

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE
En vue de l'obtention du diplôme de Master en informatique
Option : Réseaux et Systèmes Distribués

Thème

**Routage réactif à basse consommation de bande
passante dans les réseaux mobiles ad hoc**

Présenté par

AOUCHAR KATIA
REBOUH SOUHILA

Soutenue le 25 juin 2013 devant le jury composé de :

M. KHENOUS LACHEMI	Président	M.A.A
Dr. AMAD MOURAD	Examineur	M.C.B
M ^{lle} . BOUAKKAZ FERIEL	Examinatrice	Doctorante
Dr. OMAR MAWLOUD	Encadreur	M.C.B

Promotion 2012-2013

Résumé

Un réseau mobile ad hoc est une collection de nœuds sans fil formant un réseau dynamique sans infrastructure préexistante ou une administration centralisée. Chaque nœud dans ce type de réseau fonctionne comme un routeur et utilise un protocole de routage pour acheminer les messages. Notre travail est lié à la problématique de routage à basse consommation de la bande passante. Nous avons proposé DS2R2P (On-Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol) reposant sur une politique de réduction de tailles de paquets en utilisant un mécanisme de hachage, où les données sont transmises en utilisant des valeurs de tailles fixes et réduites. Les résultats obtenus ont montré que notre protocole réduit la taille des paquets de données et par conséquent le temps de retransmission lors du routage.

Mots clés : Réseaux mobiles ad hoc, protocole de Routage, DS2R2P.

Abstract

A mobile ad hoc network is a collection of nodes forming a dynamic wireless network without pre-existing infrastructure or centralized administration. Each node in this network operates as a router and uses a routing protocol in order forward messages. Our work is related to the problem of routing with preservation of bandwidth. In this paper, we propose DS2R2P (On-Demand Source Routing Protocol with Reduced Packets) based on a policy of reducing packet sizes using a hashing mechanism, where data is transmitted with a fixed values and reduced header packets. The results have shown that our protocol reduces the size of data packets and therefore the retransmission time when routing.

Keywords : Mobile ad hoc networks, routing protocol, DS2R2P.



Remerciements

A l'issu de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions grandement notre promoteur Dr. OMAR Mawloud, sans lequel notre travail et l'aboutissement de ce mémoire, n'auraient pas vu le jour. Merci pour l'honneur que vous nous avait fait en acceptant de nous encadrer. Merci pour votre confiance, votre disponibilité, vos orientations et vos encouragements.

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de notre profonde gratitude pour l'immense aide que vous nous avez toujours apportée. Avec toute notre estime, respect et l'admiration qu'on vous porte, nos souhaits les plus sincères de joie et plus de réussite.

Nos remerciements vont également au président M. KHENOUS Lachemi et aux membres de jury Dr. AMAD Mourad et *M^{lle}*. BOUAKKAZ Ferial d'avoir acceptés de juger notre travail et consacré leurs temps à la lecture de ce mémoire.

Nos remerciements vont à tous ceux qui nous ont apporté leur aide, chacun à sa manière, tout au long de ce mémoire, en l'occurrence M. ABBACHE et M. YAZID.

Sans oublier de remercier les enseignants qui ont contribué à notre formation et appuyé notre cursus universitaire, et le personnel administratif de département d'informatique.

Nous concluons, en remerciant vivement nos familles respectives qui nous ont toujours supportés moralement et financièrement pendant toutes nos années d'études.



Je dédie ce modeste travail :

A mes parents adorés :

J'espère réaliser, en ce jour, l'un de vos rêves. Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, ma considération et l'amour que je vous porte.

Votre présence constante à mes cotés, vos encouragements et vos prières m'ont été d'une aide précieuse et m'ont permis d'atteindre le but désiré.

Puisse Dieu le tout puissant vous donner santé et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.

à ma sœur Samira et à mes frères Aghiles, Lyes et Akram.

à ma binôme Katia et à tous mes collègues.

à tous les étudiants de master 2 informatique (promotion2013).

à tous mes amis : à Khaled, Lila, Billel, Meheni, Nassim, Juba, Yacine,

Et je pense tous particulièrement à mes deux meilleures amies : Meryem & Sihem.

Souhila



Je dédie ce modeste travail à :

- Mon cher père qui a veillé à ma réussite en déployant tous les efforts nécessaires et qui a été toujours un exemple pour moi.
- Ma chère mère qui m'a appris à confronter les obstacles de la vie. Et pour tous ses sacrifices qu'elle a fait pour moi, ainsi que pour toute la confiance et l'amour qu'elle m'a toujours accordé.
- Mon cher frère Sofiane et son épouse Safia pour leur gentillesse.
- Mon adorable sœur Nassima et son époux abdesslam , à qui je souhaite une très grande réussite dans leurs vie.
- Mon cher frère Menad, à qui je souhaite aussi une très grande réussite dans son parcours universitaire.
- à toute ma famille de près et de loin .
- à ma binôme Souhila avec qui j'ai aimé travailler tout au long de cette année, ainsi qu'à toute sa famille
- je ne peux oublier l'ensemble de mes amis qui m'ont apporté leur soutien et je pense tout particulièrement à naima , sonia, amina, fouzia , faouzi.

Katia

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Introduction Générale	1
1 Généralités sur les réseaux mobiles ad hoc	4
1.1 Introduction	4
1.2 Définition d'un réseau ad hoc	5
1.3 Caractéristiques et avantages des réseaux ad hoc	6
1.4 Applications des réseaux ad hoc	7
1.5 Routage dans les réseaux ad hoc	8
1.6 La difficulté du routage dans les réseaux ad hoc	8
1.7 Classification des protocoles de routage	9
1.7.1 Les protocoles de routage proactifs	9
1.7.2 Les protocoles de routage réactifs	10
1.7.3 Les protocoles de routage hybrides	10
1.8 Conclusion	11
2 Etat de l'art sur les protocoles de routage réactifs dans les réseaux mobiles ad hoc	12

2.1	Introduction	12
2.2	Les protocoles de routage réactifs	13
2.2.1	Dynamic Source Routing (DSR)	13
2.2.2	Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)	14
2.2.3	Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)	16
2.2.4	Associativity-Based Routing (ABR)	17
2.2.5	Location-Aided Routing (LAR)	18
2.2.6	Relative Distance Micro-discovery Ad hoc Routing (RDMAR)	20
2.2.7	Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing (CEDAR)	21
2.2.8	Ad hoc QoS on-demand Routing (AQOR)	23
2.2.9	Ad hoc on-demand QoS routing based on Bandwidth Prediction (AQBP)	24
2.2.10	Multi Route AODV-Ant routing Algorithm (MRAA)	25
2.2.11	Cluster Based Routing Protocole (CBRP)	27
2.2.12	Signal Stability-based Routing (SSR)	28
2.3	Conclusion	29
3	DS2R2P – On Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol	30
3.1	Introduction	30
3.2	Le protocole DS2R2P	31
3.2.1	La découverte des routes	32
3.2.2	Maintenance des routes	33
3.2.3	Le processus de routage	33
3.3	Déroulement de DS2R2P à travers un exemple	33
3.4	Conclusion	36
4	Modélisation analytique et évaluation de performances	37
4.1	Introduction	37

4.2	Modèle analytique	38
4.2.1	La file d'attente de type M/M/1	38
4.2.2	Réseau de files d'attente de type M/M/1	38
4.2.3	Cas du protocole de DSR	39
4.2.4	Cas du protocole DS2R2P	40
4.3	Comparaison	40
4.4	Conclusion	41
	Conclusion générale et perspectives	45
	Bibliographie	47

Liste des figures

1.1	Exemple d'un réseau ad hoc	5
2.1	Phase de découverte de chemins dans DSR	14
2.2	Les requêtes RREQ et RREP utilisées dans le protocole AODV	15
2.3	La maintenance de route dans TORA	17
2.4	Le protocole LAR	19
2.5	Le mécanisme des distances relatives du protocole RDMAR	21
2.6	Les nœuds en couleur noirs sont des nœuds de base. Les lignes pleines indiquent les liens dans le réseau ad hoc. Les tubes en pointillés symbolisent les liens virtuels dans le graphique de base	22
3.1	Exemple d'un réseau ad hoc	34
4.1	Réseau de files d'attente	38
4.2	Temps moyen de délivrance de données en fonction du débit de transmission ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $\ell = 500$)	41
4.3	Temps moyen de délivrance de données en fonction du débit de transmission ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $\ell = 1000$)	42
4.4	Temps moyen de délivrance de données en fonction de ℓ ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $Db = 54 \text{ Mbits/s}$)	42

4.5	Temps moyen de délivrance de données en fonction de ℓ ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $Db = 100 \text{ Mbits/s}$)	43
4.6	Temps moyen de délivrance de données en fonction de λ ($\alpha = 500$, $\ell = 500$ et $Db = 54 \text{ Mbits/s}$)	43
4.7	Temps moyen de délivrance de données en fonction de λ ($\alpha = 500$, $\ell = 500$ et $Db = 100 \text{ Mbits/s}$)	44

Introduction générale

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calculs portables ont poussé aujourd'hui la communauté scientifique à fournir des travaux pour assurer l'accès à l'information à tout moment. La communication sans fil joue un rôle crucial au sein des réseaux informatiques actuels. Elle permet la mobilité des utilisateurs là où l'installation d'infrastructure filaire n'est pas possible.

Les réseaux sans fil sont classés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure préexistante et les réseaux sans infrastructure. Dans la première catégorie, le modèle de communication utilisé est généralement le modèle cellulaire. Dans ce modèle, un point d'accès assure la liaison entre les terminaux mobiles et le réseau câblé. Les utilisateurs peuvent se déplacer de manière transparente (sans perte de connectivité) d'un point d'accès à un autre. La deuxième catégorie est celle des réseaux mobiles ad hoc. Le concept des réseaux mobiles ad hoc étend la notion de la mobilité à toutes les composantes de l'environnement. Contrairement aux réseaux basés sur la communication cellulaire, aucune administration centralisée n'est disponible ; ce sont les machines elles-mêmes qui forment de façon autonome l'infrastructure du réseau. Aucune supposition ou limitation n'est faite sur la taille du réseau ad hoc,

le réseau peut contenir des centaines ou des milliers de machines mobiles.

La nature des réseaux ad hoc engendre de nouvelles caractéristiques propres à l'environnement mobile à savoir la fréquente déconnexion, débit de communication limité, des sources d'énergie limitées et chaque machine joue le rôle de client et de routeur. Si un émetteur n'est pas à la portée directe de la machine destination, les informations devront être transmises de proche en proche, le long du chemin établi et maintenu par le réseau. Pour pouvoir acheminer les données, il est nécessaire d'avoir recours à des protocoles de routages. La stratégie de routage est utilisée dans le but d'établir des routes qui soient correctes et efficaces entre une paire quelconque de machines, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue. Vu les limitations des réseaux mobiles ad hoc, la construction des routes doit être faite avec un minimum de message de contrôle, ce qui permet de minimiser la consommation de la bande passante. Le critère de choix de la route, le plus habituellement utilisé, est le nombre de sauts. Bien que facile à calculer, cela peut influencer sur les performances du réseau.

Actuellement, plusieurs protocoles de routage ont été conçus pour les réseaux mobiles ad hoc. Suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données, les protocoles de routage peuvent être séparés en trois catégories : les protocoles proactifs, les protocoles réactifs et les protocoles hybrides. Nous nous focalisons dans le cadre de ce travail aux protocoles réactifs.

