



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM

Faculté des Sciences Exactes & de l'Informatique
Département de Mathématiques et d'Informatique
Filière Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : Ingénierie des Systèmes d'Information

**Protocole de routage multi-chemins EAOMDV
avec consommation d'énergie dans les réseaux
sans fil Ad Hoc**

Présenté par :

KETTOUCHE FERIEL

LATROCHE HASNIA

Encadré par:

Mr SEDDIK BOUTIOUTA

Melle MOSTEFA. F.Z

Année Universitaire 2012/ 2013

Résumé :

Un réseau Ad Hoc mobile sans fil ou (ad hoc network ou MANET en anglais) est une collection d'entités mobiles interconnectées par une technologie sans fil formant un réseau temporaire à topologie variable et fonctionnant sans station de base et sans administration centralisée. Ces réseaux mobiles Ad Hoc ont plusieurs approches en faisant l'adaptation avec les protocoles de routage multi chemins avec conservation d'énergie qui permettent d'acheminer les données de la source vers la destination.

Mot clés : Ad Hoc, routage multi-chemin, consommation d'énergie.

Introduction générale

L'essor des technologies sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. Depuis leur émergence dans les années 70, les réseaux sans fil ont gagné un intérêt majeur et une popularité croissante. Ils occupent de plus en plus de place dans les communications personnelles et d'entreprise. L'évolution récente des moyens de communication a permis aux usagers d'accéder à l'information indépendamment des facteurs temps et lieu.

Un réseau ad-hoc consiste donc en un grand nombre d'unités mobiles se déplaçant dans un environnement quelconque en utilisant comme moyen de communication, des interfaces sans fils. Cependant de nouveaux problèmes peuvent apparaître, causés par les nouvelles caractéristiques du système : le problème de routage est loin d'être évident dans les réseaux mobiles et particulièrement dans les réseaux Ad Hoc. Le problème de routage consiste à trouver une méthode d'acheminement pour un grand nombre de nœuds dans un environnement caractérisé par des modestes capacités de traitement et de mémoire et des changements rapide de la topologie.

Il existe aujourd'hui plusieurs solutions apportées au problème du routage qui est l'objet de recherche active depuis une dizaine d'années. Les protocoles les plus aboutis, permettent de trouver un chemin faisable en termes de connectivité vers n'importe quelle destination atteignable

L'idée générale d'un réseau ad hoc est triviale, il n'en est pas de même pour la réalisation et le déploiement d'un tel système. Les réseaux ad hoc sont des réseaux caractérisés par des ressources limitées en énergie puisque les nœuds mobiles opèrent habituellement avec des batteries. C'est un intérêt particulier pour ces réseaux où on s'attend à ce que les dispositifs soient déployés pendant de longues périodes. La conservation d'énergie s'avère donc être un facteur primordial pour la durée de vie du réseau. Beaucoup de travaux de recherches ont été consacré à cette issue, Il existe plusieurs solutions qui s'intéressent à la consommation d'énergie.

Dans ce rapport, nous présentons en premier chapitre un état de l'art des réseaux Ad Hoc En seconde, nous entamons le routage multi-chemins. Dans le dernier chapitre, nous présentons la consommation d'énergie dans les réseaux mobiles Ad hoc.

Liste des figures	I
Liste des acronymes	I
Introduction générale.....	02
Chapitre1 : Etat de l’art des réseaux Ad Hoc	03
1.1. Introduction.....	03
1.2. Les environnements mobiles des réseaux Ad Hoc	04
1.3. Mode de communication.....	04
1.4. Les classe des réseaux Ad Hoc	05
1.4.1. Les réseaux avec infrastructure.....	06
1.5. Définition d’un réseau Ad Hoc.....	08
1.6. Les caractéristique d’un réseau Ad Hoc.....	09
1.7. Les application d’un réseau Ad Hoc.....	10
1.8. Définition de routage.....	11
1.8.1. Difficulté de routage dans un réseau Ad Hoc.....	11
1.9. Le fonctionnement du réseau Ad Hoc.....	11
1.10. La qualité de service pour les réseaux Ad Hoc.....	12
1.11. Le routage a chemin unique et l’intérêt du routage multi-chemin.....	13
1.10. Le routage AODV avec la qualité de service	14
Conclusion.....	15
Chapitre2 : Routage des multi-chemins des réseaux Ad Hoc.....	16
2.1. Introduction	17
2.2. Classification des protocoles de routage	18
2.2.1. Les protocoles de routage proactif.....	18

2.2.1.1. Destination sequenced distance vector (DSDV).....	18
2.2.1.2. Les avantages et les inconvénients des protocoles proactifs.....	19
2.2.2. Les protocoles de routage réactif.....	19
2.2.2.1. Ad Hoc On Demande Distance Vector (AODV).....	19
2.2.2.1.1. Principe de fonctionnement.....	20
2.2.2.1.2. Table de routage et Hello.....	20
2.2.2.1.3. Requêtes.....	20
2.2.2.1.4. Réponses.....	21
2.2.2.1.5. Routage.....	22
2.2.2.1.6. Message d'erreur.....	22
2.2.2.2. Les avantages et les inconvénients des protocoles réactifs.....	22
2.2.3. Les protocoles hybrides.....	23
2.2.3.1. Zone Routing Protocole(ZRP).....	23
2.3. La conception de stratégie de routage.....	24
2.4. Routage multi-chemin dans les réseaux Ad Hoc.....	25
2.5. Les avantages de routage multi-chemin.....	26
2.6. Les contrainte de routage multi-chemin.....	26
2.7. Protocole de routage multi-chemin.....	27
2.7.1. Multipath Source Routing (MSR).....	27
2.7.2. Ad Hoc On Demand Multipath Distance vector (AOMDV).....	27
2.7.2.1. Le principe de routage.....	27
2.7.2.2. Construction de route multiple sans boucle de routage.....	28

2.7.2.3. Recherche des routes disjointe.....	29
2.7.2.4. Problématique d’AOMDV.....	30
2.7.3. La norme IEEE 802.11.....	31
2.7.3.1. Les fonctionnalités de la couche MAC.....	32
2.8. Repartir l’information.....	32
2.9. Objectif théorique.....	33
2.10. Consommation d’énergie des réseaux Ad Hoc.....	33
2.9. Energie d’AOMDV.....	34
Conclusion.....	35
Chapitre3 : Consommation d’énergie des réseaux Ad Hoc.....	36
3.1. Introduction.....	37
3.2. Consommation d’énergie dans les différents modes d’opération WNICs.....	37
3.3. Source de perte d’énergie.....	37
3.4. Problème de la consommation d’énergie.....	38
3.5. Etude de la démarche.....	39
3.6. Notre étude.....	39
3.7. Environnement du travail.....	40
3.8. But de la simulation.....	40
3.8.1. Présentation de network simulator NS2.....	41
3.8.2. Exemple de simulation avec NS2.....	41
3.8.3. Le fonctionnement de NS2.....	42
3.8.4. La création de fichier de paramétrage.....	42
3.8.5. Le fichier trace.....	43

3.8.6. The Network Animator (NAM).....	43
3.8.7. Le programme AWK.....	43
3.9. Installation et configuration.....	43
3.9.1. Procédure d'installation du simulateur réseau.....	44
3.10. Simulation.....	44
3.10.1. Topologie d'étude.....	44
3.11. Paramètre de la simulation.....	46
3.12. Modélisation.....	47
3.13. L'implémentation.....	48
Conclusion.....	49
Conclusion générale.....	50
Bibliographie.....	51
Annexe A.....	53
Annexe B.....	54
Annexe C.....	56

AODV	Ad Hoc On Demand Distance Vector
AOMDV	Ad Hoc On Demand Multipath Distance Vector
ADMR	On-Demand Associativity-Based Multicast
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
EMAODV	Energy Multipath Ad-hoc On-Demand Distance Vector routing
FSR	Fisheye Source Routing
FQMM	Flexible Quality of service Model for Manets
IMAQ	An Integrated Mobile Ad hoc QoS framework
MANET	Mobil Ad Hoc Network
MAODV	Multipath Ad-hoc On-Demand Distance Vector routing
MSR	Multipath Source Routing
OLSR	Optimised Link State Routing Protocol
ODMRP	On-Demand Multicast Routing Protocol
QOS	Quality of service
RREQ	Route Request
RREP	Route Replay
RERR	Route Error
SB	Station de Base
SN	Numéro de Squence
SWAM	Service differentiation in Stateless Wireless Ad Hoc Networks
UM	Unité Mobile

3.3. Paramètre de la topologie d'étude.....	45
3.4. Caractère de la machine de la simulation.....	45

1.1. Différent mode de communication.....	06
1.2. Les réseaux cellulaires (GSM).....	07
1.3. Un réseau Ad Hoc.....	08
1.4. Le changement de la topologie des réseaux Ad Hoc.....	09
1.5. Le modèle de réseau Ad Hoc.....	12
2.1. Classification de protocoles.....	17
2.2. Requête pour la découverte de route et lors de la rupture de lien dans AODV.....	22
2.3. Classification de protocoles de routage.....	24
2.4. Structure des entrés des tables de routage AODV et AOMDV.....	29
2.5.les différentes stratégies d'utilisation des routes.....	33
3.1. Montage réseau a simulé.....	42
3.2. Principales étapes de simulation dans NS.....	42
3.5. Topologie d'étude.....	45
3.6. Diagramme d'activité d'AODV.....	47
3.7. Energie consommé par paquet.....	48
A .Interface de commende de NS-2.....	53



Chapitre 1

Etat de l'art sur les réseaux Ad Hoc

1.1. Introduction

Les réseaux sans fil (*Wireless LAN ou WLAN ou IEEE 802.11*), offrent aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. C'est un système de transmission des données, conçu pour assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui compose le réseau. Les réseaux sans fil sont principalement employés lorsqu'il s'agit d'interconnecter des utilisateurs nomades (des portables) entre eux.

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 engendre 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.

Les réseaux Mobiles Ad Hoc (*MANET*) sont des réseaux dynamiques sans infrastructure fixe, permettant aux nœuds mobiles de communiquer entre eux par des rayons utilisant la communication multi-sauts.

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 ensuite leurs principales caractéristiques et enfin les principes des protocoles de routages inter ad hoc les plus connus.

1.2. Les environnements mobiles

Un environnement mobile est un système composé de sites mobiles et qui permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles où sans fil, peuvent être classés en deux catégories: les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

Le modèle de réseau mobile avec infrastructure intègre deux ensembles d'entités distinctes :

- Les sites fixes d'un réseau de communication filaire classique
- Les sites mobiles.

Les sites fixes, appelés stations de base (SB) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites ou unités mobiles (UM), localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule.

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Les sites fixes sont interconnectés entre eux à

travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées [12]. Dans ce modèle, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement rattachée.

Le modèle de réseau mobile sans infrastructure (les réseaux ad hoc) préexistante ne comporte pas de site fixe. Tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil.

L'absence d'infrastructure ou de réseau filaire composé de stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

1.3. Modes de communication dans les réseaux mobile

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 (1.1). [5]

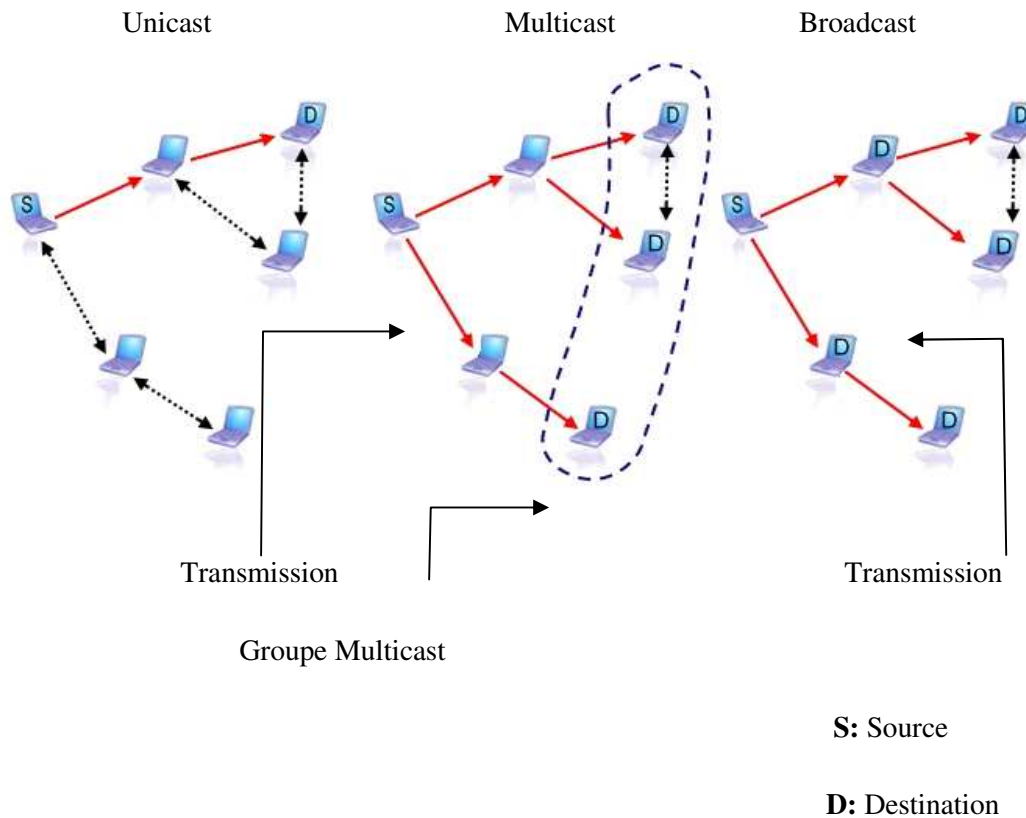


Figure 1.1 : *Les différents modes de communication*

1.4. Les classes de réseaux mobiles

Dans l'espace des réseaux mobiles, nous pouvons distinguer deux classes de réseaux, à savoir, les réseaux mobiles basés sur une infrastructure de communication (*modèle cellulaire*), et les réseaux mobiles sans infrastructure (*modèle ad hoc*).

