



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option: Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)

Thème

Balancement de charges dans les réseaux Ad Hoc

Réalisé par :

- BERRABAH Abdelkrim
- SAIDI Hassiba

Présenté le 02 Juillet 2013 devant le jury composé de MM.

- M^r BENMAMMAR Badr (Président)
- M^r BOUKLI HACENE Sofiane (Encadreur)
- M^r LEHSAINI Mohammed (Co-Encadreur)
- M^{me} LABRAOUI Nabila (Examineur)
- M^r BELHOCINE Amin (Examineur)

Remerciements

Nous remercions **Dieu** de nous avoir accordé des connaissances de la science et de nous avoir aidés à réaliser ce travail.

Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude.

Nos vifs remerciements vont tous d'abord à notre encadreur **MR. BOUKLI HACENE Sofiane** qui nous a encadrés tout le long de ce projet.

Nous voulons également exprimer notre profonde gratitude pour notre Co-Encadreur **MR. LEHSAINI Mohammed**.

Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail, qui espérons le sera à la hauteur de leur attente.

Enfin, nos remerciements les plus sincères sont adressés à tous les professeurs, l'administration et le personnel du Centre de Télé Enseignement (CTE).

Dédicace

*A ceux que j'aime surtout aux plus
chères personnes du monde, mes
parents à qui je dois mon éducation
et ma réussite*

*Ma femme, mes frères et mes sœurs
A toute ma grande famille oncles,
tantes, cousins et cousines
Et a tous mes chers amis.*

Abdelkrim BERRABAH

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents

Mon frère

Mes sœurs

Mes chères amies Leïla et Khadidja

Mes collègues en Master 2 RSD

Toutes Mes amies

Hassiba SAIDI

Table des matières

Introduction générale	5
Chapitre I Généralités sur les réseaux sans fil	8
I.1 Introduction.....	9
I.2 Réseaux de mobile et réseaux sans fil	9
I.2.1 Les réseaux mobiles	10
I.2.2 Les réseaux sans fil.....	10
I.3 Les réseaux sans fil.....	10
I.3.1 L'historique	10
I.3.2 Définition.....	11
I.3.3 Les caractéristiques de la communication sans fil	11
I.3.4 Les catégories des réseaux sans fil	12
I.4 Les environnements mobiles	13
I.4.1 Les réseaux avec infrastructure (cellulaire).....	13
I.4.2 Les réseaux sans infrastructure (Ad Hoc)	14
I.5 Les réseaux mobiles Ad Hoc	14
I.5.1 Généralités sur les réseaux mobiles Ad Hoc	14
I.5.2 Définition d'un réseau Ad Hoc.....	14
I.5.3 Avantages et inconvénients des réseaux Ad Hoc	14
I.5.4 Types des réseaux Ad Hoc	15
I.5.5 Sécurité dans les réseaux Ad Hoc	16
I.6 Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc.....	16
I.7 Domaine d'applications des réseaux mobiles Ad Hoc	17
I.8 Conclusion	18
Chapitre II Protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc.....	19
II.1 Introduction.....	20
II.2 Routage dans les réseaux Ad Hoc	20
II.3 Mode de communication dans Les réseaux Ad Hoc	21
II.4 Problématiques de routage dans les réseaux Ad Hoc	21
II.5 La conception des stratégies de routage	21
II.6 L'évaluation des protocoles de routage	21
II.7 Notions fondamentales sur le routage.....	22
II.7.1 Routage hiérarchique ou plat.....	22
II.7.2 Routage à la source et le routage saut par saut.....	23
II.7.3 Etat de lien et Vecteur de distance	23
II.7.4 L'inondation.....	24
II.7.5 Le concept de groupes	24

II.7.6	Protocoles uniformes et non-uniformes.....	24
II.8	Les protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc.....	24
II.8.1	Les protocoles de routage proactifs	25
II.8.2	Les protocoles de routage réactifs	27
a.	Définition	27
a.	Terminologie d'AODV	27
b.	Table de routage et paquets de contrôle.....	28
c.	Table d'historique	29
d.	Structure des messages échangés.....	30
e.	Principe de fonctionnement.....	33
f.	Avantages et inconvénients.....	36
b.	Avantages et les inconvénients des protocoles réactifs	37
II.8.3	Le routage hybride	37
II.9	Conclusion	37
Chapitre III Balancement de charge dans les réseaux Ad Hoc.....		39
III.1	Introduction.....	40
III.2	Le protocole de routage LBAR.....	40
III.3	Principe de fonctionnement	41
III.3.1	Découverte de routes	41
III.3.2	Maintenance du chemin	41
III.3.3	Gestion de la connectivité locale.....	41
III.3.4	Fonction de calcul de coût.....	41
III.4	Conclusion	42
Chapitre IV Implémentation et évaluation de l'application.....		43
IV.1	Introduction.....	44
IV.2	Implémentation de NS-2.....	44
IV.3	Traitement des résultats dans NS-2	44
IV.4	Network Animator NAM.....	44
IV.5	Problématique	45
IV.6	Optimisation proposée	45
IV.7	Première étude	45
IV.8	Deuxième étude	46
IV.9	Optimisation et résultat.....	46
IV.10	Scénarios de simulation.....	46
IV.11	Résultats et interprétations par métrique.....	47
IV.11.1	La première étude	47
a.	End-to-End Delay	47

b. Packet Delivery Fraction	50
c. Normalized Routing.....	52
IV.11.2 La Deuxième étude	55
a. End-to-End Delay (retard)	55
b. Packet Delivery Fraction	57
c. Normalized Routing (La surcharge)	60
IV.12 Comparaison AODV / AODV MODIFIÉ.....	62
Conclusion Générale.....	63
Bibliographie	64
Liste des Figures	67
Résumé.....	68

Introduction générale

Introduction générale

Dans nos jours, le besoin à plus de mobilité et à pouvoir partager ou échanger de l'information à tout moment, en utilisant des dispositifs mobiles (téléphones portables, PDA, PC portables) a rendu très répandu la notion de réseau sans infrastructure, ou réseaux Ad Hoc. Les réseaux sans fil sont en plein développement du fait de la flexibilité de leur interface, qui permet à un utilisateur de changer facilement de place dans son entreprise. Les communications entre équipements terminaux peuvent s'effectuer directement ou par le biais de stations de base. Un réseau Ad Hoc est une collection d'entités mobiles interconnectées par une technologie sans fil formant un réseau temporaire sans l'aide de toute administration centralisée ou de support fixe.

De nos jours, l'utilisation de la technologie sans fil a envahi le marché des réseaux de télécommunication. Plusieurs standards ont vu le jour, on peut citer à titre d'exemple: WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), Zigbee (IEEE 802.15.4). Ces standards équipent une large gamme d'équipements mobiles. Ce progrès technologique fait que les réseaux de télécommunication sans fil sont actuellement un des 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. L'inconvénient de ce type de réseau c'est qu'il requière le déploiement d'une importante infrastructure fixe. Cette approche est utilisée dans les réseaux sans fil traditionnels comme les réseaux GSM, et les réseaux locaux sans fil. Cependant, les communications dans un réseau Ad Hoc s'effectuent en absence de toute infrastructure de communication fixe préexistante. Si les équipements communicants se trouvent dans la zone de transmission les uns des autres, la communication s'effectue en mode point-à-point. En plus, si encore les nœuds communicants sont éloignés, plusieurs nœuds intermédiaires participent à l'acheminement des données vers leurs destinations. Pour pouvoir communiquer entre eux chaque unité mobile doit jouer le rôle d'un routeur et d'un terminal, et doit retransmettre les paquets des autres unités mobiles. Les réseaux Ad Hoc offrent une grande flexibilité d'emploi et une grande robustesse et peuvent se déployer très rapidement.

Plusieurs protocoles de routage pour les réseaux Ad Hoc ont été développés. Chaque protocole essaie de maximiser les performances du réseau en minimisant le

Introduction générale

délai de livraison des paquets, l'utilisation de la bande passante et la consommation d'énergie. Les algorithmes de routage pour les réseaux Ad Hoc peuvent se classer en trois catégories, les protocoles Table-Driven, les protocoles On-Demande et les protocoles Hybrides.

Les protocoles Tables-Driven maintiennent à jour des tables de routage qui indiquent les routes vers chaque destination du réseau et les routes sont donc calculées même si elles ne sont pas utilisées. L'avantage de ces protocoles c'est que la connexion entre les nœuds est immédiate puisque les routes sont calculées à l'avance. Cependant, l'inconvénient c'est qu'ils utilisent beaucoup de paquets de contrôle pour maintenir à jour les tables de routage. Les protocoles On-Demand en contrepartie calculent les routes selon les besoins et la route est calculée quand elle est demandée. L'avantage de ces protocoles c'est qu'ils utilisent moins de paquets de contrôle que les protocoles Table-Driven, cependant qu'ils ont un délai initial avant de commencer la transmission des données qui est le délai nécessaire pour déterminer la route. Les protocoles hybrides essaient de combiner les deux approches précédentes tout bénéficiant de leurs avantages mais ils cumulent aussi leurs inconvénients. Le problème est donc de trouver un compromis et essayer d'avoir un délai initial court tout en utilisant un minimum de paquets de contrôle.

Le protocole dans les réseaux Ad Hoc qui nous intéresse dans ce sujet de mémoire est le protocole de routage AODV. C'est un protocole capable de routage unicast et multicast. Il est fondé sur le principe de vecteurs de distance c'est à dire du nombre des sauts entre l'émetteur et le récepteur. Ce protocole utilise un numéro de séquences dans l'envoi de ces paquets afin d'éviter les problèmes de boucle et de comptage à l'infini. C'est un protocole réactif qui stocke les routes utilisées dans sa table de routage. La recherche de route s'effectue par diffusion. Chaque nœud enregistre le passage de la requête à l'allée. Une fois la destination atteinte, le dernier nœud envoie un paquet réponse par la route inverse et active la route en même temps.

Le délai de sélection de route est toujours un élément essentiel dans un réseau. Il est en effet souhaitable de faire communiquer deux nœuds entre eux de sorte que le flux de données échangées entre ces nœuds peut être transmis dans un délai minimal.

Le but général de ce mémoire est de désigner et implémenter un modèle de simulation afin d'analyser le fonctionnement du protocole **AODV** en particulier évalué le délai de sélection de route du protocole.

Introduction générale

Ce document est composé de quatre chapitres: Le premier chapitre est consacré à la compréhension des concepts et des caractéristiques des réseaux mobiles surtout les réseaux Ad Hoc.

Dans le second chapitre nous avons présenté le routage et les différents protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc et on a expliqué le principe du fonctionnement du protocole de routage **AODV** qui est le sujet de notre mémoire.

Dans le troisième chapitre on a expliqué le protocole **LBAR** à partir du quel on a apporté les modifications puis la notion de l'équilibrage de charge.

Le dernier chapitre montre la proposition d'amélioration d'**AODV** pour atteindre un balancement de charge. Les résultats de la simulation sont représentés par des graphes et sont interprétés. Une comparaison entre **AODV** et **AODV** modifié est ainsi faite et interprétée. Pour se faire, nous avons utilisé NS-2.35 pour l'évaluation des performances.

Une conclusion générale dans laquelle on résume notre contribution et les résultats obtenus, et des perspectives font la fin de ce mémoire.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux sans fil

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

I.1 Introduction

L'essor des technologies sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs portable qui ont des caractéristiques particulières (une faible capacité de stockage, une source d'énergie autonome...) et accèdent au réseau à travers une interface de communication sans fil. Comparant avec un environnement statique, le nouvel environnement résultant appelé l'environnement mobile, permet aux unités de calcul une libre mobilité, et il ne pose aucune restriction sur la localisation des usages. La mobilité (ou nomadisme) et le nouveau mode de communication utilisé engendrent de nouvelles caractéristiques propres à l'environnement mobile: une fréquente déconnexion, un débit de communication et des ressources modestes, et des sources d'énergie limitées.

Ce chapitre a pour but de présenter l'environnement mobile, et les principaux concepts liés à ce nouvel environnement. Le chapitre introduit la technologie de communication sans fil utilisée par un réseau mobile. Pour cela, nous détaillons quelques principales notions nécessaires à la compréhension de ces systèmes. Le premier modèle de l'environnement étudié, dans ce chapitre, n'exclut pas l'existence d'une infrastructure préexistante (un ensemble de stations liées par un réseau filaire) puisque l'esprit de la communication est la même pour tous les réseaux mobiles.

Dans ce chapitre, nous présentons les environnements mobiles et les principaux concepts liés à ces environnements. Nous commençons par définir cet environnement et citer les deux classes qui le constituent, ainsi que les principaux avantages offerts. Nous donnons par la suite quelques notions importantes utilisées dans les systèmes mobiles et qui sont plus liées à la technologie sans fil qui représente le cœur de la télécommunication sans fil ainsi que nous introduisons les concepts de réseau Ad Hoc.

I.2 Réseaux de mobile et réseaux sans fil

Les termes mobile et sans fil sont souvent utilisés pour décrire les systèmes existants, tels que le **GSM, IS-95, IEEE 802.11, Bluetooth**. Toutefois, il est important de distinguer les deux catégories de réseaux que regroupent les concepts de mobile et de sans fil de façons à éviter toute confusion.

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

I.2.1 Les réseaux mobiles

Un utilisateur mobile est défini théoriquement comme un utilisateur capable de communiquer à l'extérieur de son réseau d'abonnement tout en conservant une même adresse. Les différents protocoles de signalisation à l'œuvre dans les réseaux étant peu compatibles entre eux, on a souvent recours, pour pallier ce handicap, à des mécanismes de transcription de la signalisation de l'utilisateur pour l'adapter au réseau visiteur.

I.2.2 Les réseaux sans fil

Le concept de sans fil est étroitement associé au support de transmission. Un système est dit sans fil s'il propose un service de communication totalement indépendant de prise murale. Dans cette configuration, d'autres moyens d'accès sont exploités, tels que l'infrarouge les ondes hertziennes. Ces différentes interfaces ne sont toutefois pas sans faire naître de nouvelles difficultés.

Par exemple les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair. Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fil.

I.3 Les réseaux sans fil

I.3.1 L'histoire

Le « sans fil » est à la mode aujourd'hui. Malgré qu'il existe de puis la fin du XIXe siècle avec la découverte des ondes électromagnétiques par le physicien allemand « Heinrich Hertz » en 1888. Dix ans plus tard, le 5 Novembre 1898, « Eugène Ducretet » assisté d'Ernest Roger, établit la première communication radio à longue distance, 4 kilomètres, entre la « Tour Eiffel » et le « Panthéon », c'était le début de la Télégraphie Sans Fil (**TSF**). En 1908, ces ondes radio transparent déjà la voix et la musique, grâce à Lee de Forest. Deux ans plus tard, celui-ci retransmet même un opéra donné au Métropolitain opéra House à New York c'est l'une des premières émissions de radio. En 1924, John « Loggie Baird » retransmet sur les ondes des images d'objets en mouvement, à la Royal Institution. Encore deux ans plus tard, il permet à un visage humain de s'afficher pour la première fois sur un écran de télévision via les ondes radio. Les techniques se perfectionnent tout au long du siècle, et en particulier pendant la deuxième guerre mondiale, certaines des techniques du **WIFI** sont nées des recherches militaires [1]. Ces recherches sur les réseaux Ad Hoc dans le domaine civil n'ont en fait

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

véritablement pris leur essor qu'avec l'arrivée des premières technologies radio bon marché; principalement de la norme **IEEE 802.11** et ses diverses extensions. La norme 802.11 est conçue avant tout pour bâtir des réseaux autour d'une infrastructure fixe de bornes radio reliée entre elles par un réseau câblé. Les recherches se sont cristallisées en particulier sous forme d'un groupe de travail à l'**IETF**¹, le groupe MANET². Les problématiques de ce type de réseaux sont nombreuses et substantiellement différentes de celles du monde filaire ou même cellulaire (pas d'infrastructure fixe ni même d'assurance d'avoir des voisins, mobilité possible de tous les éléments et donc absence de plan d'allocation géographique des fréquences) [2].

I.3.2 Définition

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 composent le réseau. Les réseaux sans fil sont principalement employés lorsqu'il s'agit d'interconnecter des utilisateurs nomades 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.

I.3.3 Les caractéristiques de la communication sans fil

Les réseaux sans fil Ad Hoc se caractérisent principalement par :

- **Mobilité** : L'utilisateur des réseaux sans fil a la possibilité de se déplacer dans le réseau tout en gardant la même adresse. Cela nécessite d'une assurance de la continuité des communications en cours de déplacement (Handover).
- **Autonomie** : Les unités mobiles ont une contrainte liée à la durée de vie des batteries, il faut économiser autant que possible les transmissions inutiles. Heureusement qu'actuellement les nouvelles technologies de mobiles présentent des durées plus importantes offrant aux mobiles une autonomie plus importante.

¹ Internet Engineering Task Force

² Mobile Ad Hoc Networks

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

- **Débit et portée faible :** L'une des limites de la communication sans fil vient de la relative faiblesse de la bande passante des technologies utilisées. Plusieurs facteurs limitent la portée d'une transmission sans fil, comme la faible puissance du signal, les obstacles qui empêchent, atténuent, ou réfléchissent les signaux.
- **Non sécurisé :** Les réseaux sans fil offrent de nouvelles failles aux pirates. De part la nature immatérielle du support physique, l'écoute clandestine sur un réseau sans fil est facile.

I.3.4 Les catégories des réseaux sans fil

Plusieurs technologies de réseaux sans fil existent qui se distinguent par la fréquence d'émission utilisée, le débit, la portée des transmissions et même le mode de fonctionnement. Plusieurs classifications peuvent être définies suivant ces caractéristiques. Dans le cadre de ce mémoire, nous étudions deux de ces classifications à savoir, la classification selon la portée des sites et selon l'infrastructure utilisée.

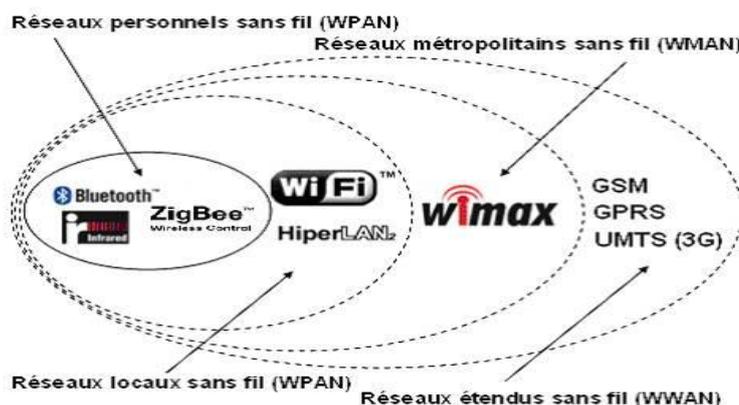


Figure I.1 Les catégories du réseau sans fil

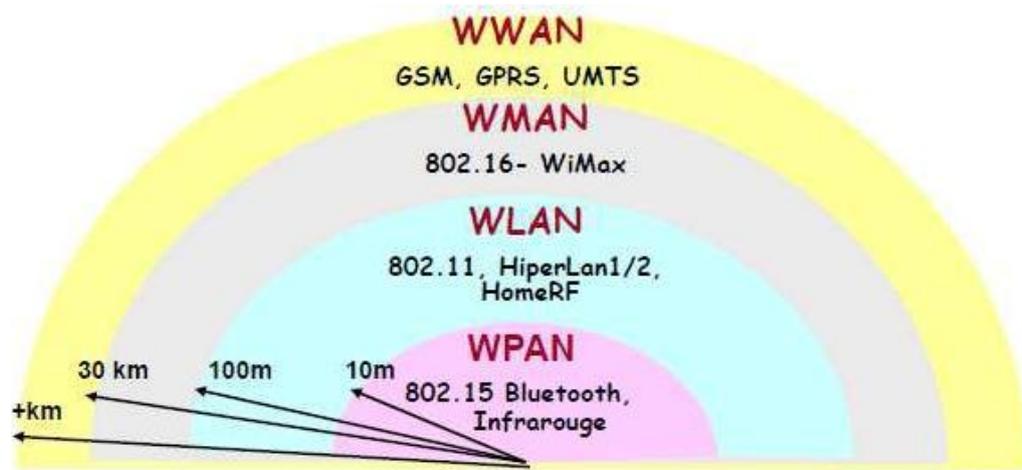


Figure I.2 Classement des réseaux sans fils selon la portée

I.4 Les environnements mobiles

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

I.4.1 Les réseaux avec infrastructure (cellulaire)

Le modèle de système intégrant des sites mobiles et qui a tendance à se généraliser, est composé de deux ensembles d'entités distinctes :

- Les "sites fixes" d'un réseau de communication filaire classique (wired network).
- Les "sites mobiles" (Wireless network).

Certains sites fixes, appelés stations de base (**SB**) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites mobiles ou unité mobile (**UM**) localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule comme le montre la figure(I.3).

