



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun Tiaret

Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur

Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du Diplôme de

Master en Réseaux et Communications

Réalisé par

REGUIEG KHEIRA

Thème

**SIMULATION D'UN PROTOCOLE DE ROUTAGE
AD HOC SOUS SINALGO**

Techniques basées sur Identificateur et Mobilité

Encadré par :

MR. NASSAN SAMIR

Année Universitaire: 2014-2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères à mes yeux,

Mes parents.

A ces deux grands cœurs qui m'entourent toujours par leur tendresse et leur affection.

A ceux qui m'ont toujours encouragée et soutenue dans mes études et m'ont éclairée

et ouvert la voie de l'avenir.

A mes très chers parents, à qui je dois ma réussite. Les mots ne sont pas assez riches

pour leur exprimer toute ma gratitude et mon amour envers eux,

*Je vous dédie le fruit de mes efforts, comme un symbole de gratitude. Vous qui avec
tant rêvé de ce jour, car je ne pourrais jamais vous remercier assez pour tout ce que vous faites*

pour moi.

Que Dieu vous me garde et que vous soyez toujours fières de moi

A tous ceux qui me sont chers, qui m'ont aidée par leur soutien moral et leurs conseils,

en particulier :

A mes sœurs et mes frères.

A toute ma famille

A tous mes amis, pour leur amitié, leur soutien moral, et leur conseil.

Que Dieu soit leur guide

Remerciements

On remercie Allah le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience pour l'accomplissement de ce travail.

*Je serai toujours reconnaissante envers **Mr. Nassan Samir**, de m'avoir proposé ce projet, en me faisant confiance, ainsi pour avoir dirigé ce travail avec ses orientations, ses précieux conseils et remarques. Je vous remercie infiniment Monsieur pour le temps que vous avez consacré à ce travail, pour votre entière disponibilité, votre gentillesse, votre patience et votre modestie. J'ai eu le grand plaisir de travailler sous votre direction*

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'immense honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, par leurs encouragements et conseils à l'accomplissement de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Résumé

Les réseaux Ad Hoc sont composés d'unités mobiles communiquant via un média sans fils, sans la nécessité d'infrastructure physique. Dans ce genre de topologie, tous les nœuds coopèrent afin d'assurer la bonne gestion du réseau (contrôle, routage,..). Les réseaux ad hoc sont idéals pour les applications liées à des opérations de secours (militaires, tremblement de terre, etc...) ainsi que les missions d'expansion. La nature complètement distribué de ce type de réseau pose le problème de performances (dues aux calculs des routes). Ce travail entre dans le cadre de l'étude des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc. Notre étude offre principalement une étude synthétique des travaux de recherche qui ont été fait, et qui se font à l'heure actuelle, dans le but d'étudier les protocoles de routage mis en place dans le cadre de réseaux ad hoc mobiles .

Nous avons définis le concept de routage et ses différentes techniques proposées pour l'environnement Ad Hoc. En effet, nous avons simulés deux protocoles de routage Ad Hoc DSR et AODV, l'un est basé sur le concept du routage à la source (source routing) et l'autre utilise un mécanisme de découverte de route inspiré de DSR et un algorithme de routage similaire à celui de DSDV. Pour se faire, nous avons utilisé une nouvelle plateforme de simulation SINALGO qui permet de tester et de valider a « haut niveau » des algorithmes distribués à l'aide d'Eclipse sous JAVA pour l'évaluation des performances.

Mots-clés: Réseaux Mobile , Réseaux Ad Hoc, MANET, Protocole de Routage, SINALGO ,Java ,Eclipse .

Abstract

The Ad Hoc networks are composed of mobile units communicating via media without wire, without the physical need for infrastructure. In this kind of topology, all the nodes cooperate in order to ensure the good management of the network (control, routing.). The ad hoc networks are ideals for the applications related to aid operations (military, earthquake, etc...) as well as the missions of expansion. The nature completely distributed of this type of network poses the problem of performances (due to calculations of the roads). This work enters within the framework of the study of the protocols of routing in the Ad hoc mobile networks. Our study offers mainly a synthetic study of the research tasks which were made, and which are done at present, with an aim of studying the protocols of routing set up within the framework of mobile ad hoc networks.

We defined the concept of routing and its various techniques suggested for the Ad hoc environment. Indeed, we simulated two protocols of Ad hoc routing DSR and AODV, one is based on the concept of the routing to the source (routing source) and the other uses a mechanism of discovered of road inspired of DSR and an algorithm of routing similar to that of DSDV. To be done, we used a new platform of simulation SINALGO which makes it possible to test and to validate has "high level" of the algorithms distributed using Eclipse under JAVA for the performance evaluation.

Key words: *Networks Mobile, Ad Hoc Networks, MANET, Routing Protocols, SINALGO, Java, Eclipse.*

Table des matières

Introduction générale

Chapitre I

<i>Préambule</i>	1
<i>I. Les environnements mobiles</i>	1
<i>I.1 Présentation</i>	1
<i>I.2 Les réseaux sans fil</i>	2
<i>I.2.1 Définition d'un réseau sans fil</i>	2
<i>I.2.2 Les architectures des réseaux ad hoc</i>	2
<i>I.2.2.1 Mode avec infrastructure</i>	2
<i>I.2.2.2 Mode sans infrastructure ou réseau ad hoc</i>	2
<i>I.3 Les réseaux mobiles Ad Hoc...</i>	3
<i>I.3.1 Définition d'un réseau Ad Hoc</i>	3
<i>I.3.2 Modélisation</i>	4
<i>I.4 Les caractéristiques des réseaux ad hoc</i>	5
<i>I.4.1 Caractéristiques et contraintes des réseaux ad-hoc</i>	5
<i>I.4.2 Les avantages et inconvénients des réseaux Ad Hoc</i>	6
<i>I.4.2.1 Avantage</i>	6
<i>I.4.2.2 Inconvénients</i>	7
<i>I.4.3 Les domaines d'applications des réseaux ad hoc</i>	8

II. Le Routage Dans Les Réseaux Mobiles Ad Hoc	9
II.1 Présentation	9
II.2 Les contraintes de routage dans les réseaux Ad Hoc	9
II.3 Les protocoles de routage pour les réseaux Ad Hoc	10
II.4 Notions fondamentales sur le routage	11
II.4.1 Routage hiérarchique ou plat	11
II.4.2 Routage à la source et le routage saut par saut	12
II.4.3 Etat de lien et Vecteur de distance	12
II.4.4 L'inondation	13
II.4.5 Le concept de groupes	13
II.4.6 Protocoles uniformes et non-uniformes	13
II.5 Les protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc	13
II.5.1 Les protocoles de routage proactifs	14
II.5.1.1 Présentation	14
II.5.1.2 Le protocole de routage DSDV	14
II.5.1.3 Le protocole de routage FSR	16
II.5.1.4 Le protocole de routage HSR	16
II.5.1.5 Le protocole OLSR	17
II.5.2 Routage hiérarchique ou plat Les protocoles de routage réactifs	19
II.5.2.1 Présentation	19
II.5.2.2 Le protocole de routage DSR	20

II.5.2.3 Le protocole de routage AODV	22
II.5.2.4 Le protocole de routage SSR	25
II.5.3 Les protocoles hybrides	26
II.5.3.1 Le protocole ZRP	26
II.5.3.2 Le protocole ZHLS	28
Conclusion	28
 Chapitre II	
Introduction	30
1. Présentation de l'outil de simulation	30
2. Interface graphique de L'application	31
2.1. Environnement Eclipse	31
2.2. Structure de notre projet	31
2.3. Fenêtre de Sélection des Projets	32
2.4. Fenêtre Principale	33
3. Exemple de simulation	35
3.1 Exemple de Simulation AODV	35
3.2 Exemple de Simulation DSR.....	37
Conclusion	40
 Conclusion générale	
Bibliographie	

Liste des Figures

<i>Figure I.1 : La décomposition des réseaux mobiles.....</i>	<i>1</i>
<i>Figure I.2.1 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure</i>	<i>2</i>
<i>Figure I.2.2 : Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure</i>	<i>3</i>
<i>Figure I.3 : Réseau Ad Hoc</i>	<i>3</i>
<i>Figure I.4.1 : Modélisation d'un réseau Ad Hoc</i>	<i>4</i>
<i>Figure I.4.2 : Le changement de topologie des réseaux Ad Hoc.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure II.1 : Architecture de réseau Ad Hoc</i>	<i>10</i>
<i>Figure II.2 : Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination</i>	<i>10</i>
<i>Figure II.3 : Classification des protocoles de routage Ad Hoc</i>	<i>11</i>
<i>Figure II.4.1 : Routage à plat</i>	<i>11</i>
<i>Figure II.4.2 : Routage hiérarchique</i>	<i>12</i>
<i>Figure II.5 : Classes de protocoles de routage Ad Hoc</i>	<i>14</i>
<i>Figure II.6 : Exemple d'échange DSDV</i>	<i>15</i>
<i>Figure II.7 : La technique "œil de poisson".....</i>	<i>16</i>
<i>Figure II.8 : Le partitionnement du réseau en groupes</i>	<i>17</i>
<i>Figure II.9 : Exemple d'échange OLSR</i>	<i>18</i>
<i>Figure II.10.1 : Exemple de découverte DSR</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.10.2 : Exemple de rupture de lien DSR</i>	<i>21</i>
<i>Figure II.11.1 : Exemple de recherche de route AODV</i>	<i>23</i>
<i>Figure II.11.2 : Exemple de rupture de lien AODV</i>	<i>24</i>
<i>Figure II.12: Exemple de routage ZRP</i>	<i>27</i>
<i>Figure III.1 : Environnement Eclipse</i>	<i>31</i>
<i>Figure III.2 : Structure de notre projet</i>	<i>32</i>
<i>Figure III.3 : Fenêtre de Sélection des projets.</i>	<i>33</i>
<i>Figure III.4 : Fenêtre Principale</i>	<i>34</i>
<i>Figure III.5 : Simulation AODV l'émetteur envoi un RREQ</i>	<i>35</i>
<i>Figure III.6 : Simulation AODV reprend avec un RREP</i>	<i>35</i>
<i>Figure III.7: Simulation AODV l'émetteur envoi les Données</i>	<i>36</i>
<i>Figure III.8: Simulation AODV le destinataire reprend avec un Ack</i>	<i>36</i>