1.4.1. Les réseaux avec infrastructure (cellulaires)

Dans ce mode, le réseau sans fil est composé de deux ensembles d'entités distinctes : les « sites fixes » d'un réseau de communication filaire classique, et les « sites mobiles ». Certains sites fixes, appelés stations de bases (SB) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites ou les unités mobiles (UM) localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule. Chaque station de base délimite une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont

interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées.

Dans ce modèle, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement rattachée. L'autonomie réduite de sa source d'énergie, lui occasionne de fréquentes déconnexions du réseau.

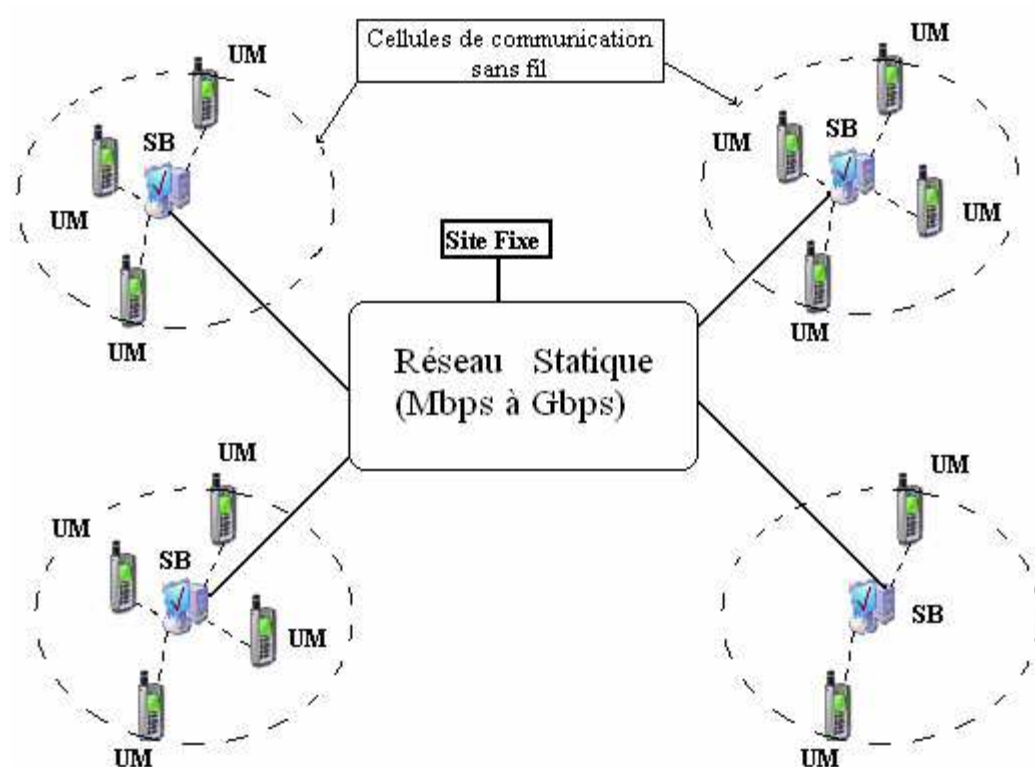


Figure 1.2 : *Le réseau cellulaire (GSM)*

A fin d'agrandir la surface de couverture, plusieurs points d'accès¹ peuvent être installés pour un même 'groupe de travail'. Dans le cas d'utilisateurs mobiles, il y'a possibilité de passer d'un point d'accès à un autre sans perte de lien réseau (comme

pour un réseau GSM schématiser dans la figure 1.2). Cette fonctionnalité s'appelle "Roaming".

1.5. Définition d'un réseau ad hoc

Un réseau mobile Ad Hoc (figure 1.3), appelé généralement MANET (*Mobile Ad hoc NETWORK*), est composé d'unités mobiles qui se déplacent dans un territoire quelconque. Le seul moyen de communication est l'utilisation « des ondes radio » qui se propagent entre les différents nœuds mobiles, sans l'aide d'une infrastructure préexistante ou administration centralisée. [3]

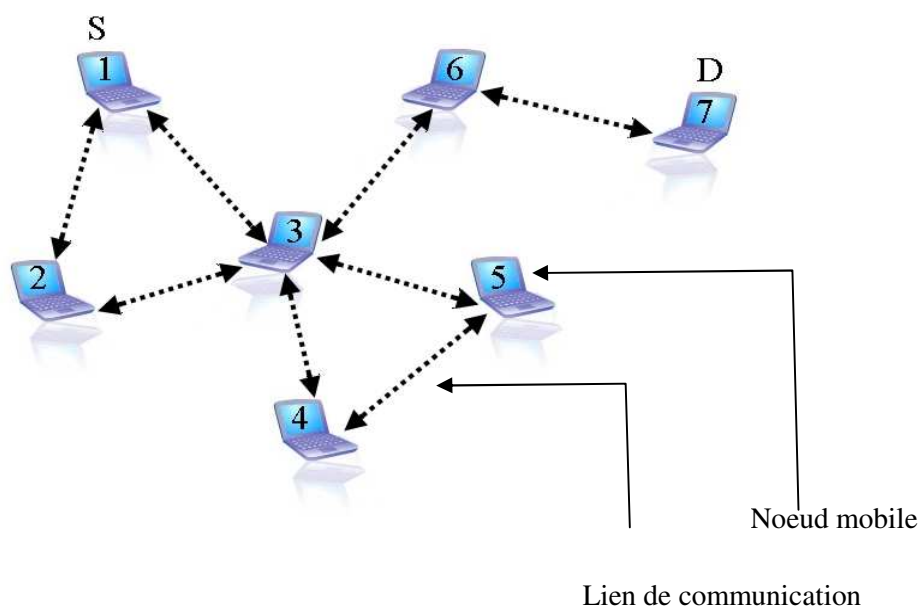


Figure 1.3 : un réseau Ad Hoc.

La topologie du réseau peut changer à tout moment, elle est donc dynamique ce qui fait que la déconnexion des unités soit très fréquente (figure 1.4).

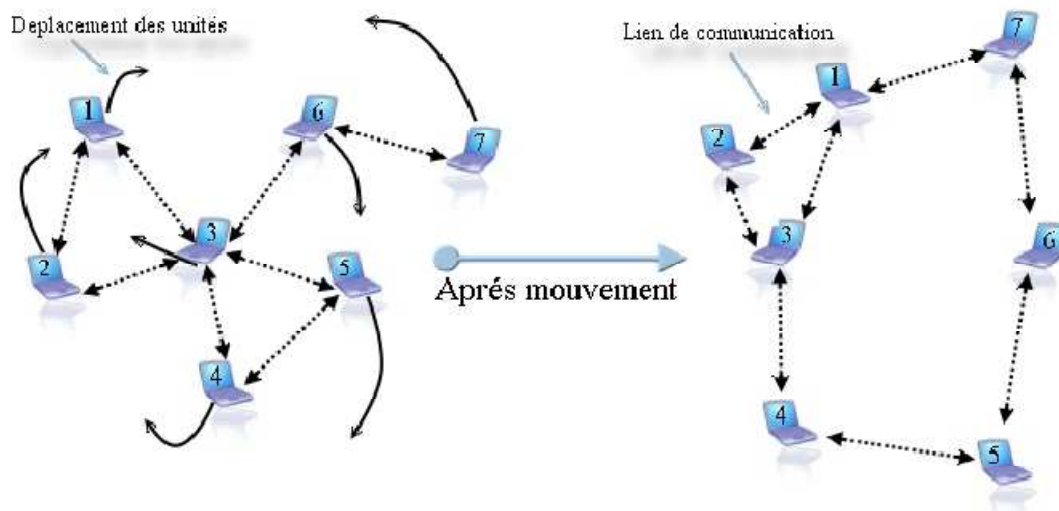


Figure 1.4 : Le changement de la topologie des réseaux Ad Hoc

1.6. Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux sans fil ad hoc se caractérisent principalement par : [5]

- **Bande passante limitée** : Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé (ondes radio). En conséquence nous pouvons dire que la bande passante réservée à un hôte soit modeste.

- **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.

- **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.

- **Erreur de transmission** : Les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.

- **Interférences** : Les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence ou, utilisant des fréquences proches peuvent interférer.

- **Absence d'infrastructure** : Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructures 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.

- **Topologie dynamique** : Les unités mobiles du réseau se déplacent d'une façon aléatoire à des instants imprévisibles.

1.7. Les applications des réseaux mobiles Ad Hoc :

Les applications ayant recours aux réseaux ad hoc couvrent un très large spectre, incluant les applications militaires et de tactique, l'enseignement à distance, les opérations de secours...etc. D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toutes applications où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant [3].

La particularité du réseau ad hoc est qu'il n'a besoin d'aucune installation fixe, ceci lui permettant d'être rapide et facile à déployer. Les opérations tactiques comme les opérations de secours, militaires ou d'explorations trouvent en ad Hoc, le réseau idéal. La technologie ad hoc intéresse également la recherche des applications civiles. On distingue entre autre:

- Les services d'urgence : opération de recherche et de secours des personnes, tremblement 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.
- Les bases de données parallèles.
- 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.
- Le télé-enseignement.

1.8. Définition du routage

Le routage est une méthode à travers laquelle on fait transiter une information donnée depuis un certain émetteur vers un destinataire bien précis. Le problème du routage ne se résume pas seulement à trouver un chemin entre les deux nœuds du réseau, mais encore à trouver un acheminement optimal. [3]

1.8.1. Difficulté de routage dans les réseaux Ad Hoc

Afin de palier aux problèmes dus aux différents mouvements des nœuds mobiles qui pourront modifier le trafic, un réseau ad hoc doit donc pouvoir s'ordonner automatiquement de telles sortes à être déployé rapidement, et de pouvoir s'accommoder aux conditions de propagation. Dans le cas où le nœud destinataire se trouve dans la portée du nœud émetteur nous n'aurons pas besoin de routage proprement dit, malheureusement ce n'est pas toujours le cas, en effet, chaque nœud sera donc susceptible de jouer un rôle dans l'acheminement du paquet vers sa destination finale. Ce qui nous pousse à dire qu'il se peut que plusieurs nœuds puissent participer au routage. Nous parlons alors d'un environnement dit "**multihop**". Autrement dit, chaque nœud participera au processus de routage du paquet. Vu les modestes capacités de calcul et de sauvegarde dont est caractérisé un réseau ad hoc, et la taille du réseau, il est très important de signaler que les méthodes et les approches utilisés pour l'acheminement des paquets dans le réseau sont évidemment différentes et plus complexes à mettre en œuvre par rapport à celles utilisées dans les réseaux classiques (statique). Ce qui nous pousse à dire que la gestion du routage dans un environnement ad hoc diffère de loin à celle utilisée dans les réseaux filaires. [3]

1.9. Le fonctionnement du réseau ad hoc

L'environnement considéré dans cette approche est caractérisé principalement par la mobilité des nœuds [8], cette mobilité représente la caractéristique principale des réseaux mobiles Ad Hoc. Le réseau est constitué d'un nombre quelconque de nœuds mobiles utilisant, afin de communiquer, leurs interfaces de communication sans fil, et une passerelle dotée de deux interfaces (*sans fil et filaire*) (*figure 4.1*), pour

router les paquets en provenance du nœud mobile (*respectivement nœud Internet*) vers un nœud Internet (*respectivement nœud mobile*).