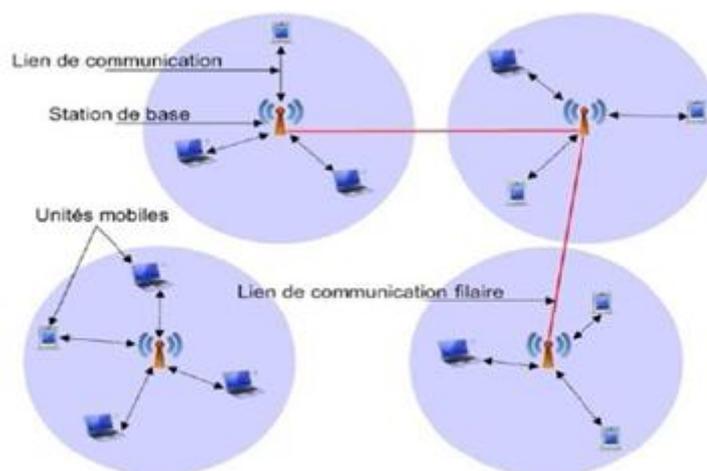


Figure I.3 Le modèle de réseaux mobile avec infrastructure

- A chaque station de base correspond 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.

- 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 [3].

I.4.2 Les réseaux sans infrastructure (Ad Hoc)

Le modèle du réseau mobile sans infrastructure préexistante ne comporte pas l'entité « site fixe ». Tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil (Figure I.4).

L'absence de l'infrastructure ou d'un réseau filaire composé de station de base, oblige les unités mobiles (UM) à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et à la maintenance chemins pour les autres hôtes du réseau. Ce type de réseau est appelé : Ad Hoc.

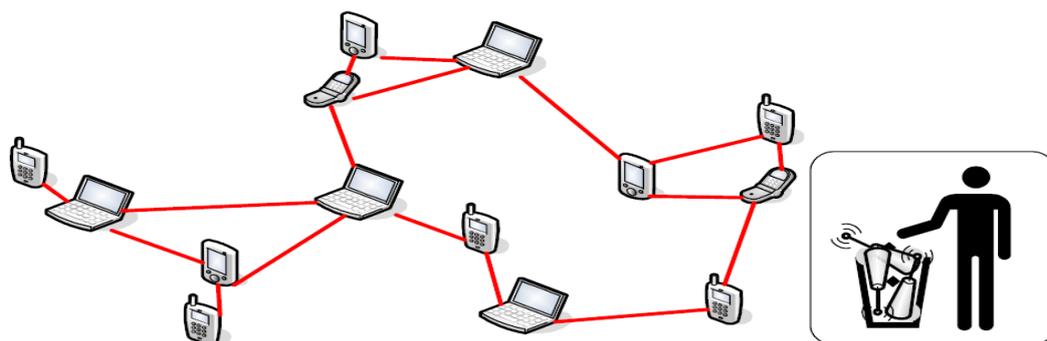


Figure I.4 Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure

I.5 Les réseaux mobiles Ad Hoc

I.5.1 Généralités sur les réseaux mobiles Ad Hoc

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calculs portables, 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 » [4].

I.5.2 Définition d'un réseau Ad Hoc

Un réseau mobile Ad Hoc appelé généralement **MANET**, consiste en une grande population relativement dense 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 [5]. Dans un réseau Ad Hoc, un nœud peut communiquer directement (mode *point-à-point*) avec n'importe quel nœud s'il est situé dans sa zone de transmission, tandis que la communication avec un nœud situé en dehors de sa zone de transmission s'effectue via plusieurs nœuds intermédiaires (mode *multi-sauts*) [6,7].

I.5.3 Avantages et inconvénients des réseaux Ad Hoc

Les réseaux Ad Hoc présentent plusieurs avantages, les plus importants sont [8] :

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

- Déploiement facile, rapide et économique.
- Tolérance aux pannes.

Cependant, les réseaux Ad Hoc ne présentent pas que des avantages. Les données pour rejoindre le destinataire à partir de l'émetteur vont peut être devoir traverser de nombreuses machines et chaque relais traversé apportent un délai supplémentaire. Les réseaux Ad Hoc ont donc dans la plupart des cas une latence plus importante que les réseaux sans fil cellulaire. Le second inconvénient est lié à la nature même des réseaux Ad Hoc, en effet dans un réseau Ad Hoc tout les éléments coopèrent de manière à acheminer les données y compris les machines non-concernées par ces données. Il y a donc un problème évident de confidentialité, et il est donc obligatoire d'utiliser des outils de cryptage. Ceci entraîne aussi un autre problème, les machines servant de relais utilisent leurs ressources (batterie, carte réseau sans fil) pour acheminer des données qui ne les concernent pas, en retour d'autres machines font de même pour leurs transmissions. Enfin il est difficile voir impossible d'établir une qualité de service sur un réseau Ad Hoc puisque les éléments composant une route sont susceptibles de disparaître à tout moment [11].

I.5.4 Types des réseaux Ad Hoc

Nous décrivons les trois types de réseaux Ad Hoc à savoir : les réseaux mobiles Ad Hoc (*MANETs*), les réseaux de capteurs (*WSNs*³) et les réseaux maillés (*WMNs*⁴). Bien que les MANETs et les WSNs présentent plusieurs caractéristiques communes, mais ils se diffèrent en plusieurs aspects [9] :

- La caractéristique principale des nœuds constituant un MANET est la mobilité, tandis que les nœuds capteurs dans un WSN sont statiques.
- Dans les MANETs la communication peut s'effectuer entre des nœuds quelconques du réseau, tandis que dans un WSN la communication est toujours initiée vers ou à partir des nœuds puits ; de plus les communications capteur-à-capteur sont rares, mais les transmissions multicast et broadcast sont communes.
- Les MANETs sont caractérisés par une plus faible densité par rapport aux WSNs.

³ wireless sensor networks

⁴ Wireless Mesh Networks

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

- Dans un MANET tous les nœuds sont égaux, de ce fait la panne de n'importe quel nœud a la même importance, tandis qu'un WSN est plus sensible à la panne des nœuds puits qu'à celle des capteurs.

- Les réseaux WMNs sont conceptuellement similaires aux MANETs dans le sens où la communication entre les mesh-routeurs s'effectue en mode multi-sauts. Cependant, ils ont les particularités suivantes [9]:

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

I.5.5 Sécurité dans les réseaux Ad Hoc

N'importe quel algorithme de routage doit intégrer dans son système un mécanisme de sécurité qui dépendra de plusieurs facteurs (authentification, intégrité, confidentialité et disponibilité) et qui concerne deux aspects : la sécurité du routage et la sécurité des données. Ces deux aspects comportent certaines vulnérabilités et sont exposés à plusieurs attaques [10].

I.6 Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux Ad Hoc sont caractérisés principalement par :

- **Une topologie dynamique:** La topologie des réseaux ah hoc changent rapidement et aléatoirement, ceci est causée par la mobilité arbitraire des nœuds du réseau. Le changement de la topologie change les routes entre les nœuds et provoque la perte de paquets [11, 12].

- **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). Ce partage fait que la bande passante réservée à un hôte soit modeste [13].

- **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 [13].

- **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 [13].

Chapitre I : Généralité sur les réseaux sans fil

- **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 utilisant des fréquences proches peuvent interférer entre eux.
- **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 [13].
- **Nœuds cachés:** Ce phénomène est très particulier à l'environnement sans fil. Les nœuds ne s'entendent pas à cause d'un obstacle qui empêche la propagation des ondes. Les mécanismes d'accès au canal vont permettre alors à ces nœuds de commencer leurs émissions simultanément. Ce qui provoque des collisions au niveau du nœud [13].
- **La qualité de service:** De nombreuses applications ont besoin de certaines garanties relatives par exemple au débit, au délai ou encore à la gigue. Dans ces réseaux Ad Hoc, ces garanties sont très difficiles à obtenir. Ceci est dû à la nature du canal radio d'une part (interférences et taux d'erreur élevés) et au fait que des "liens" entre des mobiles peuvent avoir à se partager les ressources (alors qu'en filaire, deux liens sont par définition indépendants) [14].

I.7 Domaine d'applications des réseaux mobiles Ad Hoc

D'une façon générale, les réseaux Ad Hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant, soit parce qu'il est difficile à mettre en place, soit parce que la durée d'installation du réseau est très longue.

- Les services d'urgence.
- Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments.
- Home network.
- Applications commerciales.
- Réseaux de senseurs.

I.8 Conclusion

Ce chapitre s'est focalisé sur les concepts des environnements mobiles et en particulier sur les réseaux Ad Hoc. L'étude effectuée sur les réseaux mobiles Ad Hoc nous a permis de connaître leurs mode de transmissions et les différentes caractéristiques. Ces environnements sont caractérisés par de fréquentes déconnexions des nœuds et des restrictions sur les ressources utilisées. Ces limitations transforment certains problèmes, ayant des solutions évidentes dans l'environnement classique, en des problèmes complexes et difficiles à résoudre. Et ainsi constater que leur apparition a facilité la mise en œuvre d'applications mobiles.

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 II

Protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc

II.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. Pour pallier ce type de problème, de nombreux protocoles ont été proposés, ils peuvent être classés en deux catégories, 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.

II.2 Routage dans les réseaux Ad Hoc

Le Routage consiste à faire transiter une information de puis un émetteur vers une destination. Le rôle principal d'un protocole de routage consiste à établir des routes efficaces entre une paire de nœuds pour que les messages puissent être livrés au moment opportun. La construction des routes doit être faite avec un minimum de charge de contrôle et de consommation de bande passante.

Généralement, le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le problème de routage consiste pour un réseau dont les arcs, les nœuds et les capacités sur les arcs sont fixés à déterminer un acheminement optimal des paquets, à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Le problème consiste à trouver l'investissement de moindre coût en capacités nominales et de réserves qui assure le routage du trafic nominal et garantit sa serviabilité en cas de n'importe quelle panne d'arc ou de nœud.

II.3 Mode de communication dans Les réseaux Ad Hoc

Les unités mobiles dans les réseaux Ad Hoc utilisent trois principaux modes de communication :

- Le mode de communication unicast ou point à point.
- Le mode de communication multicast ou multi point.
- La diffusion ou broadcast.

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 nœud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un nœud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination tout nœud 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 [16].

II.5 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 [16] :

- La minimisation de la charge du réseau
- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables
- Assurer un routage optimal
- Le temps de latence

II.6 L'évaluation des protocoles de routage

Les protocoles de routage doivent être évalués afin de mesurer les performances de la stratégie utilisée et de tester sa fiabilité. L'utilisation d'un réseau Ad Hoc réel dans une évaluation est difficile et coûteuse, en outre de telles évaluations ne donnent pas

généralement des résultats significatifs. Le réseau réel n'offre pas la souplesse de varier les différents paramètres de l'environnement et pose en plus le problème d'extraction de résultats [16].

Une unité reste dans sa position courante pendant une certaine durée (pause time), par la suite elle choisit une nouvelle vitesse et une nouvelle localisation vers laquelle elle se déplace. Chaque unité répète ce même comportement jusqu'à la fin de la simulation.

Les paramètres mesurés dans une évaluation dépendent de la stratégie de routage appliquée mais généralement tout simulateur doit être en mesure d'évaluer :

- Le contrôle utilisé dans le mécanisme de mise à jour de routage
- Les délais moyens du transfert des paquets
- Le nombre moyen de nœuds traversés par les paquets de données.

II.7 Notions fondamentales sur le routage

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

II.7.1 Routage hiérarchique ou plat

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

○ **Les protocoles de routage à plat** : considèrent que tous les nœuds sont égaux (figure II.1). La décision d'un nœud de router des paquets pour un autre dépendra de sa position. Parmi les protocoles utilisant cette technique, on cite l'**AODV** (Ad Hoc On Demand Distance Vector).

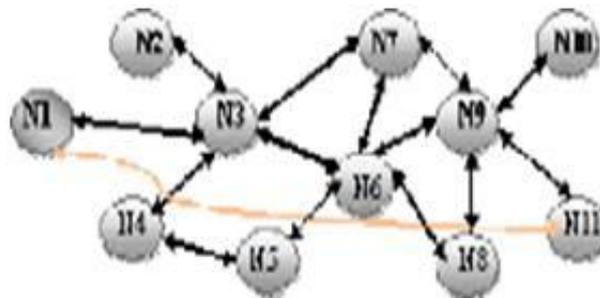


Figure II.1 Routage à plat

○ **Les protocoles de routage hiérarchique** : fonctionnent en confiant aux mobiles des rôles qui varient de l'un à l'autre. Certains nœuds sont élus et assument des

fonctions particulières qui conduisent à une vision en plusieurs niveaux de la topologie du réseau. Un exemple de protocole utilisant cette stratégie est l'OLSR (Optimized Link State Routing).

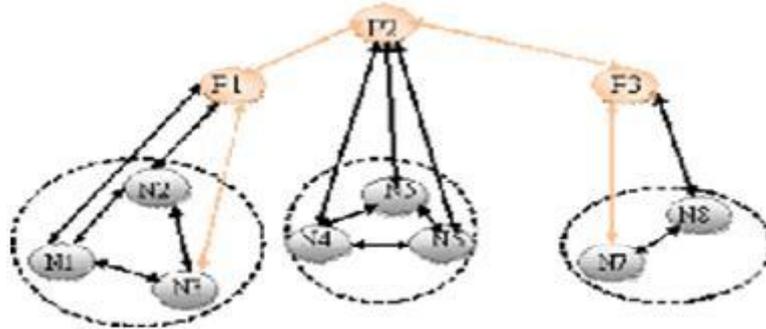


Figure II.2 Routage hiérarchique

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

- **Le routage à la source** : le routage à la source ou "source routing" consiste à indiquer dans le paquet routé l'intégralité du chemin que devra suivre le paquet pour atteindre sa destination. L'entête de paquet va donc contenir la liste des différents nœuds relayeur vers la destination. Le protocole le plus connu basant sur cette classe est : **DSR**.
- **Le routage saut par saut** : le routage saut par saut ou "hop by hop" consiste à donner uniquement à un paquet l'adresse du prochain nœud vers la destination. **AODV** fait partie des protocoles qui utilisent cette technique.

II.7.3 Etat de lien et Vecteur de distance

Autres classification hérité du monde filaire est possible pour les protocoles de routage : les protocoles basés sur l'état des liens et ceux basés sur le vecteur de distance. Les deux méthodes exigent une mise à jour périodique des données de routage qui doivent être diffusées par les différents nœuds de routage du réseau.

- **Les protocoles basés sur l'état de lien** : La famille des protocoles à état de liens se base sur les informations rassemblées sur l'état des liens dans le réseau. Ces informations sont disséminées dans le réseau périodiquement ce qui permet ainsi aux nœuds de construire une carte complète du réseau [18]. Les principaux protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc qui appartiennent à cette classe sont les suivants : TORA, OLSR et TBRPF.
- **Les protocoles basés sur le vecteur de distance (Algorithme du vecteur de distance)** : Dans le vecteur de distance ou routage de bellman-Ford (distance vector routing)[19] , chaque nœud du réseau maintient une table de routage qui comporte une

entrée par nœud du réseau, le prochain nœud à atteindre et le coût pour joindre cette destination. Périodiquement chaque nœud diffuse sa table de routage à ses voisins. Les protocoles de routage basés sur le vecteur de distance les plus connus pour les réseaux Ad Hoc sont : DSR, DSDV et AODV [20].

II.7.4 L'inondation

L'inondation ou la diffusion pure, consiste à faire propager un paquet (de données ou de contrôle) dans le réseau entier. Un nœud qui initie l'inondation envoie le paquet à tous ses voisins directs. De même, si un nœud quelconque du réseau reçoit le paquet, il le rediffuse à tous ses voisins. Ce comportement se répète jusqu'à ce que le paquet atteigne tous les nœuds du réseau. Notons que les nœuds peuvent être amenés à appliquer - durant l'inondation - certains traitements de contrôle dans le but d'éviter certains problèmes tel que le bouclage et la duplication des messages [21, 22].

II.7.5 Le concept de groupes

Dans la communication de groupes, les messages sont transmis à des entités abstraites ou groupes, les émetteurs n'ont pas besoin de connaître les membres du groupe destinataire. La gestion des membres d'un groupe dynamique 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 adaptée à des topologies de réseaux reconfigurables telles que les architectures avec sites mobiles [21].

II.7.6 Protocoles uniformes et non-uniformes

Certains protocoles de routage n'utilisent pas tous les nœuds d'un réseau pour faire transiter les messages au contraire ils en sélectionnent certains en fonction du voisinage ou pour former des cellules. Ces protocoles sont dits non-uniformes. Ceux qui utilisent tous les nœuds du réseau capables de router sont appelés protocoles uniformes [24].

II.8 Les protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc

Le routage dans les réseaux Ad Hoc est assez délicat étant donnée la nature changeante de la topologie de ce type de réseaux. De nombreux protocoles sont proposés pour résoudre le problème de routage multi saut (multihopping), chacun fondé sur différents concepts et reposant sur différentes hypothèses et intuitions. Les protocoles de routage peuvent être séparés en deux classes principales, à savoir proactif ou réactif, selon les manières dont les routes sont créées et maintenues. On pourra

ajouter une troisième classe, celle des protocoles hybrides qui sont une combinaison des protocoles proactifs et réactifs.



Figure II.3 Classes de protocoles de routage Ad Hoc

II.8.1 Les protocoles de routage proactifs

Les protocoles proactifs sont basés sur la même philosophie que les protocoles de routages utilisés dans les réseaux filaires conventionnels. C'est-à-dire qu'elle est fondée sur la méthode état de lien et vecteur de distance [21, 22]. La méthode état de lien repose sur le fait que chaque nœud diffuse dans le réseau son voisinage. La méthode « vecteur de distance » est basée sur la propagation d'information concernant sa distance à tous les nœuds du réseau. Elles exigent des mises à jour périodiques. Ces deux méthodes, en se basant sur des algorithmes de routage, recherchent toujours le plus court chemin entre l'émetteur et le récepteur. Ce calcul repose sur le nombre de saut, ces sauts pouvant être pondérés selon différents critères (taux d'utilisation du lien, délais).

Actuellement ils existent plusieurs protocoles proactifs (DSDV, OLSR, FSR, WRP, GSR, HSR, ZHLS, CGSR, DREAM).

- **Le protocole de routage DSDV** [23]: DSDV signifie "Vecteur de Distance à Dynamique Séquencée" "Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector". Cet algorithme de routage de Perkins a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Il a été créé à partir de l'algorithme distribué de Bellman-Ford. La métrique utilisée par DSDV est tout simplement le nombre de nœud séparant l'hôte de la destination. La table de routage de ce protocole prend en compte :

- Toutes les destinations possibles.
- Le nombre de sauts nécessaire afin d'atteindre la destination.
- Le numéro de séquence associé à chaque nœud de destination.

- **Le protocole de routage WRP** [21]: Le protocole de routage sans fil WRP "Wireless Routing Protocol" est basé sur l'utilisation de la classe des algorithmes de recherche de chemins PFA (Path-Finding Algorithm). Le WRP utilise un algorithme de

recherche de chemins qui réduit les situations des boucles temporaires et qui limite les mises à jour lors des changements significatifs des entrées de la table de routage. Dans ce protocole, chaque nœud maintient : une table de distance, une table de routage, une table de coûts des liens et une liste de retransmission de messages MRL (Message Retransmission List).

- **Protocole de routage GSR [21]:** GSR signifie "Routage à Etat Global" "Global State Routing". GSR est semblable à DSDV mais comporte quelques améliorations comme la suppression du mécanisme d'inondation des messages de routage et l'utilisation de la vue globale de la topologie du réseau comme les protocoles à états de liens.

- **Protocole de routage FSR [21]:** FSR signifie "Routage à Etat de l'œil du poisson" "Fisheye State Routing". Ce protocole peut-être considéré comme une évolution du protocole GSR. Cette évolution vise encore la diminution de la consommation de la bande passante.

- **Protocole de routage OLSR [24]:** OLSR signifie "Routage à états de liens optimisé" "Optimized Link State Routing". Dans ce protocole, les nœuds ne déclarent qu'une sous-partie de leur voisinage grâce à la technique des relais multipoints. Cette technique permet d'optimiser la diffusion des messages de routage économisant une grande partie de la bande passante du réseau.

- **Protocole de routage CGSR [21]:** Le protocole appelé CGSR "Clusterhead Gateway Switch Routing" utilise principalement l'algorithme de routage DSDV : l'ensemble des unités mobiles du réseau est décomposé en groupes, et chaque groupe élit un représentant. Les nœuds appartenant à la portée de communication d'un représentant de groupe appartiennent au groupe représenté par ce dernier. Un nœud de liaison est un nœud qui appartient à la portée de communication de plus d'un représentant de groupe.

