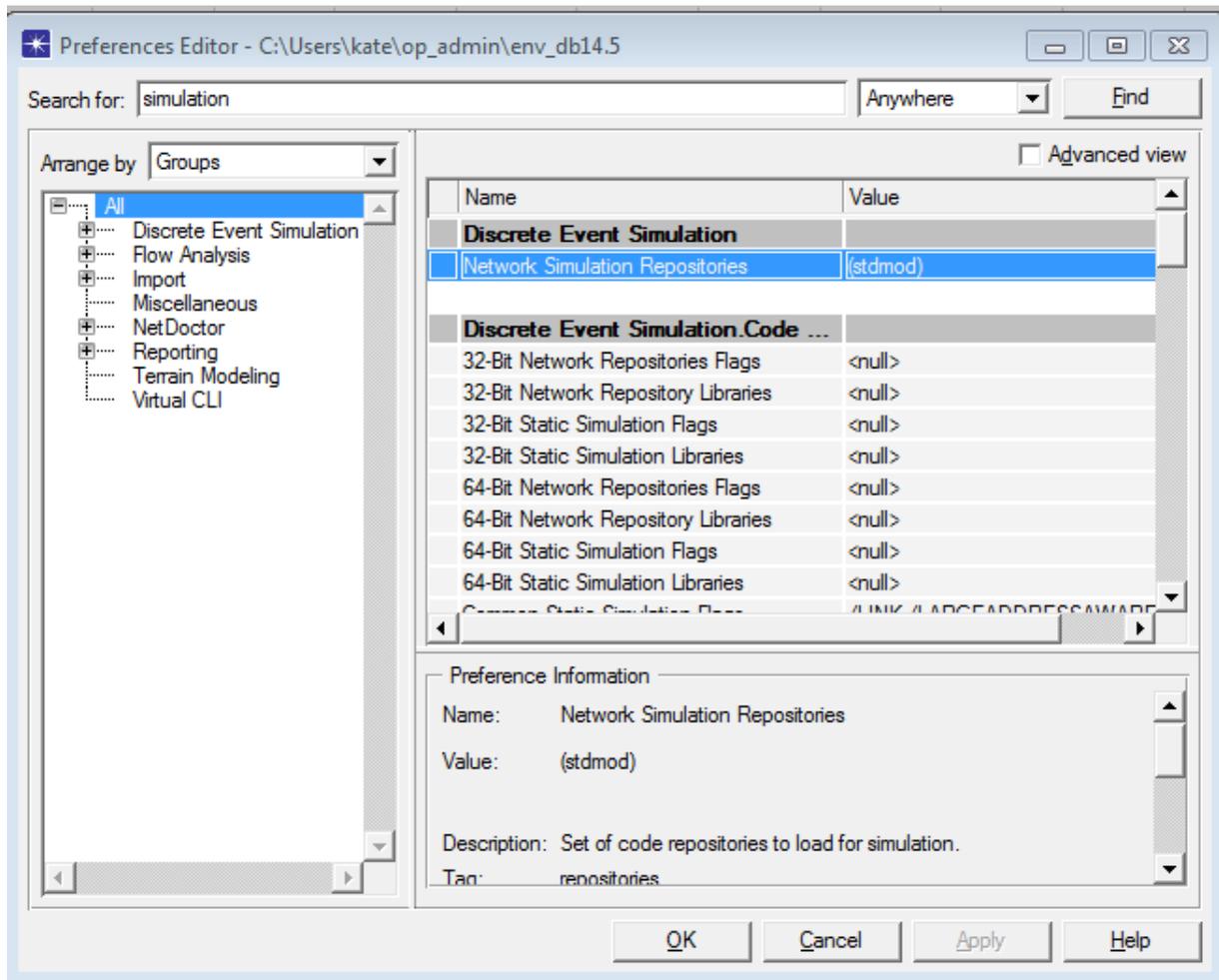


Figure 1 : éditeur de préférence d'OPNET

Cette fenêtre nous permet de visualiser et modifier les attributs de l'environnement, commander des opérations du programme.