Dans la technique de routage par la source, comme DSR, l'émetteur des paquets détermine une séquence complète des nœuds intermédiaires par lesquels doivent passer les paquets. Le chemin de routage est embarqué dans l'entête de chaque paquet de données. Cette technique de routage génère un overhead dans le processus de routage du fait qu'une charge supplémentaire de données de contrôle est maintenue. Pour remédier à ce problème nous avons proposé DS2R2P (*On Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol*), un protocole amélioré de DSR (*On Demande Source Routing*) qui est un protocole réactif et se base sur la technique de routage par la

source. DS2R2P réduit la taille de l'entête en utilisant un mécanisme de hachage avant de transmettre le paquet de données, ce qui réduit la charge de transmission, le temps de délivrance de données et la consommation de bande passante.

Le reste de ce mémoire est structuré comme suit. Dans le chapitre un, nous donnons des généralités sur les réseaux mobiles ad hoc. Dans le chapitre deux, nous présentons l'état de l'art que nous avons fait dans le cadre des protocoles de routage réactif. Dans le chapitre trois, nous présentons en détail notre proposition. Dans le chapitre quatre, nous présentons la modélisation analytique que nous avons élaborée afin mener une comparaison, en termes de temps de délivrance de données, entre notre protocole et celui de DSR. Enfin, nous clôturons ce mémoire avec une conclusion générale.

1

Généralités sur les réseaux mobiles ad hoc

1.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous donnons les notions de base liées aux réseaux mobiles ad hoc. Nous présentons les principales caractéristiques des réseaux ad hoc ainsi que les contraintes qui en découlent. Nous nous intéressons plus précisément à la problématique du routage ainsi qu'aux différents travaux pour la résolution de ce problème.

1.2 Définition d'un réseau ad hoc

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

Dans un réseau ad hoc, un nœud peut communiquer directement avec n'importe quel nœud s'il est situé dans sa zone de transmission (en mode point à point), tandis que la communication avec un nœud situé en dehors de sa zone de transmission s'effectue via plusieurs nœuds intermédiaires (mode multi-sauts) [10][?]. La figure 1.1 illustre un modèle d'un réseau ad hoc sans infrastructure.

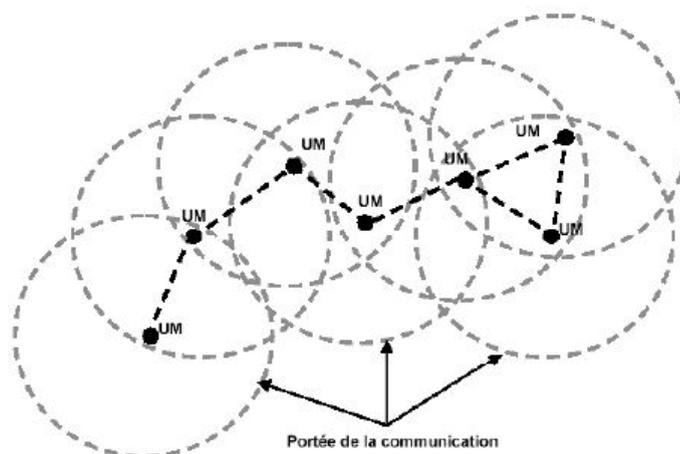


FIGURE 1.1 – Exemple d'un réseau ad hoc

1.3 Caractéristiques et avantages des réseaux ad hoc

Les réseaux ad hoc peuvent être facilement installés en un temps réduit, dans les endroits difficiles à câbler, ce qui élimine une partie du travail et du coût généralement lié à l'installation et la mise en route. Dans ce genre de réseaux mobiles, les nœuds peuvent être déplacés à tout moment et dans n'importe quelle direction dans la zone de couverture radio des stations émettrices, ce qui rend la topologie du réseau dynamique et imprévisible causant la déconnection très fréquente des unités [11]. Les réseaux ad hoc se caractérisent principalement par [13] :

- **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).
- **Contraintes d'énergie** : les hôtes mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système.
- **Sécurité physique limitée** : les réseaux mobiles ad hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.
- **Erreur de transmission** : les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.
- **Topologie dynamique** : les unités mobiles du réseau se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent, la topologie du réseau peut changer à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire.

1.4 Applications des réseaux ad hoc

Les applications ayant recours aux réseaux ad hoc couvrent un très large spectre. D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant, parce qu'il est difficile de la mettre en place [26]. Parmi les domaines d'applications, nous citons :

- **Application militaire** : les équipements militaires (troupes, véhicule) peuvent prendre les avantages des réseaux ad hoc qui leurs permettent de se déplacer et de communiquer entre eux dans les champs de bataille en maintenant les informations entre soldats et les chefs des troupes.
- **Opération de secours** : les opérations de secours se passent dans des régions désastreuses (incendie, inondation, tremblement de terre), où une infrastructure de réseau filaire ou station de base n'existe pas, mais une communication entre les équipes de secours est nécessaire. Dans ce cas, une installation d'un réseau ad hoc peut résoudre ce problème.
- **Les conférences** : le réseau ad hoc peut être utilisé pour un groupe d'utilisateurs qui souhaitent créer un réseau temporaire. Par exemple un réseau ad hoc qui relie les différentes unités portables peut être utilisé pour propager et partager les informations parmi les participants dans une conférence.
- **Utilisation privée** : les réseaux ad hoc peuvent être utilisés dans les Home Network ou les différents équipements échangent des informations (son, vidéo, alarme, etc.), une des applications qui est dans ce contexte est un réseau de robots dans une maison qui font plusieurs travaux (nettoyage, assurance de la sécurité, etc.).
- **Contrôle de l'environnement** : des petits véhicules équipés de caméras et des détecteurs de son peuvent être utilisés dans une région déterminée afin de collecter un ensemble d'informations et de l'envoyer à travers un réseau ad hoc à une station qui traite ces informations, par exemple on peut avec cette

méthode prévoir la pollution de l'eau.

- **Application commerciale** : pour un paiement électronique distant ou pour l'accès mobile à l'Internet ou service de guide en fonction de la position de l'utilisateur.

1.5 Routage dans les réseaux ad hoc

Généralement le routage est une méthode d'acheminement des informations depuis un certain émetteur vers un destinataire bien précis à travers un réseau de connexion donné. Le problème de routage ne se résume pas seulement à trouver un chemin entre deux nœuds du réseau, mais encore à trouver un acheminement optimal et de qualité des paquets de données [25].

1.6 La difficulté du routage dans les réseaux ad hoc

Du fait qu'un réseau ad hoc est une collection de nœuds mobiles formant un réseau temporaire sans l'aide d'une infrastructure de communication fixe, ni administration centralisée. Les nœuds du réseau communiquent via des liaisons sans fil. Ces réseaux sont parfois des ressources limitées en termes de bande passante, capacité de calcul, et de stockage dû au rayon de propagation des transmissions des nœuds qui sont limitées, et afin que le réseau reste toujours connecté, il se peut qu'un nœud mobile se trouve dans l'obligation de solliciter son voisin pour pouvoir transmettre ses informations vers son correspondant, ce qui nécessite l'emploi d'un protocole de routage par des nœuds intermédiaires afin d'acheminer les messages à la bonne destination. La mobilité des nœuds constitue une caractéristique très spécifique des réseaux ad hoc. La topologie de ces réseaux peut changer rapidement, de façon aléatoire et imprévisible et les techniques de routage des réseaux classiques,

basées sur des routes préétablies, ne peuvent pas fonctionner correctement [22].

1.7 Classification des protocoles de routage

Le but principal de toute stratégie de routage est de mettre en œuvre une bonne gestion d'acheminement qui soit robuste et efficace. D'une manière générale, toute stratégie de routage repose sur des méthodes et des mécanismes que l'on peut regrouper en trois grandes classes : les protocoles de routage proactifs, les protocoles de routage réactifs et les protocoles de routage hybrides [17][16].

1.7.1 Les protocoles de routage proactifs

La particularité des protocoles proactifs (table-driven routing protocols) est qu'ils disposent des routes à tout moment vers les destinations joignables du réseau lorsqu'ils sont sollicités. Dans un environnement mobile, ceci nécessite un maintien continu d'informations de topologie. Cette tâche est accomplie par des échanges de messages de contrôle qui permettent de repérer tous les nœuds du réseau afin de calculer les chemins selon des critères prédéfinis. Parmi ces critères on peut citer le nombre de sauts séparant les nœuds, le délai ou encore la bande passante disponible sur le chemin calculé [17]. La collecte des informations de topologie permet de construire une carte de réseau. Sur la base de cette carte, les nœuds disposent de plusieurs routes vers la même destination, ceci permet de diversifier le routage et accélère un re-routage éventuel [16]. L'inconvénient de ce type de protocole est le coût du maintien des informations de topologie et de routage même lorsqu'il n'y a pas besoin et en absence de trafic de données. Le coût de maintien des informations de routage génère une consommation continue de bande passante [18]. Des exemples de protocoles de routage réactifs sont DSDV et OLSR.

1.7.2 Les protocoles de routage réactifs

Les protocoles réactifs compte à eux, ne gardent que les routes en cours d'utilisation pour le routage [17]. Ils sont caractérisés par une recherche de route lorsqu'une source veut communiquer avec une destination et qu'elle ne connaît pas comment l'atteindre. La découverte de route se fait généralement à travers des messages d'inondation : le nœud source, qui est à la recherche d'un chemin vers la destination, diffuse par inondation une requête dans le réseau. Lors de la réception de la requête, les nœud intermédiaires (ou de transit) essayent de faire apprendre le chemin au nœud source, et sauvegarder la route dans la table envoyée. Une fois la destination atteinte, elle peut envoyer une réponse en utilisant le chemin tracé par la requête. Si encore un nœud de transit possède déjà un chemin vers la destination, il répond à la source. La recherche des chemins dans le routage à la demande entraîne une lenteur qui peut dégrader les performances du réseau. Des exemples de protocoles de routage réactifs sont AODV, TORA et DSR.

1.7.3 Les protocoles de routage hybrides

En plus des protocoles de routage réactifs et proactifs, il existe une famille de protocoles de routage qui combine à la fois les deux types précédents de protocoles en essayant d'apporter les avantages de chacun. Les protocoles hybrides utilisent par exemple un protocole proactif, pour apprendre le proche voisinage (le voisinage à deux ou trois sauts). Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel aux techniques des protocoles réactifs pour la recherche de routes. Avec ce découpage, le protocole est partagé en plusieurs zones. A la réception d'une requête de recherche réactive, un nœud peut indiquer immédiatement si la destination est dans le voisinage ou non. Ce type de protocole s'adapte bien aux grands réseaux, cependant, il cumule aussi les inconvénients des protocoles réactifs et proactifs : message de contrôle périodique, plus le coût d'ouverture d'une nouvelle route [17][21]. Un exemple de protocole de routage hybride est ZRP.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux mobiles ad hoc qui sont un type particulier de réseaux sans fil, qui ne nécessitent aucune infrastructure centralisée. Nous avons cité ses différentes caractéristiques ainsi que les différents domaines d'application. Nous avons également abordé la notion du routage dans les réseaux ad hoc. En effet, pour pouvoir acheminer des données, il est nécessaire d'avoir recours à un protocole de routage. Actuellement plusieurs protocoles de routage ont été conçus pour les réseaux ad hoc.

2

Etat de l'art sur les protocoles de routage réactifs dans les réseaux mobiles ad hoc

2.1 Introduction

Le but du routage est l'établissement de chemins entre chaque paire de nœuds, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue. A cause des limitations des réseaux mobiles ad hoc, et du fait que le rayon de propagation des transmissions des nœuds est limité, la construction des routes doit être faite avec un minimum de contrôle et de consommation de la bande passante. Pour ce faire, plusieurs protocoles de routage ont été proposés pour les réseaux mobiles ad hoc. Dans ce chapitre nous

allons présenter un état de l'art des principales solutions proposées dans le cadre du routage réactif dans les réseaux mobiles ad hoc.