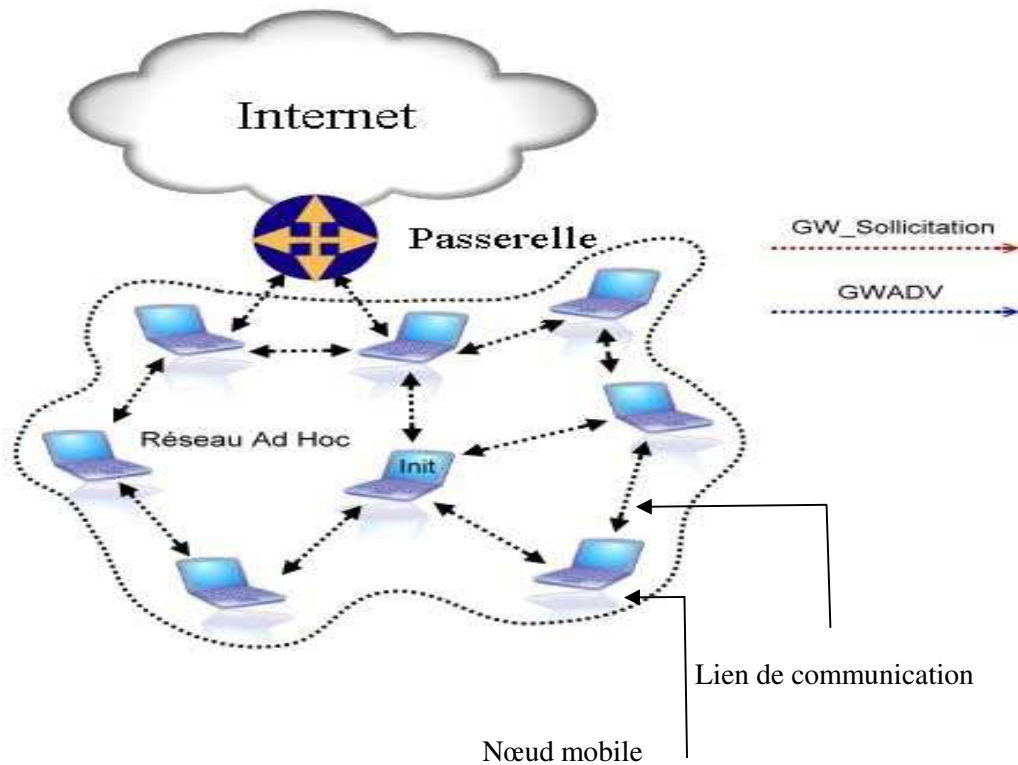


Figure 1.5 : Le modèle du réseau

1.10. Qualité de service pour les réseaux ad hoc

Les solutions de qualité de service pour les réseaux ad hoc peuvent être classifiées en quatre catégories. Les modèles de qualité de service regroupent les définitions d'architectures destinées à assurer une certaine qualité de service (par exemple intserv et diffserv).

- Les mécanismes de réservation définissent un ensemble de messages de contrôle, destinés par exemple à provoquer la réservation de ressources dans les routeurs (par exemple RSVP). [8]

- Les protocoles de routage avec qualité de service sont chargés de la recherche de routes répondant à certains critères.
- Différenciation des services fournissent un ensemble d'outils permettant de mettre en œuvre certaines règles de qualité de service.

➤

1.11. Le routage à chemin unique et l'intérêt du routage multi-chemins

Les réseaux Ad Hoc doivent être aptes à se créer et à s'organiser dynamiquement. Ces réseaux, dans lesquels les nœuds sont à la fois des terminaux et des routeurs, nécessitent la mise en œuvre de protocoles de routage spécifiques pour l'acheminement des messages. [11]

Les protocoles de routage destinés à ce genre de réseaux doivent satisfaire essentiellement les critères suivants :

- Conservation de ressources : les protocoles doivent optimiser l'utilisation des ressources rares comme la largeur de bande, la puissance de calcul, la mémoire et l'énergie
- Routes multiples : à cause des échecs de liaison fréquents surtout lorsque les nœuds sont très mobiles, les protocoles doivent fournir une multitude de routes pour garantir une livraison maximale des paquets.
- Minimum de charge de contrôle : les paquets de contrôles doivent être tenus aussi faibles que possibles, comme ils consomment la bande passante ils peuvent causer collisions avec des paquets de données, réduisant ainsi le débit.
- Adaptabilité : les protocoles doivent être capables de bien fonctionner dans un réseau de grand nombre de nœuds. Cela exige la minimisation du trafic de contrôle.

Cependant, aucun des protocoles à chemin unique proposées ne satisfait toutes les propriétés désirables. L'avantage du routage multi-chemin, qui utilise plusieurs routes pour la transmission des paquets de données entre une source et une destination, il permet de fournir la livraison maximale de données en divisant le trafic de données à transmettre sur les différentes routes valables entre une paire de nœuds avec la contrainte mobiles et de topologie dynamique.

1.12. Le routage AODV avec qualité de service

L'introduction de la qualité de service dans AODV repose sur l'ajout d'un champ dans les paquets de contrôle RREQ, RREP. Ce champ peut être associé au paramètre délai ou au paramètre bande passante. À la réception d'un message RREQ, chaque mobile vérifie qu'il est en mesure d'honorer le service demandé, avant de retransmettre le message. [11]

Le protocole de routage AODV avec QOS a pour objectif de :

Améliorer la QOS dans les réseaux ad hoc.

- Introduire une métrique plus appropriée que la distance (nombre de sauts).
- faire face aux changements fréquents de la topologie due à la mobilité des nœuds.

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré sur les concepts des environnements mobiles et en particulier sur les réseaux ad hoc. Ces environnements sont caractérisés par de fréquentes déconnexions des nœuds et des restrictions sur les ressources utilisées, surtout si tous les usagers du système sont mobiles ce qui est le cas pour les réseaux ad hoc. Ces limitations transforment certains problèmes, ayant des solutions évidentes dans l'environnement classique, en des problèmes complexes et difficiles à résoudre.

Bien que ces réseaux présentent des avantages énormes, mais malheureusement beaucoup de problèmes restent à résoudre, notamment le problème du routage que nous verrons dans le chapitre suivant.



Chapitre 2

Les protocoles de routage multi -chemin

2.1. Introduction

Lors de la transmission d'un paquet de données d'une source vers une destination, il est nécessaire de faire appel à un protocole de routage qui acheminera correctement le paquet par le meilleur chemin. Comme nous avons déjà vu, un réseau ad hoc est un ensemble de nœuds mobiles qui sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière où l'interconnexion entre les nœuds peut changer à tout moment. Dans la plupart des cas, l'unité destination ne se trouve pas obligatoirement dans la portée de l'unité source ce qui implique que l'échange des données entre deux nœuds quelconques, doit être effectué par des stations intermédiaires.

Pour cela le réseau doit donc s'organiser automatiquement et réagir rapidement aux différents mouvements des nœuds. Chaque unité devient donc un nœud susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage. De nombreux protocoles ont été proposés, ils peuvent être classés en deux catégories (figure 2.1), les protocoles proactifs et les protocoles réactifs. Les protocoles proactifs établissent les routes à l'avance en se basant sur l'échange périodique de tables de routage alors que les protocoles réactifs recherchent les routes à la demande du réseau.

Il existe une troisième approche, dite hybride, qui combine les deux approches précédentes. Dans ce chapitre, nous allons décrire en détail un certain nombre de protocole de routage.

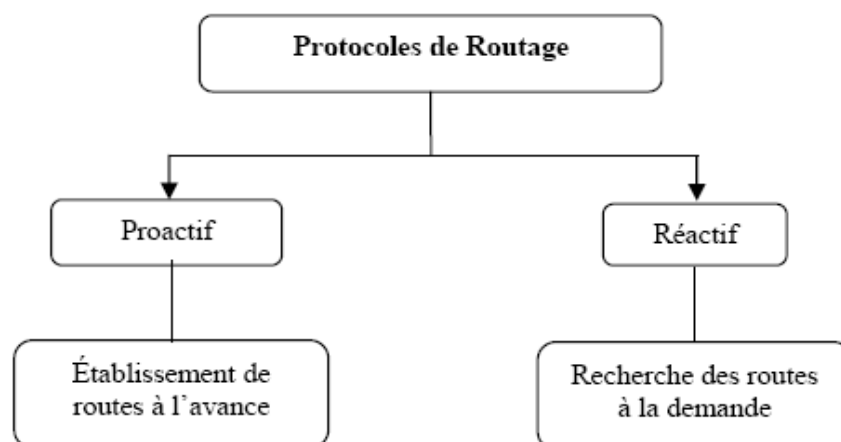


Figure 2.1 : Classification des protocoles

2. 2. Classification des protocoles de routage

Le principal but de toute stratégie de routage est de mettre en œuvre une bonne gestion d'acheminement qui soit robuste et efficace. D'une manière générale, toute stratégie de routage repose sur des méthodes et des mécanismes que l'on peut regrouper en trois grandes classes : les protocoles de routage proactifs, les protocoles de routage réactifs et les protocoles de routage hybrides. [2]

2.2.1. Les protocoles de routage proactifs

Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles (qui peuvent représenter l'ensemble de tous les nœuds du réseau) au niveau de chaque nœud du réseau. Les routes sont sauvegardées même si elles ne sont pas utilisées. La sauvegarde permanente des chemins de routage, est assurée par un échange continu des messages de mise à jour des chemins, ce qui induit un contrôle excessif surtout dans le cas des réseaux de grande taille. L'avantage premier de ce type de protocole est d'avoir les routes immédiatement disponibles quand les nœuds en ont besoin, mais cela se fait au coût d'échanges réguliers de messages (consommation de bande passante) qui ne sont certainement pas tous nécessaires (seules certaines routes seront utilisées par les nœuds en général).

Deux principales méthodes sont utilisées dans cette classe de protocoles proactifs : la méthode *Link state* et la méthode *Distance Vector*. Ces méthodes sont utilisées aussi dans les réseaux filaires. Parmi les protocoles de routages proactifs les plus connus on citera le DSDV, FSR, OLSR [2]

2. 2.1.1. Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)

Le protocole DSDV est basé sur l'algorithme distribué de Bellman-Ford qui a été amélioré pour éviter des boucles dans les tables de routage. Chaque nœud du réseau contient une table de routage dans laquelle sont entrées toutes les destinations accessibles, ainsi que le nombre de nœuds intermédiaires par lesquels transiter pour atteindre la destination. A chaque entrée est associé un numéro de séquence, donner par le nœud destination, permettant de distinguer les nouvelles routes des anciennes et

d'éviter la formation de boucles de routage « routing loop », et celui de « counting to infinity ». [1]

2.2.1.2. Les avantages et les inconvénients des protocoles proactifs :

Avec un protocole proactif, 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 routage peut être important et partiellement inutile, ce qui gaspille la capacité du réseau sans fil. De plus, la taille des tables de routage croît linéairement en fonction du nombre de nœud. [2]

2.2.2. Protocoles de routages réactifs

Les protocoles réactifs, quant à eux, ne gardent que les routes en cours d'utilisation pour le routage. A la demande, le protocole va chercher à travers le réseau une route pour atteindre une nouvelle destination. Ce protocole est basé sur le principe de l'ouverture de route à la demande, ainsi lorsqu'un nœud veut communiquer avec une station distante, il est obligé de déterminer une route dynamiquement. Cette technique permet de ne pas inonder le réseau par de paquets de contrôle et de ne conserver que les routes utilisées. [1]

2.2.2.1. Ad Hoc on-Demand Distance Vector (AODV)

Le protocole AODV est un protocole basé sur la construction des tables de routage. En effet, chaque nœud possède sa propre table de routage contenant pour chaque destination le prochain nœud à contacter.

La découverte d'une route se fait par inondation par l'émetteur d'un paquet RREQ (Route Request). A la réception d'un de ces paquets, si le nœud connaît le chemin pour accéder à la source, il envoie une réponse RREP (Route Reply) à l'émetteur qui arrête d'inonder le réseau. Si le nœud ne connaît pas le chemin, il transmet le paquet à ses voisins tout en mémorisant le nœud précédent ayant fait la requête.