- **Protocole de routage DREAM [23]:** Le protocole appelé "Algorithme d'Effet de Routage basé sur la Distance pour la Mobilité" ou DREAM (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) est un protocole proactif basé sur les informations de localisation des unités mobiles.

Il diffuse les données destinées à une certaine destination en effectuant une inondation partielle. Chaque nœud du réseau mobile Ad Hoc envoie alors périodiquement des messages de contrôle afin d'informer tous les autres nœuds de sa localisation.

II.8.2 Les protocoles de routage réactifs

a. Définition

Le routage réactif est basé sur le principe de l'ouverture de route à la demande, ainsi lorsqu'un équipement veut communiquer avec une station distante, il est obligé de déterminer une route dynamiquement [22]. Cette technique permet de ne pas inonder le réseau de paquets de contrôle de routage et de ne conserver que les routes utilisées. Lorsque le réseau a besoin d'une nouvelle route, un processus de découverte de route est alors lancé, ce processus dépend des différents protocoles de routages réactifs.

Le routage réactif induit forcément à une lenteur lors de l'ouverture d'une nouvelle connexion, et l'on ne peut prévoir à l'avance la qualité de la route découverte (délai, bande passante). Actuellement ils existent plusieurs protocoles réactifs (DSR, AODV, TORA, ABR, SSR, LAR, RDMAR). Nous allons expliciter les plus importants.

Le protocole de routage CBRP [22]: Dans le "Protocole de Routage Basé sur les Groupes" appelé CBRP "Cluster Based Routing Protocol", l'ensemble des nœuds du réseau est décomposé en groupes.

- **Le protocole de routage DSR** [22]: Le protocole de routage DSR, qui signifie "Dynamic Source Routing", utilise la technique du routage source. Le routage source consiste à ce que la source détermine un chemin et envoie dans chaque paquet de données tous les nœuds à traverser pour atteindre la destination.

- **Protocole de routage AODV** : Qui signifie "Ad Hoc On-demand Distance Vector" nous nous sommes intéressés à faire une étude théorique sur quelques protocoles, pour cela, la première étape à faire fut celle du choix de protocole sur lequel se baser. Notre choix s'est porté sur **AODV**. En effet, ce protocole montre une meilleure qualification. **AODV** est représentatif de diverses techniques et est le plus avancé sur la voie d'une normalisation. Il appartient à une famille des protocoles réactifs. Il utilise un mécanisme de diffusion (broadcast) dans le réseau pour découvrir les routes valides.

Nous allons présenter ce protocole, en commençant par une étude détaillée sur le protocole de routage AODV et sa manière d'agir.

a. Terminologie d'AODV

- **Itinéraire actif** : Une entrée de table de routage avec une métrique finie dans la zone de comptage de saut. Une table de routage peut contenir les entrées qui ne sont pas en activité (les itinéraires ou les entrées inaccessibles). Ils ont une métrique infinie dans la zone de comptage de saut. Seulement des entrées actives peuvent être employées

pour expédier des paquets de données, les entrées inaccessibles sont par la suite supprimées.

- **Émission** : Un paquet d'émission ne peut pas être aveuglément expédié, mais la radiodiffusion est utile pour permettre la diffusion des messages d'AODV dans tout le réseau Ad Hoc.

- **Nœud d'expédition** : Un nœud qui accepte d'expédier des paquets destinés pour des autres nœuds, en les retransmettant à un prochain saut qui est plus près de la destination le long d'un chemin qui a été installé en utilisant des messages de contrôle de routage.

- **Expédier l'itinéraire** : Une installation d'itinéraire pour envoyer des paquets de données d'un nœud lançant une opération de découverte d'itinéraire vers sa destination désirée.

- **Le nœud de lancement** : Un nœud qui lance un message d'AODV à traiter et être probablement retransmis par d'autres nœuds dans le réseau Ad Hoc. Par exemple, le nœud lançant un procédé de découverte d'itinéraire et envoie le message **RREQ** (route request) s'appelle le nœud d'origine du message de **RREQ**.

- **Itinéraire renversé** : Une installation d'itinéraire pour expédier un paquet de réponse **RREP** au créateur de **RREQ** par la destination ou par un nœud intermédiaire ayant un itinéraire à la destination.

b. Table de routage et paquets de contrôle

Le protocole **AODV** représente essentiellement une amélioration de l'algorithme proactif **DSDV**. Le protocole **AODV**, réduit le nombre de diffusions de messages, et cela en créant les routes lors du besoin, contrairement au **DSDV**, qui maintient la totalité des routes. L'**AODV** est basé sur l'utilisation des deux mécanismes « Découverte de route » et « Maintenance de route », en plus du routage nœud-par-nœud [28].

L'**AODV** utilise les principes des numéros de séquence à fin de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds dans les réseaux Ad Hoc, les routes changent fréquemment ce qui fait que les routes maintenues par certains nœuds, deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d'utiliser les routes les plus nouvelles ou autrement dit les plus fraîches (fresh routes) [26, 27].

L'**AODV** utilise une requête de route dans le but de créer un chemin vers une certaine destination. Cependant, l'**AODV** maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage, au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin cherché. Les informations sur les routes doivent être conservées même pour les

liaisons de courtes durées. La structure de cette table est présentée dans la figure suivante [25].

@D	#SN	Valid_SN	State	Interface	#HC	@NH	PL	LT

Figure II.4 Format de la table de routage

- @D : L'adresse IP de la destination.
- #SN (*Sequence Number of destination*) : Numéro de séquence de la destination.
- Valid_SND : Drapeau indiquant la validité du numéro de séquence.
- State : Drapeau indiquant l'état de l'entrée (par exemple : *Valid, Invalid, repairable, being repaired*).
- Interface : Interface réseau.
- #HC (*Hop Count*) : Nombre de saut nécessaires pour atteindre la destination.
- @NH (*Next Hop*) : Prochain saut en direction de la destination.
- PL (*Precursor List*) : Liste des précurseurs : c'est la liste des voisins auxquels une réponse de route est générée ou transféré.
- LT (*Life Time*) : Temps au delà du quel la route expire ou est effacée.

c. Table d'historique

Pour diminuer le nombre de messages qui circulent dans le réseau, **AODV** ne traite qu'une seule fois un message de demande de route. Ainsi, il garde trace des demandes de route déjà traitées en les stockant dans une structure appelée table d'historique (*buffer*). Donc, si un nœud reçoit de nouveau la même demande de route une seconde fois (ou une n^{ième} fois), il la jette [24.25].

Chaque entrée de la table d'historique est composé de :

- #ID : Identifiant de la demande de route RREQ.
- @S : Adresse de source.
- LT : Temps au delà du quel l'entrée sera effacée.

#ID	@S	LT

Figure II.5 Format de la table d'historique

d. Structure des messages échangés

- **Demande de route RREQ (Route REQuest)** : Ce message est diffusé lorsqu'un nœud détermine qu'il a besoin d'une route vers une destination et ne dispose pas d'une route disponible [25]. C'est le cas lorsque la destination est inconnue ou lorsque une route précédemment valide dans sa table de routage expire ou est marquée invalide. Le nœud crée le paquet présenté dans la figure II.6

@source	Num.seq source	Broadcast id	@Destination	Num.seq Destination	Nombre de saut
---------	----------------	--------------	--------------	---------------------	----------------

Figure II.6 Format RREQ simple

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Type = 1								J	R	G	D	U	Reserved								#HC										
#ID - RREQ Identifier																															
@D - Destination IP Address																															
#SND - Destination Sequence Number																															
@Src - Source IP Address																															
#SNS - Source Sequence Number																															

Figure II.7 Format de la demande de route RREQ détaillée

- Type (8 bits) : ce champ indique le type de paquet, dans ce cas il prend la valeur 1.
- Flags (drapeaux) (5 bits) : ce champ contient cinq flags (J, R, G, D, U) tel que:
 - J : *Join flag*, réservé au multicast.
 - R : *Repair flag*, réservé au multicast.
 - G : *Gratuitous RREP flag* : indique la nécessité de générer une réponse de route vers la destination en plus de celle générée vers la source pour l'informer qu'une telle source cherche à la joindre et ainsi un chemin bidirectionnel est établie. Une RREP de ce genre (*gratuitous*) est généré seulement lorsqu'il s'agit d'un nœud intermédiaire qui répond.
 - D : *Destination only flag* : indique que seulement la destination doit répondre à cette demande de route.
 - U : *Unknown Sequence Number* : indique que le numéro de séquence de la destination est inconnue.
- Reserved : mis à zéro lors de l'envoi et ignorés à la réception.
- #HC (*Hop Count*) : Le nombre de saut de la source de la RREQ au nœud en cours de traitement de la demande.

Chapitre II : Protocoles de routages dans les réseaux Ad Hoc

- #ID : Un numéro de séquence identifiant de manière unique une demande de route lorsqu'il est associé à l'adresse de la source (@Src).
- @D : Adresse IP de la destination à laquelle une route est demandée.
- #SND : Le dernier numéro de séquence connu pour la destination.
- @Src : Adresse IP de la source (nœud qui a initialisé la demande de route).
- #SNS : Numéro de séquence actuel de la source qui sera associé à l'entrée de la table de routage dans les nœuds traitant le message RREQ.

- **Réponse de route RREP (Route REPLY)** : Lorsqu'une demande de route atteint la destination ou un nœud ayant un chemin valide vers la destination [25], celui-ci génère une réponse de route qui sera envoyé en unicast d'un nœud à un autre jusqu'à atteindre la source. Le paquet de réponse de route est représenté par la figure II.8

@source	@Destination	Num.seq Destina- tion	Nombre de saut	Life time
---------	--------------	-----------------------------	-------------------	-----------

Figure II.8 Format RREP simple

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Type = 2								R	A	Reserved									Prefix Sz					#HC							
@D - Destination IP Address																															
#SND - Destination Sequence Number																															
@Src - Originator IP Address																															
Lifetime																															

Figure II.9 Format de la réponse de route RREP détaillée

- Type (8 bits) : ce champ indique le type de paquet, dans ce cas il prend la valeur 2.
- Flags (drapeaux) (2 bits) : ce champ contient deux flags :
 - R : *Repair flag*, utilisé en multicast.
 - A : Accusé de réception requis.
- Reserved (9 bits) : mis à zéro lors de l'envoi et ignorés à la réception.
- Prefix Sz (5 bits) : Si c'est différent de zéro, cela signifie que le prochain saut peut être utilisé pour n'importe quel nœud avec le même préfixe.
- #HC (*Hop Count*) (8 bits) : Nombre de sauts de la destination de la RREQ au nœud en cours de traitement.
- @D : Adresse IP de la destination à laquelle une route est demandée.
- #SND : Numéro de séquence de la destination.
- @Src : Adresse IP de la source, nœud qui a initialisé la demande de route RREQ.

Chapitre II : Protocoles de routages dans les réseaux Ad Hoc

– LifeTime : Temps en millisecondes pour lequel les nœuds recevant la RREP considèrent la route valide.

- **HELLO** : Les messages HELLO offrent des informations sur la connectivité. Ils sont utilisés par seulement les nœuds faisant partie d'une route active pour valider les connexions avec les voisins. Ainsi, à chaque intervalle (*Hello_Interval*), le nœud vérifie qu'il a diffusé au moins un message et s'il ne l'a pas fait, il envoie une réponse de route avec un TTL (*Time To Live*) égal à 1. Il s'agit du message HELLO [25].

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Type = 2		R	A	Reserved												Prefix Sz	#HC = 0														
@D = Adresse IP de l'émetteur																															
#SND - Numéro de séquence de l'émetteur																															
@Src - Adresse IP de l'émetteur																															
Lifetime																															

Figure II.10 Format du message HELLO

- **Erreur de route RERR (Route ERROR)** : Une erreur de route est envoyée à chaque fois que la rupture d'un lien rend inaccessible l'accès à une ou plusieurs destinations [25].

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Type = 3		N	Reserved												#DC																
Unreachable Destination IP Address (1)																															
Unreachable Destination Sequence Number (1)																															
Additional Unreachable Destination IP Address (if needed)																															
Additional Unreachable Destination Sequence Number (if needed)																															

Figure II.11 Format de l'erreur de route RERR

- Type (8 bits) : la valeur de ce champ prend 3 dans le message RERR.
- Flag (1 bits) : il contient un drapeau, N (*No delete flag*) mis à un lorsque le nœud effectue une réparation locale de la route et les nœuds en amont ne doivent pas effacer la route.
- Reserved (5 bits) : mis à zéro lors de l'envoi et ignorés à la réception.
- #DC : *Destination Count* (8 bits) : Le nombre des destinations non joignables incluses dans le message. Cette valeur doit être au minimum 1.
- *Unreachable Destination IP Address* : L'adresse IP de la destination qui n'est plus accessible.

– *Unreachable Destination Sequence Number* : Le numéro de séquence de la destination (pris de la table de routage) dont l'adresse IP est juste au dessus.

- **Accusé de réception de réponse de route RREP-ACK** : L'accusé de réception (*ACKnowledgment*) doit être envoyé en réponse à une RREP dont le bit "A" est à 1. Ceci est utilisé lorsque le nœud craint l'existence d'un lien unidirectionnel empêchant l'achèvement du processus de découverte de route [25].

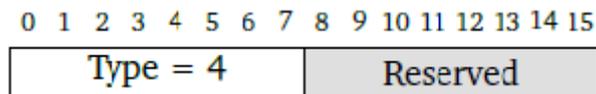


Figure II.12 Format de l'accusé de réponse de route RREP-ACK

– Type : 4.

– Reserved : mis à zéro lors de l'envoi et ignorés à la réception.

e. Principe de fonctionnement

Deux étapes sont observées [26, 27] ; la première est la découverte d'une route, et la deuxième est la maintenance des routes :

- **Découverte de route** : Un nœud diffuse une requête de route (RREQ : Route REQuest), dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible. Cela peut arriver si la destination n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou il est devenu défaillant. Le champ numéro de séquence destination du paquet **RREQ**, contient la dernière valeur connue du numéro de séquence, associé au nœud destination. Cette valeur est recopiée de la table de routage. Si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut. Le numéro de séquence source du paquet **RREQ** contient la valeur du numéro de séquence du nœud source.

Comme nous avons déjà dit, après la diffusion du **RREQ**, la source attend le paquet réponse de route (**RREP** : Route REPLY). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée **RREP WAIT TIME**): la source peut rediffuser une nouvelle requête.

Quand un nœud de transit (intermédiaire) envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse (figure II.13), qui sera traversé par le paquet réponse de route de manière unicast. Puisque le paquet réponse de route va être envoyé à la source, les nœuds appartenant au chemin de retour vont modifier leurs tables de routage suivant le chemin contenu dans le paquet de réponse (temps d'expiration, numéro de séquence et prochain saut). Afin de

limiter le coût dans le réseau, AODV propose d'étendre la recherche progressivement. Initialement, la requête est diffusée à un nombre de sauts limité. Si la source ne reçoit aucune réponse après un délai d'attente déterminé, elle retransmet un autre message de recherche en augmentant le nombre maximum de sauts. En cas de non réponse, cette procédure est répétée un nombre maximum de fois avant de déclarer que cette destination est injoignable. A chaque nouvelle diffusion, le champ BroadcastID du paquet **RREQ** est incrémenté pour identifier une requête de route particulière associée à une adresse source. Si la requête **RREQ** est rediffusée un certain nombre de fois sans la réception de réponse, un message d'erreur est délivré à l'application. La destination renvoie un message **RREP**, ce message peut donc être acheminé vers la source. Chaque nœud traversé incrémentera le nombre de sauts. Et ajoutera une entrée à sa table pour la destination. Une réponse adéquate peut aussi être donnée par un nœud situé entre la source et la destination. Dans ce cas l'obtention de routes bidirectionnelles est néanmoins possible grâce au drapeau "Gratuitous **RREP**". Le nœud intermédiaire enverra alors en plus un **RREP** vers la destination. Les nœuds entre le nœud intermédiaire et la destination ajouteront donc à leur table une entrée vers la source du **RREQ**. Cette disposition permettra à la destination d'envoyer directement des paquets à la source sans devoir procéder à la recherche d'une route. C'est utile lors de l'établissement de communications **TCP** pour l'envoi du premier ACK [27].

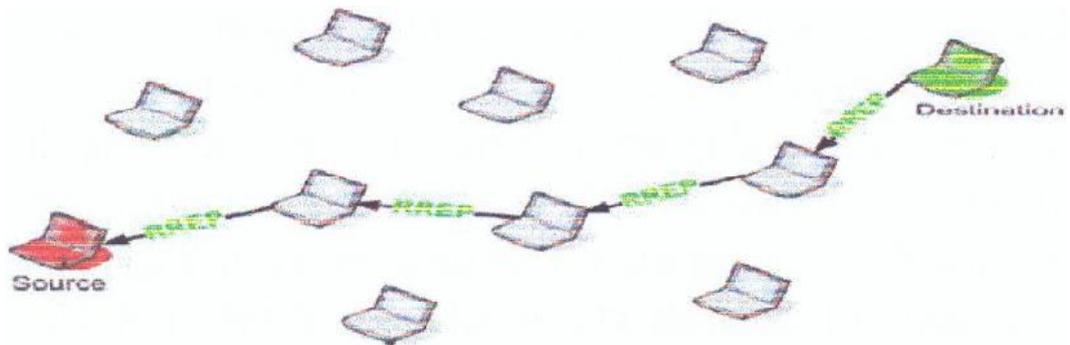


Figure II.13 Le chemin pris par paquet. RREP (requête de réponse)

- **Maintenance de route** : Afin de maintenir des routes consistantes une transmission périodique du message "**HELLO**" (qui est un **RREP** avec un **TTL** de 1) est effectuée. Si trois messages **HELLO** ne sont pas reçus consécutivement à partir d'un nœud voisin, le lien en question est considéré défaillant. Les défaillances des liens sont généralement dues à la mobilité du réseau Ad Hoc. Les mouvements des nœuds qui ne participent pas dans le chemin actif n'affectent pas la consistance des données de routage. Quand un lien reliant un nœud p avec le nœud qui le suit dans le chemin de

routage devient défaillant le nœud p diffuse un paquet **UNSOLICITED RREP** avec une valeur de numéro de séquence égale à l'ancienne valeur du paquet RREP incrémentée d'une et une valeur infinie de la distance. Le paquet **UNSOLICITED RREP** est diffusé aux voisins actifs jusqu'à ce qu'il arrive à la source. Une fois le paquet est reçu la source peut initier le processus de la découverte de routes.

Le protocole de routage **AODV** n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination. Cependant des évaluations de performances récentes ont montré qu'il n'y a pas de grandes différences (en terme d'optimisation) entre les chemins utilisés par le protocole **AODV** et celles utilisées par les protocoles basés sur les algorithmes de recherche des plus courts chemins. En plus de cela, le protocole **AODV** ne présente pas de boucle de routage et évite le problème "comptage à l'infini" de Bellman-Ford, ce qui offre une convergence rapide quand la topologie du réseau Ad Hoc change. En effet, dans **AODV** chaque nœud maintient une table qui contient une entrée pour chaque destination accessible. Pour éviter le problème du comptage à l'infini de Bellman-Ford, On a recours à l'utilisation de numéros de séquences dans les tables de routage en plus de la distance.

Chaque nœud possède un numéro de séquence. Il est le seul habilité à l'incrémenter. Ce numéro personnel ne peut être incrémenté que dans deux situations :

- Avant d'entreprendre un processus de recherche de route par l'envoi d'un paquet **RREQ**, le nœud incrémente son numéro.

- Avant de répondre à un message **RREQ** par un message **RREP**, le numéro de séquence doit être remplacé par la valeur maximale entre son numéro de séquence actuel et celui contenu dans le message **RREQ**.

Ce numéro accompagne son adresse dans les messages de contrôle et permet aux autres de distinguer les messages importants des messages redondants.

Une mise à jour de la table de routage ne s'effectue que si les conditions suivantes sont observées :

- Le numéro de séquence du paquet de contrôle est strictement supérieur au numéro de séquence présent dans la table.
- Les numéros de séquence (de la table et du paquet) sont égaux mais, la distance en nombre de sauts du paquet plus à 1 est inférieure à la distance actuelle dans la table de routage.
- Le numéro de séquence pour cette destination est inconnu.

Cette façon de procéder garantit la création de route sans boucles. Donc, Si la source se déplace, la procédure de détermination de route peut être ré initié.

- Si un nœud intermédiaire ou la destination se déplacent, un **RREP** spécial est émis au nœud source (reconstruisant la route au passage).
- Messages Hello périodiques pour détecter les coupures de lien.

f. Avantages et inconvénients

Des études comparatives montrent que certains protocoles sont plus performants que d'autres selon les caractéristiques du réseau. Ces études ont montré que le protocole AODV semble convenir à des réseaux à forte mobilité et semble performant dans les réseaux de faible densité [26, 27].