2.2 Les protocoles de routage réactifs

2.2.1 Dynamic Source Routing (DSR)

Le protocole DSR (*Dynamic Source Routing*) est un protocole de cheminement simple et robuste, conçu pour l'usage dans les réseaux ad hoc sans fil multi-saut [24][23] (standardisé en 2007 [12]). Le protocole DSR utilise une technique appelé « Source Routing » dans laquelle l'émetteur (la source) indique la route complète par laquelle un paquet doit passer pour atteindre sa destination, cette route est insérée dans l'entête du paquet. Les nœuds intermédiaires entre le nœud source et le nœud destination n'ont pas besoins de maintenir à jour les informations sur la route traversée puisque la route complète est insérée dans l'entête du paquet [32].

DSR se compose de deux mécanismes, le premier est utilisé pour rechercher les routes à la demande et le second s'occupe de la maintenance des routes de communication en cours. Un nœud qui veut transmettre des données vers une destination, alors qu'il ne maintient aucun chemin vers cette dernière dans son cache, initie une découverte de route en diffusant un paquet *RREQ* vers tous ses voisins (cf. figure 2.1 [19]). Un nœud intermédiaire qui reçoit ce paquet vérifie son cache s'il possède un chemin vers la destination sinon il inclut son adresse dans le paquet et le rebroadcast.

Un nœud qui répond au paquet *RREQ*, s'il est la destination, génère un paquet *RREP* et inclut dans ce dernier la séquence des nœuds enregistrées dans le *RREQ* sinon il effectue, une concaténation de la séquence des nœuds incluse dans le *RREQ* avec le chemin enregistré dans son cache, si le nœud générant le *RREP* maintient un chemin vers la source, il envoi le *RREP* si les liens sont bidirectionnels sinon une nouvelle découverte de chemin est initiée en incluant la réponse dans un paquet *RREQ*.

Un nœud qui transmet un paquet en utilisant un chemin source est responsable de confirmer la bonne réception de ce dernier, le paquet est retransmis jusqu'à la réception d'une confirmation ou jusqu'à ce que le nombre maximal de retransmission soit atteint, si les tentatives de retransmission échouent ou le nombre de retransmission est atteint, un paquet *RERR* sera transmis vers le nœud source identifiant le nœud brisée. En recevant ce paquet, le nœud source retire dans son cache les entrées qui contiennent ce lien, si aucun chemin alternatif n'est disponible il ré-initie une nouvelle découverte de chemin.

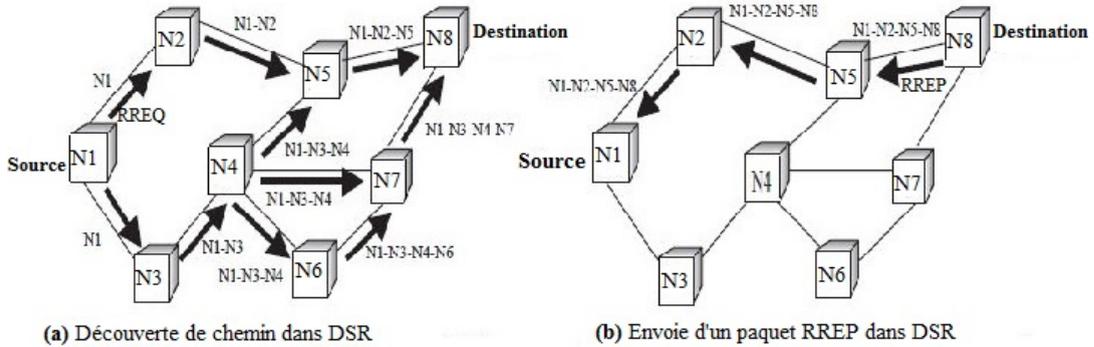


FIGURE 2.1 – Phase de découverte de chemins dans DSR

2.2.2 Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)

Le protocole AODV [27] représente essentiellement une amélioration de l'algorithme DSR [3]. Il réduit le nombre de diffusions de messages et cela en créant les routes lors du besoin, contrairement à DSR qui maintient la totalité des routes. Le protocole AODV tout comme DSR repose sur deux mécanismes la découverte de route et la maintenance de route, mais il n'utilise pas le routage source. Chaque nœud dans AODV maintient une table de routage qui contient essentiellement : l'adresse de la destination, l'adresse du nœud suivant, la distance en nombre de sauts (le nombre de nœuds nécessaires pour atteindre la destination), le numéro de séquence destination (pour avoir des tables à jour) et le temps d'expiration de chaque entrée dans la table.

A la réception d'un paquet *RREQ*, le nœud destination répond en envoyant un paquet *RREP* vers le nœud source (cf. figure 2.2). Un nœud intermédiaire peut répondre au paquet *RREQ* s'il possède un chemin valide vers la destination. Sinon il incrémente le compteur de sauts du paquet *RREQ* et garde trace de ce dernier et il le rebroadcast ensuite à ses voisins. Chaque nœud maintient aussi l'adresse du voisin qui lui a transmis le paquet *RREQ*, pour pouvoir acheminer ultérieurement le paquet *RREP*. En recevant un paquet *RREP*, chaque nœud enregistre l'adresse du nœud qui lui a envoyé le paquet *RREP* pour qu'il puisse acheminer les paquets de données, et il les retransmet [9].

La maintenance des chemins dans AODV est basée sur l'échange périodique des messages *Hello*. Un nœud qui ne reçoit pas de messages *Hello* d'un voisin après une certaine période donnée, considère que la liaison avec ce voisin est rompue. Dans ce cas, il envoie un paquet *RERR* à tous ses voisins actifs pour invalider tous les chemins qui utilisent le lien brisé. Ces nœuds à leurs tours renvoient le même paquet à leurs voisins jusqu'à ce que tous les nœuds actifs soient prévenus de la rupture. Dès la réception de ce paquet, le nœud source ré-initie une nouvelle découverte de chemins.

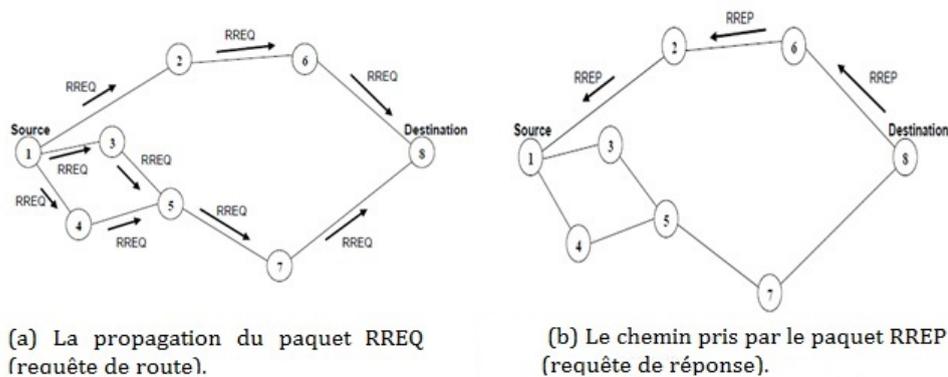


FIGURE 2.2 – Les requêtes RREQ et RREP utilisées dans le protocole AODV

2.2.3 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)

Le protocole TORA [4] est un algorithme de cheminement scalable basé sur le concept d'inversion de lien. Ce protocole est conçu pour découvrir les routes à la demande, fournir plusieurs routes pour une même destination et minimiser l'effet des changements de la topologie.

Dans ce protocole, la sauvegarde des chemins entre une paire de nœuds sont créés et stockés lors du besoin. Ce protocole a été conçu pour minimiser l'effet des changements de la topologie dans les réseaux ad hoc. Il est basé sur l'utilisation d'une propriété appelée Orientation destination des graphes acycliques orientés. Un graphe est dit graphe acyclique orienté (*DAG*) s'il a toujours un chemin possible vers une destination.

Le processus de découverte de routes pour une destination donnée, commence quand un nœud source diffuse un paquet QRY (*query*) spécifiant l'identificateur de la destination, qui identifie le nœud pour lequel l'algorithme est exécuté. Un nœud qui n'a pas de lien sortant (*downstream link*) et qui reçoit le paquet QRY, rediffuse le paquet à ses voisins. Un nœud qui a un lien sortant, met à jour sa taille et répond par l'envoi d'un paquet UPD (*update*) qui contient sa nouvelle taille. Lors de la réception du paquet UPD, le nœud récepteur affecte la valeur de taille contenue dans le paquet reçu plus un, à sa propre taille, à condition que cette valeur soit la plus petite par rapport à celles des autres voisins. De cette façon, un DAG est créé du nœud source vers le nœud destination. Ce processus est illustré sur la figure 2.3(3) [27].

Le graphe devient non orienté destination, si un lien (ou plus) devient défaillant. Dans ce cas, les algorithmes utilisent le concept d'inversement de liens. Ce concept assure la transformation du graphe précédent, en un graphe orienté destination (cf. figure 2.3(1)). Quand un nœud i détecte une défaillance (c'est-à-dire l'invalidité d'un lien), il lance un nouveau niveau de référence, dans l'objectif est d'indiquer à la source l'invalidité des chemins rompus. TORA suppose que tous les nœuds ont des horloges synchronisées par une source de temps externe appelée GPS (*Global*

Positioning System), ce qui limite son application. Si la source de temps externe tombe en panne cet algorithme cesse de fonctionner.

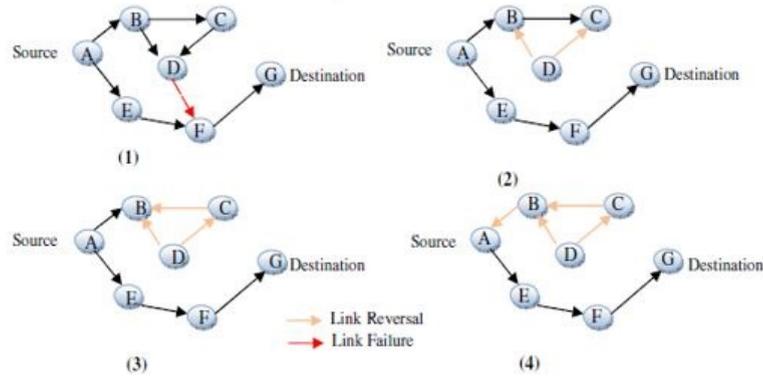


FIGURE 2.3 – La maintenance de route dans TORA

2.2.4 Associativity-Based Routing (ABR)

Le protocole ABR [4][6] introduit la notion de stabilité de route, connue sous le nom de degré de stabilité d'association. Dans ABR, le choix des routes est basé sur les états d'associativité des nœuds. Chaque nœud produit des *Beacons* (message de contrôle) périodiques pour signaler son existence. Quand un nœud voisin reçoit un beacon, il met à jour sa table d'associativité. Pour chaque beacon reçu, le nœud incrémente sa valeur d'associativité qui correspond au nœud émetteur. La stabilité d'association signifie la stabilité de la connexion d'un nœud avec un autre. ABR consiste en trois fonctions : découverte de routes, reconstruction de routes et suppression de routes.

La phase de découverte de route est un cycle composé d'émission d'une requête (*BQ*) Et d'attente de réponse (*BQ-reply*). Quand un nœud veut trouver un chemin vers une destination, il diffuse un message BQ afin de trouver les nœuds qui mènent vers cette destination. Les nœuds intermédiaires ajoutent leurs adresses et leurs valeurs d'associativité au paquet de la requête et transfèrent le paquet BQ reçu. Ces nœuds de transit ne maintiennent que l'associativité qui leurs est associées et

celle des nœuds qui les précèdent dans le chemin, de cette manière chaque paquet qui arrive à la destination va contenir les valeurs d'associativité de tous les nœuds qui appartiennent au chemin reliant la source à la destination. Le nœud destination peut donc choisir le meilleur chemin en comparant les valeurs des différents paquets reçus, si plusieurs routes ont le même degré de stabilité d'association, la route ayant le nombre minimum de saut est choisie, une fois le choix est effectué, la destination envoie un paquet (*BQ-reply*) au nœud source en utilisant le chemin choisi.