<i>Figure III.9 : Simulation DSR le destinataire reçoit un RREQ</i>	<i>37</i>
<i>Figure III.10 : Simulation DSR l'émetteur reçoit un RREP</i>	<i>38</i>
<i>Figure III.11 : Simulation DSR le destinataire reçoit les Données</i>	<i>38</i>
<i>Figure III.12 : Simulation DSR l'émetteur reçoit un Ack</i>	<i>40</i>

Liste des Abréviations

SINALGO Simulation ALGORITHM

AP Acces Point

MANET Mobile Ad Hoc NETWORK

OLSR Optimized Link State Routing Protocol

MPR Multi-Point Relais

TC Topology Control

DSR Dynamic Source Routing

CPU Control Processing Unit

DSDV Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector

AODV Ad Hoc On demand Distance Vector

TORA

TBRPF

FSR

FE Fish Eye

HSR

RREQ Route REQUEST

Src Source

Dest Destination

RREP Route REPLY

RERR Route ERROR

SN Sequence Number

SSR Signal Stability-based Routing

DRP Dynamic Routing Protocol

SRP *Static Routing Protocol*

SST *Signal Stability Table*

RT *Routing Table*

ZRP *Zone Routing Protocol*

IARP *IntraZone Routing Protocol*

IERP *IntErzone Routing Protocol*

ZHLS *Zone based Hierarchical*

LSP *Link State Packet*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Au cours de ces dernières années, les réseaux mobiles sans fil ont connu un très fort développement pour répondre à la hausse constante des besoins en mobilité. L'essor de ces technologies offre aujourd'hui des perspectives intéressantes dans le domaine des télécommunications. L'exemple le plus significatif est l'émergence des appareils de communications tels que : *les téléphones cellulaires, les ordinateurs portables...etc.* Avec l'évolution de ces réseaux et la montée en puissance du haut débit, l'utilisateur a accès à l'information en tous lieux et à tout moment.

Les environnements mobiles offrent une grande flexibilité d'emploi. En particulier, ils permettent la mise en réseau de sites dont le câblage serait trop onéreux à réaliser dans leur totalité. Contrairement à l'environnement statique, l'environnement mobile permet aux unités de calcul une libre mobilité et ne pose aucune restriction sur la localisation des usagers.

Ces réseaux mobiles sans fil, peuvent être classés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure qui utilisent généralement le modèle de la communication cellulaire, et les réseaux sans infrastructure ou les réseaux ad hoc. Les systèmes utilisent déjà le modèle cellulaire (*les réseaux GSM par exemple*) connaissent une très forte expansion à l'heure actuelle mais nécessitent une infrastructure logistique et matérielle très importante .

Un réseau *Ad Hoc* peut être défini comme une collection d'entités mobiles interconnectées par une technologie sans fil formant un réseau temporaire sans l'aide de toute administration ou de tout support fixe.

Dans un réseau *Ad Hoc* les hôtes mobiles doivent former, d'une manière *AdHoc*, une sorte d'architecture globale qui peut être utilisées comme infrastructure du système. Les applications des réseaux *Ad Hoc* sont nombreuses, on cite l'exemple classique de leur application dans le domaine militaire. Du fait que le rayon de propagation des transmissions des hôtes soit limité, et afin que le réseau *Ad Hoc* reste connecté, il se peut qu'un hôte mobile se trouve dans l'obligation de demander de l'aide à un autre hôte pour pouvoir communiquer avec son correspondant. Il se peut donc que l'hôte destination soit hors de la portée de communication de l'hôte source, ce qui nécessite l'emploi d'un routage interne par des nœuds intermédiaires afin de faire acheminer les paquets de messages à la bonne destination. La gestion de l'acheminement de données ou le routage, consiste à assurer une stratégie qui garantie, à n'importe quel moment, la connexion entre n'importe quelle paire de nœuds appartenant au réseau.

La nature complètement distribué de ce type de réseau pose le problème de performances (*dues aux calculs des routes*). Ce travail entre dans le cadre de l'étude des protocoles de routage dans les réseaux mobiles *Ad Hoc*. Notre étude offre principalement une étude synthétique des travaux de recherche qui ont été fait, et qui se font à l'heure actuelle, dans le but d'étudier les protocoles de routage mis en place dans le cadre de réseaux ad hoc mobiles.

Organisation de la thèse

La thèse est organisée en deux chapitres.

Le premier chapitre propose une brève présentation des réseaux *Ad Hoc* et des différents protocoles de routage existant dans le contexte des réseaux ad hoc. Nous décrivons les concepts de routages ainsi que les différents protocoles de routage des réseaux *Ad Hoc* les plus connues permettant d'assurer l'acheminement des données entre les hôtes mobiles.

Le but d'une stratégie de routage est l'établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre une paire quelconque d'hôte, les protocoles de routage qui existent se diffèrent par la manière de recherche de chemins entre la source et la destination et par la maintenance des routes construites.

Dans le deuxième chapitre nous présentant une simulation de deux protocoles de routage *Ad Hoc* il s'agit de *DSR* et *AODV* basés sur la mobilité en utilisant le simulateur *Sinalgo* a l'aide de la plateforme *eclipse* sous *Java* .

CHAPITRE I
INTRODUCTION AUX RÉSEAUX
AD HOC

Préambule

Dans un passé pas très loin, les réseaux filaires étaient la seule solution pour relier les terminaux et périphériques d'une organisation ou d'une entreprise de toute taille. Ainsi, des câbles doivent être utilisés à cet effet. Vu l'absence d'autres technologies Concurrentes, cette architecture constituait à cette époque une révolution, mais le coût élevé nécessaire pour le déploiement d'une telle solution ainsi que la difficulté de relier certaines régions, pour des raisons géographiques (les zones rurales) ou stratégiques (les champs de batailles), a donné naissance à une autre technologie basée sur les transmissions radio. Cette technologie est basée sur des réseaux appelés réseaux sans fil. Ces réseaux sont divisés en deux catégories : les réseaux cellulaires et les réseaux Ad Hoc. Les réseaux cellulaires ne résolvent pas tous les problèmes posés dans le cadre des réseaux filaires, du moment qu'ils nécessitent l'installation des stations de base, appelées aussi points d'accès, dans chaque zone. Cette contrainte augmente leur coût et limite ainsi leurs champs d'application. En contrepartie, les réseaux sans fil Ad Hoc ne nécessitent aucune infrastructure préalable. L'avantage de cette topologie est qu'elle permet de déployer un réseau dans un délai très court avec un coût réduit et d'une manière spontanée. Ce chapitre sera consacré à l'étude des réseaux Ad Hoc et au problème de routage dans ces mêmes réseaux.

I. Les environnements mobiles [2]

I.1. Présentation

Un environnement mobile est un système de transmission des données, conçu pour assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui compose le réseau. Les réseaux sans fil sont principalement employés lorsqu'il s'agit d'interconnecter des utilisateurs nomades (par exemple des portables) entre eux, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.[2]

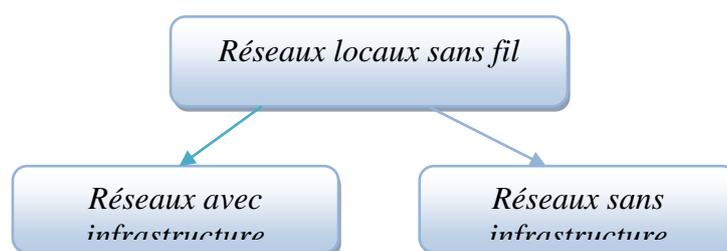


Figure I.1 : La décomposition des réseaux mobiles.

1.2. Les réseaux sans fil

1.2.1. Définition d'un réseau sans fil

Un réseau sans fils (*en anglais wireless network*) est un réseau dans lequel les différents éléments participants (*ordinateur portable, PDA, téléphone portable...etc.*) ne sont pas raccordés entre eux par un média physique. La transmission des données se fait via les ondes hertziennes (*radio ou infrarouge*). Ceci permet aux utilisateurs de se déplacer dans un périmètre de couverture pouvant aller d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres [7].

1.2.2. Les architectures des réseaux Ad Hoc

Selon le matériel, Les architectures les plus courantes dans les réseaux sans fil sont les architectures avec infrastructure et les architectures sans infrastructure appelées aussi architectures *Ad Hoc*.

1.2.2.1. Mode avec infrastructure

Ce mode de fonctionnement est très semblable au protocole Ethernet des réseaux filaires. Les machines se connectent à un point d'accès (*AP*), appelé aussi station de base, qui partage la bande passante disponible. Les stations de base sont munies d'une interface de communication sans fil avec les sites mobiles qui se trouvent dans sa zone géographique ou sa couverture radio. Ce mode de fonctionnement est illustré à la figure suivante [7] :

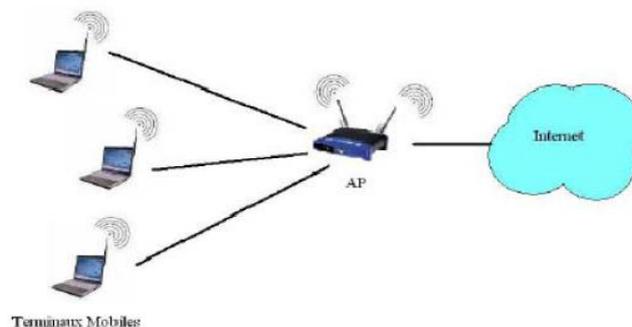


Figure 1.2.1 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.

1.2.2.2. Mode sans infrastructure ou réseau Ad Hoc

Ce mode n'a pas besoin de point d'accès pour fonctionner, ce sont les stations elles-mêmes qui entrent en communication sans s'appuyer sur un équipement extérieur. Tous les nœuds d'un réseau de ce type se comportent comme des routeurs et prennent part à la découverte et à la maintenance des chemins de communication entre les différentes machines. Ce type de réseau s'organise lui-même[7].

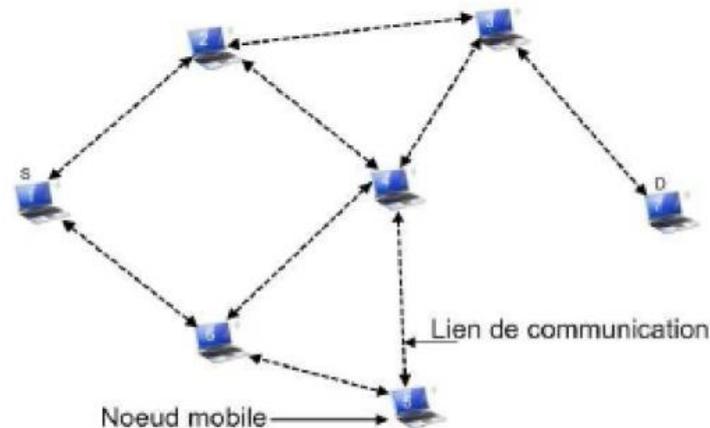


Figure I.2.2 : Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure

1.3. 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* ».

