

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique

Université Abderrahmane Mira Béjaïa

Faculté des sciences exactes

Département d'Informatique



Mémoire de fin de cycle

Pour l'obtention d'un diplôme Master en Informatique

Option : Administration et Sécurité des Réseaux

Sous le thème

Etude Comparative entre AODV et AOMDV dans le Cadre
des Réseaux Ad Hoc

Réalisé par :

M^{elle} Allouache Souad
M^{elle} Tayeb Cherif Rahma

Devant le jury composé de :

Président : M^r BAADACHE Abderrahmane
Examineurs : M^m TIAB Amel
Examineurs : M^m BOULAHROUZ D

Encadré par :

M^r MEHAOUED Kamel

Promotion 2016-2017

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	i
List des tables	iv
List des figures	v
Abbreviations	vi
Introduction générale	1
1 Les Réseaux Ad Hoc	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition	3
1.3 Types des réseaux ad hoc :	4
1.3.1 Les réseaux mobiles ad-hoc (MANETs)	4
1.3.2 Les réseaux de capteurs (WSNs)	5
1.3.3 Les réseaux maillés (WMNs)	6
1.4 Différences entre WSNs, WMNs et MANETs	7
1.5 Applications des réseaux ad hoc	8
1.6 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc	8
1.7 Mode communication dans les réseaux Ad hoc	9
1.8 Pile Protocolaire du Réseau Ad Hoc	9
1.9 Avantages des réseaux ad hoc	12
1.10 Inconvénients des réseaux ad hoc	13
1.11 Conclusion	13
2 Routage Dans Les Réseaux Ad Hoc	14

2.1	Introduction	14
2.2	Définition du routage	14
2.3	Difficulté du routage dans les réseaux ad hoc	15
2.4	Contrainte des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc	15
2.5	Classification des protocoles de routage	16
2.5.1	Routage hiérarchique vs plat	16
2.5.1.1	Protocole de routage à plat	16
2.5.1.2	Protocole de routage hiérarchique	17
2.5.2	Routage à la source et le Routage saut par saut	17
2.5.2.1	Routage à la source	17
2.5.2.2	Routage saut par saut	18
2.5.3	Routage à Etat de liens et Routage à vecteur de distance	18
2.5.3.1	Routage à Etat de liens	18
2.5.3.2	Routage à vecteur de distance	19
2.5.4	L'inondation	19
2.5.5	Le concept de groupe	20
2.5.6	protocoles uniformes et non uniformes	21
2.6	Classification des protocoles par les MANET	21
2.6.1	Protocole de routage Proactif	21
2.6.1.1	Avantage et les inconvénients des protocoles proactifs	22
2.6.2	Protocoles de routage Réactifs	23
2.6.2.1	Avantage et les inconvénients des protocoles Réactifs	24
2.6.3	Protocoles de routage Hybride	24
2.6.3.1	Avantage et les inconvénients des protocoles Hybrides	24
2.7	Routage géographique	25
2.8	Conclusion	25
3	Description Des protocoles AODV,AOMDV	27
3.1	Introduction	27
3.2	Protocole Ad hoc On-Demand Distance Vector	27
3.2.1	Définition	27
3.2.2	Principe de Fonctionnement	28
3.2.3	Principe de numéro de séquence	29
3.2.4	Type de messages échangés	29
3.2.5	Information de base	32
3.2.5.1	Table de routage	32
3.2.5.2	Table de routage historique :	32
3.2.6	Avantages et inconvénients	32
3.3	Protocole Ad hoc On-Demand Distance Vector Multipath	33
3.3.1	Définition	33
3.3.2	Principe de fonctionnement	33

LISTE DES TABLEAUX

3.1	Format de RREQ	30
3.2	Format de RREP :	30
3.3	Format de RERR	31
3.4	Format de RERR-ACK	31
3.5	Table Historique	32
4.1	Modèle de simulation utilisés	40

TABLE DES FIGURES

1.1	Exemple d'un réseau ad hoc	4
1.2	Paradigme de routage dans un réseau de capteurs.	6
1.3	Architecture générale d'un réseau maillé.	7
1.4	Mode de communication dans réseau Ad Hoc	10
1.5	Modèle de Référence TCP/IP.	10
2.1	Routage à plat.	17
2.2	Routage Hérarchique.	18
2.3	Mécanisme d'inondation	20
2.4	La décomposition d'un réseau en groupe	20
2.5	Principe de fonctionnement des protocoles proactifs	22
2.6	Fonctionnement des protocoles réactifs	23
2.7	Routage géographique avec l'heuristique de la meilleure progression vers la destination	25
3.1	Inondation de RREQ et le renvoi du RREP	28
3.2	Exemple de réparation locale d'une route perdu	29
4.1	Architecture générale du NS2.	37
4.2	Exemple de simulation visualisée avec le NAM	38
4.3	Cas1 : Débit en fonction de nombre de nœuds(46 nœuds)	41
4.4	Cas2 : Débit en fonction de nombre de nœuds (7 nœuds)	41
4.5	Cas1 : Débit en fonction de la distance (grande distance)	42
4.6	Cas2 : Débit en fonction de la distance (petite distance)	42

ABBREVIATIONS

AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
AOMDV	Ad hoc On-Demand Distance Vector Multipath
CBR	Continuous Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection
DBF	Distribuée de Bellman Ford
DCF	Distributed Coordination Function
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamics Source Routing
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
FDMA	FrequencyDivision Multiple Access
FSR	Fish eye State Routing
FTP	File Transfers Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineer
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
LLC	Link Layer Control
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad hoc NETWORK

NAM	N etwork A nimator
NS2	N etwork S imulator 2
OLSR	O ptimized L ink S tate R outing
OTCL	O bject T ools C ommand L anguage
RFC	R equ ^e st F or C omments
RERR	R oute E rror
RREP	R oute R epl ^y
RREQ	R oute R equ ^e st
RTP	R eal-time T ransport P rotocol
SRM	S calable R eliable M ulticast
TBRPF	T opology B roadcast based on R everse P rotocol
TCL	T ools C ommand L anguage
TCP	T ransmission control P rotocol
TDMA	T ime D ivision M ultiple A ccess
TORA	T emporally O redred R outing A lgorithme
UDP	U ser D atagram P rotocol
VANET	V ehicular A d hoc N ETworks
VBR	V ariable B it R ate
VINT	V irtual I nter N etwork T est
WMN	W ireless M esh N etwork
WSN	W ireless S ensor N etwork

Remerciements

D'abord nous remercions le bon dieu de nous avoir donné santé, courage, volonté et foi pour réaliser ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur **Mr MEHAOUED Kamel**.*

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué au bon déroulement de ce modeste travail en particulier nos chers parents, nos familles et tous nos amis(es).

Dédicaces

On dédie ce modeste travail :

A nos très chers parents.

A nos frères et sœurs.

Tous nos amis.

*Et on remercie tous ceux et celles qui ont contribué à
réaliser ce travail.*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Un réseau sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. C'est un système de transmission de données, conçu pour assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui composent le réseau. Les réseaux sans fil sont principalement employés lorsqu'il s'agit d'interconnecter des utilisateurs nomades entre eux (par exemple des portables).

Ce système ne pose aucune restriction sur la localisation des usagers. Il utilise des ondes radio plutôt qu'une infrastructure câblée pour communiquer. Ce nouveau mode de communication engendrent de nouvelles caractéristiques, propres à l'environnement mobile : de fréquentes déconnexions, un débit de communication et des ressources modestes, et des sources d'énergie limitées.

Dans le but de bien comprendre les stratégies et les approches utilisées dans la conception des protocoles permettant aux réseaux ad hoc de se relier à Internet, nous allons, tout d'abord, présenter le routage dans les réseaux ad hoc eux-mêmes. Après avoir décrit les réseaux ad hoc et leurs principales caractéristiques, nous présenterons les principes des protocoles de routages ad hoc les plus connus.

Un protocole de routage sert à déterminer la route optimal .pour le transfert de données entre deux nœuds. Pour bien comprendre son comportement lors d'un routage, on propose une étude sur les protocoles de routage, en se focalisant sur

les deux protocoles réactifs AODV et AOMDV suivie par des simulations afin de soulever des résultats et des analyses comparatives.

La simulation permet de tester les protocoles sous une variété de conditions. Le simulateur permet de faire varier les différents facteurs de l'environnement tel que le nombre d'unités mobiles, l'ensemble des unités en mouvements, les territoires du réseau et la distribution des unités dans ce territoire. Initialement, chaque unité est placée aléatoirement dans l'espace de simulation.

Notre mémoire qui est subdivisé en quatre principaux chapitres :

- Le premier chapitre introduit un état de l'art sur les réseaux ad hoc, les différents types et caractéristiques des réseaux ad hoc
- Dans le second chapitre, nous avons présenté le routage dans les réseaux ad hoc
- Le troisième chapitre est consacré à la description des protocoles AODV et AOMDV
- En dernier chapitre, nous avons présenté l'outil de simulation de réseaux NS2. Nous avons discuté les résultats des simulations des deux protocoles.

CHAPITRE 1

LES RÉSEAUX AD HOC

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter les différents types des réseaux ad-hoc, en l'occurrence : 1) les réseaux mobiles ad-hoc (MANETs), 2) les réseaux de capteurs (WSNs) et 3) les réseaux maillés (WMNs). Par la suite, nous nous focaliserons sur l'étude des caractéristiques des réseaux ad hoc ainsi que sur les domaines d'application de ces derniers. La dernière partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des modes de communication ainsi que la pile protocolaire des réseaux ad hoc et nous terminons par les avantages et les inconvénients liées à ces réseaux.

1.2 Définition

Un réseau ad hoc [3, 5] est une collection d'hôtes équipés par des interfaces sans fil 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" la figure 1.1 représente un exemple d'un réseau ad hoc

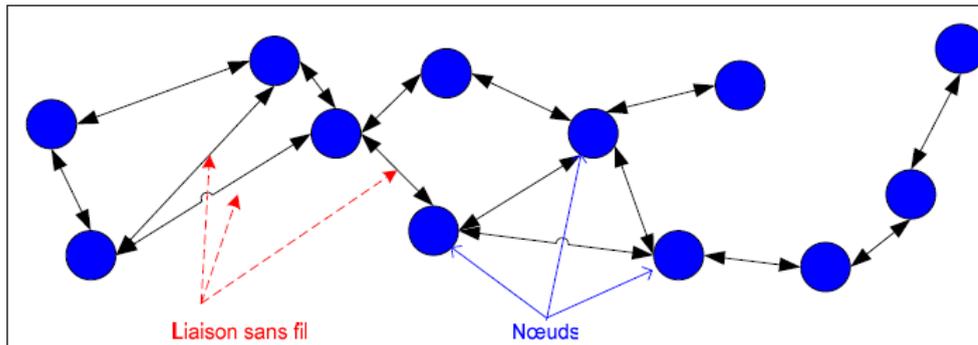


FIGURE 1.1: Exemple d'un réseau ad hoc

1.3 Types des 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).

Nous présenterons également leurs différentes applications. 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.

Nous terminerons cette section par explication de la différence entre les WSNs et les WMNs et MANETs.

1.3.1 Les réseaux mobiles ad hoc (MANETs)

Un MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) [11] est un réseau ad hoc dont les nœuds sont souvent caractérisés par une mobilité constante. Les MANETs peuvent être déployés pour assurer la communication dans des environnements hostiles. Par exemple, dans une situation de guerre et grâce à un MANET les groupes de soldats peuvent communiquer avec d'autres groupes, avec des tanks, des hélicoptères ou

des avions pour échanger leurs localisations ou pour émettre/recevoir des ordres militaires.

En outre, les MANETs peuvent être utilisés comme infrastructure de communication alternative dans des situations où les infrastructures de communication conventionnelles sont détruites à cause d'une catastrophe naturelle, ou encore à cause des attaques ennemies, pour mieux coordonner les opérations de secours. Les MANETs sont aussi convenables quand il y a besoin en une communication transitoire comme dans le cas des conférences[8].