Les nœuds qui appartiennent au chemin suivi par le paquet (*BQ-reply*) indiquent que leurs routes sont valides, les autres routes restent inactives. La reconstruction des routes consiste en plusieurs phases : découverte partielle de routes, suppression de routes invalides, mise à jour des routes valides et redécouverte des routes. Quand un chemin cesse d'être utilisé par une source, une diffusion de suppression de route *RD* (*Route Delete*) est lancée. Tous les nœuds appartenant à ce chemin suppriment les entrées correspondantes de leurs tables de routage.

2.2.5 Location-Aided Routing (LAR)

Le protocole LAR est similaire au DSR à la différence qu'il utilise les informations de localisation, fournies par le système de positionnement global appelé GPS (*Global Positioning System*), dans le but de limiter l'inondation des paquets de requêtes de route. LAR définit deux approches pour déterminer si un nœud se trouve dans la zone de requête (cf. figure 2.4). Il propose deux schémas pour réduire les informations de contrôle. Pour cela, chaque schéma va réduire l'espace de recherche en fonction de la connaissance de la position de la destination ainsi que d'autres paramètres comme sa vitesse et le temps de rafraîchissement de l'information. Par réduction de l'espace de recherche, le nombre de nœuds dans cet espace susceptible de transmettre un paquet de contrôle s'avère bien moins important que dans la totalité du réseau ad hoc. Par conséquent, les deux schémas du protocole LAR réduisent l'espace de recherche, et seuls les nœuds faisant partie de cet espace peuvent transmettre les

informations de contrôle.

- **Schéma 1** : le nœud source comprend une zone rectangulaire contenant la paire de nœud (cf. figure 2.4(a)), de plus le nœud source définit une région circulaire dans laquelle la destination peut être localisée, avec un rayon dépendant de sa vitesse de déplacement. L'estimation de position et la taille de la région se fait en se basant sur la position de la destination et sa vitesse, et l'instant qui correspond à la zone où elle se situe. Une fois la zone rectangulaire calculée par la source, elle ajoute dans sa requête de création de route, les coins du rectangle. Lorsqu'un nœud reçoit la requête, il peut déterminer à partir de sa position s'il se trouve ou non dans cette zone. S'il s'y trouve, il traite la requête et la diffuse à ses voisins. Sinon la requête est supprimée réduisant ainsi le nombre d'informations de contrôle échangées.
- **Schéma 2** : dans la deuxième approche (cf. figure 2.4(b)), le nœud source calcule la distance qui le sépare de la destination sur la base du GPS, et l'inclut dans le paquet de requête de route. Quand un nœud reçoit le paquet de requête, il calcule la distance qui le sépare de la destination. Si elle est supérieure à celle de la source, il abandonne le paquet sinon si elle est inférieure ou égale à la distance reçue, le nœud envoie le paquet reçu à tous ces voisins. Lors de l'envoi, le nœud met à jour le champ de distance avec sa propre distance qui le sépare du nœud destination.

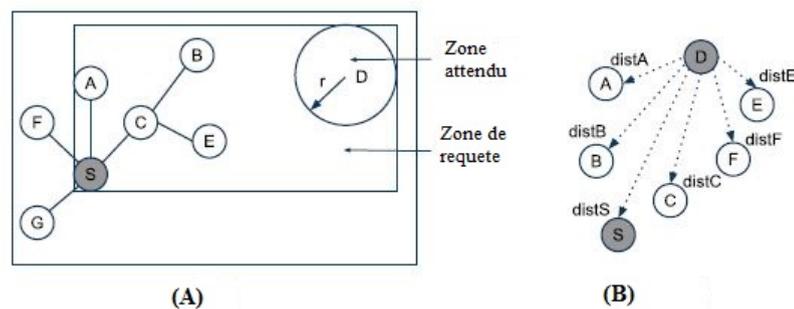


FIGURE 2.4 – Le protocole LAR

Dans les deux approches, après une certaine période (*timeout*) si aucune réponse de route n'est reçue, le nœud source rediffuse une nouvelle requête de route sans limitation.

2.2.6 Relative Distance Micro-discovery Ad hoc Routing (RDMAR)

Le protocole RDMAR [4] a été conçu principalement pour minimiser la charge induite par les changements topologiques du réseau. Il comprend deux algorithmes principaux : l'algorithme de découverte des routes qui est responsable de trouver les chemins, et l'algorithme de maintenance des routes dont le rôle est de détecter les changements de la topologie du réseau et de vérifier la validité des chemins utilisés. RDMAR utilise le mécanisme de découverte de routes appelé RDM (*Relative Distance Micro-discovery*). Toutefois, les messages de diffusion de découverte des routes sont limités par un nombre maximal de sauts calculés à l'aide de la distance relative (*RD*) entre la source et la destination.

Chaque nœud maintient une table de routage contenant le saut suivant des voisins de chaque destination connue, une distance relative estimée entre toutes les sources connues et nœuds de destination, un horodatage au cours duquel l'entrée actuelle a été faite, un champ de temporisation indiquant l'heure à laquelle un itinéraire particulier n'est plus active et un drapeau indiquant si une route existe encore ou non.

Un algorithme itératif est utilisé pour estimer la RD qui sépare les deux nœuds, et cela en utilisant les informations concernant la mobilité des nœuds, le temps écoulé depuis la dernière communication et l'ancienne valeur de la distance RD. Sur la base de la nouvelle distance calculée, la diffusion de requête est limitée à une certaine région du réseau dans laquelle la destination peut être trouvée. Cette limitation de diffusion, peut minimiser énormément le contrôle du routage, ce qui améliore les performances de la communication. La décision du choix de chemin

est prise au niveau du nœud destination. Seulement le meilleur chemin choisi sera valide, les autres chemins restent passifs. Un nœud qui détecte un problème de lien le signale en diffusant un avertissement. La figure 2.5 illustre le mécanisme des distances relatives utilisé par le RDMAR [8].

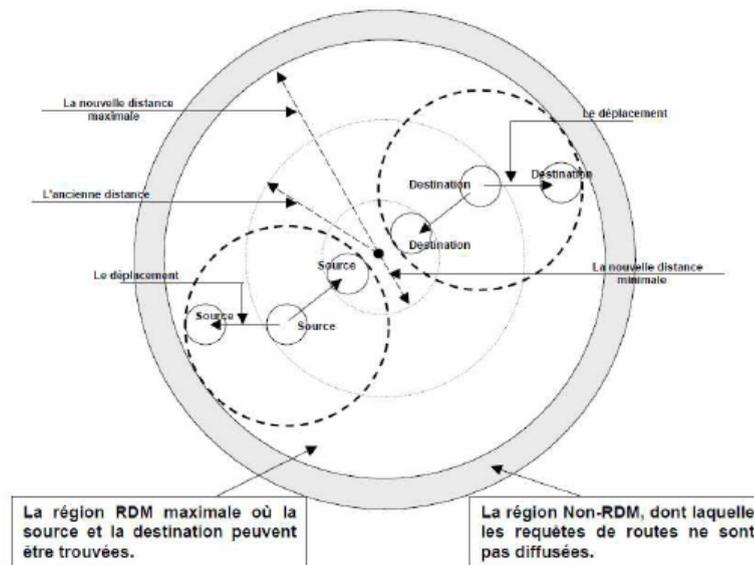


FIGURE 2.5 – Le mécanisme des distances relatives du protocole RDMAR

2.2.7 Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing (CEDAR)

Le protocole CEDAR [4] permet la prise en compte des exigences de qualité de service (QoS) dans les réseaux ad hoc, et basés sur une élection dynamique d'un cœur de réseau stable. Le rôle des nœuds du cœur est de propager efficacement des informations sur la bande passante disponible dans les liens, d'assurer le routage dans le réseau en impliquant un minimum de nœuds dans ce processus et de limiter autant que possible les diffusions.

Des informations d'état sur la topologie du réseau sont propagées seulement quand des seuils sont atteints. Quand la bande passante croît, l'information traverse lentement le réseau. Par contre, lorsque la bande passante d'un lien décroît, l'information traverse rapidement le réseau évitant ainsi à des nœuds de choisir un tel lien

alors que la bande passante n'est plus disponible. Le routage dans l'architecture de CEDAR se passe comme suit [28] :

- Extraction d'un cœur du réseau : le protocole sélectionne un sous-ensemble de nœuds appelé le noyau du réseau (cf. Fig. 2.6). qui se charge du calcul des routes et du maintien de l'état des liens du réseau. Les messages de contrôle seront uniquement diffusés entre les nœuds du noyau, de ce fait les échanges d'informations d'états et de routes seront minimisés. En outre, lors d'un changement de route, seuls les nœuds du cœur serviront au calcul.
- Propagation d'état de liens : le routage avec QoS est réalisé grâce à la propagation d'informations sur les liens stables avec une grande bande passante.
- Calcul de routes : celui-ci est basé sur la découverte et l'établissement d'un plus court chemin vers la destination satisfaisant la bande passante demandée. Des routes de "secours" sont utilisées lors de la reconstruction de la route principale, quand cette dernière est perdue. La reconstruction peut-être locale (à l'endroit de la cassure), ou à l'initiative de la source.

Nous illustrons sur la figure 2.6 un exemple d'une diffusion de base.

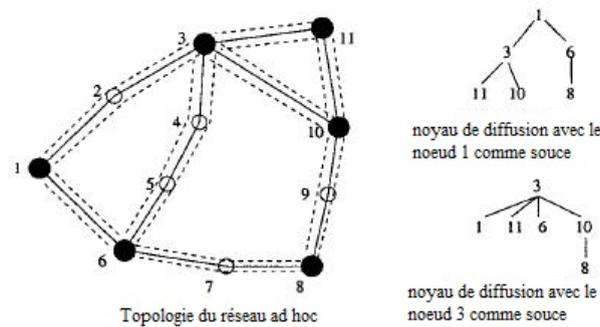


FIGURE 2.6 – Les nœuds en couleur noirs sont des nœuds de base. Les lignes pleines indiquent les liens dans le réseau ad hoc. Les tubes en pointillés symbolisent les liens virtuels dans le graphique de base

2.2.8 Ad hoc QoS on-demand Routing (AQOR)

Le protocole AQOR [12] propose une méthode pour déterminer la bande passante disponible et le délai de bout en bout de QoS du support. A partir de ces informations, le protocole détermine les routes respectant les contraintes de bande passante et de délai imposé par le flux. Pour assurer la qualité de service, AQOR intègre les fonctions suivantes : la découverte des routes à la demande entre la source et la destination, les fonctions de signalisation pour la réservation de ressources et de maintenance, routage saut par saut.

Quand une découverte de route est nécessaire, les hôtes sources initient une requête de route avec une bande passante et les exigences de délai. Les nœuds intermédiaires vérifient leurs bandes passantes disponibles et effectuent une admission de bande passante saut par saut. Si la bande passante à l'hôte intermédiaire est suffisante pour soutenir la demande, une entrée est créée dans la table de routage avec une date d'expiration. Lorsque le flux de données traverse les nœuds le long de la route, une réservation de bande passante est faite. Les décisions de conception sont faites pour réduire la surcharge de maintien de la connexion qui sont les suivantes :

- AQOR facilite la détection de violation de QoS à la destination de la connexion qui permet de détecter le flux réel de la qualité de service, sans la nécessité de signalisation additionnels.
- L'ajustement de l'entête de routage en raison de violations de QoS, est réduite en utilisant la récupération au niveau de la destination.
- Les exigences de la connexion du processus de démontage, le long de l'ancien chemin avant l'ajustement de routes, est éliminé par le mécanisme de réservation temporaire.