1.3.1. Définition d'un réseau Ad Hoc

Un réseau mobile *Ad Hoc* appelé généralement **MANET**(*Mobile Ad hoc Network*), 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 .

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*)[7].

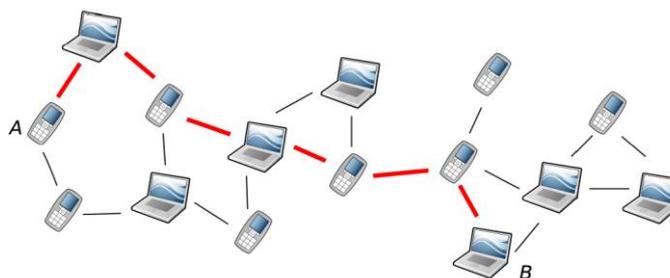


Figure I.3 : Réseau Ad Hoc .

I.3.2. Modélisation

Un réseau ad hoc peut être modéliser par un graphe $G_t = (V_t, E_t)$ ou V_t représente l'ensemble des nœuds (*i.e. les unités ou les hôtes mobiles*) du réseau et E_t modélise l'ensemble des connexions qui existent entre ces nœuds (*voir la figure I.4.1*). Si $e = (u, v)$ appartient à E_t , cela veut dire que les nœuds u et v sont en mesure de communiquer directement à l'instant t .

La figure suivante représente un réseau ad hoc de 10 unités mobiles sous forme d'un graphe [2]:

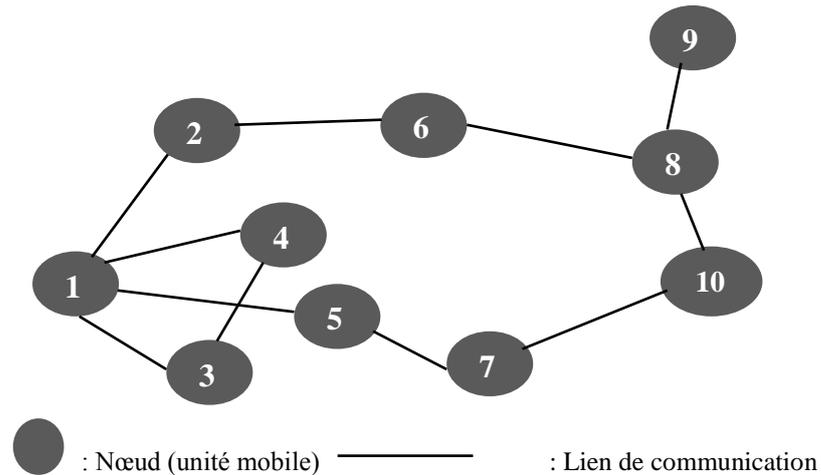


Figure I.4.1 : Modélisation d'un réseau Ad Hoc.

La topologie du réseau peut changer à tout moment, elle est donc dynamique et imprévisible, ce qui fait que la déconnexion des unités est très fréquente.

Exemple :

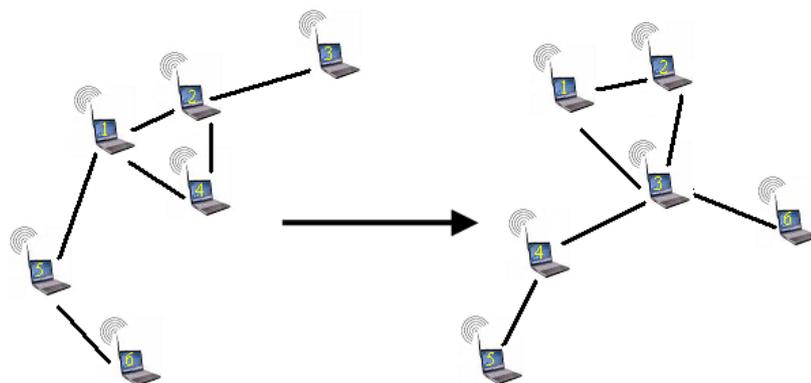


Figure I.4.2 : Changement de topologie dans les réseaux Ad Hoc

1.4. Les Caractéristiques des réseaux Ad Hoc

1.4.1. Caractéristiques et contraintes des réseaux Ad Hoc

Les réseaux mobiles *Ad Hoc* présentent plusieurs caractéristiques dont les principales sont les suivantes [3]:

- ***Absence d'infrastructure*** : Chaque nœud travaille dans un environnement pair à pair distribué, agit en tant que routeur pour relayer des communications, ou génère ses propres données.
- ***Hétérogénéité des nœuds*** : Un nœud mobile peut être équipé d'une ou plusieurs interfaces radio ayant des capacités de transmission variées et opérant dans des plages de fréquences différentes. Cette hétérogénéité de capacité peut engendrer des liens asymétriques dans le réseau. De plus, les nœuds peuvent avoir des différences en termes de capacité de traitement (*CPU, mémoire*), de logiciel, de taille (*petit, grand*) et de mobilité (*lent, rapide*).
- ***Multi-sauts*** : Un réseau *Ad Hoc* utilise souvent des sauts multiples pour éviter les obstacles, minimiser la consommation d'énergie, ou pour joindre un nœud qui n'est pas dans la portée de communication de l'émetteur.
- ***Contrainte d'énergie*** : Les hôtes d'un réseau *MANET* sont destinés à être portables et mobiles et donc à être alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables (*par exemple l'énergie solaire*). La durée de vie des batteries est limitée, par conséquent les services et les applications supportées par chaque nœud. Sachant qu'une partie de l'énergie est consommée par la fonctionnalité de routage, cela nécessite à mettre en place des critères d'optimisation pour la conservation de l'énergie.
- ***Taille du réseau*** : Elle est souvent de petite ou moyenne taille (*une centaine de nœuds*).

Le réseau est utilisé pour étendre temporairement un réseau filaire, comme pour une conférence ou en cas de catastrophes naturelles. Cependant, quelques applications de réseaux *Ad Hoc* nécessitent une utilisation allant jusqu'à des dizaines de milliers de nœuds, comme dans les réseaux de capteurs.

- ***Topologie non prédictible*** : Les unités mobiles sont libres de se déplacer arbitrairement dans les réseaux *Ad Hoc*. Par exemple, un nœud peut joindre un réseau, changer de position ou s'éloigner du reste des nœuds du réseau.

Pour assurer la connectivité du réseau, une première solution consiste à augmenter la portée de communication en augmentant la puissance de transmission, cette solution est vite écartée

puisque la puissance d'émission est bien réglementée, et d'autre part, vue la nature des réseaux *Ad Hoc*, où l'énergie est une ressource rare pour les nœuds mobiles.

- **Débit faible par rapport aux réseaux filaire** : la bande passante étant également une ressource rare dans les réseaux *Ad Hoc*, le routage essaye de minimiser la portion utilisée pour la gestion du réseau, afin de pouvoir laisser le maximum de bande passante pour les communications.

1.4.2. Les avantages et inconvénients des réseaux Ad Hoc

Les réseaux mobiles *Ad Hoc*, sont utiles quand aucune connexion filaire n'est disponible, par exemple lors d'une opération militaire, et plus généralement quand le déploiement rapide d'un réseau est nécessaire. Dans ce cas, les nœuds communiquent en acheminant les messages par routage « *multi-saut* ». Indépendamment du fait de disposer ou non d'une infrastructure, le mode *Ad Hoc* multi-saut a de nombreux avantages en comparaison avec le mode de communication avec stations de base [9].

1.4.2.1. Avantage

- ✓ ***Pas de câblage*** : l'une des caractéristiques des réseaux *Ad Hoc* est l'absence d'un câblage, et ce en éliminant toutes les connexions filaires qui sont remplacées par des connexions radio.
- ✓ ***Déploiement facile*** : l'absence du câblage donne plus de souplesse, et permet de déployer un réseau *Ad Hoc* facilement et rapidement. Cette facilité peut être justifiée par l'absence d'une infrastructure préexistante permettant, ainsi, d'économiser tout le temps de déploiement et d'installation du matériel nécessaire.
- ✓ ***Consommation énergétique*** : Un mobile émet plus de messages en mode *Ad Hoc* qu'en mode infrastructure, puisqu'il doit à la fois transmettre ses propres paquets mais également les paquets des autres mobiles pour lesquels il fait office de routeur. On pourrait donc penser que ce mode est plus gourmand en énergie. Néanmoins, les portées de communication peuvent être largement réduites en mode *Ad Hoc*. Cette diminution de portée de communication permet d'économiser beaucoup d'énergie, puisque la consommation énergétique varie au moins proportionnellement au carré de la distance de communication. Ainsi, même si l'on transmet dix fois plus de messages en mode *Ad Hoc*, diviser par dix la portée de transmission permet de ne consommer qu'un dixième de l'énergie nécessaire au mode station de base.

-
- ✓ **Permet la mobilité** : comme l'indique leur nom, et à l'image des réseaux sans fil avec infrastructure, les réseaux mobiles *Ad Hoc* permettent une certaine mobilité à leurs nœuds. De ce fait, ces derniers peuvent se déplacer librement à condition de ne pas s'éloigner trop les uns des autres pour garder leur connectivité.
 - ✓ **Extensible** : l'une des propriétés les plus importantes d'un réseau *Ad Hoc* est la possibilité de l'étendre, et d'augmenter sa taille très facilement et sans nécessiter trop de moyens. Pour expliquer cet aspect, il suffit uniquement d'imaginer l'arrivée d'un nouveau nœud mobile à un réseau *Ad Hoc* déjà installé et mis en place. Pour que ce nœud fonctionne au sein du réseau, il suffit de procéder à quelques configurations au niveau du nœud lui-même.
 - ✓ **Coût** : le déploiement d'un réseau *Ad Hoc* ne nécessite pas d'installer des stations de base, les mobiles sont les seules entités physiques nécessaires pour déployer un tel réseau. Ce qui conduit à la réduction de son coût d'une manière significative.