Certains attributs qui sont considérés comme intéressants sont:

- Nom du serveur de licence (*license_server*), ce qui devrait correspondre au nom de l'hôte sur laquelle la licence est obtenue.
- Standalone License Server (*license_server_standalone*), qui spécifie si le programme agit comme son propre serveur de licences. La valeur par défaut est *FALS*, mais dans notre cas, nous avons réglé sur *TRUE*.
- Annuaire du modèle (*mod_dir*) est un répertoire contenant les fichiers modèles OPNET. Le premier répertoire dans la liste indique où enregistrer nos propres modèles, Nous pouvons insérer ou supprimer des répertoires à tout moment.

Annexe

- *Network simulation repositories* qui est un paramètre spécial pour les simulations, lorsque nous gardons sa valeur initiale qui est *empty* ou bien () un message d'erreur s'affiche (voir figure 2) lors d'une simulation, pour cela nous devons lui attribuer la valeur *stdmod*.

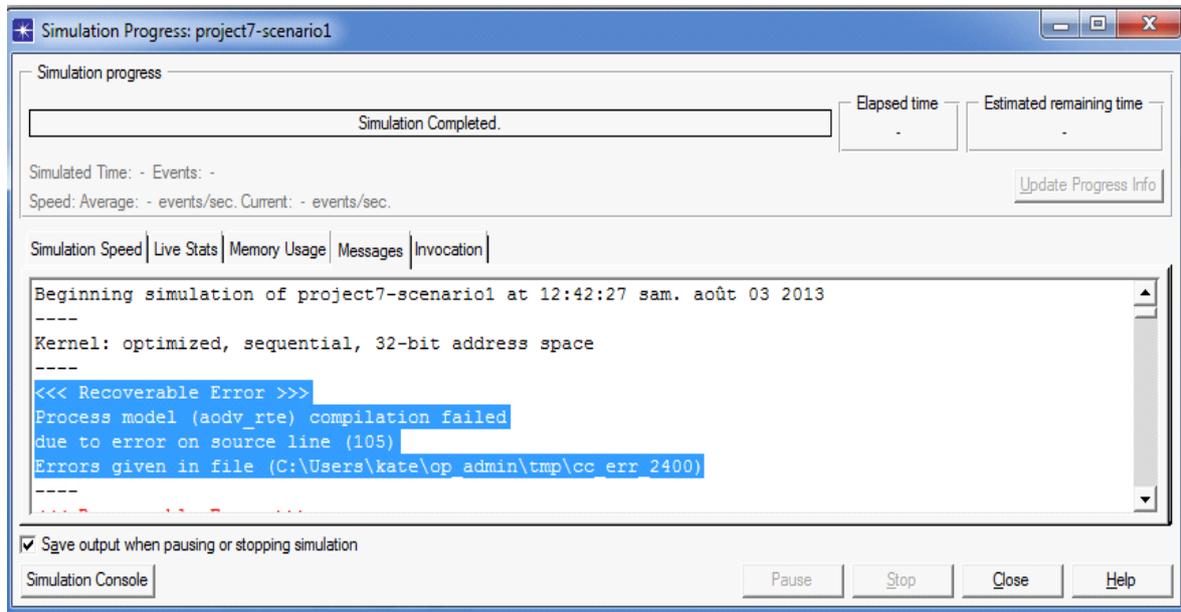


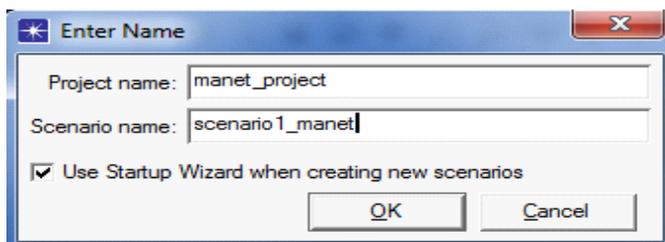
Figure 2 : le message d'erreur s'affichant lors d'une simulation.