Une autre application des MANETs est bien les VANETs (Vehicular Ad-hocNETWORKs). Un VANET assure la communication entre les véhicules (Inter-Vehicle Communication) aussi bien qu'entre les véhicules et les équipements de la route par l'intermédiaire de la communication d'équipement-à-Véhicule.

L'objectif de l'introduction des VANETs est de rendre les routes plus sûres et plus efficaces, en fournissant les informations pertinentes aux conducteurs[7].

1.3.2 Les réseaux de capteurs (WSNs)

Les WSNs (Wireless Sensor Networks)[10] sont des réseaux ad hoc constitués de nœuds capteurs intelligents fonctionnant grâce à des batteries, et ils sont dotés de capacités de traitement et de stockage réduites.

En effet, les nœuds capteurs sont capables d'accomplir trois tâches complémentaires :

1. le relevé d'une grandeur physique ou environnementale (par exemple : température, pression, pollution, etc.).
2. le traitement éventuel de cette information.
3. le routage.

On distingue une variété d'applications pour les réseaux de capteurs, on cite entre autres[1] :

- **Applications militaires** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés à la surveillance des activités des forces ennemies, à l'analyse du terrain et à la détection d'agents chimiques ou de radiations avant d'y envoyer des troupes.
- **Applications à la sécurité** : un réseau de capteurs peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur.

- **Applications environnementales** : des thermo-capteurs dispersés sur une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie ; ce qui permettra une meilleure efficacité pour la lutte contre les feux de forêt. Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les sites pétroliers, des capteurs peuvent être déployés pour détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.) et alerter les utilisateurs dans un délai suffisamment court pour permettre une intervention efficace. La figure 1.2 représente un exemple typique d'un réseau de capteurs

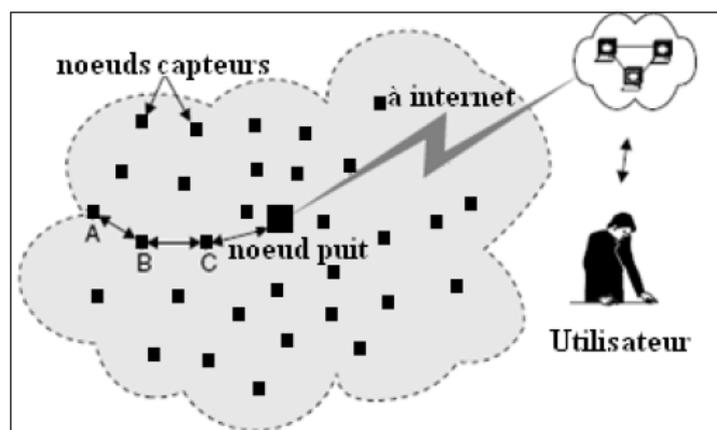


FIGURE 1.2: Paradigme de routage dans un réseau de capteurs.

1.3.3 Les réseaux maillés (WMNs)

Les réseaux ad hoc peuvent être utilisés comme moyen flexible et économique pour étendre l'accès à Internet. En effet, une nouvelle classe de réseaux ad hoc découle de cette vision : les WMNs (Wireless Mesh Networks).

Un WMN est constitué d'un ensemble de mesh-routeurs statiques généralement équipés par plusieurs interfaces de communication sans fil et placés sur les toits des bâtiments[2]. Les mesh-routeurs connectés à internet sont appelés "passerelles Internet". la figure 1.3 un exemple d'un réseau maillé

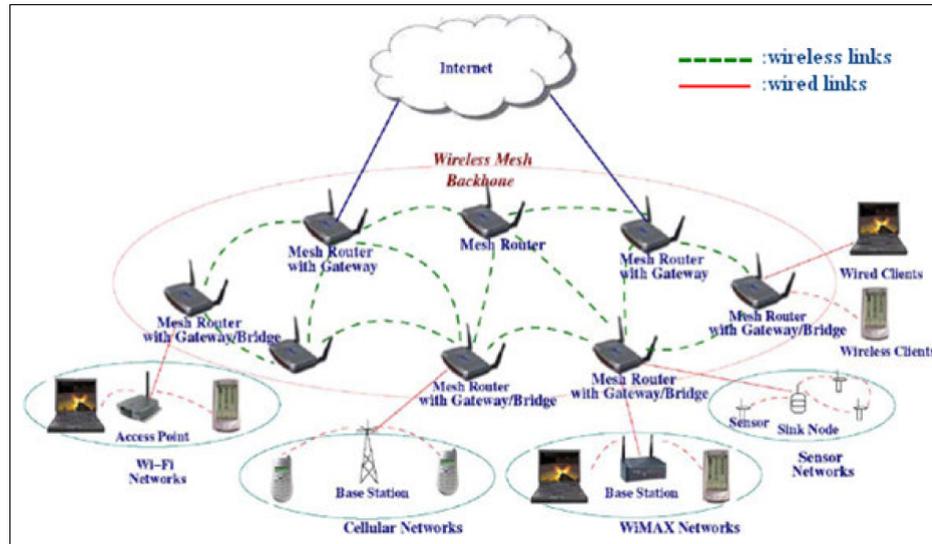


FIGURE 1.3: Architecture générale d'un réseau maillé.

1.4 Différences entre WSNs, WMNs et MANETs

Bien que les MANETs et les WSNs présentent plusieurs caractéristiques communes, mais ils se différencient en plusieurs aspects[10] :

- La caractéristique principale des nœuds constituant un MANET est la mobilité, tandis que les nœuds capteurs dans un WSN sont statiques ou dynamique.
- 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.
- Les MANETs sont caractérisés par une plus faible densité par rapport aux WSNs.
- 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

1.5 Applications des réseaux ad hoc

La technologie Ad Hoc intéresse également la recherche, des applications civiles sont apparues. On distingue :

- **Les services d'urgence** : opération de recherche et de secours des personnes, tremblements de terre, feux, inondation, dans le but de remplacer l'infrastructure filaire.
- **Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments** : dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence par exemple.
- **Home network** : partage d'applications et communications des équipements mobiles.
- **Applications commerciales** : pour un paiement électronique distant (taxi) ou pour l'accès mobile à l'Internet, où service de guide en fonction de la position de l'utilisateur.
- **Réseaux de senseurs** : pour des applications environnementales (climat, activité de la terre, suivi des mouvements des animaux, . . . etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance).
- **Réseaux en mouvement** : informatique embarquée et véhicules communicants.
- **Réseaux Mesh** : c'est une technologie émergente qui permet d'étendre la portée d'un réseau ou de le densifier.

1.6 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux mobiles ad hoc sont caractérisés par ce qui suit :

- **Une topologie dynamique** : Les unités mobiles du réseau, se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent la topologie du réseau peut changer à des instants défférents .
- **Une bande passante limitée** : Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un

médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un hôte soit modeste.

- **Des contraintes d'énergie** : Les hôtes mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système.
- **Une sécurité physique limitée** : Les réseaux mobiles ad hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité, que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.
- **L'absence d'infrastructure** : Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue.
- **La notion de « multisaut »** : un réseau ad hoc est qualifiés par « multihop » car plusieurs nœuds mobiles peuvent participer au routage et servent comme routeurs intermédiaires.

1.7 Mode communication dans les réseaux Ad hoc

La communication dans les réseaux mobiles Ad Hoc utilise plusieurs modes dont : la communication « point à point » ou « Unicast », la communication « multipoint » ou « Multicast », et la diffusion « Broadcast ». Ces trois modes de communication peuvent être schématisés par la figure 1.4 :

1.8 Pile Protocolaire du Réseau Ad Hoc

Les programmes d'application utilisant un réseau n'interagissent pas directement avec le hardware du réseau, mais plutôt avec le software du réseau. Pour réduire la complexité de la conception de ce software, il est organisé en plusieurs couches dont chacune offre un ensemble de services à la couche supérieure. Dans

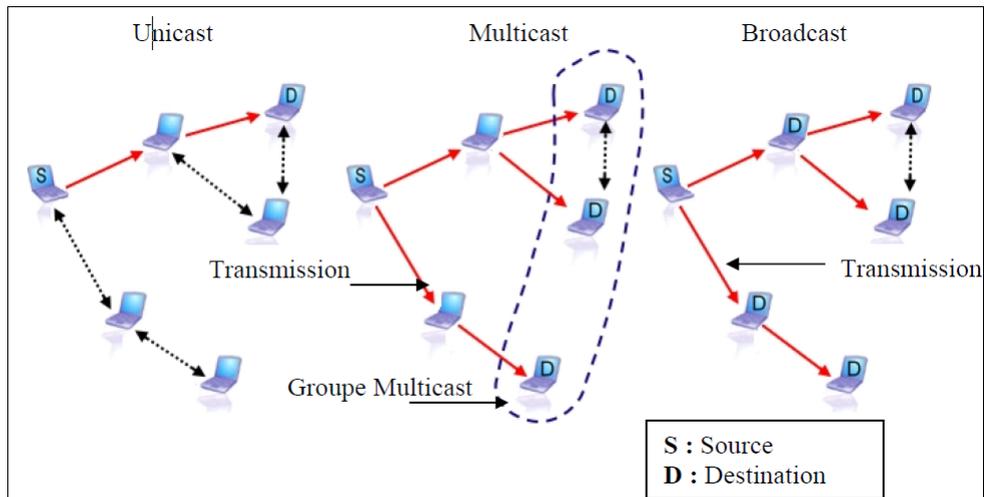


FIGURE 1.4: Mode de communication dans réseau Ad Hoc .

ce qui suit, nous expliquerons brièvement le rôle de chacune des couches en faisant référence au modèle TCP/IP la figure 1.5 illustre la pile protocolaire de modèle TCP/IP

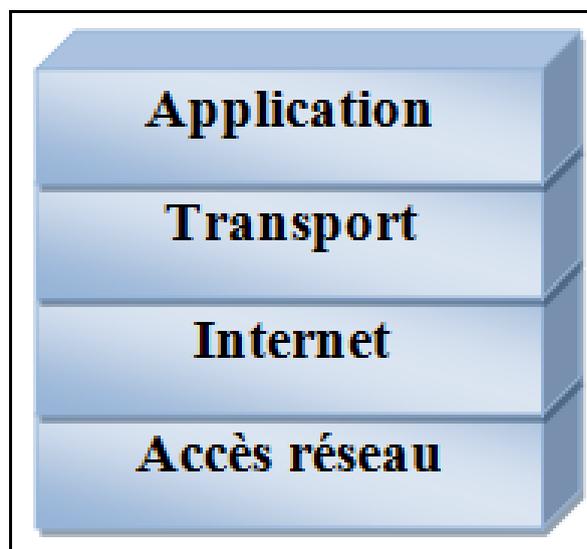


FIGURE 1.5: Modèle de Référence TCP/IP.

1. La couche Accès Réseau

C'est la couche la plus basse de la pile TCP/IP. Elle contient aussi toutes les spécificités concernant la transmission des données sur un réseau physique, qu'il s'agisse d'un réseau local (anneau à jeton, Ethernet, FDDI

...), de connexion à une ligne téléphonique ou n'importe quel type de liaison à un réseau, elle prend en charge les tâches suivantes :

- L'acheminement des données sur la liaison.
- Coordination de la transmission des données (synchronisation).
- Format des données.
- Conversion des signaux analogiques/numériques.
- Contrôles des erreurs à l'arrivée.

En réalité cette couche est composée par deux sous couches MAC, LLC[8] :

(a) **La couche MAC (Medium Access Control) :**

dans les communications sans fil, le canal est une ressource partagée. L'objectif de la couche MAC est d'éviter et de minimiser les accès simultanés qui provoquent des collisions. Les protocoles MAC peuvent être classifiés selon l'assignement d'accès au canal en deux catégories :

- i les protocoles MAC avec assignement fixe (par exemple : TDMA, FDMA, CDMA, etc.) ;
- ii les protocoles MAC avec accès aléatoire (par exemple : ALOHA, IEEE 802.11, BTMA, etc.).