1.4.2.2. Inconvénients

- ✓ **Topologie non prédictible** : l'activité permanente et les déplacements fréquents des nœuds d'un réseau *Ad Hoc* rendent son étude très difficile. La raison est bien connue, le changement rapide de sa topologie dû aux déplacements des nœuds.
- ✓ **Capacités limitées (puissance de calcul, mémoire, énergie)** : dans un tel réseau, la configuration de la portée de communication des nœuds (*ce qui revient à paramétrer la puissance d'émission*) est importante. En effet, il faut qu'elle soit suffisante pour assurer la connectivité du réseau. Mais plus on accroît la portée des mobiles, plus les communications demandent de l'énergie. Il faut donc trouver un compromis entre la connectivité du réseau et la consommation énergétique.
- ✓ **Taux d'erreur important** : les risques de collisions augmentent avec le nombre de nœuds qui partagent le même médium. Par conséquent, plus la portée augmente, plus le risque de collisions n'est important.
- ✓ **Sécurité** : un autre dilemme des réseaux *Ad Hoc*, et qui attire la curiosité des chercheurs et des spécialistes de ce domaine est la notion de sécurité. Un réseau *Ad Hoc* tel que définit précédemment ne permet pas d'assurer la confidentialité de l'information échangée entre les nœuds. Contrairement aux réseaux filaires,

les réseaux sans fil sans infrastructure ne peuvent utiliser un matériel spécifique (*firewale par exemple*) pour empêcher les accès non autorisés au réseau.

I.4.3. Les domaines d'applications des réseaux ad hoc

Les réseaux ad hoc sont utilisés dans toutes les applications où le déploiement d'une architecture centralisée est contraignant, voire impossible. En effet, la robustesse, le coût réduit et le déploiement rapide qu'ils présentent leur confèrent un accès à une large palette d'applications dont [7]:

- ❖ ***Les applications militaires*** : Les réseaux ad hoc ont été utilisés la première fois par l'armée. En effet ce type de réseaux est la solution idéale pour maintenir une communication sur un champ de bataille entre les différentes troupes unités d'une armée.
- ❖ ***Les opérations de secours*** : Dans les zones touchées par les catastrophes naturelles (*cyclone, séisme, etc.*), le déploiement d'un réseau *Ad Hoc* est indispensable pour permettre eux unités de secours de communiquer.
- ❖ ***L'utilisation à des fins éducatives*** : Le déploiement d'un réseau *Ad Hoc* lors d'une conférence ou d'une séance de cours est très judicieux car cela permet aux chercheurs et étudiants de partager des ressources (*fichiers, accès à internet...etc.*) et de communiquer sans avoir besoin d'une quelconque infrastructure.
- ❖ ***Applications industrielles*** : Des scénarios plus complexes dans le domaine industriel appelés réseaux de capteurs (*Sensor Networks*) peuvent former un *MANET* pour s'adapter à différents environnements. Un exemple d'une telle application est la formation d'un *MANET* pour la surveillance médicale, la détection des Feux de forêt, la surveillance des volcans...etc.
- ❖ ***Mise en œuvre des réseaux véhiculaires*** : sur un réseau routier les véhicules peuvent avoir besoin de communiquer entre eux ou avec leur environnement afin de partager des informations dans le but de gérer et réguler le trafic routier. Les réseaux *Ad Hoc* sont alors la solution idéale.

II. Le Routage Dans Les Réseaux Mobiles Ad Hoc

II.1. Présentation :

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers la bonne destination à travers un réseau de connexion donnée. Il consiste à assurer une stratégie qui garantit, à n'importe quel moment, un établissement de routes qui soient correctes et optimales entre n'importe quelle paire de nœud appartenant au réseau. Ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue.

Le routage est, donc, la brique technologique de base des réseaux sans fil *Ad Hoc*. Il constitue un sérieux problème à résoudre pour que ces réseaux puissent fonctionner dans des bonnes conditions.

Dans ce qui suit, nous décrirons brièvement la difficulté de routage dans les réseaux *Ad Hoc* et les différents mécanismes de routages apparus pour la résolution de ce problème.

II.2. Les contraintes de routage dans les réseaux Ad Hoc

L'accomplissement de la tâche de routage pour assurer la connexion des réseaux *AdHoc* au sens classique du terme (*tout sommet peut atteindre tout autre*), inhérente à tout réseau, est compliquée dans les réseaux ad hoc par l'utilisation de communications par radio. La radio est en effet le medium le plus hostile à la propagation de l'information[7].

Du fait notamment des interférences entre utilisateurs et de la complexité du traitement du signal. D'autre part, le routage *Ad Hoc* est aussi compliqué par la mobilité des éléments susceptibles d'acheminer le trafic (*c'est-à-dire les utilisateurs eux-mêmes*). Les nœuds mobiles sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière ou l'interconnexion entre les nœuds peut changer à tout moment. N'ayant pas été prévus pour ces dernières complications, les algorithmes de routage classiques ne peuvent donc pas être utilisés tels quels. Ils doivent être optimisés pour être efficaces dans les réseaux *Ad Hoc*. Le problème qui se pose dans le contexte des réseaux *Ad Hoc* est de s'adapter aux communications radio en réduisant au maximum le trafic de contrôle nécessaire au bon fonctionnement du réseau, et en même temps rester en mesure de suivre dynamiquement la mobilité des éléments du réseau avec 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.

Ce sont ces contraintes qui sont au fondement des algorithmes de routage *Ad Hoc*. Il semble donc important que toute conception de protocole de routage doit étudier ces problèmes.

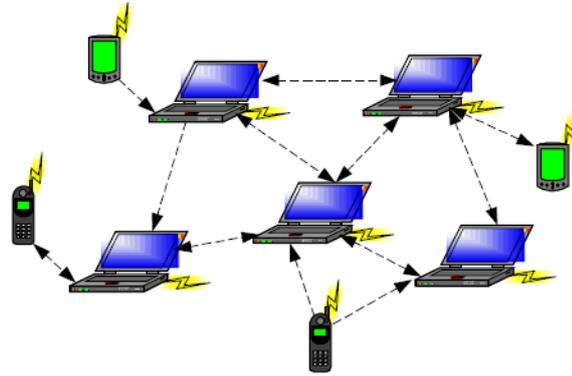


Figure II.1 : Architecture de réseau Ad Hoc.

Exemple : [1]

Si on suppose que les coûts des liens sont identiques, le chemin indiqué dans la figure suivante est le chemin optimal reliant la station source et la station destination. Une bonne stratégie de routage utilise ce chemin dans le transfert des données entre les deux stations.

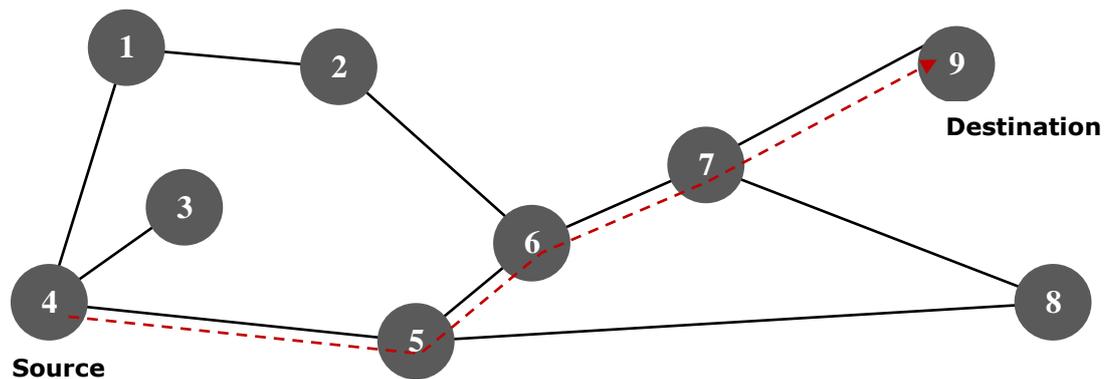


Figure II.2 : Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination.

II.3. Les protocoles de routage pour les réseaux Ad Hoc

Les protocoles de routage destinés aux réseaux mobiles *Ad Hoc* peuvent être classés de différentes manières, selon plusieurs critères. Ils peuvent être classés selon le type de vision qu'ils ont du réseau et les rôles attribués à ses nœuds (*plat ou hiérarchique*), ou encore selon l'information utilisée pour calculer les routes (*vecteur de distance ou état de liens*). un troisième critère peut être utilisé pour différencier entre les protocoles de routage, il s'agit de la méthode utilisée pour construire une route entre un nœud source et un autre de destination (*réactive ou proactive*). La Figure ci-dessus donne une nomenclature et une classification des principaux protocoles proactifs, réactifs et hybrides développés ces dernières années (*Karmakar et Dooley, 2008*). Dans la suite, on explicitera plus en détail certains protocoles présentés dans la Figure [6].

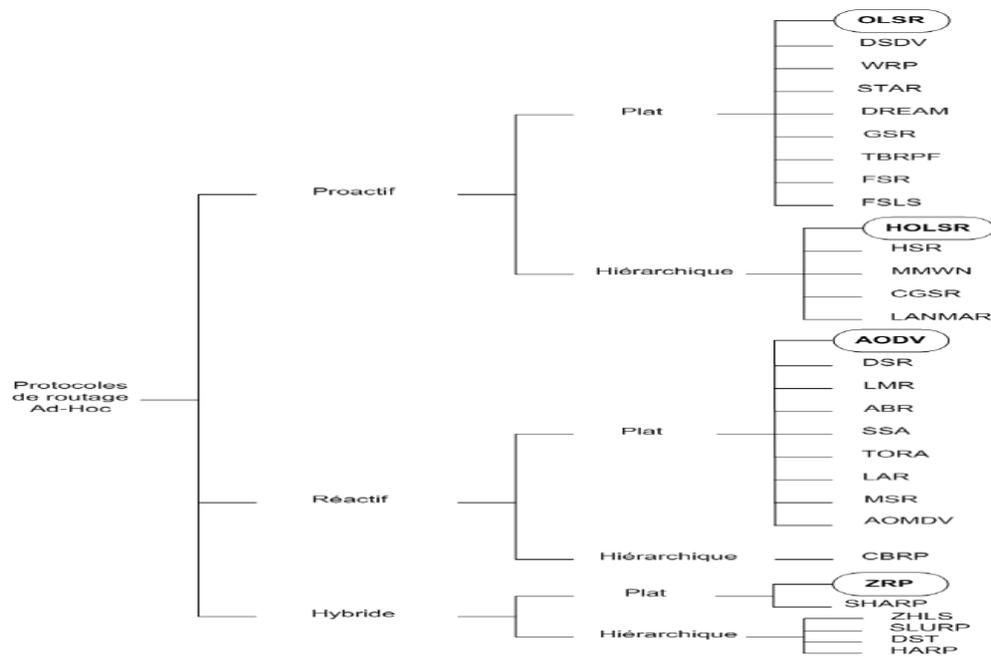


Figure II.3 : Classification des protocoles de routage Ad Hoc

II.4. 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.4.1. Routage hiérarchique ou plat

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

o *Les protocoles de routage à plat* : considèrent que tous les nœuds sont égaux (figure II.4.1). 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)*.