En cas de cassure du lien, un message RERR (Route Error) est envoyé à l'émetteur qui décide ou non de recommencer l'envoi du paquet suivant le taux d'utilisation de la route. [1]

2.2.2.1.1. Principe de fonctionnement

Le protocole AODV minimise sensiblement le nombre de diffusions de messages en créant le chemin à la demande, c'est-à-dire qu'il ne construit de route entre nœuds que lorsqu'elle est demandée par un nœud source, ce nœud la maintient durant le temps qu'il en fait usage. De plus, le routage se fait nœud à nœud et le protocole utilise le principe des numéros de séquence permettant aux nœuds d'utiliser les routes les plus fraîches.

2.2.2.1.2. Table de routage et HELLO

Chaque nœud maintient un numéro de séquence $V.SN$ et une table de routage $V.RoutingTable$, qui contient les destinations pour V . Le contenu d'une entrée est le suivant : [4]

- $RoutingTable[W].SN$: le dernier numéro de séquence connu de W ;
- $RoutingTable[W].NextHop$: le successeur de V (voisin de V sur le chemin choisi menant à W) ;
- $RoutingTable[W].Dist$: la distance entre V et W en nombre de saut ;
- $RoutingTable[W].Lifetime$: le temps de vie pour lequel la route est considérée correcte ;
- $RoutingTable[W].Precursors$: la liste des voisins qui utilisent cette route, (c'est-à-dire les voisins pour qui V est le successeur dans le chemin menant à W).

Chaque nœud conserve à jour une liste de voisins grâce à des messages HELLO envoyés périodiquement. Si ces messages ne sont plus reçus, le lien est considéré comme invalide.

2.2.2.1.3. Requêtes

Quand un nœud V veut connaître un chemin vers une destination W et que $V.RoutingTable$ ne contient pas d'information suffisante, il incrémente son SN puis lance une recherche de route en diffusant un message "route request" RREQ à ses voisins contenant : [4]

- $RREQ.Identifiant$: l'identifiant du message ;
- $RREQ.Dest$: la destination à atteindre W ;
- $RREQ.DestSN$: le dernier numéro de séquence de la destination connu (éventuellement inconnu) ;
- $RREQ.Source$: la source du message V ;

- RREQ.SourceSN : le numéro de séquence de la source ;
- RREQ.TTL : la portée du message, soit le nombre maximum de sauts pouvant être franchis depuis la source ;
- RREQ.Count : la distance parcourue.

En attente d'une réponse, une copie de chaque RREQ est enregistrée par chaque intermédiaire.

A la réception d'un tel message un nœud U commence par mettre à jour le lien avec dernier saut. Puis il vérifie s'il a déjà reçu le message (mêmes RREQ.Identifiant et RREQ.Source) auquel cas cette dernière version n'est pas prise en compte.

Sinon, soit :

- U est la destination ($U=W$) ou connaît une route vers la destination, auquel cas il envoie une réponse à la source ;
- U ne sait pas atteindre la destination mais la distance déjà parcourue a atteint la portée maximale, auquel cas on stoppe la diffusion ;
- la distance est encore inférieure à la portée maximale du message, auquel cas il est diffusé après incrémentation de la distance.

2.2.2.1.4. Réponses

En cas de réponse, le nœud U commence par incrémenter son propre SN et diffuse RREP : [4]

- RREP.Dest : la destination atteinte ou désormais accessible (W dans l'exemple) ;
- RREP.DestSN : le numéro de séquence de la destination ;
- RREP.Source : la source du message de requête (V dans l'exemple) ;
- RREP.Lifetime : la durée de vie, période pendant laquelle la route créée est valide ;
- RREP.Count : la distance parcourue.

En utilisant le chemin inverse de celui utilisé par RREQ. En effet chaque intermédiaire connaît alors une route au nœud source, à supposer que les liens soient bien bidirectionnels (Fig. 2.2).

Si aucun message n'est reçu par V au bout d'un certain temps il renvoie un RREQ avec un nouveau SN, un nouvel identifiant et une portée plus grande. Après un certain nombre d'envois sans succès la recherche est abandonnée.

2.2.2.1.5. Routage

Grace aux mécanismes de requêtes/réponses, chaque nœud a pu choisir un voisin privilégié à utiliser pour atteindre la source d'une part, d'autre part pour atteindre la destination (ceux-ci sont stockés dans sa table de routage). Tout paquet de donnée peut alors être envoyé directement sur le réseau :

Chaque intermédiaire se charge alors de le faire se rapprocher de sa destination.

2.2.2.1.6. Message d'erreur

Si une perte de lien est détectée, un RERR est envoyé avec : [4]

- RERR.UDest : la destination inatteignable ;
- RERR.UDestSN : le numéro de séquence de la destination ;
- RERR.Count : la distance parcourue ; et met `a jour chaque intermédiaire jusqu'à la source.

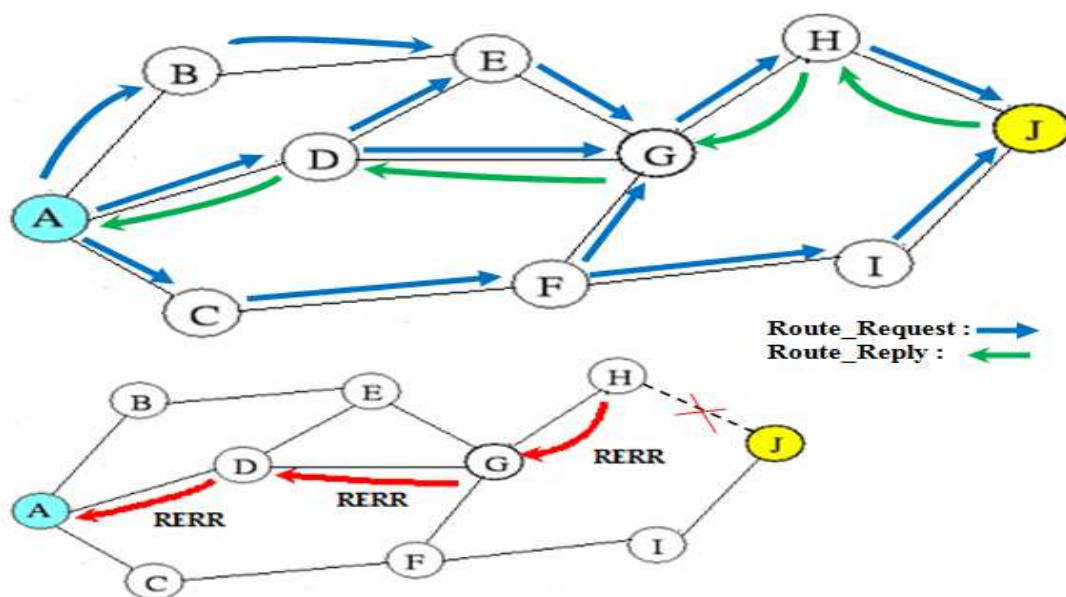


Figure 2.2: Requêtes pour la découverte de routes et lors de la rupture de lien dans AODV

2.2.2.2. Les avantages et les inconvénients des protocoles réactifs :

A l'opposé des protocoles proactifs, dans le cas d'un protocole réactifs, 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 couteuse et provoque des délais important avant l'ouverture de la route et les retards dépassent bien souvent les délais moyens. [3]

2.2.3. Les protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux idées : celle des protocoles proactifs et celle des protocoles réactifs. Ils utilisent un protocole proactif pour avoir des informations sur les voisins les plus proches (au maximum les voisins à deux sauts). Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel aux techniques des Protocoles réactifs pour chercher des routes.

Ce type de protocoles s'adapte bien aux grands réseaux, cependant, il cumule aussi les inconvénients des protocoles réactifs et proactifs en même temps (*messages de contrôle périodique, le coût d'ouverture d'une nouvelle route*). Plusieurs protocoles hybride existent dont le **CBRP** et le **ZRP** (*Zone Routing Protocol*) [2].

2.2.3.1. Zone Routing Protocol (ZRP)

Ce protocole spécifie une zone de routage autour de chaque nœud avec un certain nombre de sauts. A l'intérieur de cette zone, les protocoles proactifs sont utilisés pour acheminer les paquets. Mais, en dehors de cette zone se sont les protocoles réactifs qui sont employés. Pour cela, il est basé sur deux procédures : IARP (IntraZone Routing Protocol) et IERP (IntErzone Routing Protocole). [8]

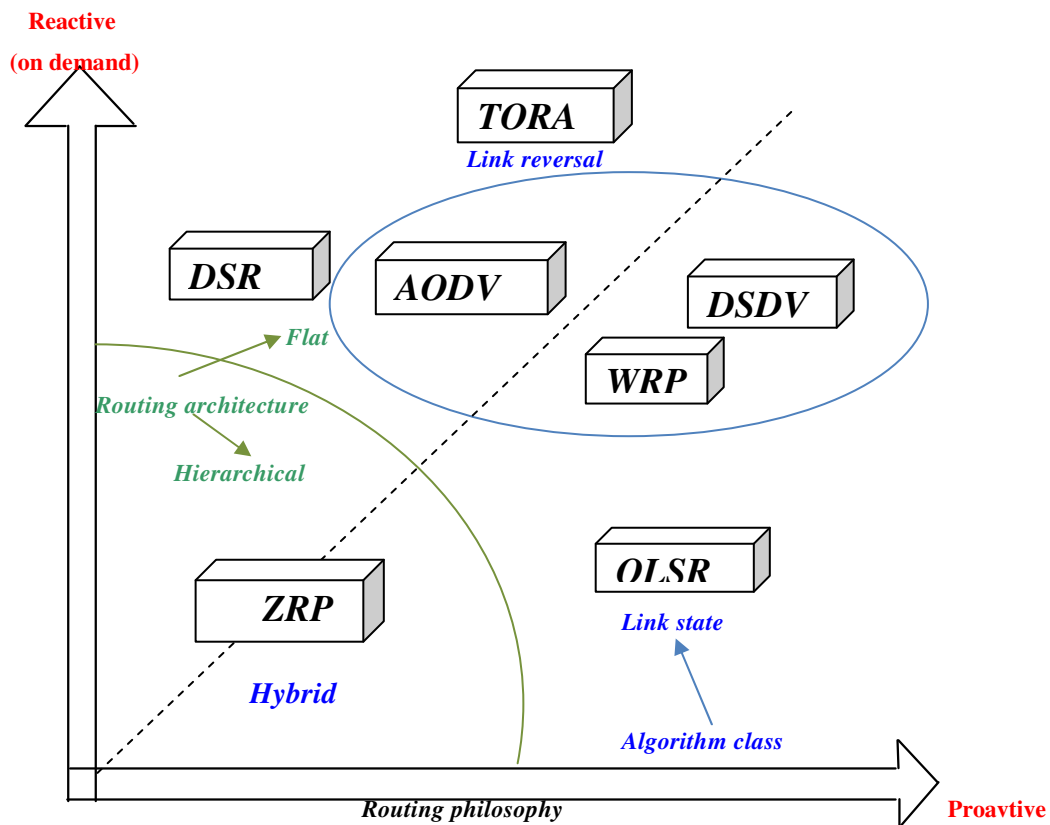


Figure 2.3 : Classification des protocoles de routage

2.3. La conception des stratégies de routage

L'étude et la mise en œuvre d'algorithmes de routage pour assurer la connexion des réseaux ad hoc au sens classique du terme (tout sommet peut atteindre tout autre), est un problème complexe. L'environnement est dynamique et évolue donc au cours du temps, la topologie du réseau peut changer fréquemment. Il semble donc important que toute conception de protocole de routage doive tenir compte de tous les facteurs et limitations physiques imposées par l'environnement afin que les protocoles de routage résultant ne dégradent pas les performances du système :

- La minimisation de la charge du réseau : l'optimisation des ressources du réseau renferme deux autres sous problèmes qui sont l'évitement des boucles de routage, et l'empêchement de la concentration du trafic autour de certains nœuds ou liens.
- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables : le fait que les chemins utilisés pour router les paquets de données puissent évoluer, ne doit pas avoir d'incident sur le bon acheminement des données. L'élimination d'un

lien, pour cause de panne ou pour cause de mobilité devrait, idéalement, augmenter le moins possible les temps de latence.

- Assurer un routage optimal : la stratégie de routage doit créer des chemins optimaux et pouvoir prendre en compte différentes métriques de coûts (bande passante, nombre de liens, ressources du réseau, délais de bout en bout,...etc.). Si la construction des chemins optimaux est un problème dur, la maintenance de tels chemins peut devenir encore plus complexe, la stratégie de routage doit assurer une maintenance efficace de routes avec le moindre coût possible.