2.2.9 Ad hoc on-demand QoS routing based on Bandwidth Prediction (AQBP)

Le protocole AQBP [1] prend en considération la future bande passante des nœuds lors de la sélection de route. Les auteurs ont utilisé une méthode probabiliste pour prédire la future consommation de bande passante des nœuds le long de route. L'hôte source est conçu pour choisir la route qui peut non seulement répondre à la bande passante, aux exigences de délai, mais aussi à la possibilité d'être moins saturée durant la transmission. Les principales parties du protocole AQBP sont décrites ci-dessus :

- L'estimation de la bande passante de bout en bout : la largeur de la bande passante du chemin de bout en bout est la largeur de la bande minimale de toutes les liaisons le long du chemin. Un nœud saturé est un nœud qui atteint sa bande passante maximale. Un chemin saturé est un chemin dans lequel au moins un nœud est saturé. AQBP utilise les messages "Hello" pour obtenir des informations à partir des voisins.
- None-QoS Bandwidth Prediction : les auteurs séparent les flux en deux types différents ; flux QoS et flux none-QoS. Les flux QoS sont les flux produits par les applications qui possèdent une bande passante et des exigences de délai QoS, d'autres appartiennent au flux none-QoS.
- La découverte de routes : le processus de découverte de route est effectué par inondation limitée de la source à la destination. Lors de la première étape de l'établissement de routes, la source diffuse un paquet de demande de routes QoS (*QREQ*) avec la demande de bande passante minimale de bout en bout B_{req} et le délai maximal T_{req} . Les nœuds intermédiaires acheminent le paquet *QREQ* jusqu'à la destination. cette dernière unicast un paquet de réponse de route QoS (*QREP*) à la source au travers du chemin inverse.
- Exigence du délai : afin d'atteindre l'exigence de temporisation, les différents paquets de *QREP* peuvent être reçus par le nœud source à moins de $2T_{req}$.

- Détection de QoS et la reconstruction de la route : si les exigences ne peuvent pas être atteintes en raison des changements topologiques, un paquet de mise à jour de route sera envoyé à la source à partir du nœud qui a détecté cette erreur. Ensuite, le nœud source diffusera un nouveau QREQ avec la même valeur d'ID de destination et un BroadcastSeq supérieur pour reconstruire la route. Le processus de reconstruction de route est identique au processus de découverte de route.

2.2.10 Multi Route AODV-Ant routing Algorithm (MRAA)

Dans [7], l'algorithme proposé (MRAA) est basé à la fois sur le protocole de base de AODV et le protocole *Ant Colony based Optimization*. Le protocole se base sur cinq procédures différentes utilisées pour gérer les différents événements du protocole. Les événements à gérer sont la connectivité des voisins, l'établissement de la demande de route, l'établissement de la réponse de route, l'expiration de route, la perte de connexion et la réparation locale.

- Connectivité des voisins : quand un paquet d'un nouveau voisin vient d'arriver teste si le paquet provient d'un nouveau voisin, si oui il ajoute une route vers le nouveau voisin dans la table de routage avec la valeur de phéromone initiale de 0.0, met à jour le tableau de phéromone et augmente le nombre de voisins actifs disponibles pour ce nœuds de 1. Sinon, si le voisin existe déjà il met à jour l'heure d'expiration de la connexion pour ce voisin.
- Demande d'établissement de la route : si aucune route n'existe, envoi de fourmis agents pour trouver une route vers la destination demandée. Si le nœud est le nœud source, alors initialiser la mémoire de la fourmi en avant, ou si c'est un nœud intermédiaire alors mettre à jour la mémoire de la fourmi en avant, et si la route vers la destination n'existe pas et il n'existe plus de phéromone voisin alors diffusion de la fourmi en avant à tous les voisins actifs disponibles, de plus si la route vers la destination n'existe pas, mais il existe un voisin actif

avec plus de phéromones alors envoyer la fourmi en avant à ce voisin. Sinon, si c'est le nœud de destination envoyer une fourmi en arrière à la source pour lui donner la rétroaction de la route.

- Demande d'établissement de réponse : l'envoi d'une fourmi agent vers l'arrière pour informer la source d'une route vers la destination et d'appliquer des phéromones en retournant. Si ce nœud est le nœud source, alors calculer la valeur des phéromones des fourmis arrivant en retard, Mettre à jour la table des phéromones des voisins ayant le prochain nœud comme destination, trouver la valeur la plus élevée et mettre à jour l'entrée de la route pour cette valeur. Sinon, si c'est un nœud intermédiaire alors mettre à jour la mémoire de la fourmi en arrière. Et si la route vers la destination n'existe pas, alors créer une nouvelle entrée de table de routage pour ce nœud de destination dans la table de routage, mettre à jour l'entrée du phéromone dans le tableau, trouver la valeur la plus élevée du phéromone voisin et mettre à jour l'entrée de la route pour cette destination et augmenter le nombre de destinations actives de un. Sinon, si la route vers la destination existe alors augmenter la valeur de phéromone de ce voisin à cette destination. Sinon, si c'est le nœud de destination alors initialiser la mémoire inverse de la fourmi en arrière, copie de la mémoire de la fourmi en avant à la fourmi en arrière et la fourmi en arrière suit le même chemin qui est stocké dans sa mémoire à la source en laissant une valeur de phéromone en conséquence sur chaque bond dans le trajet de retour vers le nœud source.
- Expiration de la route : après un certain temps d'expiration du délai d'attente. la route doit être retirée de la table de routage et de réseau de phéromone, et le nombre de destinations actives sera diminué.
- Perte de connexion : après un certain temps si aucun paquet n'arrive à savoir les données, les fourmis ou un hello d'un voisin, réinitialiser la valeur du phéromone de ce voisin à 0.0, supprimer les entrées dans la table de routage,

diminuer le nombre des voisins actifs.

- Réparation locale : si certains paquets de requête arrivent et aucune entrée de routage n'existe pour cela, alors l'algorithme essaie de faire une réparation locale.

Dans le protocole AODV classique, un nœud source effectue une procédure de découverte de route à chaque fois une route existante est déconnectée. cependant, dans le protocole MRAA, le nœud source peut envoyer des paquets de données correspondant à sa destination à travers l'une des routes de secours préétabli.

2.2.11 Cluster Based Routing Protocole (CBRP)

Dans le protocole CBRP (*Cluster Based Routing Protocol*) [29], les nœuds du réseau sont décomposés en groupes. Le principe de formation de groupes est le suivant : Un nœud i qui n'a pas de statut c'est à dire qui n'est ni membre ni représentant de groupe, active un *timer* et diffuse un message "Hello". Lorsqu'un représentant de groupe reçoit ce message, il envoie immédiatement une réponse à l'émetteur. Lors de la réception de réponse, le nœud i change son état "indécidé" à l'état "membre". Si i dépasse un certain timeout en attendant la réponse et dans le cas où il possède un lien bidirectionnel vers au moins un nœud voisin, il se considère lui-même comme un représentant de groupe. Dans le cas contraire, i reste dans l'état indécié et il répète la même procédure.

Pour sauvegarder la répartition des nœuds dans les groupes, chaque nœud maintient une table des voisins, elle indique l'état du lien (uni ou bidirectionnel) et le statut du voisin (membre ou représentant de groupe). Un représentant de groupe maintient les informations des membres qui appartiennent à son groupe. Il possède aussi une table des groupes adjacents, qui contient l'identificateur du groupe et l'identificateur du nœud de liaison à travers lequel le groupe peut être atteint.

Le routage dans le protocole CBRP se fait de la manière suivante : quand un nœud source veut envoyer des données à un nœud destination, il diffuse par inonda-

tion une requête de demande de chemin, et cela uniquement aux représentants des groupes voisins. Un représentant de groupe qui reçoit la requête de demande vérifie, en utilisant sa table de membres de groupes, l'existence du nœud destination dans son groupe. Si la destination existe, le représentant envoie directement la requête, sinon la requête est diffusée aux représentants des groupes voisins.

L'adresse des représentants des groupes est incluse dans la requête de demande de chemin, un représentant de groupe ignore toute requête déjà traitée. Quand la destination reçoit le paquet contenant la requête, elle répond par l'envoi du chemin qui a été sauvegardé dans le paquet de la requête. Dans le cas où le nœud source ne reçoit pas de réponse après une certaine période, il envoie à nouveau une requête de demande de chemin. Lors de l'acheminement des données, si un nœud détecte qu'un lien est défaillant, il retourne un message d'erreur.

2.2.12 Signal Stability-based Routing (SSR)

Le protocole SSR [31], est un protocole dont le choix des routes est basé sur la puissance du signal entre les nœuds. Il inclut deux protocoles : le Protocole de Routage Dynamique appelé DRP (*Dynamic Routing Protocol*), et le Protocole de Routage Statique appelé SRP (*Static Routing Protocol*). Le protocole DRP, utilise deux tables : une table de stabilité du signal SST (*Signal Stability Table*), et une table de routage RT. La table SST sauvegarde les puissances des signaux des nœuds voisins. La puissance d'un signal est sauvegardée sous l'une de ces deux formes : "canal de forte puissance" ou "canal de faible puissance".

Toutes les transmissions sont reçues et traitées par le DRP. Après la mise à jour de la table, le protocole DRP fait passer le paquet traité au protocole SSR. Le SSR consulte sa table de routage RT pour la destination spécifiée, et envoie le paquet reçu au voisin suivant. Si aucune entrée (dans la RT) associée au nœud destination n'est disponible, le SSR initie un processus de recherche de routes en diffusant un paquet requête de route, ce paquet est envoyé une seule fois, et uniquement aux voisins vers

lesquels il existe un lien de forte puissance. Le DRP du nœud destination inverse le chemin choisi, et envoie un message de réponse de route au nœud source. Lors de la réception de cette réponse, le DRP d'un nœud intermédiaire met à jour la table de routage locale suivant le chemin inclus dans le paquet reçu. Les paquets de recherche de routes qui arrivent à la destination prennent le chemin de forte stabilité de signal. Si le timeout de la source est expiré sans la réception de réponse, elle relance de nouveau un processus de recherche de routes en indiquant cette fois-ci que les canaux de faibles puissances peuvent être utilisés. Quand une défaillance de liens est détectée sur le réseau, le nœud détectant la défaillance envoie un message d'erreur au nœud source, en spécifiant le lien défaillant. Lors de la réception de ce message, la source envoie un message de suppression pour avertir tous les nœuds de la défaillance du lien en question. La source initie par la suite un nouveau processus de recherche de routes dans le but de trouver un nouveau chemin vers la destination.

2.3 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 avons décrit leurs principales caractéristiques et fonctionnalités. Les protocoles de routage étudiés offrent différents avantages qui sont en réalité complémentaires pour différents types d'applications. La conclusion qu'on peut tirer de l'étude des différentes stratégies est que la conception d'un protocole de routage pour les réseaux mobiles ad hoc doit tenir compte de tous les facteurs et limitations physiques imposées par l'environnement.

3

DS2R2P – On Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol

3.1 Introduction

Dans les réseaux mobiles ad hoc, le rayon de propagation des transmissions des nœuds est limité. Afin que le réseau reste toujours connecté, il se peut qu'un nœud mobile se trouve dans l'obligation de solliciter son voisin pour pouvoir transmettre ses informations vers son correspondant, ce qui nécessite l'emploi d'un protocole de routage par des nœuds intermédiaires afin d'acheminer les messages à la bonne destination. Dans la technique de routage par la source, comme DSR, l'émetteur

des paquets détermine une séquence complète des nœuds intermédiaires par lesquels doivent passer les paquets. Le chemin de routage est embarqué dans l'entête de chaque paquet de données. Cette technique de routage génère un overhead dans le processus de routage du fait qu'une charge supplémentaire de données de contrôle est maintenue. Dans ce chapitre, nous proposons *DS2R2P* (On Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol) qui est une amélioration du protocole *DSR* en termes de taille des paquets. *DS2R2P* réduit la taille du chemin en utilisant un mécanisme de hachage avant de transmettre le paquet de données, ce qui réduit la charge de transmission et réduit le temps de réponse.