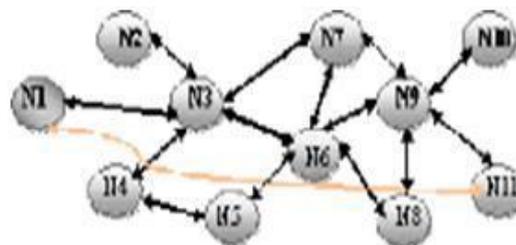


Figure II.4.1 : Routage à plat

o **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*).

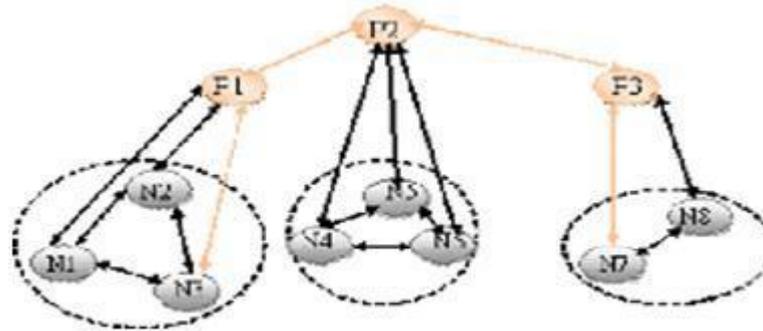


Figure II.4.2 : Routage hiérarchique

II.4.2. Routage à la source et le routage saut par saut

o **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**.

o **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.4.3. 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.

o **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 . Les principaux protocoles de routage dans les réseaux *Ad Hoc* qui appartiennent à cette classe sont les suivants : **TORA, OLSR et TBRPF**.

o **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*), 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**.

II.4.4. 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.

II.4.5. 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, 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.

II.4.6. 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.

II.5. Classification des 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 [6].

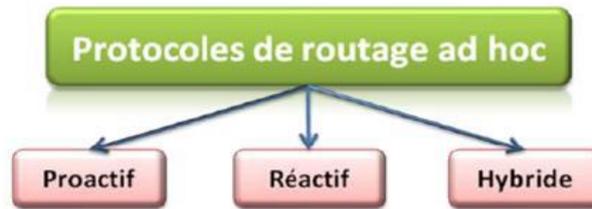


Figure II.5: Classes de protocoles de routage Ad Hoc

II.5.1. Les protocoles de routage proactifs [2]

II.5.1.1. Présentation

Les protocoles de routage proactifs pour les réseaux mobiles *Ad Hoc*, sont basés sur la même philosophie des protocoles de routage utilisés dans les réseaux filaires conventionnels. Les deux principales méthodes utilisées sont :

1. La méthode Etat de Lien ("*Link State*").
2. La méthode du Vecteur de Distance ("*Distance Vector*").

Les deux méthodes exigent une mise à jour périodique des données de routage qui doit être diffusée par les différents nœuds de routage du réseau.

Nous allons décrire dans ce qui suit, les protocoles les plus importants de cette classe :

II.5.1.2 Le protocole de routage DSDV [4]

- Basé sur l'idée classique de l'algorithme distribué de *Bellman-Ford* en rajoutant quelques améliorations.
- Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient :
 - Toutes les destinations possibles.
 - Le nombre de nœud (*ou de sauts*) nécessaire pour atteindre la destination.
 - Le numéro de séquences (*SN:sequence number*) qui correspond à un nœud destination.
- Le *NS* est utilisé pour faire la distinction entre les anciennes et les nouvelles routes, ce qui évite la formation des boucles de routage.
- La mise à jour dépend donc de deux paramètres : Le temps, c'est à dire la période de transmission, et les événements.

- Un paquet de mise à jour contient :
 - 1- Le nouveau numéro de séquence incrémenté, du nœud émetteur. Et pour chaque nouvelle route :
 - 2- L'adresse de la destination.
 - 3- Le nombre de nœuds (ou de sauts) séparant le nœud de la destination.
 - 4- Le numéro de séquence (des données reçues de la destination) tel qu'il a été estampillé par la destination.
- Le DSDV élimine les deux problèmes de boucle de routage "routing loop", et celui du "counting to infinity".

Cependant :

- Dans ce protocole, une unité mobile doit attendre jusqu'à ce qu'elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination, afin de mettre à jour l'entrée associée à cette destination, dans la table de distance. Ce qui fait que le DSDV est lent.
- Le DSDV utilise une mise à jour périodique et basée sur les événements, ce qui cause un contrôle excessif dans la communication.

La figure II.6 montre partiellement une mise à jour de la table de routage d'un nœud M4 après déplacement d'un nœud M1 ; la nouvelle route choisie est celle de plus petite métrique. Les numéros de séquence transmis par les autres stations peuvent avoir évolué entre-temps (cas de M3).

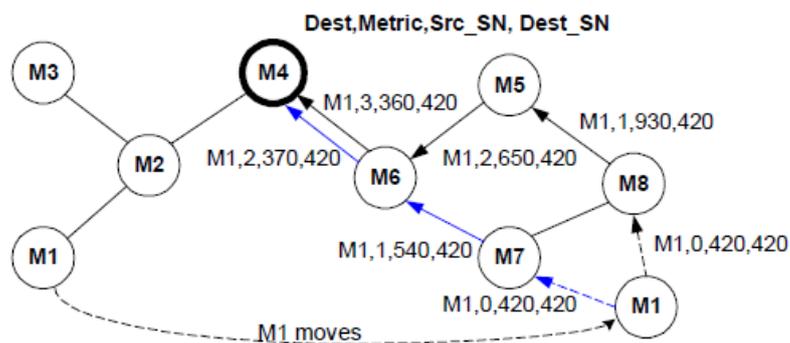


Table de routage de M4 :

Avant déplacement de M1

Destination	NextHop	Metric	Dest_SN
M1	M2	2	410
M2	M2	1	780
M3	M2	2	250

Après déplacement de M1

Destination	NextHop	Metric	Dest_SN
M1	M6	3	420
M2	M2	1	780
M3	M2	2	260

Figure II.6 : Exemple d'échange DSDV.

II.5.1.3 Le protocole de routage FSR [2]

•Le protocole *FSR* est basé sur l'utilisation de la technique "œil de poisson" (*fisheye*), proposée par *Kleinrock et Stevens*, qui l'ont utilisé dans le but de réduire le volume d'information nécessaire pour représenter les données graphiques.

•Dans la pratique, l'œil d'un poisson capture avec précision, les points proches du point focal. La précision diminue quand la distance, séparant le point vu et le point focal, augmente.

La figure suivante illustre la technique *FE* utilisée par le protocole : [5]

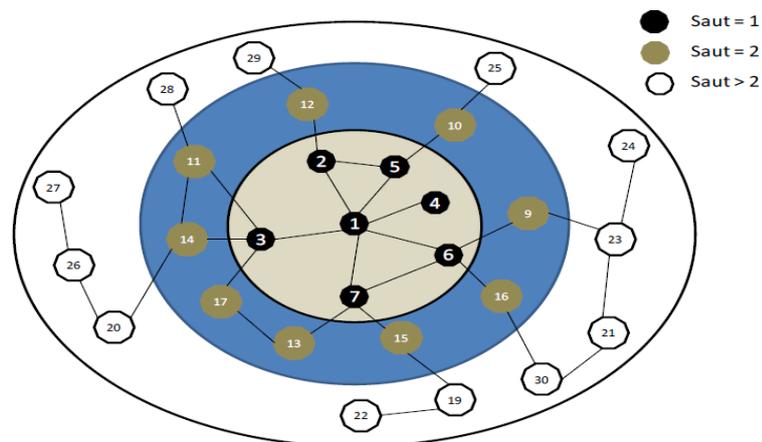


Figure II.7 : La technique "œil de poisson".

Dans le contexte du routage, l'approche du "fish-eye" matérialise, pour un nœud, le maintien des données concernant la précision de la distance et la qualité du chemin d'un voisin direct, avec une diminution progressive, du détail et de précision, quand la distance augmente.

•La diminution de fréquence est assurée en changeant les fréquences de mise à jour, et cela en utilisant des périodes d'échanges différentes pour les différentes entrées de la table de routage. Les entrées qui correspondent aux nœuds les plus proches, sont envoyés aux voisins avec une fréquence élevée (*donc avec une période d'échange relativement petite*).

II.5.1.4 Le protocole de routage HSR [2]

•Le protocole *HSR* combine les notions de groupes dynamiques, niveaux hiérarchiques avec une gestion efficace de localisation.

•Dans le *HSR*, l'image de la topologie du réseau, est sauvegardée sous forme hiérarchique. Le réseau est partitionné en un ensemble de groupes :

•Dans un groupe, un nœud doit être élu pour représenter le reste des membres. Les représentants des groupes dans un niveau l , deviennent des membres dans le niveau $l + 1$. Ces nouveaux

membres, s'organisent en un ensemble de groupes de la même manière du niveau bas, et ainsi de suite pour le reste des niveaux.

La figure suivante illustre l'application du mécanisme de partitionnement hiérarchique :

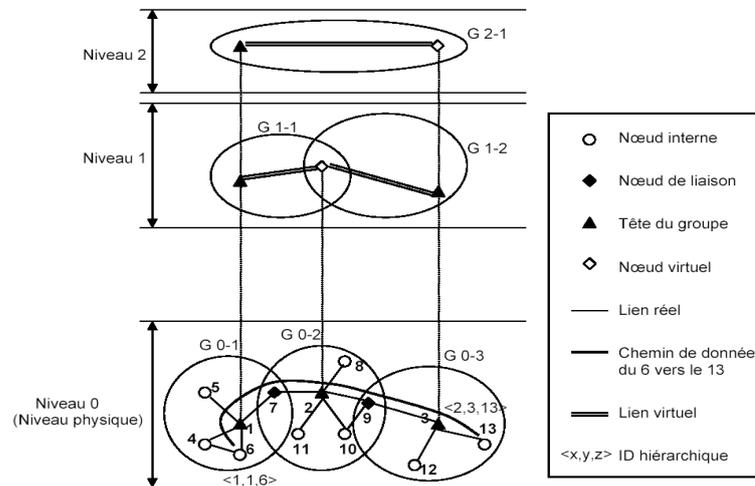


Figure II.8 : Le partitionnement du réseau en groupes.