V. Créer un nouveau projet sous OPNET

- Lancer OPNET Modeler 14.5,
- Suivre le menu **file-> new**,



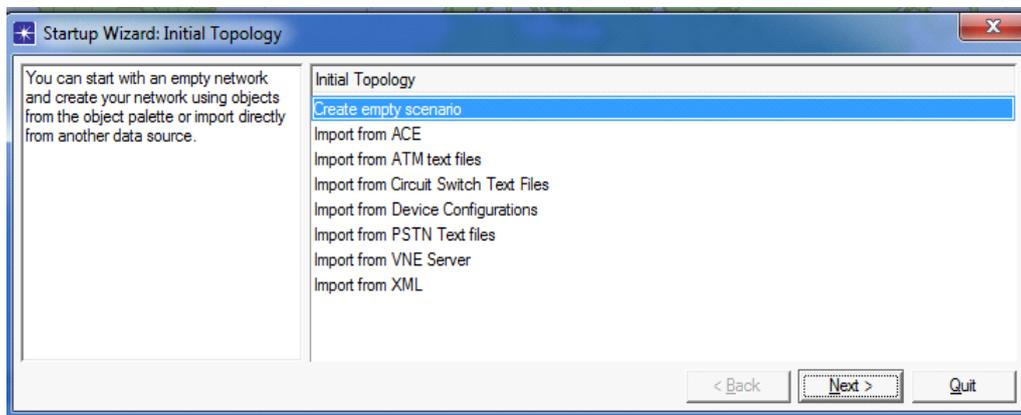
- Sélectionner *project*,
- cliquer sur *ok*,
- donner un nom au projet ainsi qu'au scénario comme le montre la fenêtre suivante



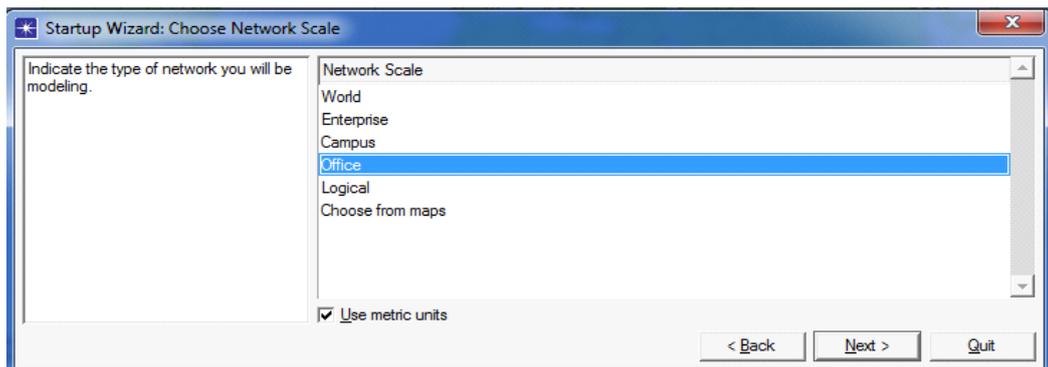
- cliquer sur *ok*,

Annexe

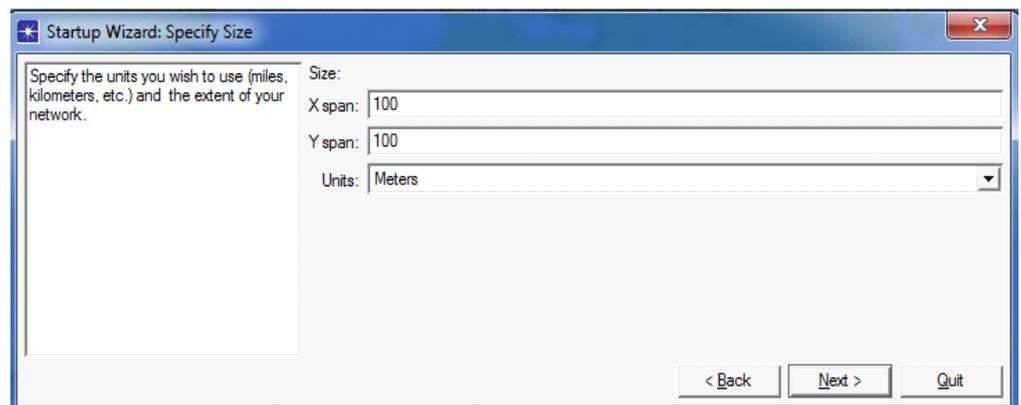
- L'assistant de création d'un nouveau projet s'ouvre et propose différents types de projets. On peut alors choisir de commencer par un nouveau scénario vide *create empty senario*



- Cliquer sur *next*
 - On choisit ensuite la taille du réseau : s'il est de l'ordre mondial ou bien s'il s'agit d'un réseau d'entreprise, d'un campus ou tout simplement d'un bureau. Pour noter exemple, nous choisirons un réseau à l'échelle d'un bureau.