3.2 Le protocole DS2R2P

Dans son fonctionnement de base, le protocole *DS2R2P* est similaire au protocole de routage *DSR*. Les nœuds mobiles échangent tout type de paquets de contrôles, à savoir le paquet de requête (*RREQ*), le paquet de réponse (*RREP*) et le paquet d'erreur (*RERR*). Le même format des paquets *RREQ*, *RREP* et *RERR* définis pour le protocole *DSR* est adopté dans *DS2R2P*, tandis que le format du paquet de données (dans la phase de routage) est restructuré en remplaçant les adresses du chemin du nœud source vers le nœud destination par une valeur de taille fixe et réduite, obtenue à travers un mécanisme de hachage. Chaque nœud dans le réseau maintient à son niveau une table de hachage afin de garder la trace des routes de ces nœuds vers les différentes destinations. Cette table est indexée par la valeur de hachage des routes. L'entrée de cette table est constituée de deux champs : (1) *l'index*, qui représente la valeur de hachage (résultat obtenu en hachant le chemin de routage) et (2) *Chemin dans son format original*.

Une fonction de hachage est une fonction qui, à partir d'une donnée fournie en entrée, calcule une empreinte servant à identifier la donnée initiale. Cette sortie a une taille fixe qui varie selon l'algorithme. Les fonctions de hachage peuvent produire

des collisions. Comme une empreinte à une taille fixe et que celle-ci est inférieure à la taille de la donnée que l'on peut mettre à l'entrée de la fonction, alors il existe nécessairement au moins deux messages qui génèrent la même empreinte.

Dans DSR, les adresses qui composent la route dans le paquet de données sont codées sur 32 bits [12]. Ainsi, afin de réduire la taille de l'entête, nous définissons la fonction de hachage : $H(a_1, a_2, \dots, a_\ell) = (a_1 + a_2 + \dots + a_\ell) \bmod \alpha$, tels que a_i est l'ensemble des identités des nœuds intermédiaires, ℓ est la longueur de la route et α représente le taux de réduction qui est un paramètre très important à fixer selon les besoins du domaine d'application. Comparant à DSR qui a une taille de l'entête du chemin de $32 \times \ell$ bits, DS2R2P réduit cette valeur à $\log_2(\alpha)$ bits comportant l'information complète pour atteindre la destination.

Le protocole DS2R2P s'exécute en trois phases : la découverte des routes, la maintenance et le routage des paquets de données. Nous décrivons chaque phase dans les sous-sections suivantes.

3.2.1 La découverte des routes

Le nœud source vérifie si une route est déjà stockée dans son cache. Dans le cas échéant, le nœud source diffuse un paquet *RREQ* à tous ses nœuds voisins. A la réception des paquets *RREQ*, le nœud destinataire applique une fonction de hachage sur sa propre adresse et la stocke dans sa table de hachage. Dans le champ « index » est affecté la valeur de hachage et dans le champ « chemin vers la destination » est affecté l'adresse du nœud destinataire. Ensuite, il répond avec un paquet *RREP* au nœud source en utilisant le chemin inverse. Chaque nœud intermédiaire recevant le *RREP* applique une fonction de hachage sur le chemin de ce nœud vers la destination et stocke la valeur dans sa propre table de hachage, jusqu'à ce que le paquet *RREP* atteigne le nœud source.

3.2.2 Maintenance des routes

Comme un lien dans un chemin peut être rompu à cause de la mobilité, des fluctuations du canal de communication ou à cause des pannes des nœuds, il est nécessaire de mettre à jour les routes. Dans DS2R2P, si un nœud intermédiaire détecte la rupture d'un lien, il envoie un paquet *RERR* au nœud source. Les nœuds recevant le paquet *RERR* retirent de leurs caches toutes les entrées qui utilisent ce lien. Si le nœud source ne possède aucun chemin valide dans son cache, il initie une nouvelle procédure de découverte de chemins.

3.2.3 Le processus de routage

Nous rappelons que dans le protocole DSR le nœud source embarque la route complète dans le paquet de données. Cependant dans DS2R2P, le nœud source utilise un mécanisme de hachage afin de réduire la taille du paquet de données. Alors au lieu d'embarquer la route complète dans le paquet de données, le nœud source retire sa propre adresse du chemin, hache le reste du chemin, embarque uniquement le haché dans le paquet de données et l'envoie au nœud suivant. Lors de la réception du paquet, le nœud récupère le haché, cherche dans la table de hachage le sous-chemin qui correspond au haché, retire son adresse du sous-chemin, calcule le haché du nouveau sous-chemin, remplace la valeur du haché avec la nouvelle dans le paquet de données et l'envoie au nœud suivant. Ce processus est exécuté de bout en bout par l'ensemble des nœuds intermédiaires jusqu'à ce que le paquet de données atteigne la destination.

3.3 Déroulement de DS2R2P à travers un exemple

La figure 3.1 illustre un exemple d'une topologie de réseau ad hoc. Nous supposons que le chemin choisi à la phase de découverte est $S - B - J - F - I - D$. Ci-après une trace d'exécution.

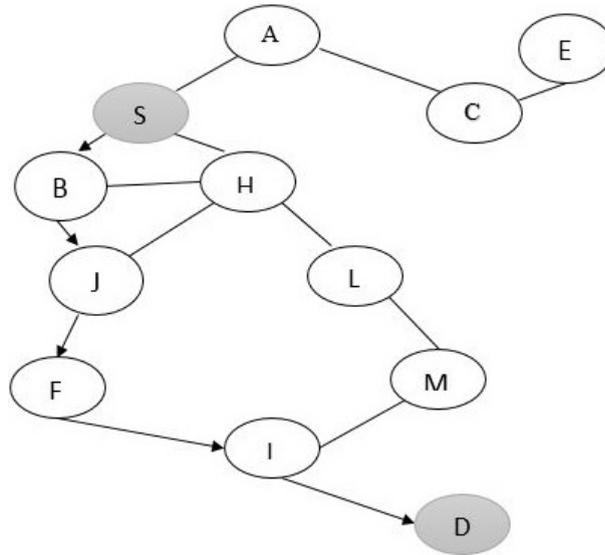


FIGURE 3.1 – Exemple d'un réseau ad hoc

1. A la réception du paquet *RREQ*, le nœud *D* répond avec un paquet *RREP* contenant le chemin $S - B - J - F - I - D$ vers le nœud *S*. Les traitements suivants sont effectués pendant la transmission du paquet *RREP* :
 - Le nœud *D* :
 - Calcule $H(D) = y_1$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow D$.
 - Envoie le paquet *RREP* vers le nœud *I*.
 - Le nœud *I* :
 - Calcule $H(I + D) = y_2$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow I - D$.
 - Envoie le paquet *RREP* vers le nœud *F*.
 - Le nœud *F* :
 - Calcule $H(F + I + D) = y_3$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow F - I - D$.
 - Envoie le paquet *RREP* vers le nœud *J*.

- Le nœud J :
 - Calcule $H(J + F + I + D) = y_4$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow J - F - I - D$.
 - Envoie le paquet *RREP* vers le nœud B .
 - Le nœud B :
 - Calcule $H(B + J + F + I + D) = y_5$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow B - J - F - I - D$.
 - Envoie le paquet *RREP* vers le nœud S .
 - Le nœud S :
 - Calcule $H(S + B + J + F + I + D) = y_6$ et la stocke dans le champ *index* dans la table de hachage.
 - Chemin vers la destination $\leftarrow S - B - J - F - I - D$.
2. Lors du routage d'un paquet de données du nœud S vers le nœud D , les traitements suivants sont effectués :
- Le nœud S calcule $H(B + J + F + I + D) = y_5$, embarque cette valeur dans le paquet de données et l'envoie vers le nœud B .
 - Lors de la réception de y_5 , le nœud B :
 - Cherche dans la table de hachage le chemin correspondant à *index*= y_5 (dans ce cas c'est $B - J - F - I - D$).
 - Calcule $H(J + F + I + D) = y_4$, remplace y_5 par y_4 dans le paquet de données et l'envoie au nœud J .
 - Lors de la réception de y_4 , le nœud J :
 - Cherche dans la table de hachage le chemin correspondant à *index*= y_4 (dans ce cas c'est $J - F - I - D$).
 - Calcule $H(F + I + D) = y_3$, remplace y_4 par y_3 dans le paquet de données et l'envoie au nœud F .

- Lors de la réception de y_3 , le nœud J :
 - Cherche dans la table de hachage le chemin correspondant à $index= y_3$ (dans ce cas c'est $F - I - D$).
 - Calcule $H(I + D) = y_2$, remplace y_3 par y_2 dans le paquet de données et l'envoi au nœud I .
- Lors de la réception de y_2 , le nœud I :
 - Cherche dans la table de hachage le chemin correspondant à $index= y_2$ (dans ce cas c'est $I - D$).
 - Calcule $H(D) = y_1$, remplace y_2 par y_1 dans le paquet de données et l'envoi au nœud D .

3.4 Conclusion

Dans DS2R2P, les données sont transmises en utilisant des valeurs de tailles fixes et réduites, ce qui augmente les performances de routage en termes consommation de bande passante et aussi en termes de temps de réponse. Ces métriques sont très importantes si nous considérons un réseau ad hoc de taille importante. Nous jugerons que le temps de calcul induit dans la fonction de hachage est négligeable par rapport au développement de la technologie actuelle. Malgré que les problèmes de collisions dans les fonctions de hachage puissent se produire générant des collisions dans la table de hachage (le même haché correspond à plusieurs chemins différents), ce problème est résolu par l'envoi du paquet de données aux différents nœuds qui satisfont l'index, et l'erreur sera détectée au prochain saut.

4

Modélisation analytique et évaluation de performances

4.1 Introduction

L'étude d'un système réel n'est que rarement réalisable dans un environnement opérationnel. La représentation du fonctionnement d'un système d'une manière plus ou moins précise est nécessaire pour nous permettre d'approcher son comportement. Actuellement, il existe beaucoup de formalismes de modélisation. Le choix de formalismes est déterminé d'une part par la nature du système à modéliser et d'autre part par les résultats attendus. Dans ce chapitre, nous présentons une modélisation analytique à base de réseau de files d'attente, à travers laquelle nous menons une étude comparative entre DSR et DS2R2P.

4.2 Modèle analytique

4.2.1 La file d'attente de type M/M/1

Nous modélisons chaque nœud dans le réseau par une file d'attente de type $M/M/1$. La file d'attente a la capacité d'acquiescer les données auprès du nœud voisin lors du routage. Le serveur de la file d'attente représente le service de retransmission des données vers le prochain saut suivant la route prédéfinie. L'interarrivé des données (en bits) suit une loi de Poisson de paramètre λ , et le processus de service suit une loi exponentielle de taux μ . En effet, ce dernier représente le nombre moyen de bits servis par une unité de temps. Dans le cadre de notre modélisation, il représente le débit de transmission des interfaces sans fil, noté Db .

4.2.2 Réseau de files d'attente de type M/M/1

Soit P une route choisie entre deux nœuds (une source S et une destination D) qui est composé de ℓ nœuds intermédiaires, tel que $P = S, n_1, n_2, \dots, n_\ell, D$, où n_i représente l'ensemble des nœuds qui composent le chemin de routage. Nous modélisons le chemin de routage par un réseau de files d'attente (cf. figure 4.1), qui est composé de ℓ files de type $M/M/1$. Les données sont générées par la source S (suivant un paramètre λ) et transmises à la première file d'attente. A la sortie de cette dernière, les données entrent dans la file suivante, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elles atteignent la destination D .