La plupart des protocoles MAC utilisés dans les MANETs, sont ceux basés sur le principe d'accès aléatoire. Particulièrement, le protocole MAC IEEE 802.11 DCF est le plus utilisé dans l'étude des MANETs.

(b) **La sous couche LLC (Link Layer Control) :**

Le médium de communication sans fil est peu fiable et d'une bande passante limitée. La couche LLC est responsable d'assurer la sécurité et la sûreté des communications par le control des erreurs de transmission, le cryptage/décryptage des données et par les retransmissions des paquets.

2. La Couche Internet

Dans les MANETs, les nœuds qui désirent communiquer sont souvent en dehors de la zone de transmission les uns des autres.

En outre, les MANETs sont caractérisés par des changements fréquents et imprédictibles de topologie.

Le rôle de la couche internet est d'établir et d'entretenir les chemins entre n'importe quelles paires de nœuds dans le réseau[8].

3. La Couche Transport

La couche transport joue un rôle important pour la fiabilité des communications temps réel, en utilisant principalement UDP et TCP. Des applications temps réel comme le streaming audio/vidéo peuvent utiliser le protocole UDP qui offre plus de flexibilité, alors que d'autres applications peuvent choisir TCP pour assurer la délivrance bout-en-bout des paquets.

Dans l'Internet, TCP suppose que la majorité des pertes de paquets sont dues à la congestion du réseau. Quand une source TCP détecte une perte de paquets, elle active son mécanisme de contrôle de congestion en réduisant le flux de données.

L'application d'un tel mécanisme dans les MANETs provoque une diminution non nécessaire des performances du réseau, car les pertes des paquets dans un MANET peuvent être dues juste aux changements de topologie[6].

Les travaux[4][9]proposent des optimisations du protocole TCP pour l'adapter au contexte des réseaux ad-hoc.

4. La Couche Application

Les services fournis dans cette couche, sont variables et propres aux applications.

1.9 Avantages des réseaux ad hoc

Les avantages de cette technologie sont nombreux du fait qu'il n'a pas besoin d'infrastructure préexistante :

- Les réseaux ad hoc peuvent être déployés dans un environnement quelconque
- le coût d'exploitation du réseau est faible : aucune infrastructure n'est à mettre en place initialement et surtout aucun entretien à prévoir
- le déploiement d'un réseau ad hoc est simple : ne nécessite aucun pré requis puisqu'il suffit de disposer d'un certain nombre de terminaux dans un espace pour créer un réseau ad hoc, et rapide puisqu'il est immédiatement fonctionnel dès lors que les terminaux sont présents
- la souplesse d'utilisation : est un paramètre très important puisque les seuls éléments pouvant tomber en panne sont les terminaux eux-mêmes, Autrement dit il n'y a pas de panne "pénalisante" de manière globale

(une station qui sert au routage peut être remplacée par une autre si elle tombe en panne).

1.10 Inconvénients des réseaux ad hoc

Même si les perspectives pour le réseau ad hoc sont prometteuses, plusieurs contraintes restent encore à traiter :

- la connectivité limite les possibilités de communication, ainsi deux stations ne sont joignables s'il existe un ensemble de stations pouvant router afin de faire suivre les paquets de données échangés entre les deux stations.
- les liens entre les stations ne sont pas isolés les uns des autres et polluent le voisinage, par diffusion, lors de chaque émission/réception des données, par conséquent tout paquet de diffusion émis vers une autre station en cours de communication (que le paquet lui soit destiné ou pas) va altérer la communication de cette station. La diffusion est un facteur qui alourdit aussi d'autres paramètres tels que la bande passante et la consommation de batteries.
- la sécurité dans le réseau ad hoc est difficile à contrôler, notamment parce que dans l'interface air l'écoute clandestine est très simple à réaliser
- enfin, la faible autonomie des batteries constitue un frein à une utilisation longue du terminal et à la mise en place de nouveaux services. C'est une contrainte qui existe certes dans les réseaux de type GSM ou UMTS, mais qui est plus forte dans les réseaux ad hoc, puisque les ressources énergétiques sont mises en commun même pour les besoins du routage,

1.11 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les réseaux ad hoc. Ils se distinguent des autres réseaux par leur grande flexibilité d'emploi et leur grande robustesse mais aussi par des contraintes supplémentaires tel que la limitation d'énergie et l'absence d'élément central pour gérer le réseau.

Dans le chapitre suivant, nous allons discuter en détail les principales approches de routage proposées dans la littérature pour les réseaux ad hoc.

CHAPITRE 2

ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX AD HOC

2.1 Introduction

Pour mieux comprendre les stratégies et les approches utilisées dans la conception des protocoles permettant aux réseaux ad hoc de se relier à Internet, nous allons, tout d'abord, parler du routage à l'intérieur des réseaux ad hoc. Dans ce qui suit, nous allons présenter les fonctions du routage avec les contraintes qu'il faut respecter par un protocole, et nous terminerons par les différentes classifications des protocoles de routage .

2.2 Définition du routage

Afin de permettre les communications multi-sauts entre des nœuds hors portée de transmission .L'une des activités principales des réseaux ad hoc est le routage.

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné[27] .Le problème de routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance .Le problème consiste l'investissement de moindre coût en capacité nominales et de réserves qui assure le routage du trafic nominal

et garantit sa survabilité en cas de n'importe quelle panne d'arc ou de nœud. Le routage fonctionne selon deux phases distinctes [14] :

- **Phase de signalisation** : Assuré par des échanges de messages de contrôle afin de permettre la construction et le maintien de chemins.
- **Phase d'acheminement des paquets de bout en bout** : Dans cette phase les paquets sont relayés par chaque nœud intermédiaire appartenant au chemin établi vers la destination. En l'absence d'équipement dédié, toutes ces opérations sont supportées par l'ensemble des nœuds qui forme le réseau ad hoc.

2.3 Difficulté du routage dans les réseaux ad hoc

De fait qu'un réseau ad hoc est un ensemble de nœuds qui sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière ou l'interconnexion entre les nœuds peut changer à tout moment. Il se peut qu'un hôte destination soit hors de la portée de communication d'un hôte source, ce qui nécessite l'emploi d'un routage interne par les nœuds intermédiaires afin de faire acheminer les paquets de message à la bonne destination.

En effet, la topologie évoluant constamment en fonction des mouvements des mobiles, le problème qui se pose dans le contexte des réseaux ad hoc est l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisée avec le grand nombre d'unités existant dans un environnement caractérisé par de modestes capacités de calcul et de sauvegarde.

D'ailleurs dans la pratique il est impossible qu'un hôte puisse garder les informations de routage concernant tous les autres nœuds, dans le cas où le réseau est volumineux [12].

2.4 Contrainte des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc

Afin de supporter la topologie dynamique et la mobilité des réseaux ad hoc, des contraintes doivent être prises en compte lors de déploiement d'un protocole de routage, parmi ces contraintes il y a [13] :

- **Distribution** : les protocoles doivent être entièrement distribués, fournissant la tolérance aux fautes.
- **Gestion minimale de réseau** : les paquets de contrôle dans un protocole de routage devraient être minimum que possible, car ils consomment la largeur de bande passante et peuvent causer des collisions avec des paquets de données, diminution de débits et aussi le protocole doit éviter les boucles.
- **Conservation de ressources** : les protocoles devraient optimiser l'utilisation des ressources rares telles que la largeur de la bande passante, la puissance de calcul, la mémoire, et le temps de traitement des terminaux.
- **Sécurité** : les protocoles doivent réagir aux menaces et aux vulnérabilités. Par des mécanismes qui empêchent toutes les attaques possibles contre un réseau Ad Hoc évitant le déni de service et la consommation agressive de ressources.
- **Le temps de latence** : L'augmentation de la connectivité du réseau influence sur l'augmentation de la qualité des temps de latence.

2.5 Classification des protocoles de routage

Vu la difficulté de routage dans les réseaux Ad Hoc, les stratégies existantes utilisent une variété de techniques afin de résoudre ce problème. Suivant ces techniques, plusieurs classifications sont apparues parmi lesquelles nous allons citer [17] :

2.5.1 Routage hiérarchique vs plat

Le premier critère utilisé pour classifier le routage dans les réseaux Ad Hoc concerne le type de vision qu'ils ont du réseau et les rôles qu'ils accordent aux différents mobiles.

2.5.1.1 Protocole de routage à plat

Les nœuds d'un réseau Ad Hoc utilisant une technique de routage à plat sont dans le même niveau hiérarchique et possèdent, ainsi, les mêmes rôles et fonctions.

Par conséquent, aucune hiérarchie n'est définie entre les nœuds du réseau. La figure suivante montre un exemple de réseau Ad Hoc utilisant un routage à plat, Comme présenté sur cette figure, tous les nœuds de réseau ont la même tâche : relayer l'information reçue vers le nœud suivant :

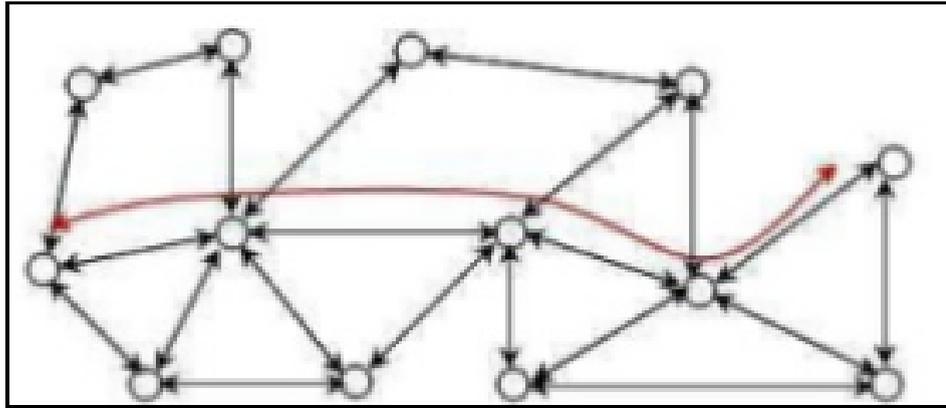


FIGURE 2.1: Routage à plat.

2.5.1.2 Protocole de routage hiérarchique

Contrairement aux précédents, ces protocoles attribuent des rôles différents aux nœuds du réseau. Par ailleurs, une structure hiérarchique entre les nœuds est définie selon leurs fonctions. Les nœuds d'un même niveau auront à accomplir les mêmes tâches et sont attachés aux nœuds du niveau supérieur, C'est grâce au mécanisme d'élection que cette hiérarchie est construite. Un ensemble de nœuds est élu, donc, pour accomplir des tâches bien particulières.

Ces protocoles peuvent servir, par exemple, dans les configurations où certains nœuds s'avèrent très sédentaires et disposent de suffisamment d'énergie. Ceci peut être intéressant dans la mesure où ces nœuds seront utilisés comme passerelles et le reste des nœuds seront attachés à la passerelle la plus proche.