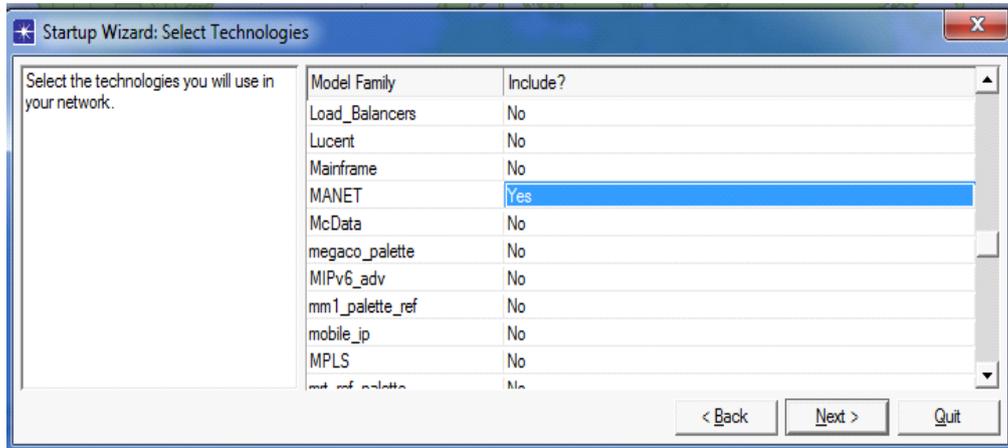


- Cliquer sur *next*,
- Assigner des valeurs à la portée de notre réseau, *X span* en longueur et *Y span* en largeur

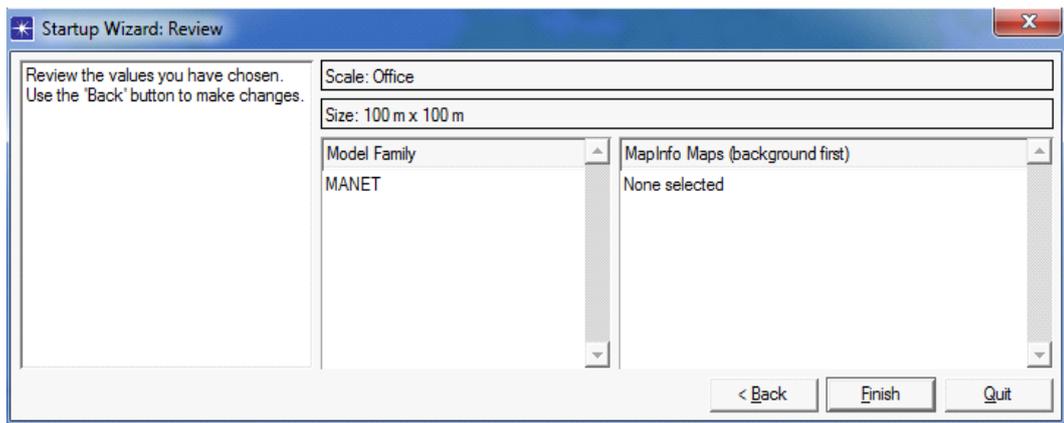


Annexe

- Cliquer sur *next*,
- Une boîte de dialogue *select technologie* s'affiche, sélectionner *MANET*



- Cliquer sur *next*,
- La fenêtre *Review* s'affiche, elle nous permet de revoir les valeurs que nous avons déjà choisies en créant notre projet, comme l'échelle, la taille ainsi que les technologies



- Cliquer sur *finish*.

V. Présentation d'OPNET MODELER

V.1. Introduction

OPNET est un environnement graphique utilisé 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).

V.2. Architecture de Modélisation d'OPNET

OPNET utilise un modèle hiérarchique qui se base sur des frontières physiques et fonctionnelles décrivant d'une façon précise les topologies et les flux échangés dans un Système de communication. Ce modèle hiérarchique présente trois niveaux de description (Figure) [1].