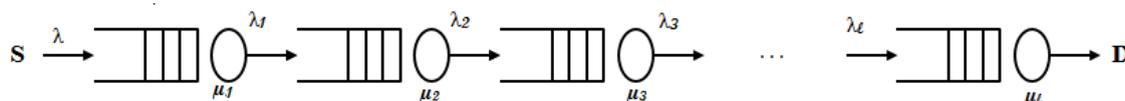


FIGURE 4.1 – Réseau de files d'attente

La théorie des systèmes de files d'attente a comme objectif d'étudier les structures et de calculer les valeurs caractéristiques permettant de décrire les performances du système à modéliser. Parmi les mesures les plus fréquemment utilisées sont : le taux

d'utilisation du serveur, le nombre moyen d'éléments dans le système, le nombre moyen d'éléments dans la file d'attente, le temps moyen d'attente d'un élément dans la file et le temps moyen de séjour d'un élément dans le système. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes focalisés sur la dernière métrique qui est interprétée par le temps moyen de délivrance de données (noté $TMDD$) à partir d'un nœud source vers un nœud destination. Le temps moyen de délivrance d'un paquet pour chaque file est calculé comme suit :

$$TMDD = \frac{|Packet|}{\mu - \lambda} \quad (4.1)$$

$|Packet|$ représente la taille du paquet de données en bits.

4.2.3 Cas du protocole de DSR

Le temps moyen de délivrance de données dans le système est la somme du temps de retransmission des données suivant chaque file d'attente i . Nous supposons que les machines ont les mêmes caractéristiques en termes de débit de transmission. Dans ce cas, nous avons $Db = \mu_i = \lambda_i$. La taille du paquet de données $|Packet|$ est composé de deux parties : la taille de la donnée $|Data|$ et la taille de l'entête $|\eta|$, tel que $|\eta| = \ell \times 32$ bits (la taille du chemin complet menant à la destination). Dans le protocole DSR, la taille de l'entête du paquet se réduit de 32 bits en transitant d'une file à une autre. Nous calculons le temps moyen de délivrance de données selon le protocole DSR comme suit :

$$TMDD = \frac{|Packet_1|}{\mu_1 - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Packet_i|}{\mu_i} \quad (4.2)$$

$$= \frac{|Data| + |\eta| - \frac{|\eta|}{\ell}}{\mu_1 - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Data| + |\eta| - i \times \frac{|\eta|}{\ell}}{\mu_i} \quad (4.3)$$

$$= \frac{|Data| + |\eta| - \frac{|\eta|}{\ell}}{Db - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Data| + |\eta| - i \times \frac{|\eta|}{\ell}}{Db} \quad (4.4)$$

$$= \frac{|Data| + |\eta| - \frac{|\eta|}{\ell}}{Db - \lambda} + \frac{1}{Db} \sum_{i=2}^{\ell} (|Data| + |\eta| - i \times \frac{|\eta|}{\ell}) \quad (4.5)$$

4.2.4 Cas du protocole DS2R2P

Dans DS2R2P, les paquets de données sont transmis en utilisant un entête de taille fixe et réduite, tel que $|\eta| = \log_2(\alpha)$. Le temps moyen de délivrance de données dans le système est la somme du temps de retransmission des données suivant chaque file d'attente i . Nous calculons le temps moyen de délivrance de données selon le protocole DS2R2P comme suit :

$$TMDD = \frac{|Packet_1|}{\mu_1 - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Packet_i|}{\mu_i} \quad (4.6)$$

$$= \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{\mu_1 - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{\mu_i} \quad (4.7)$$

$$= \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{Db - \lambda} + \sum_{i=2}^{\ell} \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{Db} \quad (4.8)$$

$$= \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{Db - \lambda} + (\ell - 1) \times \frac{|Data| + \log_2(\alpha)}{Db} \quad (4.9)$$

4.3 Comparaison

Dans cette section, nous évaluons le temps moyen de délivrance de données en fonction de trois paramètres, à savoir le débit de transmission (Db), la longueur du chemin de routage (ℓ) et l'interarrivé de données (λ). Les figures 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 et 4.7 illustrent la trace du temps moyen de délivrance de données, respectivement, en fonction du débit de transmission pour $\ell = 500$ et 1000 , la longueur du chemin de routage pour $Db = 54 \text{ Mbits/s}$ et 100 Mbits/s , et l'interarrivé des données pour $Db = 54 \text{ Mbits/s}$ et 100 Mbits/s . Les résultats obtenus synthétisent l'avantage de notre protocole en comparant avec DSR, où l'écart de performance en termes de temps de délivrance de données est largement grand. En effet, dans le protocole DS2R2P, la taille de l'entête du paquet de données est réduite à $\log_2(\alpha)$, ce qui a réduit le temps de retransmission de bout en bout des données. En plus, nous constatons d'après les résultats que le débit de transmission, la longueur de la route

et la charge du trafic de données ont un impact très faible sur les performances de notre protocole, où les résultats restent approximativement stables et très faibles en termes de temps d'exécution.

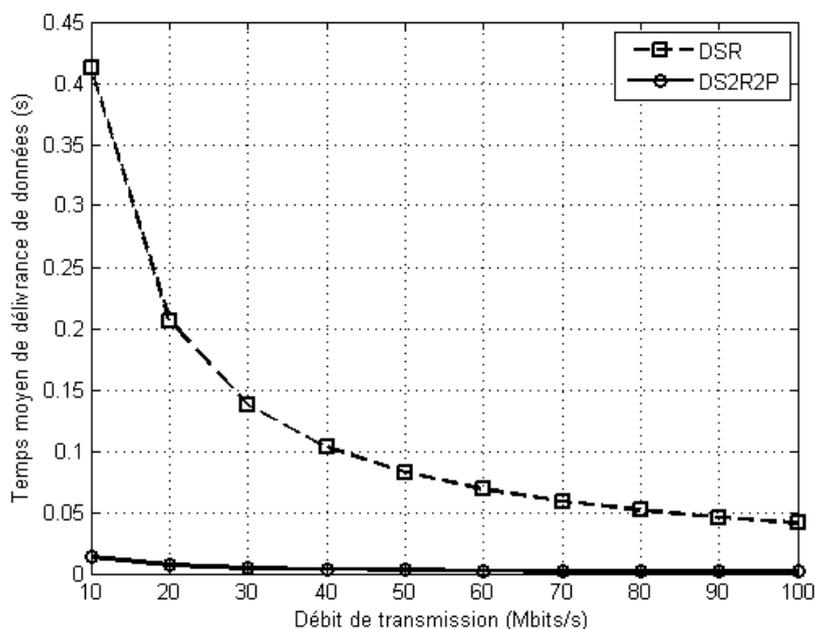


FIGURE 4.2 – Temps moyen de délivrance de données en fonction du débit de transmission ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $\ell = 500$)

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un modèle analytique à base de réseau de files d'attente. Nous avons ensuite évalué les performances de DSR et DS2R2P en termes de temps moyen de délivrance de données. Les résultats obtenus ont montré que notre protocole réduit la taille des paquets de données et par conséquent le temps de retransmission lors du routage.

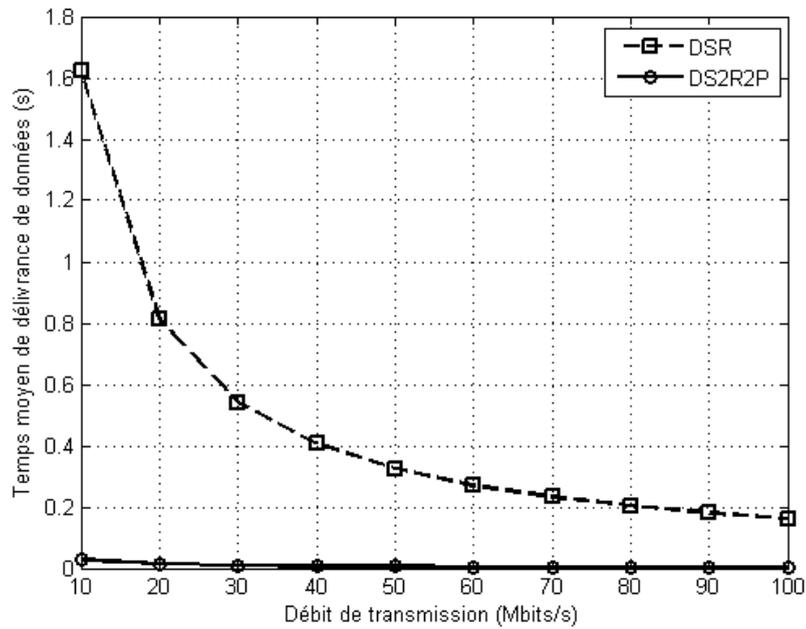


FIGURE 4.3 – Temps moyen de délivrance de données en fonction du débit de transmission ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $\ell = 1000$)

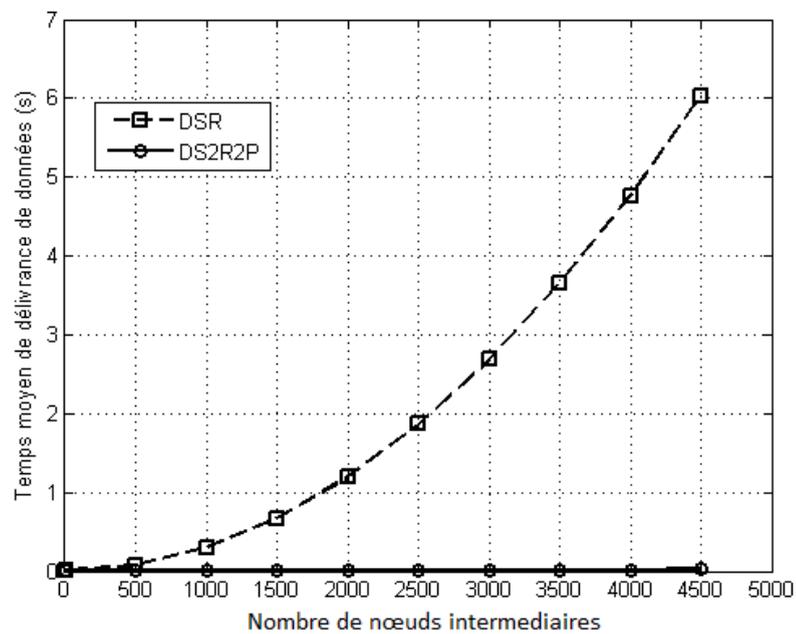


FIGURE 4.4 – Temps moyen de délivrance de données en fonction de ℓ ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $D_b = 54$ Mbits/s)

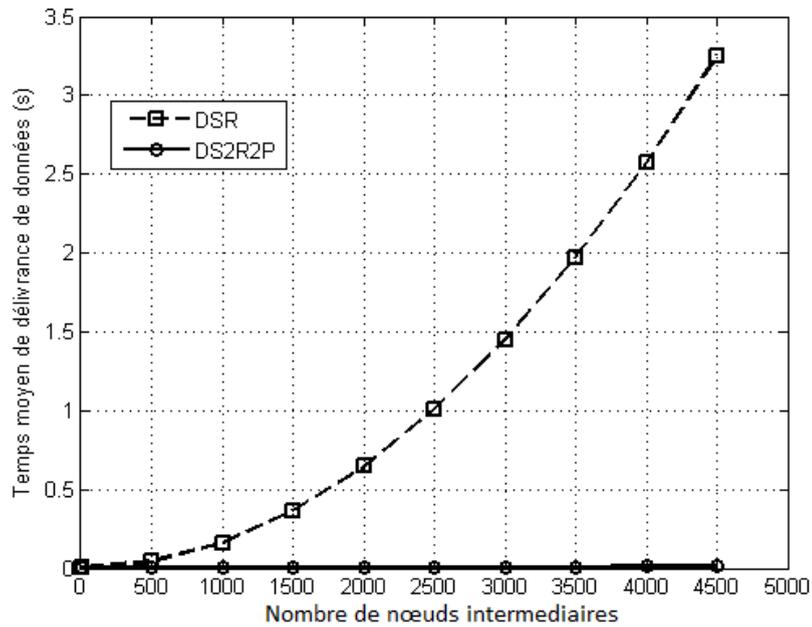


FIGURE 4.5 – Temps moyen de délivrance de données en fonction de ℓ ($\alpha = 500$, $\lambda = 500$ et $Db = 100 \text{ Mbits/s}$)