Parmi les inconvénients du protocole de routage **AODV** est le fait qu'il n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination. Un autre avantage de ce protocole est sa simplicité à titre d'exemple, le draft de **DSR** mesure 111 pages, le RFC de **OLSR** fait 75 pages alors que celui d'**AODV** a une taille de 37 pages. Ensuite son ancienneté et sa maturité, **AODV** existe depuis longtemps et beaucoup de travaux ont déjà été réalisés à son propos et il a fait l'objet de simulations comparatives détaillées. Ce sont des critères assez subjectifs qui conduisent au choix d'**AODV**.

- **Protocole de routage TORA** [22]: TORA signifie "Algorithme de Routage Ordonné Temporairement" " Temporary Ordering Routing Algorithm". TORA s'attaque aux problèmes d'économie de la bande passante en tentant de minimiser l'effet des fréquents changements de la topologie, particularité des réseaux Ad Hoc due à la mobilité des nœuds.

- **Le protocole de routage ABR** [21]: Le protocole "Routage Basé sur l'Associativité" "Associativity Based Routing" représente une nouvelle approche de routage pour les réseaux mobiles Ad Hoc. Le protocole définit une nouvelle métrique de routage appelée degré de stabilité d'association et évite les problèmes de formation des boucles de routage, ainsi que ceux de blocage et de duplication de paquets. Dans l'ABR, le choix des routes est basé sur ce qu'on appelle les états d'associativité des nœuds.

- **Le protocole de routage LAR** [22]: Le protocole appelé "Routage aidé par la localisation" ou "Location-Aided Routing" est un protocole de routage réactif basé sur l'utilisation des localisations. Ce protocole procède d'une manière très similaire au protocole DSR, la principale différence entre les deux protocoles résidant dans le fait que le LAR utilise les informations des localisations fournies par le système de

positionnement global appelé GPS (Global Positioning System) dans le but de limiter l'inondation des paquets de requête de route.

- **Le protocole de routage RDMAR [24]:** Le protocole de Routage basé sur la Micro découverte des Distances Relatives ou RDMAR a été conçu principalement pour minimiser la charge induite par les changements rapides des réseaux Ad Hoc. Le protocole utilise un nouveau mécanisme de découverte de routes, appelé la Micro découverte de Distance Relative ou RDM "Relative Distance Micro-discovery". L'idée de base du RDM est que la diffusion des requêtes, peut se faire en se basant sur une distance relative (RD) entre les paires des unités mobiles.

b. Avantages et les inconvénients des protocoles réactifs

Dans le cas d'un protocole réactif aucun message de contrôle ne charge le réseau pour des routes inutilisées ce qui permet de ne pas gaspiller les ressources du réseau. Mais la mise en place d'une route par inondation peut être coûteuse et provoquer des délais importants avant l'ouverture de la route et les retards dépassent bien souvent les délais moyens admis par les logiciels, aboutissant à une impossibilité de se connecter alors que le destinataire est bien là. De ce fait, un nouvel type de protocole a apparu, il s'agit des protocoles de routage hybrides.

II.8.3 Le routage hybride

Le modèle hybride apparaît comme un bon compromis qui d'un côté utilise une procédure de détermination sur demande et de l'autre un coût de recherche limité. Il existe plusieurs protocoles hybrides tels que le protocole de routage « ZRP » et « CBRP » que nous allons expliciter [22].

- **Protocole de routage ZRP [22]:** ZRP signifie "Protocole de zone de routage" "Zone Routing Protocol". Le protocole de routage ZRP est un modèle hybride entre un schéma proactif et un schéma réactif. Il est basé sur deux procédures : le protocole de routage intrazone, nommé IARP et le protocole de routage interzone, nommé IERP.

IARP est utilisé uniquement à l'intérieur de la zone de routage. Cette zone est définie pour chaque nœud et comporte une taille de rayon correspondant à une valeur de nombre de saut.

IERP est responsable d'établir des liens avec les nœuds situés dans l'interzone.

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté plusieurs protocoles de routage qui ont été proposés pour assurer le service de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc. Nous

Chapitre II : Protocoles de routages dans les réseaux Ad Hoc

avons décrit leurs principales caractéristiques et fonctionnalités afin de comprendre les stratégies utilisées dans l'acheminement des données entre les différentes unités mobiles.

Assurer la connexion de tous les nœuds d'un réseau Ad Hoc est un problème très complexe vu la dynamique et l'évolution rapide de la topologie, en effet. Les unités mobiles sont dynamiquement et arbitrairement éparpillées d'une manière où l'interconnexion peut changer à tout moment. Le but d'un protocole de routage est donc l'établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre une paire quelconque d'unités.

La conclusion qu'on peut tirer de l'étude des différentes stratégies, est que la conception d'un protocole de routage pour les réseaux Ad Hoc doit tenir compte de tous les facteurs et limitations physiques imposés par l'environnement afin que la stratégie de routage ne dégrade pas les performances du système.

Dans le chapitre suivant, on va détailler le concept de balancement de charge et le protocole de routage LBAR, duquel on va optimiser le protocole AODV afin de minimiser le délai et atteindre notre objectif de l'équilibrage de charge dans les réseaux Ad Hoc.

Chapitre III

Balancement de charge dans les réseaux Ad Hoc

III.1 Introduction

Un défi majeur dans la conception des réseaux Ad Hoc est le développement de l'efficacité des protocoles de routage qui peuvent fournir de haute qualité de communication entre deux nœuds mobiles, la mise à jour des informations de routage dans chaque nœud se propageant à travers le réseau. Ces protocoles engagent substantiellement la consommation et le trafic de signalisation de puissance. Étant donné que la bande passante et la puissance de la batterie sont des ressources rares dans les ordinateurs portables, cela devient une sérieuse limitation à déterminer par des tables de protocoles de routage. De plus, ces nœuds souffriraient aussi de la haute consommation d'énergie de batterie. Il s'agit d'un effet indésirable qui est aggravé par la puissance de la batterie limitée des terminaux mobiles, en fait un inconvénient majeur de tous les protocoles de routage existant dans Ad Hoc, c'est qu'ils n'ont pas de dispositions pour le transport de la charge et / ou la qualité d'un chemin lors de la configuration de la route. Par conséquent, ils ne peuvent pas équilibrer la charge sur les différentes voies.

Une nouvelle métrique de routage connue comme le degré d'activité nodale, découverte de chemin entre les nœuds se charge de chercher les routes, puis en sélectionnant un itinéraire qui a la moindre charge au trafic afin que les messages puissent être livrés en temps opportun et à transmettre le trafic en temps opportun sur la base de l'activité des nœuds. Solution efficace pour assurer la maintenance pour colmater les liens brisés par le trafic détourné sur la destination.

III.2 Le protocole de routage LBAR

LBAR "Load Balanced Ad Hoc routing" est un protocole de routage à la demande destiné pour le délai des applications sensibles quand les utilisateurs sont plus concernés par le délai de transmissions de paquet.

Par conséquent, LBAR se concentre à comment trouver le chemin qui reflète la moindre charge de trafic afin que les paquets de données puissent être acheminés avec moins de délai. L'algorithme à 4 composants:

- Découverte de routes (route discovery)
- Maintenance de chemins (path maintenance)
- Gestion de la connectivité locale ((local connectivity management).
- Fonction de calcul de coût (cost computation).

III.3 Principe de fonctionnement

III.3.1 Découverte de routes

Le processus de découverte de routes est déclenché à chaque fois qu'un nœud source doit communiquer avec un autre nœud pour lequel il n'a pas une route connu. Ce processus est divisé en deux phases :

- **FORWARD(étape ascendante)** : commence au niveau de nœud source en envoyant le RREQ qui est un message de découverte et au même temps de configuration à ses voisins .
- **BACKWARD(étape descendante)** : commence avec un message d'acquittement ACK (qui est le RREP) transmis en arrière vers le nœud source au long du chemin sélectionné qu'on appelle « le chemin actif » .

III.3.2 Maintenance du chemin

Dans les réseaux sans fil, les nœuds sont autorisés à se déplacer librement se qui provoque les changements de topologie dynamique et l'invalidité des routes. Si le nœud source un nœud intermédiaire dans le chemin actif ou le nœud de destination se déplace en dehors de la zone de communication, un chemin suppléant doit être trouvé.

III.3.3 Gestion de la connectivité locale

Les nœuds apprennent sur leurs voisins dans l'une des deux façons. À chaque fois qu'un nœud reçoit une diffusion de paquet de données d'un voisin il mit à jour ses informations de connectivité locale dans sa table de voisinage pour garantir que son voisin est inclus. Dans le cas ou un nœud n'a pas envoyé les paquets de données à aucun de ses voisins actifs dans un temps prédéfini " hello-interval ", il diffuse "un hello message" contenant son identité et son activité.

III.3.4 Fonction de calcul de coût

La fonction de cout est utilisée pour trouver le chemin du moindre trafic pour que les paquets de données puissent se transmettre à la destination plus facilement possible tout on respectant l'objectif de l'équilibrage de la charge dans tout le réseau.

Ces définitions sont utilisées :

- **Le chemin actif** : un chemin de la source jusqu'au la destination qui est suivie par les paquets le long de ce chemin sélectionné.
- **Nœud actif**: un nœud est considéré actif s'il est la source, la destination ou un nœud intermédiaire qui transmet les paquets de données.
- **Nœud inactif**: un nœud est considéré inactif s'il n'est pas dans le chemin actif.

- **Activité A_i** : le nombre de chemin actif par rapport au nœud est défini comme une métrique qui mesure l'activité du nœud.

- **Coût** : le minimum d'interférence de trafic est proposé comme une métrique pour le meilleur cout.

$$C_k = \sum_{i \in k} (A_i + TI_i) = \sum_{i \in k} (A_i + \sum_{\forall j} A_j^i)$$

- **Traffic interférence TI_i** : c'est la somme de l'activité de nœuds voisins du nœud i , où j est un nœud voisin du nœud i .

$$TI_i = \sum_{\forall j} A_j^i$$

III.4 Conclusion

Dans LBAR les informations de routage sur des chemins différents sont transmises par des messages de configuration à la destination. Le nœud de destination sélectionne le chemin de coût minimum qui est mesurée par l'activité nodal. En plus, afin de suivre les changements de topologie fréquents. LBAR fournit une réponse rapide pour relire l'échec des routes inaccessible, et garantissant ainsi la fiabilité de la transmission des données. Dans LBAR des informations de route enregistrées au niveau du nœud de destination est utilisé pour sélectionner des chemins alternatifs lorsque cela est possible.

Ad Hoc on demand distance vector routing (AODV) est le plus populaire des protocoles réactifs, son fonctionnement est basé sur la découverte de route et la maintenance de ces routes en utilisant des paquets de contrôle: route request, route reply, route error. Pour optimiser ce protocole, une amélioration a été proposée : LBAR le protocole du quel on va introduire l'une de ses algorithmes de fonctionnement au protocole AODV afin de minimiser le délai.

Un simulateur a été développé pour étudier et de démontrer la performance du protocole proposé AODV modifié. Donc, LBAR se présente comme un candidat puissant que le protocole de routage dans les réseaux sans fil.

Dans le chapitre suivant, on va traiter l'implémentation et l'évaluation de l'application.

Chapitre IV
Implémentation et évaluation
de l'application

IV.1 Introduction

Notre chapitre est composé de trois parties :

- La première est organisée comme suit : premièrement nous parlons de l'implémentation de NS-2, après le traitement de résultat.
- La deuxième partie est organisée comme suit: Tout d'abord montrons la problématique traitée ensuite passons à l'optimisation qu'on a proposée.
- La troisième partie est aussi organisée comme suit : englobe tous les résultats du protocole **AODV** et les modifications apportée à ce protocole.

IV.2 Implémentation de NS-2

La simulation est configurée, contrôle et gérée à l'aide des interfaces fournies par la classe OTcl simulator. Cette classe fournit des procédures pour créer et gérer la topologie, initialiser le format des paquets et choisir le planificateur d'évènements. Elle stocke intérieurement des références à chaque élément de la topologie. Un script devra donc toujours commencer par l'instanciation d'une variable de cette classe. L'utilisateur crée ensuite la topologie à travers OTcl en utilisant les classes nœud et link, composants essentiels de la topologie.

IV.3 Traitement des résultats dans NS-2

Après le déroulement de la simulation, **NS-2** : donne un fichier trace qui est un fichier texte contenant tous les événements de la simulation. Le traitement de ce fichier permet d'en soustraire l'information souhaitée. Chaque événement est représenté dans le fichier trace avec une ligne qui contient douze champs. La figure (IV.1) donne une vision de la structure d'une ligne du fichier trace sous **NS-2**:

Event	Time	From node	To node	Pkt type	Pkt size	Flags	Fid	Src addr	Dst addr	Seq num	Pkt id
-------	------	-----------	---------	----------	----------	-------	-----	----------	----------	---------	--------

Figure IV.1 Structure d'une ligne du fichier trace

IV.4 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 de données. Le modèle théorique de 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 (fixe ou mobile ou mixte).

IV.5 Problématique

Il existe plusieurs types de données soit un texte, une image, un son, une vidéo..., Lors de transmission d'un paquet 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. Les protocoles sont peu performants pour le transfert des données multimédia.

Dans le cadre de ce mémoire nous avons choisi le protocole AODV qui est un protocole de routage destiné aux réseaux mobiles en mode Ad Hoc pour intégrer les fonctionnalités du protocole LBAR, ce protocole est un des protocoles les plus utilisés et il souffre de quelque problème.

L'un des problèmes connus est la surcharge de certains nœuds à cause de l'augmentation de l'activité nodale. Un nœud surchargé a plusieurs entrées dans sa table de routage, alors en passant par ce nœud, les paquets de données vont subir de trop long délai à cause du trafic et de parcours entier de la table de routage ,par exemple si le délai pour chercher la première entrée dans la table de routage est t et la table contient n entrée, donc pour atteindre la dernière entrée le délai sera $n*t$.

IV.6 Optimisation proposée

L'idée consiste à équilibrer la charge dans le réseau en choisissant le chemin le moins encombrant et donc prendre un délai minimum. Le protocole de routage AODV est basé sur deux algorithmes (la découverte de route et la maintenance de route), afin de minimiser le délai de transmission de données dans le protocole de routage AODV, des modifications ont été apportés sur ce dernier en ajoutant les fonctions la "Gestion de la connectivité locale" et le "calcul de cout" du protocole LBAR.

Afin d'améliorer l'utilisation du meilleur chemin et minimiser le délai, on propose l'optimisation suivante:

IV.7 Première étude

- Minimiser le nombre d'entrées dans la table de routage, la table de routage soit petite et la recherche ça sera rapide.
- Nous avons implémenté la méthode suivante : **aodv_rt_up()** qui permet de compter le nombre d'entrée dans la table de routage qui sont actives.
- Fixer un seuil de d'entrée actives (statique =3,5,8,10), si un nœud a 3 entrées actives , la quatrième ne sera pas accepté par ce nœud, donc un nouveau chemin active ne va pas passé par ce nœud qui sera considéré comme un nœud surchargé et comme

ça nous résolvant le problème de congestion, nous évitant le problème saturation de fils d'attente et minimisant la perte des données.

IV.8 Deuxième étude

- Cumuler les PerHopTime : Chaque nœud (station) contient une valeur du perhoptime qui calcul le temps nécessaire pour traiter un paquet de donnée, dépendant de la taille de la table de routage et de l'état de la fil d'attente des paquets. Chaque nœud va faire le cumule du perhoptime dans un champs spécifique dans la Requête jusqu'au on arrive au nœud de destinataire, dans ce cas la, le destinataire choisit le chemin qui contient la valeur minimum du cumule du PerHopTime.

IV.9 Optimisation et résultat

Dans cette partie on présente les résultats des simulations du protocole original **AODV** et celles du protocole **AODV modifié**. Pour des calculs optimaux, les simulations on été faites sous 4 scénarios de communication différents avec variations des principaux paramètres pouvant influencer directement les résultats, ce qui nous a permis de pousser la simulation a ces limites afin de pouvoir analyser les moindres changements.

Pour chaque scénario on a fait varier le paramètre principal pouvant influencer le comportement et les résultats de simulation qui est le Pause-Time, qui représente pour chaque nœud le temps d'immobilité avant un nouveau déplacement.

IV.10 Scénarios de simulation

Scénario 1

Durant 900s, 10 nœuds communiquent en CBR (Continuous Bit Rate), avec paquet de 512octets, et un pause time de 0, 10, 30, 60, 120, 300 et 900.

Scénario 2 :

Durant 900s, 20 nœuds communiquent en CBR (Continuous Bit Rate), avec paquet de 512octets, et un pause time de 0, 10, 30, 60, 120, 300 et 900.

Scénario 3 :

Durant 900s, 30 nœuds communiquent en CBR (Continuous Bit Rate), avec paquet de 512octets, et un pause time de 0, 10, 30, 60, 120, 300 et 900.

Scénario 4 :

Durant 900s, 40 nœuds communiquent en CBR (Continuous Bit Rate), avec paquet de 512octets, et un pause time de 0, 10, 30, 60, 120, 300 et 900.

```
# nodes: 50, max conn: 10, send rate: 0.25, seed: 1.5
#
#
# 1 connecting to 2 at time 2.5568388786897245
#
set udp_(0) [new Agent/UDP]
$ns_ attach-agent $node_(1) $udp_(0)
set null_(0) [new Agent/Null]
$ns_ attach-agent $node_(2) $null_(0)
set cbr_(0) [new Application/Traffic/CBR]
$cbr_(0) set packetSize_ 512
$cbr_(0) set interval_ 0.25
$cbr_(0) set random_ 1
$cbr_(0) set maxpkts_ 10000
$cbr_(0) attach-agent $udp_(0)
$ns_ connect $udp_(0) $null_(0)
$ns_ at 2.5568388786897245 "$cbr_(0) start"
#
```

Figure IV.2 Code pour CBR-50-10-4

IV.11 Résultats et interprétations par métrique

IV.11.1 La première étude : Fixer le nombre d'entrée dans la table de routage.

3 métriques ont été choisies:

- End-to-End Delay.
- Packet Delivery Fraction.
- Normalized Routing.

a. End-to-End Delay (Moyenne de temps de latence des paquets de données) : C'est la moyenne des temps nécessaire pour livrer les paquets de données de la source à la destination avec succès, incluant les temps de latence dans les files d'attente, temps de stockage dans les tampons (buffer).