2.5.2 Routage à la source et le Routage saut par saut

2.5.2.1 Routage à la source

« **Source routing** » consiste à indiquer dans le paquet routé l'intégralité du chemin que devra suivre le paquet pour atteindre sa destination. L'entête de

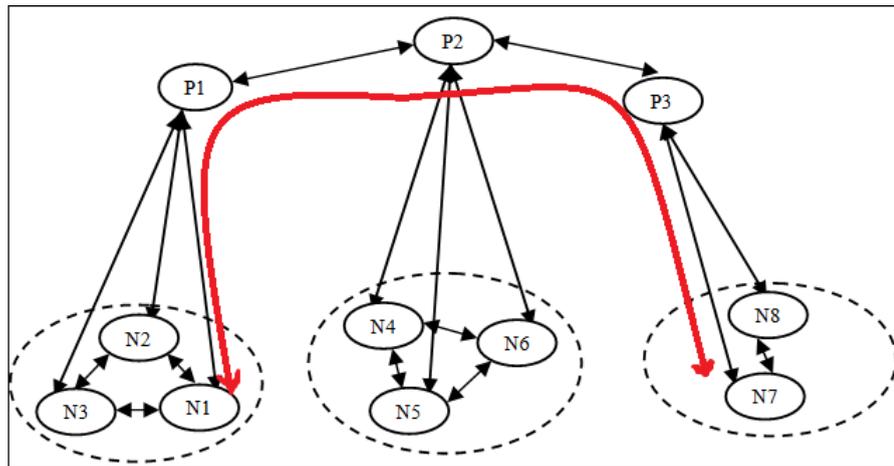


FIGURE 2.2: Routage Hérarchique.

paquet va donc contenir la liste des différents nœuds relayeur vers la destination. Le protocole le plus connu se basant sur cette classe est : DSR .

2.5.2.2 Routage saut par saut

« **hop by hop** » consiste à donner uniquement à un paquet l'adresse du prochain nœud vers la destination. AODV fait partie des protocoles qui utilisent cette technique.

2.5.3 Routage à Etat de liens et Routage à vecteur de distance

Cette classification est basée sur la propagation des informations d'un nœud à travers tout le réseau. Nous allons présenter dans ce qui suit les deux approches qui se basent sur ce principe.

2.5.3.1 Routage à Etat de liens

La famille des protocoles à Etat de liens se base sur les informations rassemblées l'état des liens dans le réseau. Ces informations sont disséminées dans le réseau périodiquement ce qui permet ainsi aux nœuds de construire une carte complète du réseau. Un nœud qui reçoit les informations concernant l'état des

liens, met à jour sa vision de la topologie du réseau et applique un algorithme de calcul des chemins optimaux afin de choisir le nœud suivant pour une destination donnée. En générale ces algorithmes se basent sur le principe de l'algorithme de Dijkstra pour calculer les chemins les plus courts entre un nœud source et les autres nœuds du réseau. Les principaux protocoles de routage dans les réseaux ad hoc qui appartiennent à cette classe sont les suivant : TORA, OLSR, TBRPF.

2.5.3.2 Routage à vecteur de distance

Les protocoles à vecteur de distance se basent sur un échange, entre voisins, des informations de distances des destinations connues. Chaque nœud envoie à ses voisins la liste des destinations qui lui sont accessibles et le coût correspondant. Le nœud récepteur met à jour sa liste locale des destinations avec les coûts minimums. Le processus de calcul se répète, s'il y a un changement de la distance minimal séparant deux nœuds, et cela jusqu'à ce que le réseau atteigne un état stable. Les calculs des routes se basent sur le principe de l'algorithme distribué de Bellman Ford (DBF). Les protocoles plus connus basent sur cette classe sont : AODV, DSDV.

2.5.4 L'inondation

L'inondation ou la diffusion pure, consiste à répéter un message dans tout le réseau. Un nœud qui initie l'inondation envoie le paquet à tous ses voisins directs, de même si un nœud quelconque de réseau reçoit le paquet pour la première fois, il le rediffuse à tous les voisins, Ainsi de proche en proche le paquet inonde le réseau. Notons que les nœuds peuvent appliquer (durant l'inondation) certains traitements de contrôle dans le but d'éviter certains problèmes, tel que le blocage et la duplication des messages, Le mécanisme d'inondation est utilisé généralement dans la première phase du routage plus exactement dans la procédure de découverte des routes, et cela dans le cas où le nœud source ne connaît pas la localisation exacte de la destination.

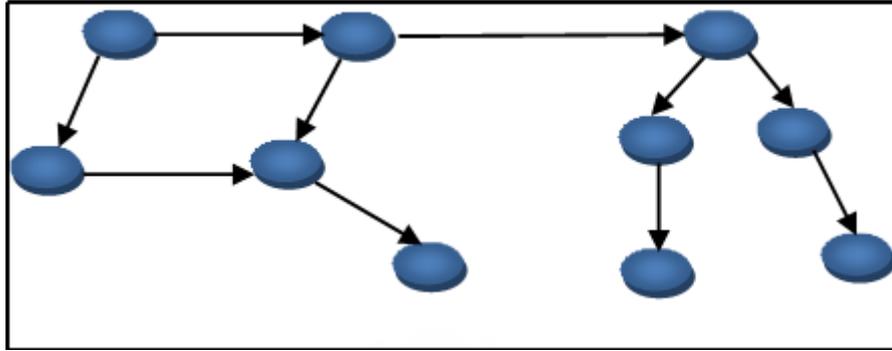


FIGURE 2.3: Mécanisme d'inondation

2.5.5 Le concept de groupe (Clustering)

Dans la communication de groupe, les messages sont transmis à des entités abstraites ou groupes, les émetteurs n'ont pas besoin de connaître les membres du groupe destinataire. La gestion des membres d'un groupe permet à un élément de se joindre à un groupe, de quitter ce groupe, se déplacer ailleurs puis rejoindre le même groupe. C'est en ce sens que la communication de groupe assure une indépendance de la localisation, ce qui la rend parfaitement basées sur le groupe. Le concept de groupe facilite les tâches de la gestion du routage (telles que les transmissions des paquets, l'allocation de la bande passante etc) et cela en décomposant le réseau en un ensemble de groupes connecté.

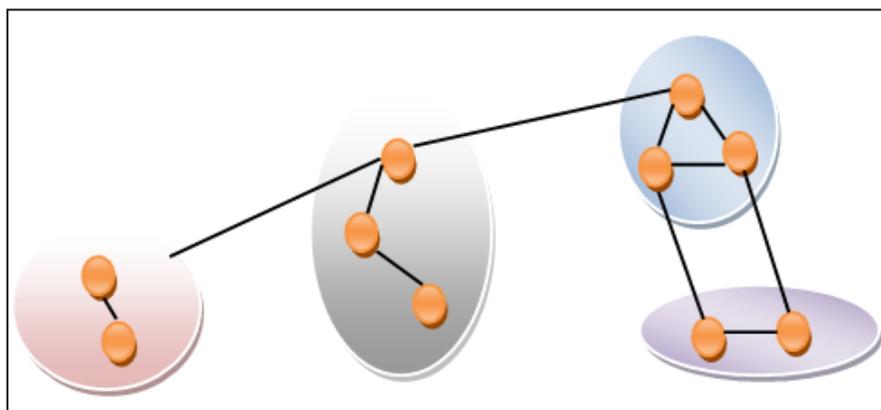


FIGURE 2.4: La décomposition d'un réseau en groupe

2.5.6 Protocoles uniformes et non uniformes

Certains protocoles de routage n'utilisent pas tous les nœuds d'un réseau pour faire transiter les messages, au contraire ils en sélectionnent certains, en fonction du voisinage ou pour former des cellules. Ces protocoles sont dits non-uniformes. Ceux qui utilisent tous les nœuds du réseau capables de router sont appelés protocole uniformes[23].

2.6 Classification des protocoles par les MANET

MANET est un groupe de travail créé au sein de l'IETF (Internet Engineering Task Force) dans le but est de spécifier et de standardiser des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc au niveau IP. Ces protocoles doivent pouvoir supporter des couches physiques et MAC hétérogènes et offre aux couches supérieures la possibilité de fonctionner uniquement sur IP.

Le premier objectif du groupe est de retenir un ou plusieurs protocoles de routage unicast et définir l'interaction avec les couches supérieures et inférieures. Ensuite, d'étudier les problèmes de la qualité de service et le multicast dans un environnement mobile MANET.

Les protocoles de routage peuvent être séparés en : **Proactif, Réactif et Hybride**.

2.6.1 Protocole de routage Proactif

Dans cette classe de protocoles, un système d'échange périodique de paquets de contrôle est mis en place de telle sorte que chaque nœud puisse construire de façon distribuée la topologie du réseau.

Il peut exister plusieurs types de paquets de contrôle. En règle générale, on distingue les paquets qui sont envoyés localement à un saut et les paquets qui sont diffusés dans tout le réseau. Les premiers permettent d'acquérir la connaissance du voisinage. Les seconds permettent à un nœud donné de diffuser dans le réseau l'état du voisinage, lequel se ramène le plus souvent aux nœuds voisins ou à un sous-ensemble de ces derniers. Dans un protocole proactif, un nœud met périodiquement à jour ses tables de routage lors de la réception des paquets de

contrôle. L'envoi régulier de paquets d'information et le traitement de ces derniers sont la contrepartie à l'obtention immédiate des informations topologiques[29].

Avec ces protocoles, chaque nœud maintient une ou plusieurs tables, qui permettent d'atteindre tous les autres nœuds du réseau. Chaque nœud met régulièrement à jour ces informations. Lorsque la topologie du réseau évolue, les nœuds diffusent des messages de mise à jour à travers tout le réseau.

Les protocoles de cette famille se différencient par la manière dont cette information de mise à jour est transmise à travers le réseau ainsi que par le nombre de table de routage utilisée.

Les principaux protocoles proactifs sont :

- ✓ OLSR (Optimized Link State Routing)
- ✓ FSR (Fisheye State Routing).

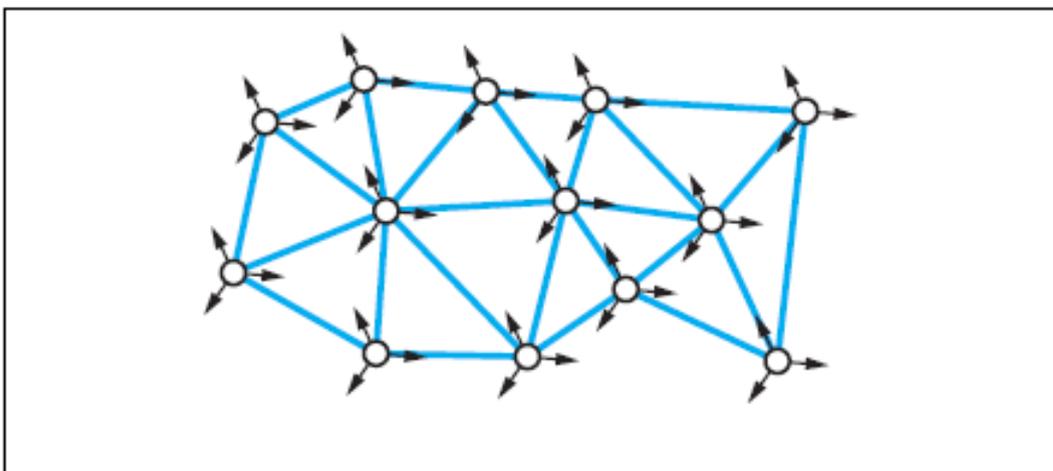


FIGURE 2.5: Principe de fonctionnement des protocoles proactifs

2.6.1.1 Avantage et les inconvénients des protocoles proactifs

Avec les protocoles proactifs les routes sont disponibles immédiatement, ainsi l'avantage d'un tel protocole est le gain de temps lors d'une demande de route. Le problème est que , les changements de routes peuvent être plus fréquents que la demande de la route et le trafic induit par les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routages peut être important et partiellement inutile, ce qui gaspille la capacité du réseau sans fil, De plus la taille des tables de routage croit linéairement en fonction du nombre de nœud.

2.6.2 Protocoles de routage Réactifs

Un protocole réactif ne calcule pas d'information topologique avant que celle-ci soit rendue nécessaire par la demande de route d'un paquet vers une destination par une application. Le protocole ne tente de découvrir une route qu'à la demande d'une application qui souhaite envoyer un paquet vers une destination, et ce par la diffusion d'une requête dans tout le réseau. La réponse à cette requête en diffusion permet à la source d'obtenir les informations topologiques concernant cette route. Durant cette phase de recherche de route, le paquet IP est mis en attente d'une réponse du protocole de routage jusqu'à ce qu'une route soit disponible.

