

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A/Mira de Béjaia

Faculté des Sciences exactes
Département d'Informatique



Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master professionnel en Informatique

Option : Administration et sécurité des réseaux

Thème

Routage et simulation dans les réseaux
mobiles ad hoc

Réalisé par : M^{elle} BESSAIH Aldja M^{me} BOUCHAKEL Siham

Président de Jury : M^r ATMANI Mouloud

Examineur 1 : M^r CHEKRID Mohamed

Examineur 2 : M^r MOKTFI Mohand

Encadré par : M^r ALOUI Abdelouhab

Promotion 2016 - 2017

Remerciements

Tout d'abord , nous remercierons le Bon **DIEU** de nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour mener ce travail.

Un grand merci pour nos familles, surtout nos parents qui nous ont épaulées, soutenues et suivies tout au long de ce projet.

A nos chères amies qui ont toujours été présents et fidèles.

Ensuite nous remercions notre encadreur **Mr. ALOUI Abdelouahab** pour tout le temps qu'il nous a consacré, pour ces précieux conseils et pour tout son aide et son appui durant la réalisation.

Aussi à tous les enseignants et employés du département d'informatique à qui on doit notre avancement.

En fin, nous tenons aussi à remercier également tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail aux :

Personnes les plus chères dans nos yeux, nos parents.

Nos chères soeurs et frères.

A toutes nos familles.

A nos sincères copines.

A nos chères amies.

Tous ceux qui sont proches de nos coeurs et dont nous n'avons pas cité leurs noms.

Aldja et Siham

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations	vii
Introduction générale	1
I Réseaux mobiles ad hoc	3
I.1 Introduction	3
I.2 Historique des réseaux Ad Hoc	3
I.3 Définition des réseaux mobiles Ad Hoc	3
I.4 Les caractéristiques des réseaux mobiles ad hoc	4
I.5 Modes de communications dans les réseaux ad hoc	6
I.6 Types des réseaux ad hoc	6
I.6.1 Les réseaux personnels	6
I.6.2 Les réseaux poste à poste ou peer to peer	7
I.6.3 Les réseaux de capteurs	7
I.6.4 Les réseaux véhiculaires	7
I.7 Les applications des réseaux mobiles ad hoc	8
I.7.1 Les opérations de recherche et de secours	8
I.7.2 L'informatique embarquée	8
I.7.3 Les entreprises	8
I.7.4 Les gares et aéroports	8
I.8 Les avantages	9
I.9 Les inconvénients	10
I.10 Conclusion	11
II Routage dans les réseaux mobiles ad hoc	12
II.1 Introduction	13

II.2	Routage dans les réseaux ad hoc	13
II.3	Définitions	13
II.3.1	Le routage	13
II.3.2	Protocole	14
II.3.3	Protocole de routage	14
II.4	Problématiques de routage dans les réseaux Ad Hoc	14
II.5	Contraintes de routages dans les réseaux ad hoc	14
II.6	Critères de classification des protocoles de routage	15
II.7	Classification des protocoles de routage	16
II.7.1	Routage hiérarchique ou plat	16
II.7.2	Routage à la source et le routage saut par saut	17
II.7.3	Routage a état de lien et a Vecteur de distance	17
II.7.4	L'inondation	18
II.7.5	le concept de groupe	18
II.7.6	Protocoles uniformes et non uniformes	18
II.8	La classification des MANETs	19
II.9	Conclusion	20

III Description et simulation des protocoles de routage AODV, DSDV ET

DSR		21
III.1	Introduction	22
III.2	Description et représentation des protocoles	22
III.2.1	Le protocole Destination Sequence Distance Vector (DSDV)	23
III.2.2	Le protocole ad hoc On demande Distance Victor (AODV)	24
III.2.3	Le protocole Dynamic Source Routing (DSR)	27
III.3	Simulation et discussion des résultats	29
III.3.1	Présentation de Network Simulator 2	29
III.3.2	Résultats et discussion	32
III.4	Conclusion	36

Conclusion générale 37

Table des figures

I.1	Réseau en mode ad hoc	4
I.2	Changement de la topologie d'un réseau ad hoc [27].	5
I.3	communication dans les réseaux Ad Hoc	6
I.4	Les réseaux véhiculaires mode ad hoc	7
I.5	Les opérations de recherche et de secours	8
I.6	Les gares et aéroports mode ad hoc	9
II.1	routage à plats [27]	16
II.2	routage hiérarchique [27]	16
II.3	mécanisme d'inondation	18
III.1	Différentes classes de protocole de routage ad hoc [9]	22
III.2	Phase de découverte des chemins dans AODV [4]	25
III.3	Coupure de route et envoi du RERR	25
III.4	Mécanisme de découverte de route dans DSR [29]	27
III.5	Le noeud en amont de rupture envoie un message RERR [29].	28
III.6	Architecture générale du NS	30
III.7	Débit des trois protocoles en fonction de temps associé au premier cas . . .	32
III.8	Débit des trois protocoles en fonction de temps associé au deuxième cas . .	33
III.9	Débit des trois protocoles en fonction de temps (grande distance)	34
III.10	Débit des trois protocoles en fonction de temps (petite distance)	35

Liste des tableaux

III.1 Modèle de simulation utilisé 31

Liste des abréviations

ONR	Office Naval Research
DARPA	Defence Advanced Researchl Project Agency
PAN	Personal Area Networkt
GSM	Global System for Mobile communications
MANET	Mobile Ad hoc NETWORK
DSR	Dynamic Source Routing
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineer
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
RREQ	Route REQUEST
RREP	Route REPEply
RERR	Route ERROR
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
OTCL	Object-oriented Tool Command Language
NAM	Network AniMator
FTP	File TransfertProtocol
CBR	Continuous BitRate

AOMDV	Ad hoc On demand Multipath Distance Vector
TDMA	T ime Division Multiple Access
TORA	Temporary Ordering Routing Algorithm
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol
PDA	Personal Digital Assistant
NS	Network Simulator
WiFi	Wireless Fidelity

Introduction générale

De nos jours, l'utilisation de la technologie sans fil a envahi le marché des réseaux de télécommunication. Plusieurs technologies ont vu le jour, on peut citer à titre d'exemple : WiFi et Bluetooth. Ces technologies équipent une large gamme d'équipements mobiles à savoir : les ordinateurs portables, les téléphones mobiles, les assistants numériques personnels, etc. Ce progrès technologique fait que les réseaux de télécommunication sans fil sont actuellement parmi les domaines de recherche de l'informatique les plus actifs.

On distingue deux grandes familles de réseaux sans fil : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure ou ad-hoc. Dans les réseaux avec infrastructure, les communications s'effectuent via une station de base fixe. Cette approche est utilisée dans les réseaux sans fil traditionnels comme les réseaux GSM (Global System for Mobile communications), et les réseaux locaux sans fil. Cependant, les communications dans un réseau Ad Hoc s'effectuent en absence de toute infrastructure de communication fixe. Si les équipements communicants se trouvent dans la zone de transmission les uns des autres, la communication s'effectue en mode point-à-point ; Si encore les noeuds communicants sont éloignés, plusieurs noeuds intermédiaires participent à l'acheminement des données vers leurs destinations. On parle, dans ce cas, du routage "multi sauts".

Les réseaux Ad Hoc multi-sauts suscitent beaucoup d'intérêt grâce à leur déploiement rapide et économique et à leur nature décentralisée. Ils existent trois types de réseaux ad-hoc, à savoir : les réseaux mobiles ad-hoc, les réseaux maillés et les réseaux de capteurs. Dans ce mémoire, nous nous intéressons particulièrement aux réseaux mobiles ad-hoc (MANETs). Un MANET est un réseau ad-hoc composé d'un ensemble de terminaux homogènes qui sont souvent en constante mobilité. Bien qu'ils fussent dédiés, à l'origine, à des applications militaires, ils peuvent être déployés à bon escient dans des situations d'urgence telles que les missions de secourisme en cas d'incendies ou de catastrophes naturelles (inondations, tremblements de terre, etc.). En outre, ils peuvent être utilisés dans tout groupement d'utilisateurs liés par un intérêt commun, c'est le cas notamment des étudiants dans une classe, des chercheurs dans une conférence, etc.

Dans les réseaux Ad Hoc, chaque noeud joue le rôle d'un routeur et/ou d'un hôte, alors il doit transmettre les paquets pour les autres noeuds de réseau, d'où la nécessité d'un protocole de routage. Plusieurs protocoles de routage pour les réseaux Ad Hoc ont été développés, suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données, Ces dernières peuvent être classifiées en trois catégories : les protocoles réactifs, proactifs et hybrides. Notre étude entre dans le cadre de l'étude des caractéristiques des MANETs ainsi que les différentes classes des protocoles de routage de ces derniers. Elle repose principalement sur les travaux de recherche qui ont été fait et qui se font à l'heure actuelle, dans le but de faire une comparaison entre trois protocoles de routage, deux de la même classe (AODV, DSR) et un d'une autre classe (DSDV).

Afin d'évaluer les performances de ces protocoles et analyser leur fonctionnement, on va utiliser l'outil de simulation de réseau NS2 (Network Simulator 2).

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons présenté les réseaux mobiles ad hoc, en commençant par introduire les principaux concepts liés à ces environnements, par la suite nous allons cité quelques applications et caractéristiques de ce type de réseau.

Dans le second chapitre, nous allons abordé le routage dans les réseaux ad hoc, les problématiques et les contraintes liées au routage ainsi que les techniques et les différents protocoles de routage et leurs principales avantages et inconvénients.

Dans le troisième chapitre nous allons présenté les trois protocoles AODV, DSDV et DSR. En suite nous allons expliqué le principe du fonctionnement du chacun des trois. Et enfin dans la deuxième partie de ce chapitre nous allons présenté l'outil de simulation de réseau NS2 et analysé et discuté les résultats des simulations de ces protocoles .

Nous allons terminé notre mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

Réseaux mobiles ad hoc

I.1 Introduction

Ces dernières années le développement de la technologie de transmission sans fil a offert de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. Les réseaux mobiles ad hoc constituent un nouveau type de réseaux basés sur cette technologie. L'évolution récente de cette dernière et l'apparition des unités de calculs portables (les laptops par exemple), poussent aujourd'hui les chercheurs à faire des efforts afin de réaliser le but des réseaux : "l'accès à l'information n'importe où et n'importe quand".

Dans un tel contexte, il n'est pas surprenant de voir apparaître des solutions de communication sans fil de plus en plus performantes et évoluées. Un réseau ad hoc ne se base sur aucune infrastructure définie au préalable, ceci revient aux exigences de la nature des applications qui supportent le modèle Ad Hoc (fort dynamisme, surpassez le problème de structure, coût et délai d'installation, etc).

Dans ce chapitre nous allons présenter les réseaux mobiles ad hoc tout en focalisons sur ces caractéristiques et ces applications. Ensuite nous présentaté quelques avantages et inconvénients des réseaux mobiles Ad Hoc.

I.2 Historique des réseaux Ad Hoc

A l'origine les réseaux ad-hoc mobiles ont été introduits pour améliorer les communications dans le domaine militaire, vu la nature dynamique de leurs opérations et champs d'action. Les recherches sur ces réseaux ont été financées par le gouvernement américain et supervisées principalement par le DARPA (Defence Advenced Reseach Project Agency) et l'ONR (the Office Naval Research) en 1994. Aujourd'hui, avec l'émergence des standards tels que Bluetooth, HiperLan et IEEE 802.11, les projets de recherches civiles dans ce domaine ont afflué de partout dans le monde [1].