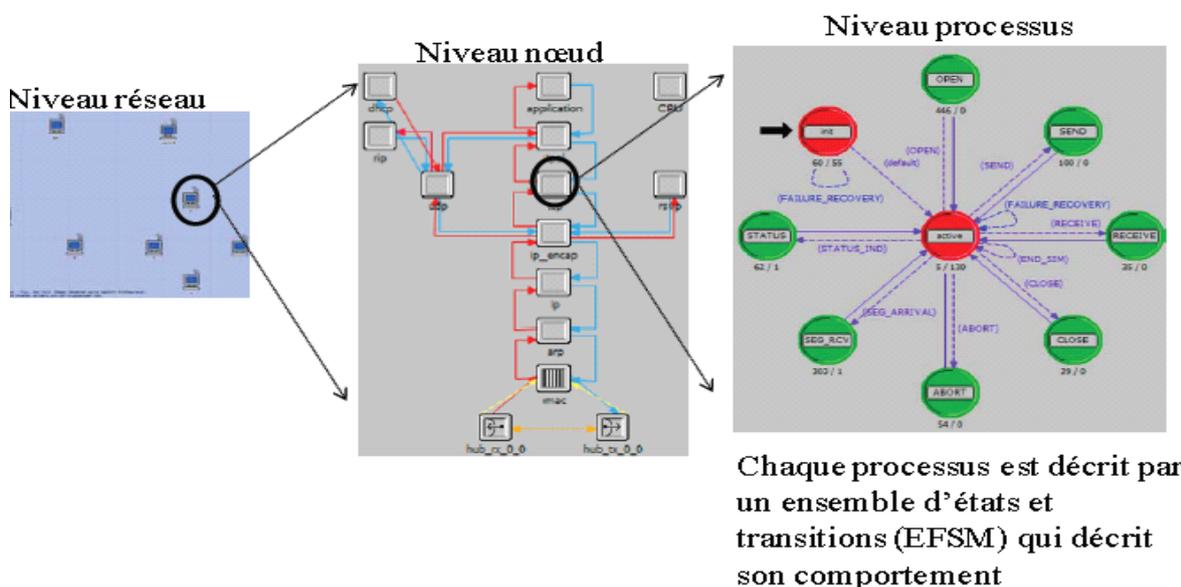


Figure 3 : Les modèles hiérarchiques sur OPNET

Pour chaque niveau, l'utilisateur peut utiliser un des modèles prédéfinis dans les bibliothèques d'OPNET ou proposer son propre modèle.

V.2.1. Network model

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 noeuds de cette catégorie peuvent contenir des "*simples nodes*" et des "*subnets*".

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

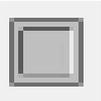
- Le type fixe, permet de décrire des nœuds qui sont associés à une position statique dans la topologie.
- Le type mobile, par opposition, permet de décrire des nœuds pour lesquels les positions peuvent évoluer selon une trajectoire à travers la topologie.
- Le type satellite permet de décrire des nœuds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

V.2.2. Node model

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

Certaines modules sont non programmables, il s'agit principalement des **transmitters** et des

receivers  , dont la seule fonction est de s'interfacer entre le nœud et les liens auxquels il est connecté.

Les autres modules sont entièrement programmables : il s'agit des **processors**  et des

queues  (files d'attentes) :

Les processors sont des modules qui remplissent une tâche bien précise du nœud : ils symbolisent en fait les différentes parties du système d'exploitation d'une machine, et plus principalement les différentes couches réseau implémentées dans le nœud (Ethernet, IP...). Les processors peuvent communiquer entre eux via des flux de paquets (*packets streams*)



, qui permettent de faire transiter un paquet d'une couche à une autre à l'intérieur d'une même machine.

Cette organisation permet d'avoir une vision claire de la pile de protocoles implémentée dans un nœud (*voire figure 4*), et de connaître rapidement leurs interactions.