- L'adresse hiérarchique, suffit pour délivrer les paquets de données à une destination, indépendamment de la localisation de la source, et cela en utilisant la table *HSR*.

Exemple : l'acheminement des données entre le nœud 6 et le nœud 3 (*figure précédente*).

II.5.1.5 Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing) [4]

OLSR est un protocole proactif basé sur un algorithme de type « état des liens ».

Pour éviter l'inondation classique (*flooding*) sur ce type d'algorithme, le protocole prévoit l'élection de nœuds spécifiques, les *MPR* (*Multi Point Relay*), chargés de transmettre les informations de topologie.

La sélection des *MPR* se fait à partir de messages *hello* que les nœuds s'échangent mutuellement pour déduire la nature des liens, symétriques ou asymétriques, qui les relient. La condition pour devenir *MPR* d'un nœud est de pouvoir atteindre avec un lien symétrique, tous les nœuds voisins situés à une distance de deux sauts du nœud initial. L'ensemble des *MPR* d'un nœud (*MPR set*) doit donc couvrir tout le voisinage situé à deux sauts. Pour que le protocole soit efficace, le *MPR set* doit être minimisé. Après élection, les *MPR* sont communiqués à tout le

réseau par des messages *TC* (*Topology Control*) périodiques. A réception des *TC*, les nœuds mettent à jour leur table de routage.

La limitation des diffusions est basée sur les deux règles :

- les nœuds non *MPR* reçoivent et exploitent les messages de diffusion mais ne les diffusent pas (*sauf à leurs MPR*) ;
- les *MPR* ne diffusent que les messages provenant des nœuds dont ils sont *MPR*.

Dans l'exemple suivant, les nœuds *C* et *E* sont *MPR* de *A* (*ils peuvent atteindre G et H situés à 2 sauts de A*) et diffusent l'information de routage reçue de *A*. Les nœuds *E* et *K*, *MPR* de *H*, diffusent à leur tour l'information.

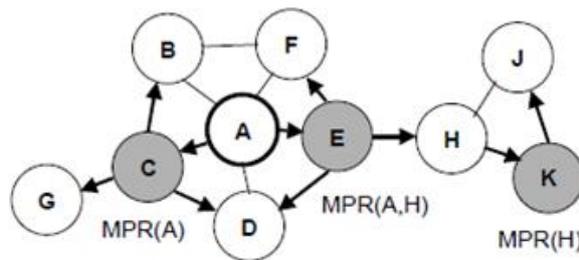


Figure II.9 : Exemple d'échange OLSR.

a- Performances

OLSR présente l'avantage de réduire la taille des messages de contrôle, car seuls les liens aux *MPR* sont déclarés. en plus, L'inondation est limitée par l'utilisation des *MPR*.

Comme pour tout protocole à état de lien, les routes utilisées sont optimales et l'absence de boucles est garantie.

OLSR est adapté aux réseaux étendus, denses, et au trafic sporadique.

b. Fonctionnement du protocole

OLSR est un protocole proactif et très bien adapté aux réseaux larges et denses. Tous les nœuds du réseau serviront de routeur et *OLSR* maintient sur chaque nœud une table de routage complète (*comprenant une entrée pour tous les autres nœuds du réseau*). Le protocole est

complètement distribué, il n'y a pas d'entité centrale. Chaque nœud choisit la route la plus adaptée en fonction des informations qu'il a reçues.

Pour maintenir à jour toutes les informations nécessaires au choix des relais multipoints (*MPRs*) et au calcul de la table de routage, les nœuds *OLSR* ont besoin de s'échanger des informations périodiquement. Pour s'informer du proche voisinage, les nœuds *OLSR* envoient périodiquement des messages dits *HELLO* contenant la liste de leurs voisins. Ces messages permettent à chacun de choisir son ensemble de relais multipoints.

Le deuxième type de message d'*OLSR* est le message *TC* (*Topology Control*). Par ce message les sous-ensembles de voisinage que constituent les relais multipoints sont déclarés périodiquement dans le réseau. Ils sont diffusés en utilisant une diffusion optimisée par relais multipoints. Ces informations offrent une carte du réseau contenant tous les nœuds et un ensemble partiel de liens, mais suffisant pour la construction de la table de routage.

La table de routage est calculée par chacun des nœuds et le routage des données s'effectue saut par saut sans l'intervention d'*OLSR* dont le rôle s'arrête à la mise à jour de la table de routage.

❖ *Avantages et inconvénients des protocoles proactifs*

Avec un protocole proactif, les routes sont disponibles immédiatement lors du besoin. Ainsi l'avantage d'un tel protocole est le gain de temps lors d'une demande de route. Le problème est que, les changements de routes peuvent être plus fréquents que la demande de la route. Dans ce cas-là, le trafic induit par les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routage peut être important et partiellement inutile. Car seule certaines routes seront utilisées par les applications en général. Ce qui gaspille la capacité du réseau sans fil en termes de bande passante. De ce fait, un nouvel type de protocole est apparu, il s'agit des protocoles de routage réactifs.

II.5.2. Les protocoles de routage réactifs (à la demande) [1]

II.5.2.1 Présentation

Comme nous avons vu dans la section précédente, les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles (*qui peuvent représenter l'ensemble de tous les nœuds du réseau*) au niveau de chaque nœud du

réseau. Les routes sont sauvegardées mêmes si elles ne sont pas utilisées. La sauvegarde permanente des chemins de routage est assurée par un échange continu des messages de mise à jour des chemins, ce qui induit un contrôle excessif surtout dans le cas des réseaux de grande taille.

Les protocoles de routage réactifs (*aussi appelés protocoles de routage à la demande*) sont les protocoles les plus récents proposés dans le but d'assurer le service du routage dans les réseaux sans fil. Plusieurs approches peuvent être appliquées dans la découverte des routes.

Les protocoles de routage appartenant à cette catégorie, créent et maintiennent les routes selon les besoins. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte globale de routes est lancée, et cela dans le but d'obtenir une information spécifiée, inconnue au préalable.

Dans ce qui suit nous allons décrire les protocoles les plus importants de cette classe :

II.5.2.2 Le protocole de routage DSR [4]

DSR est un protocole réactif basé sur le concept du routage à la source (*source routing*). Deux procédures successives sont mises en place : découverte de routes et maintenance.

a. Découverte de routes (route discovery)

Un nœud émetteur regarde d'abord dans son cache si une route vers la destination est présente.

- Si une route existe le nœud diffuse le paquet en utilisant l'algorithme de routage à la source (*source routing*).
- Si aucune route n'existe, le nœud diffuse un paquet de découverte *RREQ* (*Route REQuest*) qui contient :
 - l'adresse source (*Src*) ;
 - l'adresse destination (*Dest*) ;
 - la liste des nœuds traversés pour atteindre la destination (*List*), vide au départ ;
 - un identifiant unique pour qu'un nœud ne propage que les paquets nouveaux.

Sur réception d'un *RREQ*(*Src, Dest, List*), un nœud *N* mémorise la liste dans son cache pour l'enrichir et vérifie si son adresse correspond à la destination.

- Si ce n'est pas le cas et s'il n'a pas déjà reçu le paquet, il consulte son cache :
 - si la route vers le nœud destination est présente, il transmet un paquet de réponse *RREP* (*Route REPLY*) vers la source ;
 - sinon, il fait suivre le paquet de découverte à ses voisins en rajoutant sa propre adresse à la liste : *RREQ*(*Src, Dest, List+N*).

- Si le nœud est la destination, il diffuse un paquet de réponse *RREP*.

Pour remonter le *RREP*, le nœud destination regarde dans son cache si une route vers la source est présente.

- Si une route existe, le nœud diffuse le paquet en utilisant à son tour l'algorithme de routage à la source (*source routing*).

- Si aucune route n'existe, deux cas peuvent se présenter :

- les liens sont bidirectionnels, la destination transmet le *RREP* en inversant la liste des nœuds donnée dans le *RREQ* ;

- les liens ne sont pas symétriques, la destination diffuse une recherche de route avec un nouveau *RREQ* en encapsulant (*piggyback*) le *RREP* : $RREQ(Src, Dest, RREP())$.

Les nœuds intermédiaires retransmettent le *RREP* en mémorisant également la liste dans leurs caches.

La *figure II.10.1* montre une découverte de route suivie par une réponse de la destination. Les nœuds recevant les *RREQ* de plusieurs voisins ne font suivre que le premier *RREQ* pour éviter les redondances.

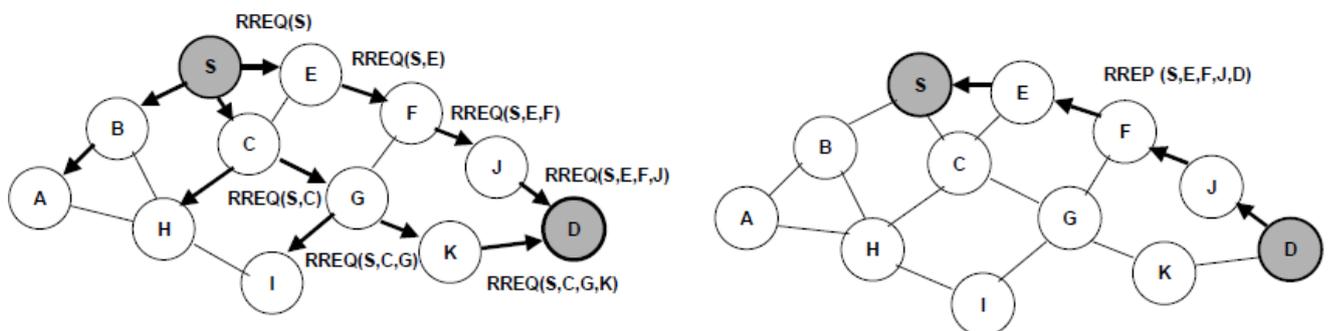


Figure II.10.1 : Exemple de découverte DSR.

b. Maintenance de route (route maintenance)

La maintenance de route est réalisée en utilisant des paquets d'erreur et des acquittements. Lorsqu'un nœud se trouvant sur la route empruntée par les données ne répond pas (*figure II.10.2*), après plusieurs tentatives de retransmission, un paquet d'erreur *RERR* contenant les adresses des deux extrémités du lien défaillant est généré vers la source.