I.3 Définition des réseaux mobiles Ad Hoc

Un réseau Ad Hoc [2,4] est un ensemble d'hôtes équipés par des antennes qui peuvent communiquer entre eux sans aucune administration centralisée, en utilisant une technologie de communication sans fil comme WiFi, Bluetooth, etc. À l'opposé des réseaux filaires où uniquement certains noeuds dits "routeurs" sont responsables de l'acheminement des données, dans un réseau ad-hoc tous les noeuds sont à la fois routeurs et terminaux. Le choix des noeuds qui vont assurer une session de communication dans un réseau ad-hoc se fait dynamiquement selon la connectivité du réseau, d'où l'appellation "ad-hoc".

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

Formellement [3], un réseau ad-hoc peut être représenté par un graphe non-orienté $G = (V, E)$ où V désigne l'ensemble des noeuds et $E \subseteq V^2$ dénote l'ensemble des arcs correspondants aux communications directes possibles. Soit i et j deux noeuds de V , l'arc (i, j) existe, si et seulement si, i peut envoyer directement un message à j on dit alors que j est voisin de i . Les couples appartenant à E dépendent de la position des noeuds et de leur portée de communication. Si on retient l'hypothèse que tous les noeuds ont une portée R identique, et si $d(i, j)$ désigne la distance entre les noeuds i et j , alors l'ensemble E peut-être défini comme suit :

$$E = (i, j) \in V^2 \mid d(i, j) \leq R$$

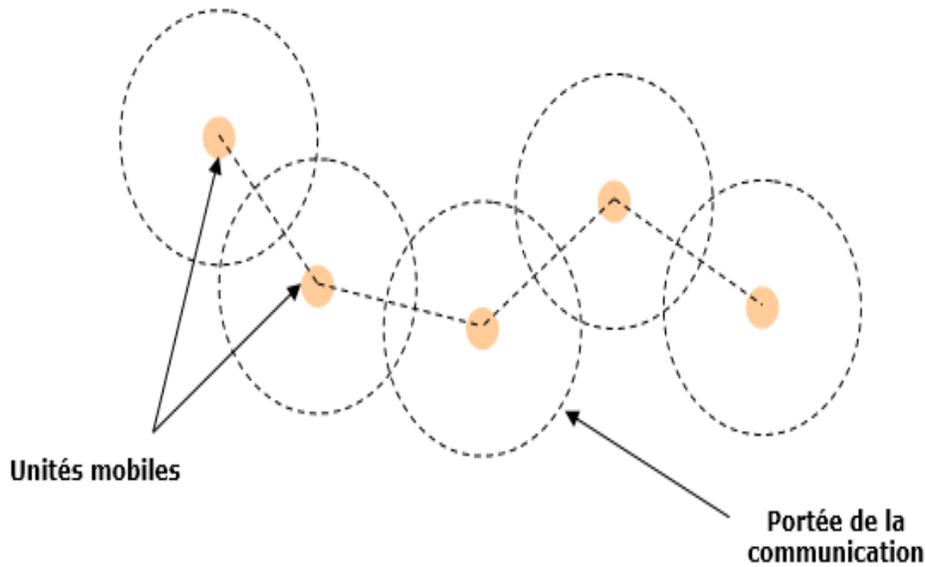


FIGURE I.1 – Réseau en mode ad hoc

I.4 Les caractéristiques des réseaux mobiles ad hoc

Les réseaux mobiles ad-hoc présentent plusieurs caractéristiques dont les principales sont les suivantes :[27]

- **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 imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire. Les liens de la topologie peuvent être unis ou bidirectionnels. Comme le montre la figure suivante :

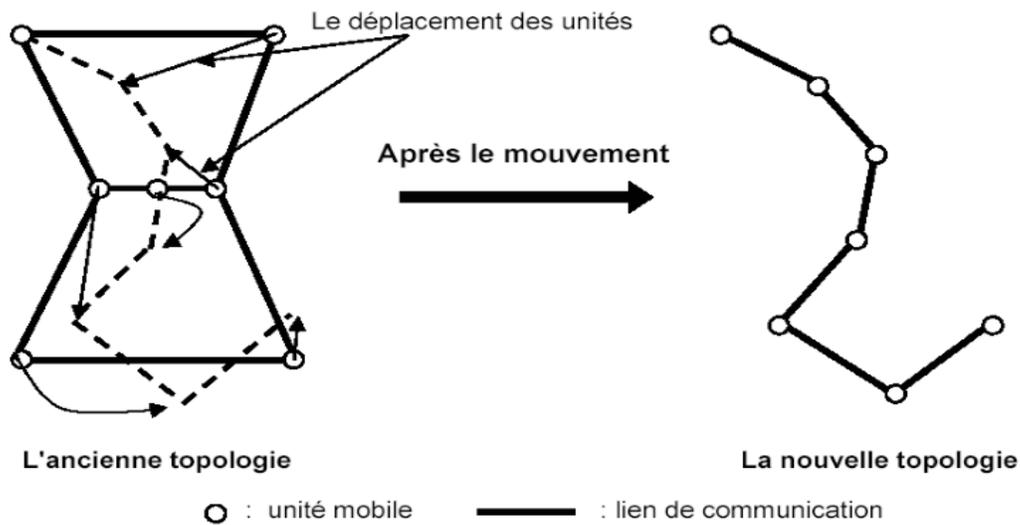


FIGURE I.2 – Changement de la topologie d'un réseau ad hoc [27].

- **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'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.

I.5 Modes de communications dans les réseaux ad hoc

Avant de parler des protocoles de routage proprement dit, nous allons rappeler quels sont les principaux modes de communication dans les réseaux, et particulièrement dans les réseaux ad hoc.

- **La communication point à point ou unicast** : pour laquelle il y a une source et une seule destination.
- **La communication multipoints ou multicast** : qui permet d'envoyer un message à plusieurs destination.
- **La diffusion ou broadcast** : envoie un message à tous les noeuds du réseau.

Ces trois modes de communication sont schématisés par la figure suivante :

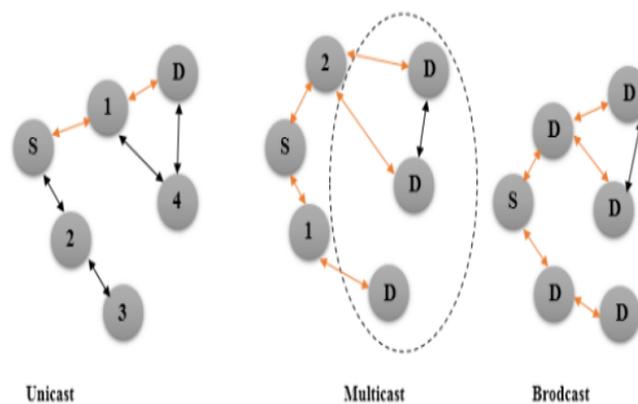


FIGURE I.3 – communication dans les réseaux Ad Hoc

I.6 Types des réseaux ad hoc

Les types des réseaux ad hoc sont divers, nous pouvons en citer quelques un :

I.6.1 Les réseaux personnels

PAN (Personal Area Network) désigne un réseau restreint d'équipement informatique habituellement utilisées dans le cadre d'une utilisation personnelle. Parmi les technologies sans fil utilisées par les réseaux PAN, nous pouvons citer le Bluetooth, l'infrarouge (IR), ou le zigbee (la technologie 802.15.4).

I.6.2 Les réseaux poste à poste ou peer to peer

Sont des réseaux, dont le fonctionnement est décentralisé entre les différents utilisateurs du réseau, dont les machines sont simultanément, client et serveurs (routeur) des autres machines.

I.6.3 Les réseaux de capteurs

Sont des réseaux composés de noeuds, intégrant une unité de mesure chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibration) et de le transformer en grandeurs numériques, une unité de traitement informatique de stockage de données et un module de transmission sans fil(Wireless).

I.6.4 Les réseaux véhiculaires

Les voitures de nos jours embarquent de plus en plus de technologie, et ont de plus en plus, besoin de communiquer avec l'extérieur. Les voitures équipées par des capteurs sur les toits et/ou, les pare-chocs sont capables de créer des plate formes des réseaux mobiles ad hoc et de relier en réseau les automobiles passant à proximité les un des autres. Des prototypes ont déjà été développés pour les véhicules d'urgence(les ambulances, les voitures des pompiers, etc).

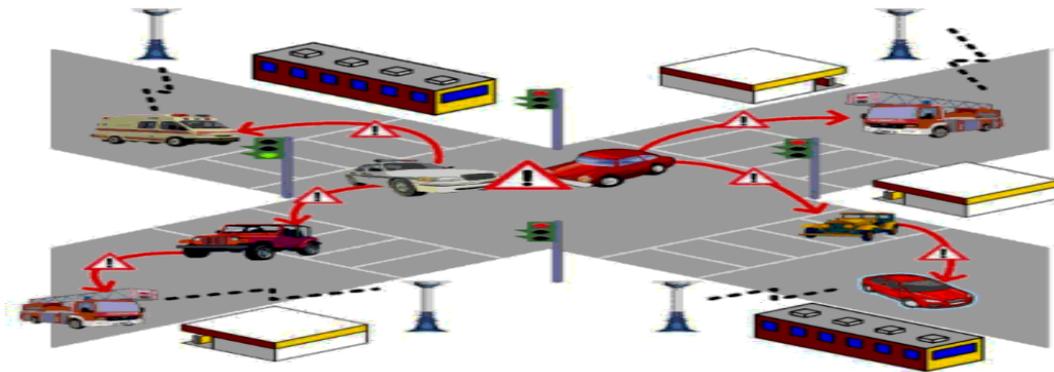


FIGURE I.4 – Les réseaux véhiculaires mode ad hoc

I.7 Les applications des réseaux mobiles ad hoc

Les réseaux ad hoc sont rapides et faciles à déployer, ils sont particulièrement intéressants pour les applications militaires ou l'installation d'infrastructure fixe est souvent impossible, ils peuvent être aussi utilisés dans :

I.7.1 Les opérations de recherche et de secours

En cas de tremblement de terre, de feux ou d'inondation, dans le but de remplacer rapidement l'infrastructure détruite.

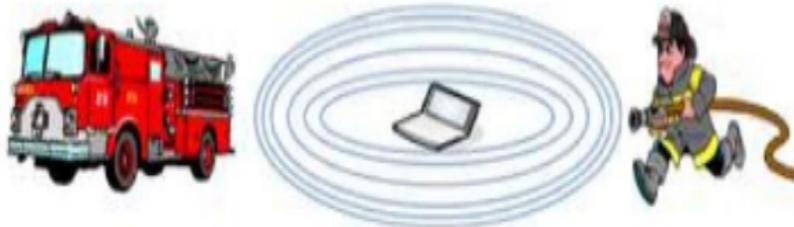


FIGURE I.5 – Les opérations de recherche et de secours

I.7.2 L'informatique embarquée

Sur un réseau routier, les véhicules peuvent avoir besoin de communiquer entre eux ou avec l'environnement, afin de partager des informations dans le but de gérer et de réguler le trafic routier. Les réseaux ad hoc sont alors la solution idéale.

I.7.3 Les entreprises

Dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence.

I.7.4 Les gares et aéroports

Pour la communication et la collaboration entre les membres du personnel.