- Le temps de latence : la qualité des temps de latence et de chemins doit augmenter dans le cas où la connectivité du réseau augmente. [1]

2.4. Routage multi-chemin dans les réseaux ad hoc:

Dans un environnement caractérisé par des nœuds mobiles, le changement de la topologie peut non seulement déclencher une phase de recalcul des routes une seule fois mais plusieurs fois. Il est clair que le routage dans les réseaux MANET doit prendre en considération ces caractéristiques.

Le routage multi-chemin représente une stratégie de routage efficace pour les réseaux sans fils Ad Hoc. Il assure l'équilibrage de charge et il est très efficace pour la résolution du problème de la rupture des liens.

- ◆ L'équilibrage de charge a une grande importance dans les réseaux mobiles Ad Hoc surtout à forte charge puisque la bande passante entre les nœuds est limitée. En utilisant la technique de routage multi-chemin, le trafic sera divisé entre plusieurs routes au lieu d'une seule route dans le routage à chemin unique, ce qui permet d'alléger la congestion et les goulots d'étranglement, ce qui favorise l'équilibrage de charge.

- ◆ Le routage multi-chemin permet de prémunir contre le problème de rupture de liens. Dans les réseaux mobiles Ad Hoc, en utilisant un protocole de routage à chemin unique une nouvelle phase de découverte de route doit être déclenchée lors de chaque rupture de route. Or toute phase de découverte de route correspond à une latence et un over Head assez important. Mais en utilisant un protocole de routage multi-chemin, une nouvelle phase de découverte de route n'aura lieu que lorsque toutes les routes établies qui mènent d'une source vers une destination sont perdues. [5]

2.5. Les avantages de routage multi-chemins

2.5.1 Augmentation de la capacité

Dans le cas où les nœuds disposent chacun de deux interfaces, il est naturellement possible de doubler la capacité du medium radio en utilisant les interfaces sur deux canaux séparés. Alors on peut envisager un équilibrage de charge comme pour les solutions filaires. Néanmoins, si les nœuds ne disposent pas tous de deux interfaces, l'utilisation de multi-chemins permet une utilisation plus équilibrée des ressources du réseau. En effet, en répartissant le flux sur plusieurs chemins, on répartit par la même occasion l'utilisation des ressources des nœuds intermédiaires et le débit utilisé sur les liens. Sachant que les nœuds d'un réseau ad hoc sont souvent limités en capacité de traitement, cette répartition est souhaitable. [5]

2.5.2 Augmentation de la fiabilité

À chaque changement d'état du réseau, que ce soit un changement de mesure de QOS ou de topologie, des paquets de données sont susceptibles d'être perdus. L'utilisation de multi-chemins suggère deux solutions au problème.

D'abord implicitement, en répartissant les paquets successifs sur plusieurs chemins. En cas de rupture d'un des chemins, seuls les paquets émis le long du chemin défectueux peuvent être perdus, le temps que les multi-chemins soient recalculés. Ensuite explicitement, en émettant une copie du même paquet sur chacun des chemins possibles. Cette duplication n'est effectuée qu'aux bifurcations, pour ne pas gaspiller inutilement les ressources et simplifier le routage. Cette deuxième technique est toutefois inadaptée pour les protocoles qui ne gèrent pas les numéros de séquence au niveau de la couche transport (le protocole UDP par exemple), sans lesquels il est impossible d'éliminer les doublons à l'arrivée.

2.6. Contraintes de routage multi-chemin

Dans un réseau ad hoc, théoriquement une situation où le nombre de routes est grand et intéressante, mais pratiquement il faut que ces routes correspondent réellement à des circuits différents pour l'information.

L'indépendance des routes est donc un critère fondamental, elle est réalisée lorsque :

- Les routes sont disjointes

- Les routes n'interfèrent pas (les nœuds d'une routes sont hors de la portée des nœuds d'une autre route)

2.7. Protocoles de routage multi-chemins :

2.7.1. Multipath Source Routing : MSR

MSR est une extension multi-chemin du protocole de routage DSR [5]. En utilisant le routage source MSR pour améliorer les performances du réseau en permettant d'utiliser des routes multiples pour lutter contre la congestion du réseau et le problème de rupture de liens. Toutefois la maintenance de routes alternatives nécessite un espace supplémentaire dans la table de routage et un overhead important. Mais l'utilisation de plusieurs caractéristiques héritées de DSR comme le routage source et sa nature « on demand » peut minimiser ces inconvénients. MSR est basé sur deux mécanismes qui le différencient de DSR :

- La recherche des routes multiples disjointes.
- La transmission des paquets de données et l'équilibrage de charge.

2.7.2 Ad Hoc On Demand Multipath Distance Vector: AOMDV

Pour réduire les interruptions des communications dans les réseaux Ad Hoc, la phase de découverte des routes doit être efficace surtout lorsque les nœuds sont mobiles et la topologie est très dynamique, de là, plusieurs protocoles sont mis en œuvre tel que le protocole de routage multi-chemin AOMDV [5]. C'est une version multi-chemin du protocole de routage AODV, qui permet de calculer plusieurs routes entre une paire de nœuds.

2.7.2.1. Principe de routage

L'idée principale d'AOMDV est de calculer des routes multiples dans la phase de découverte de route pour lutter contre les ruptures de liens. En fait le but principal de la conception de ce protocole est de chercher plusieurs routes pendant une même phase de découverte de routes mais on ne peut utiliser que la meilleure en terme du nombre de saut pour la transmission de données entre une source et une destination, les autres routes calculées ne seront utilisées que lorsque la route principale est rompue (la route devient invalide). Ce protocole est donc destiné pour les réseaux Ad

Hoc où la mobilité des nœuds est importante et par conséquent la rupture des routes est fréquente.

AOMDV utilise le maximum possible des informations disponibles dans AODV, mais pour calculer des routes multiples il ajoute un nombre supplémentaire de paquets de contrôles « overhead ».

AOMDV est basé sur deux mécanismes essentiels:

- □ Une règle de mise à jour des routes : pour maintenir des multiples routes sans les boucles de routage.
- □ Un mécanisme distribué entre les différents nœuds du réseau: pour calculer des routes disjointes.

2.7.2.2. Constructions de routes multiples sans boucles de routage

Etant donné que pour éliminer les éventuelles boucles de routage, AOMDV maintient la même règle d'AODV.

AOMDV est basé sur le principe du “*advertised hopcount*” [6]. L'*advertised hopcount* d'un nœud i pour une destination d représente le maximum *hopcount* des routes multiples disponibles pour i vers la destination d . Le maximum *hopcount* est considéré comme le nombre de sauts qui ne change jamais pour le même numéro de séquence.

Le protocole permet d'accepter seulement les routes alternatives ayant un *hopcount* inférieur à l'*advertised hopcount*. Cette condition est nécessaire pour garantir des routes sans boucles de routage. La figure (2.3) représente la structure des tables de routage du protocole multi-chemin AOMDV et celui à chemin unique AODV.

Table de routage AOMDV

destination
sequence_number
advertised_hopcount
route list {(nexthop1,hopcount1), (nexthop2, hopcount2), ...}
expiration timeout

Table de routage AODV

destination
sequence_number
hop count (nbr saut)
next hop
expiration timeout

Figure 2.4 : Structure des entrées des tables de routage d'AODV et AOMDV [6]

2.7.2.3. Recherche des routes disjointes

AOMDV permet de construire des routes multiples à liens disjoints, c'est-à-dire des routes multiples qui n'ont pas des liens en commun entre les différentes routes qui mènent d'une source vers une destination bien précise.

Des modifications peuvent être mises en place dans le processus de découverte de route d'AOMDV pour permettre la formation des routes à nœuds disjoints entre les nœuds intermédiaires et la source ou la destination.

AOMDV ajoute un nouveau champ appelé *firsthop* pour chaque paquet *RREQ*. Ce champ indique le premier saut (voisin de la source) qui l'a acheminé. En plus, chaque nœud maintient une liste, *firsthop_list*, pour chaque *RREQ* pour garder une trace de la liste des voisins de la source à partir desquels une copie de *RREQ* a été reçue.

Dans les nœuds intermédiaires, les copies dupliquées de *RREQ* ne doivent pas être immédiatement supprimées comme dans le cas d'AODV. Chaque copie est examinée pour voir si elle procure un nouveau chemin à nœuds disjoints vers la source, cette vérification est assurée grâce au champ *firsthop* du paquet *RREQ* et la liste *firsthop_list* du nœud. Si on s'assure que *RREQ* apporte un nouveau chemin, l'AOMDV invoque la règle de mise à jour pour vérifier si la route inverse peut être mise en place ou non. Si la route inverse peut être mise en place et la route vers la destination est valide, le nœud intermédiaire envoie un *RREP* vers la source.

Comme pour les nœuds intermédiaires, la destination doit vérifier que les routes inverses peuvent être mises en place. Elle doit garantir que les liens sont disjoints, uniquement avec ces voisins. Au-delà du premier saut, le *RREP* suit les routes inverses qui ont été mises en place et qui sont déjà formées de nœuds disjoints. Chaque *RREP* arrivant à un nœud intermédiaire peut suivre plus qu'une route inverse lorsqu'une multitude de routes est déjà disponible.

La destination répond à K copies de *RREQ*. Le paramètre k est utilisé pour contrôler le nombre de *RREP*. [6]

2.7.2.4. La problématique de AOMDV

Dans ce protocole lors d'une rupture de liens au niveau de la route principale, à travers laquelle on transmet les données, la source change cette route par une des routes alternatives au lieu de déclencher une nouvelle phase de découverte des routes. Ainsi une nouvelle phase de découverte des routes n'est déclenchée que lorsque toutes les routes multiples alternatives sont rompues.

Le problème de ce protocole [7] est que pendant une même phase de découverte des routes, plusieurs routes qui mènent entre une source et une destination sont établies mais uniquement le meilleur chemin en termes de nombre de sauts est sélectionné pour la transmission des données entre une source et une destination. Les autres routes ne seront utilisées que lorsque la première route sélectionnée est rompue. En effet, le calcul et le maintien de plusieurs routes entre une source et une destination exige une occupation plus importante de la table de routage, consomme de la mémoire du nœud et accroît la taille des entêtes des paquets alors qu'on ne bénéficie que d'une seule route pour la transmission ce qui constitue un handicap majeur dans notre contexte.

2.7.2.5. Les modifications du protocole multi-chemin AOMDV

AOMDV permet de chercher plusieurs routes [7] entre une source et une destination pendant une seule phase de découverte de routes mais n'utilise qu'une seule route pour la transmission de données :

Lorsque la source reçoit un ou plusieurs paquets *RREP* venant de plusieurs routes disjointes, elle décide :

- Si aucun *RREP* n'est reçu, une nouvelle phase de découverte de route est déclenchée.
- Si un seul *RREP* est reçu donc une seule route est reconnue entre la source et la destination, alors elle envoie les paquets de données sur cette route.
- Sinon, si plusieurs *RREP* ont été reçus, la source choisit la meilleure route c'est-à-dire celle ayant le plus petit nombre de saut « *hopcount* ». Les autres routes restent en attente de l'arrivée d'un paquet RERR indiquant la rupture de la route principale, dans ce cas la meilleure route parmi les routes alternatives est sélectionnée pour retransmettre les données.

2.7.3. La norme IEEE 802.11

La norme 802.11 (wifi) définie en 1997 par le groupe de travail chargé de la normalisation des réseaux sans fil au Etats-Unis, elle est devenue un standard de référence pour la communication sans fil.

Les normes 802.11 ne s'appliquent pas que pour définir les deux premières couches du modèle OSI, autrement dit la couche physique (gérant la modulation du signal et câblage en filaire) et la couche liaison de données (responsable de la mise en relation des machines via l'adressage physique et le protocole d'accès).Elles se déclinent principalement en 802.11 , 802.11a , 802.11b, 802.11g ET 802.11n.

Ces normes offrent de meilleurs débit jusqu'à 54 MBPS théorique. La norme la plus répandue et la 802.11b, elle offre un débit théorique de 11 MBPS avec une portée radio pouvant aller jusqu'à 300 M.