Les nœuds en amont qui reçoivent le RERR suppriment le nœud en erreur de leur cache et toutes les routes contenant le lien défaillant sont modifiées en conséquence.

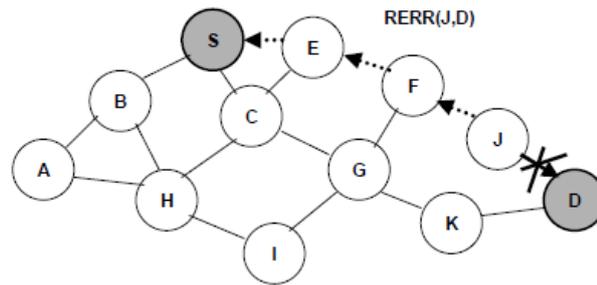


Figure II.10.2 : Exemple de rupture de lien DSR.

c. Performances

Le routage à la source permet de repérer immédiatement les boucles et de les éliminer. De plus, les nœuds apprennent dynamiquement les routes en scrutant les paquets *RREQ*, *RREP* ou de données qu'ils reçoivent ce qui évite une transmission périodique des mises à jour.

Par contre, *DSR* introduit une surcharge croissante dans chaque paquet de données qui contient le chemin complet vers la destination ainsi qu'un trafic inutile lié à la diffusion des paquets *RREQ* (un nœud donné reçoit inutilement un même *RREQ* de tous ses voisins).

Les liens asymétriques constituent un autre inconvénient majeur de ce protocole car dans ce cas, une nouvelle procédure découverte doit être initiée par la destination.

Par ailleurs, les caches n'intègrent pas de métriques pour minimiser la longueur des routes.

II.5.2.3 Le protocole de routage AODV [4]

AODV est un protocole de routage réactif, qui utilise un mécanisme de découverte de route inspiré de *DSR* et un algorithme de routage similaire à celui de *DSDV*. Une fois la route tracée, les nœuds qui ne se trouvent pas sur le chemin actif ne maintiennent aucune information de routage et ne participent à aucun échange de mise à jour.

Chaque nœud maintient une table de routage ayant une entrée par route active qui contient :

- l'adresse destination (*Dest*) ;
- le prochain nœud (*Next hop*);
- le nombre de sauts (*Hop Count*) ;
- le numéro de séquence attribué par la destination (*Dest_SN*) ;
- la liste des prédécesseurs (nœuds voisins auxquels une réponse *RREP* à été transmise et qui pourront être alertées en cas de rupture de lien en aval) ;
- un temporisateur d'expiration pour la route (réarmé dès qu'un paquet est reçue sur la route, son expiration rend la route obsolète et l'efface de la table) ;

a. Recherche d'une route (path discovery)

Un nœud qui n'a pas de chemin valide dans sa table pour une destination voulue diffuse à ses voisins un paquet *RREQ* qui contient :

- l'adresse de la source (*Src*) et de la destination (*Dest*) ;
- le numéro de séquence de la source (*Src_SN*) et de la destination (*Dest_SN*) ;
- le nombre de sauts (*Hop Count*) ;
- l'identifiant de la diffusion (*broadcast ID*) qui est incrémenté à chaque retransmission du *RREQ*.

Les nœuds suivants ignorent un *RREQ* déjà reçu (*Src* et *broadcast ID* identifient de manière unique une requête).

Sinon, chaque nœud atteint par un *RREQ* cherche une route dans sa table de routage pour la destination.

- S'il ne possède pas de route active assez récente (le *Dest_SN* reçu dans le *RREQ* est supérieur au *Dest_SN* mémorisé dans la table) le nœud diffuse le *RREQ* à son tour en incrémentant le nombre de sauts (en l'absence de réponse *RREP* au bout d'un certain temps, le nœud diffuse de nouveau le *RREQ* en incrémentant le *broadcast ID*).
- Sinon, il met à jour sa table de routage selon le *RREQ* reçu et renvoie un paquet de réponse *RREP* (*Route REPLY*) vers la source. Le *RREP* contient :
 - l'adresse de la source (*Src*) et de la destination (*Dest*) ;
 - le numéro de séquence de la destination (*Dest_SN*) ;
 - le nombre de sauts (*Hop Count*).

Les nœuds recevant en retour le *RREP* mettent à jour leur table et font suivre le paquet vers la source, qui commence à émettre ses données lorsqu'elle le reçoit le premier *RREP*. La source changera de route si un *RREP* reçu par la suite lui en apprend une meilleure (*Dest_SN* supérieur ou nombre de sauts inférieur). Pour maintenir la connaissance du chemin inverse et faire suivre un éventuel paquet *RREP*, les nœuds traversés lors de l'envoi du *RREQ* gardent en mémoire (pendant un temps basé sur le *Src_SN*) l'adresse du voisin ayant transmis la première copie du *RREQ*. De même, pour mémoriser le chemin direct, les nœuds traversés par un *RREP* maintiennent un pointeur vers le nœud d'où vient le *RREP*.

L'exemple suivant montre une découverte de route suivie par une réponse de la destination lorsque qu'aucun nœud intermédiaire n'a trouvé de route valide (dans ce cas, *Dest_SN* est mis à jour par D).

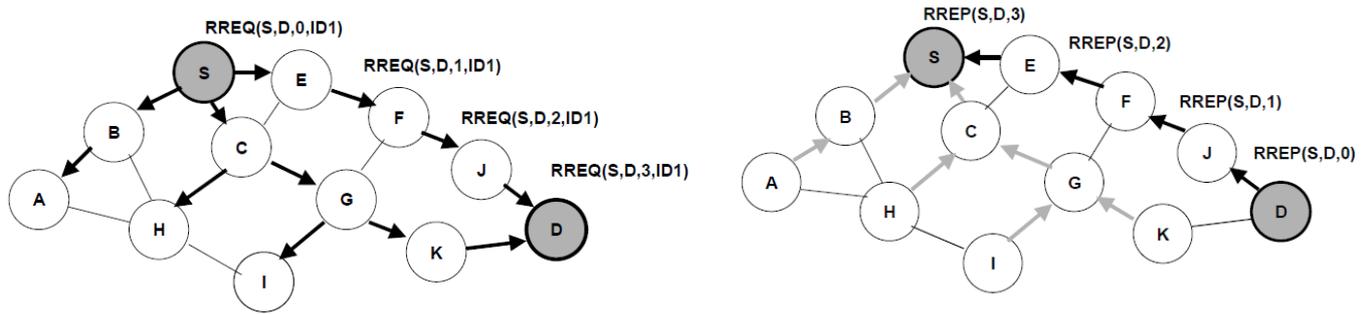


Figure II.11.1 : Exemple de recherche de route AODV.

b. Maintenance des routes (path maintenance)

Dans le cas du déplacement d'un nœud source, il suffit que celui-ci relance une procédure de découverte pour établir une nouvelle route.

La détection des ruptures de liens peut être réalisée à l'aide de messages spécifiques « *hello* » diffusés périodiquement d'un nœud vers ses voisins immédiats ou par l'écoute de la transmission d'un paquet de données sur le lien suivant.

Le nœud qui détecte une rupture de lien pour le nœud suivant d'une route active (ou qui reçoit un paquet de données à destination d'un nœud pour lequel il ne possède pas de route active) diffuse un message *RERR* (Route *ERR*or).

Les paquets *RERR* contiennent les informations suivantes :

- L'adresse (les adresses) de la (des) destination(s) inaccessible(s) (*Unreachable Dest*) ;
- le numéro de séquence de la destination inaccessible (*Unreachable Dest_SN*)
- le nombre de destinations inaccessibles (*DestCount*) ;

Les nœuds recevant un paquet *RERR* le diffuse à leur tour s'il provient d'un nœud en aval sur la route active.

Dans certains cas, si la rupture a lieu sur un lien pas trop éloigné de la destination (*nombre de sauts inférieur à une valeur prédéfinie*), le nœud situé en amont de la rupture du lien et qui a détecté celle-ci va d'abord tenter de réparer localement le lien en relançant un *RREQ* vers la destination. Si la réparation locale est effective (*au moins un RREP est reçu en retour*), le nœud averti les stations en amont avec un message *RERR* spécifique (*bit N de l'en-tête à 1*) pour que ces derniers n'effacent pas la route. Sinon, le message *RERR* standard est diffusé comme décrit précédemment.

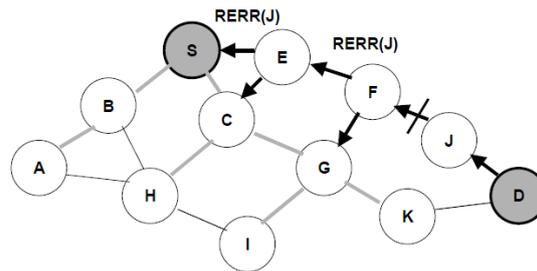


Figure II.11.2 - Exemple de rupture de lien AODV.

c. Performances

Comme pour *DSR*, les nœuds apprennent dynamiquement les routes à l'aide des paquets de découverte ce qui évite les messages systématiques de mise à jour des tables utilisés dans *DSVD*. *AODV* présente aussi l'avantage d'éliminer la surcharge due au routage par la source de *DSR*. Un fonctionnement multicast est également prévu.

Parmi les principaux inconvénients d'*AODV* :

- les liens doivent impérativement être symétriques ;
- le choix de la route la plus récente ne conduit pas forcément à la route optimale ;
- une seule route est gardée par destination, ce qui crée une latence lors de ruptures de liens ;
- une surcharge importante est générée par le recours fréquent à des phases de découvertes de routes, par la diffusion d'un même *RREQ* à un nœud donné et par l'utilisation éventuelle de messages *hello*.

II.5.2.4 Le protocole de routage SSR [1]

Le protocole "*Routage basé sur la Stabilité du Signal*" (*SSR : Signal Stability-based Routing*), est un protocole de routage réactif dont le choix des routes est basé sur la puissance du signal entre les nœuds, en plus de leur stabilité de localisation. Ce critère de sélection de routes fait que les chemins utilisés durant le routage des données ont une forte interconnexion.