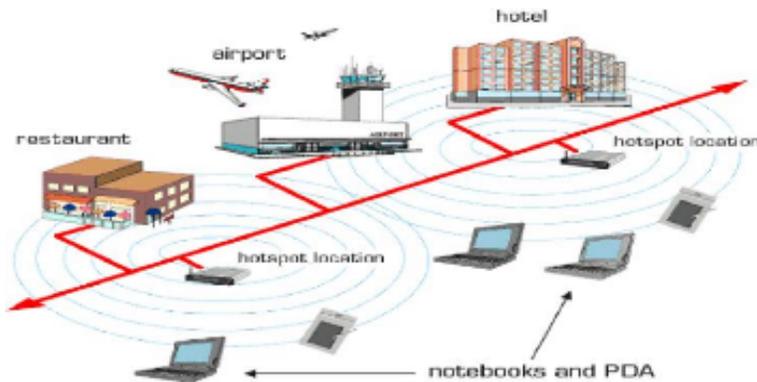


FIGURE I.6 – Les gares et aéroports mode ad hoc

D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau fixe est trop contraignant, soit parce qu'il est difficile à mettre en place, soit parce que la durée d'installation du réseau ne le justifie pas.

I.8 Les avantages

Les avantages de cette technologie sont inhérents au fait qu'il n'y est pas besoin d'infrastructure préexistante :

- ▶ Les réseaux ad hoc peuvent être déployés dans un environnement quelconque .
- ▶ Le cout d'exploitation du réseau est faible : aucune infrastructure n'est à mettre en place initialement et surtout aucun entretien n'est à prévoir .
- ▶ Le déploiement d'un réseau ad hoc est simple : ne nécessite aucun prérequis 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 des 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) [5].

I.9 Les inconvénients

Même si les perspectives pour les réseaux ad hoc sont prometteuses, plusieurs contraintes restent encore à traiter.

- ▶ La connectivité limite les possibilités de communication. Ainsi, deux stations ne sont joignables que s'il existe un ensemble de stations pouvant assumer la fonction de routeur afin de faire suivre les paquets de données échangées 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 ou réception de données. Par conséquent, tout paquet de diffusion émis vers une station en cours de communication va altérer la communication de cette station. La diffusion est un facteur qui alourdit aussi d'autres paramètres telle que la bande passante et la consommation de batterie.
- ▶ La sécurité dans les réseaux 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 dans les réseaux avec infrastructure, mais qui est plus forte dans les réseaux ad hoc, puisque les ressources énergétiques sont utilisées pour les besoins du routage [5].

I.10 Conclusion

On a présenté dans ce chapitre les réseaux ad hoc qui doivent s'organiser automatiquement de façon à être déployables rapidement et pouvoir s'adapter aux conditions de propagation, au trafic et aux différents mouvements pouvant intervenir au sein des unités mobiles. Dans le but d'assurer la connectivité du réseau malgré l'absence d'infrastructure et la mobilité des stations, chaque noeud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un noeud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination, tout noeud joue ainsi le rôle de station et de routeur. (Chaque noeud participe donc à une stratégie de routage qui lui permet de découvrir les chemins existants, afin d'atteindre les autres noeuds du réseau.)

Dans le chapitre suivant, on parlera sur le routage dans les réseaux mobile ad hoc .

Chapitre II

Routage dans les réseaux mobiles ad hoc

II.1 Introduction

Les MANETs (Mobile Ad hoc NETwork) sont des réseaux auto-organisés sans aucune infrastructure fixe qui manipule la communication entre les noeuds mobiles. Dans un MANET, tous les noeuds coopèrent pour assurer le service du routage. L'approche la plus intuitive dans la conception des protocoles de routage consista en l'adaptation des protocoles de routage traditionnels (à vecteur de distances ou à état de liens) au contexte des MANETs, ce qui a donné naissance à la classe des protocoles de routage dits " proactifs". D'autres protocoles de routage reposent sur des approches complètement novatrices. Elles consistent, par exemple, à calculer les chemins à la demande, à exploiter les informations de géolocalisation ou à définir une topologie logique au-dessus de celle physique, etc.

Dans ce chapitre nous commençons par la définition de routage et protocole, puis dans un premier temps on présente les différents critères sur la base des quels la classification des protocoles de routage sera faite, et en suite la classification des protocoles dans les MANETs.

II.2 Routage dans les réseaux ad hoc

Dans le cas des réseaux ad hoc, l'architecture est caractérisée par une absence d'infrastructure fixe, les noeuds doivent donc s'organiser automatiquement et réagir rapidement aux différents mouvements. Ainsi dans le cas des réseaux ad hoc, les noeuds sont considérés comme des routeurs, chaque noeud participe dans le fonctionnement de routage, c'est-à-dire chaque noeud est responsable de relayer le trafic (contrôle de données) des autres noeuds.

Avant d'entamer les protocoles de routage utilisés dans les réseaux mobile ad hoc nous allons d'abord faire un petit rappel sur quelque notion essentielle.

II.3 Définitions

II.3.1 Le routage

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers la bonne destination à travers un réseau de connexion donné, il consiste à assurer une stratégie qui garantit, à n'importe quel moment, un établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre n'importe quelle paire de noeuds appartenant au réseau, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue [28].

II.3.2 Protocole

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines), c'est à dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication [27].

II.3.3 Protocole de routage

Le protocole de routage est un programme qui sert à déterminer la route optimale pour le transfert des données entre deux noeuds. Le routage dans les réseaux mobile ad hoc est différent de routage traditionnel utilisé dans les réseaux a infrastructure ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont la mobilité, la topologie, la manière de la sélection de la route. Il est à noter que les protocoles de routage dans les réseaux mobile ad hoc peuvent être séparés en trois classes essentielles, selon la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données [28].

II.4 Problématiques de routage dans les réseaux Ad Hoc

Dans le but d'assurer la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure fixe et la mobilité des stations, chaque noeud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un noeud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination, tout noeud joue ainsi le rôle de station et de routeur. Le fait que la taille d'un réseau Ad Hoc peut être énorme, souligne que la gestion de routage de l'environnement doit être complètement différente des approches utilisées dans le routage classique. 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 [7].

II.5 Contraintes de routages dans les réseaux ad hoc

Pour assurer la connexion dans les réseaux ad hoc [8], plusieurs algorithmes de routage sont mis en oeuvre, mais le changement fréquent de topologie de réseau reste un problème à résoudre, donc il est important que toute conception de protocole de routage étudie les problèmes suivants :

- La minimisation de la charge du réseau : se fait par l'amélioration des ressources du réseau, pour réduire le nombre des boucles de routage ainsi que la concentration du trafic autour de certains noeuds 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 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, etc). Si la construction des chemins optimaux est un problème dur, la maintenance de tels chemins peut devenir encore plus complexe, donc la stratégie de routage doit assurer une maintenance efficace de routes avec le moindre coût possible.
- Le temps de latence : l'augmentation de la connectivité du réseau influence l'augmentation de la qualité des temps de latence.

II.6 Critères de classification des protocoles de routage

Pour comparer et analyser les protocoles de routage [6], des critères de classification appropriés sont importants. En effet, la classification permet aux concepteurs de mieux comprendre les caractéristiques des protocoles de routage et de discerner les relations qui les relient. Les critères généralement retenus lors de la classification des protocoles de routage sont principalement liés à :

a) Découverte de l'information de routage : cette étape permet de connaître les éléments nécessaires sur la topologie utilisée pour choisir un chemin qui peut atteindre le noeud de destination. En fonction de la quantité d'information échangées, les noeuds obtiennent une vue plus précise de la topologie de réseau. Le protocole de routage est dans l'obligation d'optimiser l'envoi de ces informations, car elles sont fortement consommatrices en bande passante et énergie.

b) Choix de chemin : après la collecte des informations de routage obtenue, le protocole de routage peut choisir une route en fonction de certains critères (nombre minimum de sauts, économie d'énergie, il ne faut pas qu'il y ait de boucle) [10,11] .

c) Maintenance des routes : la topologie du réseau ad hoc n'arrête pas d'évoluer avec le temps. De fait à cause de la nature mobile des noeuds, les routes sont dans l'obligation de changer avec la mobilité des noeuds. Une route doit éviter de rester longtemps invalide, car les paquets ne pourraient atteindre leur destination. Le protocole de routage doit prendre en considération ces changements et mis à jour les routes qui viennent d'être coupées [9] .

II.7 Classification des protocoles de routage

Il existe différentes stratégies qui utilisent une variété de techniques afin de résoudre le problème de routage dans les réseaux Ad Hoc. Parmi lesquelles nous allons citer :

II.7.1 Routage hiérarchique ou plat

- **Routage à plat :** dans ce type de routage, les noeuds sont identiques, la décision d'un noeud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position, AODV est l'un des protocoles qui utilise cette technique. La figure suivante illustre un exemple du routage à plat [27].

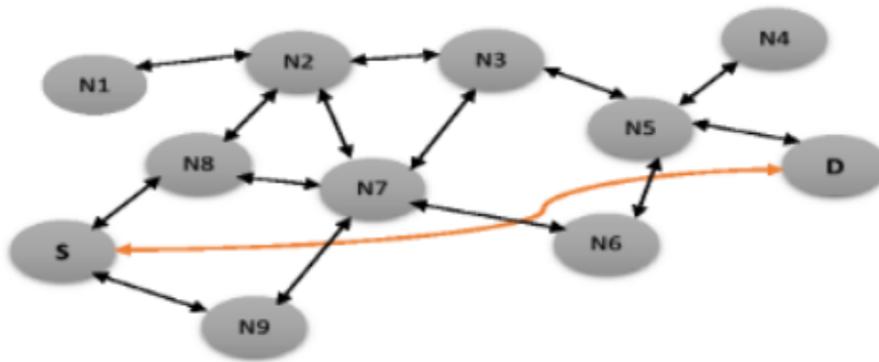


FIGURE II.1 – routage à plats [27]

- **Routage hiérarchique :** dans cette technique, chaque noeud racine donne des rôles particuliers à des noeuds feuille pour la recherche de bon chemin. Ce processus se répète jusqu'à atteindre tous les noeuds. La figure suivante illustre cette technique de routage [27].

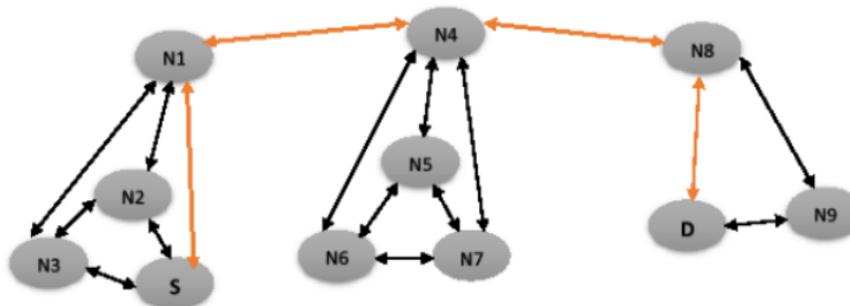


FIGURE II.2 – routage hiérarchique [27]

II.7.2 Routage à la source et le routage saut par saut

- **Le routage à la source (source routing) :** dans cette technique le paquet à envoyer doit contenir la liste des différents noeuds relayeurs vers la destination. Ainsi que le chemin que devra suivre. Le protocole le plus connu se basant sur cette stratégie est DSR.
- **Le routage saut par saut (hop by hop) :** dans ce type de routage, les chemins sont établis donc le paquet à envoyer doit contenir juste l'adresse du prochain noeud vers la destination. Parmi Les protocoles qui utilisent cette technique est AODV.

II.7.3 Routage a état de lien et a Vecteur de distance

Cette stratégie basée sur deux méthodes essentielles, la création des routes et la maintenance de ces dernières lors de l'acheminement des données. Selon les informations de routage échangées et les méthodes de calcul des routes utilisées, on distingue deux grandes familles de routage, les routages à vecteurs de distance et les routages à état de liens et un autre hybride entre les deux.