Le wifi cible deux contextes distincts pour un réseau wifi ayant chacun des caractéristiques propres. il s'agit du mode infrastructure et du mode ad hoc (sans infrastructure).ces deux modes de fonctionnement permettent de définir la topologie du réseau sans fil. [5]

2.7.3.1. Les fonctionnalités de la couche MAC

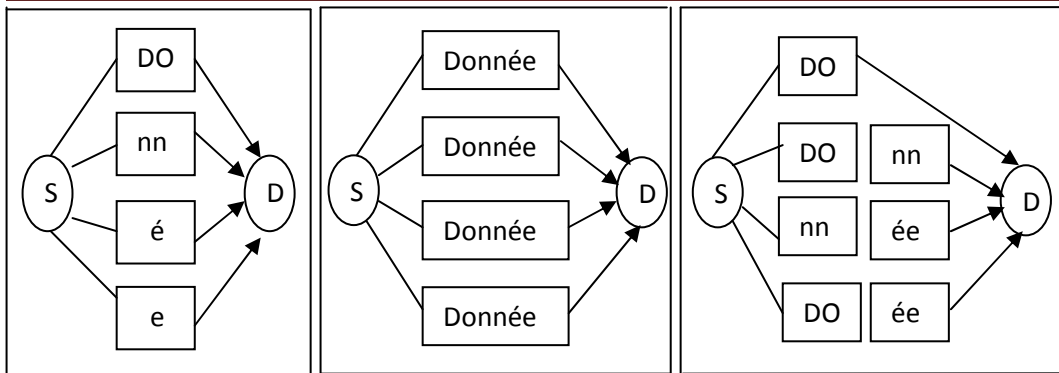
La couche MAC fournit les fonctionnalités suivantes : [3]

- contrôle d'accès au support;
- adressage et formatage des trames;
- contrôle d'erreur permettant de contrôler l'intégrité de la trame à partir d'un *Cyclic Redundancy Check* (CRC);
- fragmentation et réassemblage;
- Qualité de service (QoS - *Quality of Service*);
- gestion de l'énergie;
- gestion de la mobilité;
- sécurité.

2.8. Répartir l'information :

Répartir l'information, consiste à diviser l'information en plusieurs parties, chacune étant envoyée sur une route différente, on peut envisager les stratégies de répartition suivantes : [5]

- **Répartition pure** : elle consiste à diviser l'information en plusieurs parties, chacune étant envoyée par une route différente.
- **Duplication** : elle consiste à créer des copies de l'information originale et à envoyer chaque version sur une route différente.
- **Stratégie mixte** : elle permet d'intégrer une redondance partielle de l'information, on peut par exemple, comme dans la figure (2.4) découper l'information originale puis créer des copies de fragments dispersés sur les routes.



(a) Répartition pure

(b) Duplication

(c) Stratégie mixte (image fausse)

Figure 2.5 : Les différentes stratégies d'utilisation des routes

2.9. Objectif théorique

Le choix idéal des routes est de favoriser la bonne réception de l'information originale P générée par le nœud S (nœud source). Cette information peut être reconstruite au niveau du nœud D (nœud destination). Cette probabilité dépend de différents critères :

- La topologie des nœuds disponibles
- L'énergie des nœuds
- Le choix des routes
- Le choix de la redondance introduite sur l'information originale
- La répartition de l'information redondance sur les différentes routes

2.10. Consommation d'énergie dans les réseaux Ad Hoc :

Un équipement mobile possède typiquement plusieurs composants matériels qui consomment de l'énergie, tel que : le CPU, disque écran, interface de consommation sans fil (WNIC).selon [KRAVETS 1998 ET STEMM 1997], le WNIC consomme jusqu'à 50% de l'énergie globale de l'équipement mobile .

Les protocoles de routage a basse consommation d'énergie proposés dans la littérature pour les réseaux MANETs, cherchent soit à minimiser l'énergie dissipée en communication active (durant les opérations d'émission et de réception) ou celle consommée dans les périodes inactives (quand le WNIC n'effectue aucune consommation) [10]

2.11. Energie AOMDV

Ce mécanisme propose une nouvelle approche adaptative qui vise à incorporer la métrique " l'énergie résiduelle des nœuds" au lieu du nombre des sauts dans le processus de sélection de la route. En effet, on définit le taux de consommation de l'énergie pour chaque nœud qui permet d'estimer sa durée de vie. Ensuite, on définit un coût qui correspond à cette durée ainsi qu'au niveau d'énergie. Cette information est alors utilisée pour le calcul des routes. [8]

Conclusion

Les protocoles de routage utilisés dans les réseaux ad hoc sont divisés en deux catégories. Les protocoles proactifs qui tentent de maintenir à jour une représentation actuelle du réseau, et les protocoles de routage réactifs qui déterminent une route uniquement en cas de besoin. Il existe aussi les protocoles mélangeant les deux procédés, ce sont les protocoles de routage hybrides.

L'étude et la mise en œuvre de protocoles de routage pour assurer la connexion des réseaux ad hoc est un problème compliqué. C'est pourquoi la stratégie de conception d'un nouveau protocole de routage doit tenir compte de tous les facteurs et limitations physiques imposés par l'environnement afin que le «routage» ne dégrade pas les performances du système.



Chapitre 3

Consommation d'énergie dans les réseaux
Ad Hoc

3.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre consiste à implémenter et interpréter les résultats des différentes simulations faites sur le protocole de routage à chemin unique AODV, et le protocole multi-chemins avec équilibrage de charge E_AOMDV. Cette analyse consiste à comparer et à souligner les diverses notifications apportées par routage multi-chemin avec équilibrage de charge de point de vue performance et répartition de charge du réseau.

3.2. Consommation d'énergie dans les différents modes d'opération des WNICs

Plusieurs études se sont occupées de la mesure de la consommation d'énergie dans les WNICs des équipements mobiles. Dans ces études, les différents modes d'opération d'une WNIC ont été examinés. Il a été trouvé que la WNIC d'un équipement mobile ne consomme pas uniquement de l'énergie en communiquant avec les autres équipements, mais aussi quand elle n'effectue aucune opération de communication. Cela confirme que "énergie" et "bande passante" sont deux métriques différentes. Les modes d'opération examinés sont les suivants :

- Le mode transmission : correspond à l'état de transmission des paquets.
- Le mode réception : correspond à l'état de réception des paquets.
- Le mode inactif : c'est le mode par défaut dans un réseau ad-hoc, où l'équipement mobile écoute le canal en attendant de recevoir ou d'émettre des données.
- Le mode sommeil : correspond à l'état où la WNIC est éteinte. Dans ce mode, l'équipement mobile ne peut ni émettre ni recevoir.

Le taux de consommation d'énergie dans chaque mode dépend de l'implémentation matérielle de la WNIC. Le tableau 4.1 donne un aperçu sur la consommation d'énergie dans chaque mode d'opération pour différentes gammes des WNICs. A partir du tableau 4.1, nous notons que l'énergie consommée en mode émission est la plus élevée suivie par l'énergie consommée en mode réception. Bien que l'équipement mobile n'effectue pas d'opérations de communication dans le mode inactif, mais il gaspille une quantité d'énergie considérable qui s'approche de celle consommée en mode réception. La WNIC consomme la plus basse énergie quand elle est en mode sommeil. [11]

3.3. Sources de perte d'énergie

Ils existent plusieurs sources de consommation d'énergie en communications dans un MANET. Quelques sources sont utiles tandis que d'autres sont considérées comme des pertes

qui doivent être réduites ou éliminées. Certaines pertes d'énergie en communications sont dues aux facteurs suivants [12] :

- Le mode inactif : la WNIC gaspille de l'énergie sans effectuer aucune tâche utile. Une solution possible est de mettre périodiquement les nœuds en mode sommeil.
- Les collisions : elles surviennent surtout dans des conditions de trafic élevé. Les données affectées par les collisions deviennent inutiles, et l'énergie consommée dans leurs émissions et réceptions est considérée perdue. Ce problème peut être géré par les stratégies de back-off des protocoles MAC.
- Le surdébit des protocoles : cela fait référence aux paquets de contrôle que génèrent les différents protocoles de communication, et qui imposent une consommation d'énergie supplémentaire à ce qui est nécessaire pour la transmission des flux de données. Les protocoles de communication doivent restreindre au maximum les paquets de contrôle qu'ils génèrent.
- Taux d'erreurs élevé : ce phénomène est dû à la qualité du médium de communication sans fil. Les données impliquées dans les transmissions erronées deviennent inutiles ce qui fait que l'énergie consommée dans leurs transmissions est perdue. De plus, les protocoles de routage réactifs interprètent les retards en arrivée des acquittements de réception comme des ruptures de chemins, ce qui implique l'inondation des paquets de requêtes dans tout le réseau pour rétablir les chemins considérés invalides. Cela constitue une grande source de dissipation d'énergie. Une solution possible à ce problème est d'augmenter la robustesse des protocoles de routage, par exemple par le choix des chemins stables ou par l'utilisation du routage multi-chemins.

3.4. Problème de la consommation d'énergie :

La durée de vie des nœuds mobiles est limitée, vu qu'ils sont alimentés par des batteries de capacités limitées. Puisque chaque nœud joue le rôle d'un routeur, les retransmissions inutiles des paquets TCP engendre une consommation supplémentaire de l'énergie de ces nœuds. TCP doit alors utiliser cette énergie de manière efficace.

Le trafic de contrôle peut également avoir un impact important. Comme un réseau Ad Hoc doit s'auto-organiser, cela signifie que d'une manière ou d'une autre il va y avoir un trafic de contrôle dépendant de la mobilité dans le réseau. Plus la topologie changera vite et profondément, plus la charge du trafic sera importante et donc la consommation d'énergie. [9]

3.5. Etude de la démarche

L'objectif pour un réseau Ad Hoc et que les terminaux mobiles soient utilisés au maximum n'importe où et n'importe quand, cependant, l'une des grandes limitations de cet objectif concerne le support énergétique. En effet, la principale contrainte dans les communications sans fil est la durée de vie limitée des terminaux mobiles dont le support énergétique représente souvent une batterie dont la capacité est limitée.

La plus part des protocoles de routage actuel ne considèrent pas la consommation d'énergie comme un critère car ils assument que les hôtes et les routeurs sont statique et alimentés par une prise murale. Les réseaux MANETs sont cependant composé des nœuds mobiles alimentées généralement par une batterie dont la durée de vie en régime est actifs seulement de deux ou trois heures (Lap-Top).une telle limitation justifie le besoin d'élaborer des protocoles de routage dont le but est de choisir le meilleur chemin en termes d'énergie pour assurer l'envoi des données.

Le protocole EAOMDV est un protocole de routage multi-chemin avec conservation d'énergie, il consiste à choisir les chemins composés de nœuds riches en énergie tout en exploitant la diversité des chemins qui peuvent exister entre une source et une destination. [5]

3.6. Notre étude

Le protocole de routage qu'on a choisit à l'idée de rechercher les routes les plus énergétiques tout en exploitant la diversité des chemins qui peuvent exister entre une paire source-destination communicant.

Pour implémenter le protocole EAOMDV, on s'est basé sur le code AOMDV afin de mettre en application notre approche, nous avons utilisé le simulateur réseau NS-2, et nous avons modifié l'algorithme de calcul des chemins multiple AOMDV (AOMDV.h et AOMDV.cc).

On a proposé de prendre l'idée de recherches des routes les plus énergétiques, dont les principales modifications du protocole AOMDV se résument comme suit :

- **AOMDV.h** : l'ajout du champ Energy qui définit le niveau de la batterie de chaque nœud
- **AOMDV.cc** : l'ajout d'un champ Energy_Path qui définit l'énergie résiduel de chaque nœud

- **AOMDV_rtable.h** : l'ajout des champs `Path_get_max.hopcount` et `Path_get_min.hopcount` qui définissent le maximum et le minimum de nombres de saut.

3.7. Environnement du travail

Le simulateur réseau NS (Network Simulator) est un simulateur à événement discrets orienté objet [Simulator], basée sur le simulateur réseau REAL [SimulateurRéseau]. Au départ, la version 1.0 de NS a été développée au Laboratoire National de Lawrence Berkeley (LBNL) par le groupe de recherche réseau. Son développement fait maintenant partie du projet VINT (Virtual Inter Network Testbed) sous lequel la version 2.0 est sortie. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau. NS-2 utilise le langage OTCL (Object Tools Command Language), dérivé objet de TCL (Tools Command Language). A travers ce langage, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : Topologie de réseau, caractéristiques des liens physiques, protocoles utilisés, communications...etc.

Nous avons choisis ce logiciel car c'est le plus utilisé pour la validation des protocoles de routage, il permet de donner des résultats les plus proches de réelle. De plus, le développement des protocoles de routage les plus utilisés (tels que OLSR, AODV,DSR) s'est basé sur le simulateur de réseau NS-2.

Nous allons à présent détailler les outils logiciels ainsi que les outils complémentaires installés afin de réaliser notre projet.

3.8. But de la simulation

La simulation a pour objectif de recréer de façon conforme à la réalité les perturbations de l'environnement. En simulant les conditions réseau et le volume de données générés par l'application, il est possible d'avoir une vision très complète sur les performances en de différentes caractéristiques réseau.