Cette technique ne va pas sans un inconvénient important : les implémentations actuelles ne prévoient pas la possibilité pour un paquet IP d'attendre la création d'une route. Dans ce cas, la couche réseau indique simplement à l'application qu'il n'existe pas de route vers la destination. Ces protocoles nécessitent donc une modification des couches IP susceptible d'introduire des files d'attente pour conserver les paquets en attente de route[18].

Dans cette famille de protocoles, les routes ne sont pas maintenues en permanence vers tous les nœuds. Quand un nœud cherche à communiquer avec un autre nœud, il déclenche un mécanisme de découverte de route. Une route est ainsi créée à la demande et subsiste dans le réseau tant qu'elle est valide ou jusqu'à ce qu'elle devienne inutile. On parle alors de timeout après fin d'utilisation.

Les principaux protocoles réactifs sont :

- ✓ AODV (Ad Hoc On demand Distance Vector Routing)
- ✓ DSR (Dynamic Source Routing)..

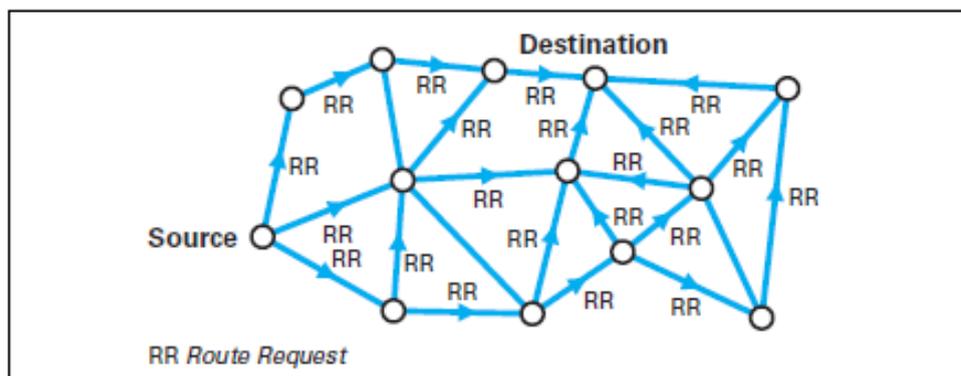


FIGURE 2.6: Fonctionnement des protocoles réactifs

2.6.2.1 Avantage et les inconvénients des protocoles Réactifs

A l'opposé des protocoles proactifs, dans le cas d'un protocole réactif, aucun message de contrôle ne charge le réseau pour des routes inutilisées ce qui permet de ne pas gaspiller les ressources du réseau, Mais la mise en place d'une route par inondation peut être coûteuse et provoquer des délais importants avant l'ouverture de la route et les retards dépassant bien souvent les délais moyens admis par les logiciels, aboutissant à une impossibilité de se connecter alors que le destinataire est bien là.

De ce fait, un nouveau type de protocole a apparu, il s'agit des protocoles de routage Hybride.

2.6.3 Protocoles de routage Hybride

Les protocoles hybrides combinent les deux approches. Ils utilisent un protocole proactif, pour apprendre le proche voisinage (voisinage à deux ou trois sauts) et un protocole réactif pour atteindre les nœuds situés au-delà de cette zone prédéfinie de voisinage. Les protocoles hybrides font appels aux techniques des protocoles réactifs pour chercher des routes. Avec ce découpage, le réseau est partagé en plusieurs zones et la recherche de route en mode réactif peut être améliorée. A la réception d'une requête de recherche réactive, un nœud peut indiquer immédiatement si la destination est dans le voisinage ou non et par conséquent savoir s'il faut aiguiller ladite requête vers les autres zones sans déranger le reste de sa zone. Ce type de protocole s'adapte bien aux grands réseaux[15].

2.6.3.1 Avantage et les inconvénients des protocoles Hybrides

Le protocole Hybride est un protocole qui se veut comme une solution mettant en commun les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpage du réseau. Cependant, il rassemble toujours quelques inconvénients des deux approches proactives et réactives.

2.7 Routage géographique

L'idée des protocoles de routage géographique est d'utiliser des informations géographiques pour acheminer les paquets. Pour simplifier la présentation, nous supposons que tous les nœuds connaissent leur position et que ceux-ci connaissent également la position de tous les autres nœuds du réseau. Avec ces hypothèses, il est facile de concevoir qu'un nœud peut facilement choisir parmi ses voisins un relais pour acheminer un paquet dont il connaît la destination finale et donc aussi sa position. Il est très simple d'envisager des critères de sélection parmi ces voisins[18].

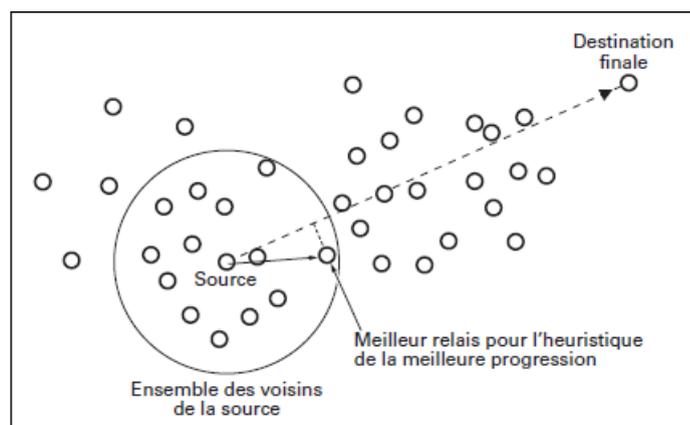


FIGURE 2.7: Routage géographique avec l'heuristique de la meilleure progression vers la destination

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé la notion et les problèmes de routage dans les réseaux ad hoc.

Comme nous avons vu, le problème de routage est loin d'être évident dans cet environnement ou ce dernier impose de nouvelles limitations par rapport aux environnements classiques. Les stratégies de routage doivent tenir compte des changements fréquents de la topologie, de la consommation de la bande passante qui est limitée, ainsi d'autres facteurs.

Finalement, nous avons présenté la classification des protocoles de routage dans les environnements mobiles, avec quelques exemples pour les protocoles de routage proactifs et réactifs qui sont conçus pour les réseaux Ad hoc.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DES PROTOCOLES AODV, AOMDV

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter ces deux protocoles, en commençant par une étude détaillée sur le protocole de routage AODV et sa manière d'agir, on décrira par la suite le protocole AOMDV et son principe de fonctionnement et on finira par une brève comparaison entre ces deux protocoles de routage

3.2 Protocole Ad hoc On-Demand Distance Vector

3.2.1 Définition

Comme son nom l'indique, AODV est un protocole réactif de type vecteur de distance, qui a été normalisé avec la RFC 3561[20] de l'IETF. Ce protocole présente plusieurs techniques avancées dans le routage. Parmi elles, le mécanisme de diffusion (broadcast) dans le réseau pour la découverte de route valide entre la source et la destination, ainsi que AODV définit deux types de procédure « découverte de route » et « maintenance de route » ces deux dernières s'appuient sur trois types de messages :

- ✓ **RREQ(route Request)** : Message de demande de route

- ✓ **RREP(Route Reply)** : Message de réponse de route
- ✓ **RERR(route Error)** : Message d'erreur de route.

3.2.2 Principe de Fonctionnement

1 Découvert de Route

Dans cette procédure, Si un nœud cherche à émettre un paquet vers une destination pour laquelle il n'a pas de route valide, le nœud initie une découverte de route vers la destination à travers une requête de demande de route RREQ diffusé en broadcast dans le réseau, lorsque le destinataire reçoit cette dernière ; il renvoie un paquet RREP au nœud intermédiaire ayant effectué la transmission ; chacun des nœuds intermédiaires remonte le paquet RREP jusqu'à la source en transitant via le nœud qui leur avait annoncé la requête comme la montre la figure 3.1 Si l'émetteur ne reçoit pas un RREP pendant un quantum de temps (RREP-Wait-Time) il rediffuse la requête RREQ encore une fois, s'il atteint un certain nombre de diffusion de la requête sans avoir une réponse une erreur va être signalée.

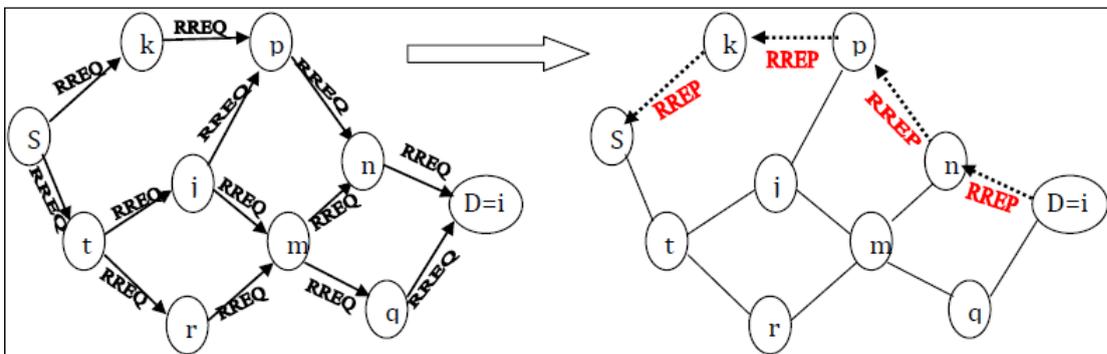


FIGURE 3.1: Inondation de RREQ et le renvoi du RREP

2 Maintenance de route

Dès qu'un chemin est établi entre la source et la destination, le mécanisme de maintenance est déclenché automatiquement, ce mécanisme gère essentiellement les ruptures de liens entre les nœuds, il est basé sur la transmission périodique des messages HELLO [24] si trois messages Hello ne sont pas reçus consécutivement à partir d'un nœud voisin, le lien en question est considéré défaillant [21], lorsque un nœud détecte une rupture de lien dans un chemin actif, ce dernier envoie un paquet d'erreur RERR au

nœud qui le précède, quand un nœud reçoit ce type de message il cherche dans sa table de routage un chemin alternatif vers le nœud destination, sinon il consulte son prédécesseur, ce mécanisme est répéter jusqu'au nœud source ,dans le cas échéant il lance une nouvelle découverte

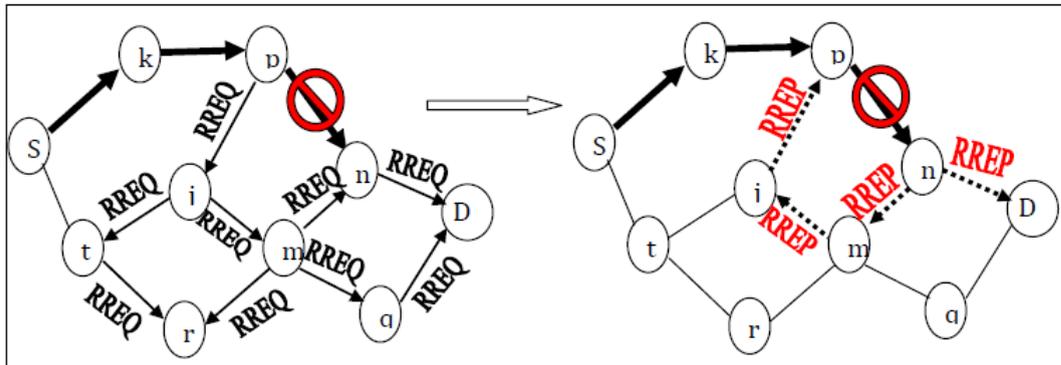


FIGURE 3.2: Exemple de réparation locale d'une route perdu

3.2.3 Principe de numéro de séquence

Vue le changement fréquent de position pour les nœuds dans les réseaux ad hoc ,un numéro de séquence est introduit dans la table de routage de chaque nœud ,afin d'éviter le problème des boucles infinies ainsi que la transmission inutile des messages dans le réseau, en plus il permet aux nœuds d'utiliser les routes les plus fraîches.