- **Routage à vecteurs de distance :**

Dans un routage à vecteurs de distance, chaque noeud diffuse périodiquement sa table de routage à ses voisins, la table contient les adresses des noeuds destination du réseau et la distance en nombre de sauts pour atteindre chacun d'eux. Un noeud met sa table de routage à jour s'il trouve une route plus courte que celle qu'il a dans sa table, ou si le noeud par lequel il passe pour atteindre une destination donnée change la distance vers cette destination, ou encore s'il trouve un noeud inconnu (c'est-à-dire, qui n'existe pas dans sa table).

- **routage à état de liens :**

Dans un routage à état de liens, chaque noeud vérifie l'état des liaisons avec ces voisins (peut aussi calculer le coût de ces liens), et diffuse un paquet contenant ces informations à tout le réseau. Ces diffusions permettent à chaque noeud d'avoir une connaissance complète de la topologie du réseau. Pour calculer les routes, l'algorithme du plus court chemin de Dijkstra est utilisé.

- **Routage hybride :**

Comme leur nom indique, ce type de routage combine des aspects du routage à état de liens et du routage à vecteur de distance. Cette solution mettant en commun les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpage du réseau.

II.7.4 L'inondation

L'inondation ou la diffusion pure, consiste à répéter un message dans tout le réseau. Un noeud qui initie l'inondation envoie le paquet à tous ses voisins directs, de même si un noeud quelconque de réseau reçoit le paquet pour la première fois, il le rediffuse à tous les voisins.

Ce comportement se répète jusqu'à ce que le paquet atteigne tous les noeuds du réseau.

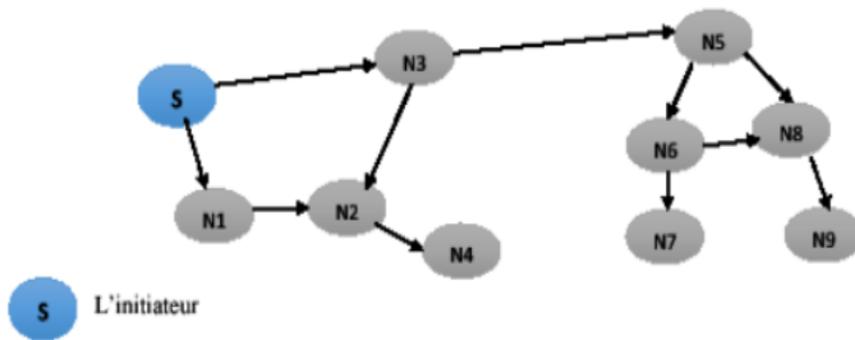


FIGURE II.3 – mécanisme d'inondation

II.7.5 le concept de groupe

Dans la communication de groupe, les messages sont transmis à des entités abstraites ou groupe, 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, de 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 basée sur les groupes. Le concept de groupe facilite la tâche de la gestion du routage (telle que les transmissions des paquets; l'allocation de la bande passante, etc.) et cela en décomposant le réseau en un ensemble de groupe connecté.

II.7.6 Protocoles uniformes et non uniformes

Certains protocoles de routages n'utilisent pas tous les noeuds 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. Ce qui utilisent tous les noeuds du réseau capables de router sont appelés protocoles uniformes [12].

II.8 La classification des MANETs

C'est la classification qui nous intéresse et qu'on maintient pour la suite de ce chapitre. Suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données. Les protocoles de routage peuvent être séparé en : proactifs, réactif et hybride.

A) les protocoles de routage proactif :

Les protocoles de routage proactifs dans les réseaux ad hoc, sont basés sur le même principe des protocoles de routage utilisés dans les réseaux filaire. Les deux principale méthodes sont la méthode " états des liens" et la méthode "vecteur de distance". Ces deux méthodes essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles (qui peuvent représenter l'ensemble de tous les noeuds du réseau) au niveau de chaque noeud de réseau. Les routes sont sauvegardées mêmes si elles ne sont pas utilisées [13] .

La sauvegarde permanente des chemins de routage, est assuré 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. Cette approche offre un gain de temps lorsqu'une route est demandée, mais elle peut être couteuse en terme bande passante à cause de l'émission régulière des messages de contrôle surtout dans les réseaux de grand nombre de noeuds.

L'avantage de ces protocoles réside dans la disponibilité des informations de routage pour router un paquet vers n'importe quelle destination. L'inconvénient majeur est le coût de maintenance des connaissances sur la topologie et de routage du a l'envoi périodique des messages. Ceci génère une consommation continue de la bande passante.

B) Les protocoles réactifs :

Les protocoles de routage réactifs (ou à la demande) ont été conçus pour minimiser la charge de contrôle des protocoles de routage proactifs en ne maintenant des informations que concernant les chemins actifs. Les protocoles de routage réactifs peuvent être classifiés en deux catégories : à routage source ou à routage saut-par-saut. Dans les protocoles à routage source, les paquets de données portent dans leurs entêtes les adresses de tous les noeuds constituant le chemin à partir de la source jusqu' à destination. De ce fait, les noeuds intermédiaires acheminent les paquets selon les informations qui se trouvent dans l'entête de chaque paquet de données. Cela veut dire que les noeuds intermédiaires n'ont pas besoin de maintenir des informations sur les chemins actifs. De plus, ils n'ont pas besoin de maintenir la connectivité avec leurs voisins. Dans le routage saut-par saut chaque paquet de données porte uniquement l'adresse de la destination et celle du saut prochain. De ce fait, chaque noeud intermédiaire utilise sa table de routage pour acheminer chaque paquet de données.

L'avantage de ce type de routage est qu'il permet une meilleure adaptabilité aux changements fréquents de topologie, car chaque noeud utilise les informations les plus fraîches dans le routage.

L'efficacité de l'approche réactive commence à se diminuer quand le trafic et la mobilité deviennent plus importants. De plus, les protocoles de routage réactifs possèdent un temps de réponse plus élevé que celui des protocoles de routage proactifs ce qui peut influencer sur les performances des applications interactives.

C) Les protocoles de routage hybrides :

Les protocoles de routage hybrides combinent les deux approches de routage réactif et proactif. Dans un protocole de routage hybride, le réseau est décomposé en un ensemble de zones. Le routage à l'intérieur des zones est assuré par un protocole de routage proactif alors que le routage entre les zones est assuré par un protocole de routage réactif. Les protocoles de routage hybrides ont l'avantage de scalabilité, car la taille des tables de routage est réduite à la taille des zones. De plus, ils permettent un temps de réponse plus court que les protocoles de routage purement réactifs.

II.9 Conclusion

Les principaux défis à relever dans les réseaux ad hoc sont fondamentalement liées aux problèmes de routage. 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 vu la classification des protocoles de routage dans les environnements mobiles.

Dans le chapitre suivant nous allons détailler sur quelques protocoles de routage et afin de mieux comprendre on vas faire une comparaison entre trois protocoles l'un proactifs et deux réactif.

Chapitre III

Description et simulation des
protocoles de routage AODV, DSDV
ET DSR

III.1 Introduction

Les réseaux avec infrastructures sont basés sur la présence des stations de base qui couvrent les différents noeuds mobiles du réseau. Contrairement aux réseaux ad hoc, qui sont des réseaux sans infrastructures fixe, et qui s'organisent automatiquement de façon à être déployé rapidement.

Plusieurs protocoles de routage ont été conçus mais non encore standardisés. Ils font l'objet d'un grand effort de tests d'évaluations et d'améliorations. Nous avons essayé à travers ce travail d'étudier trois protocoles de routage dans les réseaux ad hoc qui sont : le protocole AODV, DSDV, et DSR. Nous avons divisé ce chapitre en deux parties la première partie vas être consacré à la représentation de ces protocoles ainsi que leur principe de fonctionnement, leurs avantages et inconvénients et la deuxième partie on va la consacré pour la simulation de ces protocoles et étude de quelques scénarios possibles pour chaque protocoles.

III.2 Description et représentation des protocoles

Plusieurs protocoles de routage ont été proposés dans la littérature pour les MANETs, la liste des protocoles de routage présenté dans la figure (III.1) est loin d'être exhaustive, il en existe bien d'autres mais cette sélection couvre les protocoles les plus classiques et les plus étudié.

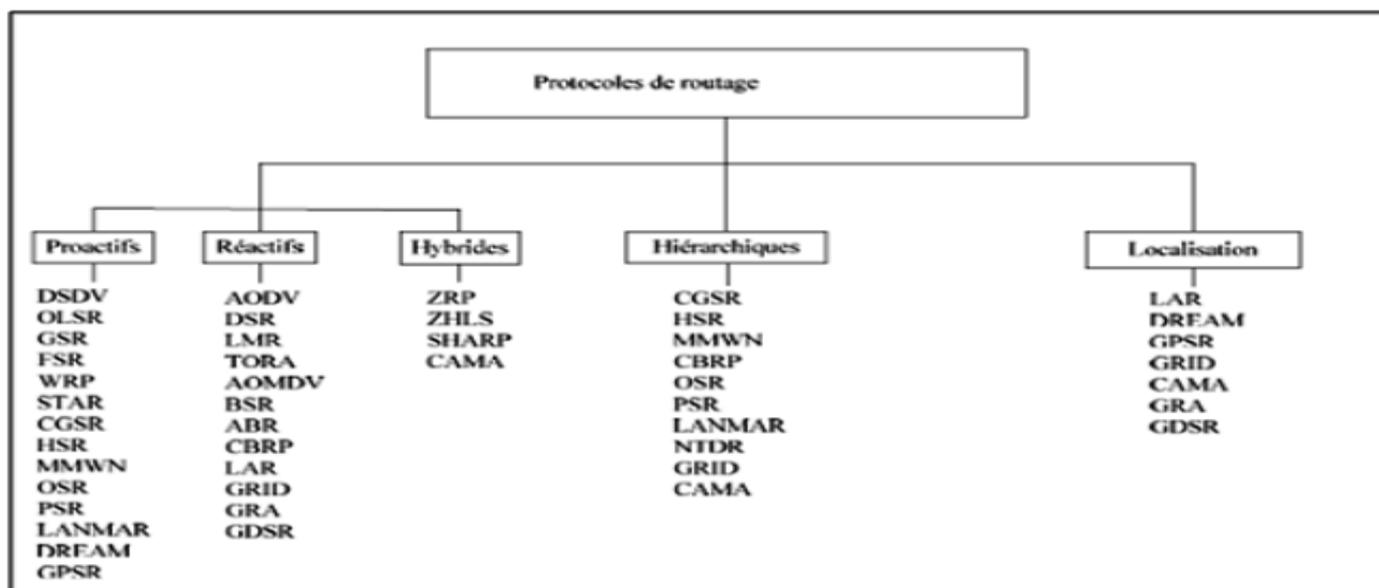


FIGURE III.1 – Différentes classes de protocole de routage ad hoc [9]

Les protocoles que nous allons étudier sont AODV, DSR et DSDV.

III.2.1 Le protocole Destination Sequence Distance Vector (DSDV)

Dans son fonctionnement de base, le protocole DSDV [14] partage la même philosophie avec les algorithmes à vecteur de distances. La contribution principale du protocole DSDV est l'utilisation des numéros de séquence qui permettent d'éviter la formation des boucles de routage. Quand un noeud reçoit plusieurs paquets de mise à jour au sujet d'un même noeud destination, il choisit celui avec le numéro de séquence le plus haut. Un noeud qui détecte la rupture d'un lien, génère un paquet de mise à jour dont le numéro de séquence possède une valeur infini. En recevant ce paquet, chaque noeud retire l'entrée correspondante de sa table de routage.