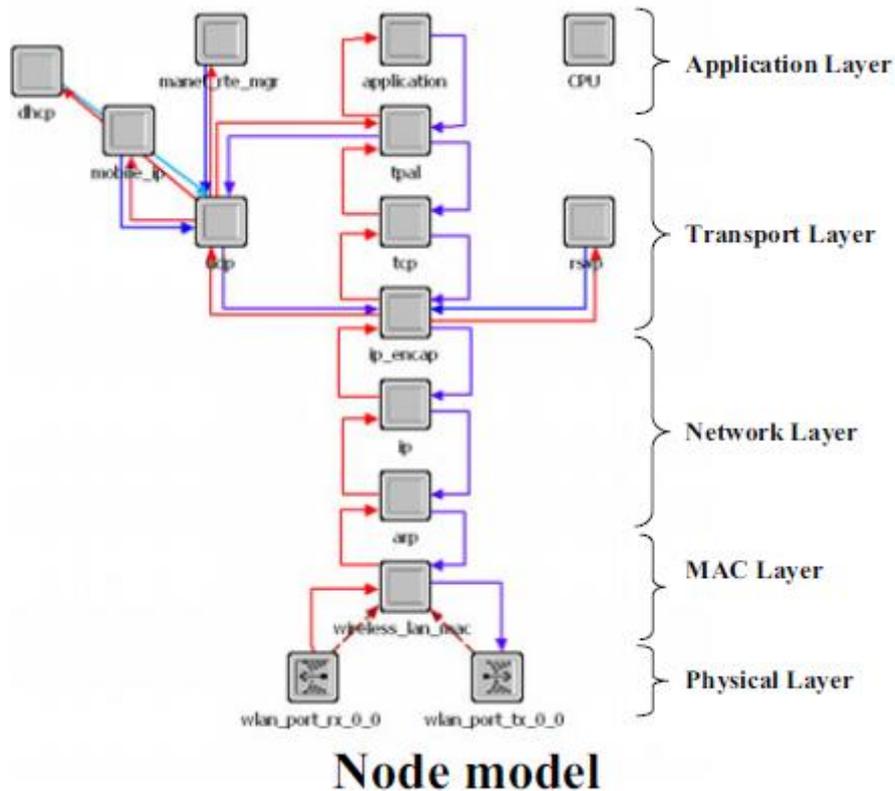
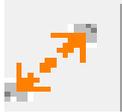


Figure 4 : la pile protocolaire d'un nœuds sous OPNET

Par exemple, le module IP est relié, via des streams, aux modules de la couche 4 tels que TCP, UDP, et de la couche 2.

Les fils statistiques (*statistic wires*)  constituent le second type de lien permettant une communication entre modules : comme leur nom l'indique, ils permettent de faire remonter des informations de statistiques d'un module à l'autre, comme par exemple la taille et le délai des queues des transmitters.

Les associations logiques ou (*logical association*) , qui servent à identifier une liaison entre module émetteur et récepteur de façon à les attacher à un lien de communication au niveau de l'éditeur Network .

V.2.3. Process model

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 codée en C/C++. Ce code est appelé

Annexe

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*). Nous pouvons identifier trois types d'états:

- état initial (*initial state*), représenté dans ce document par deux cercles concentriques (voir Figure a)),
- état non forcé (*unforced state*, de couleur rouge), représenté dans ce document par un cercle continu (voir Figure c)) : état pour lequel la désactivation nécessite l'occurrence d'un événement et la validation d'une condition logique,
- état forcé (*forced state*, de couleur verte), représenté dans ce document par un cercle pointillé (voir Figure b)) : état pour lequel la désactivation ne nécessite que la validation d'une condition logique.

Pour les états non forcés, le code d'entrée (*Enter executive*) est exécuté lors de l'activation de l'état, et le code de sortie (*Exit executive*) est exécuté lors de l'occurrence d'un événement de Sortie. Tant que la condition logique n'est pas validée, une boucle sur l'état (default) provoque de manière itérative la séquence suivante : nouvelle exécution du code d'entrée, attente d'une Nouvelle occurrence de l'événement. Pour les états forcés, le code d'entrée est exécuté lors de l'activation de l'état, suivi du code de sortie sans nécessiter l'occurrence d'un événement. De Même que pour les états non forcés, cette séquence est répétée jusqu'à validation de la Condition de sortie.