- **Résultats**

Les résultats de chaque scénario concernant cette métrique en fonction du Pause-Time sont représentés sur les graphes suivants traités par l'outil Gnuplot :

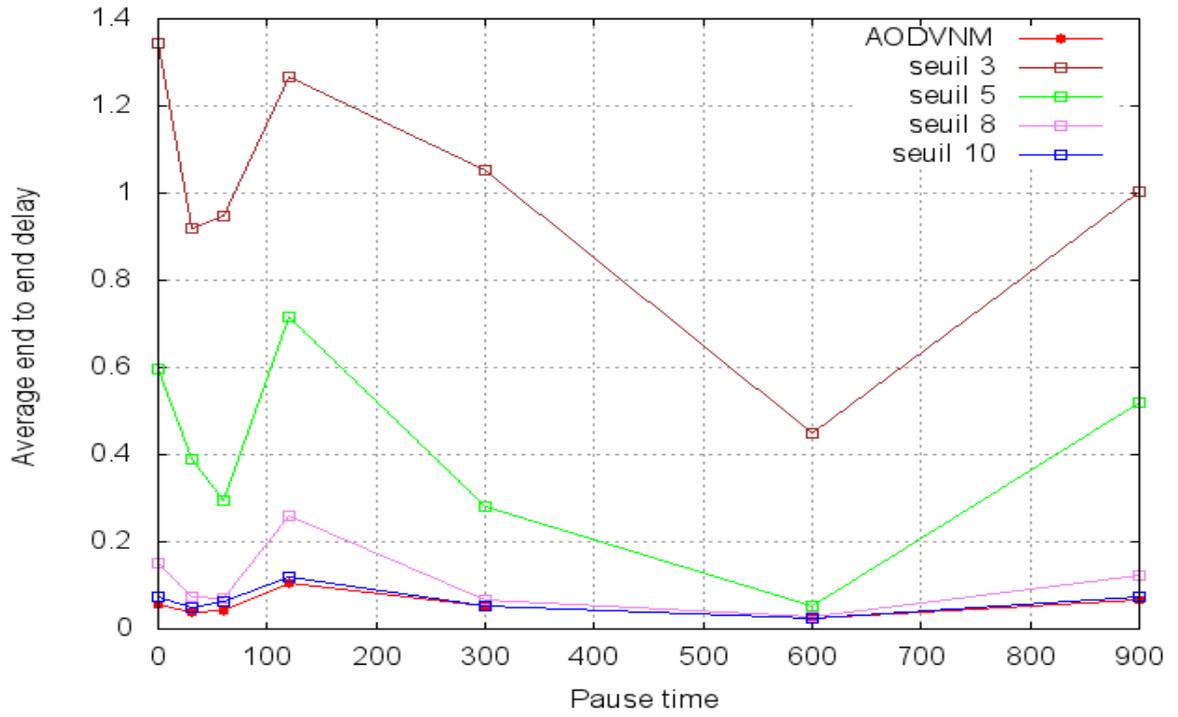


Figure IV.3 Scénario de 10 nœuds

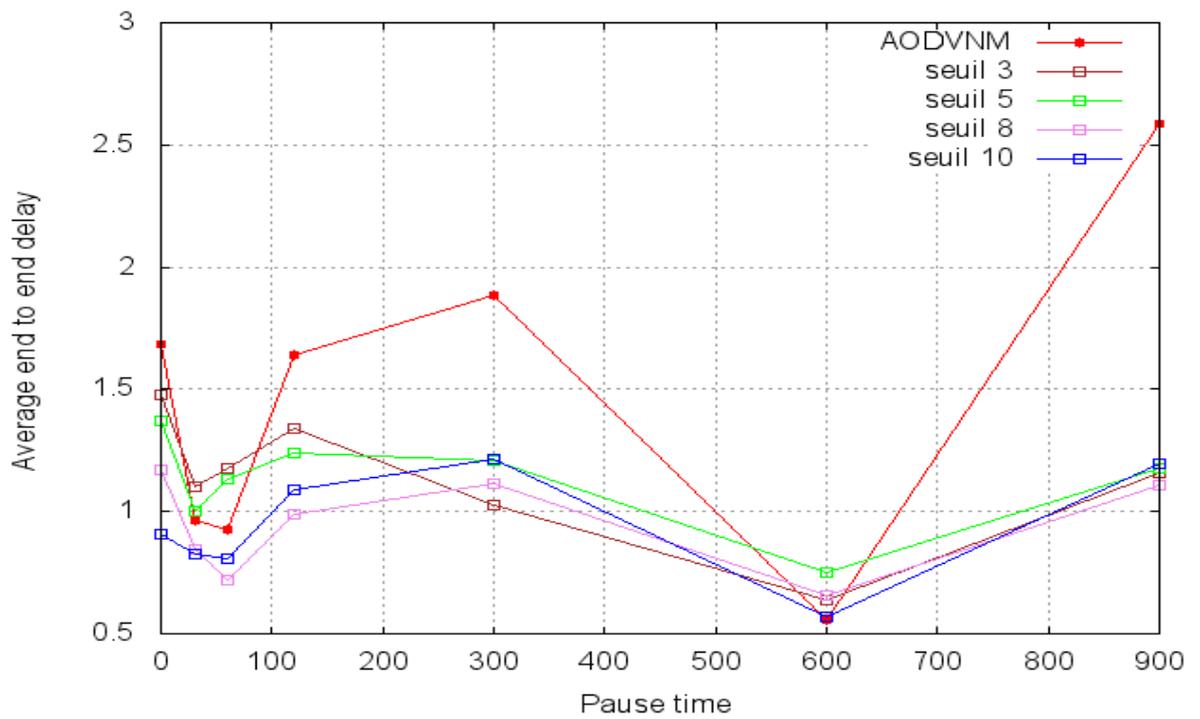


Figure IV.4 Scénario de 20 nœuds

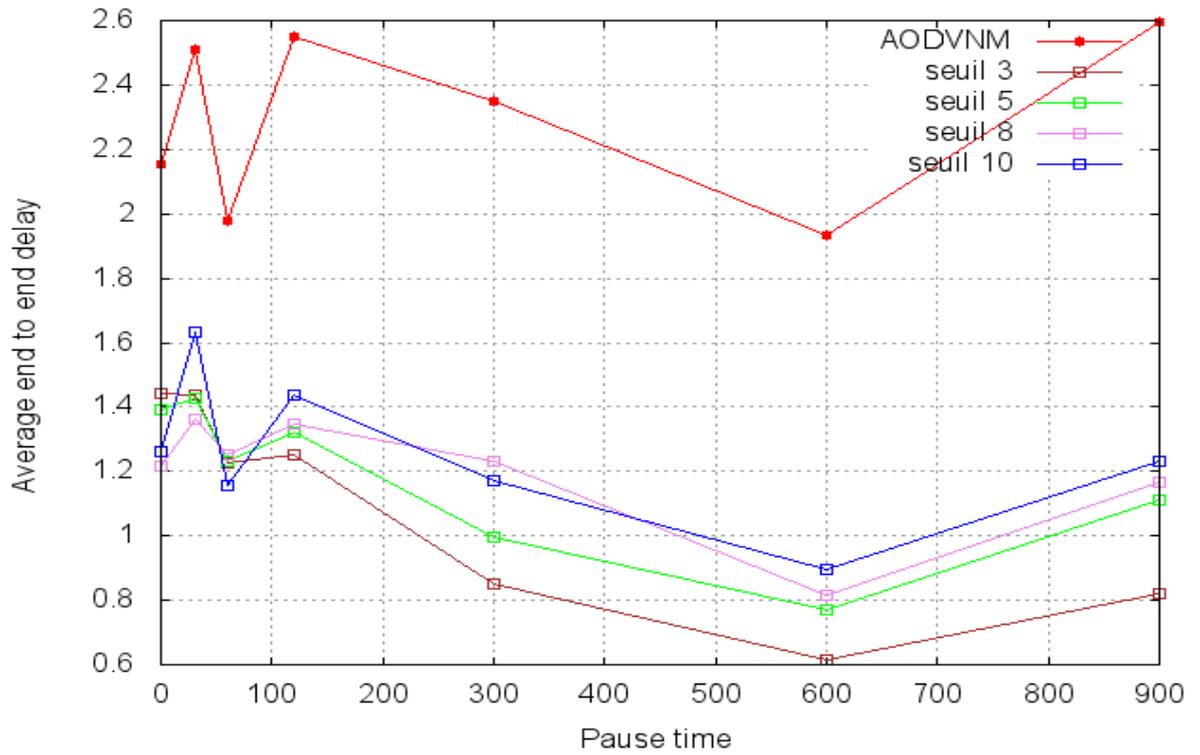


Figure IV.5 Scénario de 30 nœuds

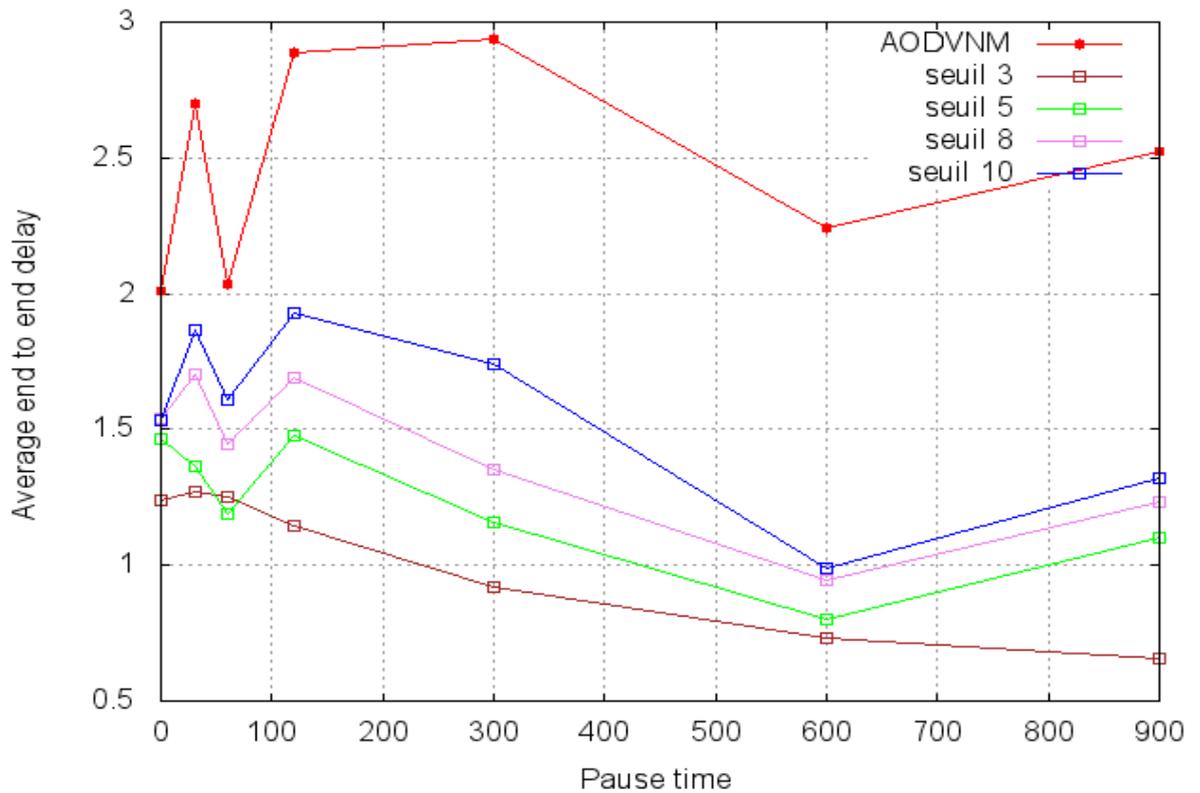


Figure IV.6 Scénario de 40 nœuds

○ **Interprétation**

Comme prévu, les résultats de la métrique End-to-End Delay dévoilent une hausse remarquable. Dans les scénarios 2, 3 et 4 AODV- MODIFIÉ est plus performant qu'AODV, et il réalise considérablement un délai inférieur qu'AODV. Mais le premier scénario qui montre clairement le délai pour le protocole AODV est inférieur de AODV MODIFIÉ ce qui signifie que le nombre de nœuds communiquant est limité alors moins de paquets de contrôle, et la recherche dans la table de routage sera rapide. En outre les délais diminuent quand il y a moins de mobilité dans AODV MODIFIÉ pour les scénarios 3 et 4 car on a moins de charge sur les nœuds dans le réseau alors le temps d'attente au niveau de chaque nœuds va diminuer.

b. Packet Delivery Fraction (Taux de livraison des paquets de données) : Ce taux est calculé par la division du nombre des paquets de données reçus sur celui des paquets émis par les sources des applications.

○ **Résultats**

Les résultats de chaque scénario concernant cette métrique en fonction du Pause-Time sont représentés sur les graphes suivants :

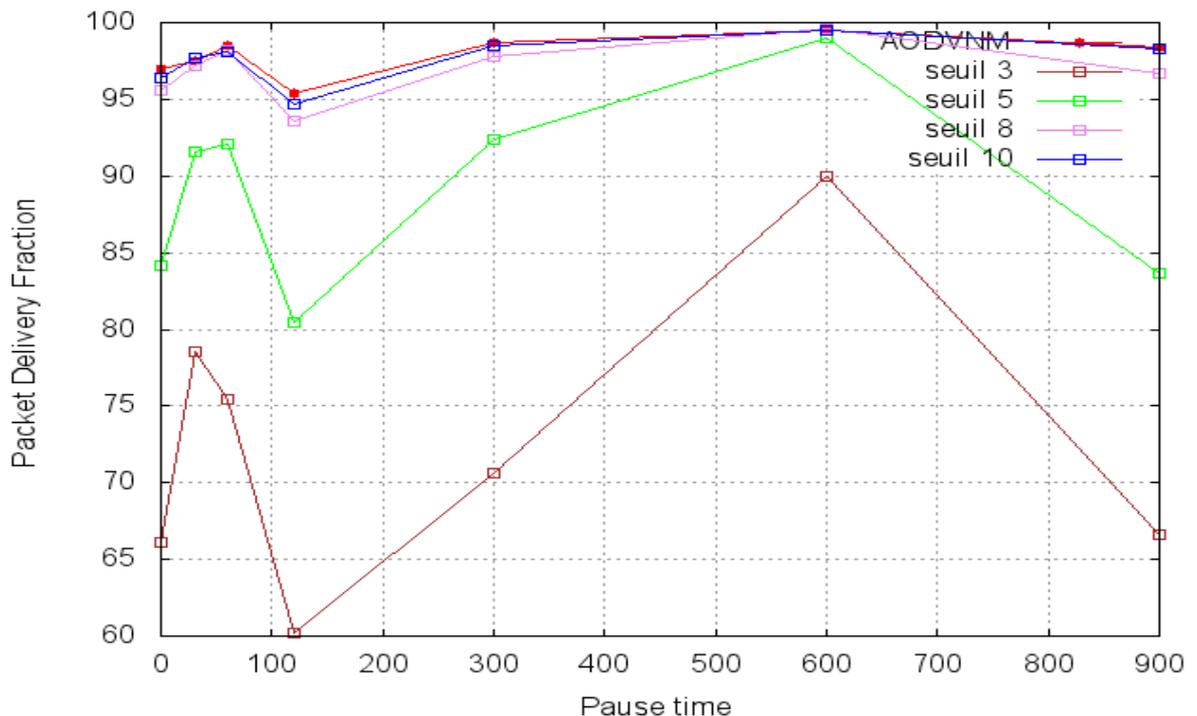


Figure IV.7 Scénario de 10 nœuds

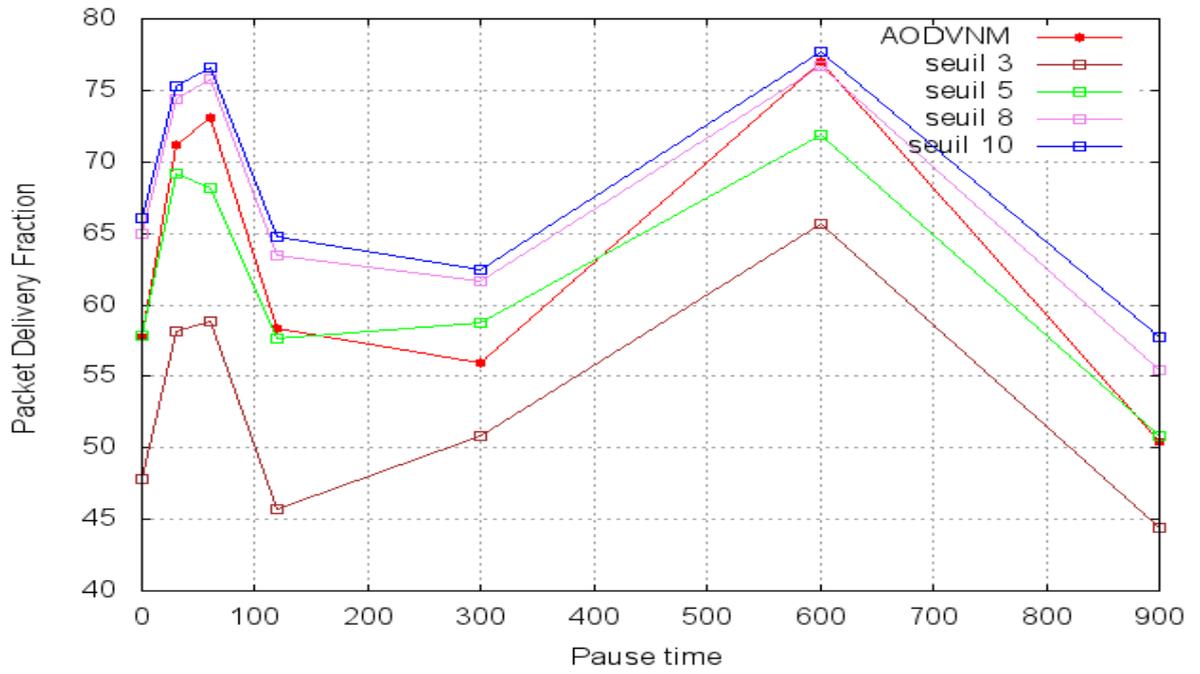


Figure IV.8 Scénario de 20 nœuds

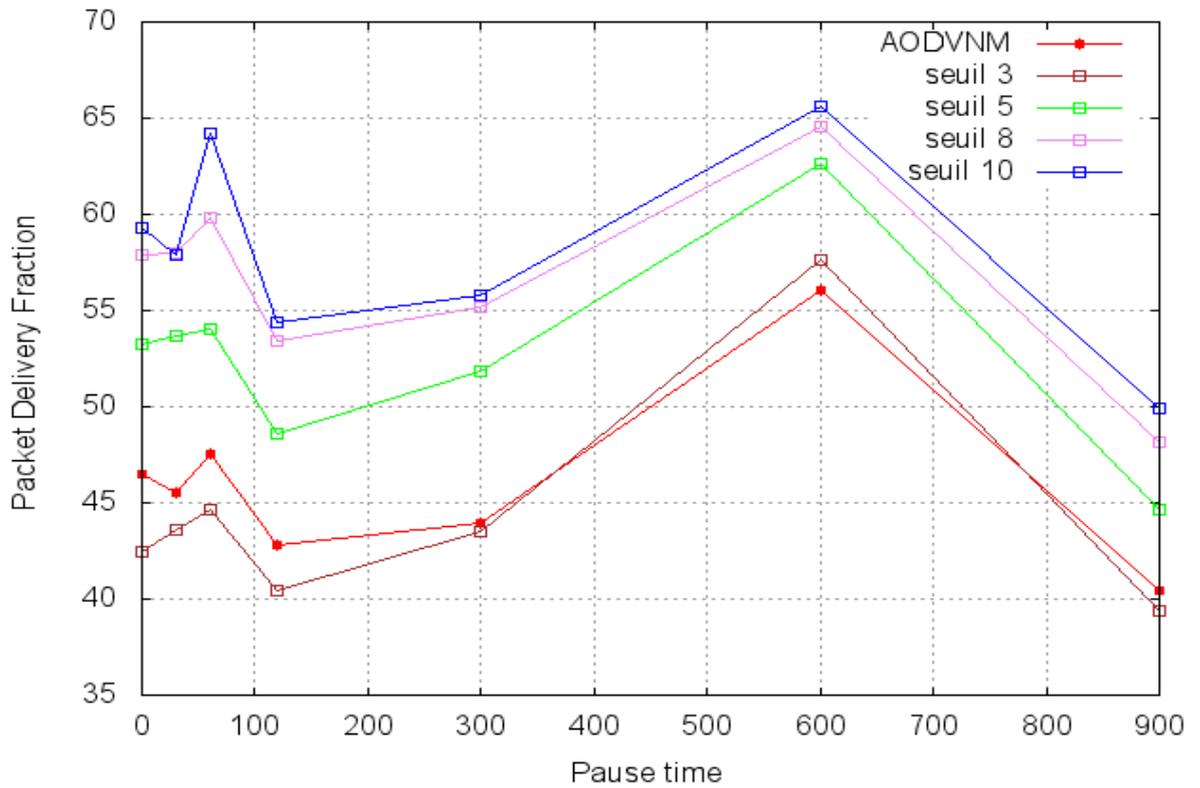


Figure IV.9 Scénario de 30 nœuds

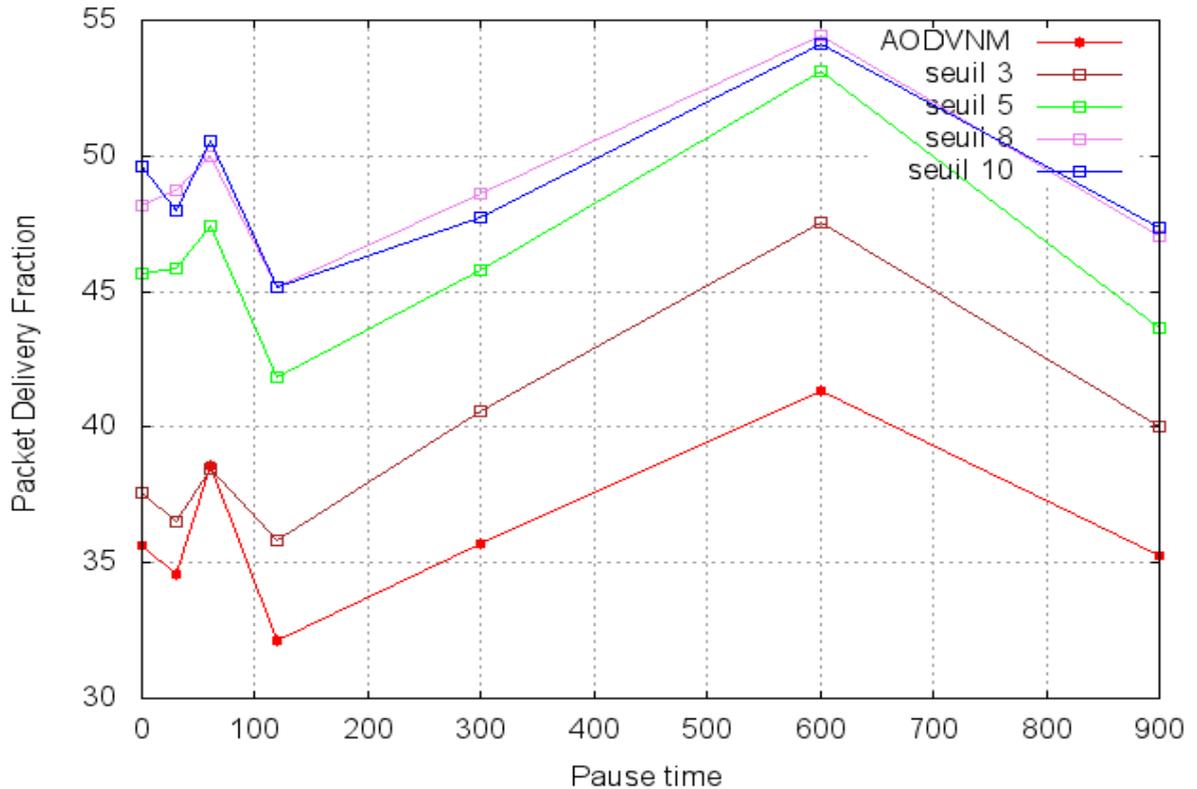


Figure IV.10 Scénario de 40 nœuds

○ **Interprétation**

Dans le premier scénario on a un réseau qui contient moins de nœud communiquant implique moins de paquets de contrôle alors que le taux de livraison arrive à 100% dans la pause time = 600s cad le nombre de paquets reçus est égale à le nombre de paquets de données envoyées.