Pour assurer la consistance des tables de routage, les mises à jour de ces derniers s'effectuent périodiquement et immédiatement après un changement de topologie. Pour réduire la quantité du trafic que génèrent ces mises à jour, deux types de mise à jour sont utilisées :

- Les mises à jour complètes (full dump) : [15] c'est une mise à jour périodique, où chaque noeud de réseau transmet la totalité de sa table de routage vers tous ses voisins, ce qui nécessite l'envoi de plusieurs paquets de données .
- Les mises à jour incrémentales (incremental updates) : pour les quelles seules les entrées qui ont subi des modifications par rapport à la dernière mise à jour, sont envoyées par exemple l'apparition d'un nouveau voisin, disparition d'un noeud ,etc. Une autre solution pour réduire le trafic dans le réseau est que les noeuds reportent les mises à jour par un laps de temps qui vaut le temps moyen que nécessite la découverte du chemin le plus court vers une destination donnée.

III.2.1.1 Principe de fonctionnement

Périodiquement chaque noeud dans le réseau diffuse par inondation un paquet de mise à jour des tables de routage qui inclue les destinations accessibles et le nombre de sauts exigé pour atteindre chaque destination avec le numéro de séquence lié à chaque route. Des paquets de mise à jour sont aussi diffusés immédiatement s'il y a un changement dans la topologie du réseau afin de propager les informations de routage aussi rapidement que possible. [16] à la réception d'un paquet de mise à jour, chaque noeud le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Les routes les plus récentes (qui ont le plus grand numéro de séquence) avec la distance la plus courte sont gardées, les autres sont simplement ignorées.

III.2.1.2 les avantages et les inconvénients

► **Avantage**

- Il est adapté à des réseaux ad-hoc avec petit nombre de noeuds.
- Il garantit les chemins libres de boucle.
- Le trafic supplémentaire peut être évité avec les mises à jour par accroissement.
- Dans la table de cheminement, DSDV ne maintient pas les chemins multiples à la destination.

► **Inconvénients**

- En raison de la publicité inutile d'information de cheminement la largeur de bande est gaspillée.
- DSDV ne soutient pas le multi-cheminement de route.
- Il est difficile de déterminer le délai pour la déclaration des chemins.
- Il est difficile de maintenir une table de routage pour un plus grand réseau.
- DSDV exige une mise à jour régulière de ses tables de routage qui épuise la puissance de batterie.

III.2.2 Le protocole ad hoc On demande Distance Vector (AODV)

AODV est un protocole de routage réactif, basé sur le principe des vecteurs de distance, capable à la fois de routage unicast et multicast [17]. Il représente essentiellement une amélioration de protocole DSDV et il repose sur le mécanisme de découverte de chemins à la demande mais il n'utilise pas le routage source, AODV repose sur le routage saut par saut. Chaque noeud dans AODV, maintient une table de routage et utilise les numéros de séquence comme DSDV pour éviter le problème des boucles de routage [18]. AODV fonctionne par l'utilisation de trois types de messages :

- Les messages de demande de route RREQ : Route Request Message.
- Les messages de réponse de route RREP : Route Reply Message.
- Les messages d'erreur de route RERR : Route Error Message.

III.2.2.1 Principe de fonctionnement

Le protocole AODV est basé sur l'utilisation de deux mécanismes «Découverte de route» et «maintenance de route».

1. Découverte de route

Lorsque les noeuds veulent établir une communication et il n'existe pas de route valide entre un noeud source et destinataire, AODV diffuse dans le réseau une requête de demande de route RREQ (Route REQuest). Si un noeud quelconque dans le réseau possède une route à la destination il renvoie une réponse par la requête RREP (Route REPLY) à l'émetteur, et si ce dernier ne reçoit pas de réponse RREP pendant une Période appelé (RREP-WAIT-TIME) il inonde encore une fois la requête RREQ, si cette dernière est rediffusée un certain nombre de fois (RREQ-RETRIES) sans recevoir de réponse une

erreur est signalé.

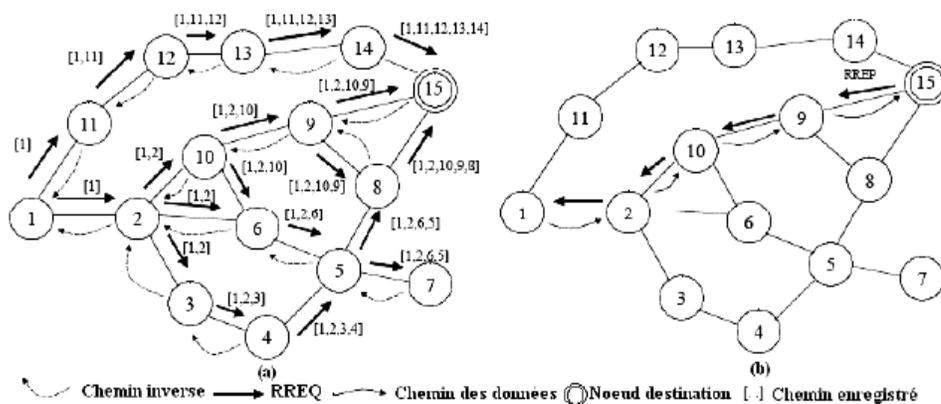


FIGURE III.2 – Phase de découverte des chemins dans AODV [4]

- a) Propagation des RREQs dans AODV . b) Propagation du RREP dans AODV.

2. Maintenance des routes

Chaque noeud dans AODV met à jour périodiquement la liste de ses voisins, un noeud transmet un message HELLO, Si un noeud ne reçoit pas d'un voisin trois messages HELLO consécutifs le lien avec le voisin est considéré invalide. Et si ce dernier est invalide (à cause de la mobilité ou la défaillance d'un noeud), les noeuds utilisant ce lien sont prévenus par un message d'erreur (RRER), ils vont alors diffuser une autre requête. La figure 3 illustre la coupure d'un lien entre deux noeuds et l'envoi du RRER dans AODV.

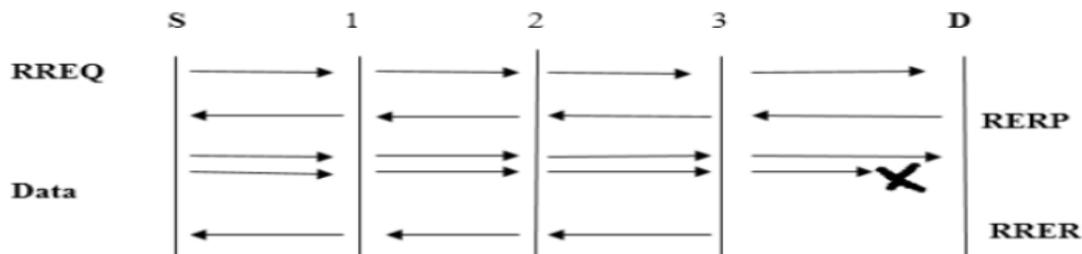


FIGURE III.3 – Coupure de route et envoi du RRER

III.2.2.2 Principe de numéro de séquence

A cause de la mobilité des noeuds dans le réseau ad hoc, les routes changent fréquemment ce qui fait que les routes maintenues par certains noeuds, deviennent invalides. Le numéro de séquence est utilisé afin d'éviter le problème des boucles infinies et des transmissions inutiles des messages sur le réseau, en plus il permet de maintenir la consistance des informations de routage. Chaque noeud maintient également un numéro de séquence dans sa table de routage, ce numéro de séquence est mis à jour dans deux situations :

- Lors de l'expiration d'une route ou d'une cassure sur le chemin. Un noeud peut alors incrémenter le numéro de séquence du destinataire et invalider la route auprès des autres noeuds .

- A la réception d'un message contenant un numéro de séquence plus élevé pour le même destinataire, le paquet contient alors des informations plus fraîches sur la route [19]

Ainsi chaque noeud du réseau est aussi chargé de maintenir à jour son numéro de séquence en l'incrémentant dans deux cas :

- Avant d'initier un processus de découverte de route, ce qui permet d'éviter les conflits avec les routes précédemment construites par ce même noeud.

- Avant l'émission d'un RREP par le destinataire, et ça permet de mettre à jour les informations de routage des noeuds traversés par le paquet.

III.2.2.3 Avantages et inconvénients

L'un des avantages d'AODV est l'utilisation de numéro de séquence dans les messages. Ces numéros de séquences permettent d'éviter les problèmes de boucle infinie et ils sont essentiels au processus de mise à jour de la table de routage.

Un autre avantage est le rappel de l'adresse IP du noeud origine dans chaque message. Ceci permet de ne perdre la trace du noeud à l'origine de l'envoi de message lors des différents relais.

Un inconvénient d'AODV est qu'il n'existe pas de format générique des messages, chaque message à son propre format : RREQ, RREP, RERR.

III.2.3 Le protocole Dynamic Source Routing (DSR)

Le protocole DSR [20] est un protocole réactif basé sur le routage par la source, c'est-à-dire que la source des données détermine le chemin complet par le quel les données vont transiter et ce dernier sera transmis avec les données. Dans chaque paquet de données transmis, il y a un champ qui contient la séquence de noeuds à suivre pour atteindre la destination.

III.2.3.1 Principe de fonctionnement

1. Découverte de route

Si un destinataire est dans le cache du noeud source, la route connue est utilisée. Sinon, une procédure de découverte de route est déclenchée. Les paquets de découverte de route contiennent les adresses source et destination ainsi qu'un identifiant permettant aux noeuds intermédiaires de savoir s'ils ont déjà traité les paquets. Le chemin vers la destination est créé dans le paquet de recherche de route. Chaque noeud qui reçoit ce paquet ajoute à la route préexistante dans ce paquet sa propre adresse (figure 4). Lorsqu'un des paquets de recherche de route atteint sa destination ou un noeud qui possède une route valide vers la destination, ce noeud répond à la source initiale [29].

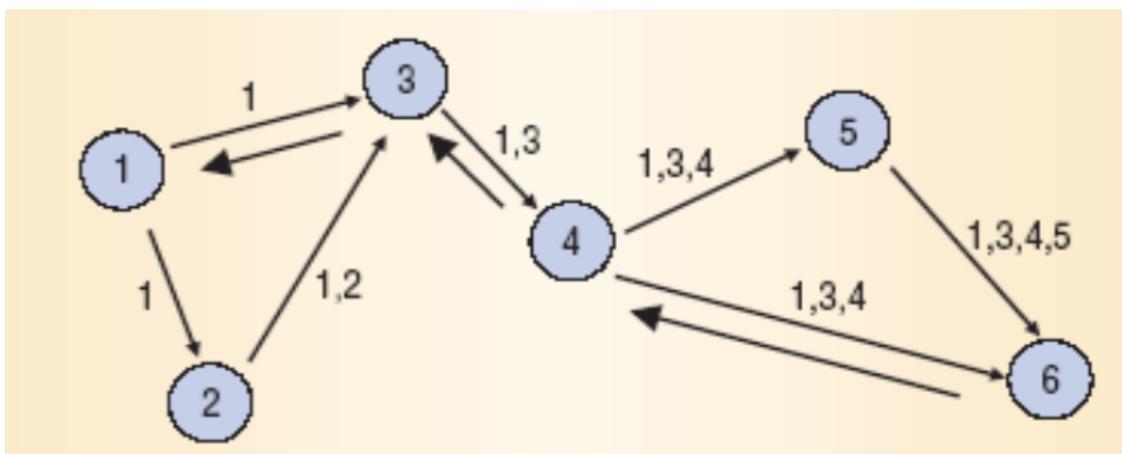


FIGURE III.4 – Mécanisme de découverte de route dans DSR [29]

Comme, a priori, ce noeud ne possède pas de route vers la source initiale (dans le cas où les liens ne sont pas bidirectionnels), une nouvelle recherche de route doit être entreprise. Pour éviter un bouclage infini des recherches de route, la route construite est ajoutée à la nouvelle recherche de route, de sorte que le noeud source connaisse une route valide pour sa réponse. Si l'on fait l'hypothèse que les liens rapportés par la recherche de route initiale sont symétriques, on peut utiliser cette route pour créer une réponse.