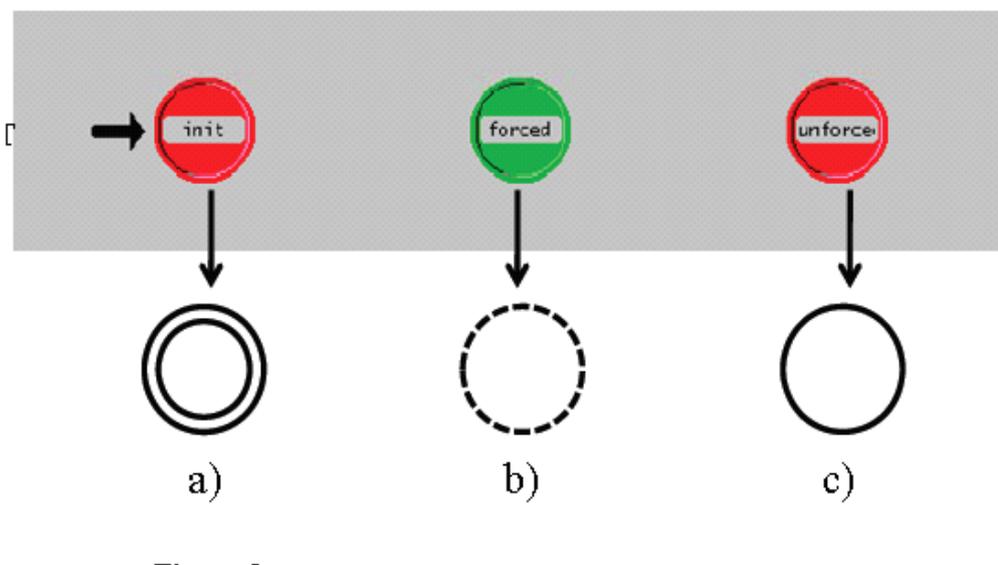


Figure 5 : Les trois types d'états

Afin de modéliser le comportement d'un nouvel équipement, nous utilisons le « *process model editor* » qui nous offre la possibilité de définir des états qui décrivent une situation

Spéciale du comportement de l'équipement. Ces états là sont reliés par des transitions. Le « *process model editor* » nous permet aussi de définir : des variables temporelles que nous pouvons utiliser juste durant l'exécution d'un processeur, des variables d'états qui peuvent être partagées au sein d'un même nœud et finalement les headers variables utilisées comme des variables globales pour tous les équipements au niveau réseau dans la simulation.

VI. Le modèle de mobilité RWP

RWP Random WayPoint , un modèle qui est largement utilisé pour simuler des réseaux de type ad hoc , ainsi sa spécification est intégré dans les environnements de simulation d'OPNET. Dans RWP les nœuds sont uniformément répartis dans un espace de mobilité, un nœud alterne les périodes de mouvement et d'immobilité, chaque nœuds choisit et déplace vers une destination D1 sur la surface de simulation avec une vitesse V1 distribué uniformément dans l'intervalle $[V_{min}, V_{max}]$ (V_{max} la vitesse maximale qui est indépendante de l'un de l'autre), dès que le nœud arrive à la destination D1 peut faire une pause pendant un temps T_{pause} , puis choisi au hasard une autre position D2 avec une vitesse V2, à l'arrivé il effectue à nouveau une pause, et ainsi de suite. Deux paramètres clés dans le modèle RWP, V_{max} et T_{pause} qui identifient le comportement de la mobilité d'un nœud et la stabilité de la topologie du réseau.

Si V_{max} est plus petite et T_{pause} est plus long la topologie est relativement stable, en revanche si la vitesse V_{max} est plus grande et le T_{pause} est plus court la topologie hautement dynamique. Selon ces deux paramètres RWP peut génère plusieurs scénario de mobilité. L'inconvénient de ce modèle il ne traite pas le cas où il y a une dépendance entre un groupe de nœuds (dépendance temporelle ou spatiale), qui a un impact sur les résultats de la simulation.

VII. Conclusion

OPNET est un logiciel puissant, qui permet de nombreuses modélisations de réseaux grâce à ses nombreuses bibliothèques. De ce fait le logiciel nécessite une bonne connaissance et appréhension du domaine des réseaux pour maîtriser les tenants et aboutissants du logiciel.

Par ailleurs, il nous semble qu'OPNET par sa complexité et ses nombreuses possibilités de paramétrages nécessite une véritable formation pour être totalement maîtrisé. Cependant, ce logiciel propose un mode scénario et des fonctionnalités (modélisation, simulation, ...) qu'il serait intéressant d'utiliser dans le cadre de travaux pratiques.