Pour les scenarios 2,3 et 4 AODV- MODIFIÉ surpasse AODV alors on a fait un équilibrage de charge avec dégradation, le réseau travail sans contrainte.

Concernant la mobilité, lorsqu'on a mobilité forte (0, .. 120) implique plus de perte équivalent à PDFraction faible, le cas ou la mobilité modéré (300, 600) moins de perte (coupure des liens) équivalent à PDFraction élevé par contre dans le cas de mobilité faible les ruptures des liens sont difficile de les réparer ce qui implique PDFraction faible.

c. Normalized Routing: (la surcharge) : La surcharge est calculée par la division du nombre des paquets de données reçus sur celui des paquets de contrôles.

○ **Résultats**

Les résultats de chaque scénario concernant cette métrique en fonction du Pause-Time sont représentés sur les graphes suivants :

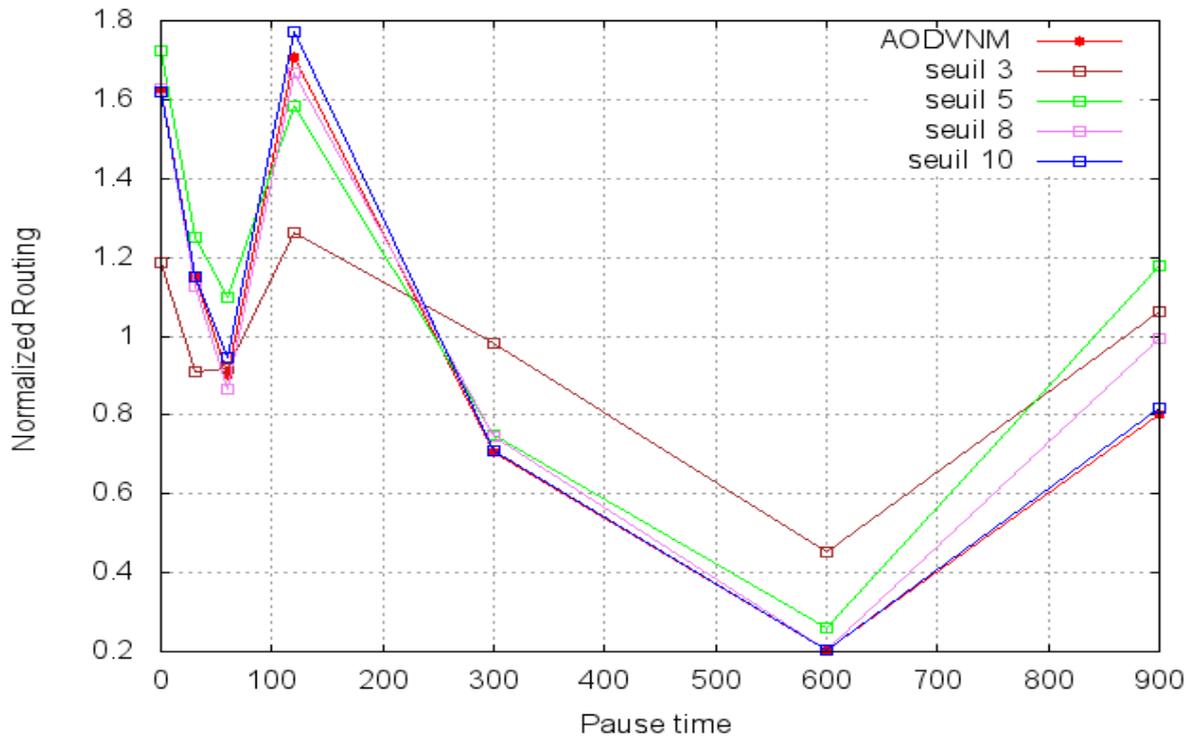


Figure IV.11 Scénario de 10 nœuds

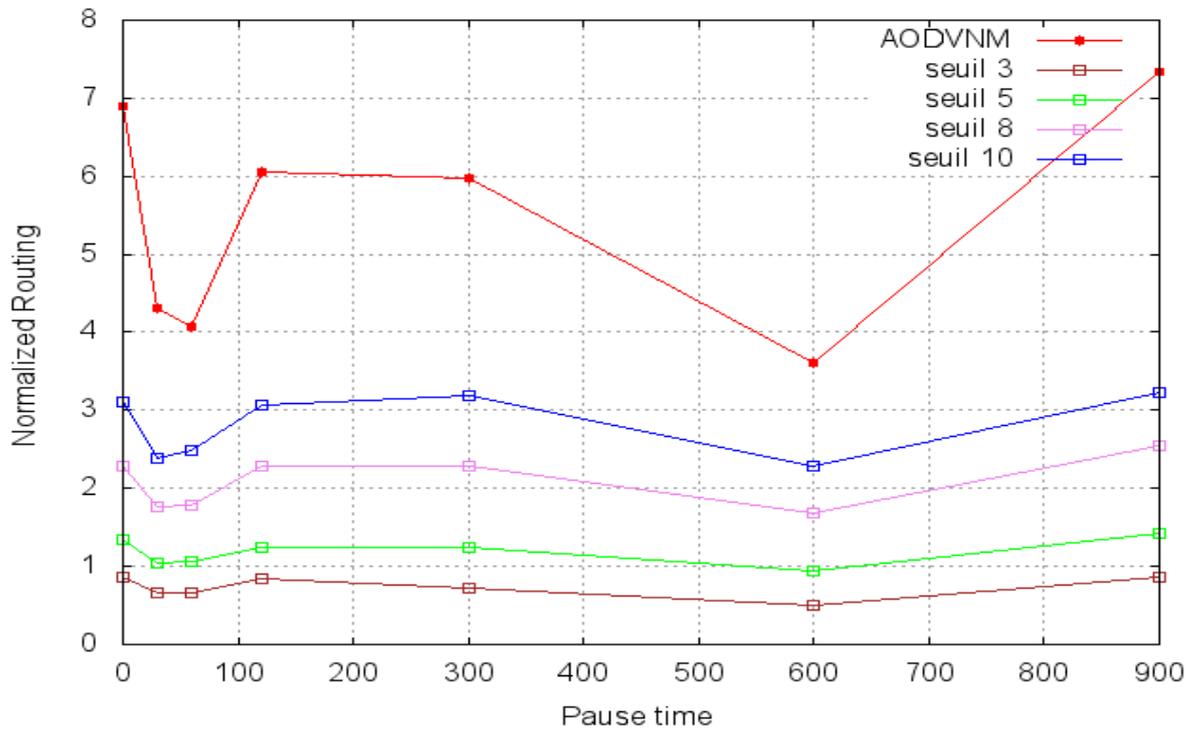


Figure IV.12 Scénario de 20 nœuds

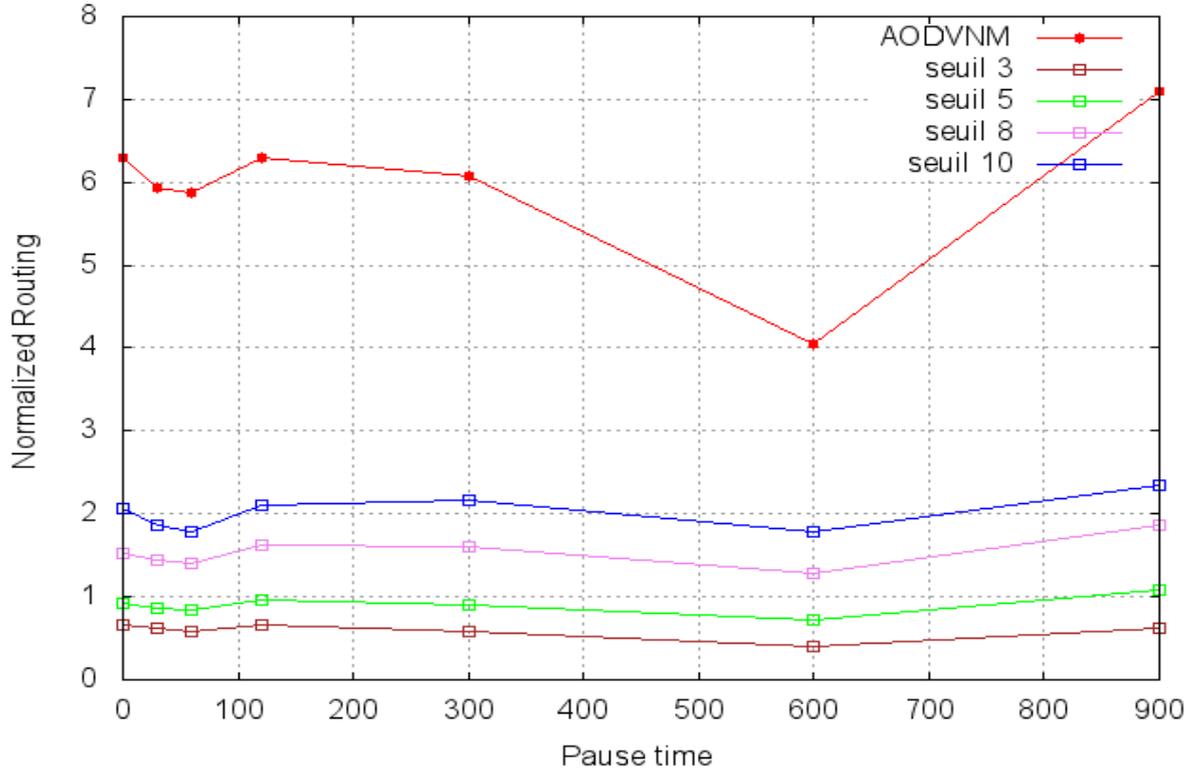


Figure IV.13 Scénario de 30 nœuds

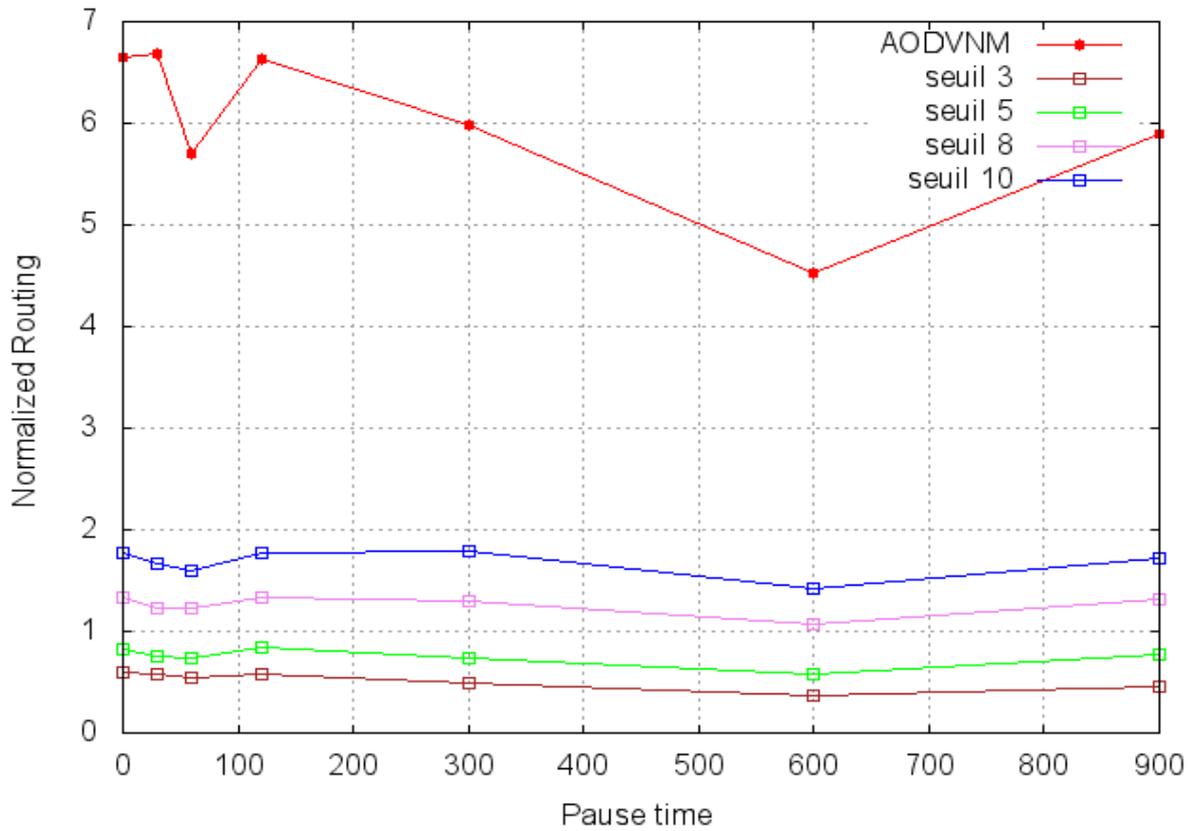


Figure IV.14 Scénario de 40 nœuds

○ **Interprétation**

Plus le nombre de nœuds communicant augmente à 20, 30,40 plus on obtient des paquets de contrôle ce qui implique plus de paquets perdus et moins de paquets de données reçues.

Le réseau est moins surchargé dans le cas où le nombre de source est égal à 40 communicant, car de toute façon le chemin est établi, pas de changement de la topologie et plusieurs nœuds (source) qui utilisent le même chemin.

En termes de surcharge AODV- MODIFIÉ est plus performant qu'AODV dans les grands réseaux.

Concernant la mobilité, lorsqu'on a mobilité forte (0, .. 120) implique beaucoup de paquets de contrôle donc la surcharge augmente, par contre dans le cas de mobilité faible moins des ruptures des liens moins de paquets de contrôle ce qui implique surcharge faible.

IV.11.2 La Deuxième étude : Cumuler les PerHopTime.

a. End-to-End Delay (retard)