Le numéro de séquence est met à jour dans les situations suivantes :

- ✓ Dans le cas ou les routes ne sont pas déterminées à l'avance.
- ✓ La durée de vie du chemin vers la destination a expiré ou encore une défaillance surgit pour un chemin donné.
- ✓ Si un nœud intermédiaire reçoit un numéro de séquence plus grand que celui qui existe dans sa table de routage.
- ✓ A la réponse sur une requête RREQ ,le destinataire introduit un numéro de séquence avant l'émission de RREP.

3.2.4 Type de messages échangés

Les flux échangés dans le AODV peuvent être l'un des messages suivants envoyé au port 654 en utilisant le UDP

- 1 **Demande de route RREQ** : Lors de la recherche d'une nouvelle route, ou de la maintenance d'une route RREQ est diffusé en mode broadcast.

Type =1	J	R	G	D	U	Réserver	Nombre de sauts
ID RREQ							
Adresse IP Destination							
Numéro de Séquence Destination							
Adresse IP source							
Numéro de Séquence source							

TABLE 3.1: Format de RREQ

Tel que :

- **Type** : indique le type de paquet
- **J** : joignez le pavillon, Réserve pour le multiCast
- **R** : Réparation du pavillon, Réserve pour le multiCast
- **G** : Indique si une réponse « RREP »générée par un nœud intermédiaire devrait être envoyée vers la destination spécifiée dans « RREQ »
- **D** : indique que seule la destination peut répondre au message « RREQ »
- **Nombre de sauts** : le nombre de sauts, entre le source et le nœud qui traite le message « RREQ »
- **IDRREQ** : identifiant de la demande, il est obtenu par la combinaison de l'adresse IP de la source et le numéro de séquence
- **Numéro de séquence destination** : le dernier numéro de séquence reçu du nœud source pour toute route vers la destination
- **Numéro de séquence source** : le numéro de séquence en cours pour être utilisé sur la route désirée

- 2 **Réponse de route RREP** : Message envoyé vers la source pour l'informer que il existe un chemin vers la destination en question .Le tableau suivant représente le format du paquet RREP :

Type = 2	R	A	Réserver	Taille préfixé	Nombre de sauts
Adresse IP Destination					
Numéro de Séquence Destination					
Adresse IP source					
Durée de vie					

TABLE 3.2: Format de RREP :

Tel que :

- **R** :réparation du pavillon, utilisé pour le multicast
- **A** :une reconnaissance nécessaire par un accusé de réception
- **Taille préfixe** :s'il est déferent de zéro donc le prochain peut être utilisé pour n'importe quel nœud avec le même préfixe
- **Durée de vie** :le temps nécessaire pour que les nœuds recevant la RREP considèrent la toute valide

3 **Erreur de route (RERR)** : C'est un message envoyé a la source par le nœud qui détecte un lien brisé dans une route active .

Type =3	N	Réserver ?	Nombre de dest
Adresse IP Destination inaccessible			
Numéro de Séquence Destination inaccessible			
Adresse IP Destination inaccessible additionnelle			
Numéro de Séquence Destination inaccessible additionnelle			

TABLE 3.3: Format de RERR

Tel que :

- **N** : indique que la route a été réparée localement
- **Nombre destination** : c'est le nombre de destination concernées par Le lien brise.

4 **Accusé de réception de réponse de route (RREP-ACK)** : C'est un message envoyé comme accusé de réception du message RREP avec les présences de bit A, cela ce fait habituellement lorsqu'il y a danger de liens unidirectionnels

Type =4	Réserver
---------	----------

TABLE 3.4: Format de RERR-ACK

5 **HELLO** : Le message HELLO assure les information sur la connectivite du réseau ; ils sont utilisé par les nœuds qui participe dans une route active pour valider les connexion avec les voisin, ainsi que a chaque intervalle (Hello-Interval) , le nœud vérifie qu'il a diffuse au moins un message et s'il ne la pas fait ; il envoi une réponse avec TTL(Time To Live) égal à 1[23].

3.2.5 Information de base

Malgré que la recherche des routes soit réactive dans AODV, chaque nœud doit stoker et maintenir des informations pour le fonctionnement du protocole

3.2.5.1 Table de routage

La table de routage (Table ??) qui contient essentiellement :

- **@IP destination** :l'adresse IP de destination
- **nombre de destination** : le numéro de séquence destination qui permet d'éviter des boucles de routage.
- **Nombre de sauts** : est la distance entre le nœud local et la destination mesurée en nombre de sauts
- **Suivant** : adresse du nœud qui représente le premier pas dans l'itinéraire
- **Liste des précurseurs actifs** : liste des nœuds originaires des transmissions vers la destination qui passent par le nœud local
- **Temps d'expiration** : temps au bout du quel l'entrée est expirée et doit être supprimée
- **Tampon de requête** : utilisé pour assurer qu'une seule réponse RREP est envoyé par requête RREQ

@ dest	IP	Nseq dest	Ndre sauts	Suivant	Liste précurs- eurs actifs	Temps d'expi- ration	Tampon de requête

TABLE 3.5: Table de routage AODV

3.2.5.2 Table de routage historique :

C'est une table qui sauvegarde le traitement des RREQ une entrée de cette table identifie d'une manière unique le paquet RREQ pour savoir si cette requête à déjà été vue et traité ou non

@Source	ID requête

TABLE 3.6: Table Historique

3.2.6 Avantages et inconvénients

Comme tout autre protocole, AODV a des avantages ainsi qu'il souffre de quelques inconvénients parmi eux on cite quelques uns :

a **Avantages :**

- L'utilisation de numéro de séquence dans les messages qui permet d'éviter les problèmes de boucles infinies qui est essentiels au processus de mise à jour de la table de routage
- Rappel sur l'adresse IP du nœud origine dans chaque message qui permet de garder la trace du nœud à l'origine de l'envoi du message

b **Inconvénients :**

- Il n'existe pas de format générique des messages. Chaque message a son propre format :RREQ,RREP,RERR(surcharge de paquet de contrôle).

3.3 Protocole Ad hoc On-Demand Distance Vector Multipath

3.3.1 Définition

Le protocole AOMDV est basé sur le AODV[24], il détermine plusieurs chemin qui sont disjoints par leur nœuds ou par leur liens. Deux chemins sont disjoints par les nœuds traversés si les nœuds sont différents deux a deux. Deux chemins sont disjoints vis-à-vis des liens traversés sont différents deux a deux. utiliser des chemins permet à la rupture d'un lien d'être réparée sur un seul chemin les autres chemins restent donc opérationnels et peuvent être empruntés.

3.3.2 Principe de fonctionnement

AOMDV comme AODV a deux mécanismes « Découverte de route » et « Maintien de la route » :

1 Découverte de route

Le mécanisme de découverte de route est similaire à AODV .la différence principale est que le mécanisme ne s'arrête pas lorsque la première route

valide est trouvée. Une destination qui reçoit un message RREQ après le premier, va comparer celui-ci en termes de compteur, en effet bien que le premier chemin est celui qui est le plus court en terme de délai ,du fait de la variabilité des liens physiques. le ou les chemins suivants peuvent avoir un nombre de sauts vers la destination plus petit ou égal à celui découvert grâce au premier message RREQ reçu, en empruntant des chemins n'utilisant pas les mêmes nœuds intermédiaires, ce mécanisme de « LINK-Disjoint Path» [25] qui permet de choisir la meilleur route en terme de nombre de sauts.

2 **Maintien de la route**

AOMDV utilise le paquet RERR pour signaler les ruptures des liens, lorsque un nœud détecte une rupture d'un lien il envoie un paquet RERR énumérant les nœuds voisins perdus, le nœud envoie le RERR en amont vers la source . s'il y a plusieurs nœuds précédents qui utilisent ce lien , le nœud diffuse le paquet RERR à tous ces nœuds, ces chemins seront effacés dans les tables de routage des nœuds récepteurs de ce paquet d'erreur . Une fois la source reçoit la requête RERR ,elle ré-initie la découverte des chemins uniquement lorsqu'aucun des chemins menant à la destination établis n'est valide[24].

3.3.3 **Avantages et inconvénients**

a **Avantage**

- Si une rupture de lien arrive à la source change de chemin sans avoir déclenché une nouvelle phase de découverte
- Il établit une route sur demande.
- Il crée des nœuds libres de boucles.
- Il maintient la connectivité.

b **Inconvénients**

- Une occupation plus importante de la table de routage qui implique la consommation de la mémoire de chaque nœud.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié en détail le fonctionnement et le comportement des deux protocoles de routage réactifs AODV et AOMDV dans les réseaux ad hoc, dans le chapitre qui suit nous allons présenter quelque résultats de simulation effectués sur ces deux protocoles.

CHAPITRE 4

SIMULATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

4.1 Introduction

L'étude des trois premiers chapitres précédents nous a permis de comprendre en détails les réseaux ad hoc, ainsi que les deux protocoles de routage réactifs : AODV et AOMDV.

Ce chapitre a pour but d'appliquer et tester ces deux protocoles dans un environnement de réseau mobile sans fil, et suivre le comportement de chaque protocole pour pouvoir analyser ses performances et faire des comparaisons entre ces deux protocoles. Dans la pratique cette opération pose un problème par ce qu'elle nécessite de posséder un nombre important de nœuds (mobile, fixe).

Une manière plus pratique et moins couteuse à utiliser un simulateur qui est capable de représenter les principales caractéristiques d'un réseau ad hoc, et d'intégrer les protocoles de routage, ainsi qu'il peut réaliser plusieurs scénarios dans un temps plus court pour cela on va utiliser le simulateur NS2-version 2.35.

4.2 Définition de la simulation

La simulation peut être définie comme le processus de conception d'un modèle pour un system réel, et la réalisation d'expérimentations avec ce modèle [27]. La

simulation est l'approche la plus utilisée dans l'évaluation des protocoles de communication dans les réseaux ad-hoc. Cela est justifié par [27] :

- **La limitation de l'approche analytique** : même si l'étude analytique des protocoles de communication dans les réseaux ad-hoc donne un aperçu sur les propriétés de ces derniers, mais les résultats obtenus restent limités car les études sont basées sur des hypothèses strictes (aucune mobilité, mécanismes MAC parfaits, etc).
- **Le coût élevé d'expérimentations avec des implémentations réelles** : il est très coûteux de déployer des réseaux uniquement pour des objectifs de recherche. De plus, il est plus facile et moins coûteux de mener un grand nombre de tests par des simulations.

4.3 Présentation du NS2

NS2 est un logiciel de simulation de tout type de réseau informatique développé dans le cadre du projet VINT, il est bâti principalement avec les idées de la conception par objet, avec les objet proposé par ce moteur de simulation on peut représenter des machines, des routeurs(Node), de flux TCP,UDP et sélectionner les politiques et règles régissent des fil d'attente mises en œuvre dans chacun des noeuds[28].

Parmi les composantes principales de NS2 qu'on cite par catégorie :

- ✓ **application** :Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR,...) ;
- ✓ **transport** :TCP, UDP, RTP, SRM ;
- ✓ **routage unicast** :Statique, dynamique (vecteur distance) ;
- ✓ **routage multicast** :DVMP, PIM ;
- ✓ **gestion de file d'attente** :RED, DropTail, Token bucket.
- ✓ **Discipline de service** : CBQ, SFQ, DRR, Fair Queueing.
- ✓ **Système de transmission** : CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point.

4.4 Architecture du NS2

L'architecture de NS-2 est basée sur deux types de langage : OTCL et C++. A travers le OTcl, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : topologie

du réseau, caractéristique des liens physique, protocole utilisé etc. . . , bien que les scripts de simulation soient écrits en OTcl, le C++ est utilisé pour programmer les entités internes des systèmes simulés, Ensuite ces deux types de langage sont liés via le TclCL qui permet le passage des code C++ vers les code en OTcl et vice versa.