2. Maintenance des routes

Afin d'assurer la validité des chemins utilisés, DSR exécute une procédure de maintenance de routes. Quand un noeud détecte un problème fatal de transmission, à l'aide de sa couche de liaison, un message RERR est envoyé à l'émetteur original du paquet. Le message d'erreur contient l'adresse du noeud qui a détecté l'erreur et celle du noeud qui le suit dans le chemin (figure 5).

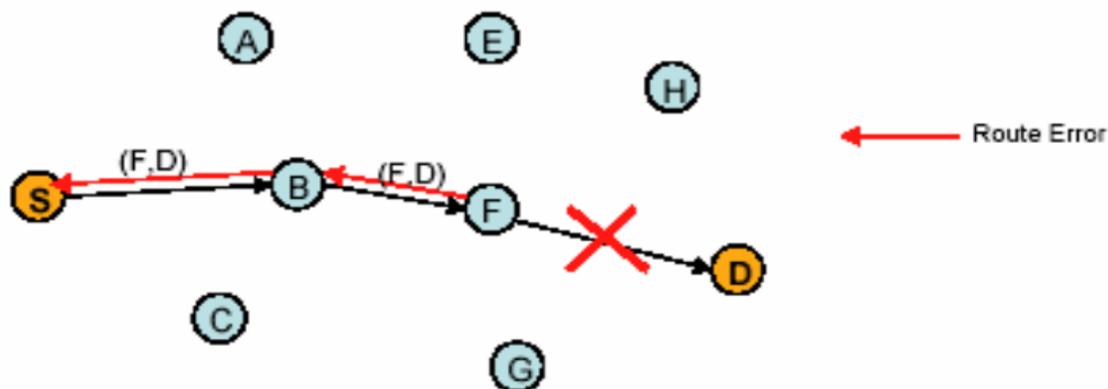


FIGURE III.5 – Le noeud en amont de rupture envoie un message RERR [29].

Lors de la réception du paquet d'erreur par l'hôte source, le noeud concerné par l'erreur est supprimé du chemin sauvegardé, et tous les chemins qui contiennent ce noeud sont invalides à ce point-là. Par la suite, une nouvelle opération de découverte de routes vers la destination est initiée par l'émetteur.

III.2.3.2 Avantages et inconvénients

L'un des inconvénients de protocole DSR est l'ajout dans les paquets de données qui accroît le surcoût et consomme plus de bande passante et d'énergie, et aussi le délai avant de commencer la transmission des paquets provoqués par la procédure de découverte de route.

Parmi ces avantages gérer l'asymétrie des liens présents dans le réseau et la mémorisation des routes dans les paquets qui assure l'absence de boucle de routage.

III.3 Simulation et discussion des résultats

III.3.1 Présentation de Network Simulator 2

III.3.1.1 Définition

NS2 (Network Simulator 2) est un simulateur à événements discrets développé dans un but de recherche. Il fournit un environnement assez détaillé permettant entre autres de réaliser des simulations d'IP, TCP, du routage et des protocoles multicast aussi bien sur des liens filaires que sans fil [21].

III.3.1.2 Architecture du NS2

L'architecture générale du NS2 consiste en deux types de langage de programmation : le C++ et l'OTcl (Object-oriented Tool Command Language). Le C++ est utilisé pour programmer les entités internes des systèmes simulés, alors que l'OTcl est utilisé pour définir les scénarios des simulations et les paramètres de configuration. Ces deux types de langages sont, ensuite, liés via le TclCL qui permet le passage des codes C++ vers les codes en OTcl et vice versa. Une fois la simulation terminée, NS génère des fichiers particuliers dits fichiers de traces contenant un ensemble d'informations sur le déroulement de la simulation. Ces fichiers permettent d'évaluer les performances de réseau étudié selon des critères précis. Ils peuvent être interprétés en utilisant les outils : NAM (Network Animator) et Xgraph [21].

On distingue deux types de fichiers de trace :

- Les fichiers trace «. NAM » : ces fichiers contiennent des informations utiles pour la visualisation des nœuds et leurs déplacements ainsi que le parcours des paquets entre les nœuds.
- Les fichiers trace «.tr» ces fichiers contiennent un ensemble de lignes tel que chaque ligne correspond à un événement date concernant soit un nœud ou un paquet, ils servent à calculer les différents critères et taux utiles pour évaluer les performances du réseau étudié.

L'utilisateur décrit les conditions de la simulation : la topologie de réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, les communications qui ont lieu. La simulation doit d'abord être saisie sous forme de fichier que NS va utiliser pour produire un fichier contenant les résultats. Mais l'utilisation de l'OTcl permet aussi à l'utilisateur de créer ses propres procédures. Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes unicast ou multicast, des protocoles de transport, de session, de réservation, d'application et des services intégrés [22]. Et voici une liste des principaux composants actuellement disponible dans NS par catégories :

- **Application** : Web, ftp, telnet, générateur de trafic(CBR) etc .

- **Transport** : TCP, UDP, RTP, SRM.
- **Protocoles de routage pour réseau filaire** : vector distance, link state.
- **Protocoles de routage pour réseau sans fil** : DSR, DSDV, AODV, AOMDV, TORA etc .
- **MAC** : IEEE 802.11, TDMA, CSM etc.

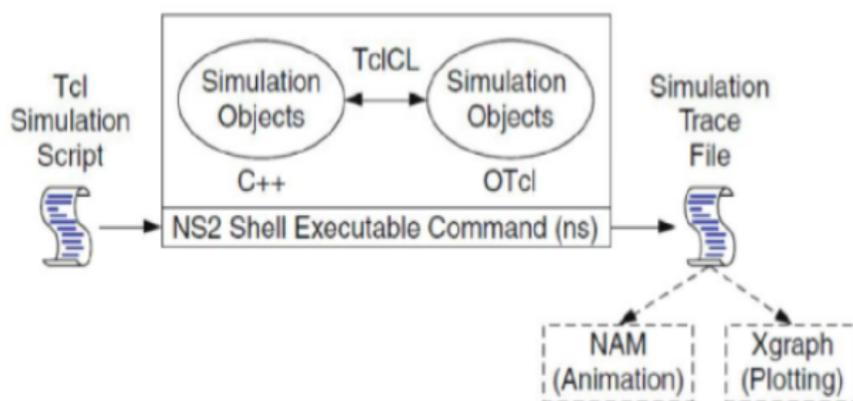


FIGURE III.6 – Architecture générale du NS

III.3.1.3 Les protocoles simulés

Nous avons simulé trois protocoles qui rentrent dans le cadre des deux types réactif et proactif.

- Réactif : protocole AODV et DSR.
- Proactif : protocole DSDV.

III.3.1.4 Paramètres de simulation choisis

- **Bande passante** : la bande passante est le débit en bit par seconde. Il est mesuré par la différence entre la fréquence de transmission la plus haute et la fréquence de transmission la plus basse. Ces fréquences sont mesurées en Hertz, l'unité fondamentale de ce paramètre est bit par seconde (bit/s) [23].

III.3.1.5 Modèle de simulation

Avant de lancer la simulation des scénarios, nous devons fixer certains paramètres qui vont constituer le contexte de notre simulation. Le réseau est composé de 25 noeuds (ce nombre changeant dans le scénario 1 de l'expérimentation), déployé sur une surface de

1000m*600m, nous avons supposé que tous les noeuds mobiles de réseau sont équipés par des interfaces de communication IEEE 802.11.

Comme modèle de propagation d'ondes nous avons utilisé Two Way Ground (il existe d'autres tel que free space et le shadowing mais le Two Way Ground offre des résultats plus pertinents pour une longue distance, Il considère que le signal reçu est facteur du signal voyageant en visibilité directe et de celui réfléchi sur le sol). Nous avons aussi choisi de modéliser la communication entre les noeuds en utilisant le trafic CBR sur UDP ou chaque source génère des paquets de 512 octets (notons que TCP n'a pas été choisi car il modifie le temps d'émission des paquets selon sa perception de la capacité de réseau, ce qui empêche une comparaison directe des protocoles de routage en question).

Ces paramètres sont illustrés dans le tableau suivant :

paramètre	valeur
Temps de simulation	100s
protocoles	DSDV, AODV, DSR
Model de mouvement	Random waypoint
Nombre de noeud	25
Nombre de scénarios pour un même contexte	2
Model de propagation	Two Ray Ground
Type d'interface de réseau	WirelessPhy
Couche MAC	802.11
Topologie de réseau	1000x600
Trafic d'application	CBR (Continuous Bit Rate)
Le paramètre simulé	Débit
File d'attente	Queue/DropTail/PriQueue

TABLE III.1 – Modèle de simulation utilisé

Le choix des paramètres de simulation est un grand problème dans le contexte des MANETs. La plupart des travaux publiés à leur sujet, utilisent des scénarios de simulation basés sur des hypothèses simples et par conséquent peu réalistes [24]. Ces scénarios considèrent que les noeuds se déplacent selon des modèles de mobilité aléatoire sur des sites sans obstacles. Cela parce que les simulateurs les plus communément utilisés comme NS-2 [25], n'incluent pas les outils qui permettent la génération de modèles plus élaborés [26].

III.3.1.6 avantages et inconvénients de la simulation

► **Avantage :**

- Observation des états de système.
- Etude des points de fonctionnement d'un système.

- Etude d'un système sans les contraintes matérielles.
- ▶ **Inconvénients :**
- Résultat pas généralement réalisable.

III.3.2 Résultats et discussion

Dans notre étude, on va traiter deux scénarios : l'impact de nombre de noeuds du réseau et l'impact de la distance entre émetteur et récepteur.

▶ Scenario 1 : Etude par rapport au nombre de noeuds

Nous varions le nombre de noeuds et nous gardons les autres paramètres fixes.