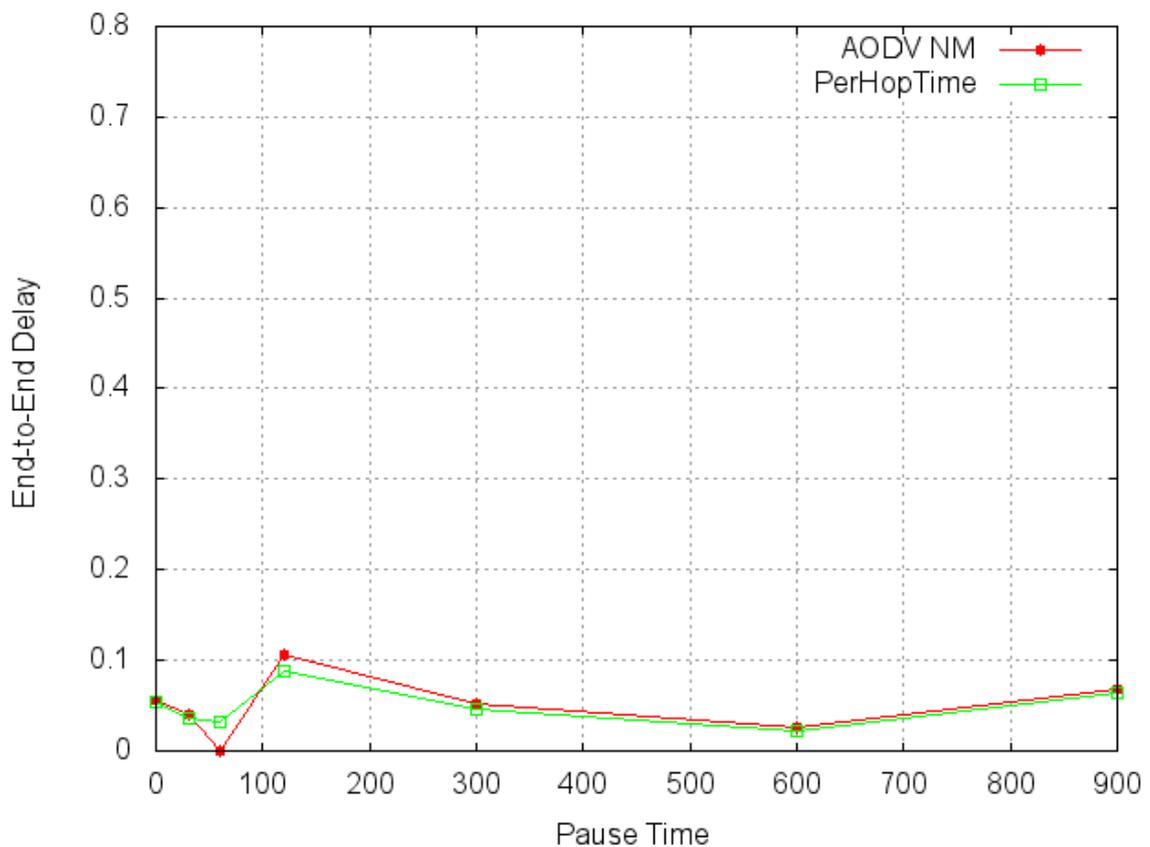


Figure IV.15 Scénario de 10 nœuds

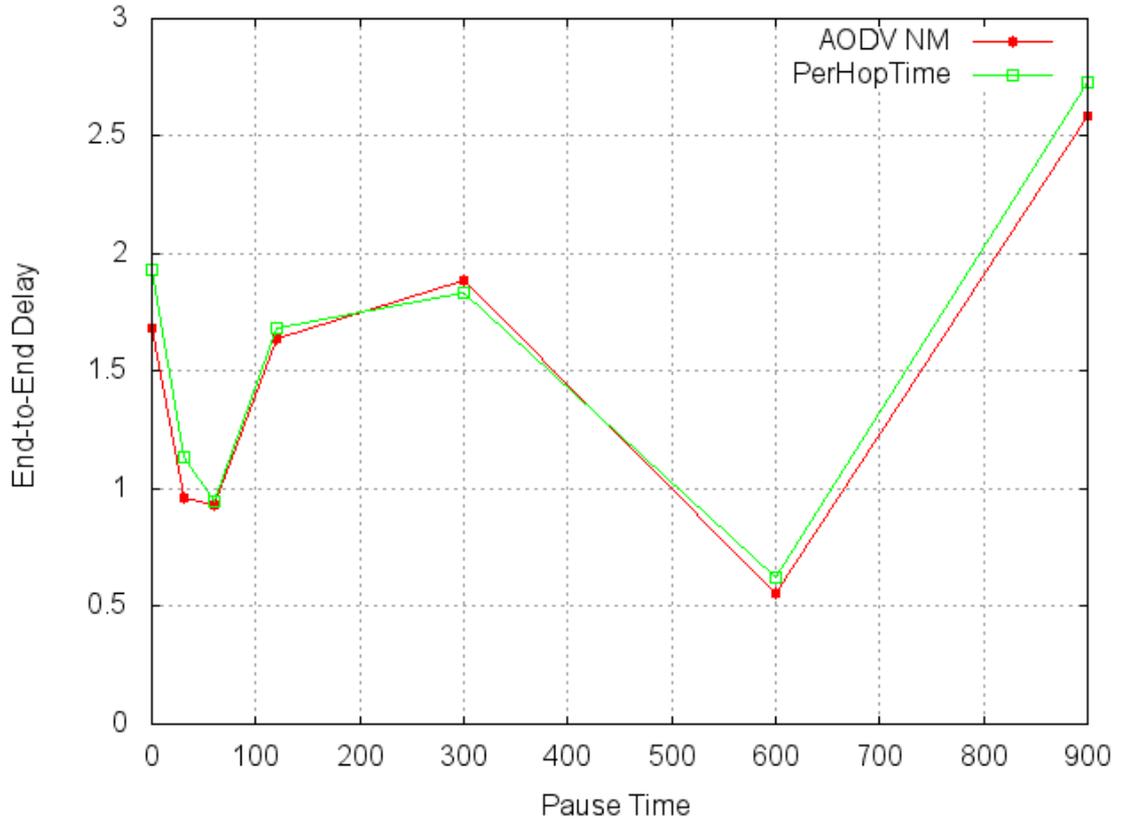


Figure IV.16 Scénario de 20 nœuds

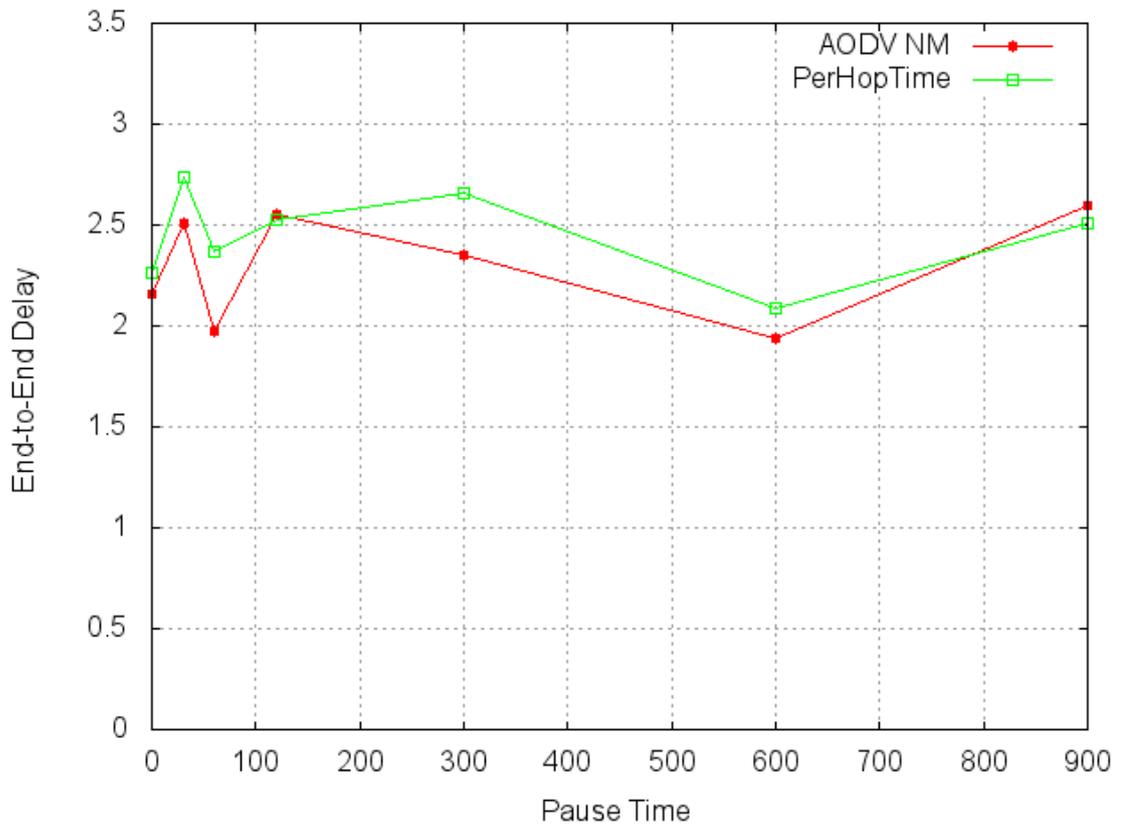


Figure IV.17 Scénario de 30 nœuds

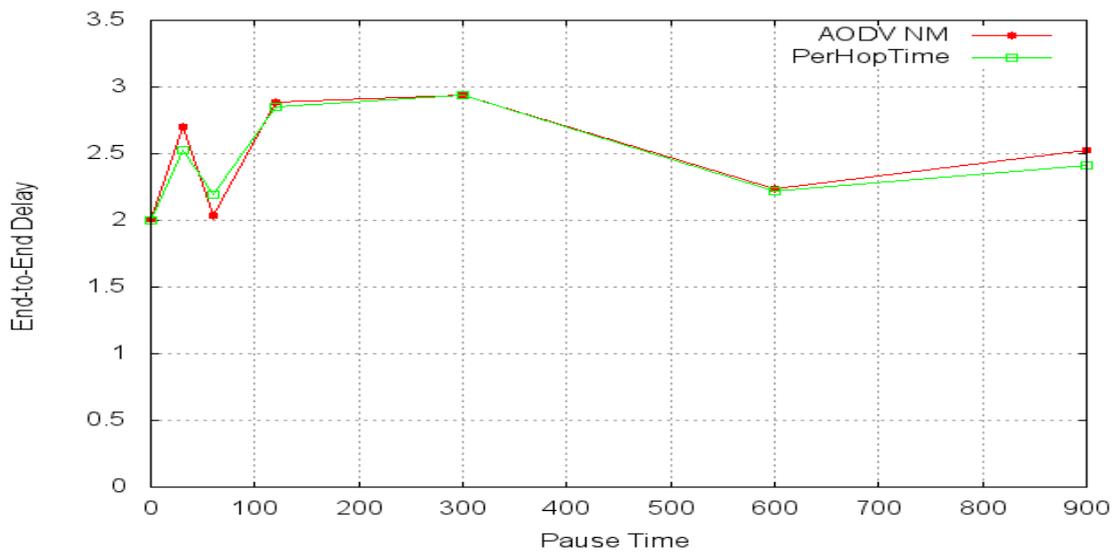


Figure IV.18 Scénario de 40 nœuds

o **Interprétation**

AODV- MODIFIÉ est plus performant qu'AODV dans les réseaux qui contiennent moins de nœuds communiquant avec un délai minimum, et pour les scénarios 2,3 et 4 on remarque que le délai d'attente pour AODV- MODIFIÉ surpasse le délai d'AODV ce qui signifie qu'ils vont avoir des tables de routage remplies correspondant à chaque nœuds donc le temps de recherche dans la table va augmenter.

b. Packet Delivery Fraction

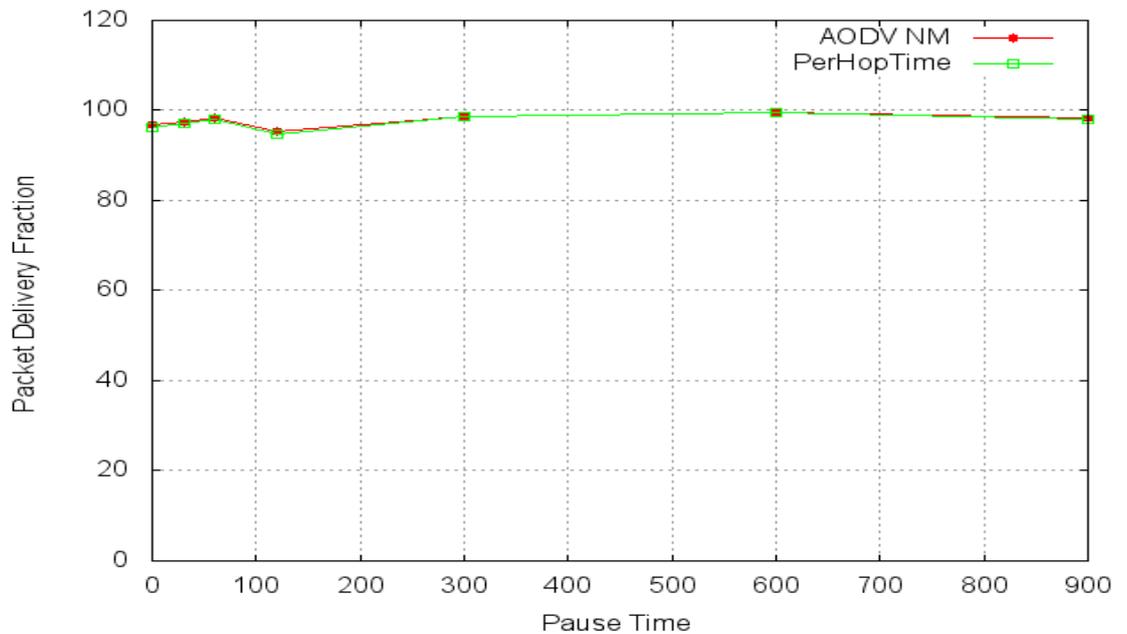


Figure IV. 19 Scénario de 10 nœuds

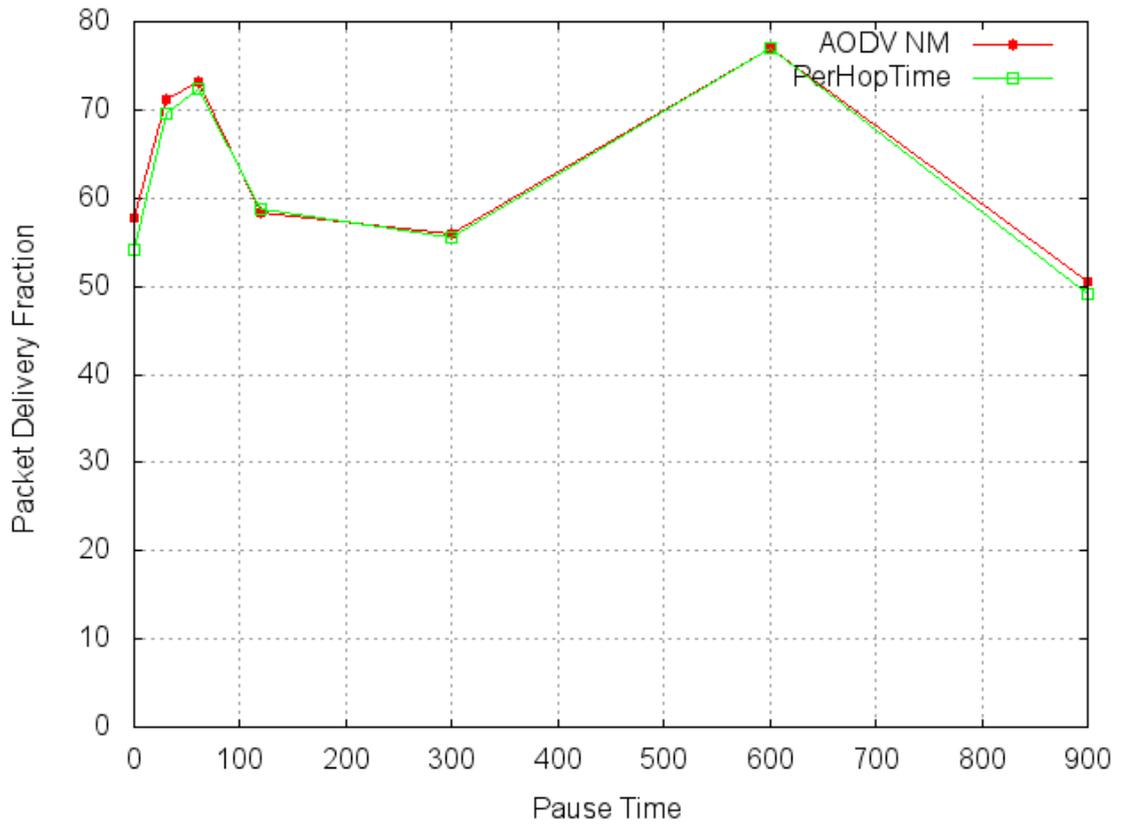


Figure IV.20 Scénario de 20 nœuds

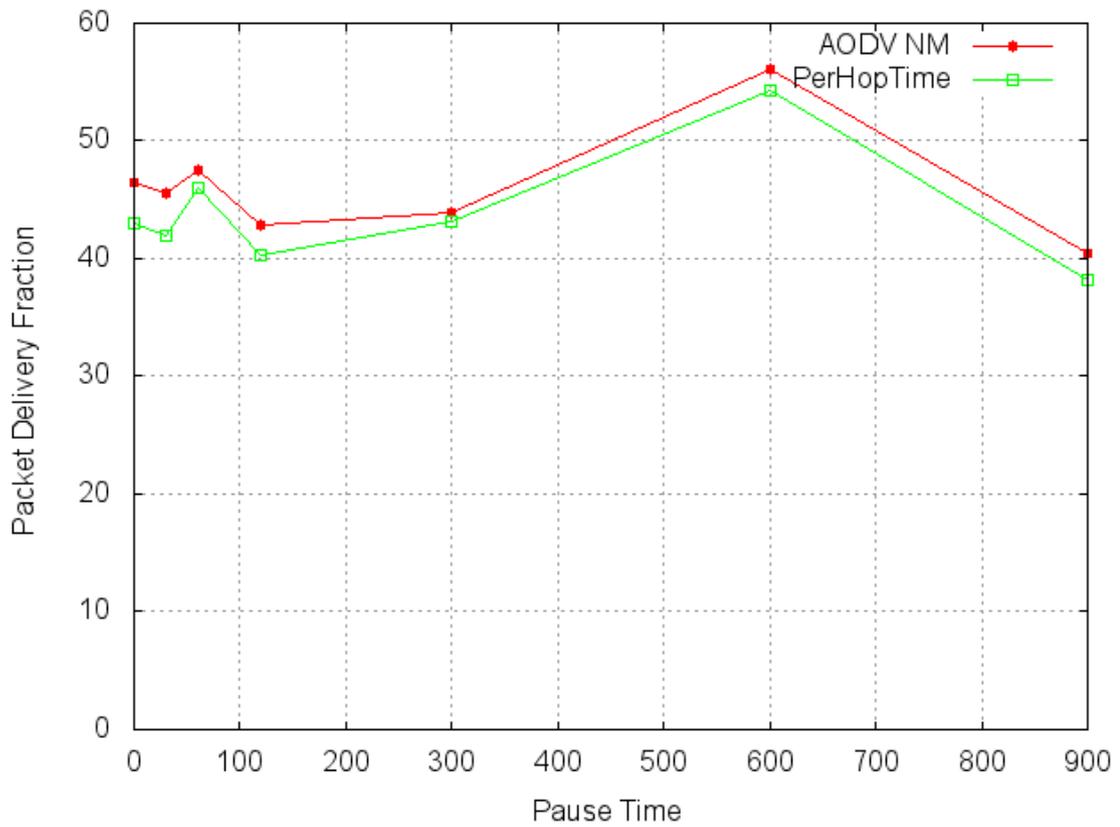


Figure IV.21 Scénario de 30 nœuds

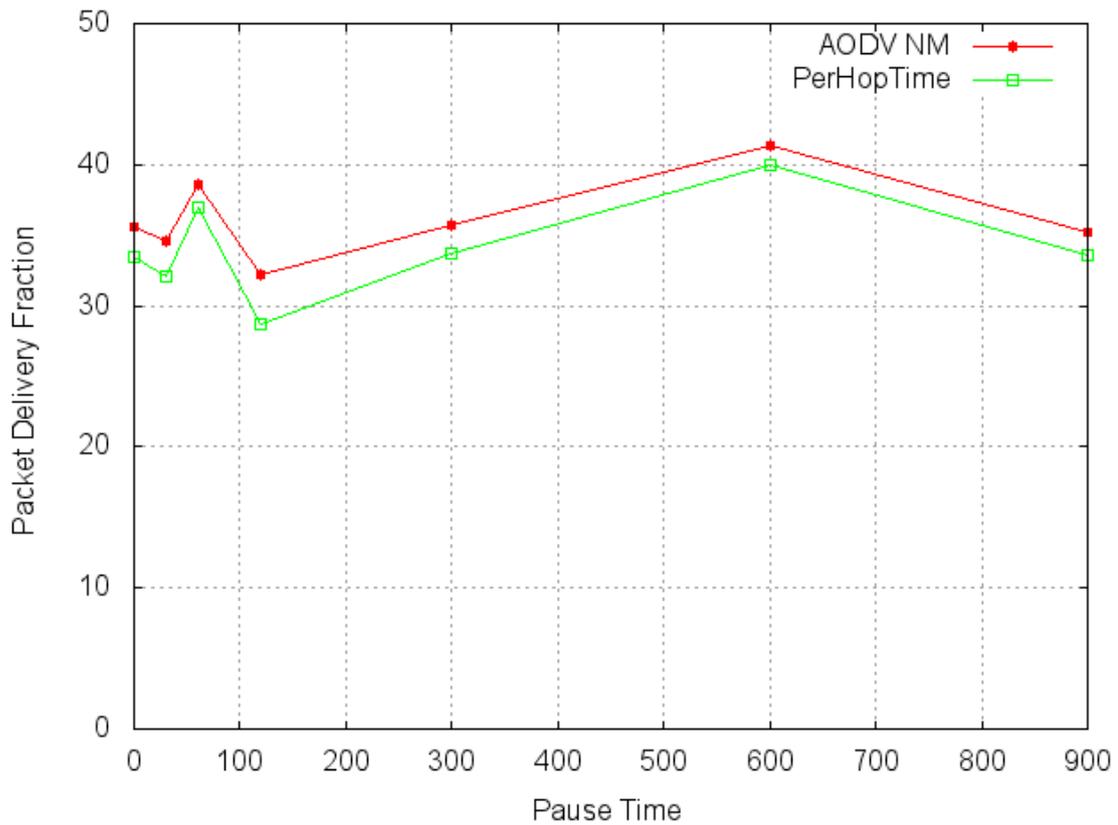


Figure IV.22 Scénario de 40 nœuds

○ **Interprétation**

Plus le nombre de nœuds communiquant augmente à 20, 30, 40 plus le taux de livraison diminue. Et le taux de livraison est plus performant dans le scénario 1 car le réseau a moins de nœuds communiquant implique moins de paquets de contrôle ; par contre dans les autres scénarios le taux de livraison d'AODV-MODIFIÉ va diminuer à 50% ce qui signifie que la recherche d'un chemin optimale avec un PerHopTime minimum dans la table de routage prend beaucoup de temps, c-à-d le temps d'attente va augmenter implique le taux de livraison va diminuer.

Concernant la mobilité, lorsqu'on a une mobilité forte (0, .. 120) implique plus de perte équivalent à PDFraction faible, le cas où la mobilité modérée (300, 600) moins de perte (coupure des liens) équivalent à PDFraction élevée par contre dans le cas de mobilité faible les ruptures des liens sont difficiles à réparer ce qui implique PDFraction faible.

c. Normalized Routing (La surcharge)