Des fichiers de trace sont générés par le NS lors de la terminaison de la simulation, qui contient les informations reliées à la simulation. Le fichier de trace permet d'évaluer les performances de réseau étudié, qui peuvent être interprétés en utilisant le NAM et le Xgraph[28].

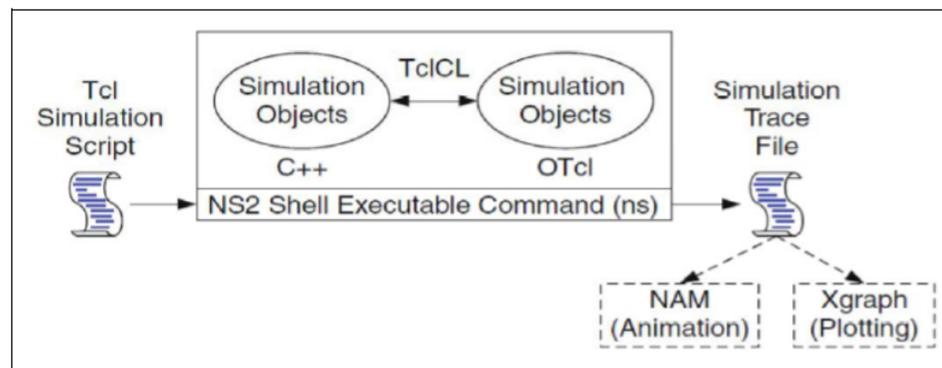


FIGURE 4.1: Architecture générale du NS2.

4.5 L'outil de visualisation NAM

NS-2 ne visualise pas le résultat des expérimentations. Il permet uniquement de sauvegarder une trace de la simulation, d'une manière qu'elle puisse être utilisée par un autre logiciel, comme NAM.

NAM est un outil de visualisation qui présente deux intérêts principaux : représenter la topologie d'un réseau décrit avec NS-2, et afficher temporellement les résultats d'une trace d'exécution NS-2. Par exemple, il est capable de représenter des paquets TCP ou UDP, la rupture d'un lien entre nœuds, ou encore de représenter les paquets rejetés d'une file d'attente pleine. Ce logiciel est souvent appelé directement depuis les scripts TCL pour NS-2, pour visualiser directement le résultat de la simulation.

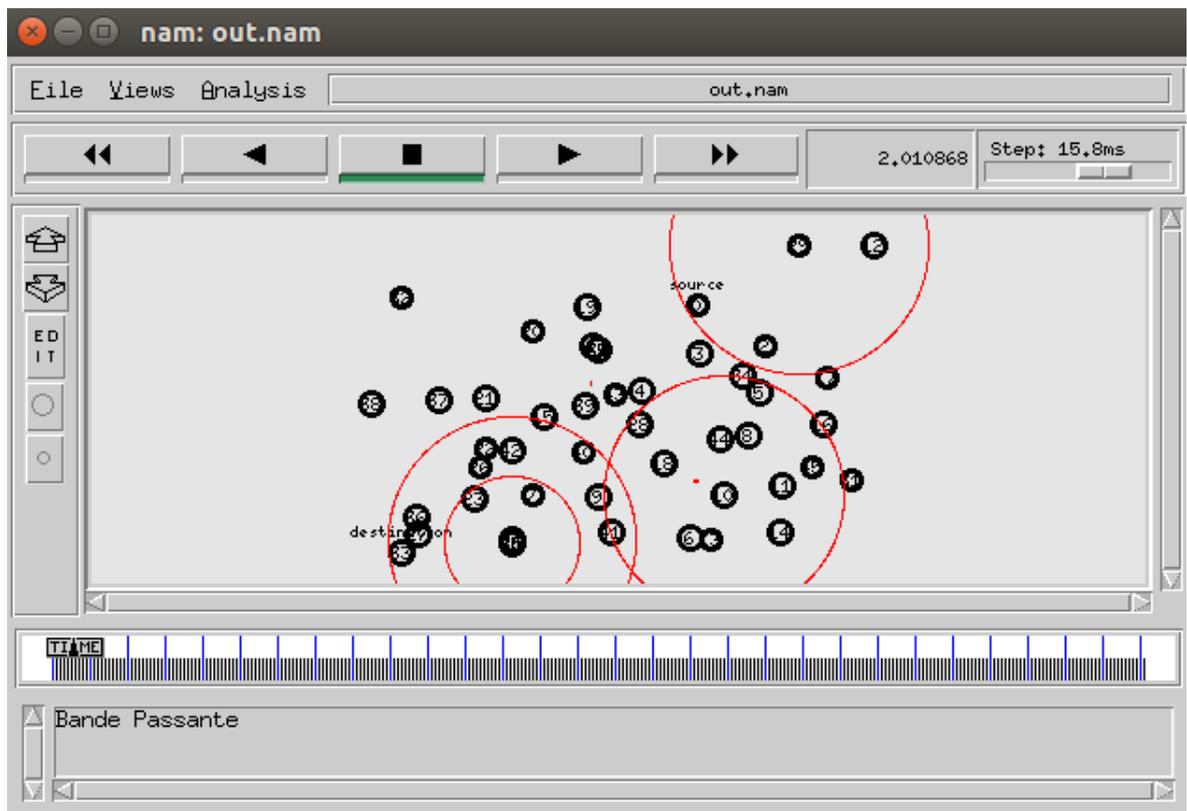


FIGURE 4.2: Exemple de simulation visualisée avec le NAM

4.6 Intérêt de la simulation

- Quand on ne peut pas facilement observer les états du système,
- Quand on désire analyser l'enchaînement des événements dans le système, ainsi que les relations de causes à effets,
- Quand on désire valider une solution analytique,
- Quand la complexité des interactions dans le système est telle qu'elle ne peut être étudiée qu'au travers de simulations,
- Quand on désire visualiser les états d'un système,
- Quand on veut tester différentes optimisations pour améliorer un système déjà existant.

4.7 Modèle de réseau sous ns

Un modèle de réseau sous NS est constitué :

- **de nœuds de réseau** : endroits où est généré le trafic, ou nœuds de routage ;
- de liens de communication entre les réseaux.
- d'agents de communication, représentant les protocoles de niveau transport (TCP, UDP) ; ces agents sont attachés aux nœuds et connectés l'un à l'autre, ce qui représente un échange de données (connexion TCP, flux UDP).
- d'applications qui génèrent le trafic de données selon certaines lois (CBR, VBR), et se servent des agents de transport.

4.8 Avantages et Inconvénients de la simulation sous NS

✓ Avantages

- Un logiciel de simulation multicouche.
- Un outil complètement libre pour plusieurs plateformes
- Possibilité d'ajouter des composants à la demande.
- Développement orienté objet.
- Du fait de sa popularité, de nombreux protocoles sont à priori disponibles pour NS-2

✓ Inconvénients

- la modélisation dans NS-2 reste une tâche complexe : il n'y a pas d'interface graphique .
- Une forte technicité est requise pour utiliser ce simulateur.

4.9 Simulation et discussion des résultats

4.9.1 Modèle de simulation

On distingue plusieurs modèles de simulation, pour notre modèle on définit les paramètres nécessaires, qui sont illustrés dans le tableau [4.1](#)

Paramètre	Valeur
Temps de la simulation	100 s
Protocoles	AODV et AOMDV
Taille de paquet de donnés	512 Octets
Modèle de propagation	Two-Ray Ground
Type d'interface de réseau	WirelessPhy
Couche MAC	802.11
Trafic d'application	CBR (Continuous Bit Rate)
Surface de la simulation	1000x600
Nombre des nœuds	7-46
Nombre de scénarios pour le même contexte	2
Le paramètre simulé	Débit

TABLE 4.1: Modèle de simulation utilisés

4.9.2 Métrique de simulation choisies

Bande passante : est le débit en bit par seconde (bit/s).il est mesuré par la différence entre la fréquence de transmission la plus haute au plus basse, la fréquence est mesuré en Hertz [29].

4.9.3 Présentation des différents scénarios de simulation

:

Dans notre étude nous allons traiter deux scénarios : l'impact de nombre de nœuds dans le réseau et l'impact de la distance entre l'émetteur et le récepteur sur la bande passante.

4.9.3.1 Scénario 1 :Étude par rapport au nombre de nœuds

On garde les autres paramètres fixes et on change le nombre de nœuds :

- Cas1 : nombre de nœuds = 46.
- Cas2 : nombre de nœuds = 7.

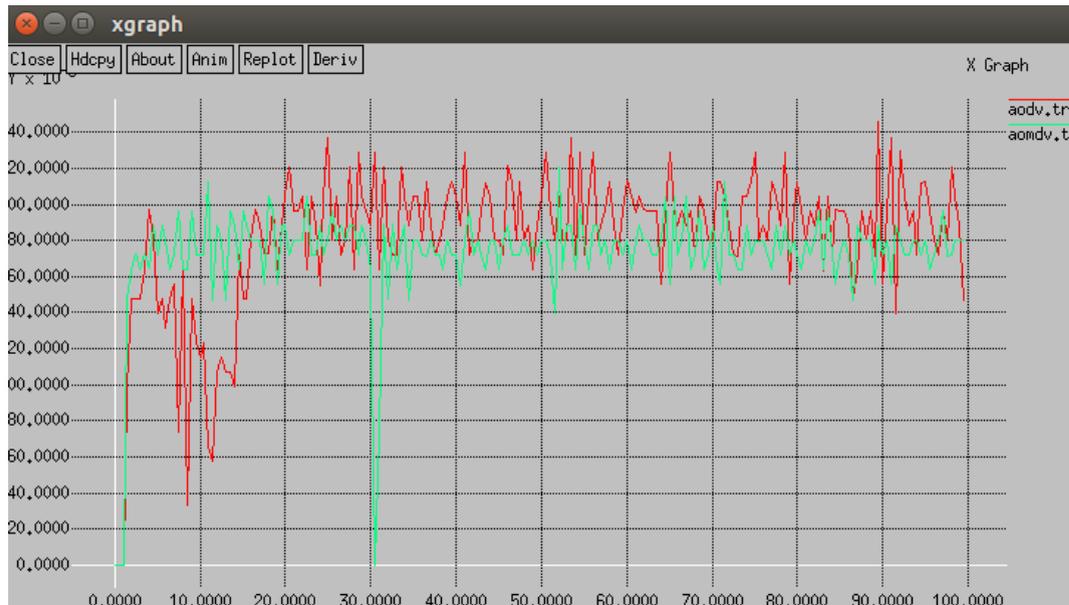


FIGURE 4.3: Cas1 : Débit en fonction de nombre de nœuds(46 nœuds)

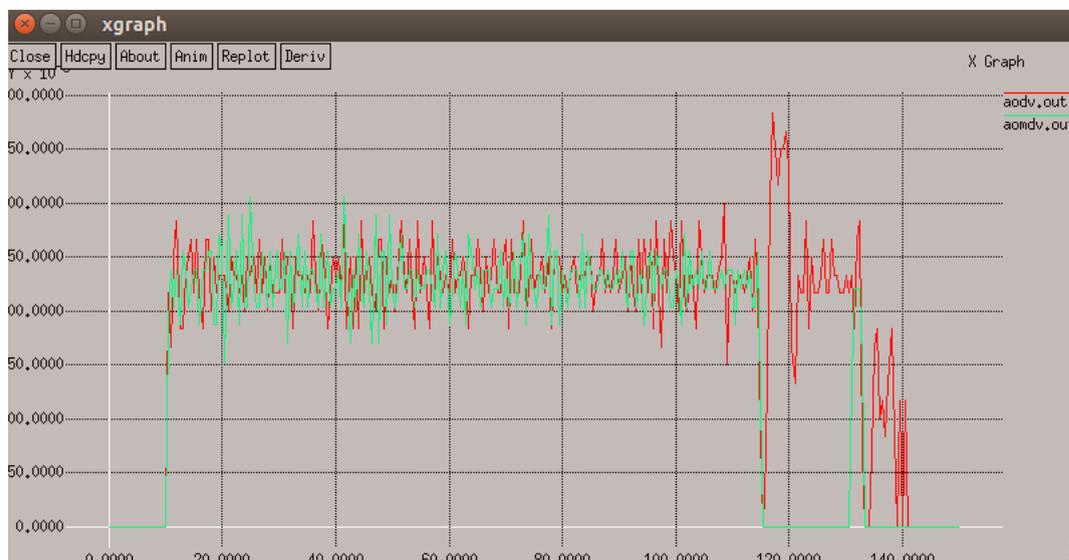


FIGURE 4.4: Cas2 : Débit en fonction de nombre de nœuds (7 nœuds)

4.9.3.2 Scénario 2 :Etude par rapport à la distance entre l'émetteur et le récepteur :

On garde les autres paramètres fixes et on change la distance entre l'émetteur et le récepteur :

- Cas1 : grande distance.
- Cas2 : petite distance.