La simulation c'est un processus qui consiste en :

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

Le but général est de comprendre le comportement dynamique du système, de comparer plusieurs configurations, d'évaluer différentes stratégies de pilotage, d'évaluer et d'optimiser des performances.

Dans notre cas, notre simulateur a pour but de simuler la qualité de service (QoS) dans un routeur.

3.8.1. Présentation de network simulator NS2

Network Simulator NS est un outil logiciel de simulation de réseaux informatiques. Il est essentiellement élaboré avec les idées de la conception par objets, de la réutilisation du code et de modularité. Il est aujourd'hui un standard de référence en ce domaine, plusieurs laboratoires de recherche recommandent son utilisation pour tester les nouveaux protocoles.

Le simulateur NS actuel est particulièrement bien adapté aux réseaux à commutation de paquets et à la réalisation de simulations de grande taille (le test du passage à l'échelle). Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes de routage unicast ou multicast, des protocoles de transport, de session, de réservation, des services intégrés, des protocoles d'application comme FTP.

Les principaux composants actuellement disponibles dans NS par catégorie sont :

- Application : Web, ftp, Telnet, générateur de trafic (CBR...);
- Transport : TCP, UDP, RTP, SRM ;
- Routage unicast : Statique, dynamique (vecteur distance) ;
- Routage multicast : DVMRP, PIM ;
- Gestion de file d'attente : RED, DropTail, Token bucket.

Prises ensembles, ces capacités ouvrent le champ à l'étude de nouveaux mécanismes au niveau des différentes couches de l'architecture réseau. NS est devenu l'outil de référence pour les chercheurs du domaine. Ils peuvent ainsi partager leurs efforts et échanger leurs résultats de simulations. Cette façon de faire se concrétise aujourd'hui par l'envoi dans certaines listes de diffusion électronique de scripts de simulations NS pour illustrer les points de vue.

3.8.2. Exemple de simulation avec NS2

Pour observer le fonctionnement de NS-2 et de son outil de simulation NAM, nous avons simulé un montage réseau simple, correspondant au diagramme suivant :

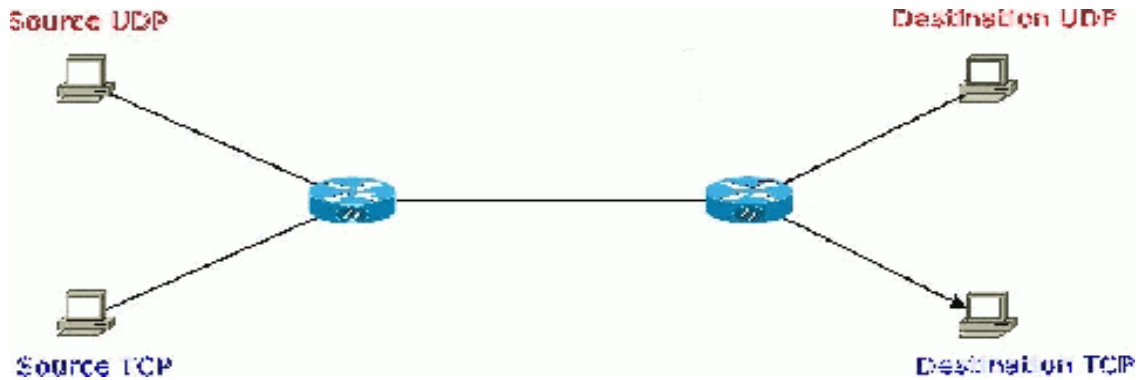


Figure 3.1. Montage réseau à simuler

Pour cela, nous avons créé six nœuds NS-2 (node), reliés par des liens full duplex (duplex-link) supportant des débits différents, un temps d'accès au medium de 10 ms, avec un algorithme de file d'attente DropTail2 pour la gestion des files d'attente.

3.8.3. Le fonctionnement de NS-2

L'utilisation de NS-2 pour un scénario donné nécessite schématiquement les étapes suivantes :

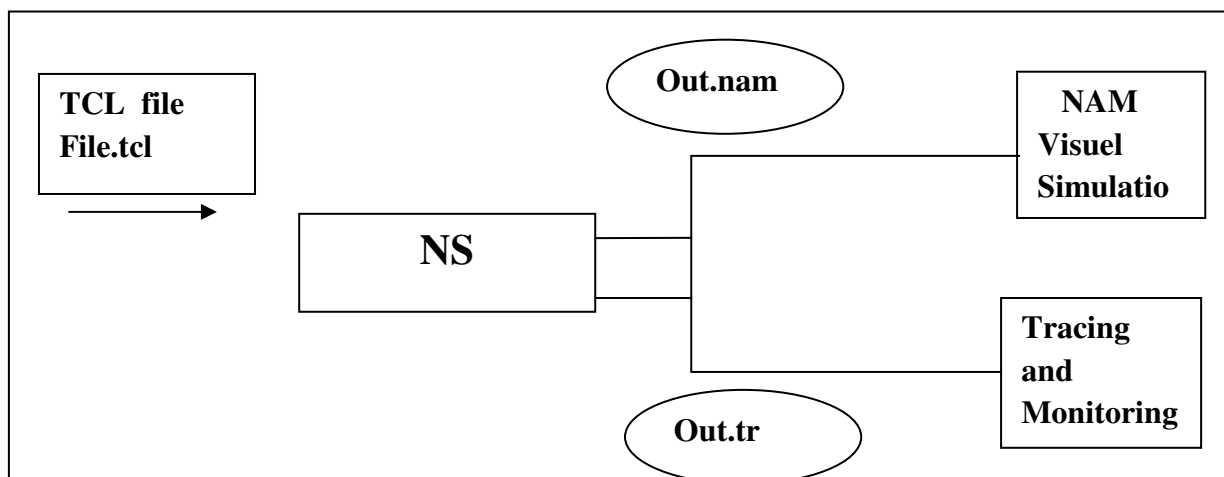


Figure 3.2. Les principales étapes de simulation dans NS

3.8.4. La création de fichier de paramétrage

Ce fichier se présente sous la forme d'un script écrit dans le langage interprété TCL. Il décrit les différents aspects du scénario :

- ◆ Le nombre et le déplacement des unités mobile
- ◆ Le choix des différents protocoles pour chaque couche de chaque nœud
- ◆ Le nombre, le type et la durée de divers transferts de données entre ces nœuds

3.8.5. Fichier traces

Elle reproduit en interne le fonctionnement du scénario décrit et génère un fichier de traces. Ce dernier contient l'information jugée utile, écrite dans un format standardisé. Le contenu du fichier de trace consiste en une liste d'événement qui se déroulent pendant la simulation

3.8.6. The Network Animator (Nam)

Le Nam est un outil d'animation basé sur Tcl/TK, utilisé dans NS afin de visualiser le tracé de simulation des réseaux, ainsi que les tracés de données. Le modèle théorique du Nam a été non seulement créé pour lire un large ensemble de données d'animation, mais aussi suffisamment extensible pour être utilisé quelque soit le type de réseau simulé (*fixe ou mobile ou mixte*). Ce qui permet de visualiser tout type de situation possible.

A chaque création de la topologie réseau c'est-à-dire les nœuds et les liens, NS écrit ces informations dans un autre type de fichier trace généré à la fin de la simulation nommé « nam_trace ». Ce dernier enregistre tout ce qu'il a une relation avec le graphisme : forme des nœuds, leur taille, leur couleurs...

3.8.7. Le programme AWK

Cet outil est utilisé dans la simulation comme filtre du fichier trace. C'est un langage de manipulation de chaîne de caractère, disponible sur la plupart des systèmes Unix. AWK lit le fichier trace (fichier d'entrée ligne par ligne) puis sélectionne les lignes à traiter et il les découpe en champs \$1 \$2 \$3...

Grâce à AWK, les valeurs nécessaires pour tracer des graphes sont devenues faciles à revoir et le générateur de graphe n'aura plus qu'à parcourir le fichier obtenu en sortie.

3.9. Installation et configuration

Pour étudier les performances des protocoles de routage, nous avons passé par deux étapes : l'installation du simulateur réseau NS et l'intégration des trois protocoles dans ce simulateur, il est important de noter que nous avons sous l'environnement Linux : Ubuntu 11.10

3.9.1. Procédure d'installation du simulateur réseau : paquet ns-allinone-2.35

- Télécharger l'archivage de la version ns-allinone-2.35 [ns - allinone2.35LienTelechargement]
- Extraction dans le répertoire home
- Lancer la commande « ./install »
- Une fois l'installation terminée, il faut compiler ns
 - Commande « make » (le makefile contient la suite d'opérations, les dépendances et les bibliothèques à la compilation).
- L'installation est alors terminée, pour la vérifier, lancer la commande « ./validate », un script qui permet de tester l'installation est lancé et validera ou non l'installation
- Pour une installation plus commode, nous avons exporté les variables d'environnement pour lancer les commandes nécessaires par exemple la commande ns.

3.10. Simulation

Dans cette partie nous présentons le scénario de simulation que nous avons réalisé avec le simulateur NS2.

Nous décrivons la topologie d'étude, le choix des paramètres que nous utilisons lors de l'évaluation des performances du protocole EAOMDV.

Nous schématisons les résultats obtenus à l'aide de graphes que nous exposons et interprétons.

3.10.1. Topologie d'étude

Le réseau considéré est composé de 40 nœuds mobiles déployés sur une surface de 900m*550m nous ferons la simulation d'une durée de 40secs.

Nombre de nœuds	10, 20,30 ,40
Durée de simulation	40 secs
Protocoles	EAOMDV
Surface du réseau	900m*550m

Table 3.3 : paramètre de la topologie d'étude

En effet, les testes ont été réalisé sur un ordinateur portable personnel.

Processeur	1,73 GHZ
Mémoire	2Go
Système d'exploitation	Ubuntu11.10

Table 3.4 : caractéristique de la machine de la simulation

Pour un grand nombre de scénario en termes de nombre de nœuds et de temps de simulation nous avons besoin d'une machine beaucoup plus puissante.

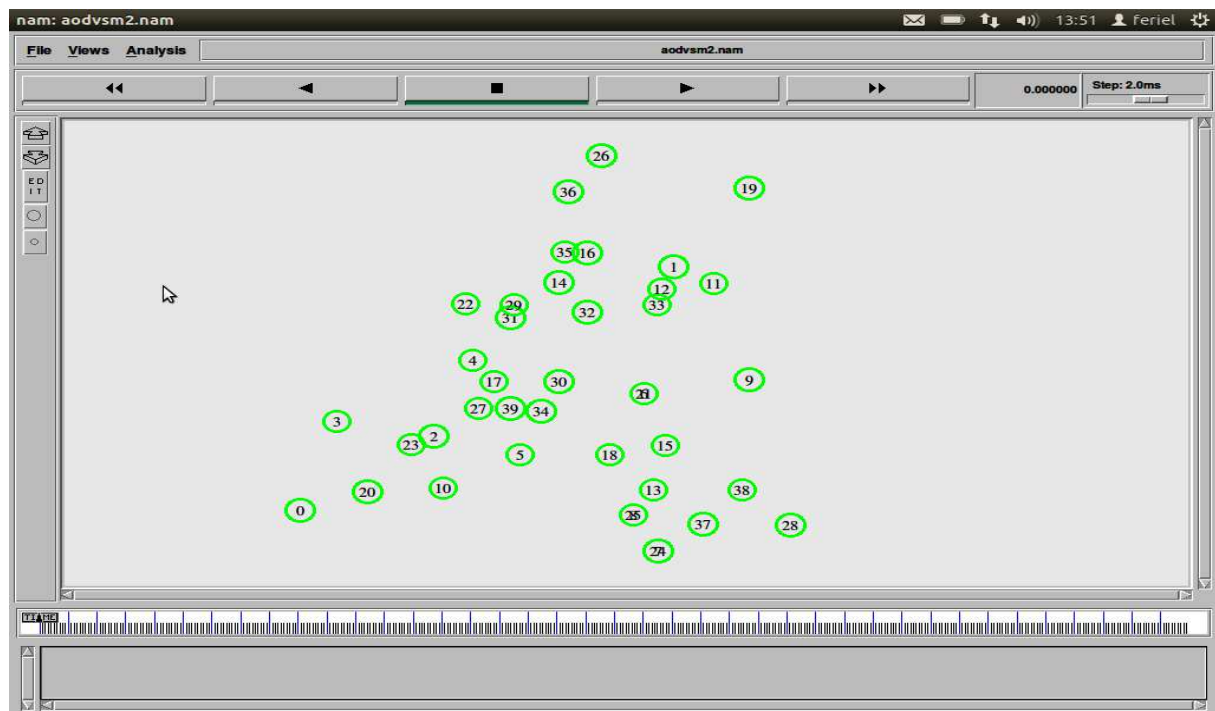


Figure 3.5 : Topologie d'étude

3.11. Paramètre de la simulation :

Avant de lancer la simulation de scénario, nous devons ajuster et fixer certains paramètres qui vont constituer le contexte de notre simulation.