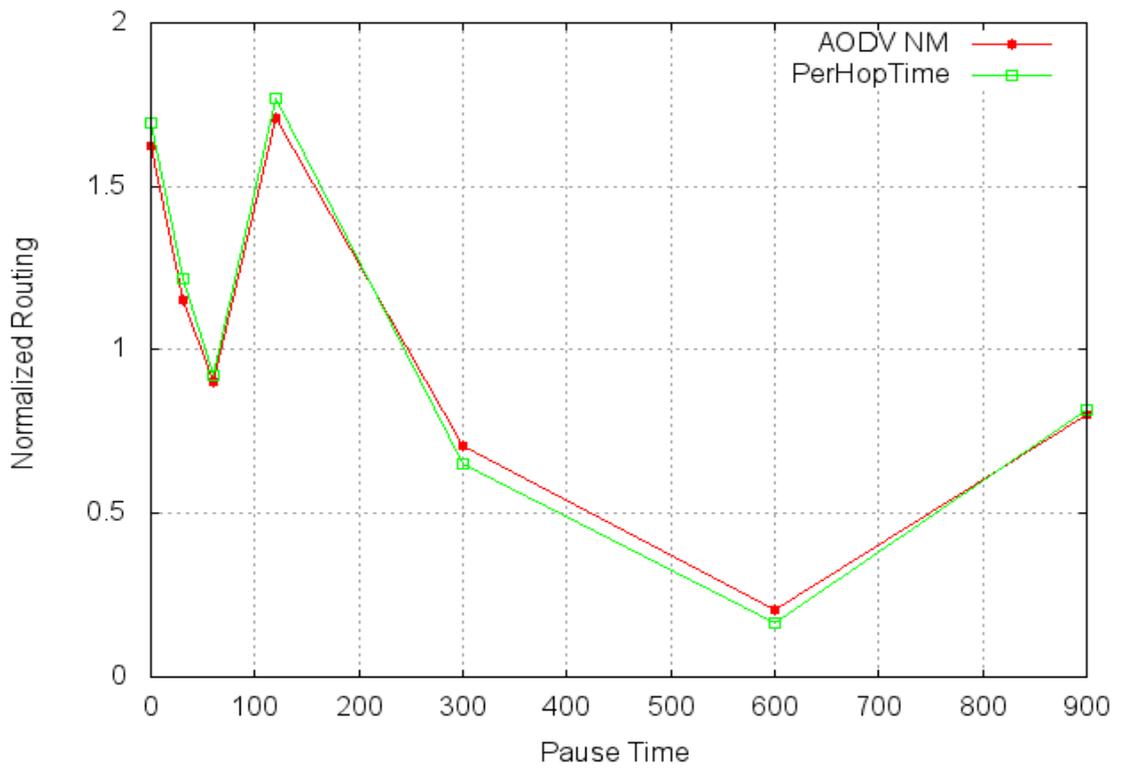


Figure IV.23 Scénario de 10 nœuds

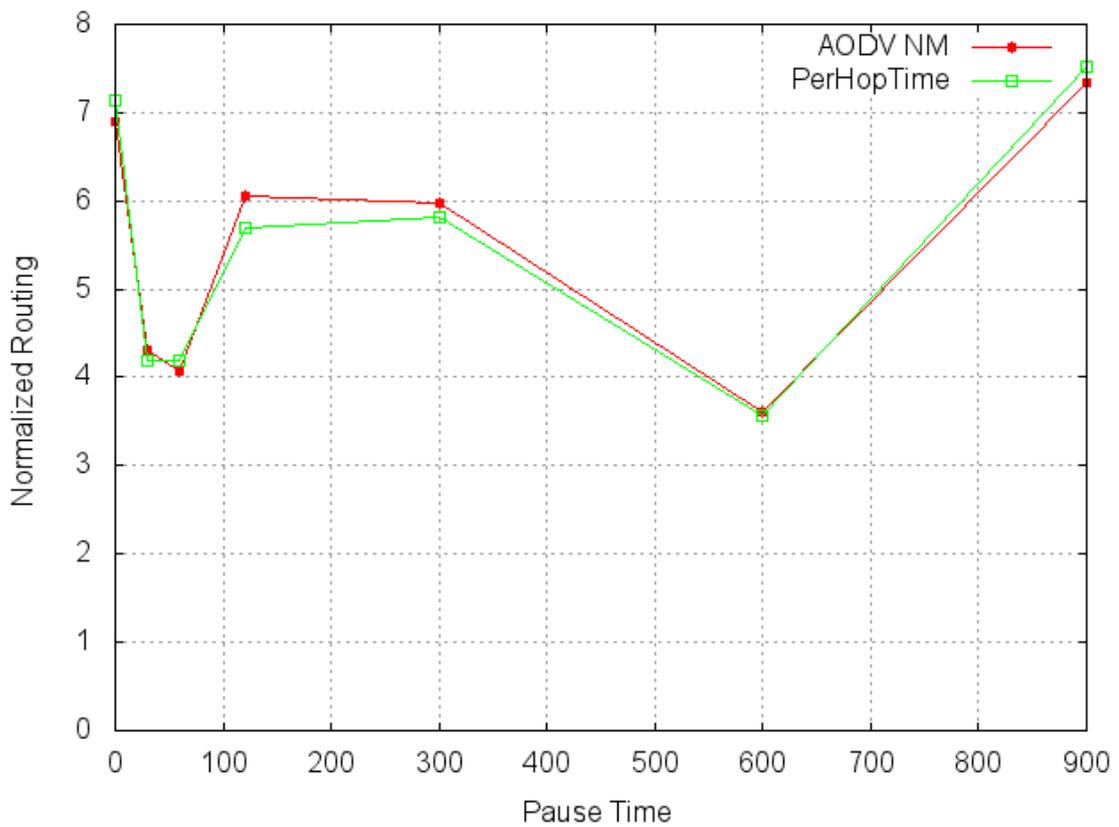


Figure IV.24 Scénario de 20 nœuds

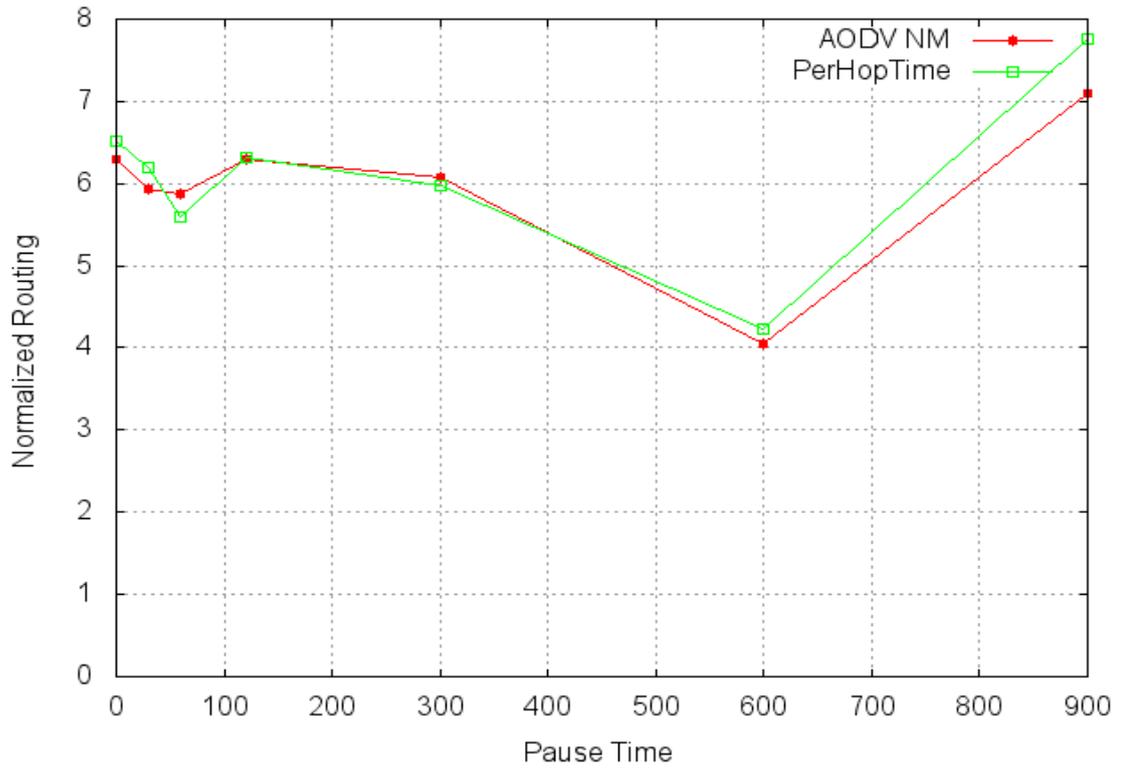


Figure IV.25 Scénario de 30 nœuds

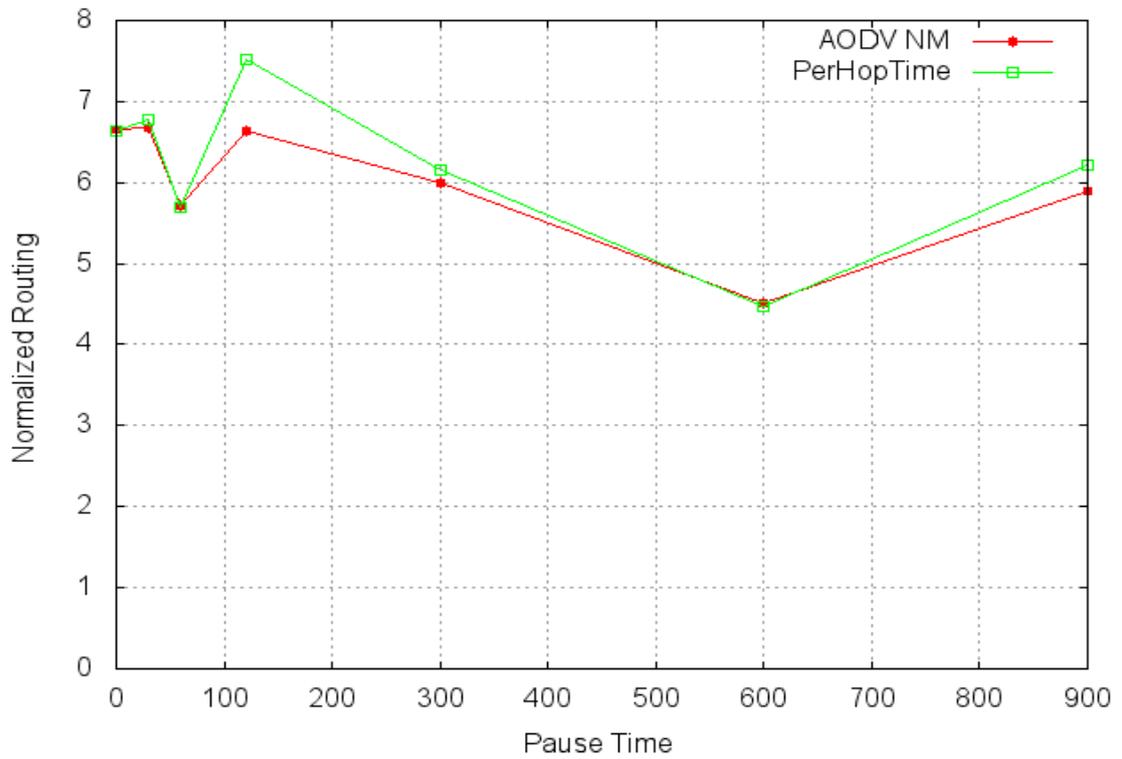


Figure IV.26 Scénario de 40 nœuds

○ **Interprétation**

Dans les quatre scénarios on remarque que la valeur d'AODV- MODIFIÉ surpasse AODV car le réseau est surchargé par plusieurs réponses du paquet RRequest et par le temps de recherche dans la table de routage qui doit être comptabilisé.

IV.12 Comparaison AODV / AODV MODIFIÉ

C'est clair d'après les résultats de simulation que AODV- MODIFIÉ démontre une efficacité face à AODV, et ce en profitant des défauts de ce dernier dans les réseaux ayant de plus en plus de nœuds communicants, cette efficacité minimisant le délai de transmission de données, les résultats des deux métriques end-to-end delay et Normalized Routing clairement présentés la différence entre les deux protocoles, AODV MODIFIÉ adopte un mécanisme d'équilibrage de charge, qui tente de router les paquets sur un chemin moins encombré et d'éviter la surcharge de certains nœuds.

Toutefois, les performances réelles de ce protocole ne peuvent être déduites de simples simulations. Il est en effet difficile en simulation de concevoir les scénarios pertinents conduisant à l'évaluation du comportement du protocole sous les conditions réelles.

Conclusion Générale

L'objectif de ce mémoire était de proposer une optimisation du protocole de routage AODV opérant sous les réseaux sans fil en mode Ad Hoc, et ce en minimisant le délai de sélection de route afin de transmettre les données dans un délai minimal.

Les méthodes prenantes en charge les idées d'optimisation étant implémentées, le protocole modifié ainsi est mis à l'épreuve sous le simulateur NS-2, sous différents scénarios de communication avec variation des principaux paramètres pouvant influencer ces communications, et ce afin d'avoir des résultats optimaux.

Les résultats ont été récupérés, traités puis représentés dans des graphes afin de pouvoir mieux comprendre les comportements du protocole avant et après sa modification, ces graphes ont été interprétés avec le plus grand soin en s'intéressant aux moindres changements.

En se basant sur ces interprétations, une comparaison entre le protocole original et celui modifié a été faite, concluant que ce dernier a fait ses preuves et a montré clairement son efficacité face au protocole original. L'optimisation a bien eu lieu, objectif atteint.

Pour les perspectives, essayer de mesurer la surcharge du réseau pour appliquer l'algorithme de l'équilibrage de charge dans le cas où le réseau est chargé seulement, pour cela on essaie de combiner les deux paramètres (méthodes) précédentes ; Minimiser le nombre d'entrées dans la table de routage et cumuler le PerHopTime à la fois pour bénéficier de leurs avantages.

On ajoutera d'autres paramètres comme l'état de la file d'attente et de vitesse de déplacement.

Les algorithmes de l'équilibrage de charge utilisés dans le cas où le réseau est surchargé, dans le cas contraire on va compliquer la situation.

Bibliographie

- [1] P. MUHLETHALER, 802.11 et les réseaux sans fil, Edition EYROLLES, livre Edition Eyrolles, 2002.
- [2] M. DAWOUD, Analyse du protocole AODV, DEA d'Informatique, 2005/2006.
- [3] R. BEDOUHENE et M. BENMEDOUR, Protocole de Connexion des Réseaux Ad Hoc à Internet, Mémoire de fin d'études, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 2004.
- [4] K. A. Agha, G.Pujolle, Réseaux de mobiles et réseaux sans fil. Eyrolles, 2002.
- [5] D. DHOUTAUT, Etude du standard IEEE 802.11 dans le cadre des réseaux Ad Hoc : de la simulation à l'expérimentation, Thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Décembre 2003.
- [6] P.Chandra, D.M. Dobkin, A. Bensky, R.Olexa, D.A. Lide, F. Dowla, "Wireless Networking", UK, Elsevier, 2008.
- [7] M. Ilyas , "The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks", USA, CRC Press LLC, 2003.
- [8] M. Hülsmann, K. Windt, Eds.; "Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics- The Impact on Management, Information and Communication and Material Flow", Springer, 2007.
- [9] S.L. Wu, Y.C. Tseng; "Wireless Ad Hoc Networking: Personal-Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks"; USA, Auerbach publications, 2007.
- [10] A. Adolf Conception d'un protocole de routage réactif sécurisé à l'aide de processeurs sécurisés embarqués pour les réseaux Ad Hoc, université de Limoges, FST, 2006-2007
- [11] R. Bedouhene et M. Benmedour. ft Protocole de Connexion des Réseaux Ad Hoc à Internet w. Mémoire de fin d'études, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 2004.
- [12] T. Lemlouma. « Le Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc » .Mini projet, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Septembre 2000.
- [13] N. BOUKHECHEM, routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc par une approche a base d'agents, Mémoire Magister, Faculté des sciences et science de l'ingénieur, Université de Constantine, 2008.
- [14] S. Boukli Hacene, Qualité de service, Thèse de Doctorat, Université Djillali Liabes, 2012.

Bibliographie

- [15] A. Zhou, H. Hassanein, Load-Balanced Wireless Ad Hoc Routing, Department of Computing and Information Science, Queen's University Kingston Ontario Canada, December 2009.
- [16] M. Dawoud, Analyse du protocole AODV, DEA d'Informatique, Faculté des sciences Université libanaise, 2005-2006.
- [17] D. DHOUTA UT. Etude du standard IEEE 802.11 dans le cadre des réseaux Ad Hoc : de la simulation à l'expérimentation. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, France, 2003.
- [18] E. W. Dijkstra. A note on two problems in connection with graphs. Numerische Mathematik, Eindhoven University of Technology, 1959.
- [19] R. E. Bellman, Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, 2003.
- [20] D. Bécaye, Effets de la mobilité sur les protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc, Mémoire de fin d'étude Ingénieur d'état en Système d'information avancé, Université MOULOUD MAMMERI de TIZI OUZOU, 2007.
- [21] N. Daujeard, J. Carsique, R. Ladjadj, A. Lallemand, Le routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc, Facultés d'ingénieur, Paris, 2002-2003
- [22] F. Risson, N. Gaona, Le routage au sein des réseaux Ad Hoc, projet bibliographique, Master systèmes informatiques et réseaux, décembre 2004
- [23] T. Lemlouma, Le routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc, Mini projet, institut d'informatique, USTHB, Septembre 2000
- [24] H. Bachar Salim, Les protocoles de routages dans les réseaux Ad Hoc, Rapport de stage, Université de Reims, UFR Sciences, juin 2007
- [25] M. A. Ayachi, Contribution à la détection des comportements malhonnêtes dans les réseaux Ad Hoc AODV par analyse de la confiance implicite, thèse de Doctorat, université de Rennes, 2011.
- [26] C.E. Perkins, M. Elizabeth, B. Royer, S. Das: "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-10.txt, January 2002.
- [27] C. E. Perkins, M. Elizabeth, B. Royer: "Ad Hoc on demand distance vector (AODV) algorithm". In Proceeding of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99), New Orleans Louisiana USA, February 1999.

Bibliographie

- [28] C. E. Perkins, B. Royer, S. Das: Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, Network Working Group, 2003.

Liste des Figures

Figure I.1	Les catégories du réseau sans fil	12
Figure I.2	Classement des réseaux sans fils selon la portée	12
Figure I.3	Le modèle de réseaux mobile avec infrastructure.....	13
Figure I.4	Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure	14
Figure II.1	Routage à plat	22
Figure II.2	Routage hiérarchique.....	23
Figure II.3	Classes de protocoles de routage Ad Hoc	25
Figure II.4	Format de la table de routage	29
Figure II.5	Format de la table d'historique.....	29
Figure II.6	Format RREQ simple	30
Figure II.7	Format de la demande de route RREQ détaillée	30
Figure II.8	Format RREP simple.....	31
Figure II.10	Format du message HELLO.....	32
Figure II.11	Format de l'erreur de route RERR	32
Figure II.12	Format de l'accusé de réponse de route RREP-ACK.....	33
Figure II.13	Le chemin pris par paquet. RREP (requête de réponse).....	34
Figure IV.1	Structure d'une ligne du fichier trace.....	44
Figure IV.2	Code pour CBR-50-10-4.....	47
Figure IV.3	Scénario de 10 nœuds	48
Figure IV.4	Scénario de 20 nœuds	48
Figure IV.5	Scénario de 30 nœuds	49
Figure IV.6	Scénario de 40 nœuds	49
Figure IV.7	Scénario de 10 nœuds	50
Figure IV.8	Scénario de 20 nœuds	51
Figure IV.9	Scénario de 30 nœuds	51
Figure IV.10	Scénario de 40 nœuds	52
Figure IV.11	Scénario de 10 nœuds	53
Figure IV.12	Scénario de 20 nœuds	53
Figure IV.13	Scénario de 30 nœuds	54
Figure IV.14	Scénario de 40 nœuds	54
Figure IV.15	Scénario de 10 nœuds	55
Figure IV.16	Scénario de 20 nœuds	56
Figure IV.17	Scénario de 30 nœuds	56
Figure IV.18	Scénario de 40 nœuds	57
Figure IV. 19	Scénario de 10 nœuds	57
Figure IV. 20	Scénario de 20 nœuds	58
Figure IV.21	Scénario de 30 nœuds	58
Figure IV.22	Scénario de 40 nœuds	59
Figure IV.23	Scénario de 10 nœuds	60
Figure IV.24	Scénario de 20 nœuds	60
Figure IV.25	Scénario de 30 nœuds	61
Figure IV.26	Scénario de 40 nœuds	61

Résumé

Un réseau mobile Ad Hoc sans fils est un réseau mobile sans infrastructure tel que tous les nœuds sont capables de mouvement et peuvent être relié de façon arbitraire. Il ya de nombreux protocole pour mobile Ad Hoc, on peut les catégorisés en : table-driven routing protocoles ces derniers tentent de maintenir la mise à jour des informations de routage en chaque nœud. Les protocoles de routage mobile Ad Hoc sans fils les plus connus sont ‘dynamic source routing(DSR)’ et ‘Ad Hoc on-demand distance vector(AODV)’. L’inconvénient majeur dans tous ces protocoles c’est qu’ils ne peuvent pas équilibrer la charge sur les différentes routes. D’autres protocoles de routage comme (LBAR) load-balanced Ad Hoc routing protocol sont fondés sur la notion d’équilibrage de la charge de trafic.

Mots clés : Réseaux Ad Hoc, Routage, Equilibrage de la charge.

Abstarct

A mobile wireless network Ad Hoc is a mobile network without infrastructure like all the nodes that are capable of movements and can be related in an arbitrary way. There are many protocols for an Ad Hoc mobile, we can classify them in: table-driven routing protocols, which try to maintain the updating of routing information in each node. The most famous mobile wireless routing Ad Hoc protocols are: dynamic source routing (DSR) and Ad Hoc on-demand distance vector (AODV). The major disadvantage in all these protocols is that they can’t balance the charge on the different routes. Other routing protocols like load-balanced Ad Hoc routing protocol (LBAR) are founded on the notion of balancing the traffic charge.

Keywords: Ad Hoc network, Routing, Balancing the charge.

ملخص

تعتبر الشبكة المحمولة اللاسلكية Ad Hoc شبكة محمولة بدون بنية تحتية مثلما لكل العقد القدرة على الحركة و يمكن أن تكون متصلة فيما بينها بطريقة تعسفية. يوجد العديد من البروتوكولات للنقالة Ad Hoc حيث يمكن تصنيفها كالاتي: بروتوكولات التوجيه الجدولي حيث تحاول هذه الأخيرة المحافظة على تحديث معلومات التوجيه في كل عقدة. من أكثر بروتوكولات التوجيه المحمول اللاسلكي Ad Hoc المعروفة نجد: مصدر التوجيه الديناميكي (DSR) و كذا متجه المسافات على الطلب Ad Hoc (AODV). يمكن القول أن العيب الأساسي في هذه البروتوكولات هو عدم قدرتها على موازنة الضغط على التوجيهات المختلفة. تقوم بعض البروتوكولات الأخرى مثل بروتوكول توجيه موازنة التحميل (LBAR) على مفهوم توازن الضغط في المرور حيث يتم اعتماد هذا البروتوكول من قبل DSR و AODV في وظيفة توجيه الحزم.

كلمات السر: شبكات Ad Hoc، التوجيه، موازنة الضغط.