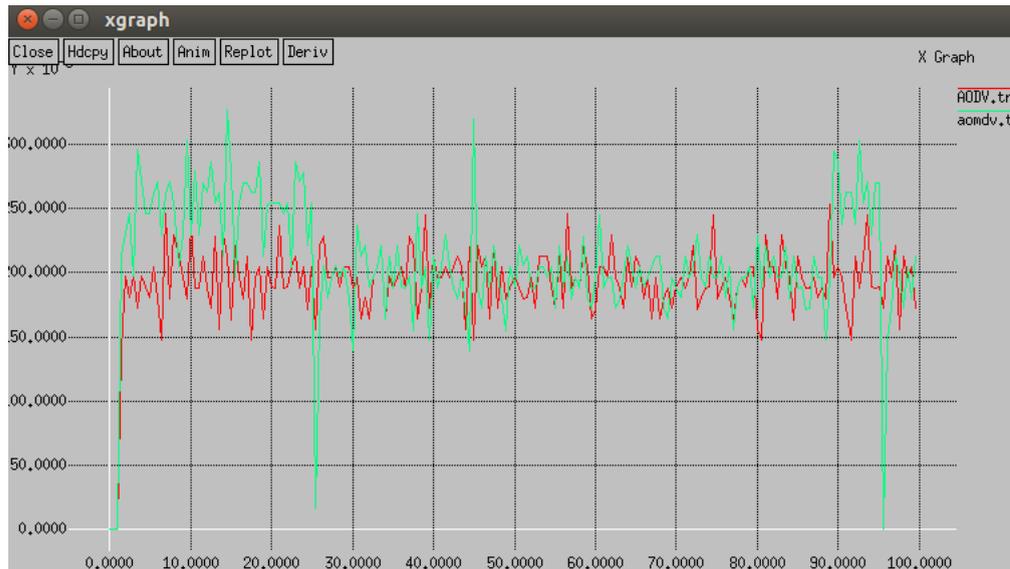


FIGURE 4.5: Cas1 : Débit en fonction de la distance (grande distance)



FIGURE 4.6: Cas2 : Débit en fonction de la distance (petite distance)

4.9.4 Discussion

Nous avons vu dans les résultats présentés dans les graphes précédents les scénarios qu'on a proposés avec les protocoles qu'on a utilisés, dans lesquels on a mesuré le débit par rapport au nombre de nœuds et la distance entre l'émetteur et le récepteur dans le réseau.

Comme les fig.4.3 et 4.4 montre que le débit augmente avec l'augmentation de la densité du réseau dans les deux protocoles, on remarque que dans le premier cas au début de la simulation le débit de aomdv et plus élevé par rapport au débit de aodv et à partir de cette durée (20.000s) le débit il est presque le même

Ensuite dans le deuxième cas au départ le débit est le même pour les deux, et à partir de (120.000s) le aodv a une fréquence plus élevée par rapport à aomdv.

Dans la mesure de distance, les fig 4.5 et 4.6 montre que le débit pour la petite distance est plus élevé pour les deux protocoles par rapport à la grande distance. Ainsi que pour la grande distance on remarque que le débit pour aomdv est plus fort que le aodv, Dans la plus part de temps de la simulation alors que dans la petite distance le débit est presque le même.

À la fin de notre simulation on conclut que dans les grandes distances le aomdv est meilleur car il s'adapte aux pannes dans le réseau plus rapide.

4.10 Conclusion

Cette étude a été consacré pour l'évaluation des deux protocoles de routage réactifs aodv et aomdv, dans la mesure est le débit par rapport au temps pour les deux scénarios proposé qui sont implémenté sous NS2.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au cours de ce mémoire, notre objectif était d'étudier le comportement des deux protocoles de routages réactif, AODV et AOMDV dans les réseaux Ad hoc, après avoir décrit les types de ces derniers et la différence entre eux, ainsi leur caractéristiques (topologie dynamique, bande passante limitée, contraintes d'énergie, . . . etc) et on a constaté que leur apparition certes a facilité la mise en œuvre d'application mobiles dans des domaines différents, mais ça ne veut pas dire qu'ils n'ont pas de difficultés par rapport aux autres réseaux.

Par la suite, on a présenté les classes des protocoles de routage existants, de plus on a cité quelques protocoles associés à chacune d'elles, le but de ces classes est d'essayer d'adapter aux contraintes imposées par les réseaux ad hoc, et cela par la proposition des méthodes qui soit moindre coût en ressources, et qui garantit la survivabilité du routage en cas de panne de liens ou de nœuds.

Durant ce travail on a concentré sur les deux protocoles qui nous intéressent, pour ceci on a décrit en détail les mécanismes et le principe de fonctionnement pour qu'ils assure l'acheminement des données entre un nœud source et un nœud destination dans les bonnes ou les mauvaises conditions pour chacun de ces protocoles.

Pour atteindre notre objectif on a utilisé le simulateur NS2, qui nous a permis de présenter les résultats de la simulation sur des graphes, afin de comparer entre les deux protocoles dans deux scénarios proposés dont la métrique est le débit en

fonction du temps.

Quelques perspectives :

- Perfectionner nos simulations en considérant d'autres métriques comme le niveau la consommation d'énergie de chaque nœud ou le taux de délivrance des paquets, le délai de bout en bout.
- L'extension de nos simulations aux autres protocoles de routage du groupe MANET à savoir les protocoles proactifs et hybrides, afin de comparer les trois classes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. l. Cayirci ; "A survey on sensor networks" ; IEEE Communications Magazine, Août 2002.
- [2] I.F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang ; "Wireless mesh networks : a survey" ; Computer Networks,2005.
- [3] P. Chandra, D.M. Dobkin, A. Bensky, R.Olexa, D.A. Lide, F. Dowla ; "Wireless Networking" ; UK,Elsevier Inc,2008.
- [4] K. Chandran, S. Raghunathan, S. Venkatesan, R. Prakash ; "A feedback based scheme for improving TCP performance in Ad-Hoc wireless networks" ; Proc. of the Int. Conf. on Distributed Computing Systems (ICDCS'98), May 1998.
- [5] M. Ilyas ;"The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks" ; USA, CRC Press LLC, 2003.
- [6] R. Meraihi ; "Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc" ;Thèse de doctorat, École nationale supérieure des télécommunications, Paris, 2004.
- [7] R. Morris, J. Jannotti, F. Kaashoek, J. Li, D. Decouto ; "CarNet : A scalable ad hoc wireless network system" , September 2000.
- [8] B. Tavli, W. Heinzelman ; "Mobile Ad Hoc Networks : Energy-Efficient Real-Time Data Communications" ; Netherlands, Springer, 2006.
- [9] F. Wang, Y. Zhang ; "Improving TCP performance over mobile ad hoc networks with out-of-order detection and response" ; Proc. of ACM MOBIHOC, Lausanne, June 2002.

-
- [10] S.L. Wu, Y.C. Tseng ; "Wireless Ad Hoc Networking : Personal-Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks" ; USA, Auerbach publications, 2007.
- [11] Internet Engineering Task Force, Manet Working Group Charter ; <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html> ; work in progress.
- [12] M. Dawoud, "Analyse du protocole AODV, DEA d'Informatique", Faculté des sciences Université libanaise, 2005-2006.
- [13] Abdelmajid HAJAMI, Sécurité du routage dans les réseaux sans fil spontanés : cas du protocole OLSR, thèse doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS)- Rabat, université Mohammed V.
- [14] Mohamed Zaoui, Yassine Sadqi, "protocoles de routage Mis en place dans le cadre des réseaux Ad hoc", MISR, 2010-2011.
- [15] M. Adel S. Allal, "Expérimentation des réseaux sans fil", 2007.
- [16] N. BOUKHECHEM, "routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc par une approche à base d'agents", Mémoire Magister, Faculté des sciences et science de l'ingénieur, université de Constantine, 2008.
- [17] Kamal Oudidi, "Routage et Qualité de Service dans les réseaux sans fil spontanés", Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS), Université Mohammed V – Souissi, 2009-2010.
- [18] Paul MÜHLETHALER, "Routage dans les Réseaux Ad hoc", 2008.
- [19] Hayfa ZGAYA, "Conception et optimisation distribuée d'un système d'information d'aide à la mobilité urbaine : Une approche multi-agent pour la recherche et la composition des services liés au transport", Ecole Centrale de Lille, 2007.
- [20] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. RFC 3561, 2003.
- [21] C. E. Perkins, E. M. Royer, Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing in Proc. 2nd IEEE Wksp. Mobile Comp, Feb, 1999
- [22] C. E. Perkins, E. M. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing", Université des sciences et technologies de Lille U.F.R. I.E.A, 2002.

-
- [23] Berrabah AbdelKrin,Saidi Hassiba, "Balancement de charges dans les réseaux Ad Hoc",Mémoire de fin d'études,Faculté des Sciences,Université Abou Bakr Belkaid- Tlemecen,2012-2013.
- [24] M. K. Marina, and S. R.Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Networks",Proc. of 9th IEEE Int. Conf. On Network Protocols,2001.
- [25] J. Haerri, F. Filali, C. Bonnet, "Performance comparison of aodv and olsr in vanets urban environments under realistic mobility patterns",5th IFIP Mediterranean Ad-Hoc Networking Workshop, Italy,2007.
- [26] BENYAMINA Ahmed, "Application des algorithmes de colonies de fourmis pour l'optimisation et la classification des images", Université d'Oran Mohamed Boudiaf,2013.
- [27] F. Ducatelle, "Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks", Università della Svizzera italiana,2007.
- [28] Pascal Anelli, "Introduction à l'utilisation de NS(Network Simulator)".
- [29] BELGAIAD.M et OUHAB.S, "routage et qualité de service dans AODV et OSLR ", Université A/Mira de bejaia.

Résumé :

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil, sans infrastructure et sans gestion centralisée du réseau, tel que les unités peuvent être reliées d'une manière arbitraire et formant un réseau à topologie variable.

Le but de ce projet de fin d'étude est de faire une comparaison, entre les deux protocoles de routage réactifs (AODV, AOMDV). Afin d'évaluer les performances des deux protocoles, on a fait recours à la simulation à l'aide d'un outil de simulation réseau NS-2(Network Simulator).

Mot clés : Réseaux Ad hoc ; Protocole Routage ; AODV ; AOMDV ; Simulateur NS-2.

Abstract :

Ad hoc networks are wireless networks that can operate without any infrastructure and without centralized network management ; unites can be connected arbitrarily and forming temporary with variable topology.

The objective of this project is to compare two reactive routing protocols (AODV, AOMDV). In order to evaluate the performances of both protocols, we used to simulation using one tools of simulation network NS-2.

Key words : Ad hoc network ; routing protocol ; AODV ; AOMDV ; Simulator NS-2.