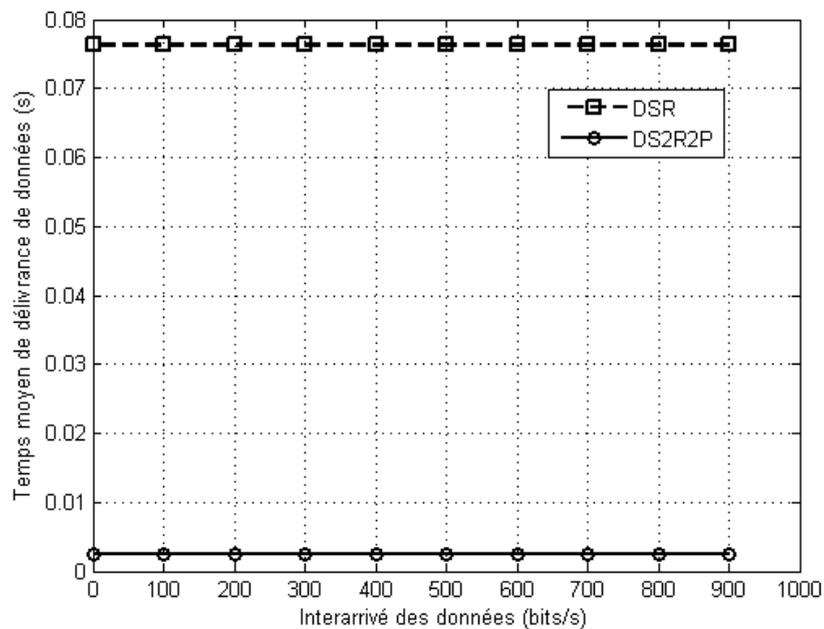


FIGURE 4.6 – Temps moyen de délivrance de données en fonction de λ ($\alpha = 500$, $\ell = 500$ et $Db = 54 \text{ Mbits/s}$)

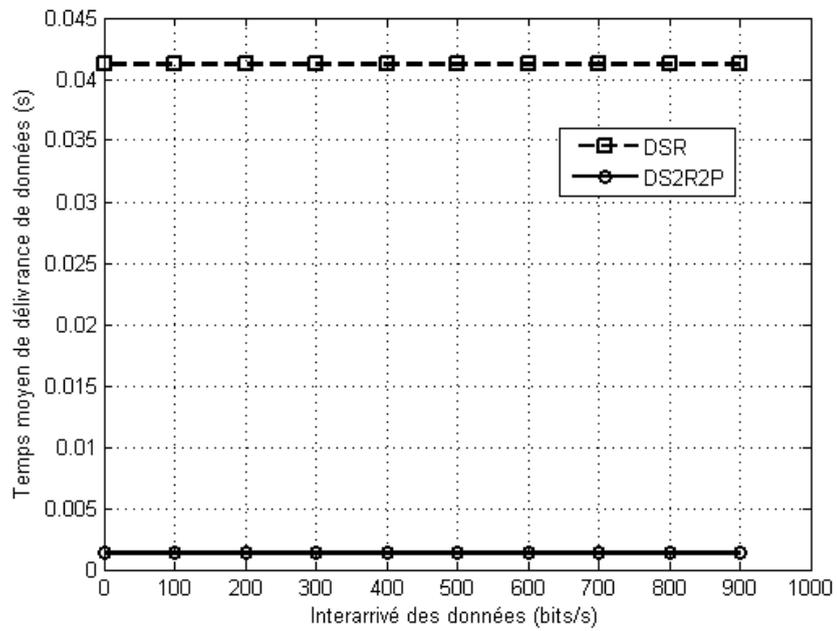


FIGURE 4.7 – Temps moyen de délivrance de données en fonction de λ ($\alpha = 500$, $\ell = 500$ et $Db = 100$ Mbits/s)

Conclusion générale

Les réseaux informatiques basés sur la communication sans fil sont classés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure préexistante, et les réseaux sans infrastructure. Dans la première catégorie, le modèle de la communication utilisé est généralement le modèle de la communication cellulaire. Dans ce modèle, les unités mobiles sont couvertes par un ensemble de stations de base reliées par un réseau filaire qui assurent la connectivité du système. La deuxième catégorie essaie d'étendre les notions de la mobilité à toutes les composantes de l'environnement, où toutes les unités du réseau se déplacent librement sans aucune administration centralisée. Ce type de réseau est utilisé dans plusieurs domaines d'application tels que les applications militaires, la gestion des catastrophes naturelles, la communication de groupes, etc. Récemment, il a attiré de plus en plus d'attention grâce à leurs avantages. Le revers de la médaille est que plusieurs problèmes comme la sécurité, l'économie d'énergie, le passage à l'échelle et la qualité de service soient résolus pour permettre un large déploiement.

Dans le cadre de ce mémoire, l'objectif était la proposition d'un protocole de routage réactif offrant une charge réduite de messages de contrôle pour la maintenance et lors de l'acheminement des paquets de données. Dans la technique de routage par

la source, comme DSR, la charge de communication est très élevée du fait que la source embarque la séquence complète des nœuds intermédiaires par lesquels doivent passer les paquets dans l'entête. Pour remédier à ce problème, nous avons proposé DS2R2P (*On Demand Source Routing with Reduced Packets Protocol*) qui est une amélioration du protocole DSR en termes de taille des paquets. DS2R2P réduit la taille du chemin en utilisant un mécanisme de hachage avant de transmettre le paquet de données, où les données sont transmises en utilisant des valeurs de tailles fixes et réduites. En phase finale du projet, nous avons évalué notre solution. Les résultats obtenus suivant le modèle analytique que nous avons développé ont montré que notre protocole fournit de très bonnes performances en termes de temps de délivrance de données.

En guise de perspective, nous envisageons d'approfondir l'analyse de notre protocole par des simulations en prenant en considération la perte de paquets afin de concrétiser les résultats pour d'éventuelles comparaisons et améliorations et mesurer les faiblesses de notre solution.

Bibliographie

- [1] L. Liu, J. Zhou ; *"Ad Hoc On-Demand QoS Routing Based on Bandwidth Prediction (AQBP)"* ; In proceedings of the 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2012.
- [2] A. Norouzi, A. Sertbas ; *"Efficient Analysis and Comparative Performance Evaluation of Routing Protocols in Mobile Ad hoc Network"* ; Studies in Informatics and Control, Vol. 21, No. 2, 2012.
- [3] B. Sangeeta, M. Suneeta, S. Dambarudhar ; *"Study of DSR Routing Protocol in Mobile Adhoc Network"* ; International Conference on Information and Network Technology IACSIT Press, Singapore, 2011.
- [4] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M-Z. Ahmad, L. Bölöni, D. Turgut ; *"Routing protocols in ad hoc networks : A survey"* ; Vol. 55, Pages 3032–3080, Journal of Computer Networks (Elsevier), 2011.
- [5] S. Biswal, S. Mohanty, D. Seth ; *"Study of DSR Routing Protocol in Mobile Ad hoc Network"* ; International Conference on Information and Network Technology IACSIT Press, Singapore, 2011.
- [6] S. Ali, K. Al-Omari, P. Sumari ; *"An overview of mobile ad hoc network for the existing protocols and application"* ; Journal on Application of Graph Theory in Wireless Ad hoc Networks and Sensor Networks (J GRAPH-HOC) Vol. 2, No. 1, 2010.

- [7] M-A. AbdelMoniem, H-M. Mohamed, A. Hedar ; *"An Ant Colony Optimization Algorithm for the Mobile Ad Hoc Network Routing Problem Based on AODV Protocol"* ; In the proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), pages 1332-1337, 2010.
- [8] A. Berger ; *"Réseau Ad Hoc & Mobile Ad Hoc Networks"* ; Mémoire de fin d'études, Page 19, 2009.
- [9] N. Boukhechem ; *"Routage dans les réseaux mobiles ad hoc par une approche à base d'agents"* ; Mémoire de Magister en informatique, 2008.
- [10] P. Chandra, D-M. Dobkin, A. Bensky, R. Olexa, D-A. Lide, F. Dowla ; *"Wireless Networking"* ; UK, Elsevier Inc, 2008.
- [11] M. Sedrati, L. Aouragh, L. Guettala, A. Bilami ; *"Etude des performances des protocoles de routage dans les réseaux mobiles ad-hoc"* ; In 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, 2007.
- [12] D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz ; *"The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4"* ; RFC 4728, 2007.
- [13] S-L. Wu, Y-C. Tseng ; *"Wireless Ad Hoc Networking : Personal-Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks"* ; USA, Auerbach publications, 2007.
- [14] V-B. Rajendra, A. Mathur ; *"Analysis of the Dynamic Source Routing Protocol for Ad Hoc Networks"* ; Workshop on Next Generation Wireless Networks, 2005.
- [15] D. Djemaoui, S. Maidouche, *"Evaluation de performance des protocoles dans les réseaux mobiles"* ; Mémoire de fin d'études, 2005.
- [16] Y. Nyom, N. Sombaye ; *"Routage dans les réseaux mobiles"* ; Ecole Supérieur d'Informatique, Paris, 2005.
- [17] J. Carsique, N. Daujeard, A. Lallemand, R. Ladjadj ; *"Le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc"* ; Mémoire de fin d'études, 2003.

- [18] B. Jouga, J. Percher; *"Détection d'intrusions dans les réseaux ad hoc"*; SS-TIC'03 - premier symposium sur la sécurité des technologies de l'information et de la communication, Rennes, 2003.
- [19] M. Ilyas; *"The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks"*; USA, CRC Press LLC, 2003.
- [20] Q. Xue, A. Ganz; *"Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR) in mobile ad hoc networks"*; Journal of Parallel Distributed Computing 63 154–165, 2003.
- [21] P. Muhlethaler; *"802.11 et les réseaux sans fil"*; Livre, Edition Eyrolles, 2002.
- [22] D. Djenouri; *"Analyse des algorithmes de routage dans les réseaux mobiles ad hoc"*; Rapport technique, USTHB, 2002.
- [23] D. Johnson, D. Maltz, Y. Hu, J. Jetcheva; *"The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)"*; 2002.
- [24] D. Johnson, D. Maltz, J. Broch; *"DSR : The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks"*; Ad Hoc Networking, edited by Charles Perkins, Addison-Wesley, 2001.
- [25] K. Alagha, G. Pugolle; *"Réseaux mobiles et réseaux sans fil"*; Livre, Edition Eyrolles, 2001.
- [26] T. Lemlouma; *"Le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc"*; Mini projet, USTHB, 2000.
- [27] C. E. Perkins, E. M. Royer; *"Ad-hoc on-demand distance vector routing"*; WMCSA' 99, pp. 90–100, New Orleans, 1999.
- [28] R. Sivakumar, P. Sinha, V. Bharghavan; *"CEDAR : Core Extraction Distributed Ad hoc Routing"*; IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, 1999.
- [29] M. Jiang, J. Li, Y-C. Tay; *"Cluster based routing protocol"*; IETF Draft, 1999.
- [30] V-D. Park, M-S. Corson; *"A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks"*; Proceeding of INFOCOM'97, 1997.

- [31] R. Dube; "*Signal stability based adaptive routing for ad hoc mobile networks*"; IEEE Pers. Comm., pp 36-45, 1997.
- [32] D. Johnson, D-A. Maltz; "*Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*"; Chapter in the book of Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996.