Bibliographie

- [1] : Houda Labiod, livre, « *Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteur sans fil* », Lavoisier, 2006.
- [2] : Fatiha Djemili Tolba, thèse doctorat, « *Conservation d'énergie et gestion de la mobilité dans les réseaux ad hoc* »,2007.
- [3] : kamel BEYDOUN, thèse doctorat, « *conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteur* »,2009.
- [4] : Saloua CHETTIBI, mémoire de magistère « *Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc* »,2008.
- [5] : Nasima AITAMEUR et Mlle Souhila ABDEDOU, Mémoire d'ingénieur, «*Détection et Exclusion des Nœuds Egoïstes dans les Réseaux Mobiles ad hoc* », réalisé par : Mlle ; dirigé par : Mme R.AOUDJIT , Année 2008 -2009.
- [6] : Khaldoun al agha, guy pujolle, guillaume vivier, livre, « *Réseaux de mobile & réseaux sans fil* », Lavoisier, 2006.
- [7] : Youcef YAHIA TENE, mémoire magistère, « *distribution de clés dans un réseau dynamique* »,2011
- [8] : Sofiane HAMRIOUI et Mustapha LALAM, publication « *Interactions entre le Protocole MAC et le protocole de Routage pour l'Optimisation de la performance dans un MANET* », 5^{ème} conférence internationale : **Sciences of Electronic, Technologies of Information and Télécommunications**, TUNISIA, 22-26 mars 2009.
- [9] : kahina TAMAZOUZTH et sakina BOUATTOURA, mémoire d'ingénieur « *Adaptation De Quelques Solutions D'optimisation De La Performance Des MANET Aux Réseaux De Robot Sans Fil Mobile* »,2010.
- [10] : Abderrezak RACHED, thèse doctorat, « *Contributions A La Sécurité Dans Les Réseaux Mobiles Ad Hoc* »,2012.
- [11] : MAHSEUR Mohamed, mémoire de magistère « *Routage Dans Les Réseaux Maillés Sans Fil* »,2011.
- [12]: BOUKHECHEM Nadhir , thèse magister , « *Routage Dans Les Reseauxmobiles Ad Hoc Par Une Approche A Base D'agents* »,2008.
- [13] : Sedrati Maamar, Aouragh Lamia, Guettala Leila, Bilami Azeddine , « *Etude des Performances des Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad-Hoc* », 2007.
- [14] :Abdelmajid Hajami ,thèse doctorat, « *sécurité de routage dans les réseaux sans fil spontanées : cas du protocole OLSR* »,2011.

Bibliographie & Webographie

- [15]: Hakim Badis, Thèse doctorat, « *ÉTUDE ET CONCEPTION D'ALGORITHMES POUR LES RÉSEAUX MOBILES ET AD HOC* ».
- [16]: Hamza Talbi , mémoire magister , « *architecture et politique de robustesse par multihoming dans les réseaux ad hoc et les réseaux satellitaire* ».
- [18] Abdoulaye BERTHE, thèse doctorat « *Modélisation et Simulation de Réseaux Locaux et Personnels sans fil : Intégration des Couches PHY et MAC* », janvier 2012.
- [24] Kamal OUDIDI, thèse doctorat « *Routage et Qualité de Service dans les réseaux sans fil spontanés* », juillet 2010.
- [25] SAYAH Jinane, thèse doctorat « *Contribution à la modélisation, à la simulation et à l'évaluation d'applications nomades à intelligence répartie – Application à l'assistance aux voyageurs aveugles dans les transports publics et les pôles d'échanges* », décembre 2009.
- [26] Abdallah Makhoul, thèse doctorat « *Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données* », novembre 2008.
- [28] Monique Bercker André-Luc Beylot, « *simulation des réseaux* », LAVOISIER, 2006.
- [29] Gilbert HABIB, thèse doctorat « *Qualité de service et qualité de contrôle d'un Système Discret Contrôlé en Réseau Sans Fil : proposition d'une approche de co-conception appliquée au standard IEEE 802.11* », Decembre 2010
- [30] : Guillaume AURIOL, thèse doctorat, « *spécification et implémentation d'une architecture de signalisation à gestion automatique de la qualité de service dans un environnement IP multi domaine* », 2004.
- [31] : Frédéric NIVOR, thèse doctorat, « *architecture de communication pour les applications multimédia interactive dans les réseaux sans fil* »,2009
- [32] : Mehdi Nafa , thèse doctorat « *Optimisation des applications de streaming peer to peer pour des réseaux ad hoc mobiles* » , 2009
- [33] : Na TAO ,thèse doctorat, « *Etude des Performances et Optimisation d'un Réseau d'Accès par Satellite pour les Communications* »,2009
- [34] : Fediric nivor,thèse doctorat, « *architecture de communication pour les applications multimédia interface dans les réseaux sans fil* »,2009.

Webographie

[19] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[20] <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>

[21] <https://sites.google.com/site/jsimofficial/>

[22] <http://www.omnetpp.org/>

[23] www.opnet.com.

[27] <http://www.scalable-networks.com/products/qualnet.php>