- cas 1 : nombre de noeuds=25
- cas 2 : nombre de noeuds=11

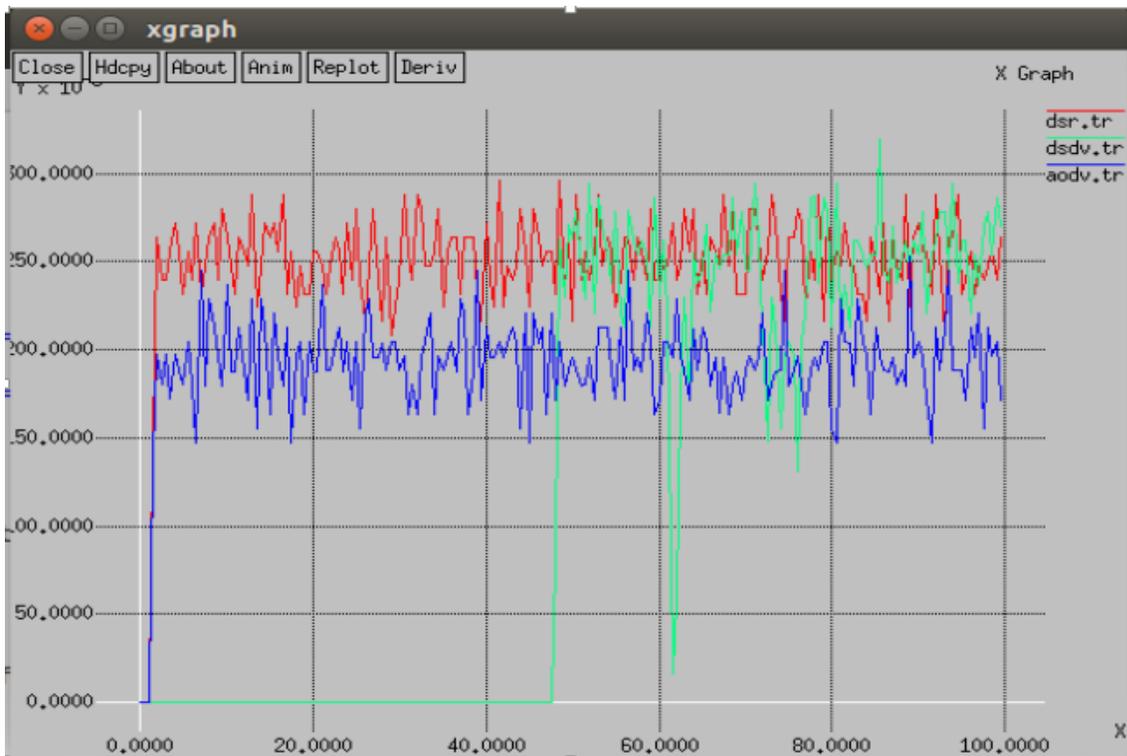


FIGURE III.7 – Débit des trois protocoles en fonction de temps associé au premier cas

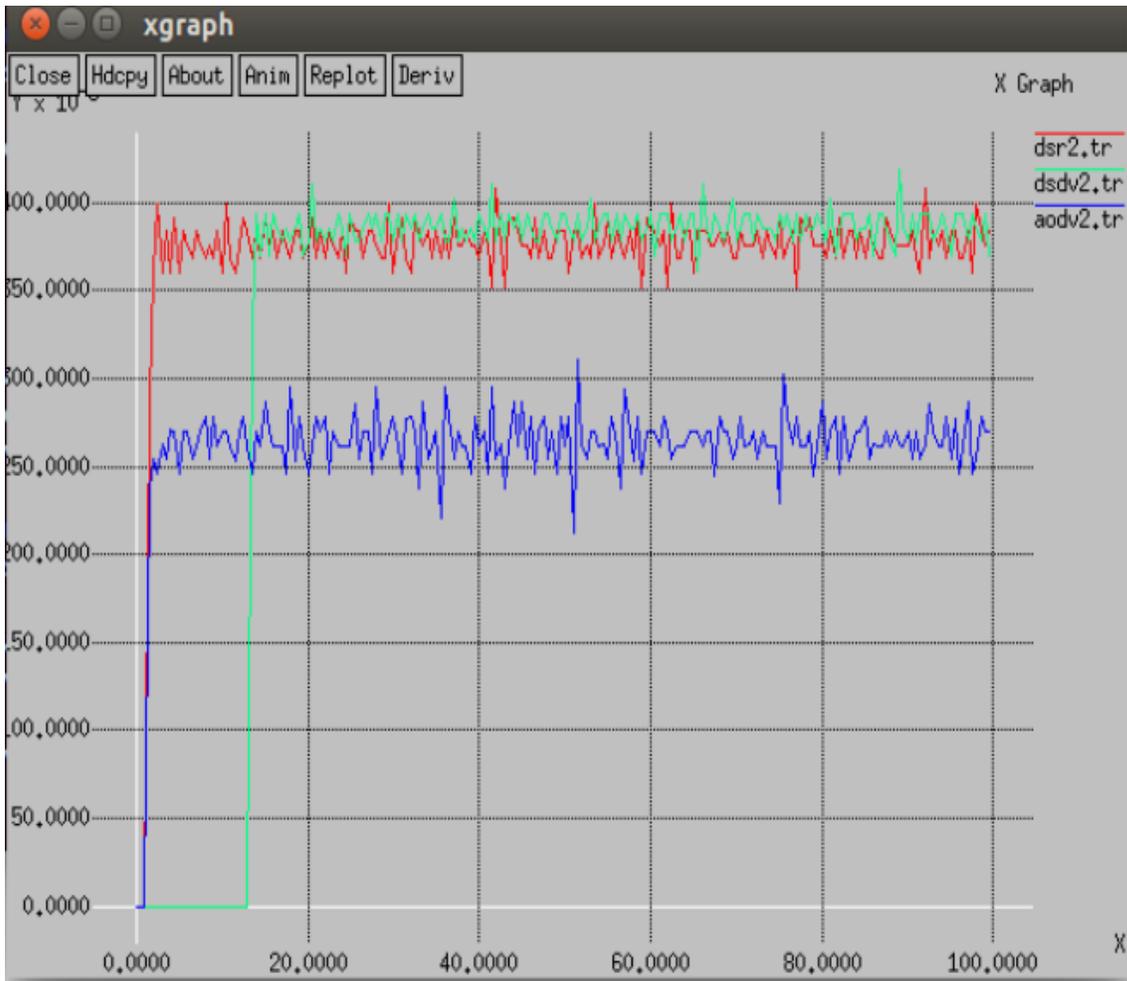


FIGURE III.8 – Débit des trois protocoles en fonction de temps associé au deuxième cas

► **Scenario 2 : Etude par rapport à la distance entre l'émetteur et le récepteur**

Nous varions la distance entre l'émetteur et le récepteur et nous gardons les autres paramètres fixes.

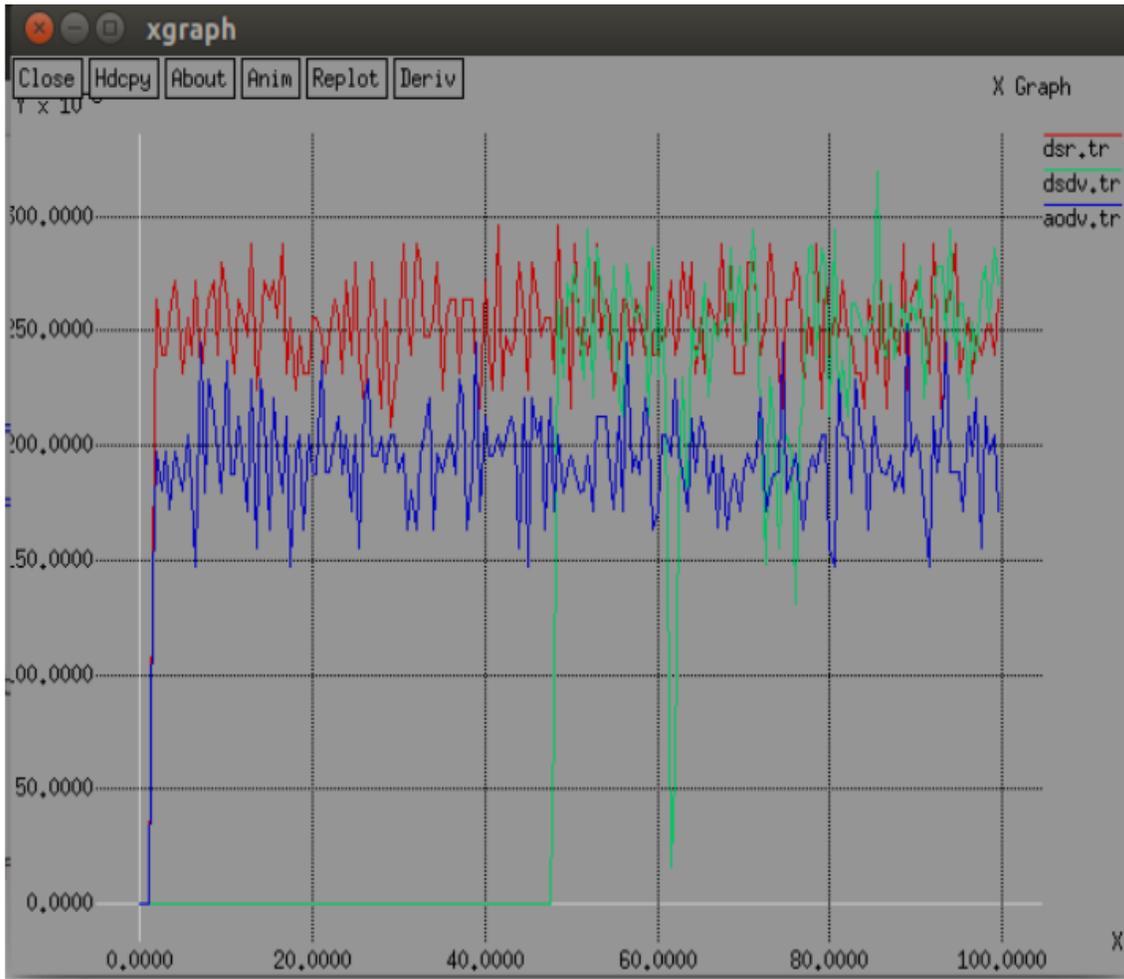


FIGURE III.9 – Débit des trois protocoles en fonction de temps (grande distance)

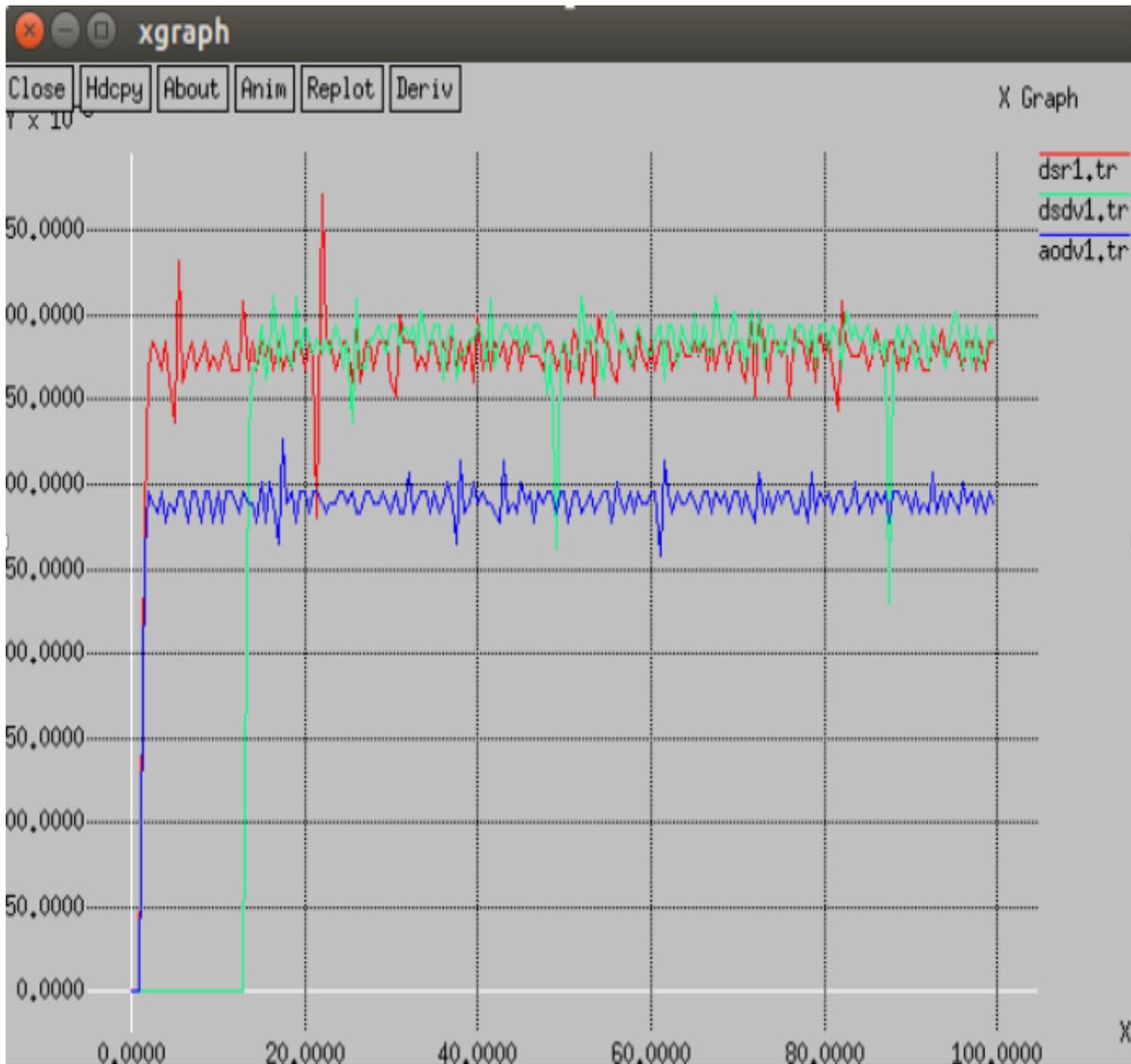


FIGURE III.10 – Débit des trois protocoles en fonction de temps (petite distance)