Nous avons supposé que tous les nœuds mobiles du réseau sont équipés par des interfaces de communication IEEE 802.11, et que chaque nœud possède une zone de transmission de 250m.

En effet, c'est la configuration de la majorité des cartes réseaux WIFI actuels. Comme modèle de propagation d'ondes, nous avons utilisé le « Two Ray Ground model » qui prédit la puissance reçue comme une fonction déterministe de la distance.

Il représente la portée de la communication comme un cercle parfait autour de l'émetteur (le script qui décrit la configuration du réseau et qui analyse les résultats de la simulation est fourni en annexe A).

Chaque nœud se déplace avec une vitesse qui varie uniformément dans l'intervalle [5m/s, 10m/s] avec une durée de pause de 100s

Nous avons choisi de modéliser la communication entre les nœuds en utilisant le trafic CBR (Constant Bit Rate) sur UDP, ou chaque source génère des paquets de 512 octets avec un taux de 4 paquet par seconde un totale de 6 connexions a été généré (le script correspondant est fourni en annexe B).

3.12. Modélisation

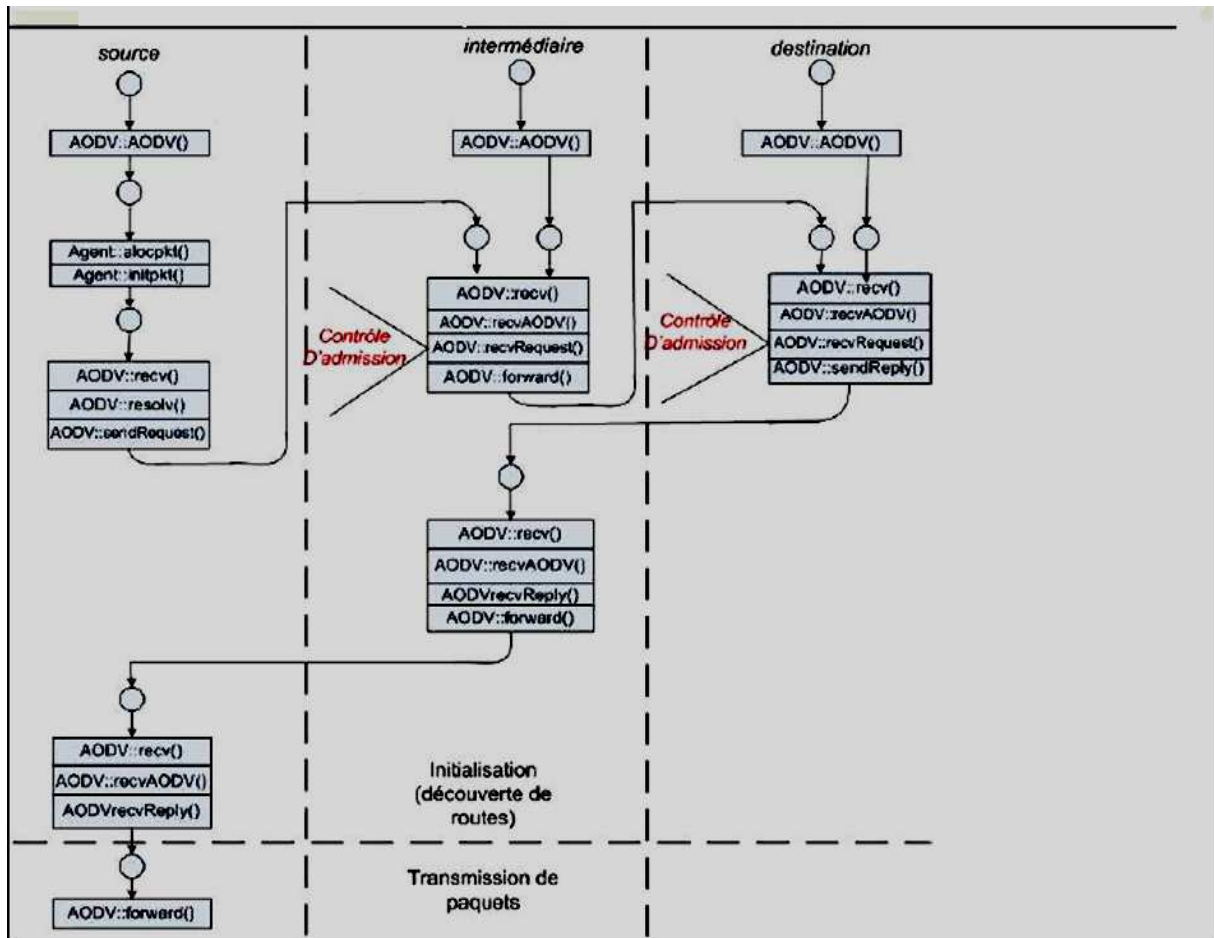


Figure 3.6 : diagramme d'activité d'AODV

3.13. L'implémentation :

Dans notre travail, les performances de protocole de routage s'est basée sur le taux d'énergie consommée par paquet c à d la représentation du rapport entre l'énergie totale consommée dans le réseau et le nombre des paquets de données bien reçus.

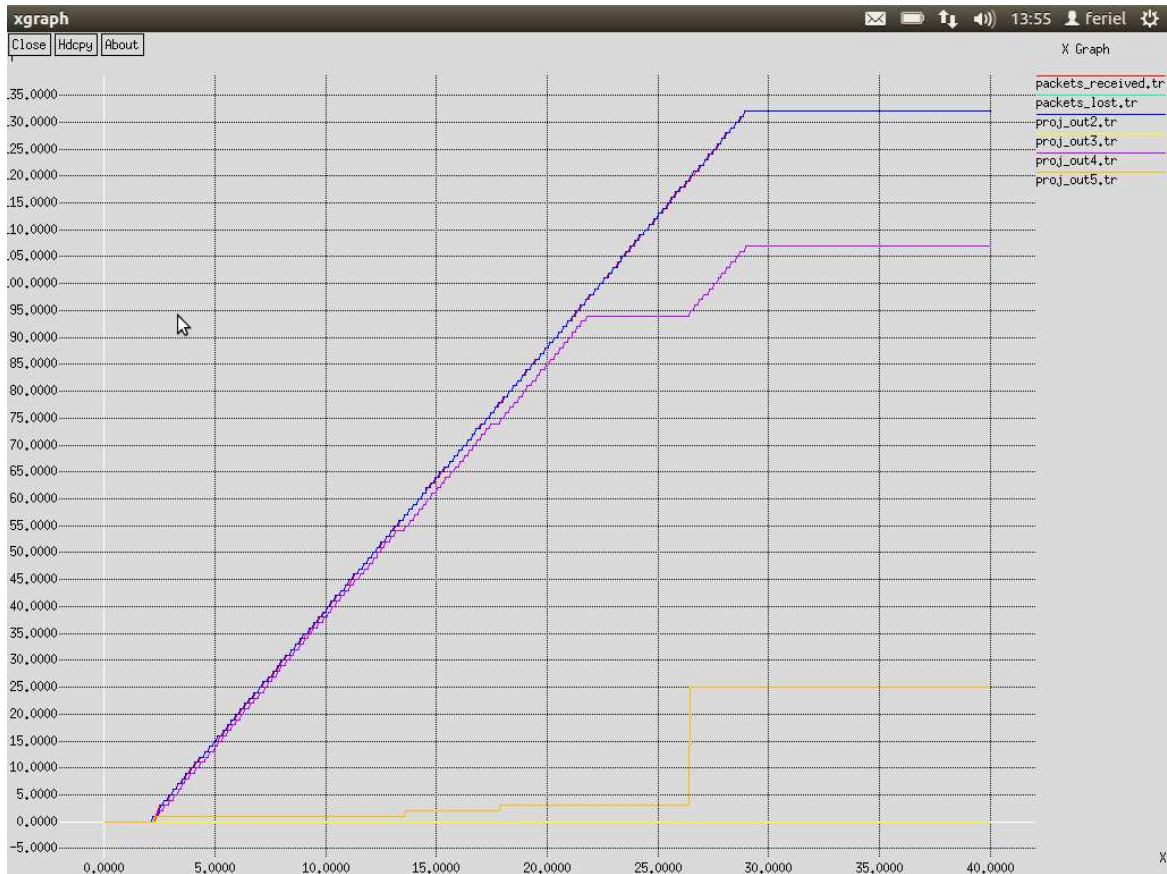


Figure 3.7. Énergie consommée par paquet

L'énergie consommée par paquet donne une idée sur la consommation globale d'énergie dans le réseau, elle est proportionnelle au surdébit de routage généré par chaque protocole et à la longueur des chemins utilisés, et chaque paquet est représenté par une couleur comme suit :

- Paquets_received.tr
- Paquets_lost.tr
- Proj_out2.tr
- Proj_out3.tr
- Proj_out4.tr
- Proj_out5.tr

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu la consommation d'énergie dans les réseaux MANETs, ensuite nous avons présenté l'exposé de la démarche et on a décrit l'environnement du travail

Les simulations ont été menées sous des conditions différentes de mobilité et les performances de protocole AODV et EAOMDV les résultats des simulations ont montré l'efficacité du protocole proposé.

Conclusion générale:

Le Protocol UDP est utilisé très souvent sur l'Internet. Dans les réseaux filaires, il présente de bonnes performances. Il fourni une connexion fiable est stable pour les applications dans les couches supérieurs. Par contre, dans les réseaux ad hoc multi-sauts, ses performances sont amoindries.

Dans ce travail, nous avons essayé d'étudier les travaux relatifs à la couche réseau dans un environnement ad hoc mobile en utilisant certaines de ses différentes versions disponibles sur NS-2. L'idée fondamentale a été de faire la consommation d'énergie dans les réseaux Ad Hoc afin d'exhiber une solution adaptative permettant d'introduire l'énergie dans le protocole AOMDV.

En effet, nous envisageons de réaliser plus de scenario avec plus de nœuds ainsi d'appliquer la solution proposer dans la réalité pour satisfaire les insuffisances si nous arriverons à obtenir plus de moyens.

Nous aurions aimé approfondir notre recherche dans ce sujet, mais le temps attribué à la réalisation de notre travail est insuffisant, en plus de notre expérience de débutante dans l'utilisation de l'outil NS2. Notre ambition reste grande à vouloir continuer ce travail.

- [1] HAGGAR BACHAR SALIM « les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc »21/06/2007, master de recherche STIC, Université de Reims VFR science.
- [2] BEDOUHENE RAFIK et BENMEDOUR MOHAMMED « protocole de connexion de réseau ad hoc à internet »2003/2004, mémoire de magistère, institue de génie électronique USTMB.
- [3] MANSOURI NADIA « protocole de routage multi-chemin avec équilibrage de charge dans les réseaux mobile ad hoc »2006/2007, rapport de projet de fin d'étude, université de Tunis.
- [4] EDDY CIZERON « routage multi-chemin et codage a description multiple dans les réseaux Ad Hoc » 21/09/2009, thèse de doctorat, université de Nantes.
- [5] BOUDAOU H.BRAHIM et ZEBOUJA F.Z « protocole de routage multi-chemins avec consommation d'énergie dans les réseaux sans fil Ad Hoc » 2011/2012, mémoire de mastère, université de Mostaganem.
- [6] ERIK ANDERSSON , MAGNUS ANDERSSON, MATTIAS FLODIN, PETER GARDFJALL, ALEXANDER HELLSTROM « understanding AOMDV routing in practice » 2003
- [7] S. MUELLER, P. TSANG, GHOSAL « multipath routing in mobile Ad Hoc networks: Issues and challenges» 2003, info communication.
- [8] MERIEM DAWOUD « analyse de Protocol AODV» 2005/2006, université libanaise. DEA informatique.
- [9] KHEDIM.H « Analyse de protocole de transport dans les réseaux Ad Hoc multi sauts » 2012, université, d'Oran mémoire de master
- [10] HONGBO Zhou « A Servey on routing protocol in manets» Technical report: MSU-CSE-03-08, 28/03/2003

[11] SALOUA CHATIBI «Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles Ad hoc» 2008/2009, mémoire de magistère, université de Constantine.

[12] Y.S. Gadallah; "PIES: Protocol Independent Energy Saving Technique for Mobile Ad Hoc Networks"; PHD Thesis, Carleton University, Canada, April 2005.