► **Discussion**

- **Scenario 1 :**

Les graphes présentés dans la figure 7 et 8, montrent que le débit par rapport au nombre de noeuds change pour les trois protocoles AODV, DSDV et DSR, on remarque qu'à chaque fois on minimise le nombre de noeuds le débit augmente dans le cas de DSDV et DSR plus que AODV, car dans DSDV la recherche d'une route est faite à l'avance et dans DSR c'est l'utilisation de cache. Mais dans le cas d'AODV le débit est presque le même dans les deux cas.

- **Scenario 2 :**

Les graphes présentés dans la figure 9 et 10 montrent le débit par rapport à la distance entre la source et la destination. On remarque que quand la distance entre la source et la destination est grande, le débit pour les trois protocoles est presque le même. Même si le temps de délivrance des paquets n'est pas le même à cause des mises à jour des tables de routages pour DSDV. Dans le cas où la distance entre la source et la destination est plus petite on remarque que le débit pour le protocole DSDV et DSR augmente, mais pour AODV le débit reste le même dans les deux cas.

- Le protocole AODV reste stable durant l'émission des données car le noeud source après avoir reçu une réponse d'une requête, commence à émettre les données en suivant le chemin inverse de la réponse.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté trois protocoles de routage un proactif et les deux autres réactifs, leurs définition, leurs principe de fonctionnement etc. Puis en deuxième partie nous avons fait une description de l'outil de simulation NS2. Nous avons décrit les langages utilisés et l'architecture générale dans ce simulateur etc. puis on a terminé par une étude comparative de ces trois protocoles selon différents scénarios.

Conclusion générale et perspectives

Vu leurs caractéristiques d'auto-organisation, de déploiement rapide et économique, les MANETs se révèlent une architecture prometteuse pour assurer une communication. Cependant, la réalisation d'une telle vision est conditionnée par la standardisation des protocoles de communication pour les MANETs qui est un objectif non encore atteint. Les propriétés essentielles des MANETs : changements de topologies fréquents, limitation des ressources énergétiques des équipements mobiles, ainsi que la limitation de la bande passante du médium de communication sans fil, ont contraint les chercheurs à la révision de toute la pile réseau. En fait, les protocoles de communication traditionnels sont conçus avec les hypothèses d'une topologie fixe et d'un canal de communication stable et prévisible, ce qui fait qu'ils ne sont pas adaptés au contexte des MANETs.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux travaux relatifs à la couche réseau, notamment aux protocoles de routage. Le routage dans les MANETs est loin d'être un problème simple, dans la conception des protocoles de routage pour les MANETs, deux buts non compatibles doivent être atteints : d'une part il faut garder une vue consistante sur la topologie du réseau ce qui demande des fréquentes mises à jour à cause de la constante mobilité des noeuds et de l'instabilité du médium de communication sans fil, d'autre part il faut optimiser la consommation de la bande passante qui est une ressource limitée dans les MANETs. L'objectif de ce travail était d'analyser et simuler quelque protocole de routage pour cela nous avons présenté dans un premier temps le concept de réseau ad hoc et le problème de routage dans cet environnement. Après avoir présenté ces derniers, nous avons parlé du problème d'acheminement des paquets dans les réseaux ad hoc, nous avons présenté quelques notions nécessaires pour la compréhension du concept de routage dans les environnements mobiles.

Le troisième chapitre on la partitionné en deux parties, la première a été consacré a la présentation des protocoles AODV, DSDV et DSR ainsi leurs mécanismes de fonctionnement et les avantages et inconvénients de chacun, quand est ce que a la deuxième partie on la consacré pour la présentation du simulateur qu'on a utilisé dans notre travail (ns2). Ainsi la simulation et la comparaison des trois protocoles.

Perspectives

- Améliorer les simulations en considérant d'autres métriques comme le délai de bout en bout et le niveau d'énergie de la batterie de chaque noeud.
- L'extension de nos simulations aux autres protocoles de routage du groupe MANET à savoir les protocoles hybrides, afin de pouvoir comparer les trois classes : réactives, proactifs et hybrides.

Bibliographie et webographie

[1] : N. A. Nouri, 'Évaluation des performances du protocole 802.11 mode ad hoc', thèse de Magister, Département d'Informatique, Université de Bejaïa, 2006.

[2] : P. Chandra, D.M. Dobkin, A. Bensky, R.Olexa, D.A. Lide, F. Dowla ; "Wireless Networking" ; UK, Elsevier Inc, ISBN : 978-0-7506-8582-5, 2008.

[3] : T.-W. Chen, M. Gerla ; "Global state routing : a new routing scheme for ad-hoc wireless networks" ; Proc. Of the IEEE ICC, 1998.

[4] : M. Ilyas ; "The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks" ; USA, CRC Press LLC, ISBN 0-8493- 1332-5, 2003.

[5] : T.A. Mounir, Proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride GSM et AD HOC, Mémoire de doctorat, université d'Oran, 2011-2012.

[6] : C. Liu, J. Kaiser ; "A Survey of Mobile Ad Hoc network Routing Protocols" ; Technical Report (Nr. 2003-08) University of Ulm, Germany, 2003.

[7] : M. Dawoud, Analyse du protocole AODV, DEA d'Informatique, Faculté des sciences Université libanaise, 2005-2006.

[8] : A.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, 2011.

[9] : A.Boukerche, B.Turgut, M.Z. Ahmad, L. D.Blmi, D.Turgut, routing protocols in ad hoc networks : A survey, computer networks 55 (2011), pp 3032-3080, 2011.

- [10] : C.Cheng, R.Riley, S.Kumar et J.J.Garcia-luna-aceves. A loop-free Bellman Ford. Routing protocol without bouncing effect ACM SIGCOMM'89, sept 1989.
- [11] : G.Malking, RIP version2-carrying additional Informaion. RFC 1388. Internet Engineering Task Force, January 1993.
- [12] : A.Berrabah, H.Saidi, Balancement de charges dans les réseaux Ad hoc, mémoire de fin d'études, Faculté des Sciences, université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen, 2012-2013.
- [13] : 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.
- [14] : M. Abolhasan , T. Wysocki , E. Dutkiewicz ; "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks" ; Ad Hoc Networks 2, pp. 1-22, 2004 .
- [15] : C.E. Perkins, T.J. Watson ; " Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers" ; ACM SIGCOMM-94 Conf. on Communications Architectures, London, 1994.
- [16] : J.Bhatt, N.Hemrajani. Effective Routing Protocol (DSDV) for Mobile Ad Hoc Network, «International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN : 2231-2307, Volume-3, Issue-5, November 2013» .
- [17] : S.Redouai. Le routage dans les réseaux mobile ad hoc. Thèse de magister, école.
- [18] : C. E. Perkins, E. M. Royer ; "Ad-hoc on-demand distance vector routing" ; WMCSA' 99, pp. 90- 100, New Orleans, February 1999.
- [19] : D.Elorrieta, Protocoles de routage pour l'interconnexion des réseaux Ad-Hoc

et UMTS, Licencié en informatique, Faculté des Sciences, Département d'Informatique, Université libre de Bruxelles, Année académique 2006-2007.

[20] : D. Johnson, D. Maltz, and Y. Hu, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (dsr)," Internet-Draft, 16 April 2003.

[21] : P. Anelli Introduction à l'utilisation de NS (Network Simulator).

[22] : The ns Manual ; <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation>.

[23] : M. Belgaiad, S. Ouahab, routage et qualité de service dans AODV et OLSR Université A/MIRA de bejaia .

[24] : F. Ducatelle ; "Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks" ; PHD thesis, Università Della Svizzera italiana, 2007.

[25] : The network simulator, NS version 2 ; <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

[26] : A. H Souley, S. Cherkaoui ; "Realistic Urban Scenarios Simulation for Ad Hoc Networks" ; 2nd Int. Conf .on Innovations in Information Technology, 2005.

[27] : D.M. Mondonga, Etude sur les protocoles de routage d'un réseau sans fil en mode Ad Hoc et leurs impacts « Cas de protocoles OLSR et AODV », Mémoire magister, Institut supérieure de l'informatique Kinshasa congo, année académique 2009/2010.

[28] : M .BOUZAHER Abdelaziz, Approche agent mobile pour l'adaptation des réseaux mobiles ad hoc, Mémoire de Magister en Informatique, Faculté des Sciences et des Sciences de l'ingénieur Département d'Informatique Ecole doctorale, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.

[29] : O. Cheikhrouhou, Sécurité des réseaux ad hoc, Diplôme National d'Ingénieur en

Génie Informatique, l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 2005.

Résumé

Les réseaux mobiles ad hoc appelés généralement MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) sont un nouveau type de réseaux basés sur la technologie sans fil. Un réseau ad hoc est constitué d'un ensemble d'unités de calcul portables comme les PDA (Personal Digital Assistant) et les laptops qui se déplacent librement et forment ensemble d'une manière dynamique un réseau interconnecté. Les réseaux ad hoc ne dépendent d'aucune infrastructure préétablie, les noeuds mobiles doivent coopérer ensemble pour pouvoir gérer leurs communications.

Notre mémoire a pour objectif de faire une étude comparative entre trois protocoles de routage connus dans les réseaux ad hoc, cette comparaison portera sur deux protocoles de type réactif (AODV, DSR) et un autre de type proactif (DSDV). Et afin d'évaluer les performances des trois protocoles on a fait recours à la simulation à l'aide d'un outil de simulation réseau NS2 (Network Simulator2).

Mots clés : Réseaux mobile Ad hoc, routage, protocole de routage, AODV, DSR, DSDV, simulateur NS-2.

Abstract

The ad hoc mobile networks generally called MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) are a new type of networks based on wireless technology. An ad hoc network consists of a set of portable computing units such as PDA (Personal Digital Assistant) and laptops who move freely and form together in a dynamic way an interconnected network. The ad hoc networks not depend on any predetermined infrastructure, mobile nodes must cooperate together to be able to manage their communications.

Our memory aims to make a comparative study between three protocols of routing known in the ad hoc networks, this comparison will relate to two reactive protocols (AODV, DSR) and another of proactive type (DSDV). And in order to evaluate the performances of the three protocols one made recourse to simulation using one of simulation network NS2 (Network Simulator2).

Words key : Ad hoc mobile networks, routing, protocol of routing; AODV, DSR, DSDV, simulator NS-2.