Le protocole *SSR* inclut deux protocoles qui coopèrent entre eux : le Protocole de Routage Dynamique appelé *DRP (Dynamic Routing Protocol)*, et le Protocole de Routage Statique appelé *SRP (Static Routing Protocol)*. Le premier protocole, le *DRP*, utilise deux tables : une table de stabilité de signal *SST (Signal Stability Table)*, et une table de routage *RT*. La table *SST* sauvegarde les puissances des signaux des nœuds voisins, obtenues par l'échange périodique des messages avec la couche de liaison de chaque voisin. 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 l'entrée appropriée 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. Le paquet requête de route est envoyée une seule fois (*pour éviter le bouclage*), et uniquement aux voisins vers lesquels existe un lien de forte puissance. Le nœud destination choisit le premier paquet requête de route qui arrive, car il y a une grande probabilité pour que ce paquet ait traversé le meilleur chemin (*le plus court, le moins chargé, etc.*) existant entre la source et la destination.

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 destination prennent nécessairement le chemin de forte stabilité de signal car les nœuds de transit n'envoient pas de paquets à travers les liens de faible puissance de signal. Si la source expire son timeout 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 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.

❖ *Avantages et inconvénients des protocoles réactifs*

A l'opposé des protocoles proactifs, dans le cas d'un protocole réactif, aucun message de contrôle ne charge le réseau pour des routes inutilisées. Ce qui permet de ne pas gaspiller les ressources du réseau (*cela permet d'économiser de la bande passante et de l'énergie*). Mais la mise en place d'une route par inondation peut être coûteuse et provoquer des délais importants avant l'ouverture de la route.

II.5.3 Les protocoles hybrides [3]

Les protocoles de routage hybrides se présentent comme une alternative entre le routage proactif et le routage réactif. Il fait appel au protocole proactif pour apprendre le proche voisinage (*deux ou trois sauts*) et au protocole réactif pour la recherche de route.

II.5.3.1 Le protocole ZRP (*Zone Routing Protocol*) [4]

ZRP est un protocole de routage hybride et hiérarchique qui combine à la fois :

- une approche proactive à l'intérieur d'une zone restreinte, ce qui permet de mettre à jour l'état du réseau et de maintenir des routes qu'il y ait ou non des paquets de données qui circulent.
- une approche réactive entre les zones restreintes, qui ne détermine une route entre des nœuds périphériques que si le besoin de transmettre des paquets de données apparaît.

a. *Routage intra-zone :*

L'étendue d'une zone est définie par rapport à un nœud central. Tous les nœuds ayant une distance d'au plus r (*rayon de zone - zone radius*) par rapport à un nœud X est considéré dans la zone de routage de X .

Le routage à l'intérieur d'une zone est réalisé par un protocole proactif *IARP (IntraZone Routing Protocol)* basé sur un algorithme à état de lien ou à vecteurs de distance. Les nœuds ayant une distance de r sont des nœuds périphériques de la zone.

b. *Routage inter-zone :*

ZRP utilise dans ce cas un protocole réactif *IERP (IntErzone Routing Protocol)* pour trouver des chemins entre les zones. Les paquets de découverte de route sont propagés sur le même principe que pour *DSR*, mais les échanges entre zones se font uniquement au travers des nœuds périphériques.

La figure suivante donne un exemple de réseau utilisant ZRP. Le nœud S qui veut émettre teste la présence de la destination D .

Celle-ci n'est pas dans sa zone, S diffuse alors un paquet de requête *RREQ* vers ses nœuds périphériques B , C et F . Ce paquet est simplement relayé par les nœuds intermédiaires A et E grâce à un protocole spécifique de « *bordercast* ». Les nœuds B , C et F testent à leur tour la présence de D dans leur voisinage. Dans la négative, ils diffusent par « *bordercast* » vers leurs nœuds périphériques. Le nœud J périphérique de F , trouve D dans sa zone de routage et répond par un paquet *RREP* en indiquant le chemin à suivre : $S-F-J-D$.

Dans cet exemple, la route est spécifiée par la liste des nœuds accumulée lors de la requête et inversée lors de la réponse comme pour le protocole *DSR*.

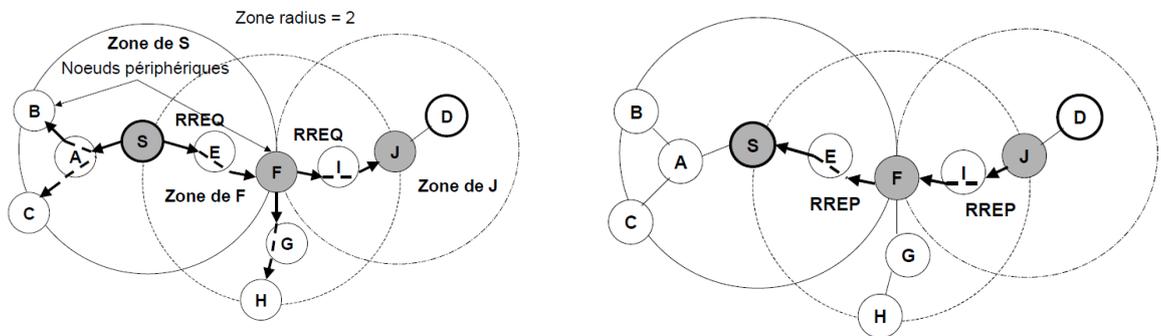


Figure II.12 : Exemple de routage ZRP.

c. Performances

L'organisation hybride et hiérarchique de *ZRP* permet d'exploiter les avantages des protocoles proactifs et réactifs. De plus, le rayon de zone peut être adapté en fonction de l'évolution ou de la mobilité.

Un autre avantage de *ZRP* est la possibilité d'obtenir de multiples réponses de route à partir d'un seul paquet de requête. La meilleure route en termes de nombres de sauts ou selon une autre métrique est ensuite sélectionnée par la source, ce qui augmente la fiabilité et les performances.

Les performances sont par ailleurs liées au protocole proactif qui n'est pas spécifié. Les changements de topologie dans une zone ne sont diffusés qu'aux voisins, alors qu'ils peuvent affecter plusieurs zones de routage. Une surcharge de trafic et des problèmes de diffusion peuvent enfin être occasionnés par le chevauchement des zones de routage (*des mécanismes de contrôle sont développés pour réduire le trafic*).

II.5.3.2 Le protocole ZHLS [3]

Le protocole *ZHLS* est un protocole hybride hiérarchique basé sur la décomposition d'un réseau en zone. Contrairement à la plupart des protocoles dits hiérarchiques, il n'y a pas ici de représentant pour chaque zone. La topologie d'un réseau est ainsi partagée en deux niveaux :

- Un niveau nœud indique la façon dont les nœuds d'une zone sont connectés entre eux physiquement. Un lien virtuel peut exister entre deux zones s'il existe au moins un nœud d'une autre zone.
- Un niveau zone qui renseigne sur le schéma de connexion des différentes zones.

Ces différents niveaux entraînent donc deux différents types de liens : les liens *inter-nœuds* et les liens *interzones*.

L'adressage mis en place consiste en un identifiant de zone, un identifiant de nœuds et l'utilisation de *LSP (Link State Packet)* pour l'état des liens. Deux classes de *LSP* sont possibles : celles orientées nœuds pour lesquels un nœud donne des informations sur son voisin et celles orientées zone.

❖ *Avantages et inconvénients des protocoles hybrides*

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

Conclusion

Le réseau Ad Hoc manifeste beaucoup de simplicité et assez d'avantages par rapport aux autres réseaux (filaires et cellulaires) par sa facilité de déploiement et son coût réduit. Cependant, les caractéristiques des réseaux ad hoc soulèvent de nouvelles problématiques qui sont spécifiques à ce type de réseau. Afin de satisfaire les besoins de toutes ces applications. En effet l'absence d'une infrastructure centralisée fait du routage dans les réseaux Ad Hoc un problème très compliqué.

Dans la deuxième section de ce chapitre nous avons abordé la notion et les problèmes de routage dans les réseaux Ad hoc. Comme nous avons vu, le problème de routage est loin d'être évident dans cet environnement, où ce dernier impose de nouvelles limitations par rapport aux environnements classiques. Les stratégies de routage doivent tenir compte des changements fréquents de la topologie, de la consommation de la bande passante qui est limitée, ainsi que d'autres facteurs.

Finalement, nous avons présenté une classification des protocoles de routage dans les environnements mobiles, avec quelques exemples pour les protocoles de routage proactif, réactif et hybride qui ont été conçus pour les réseaux Ad hoc. Chacune de ces techniques est adaptée à un type particulier de réseau caractérisé par des caractéristiques spécifiques tel que: la taille du réseau, la densité et la mobilité des nœuds ...etc. De manière générale, les protocoles réactifs et proactifs présentent des performances différentes selon les caractéristiques du réseau. Dans le cas d'un réseau dense ou lorsque différentes paires de

nœuds échangent fréquemment des données, un protocole réactif s'avère plus coûteux qu'un protocole proactif puisque la diffusion excessive de demandes de recherche de chemin concourt à une inondation/saturation du réseau. En revanche, un protocole réactif affiche de meilleures performances qu'un protocole proactif dès lors que le trafic généré par les nœuds est faible, puisqu'il ne surcharge pas inutilement le réseau par des vérifications continues de la localisation des nœuds.

CHAPITRE II

IMPLÉMENTATION

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter notre application qui simule deux protocoles de routage *DSR* et *AODV* sous le simulateur *SINALGO* à l'aide de la plateforme *Eclipse* sous *JAVA*.

1. Présentation de l'outil de simulation :

Sinalgo est une plateforme de simulation qui permet de tester et de valider a « *haut niveau* » des algorithmes distribués. Cette plateforme est écrite en *JAVA*. Elle est initialement dédiée aux protocoles pour réseaux de capteurs sans fil, mais nous l'utiliserons pour implémenter les protocoles de notre projet. Contrairement à la plupart des autres simulateurs de réseaux, qui passent plus de temps en simulant les différentes couches de la pile réseau, *Sinalgo* se concentre sur la vérification des algorithmes de réseau, et les résumés des couches sous-jacentes: Il offre un message passant vue du réseau, ce qui rend bien la vue de dispositifs de réseau réels.

De l'avis de *Sinalgo* des périphériques réseau est proche de la vision de périphériques réels (*par exemple dans TinyOS*): Un nœud peut envoyer un message à un voisin spécifique ou tous ses voisins, réagir aux messages reçus, les compteurs réglés à programmer des actions à l'avenir, et beaucoup plus.

Sinalgo nécessite que *Java 5.0* ou une version supérieure soit installé sur notre machine. Pour développer dans *Sinalgo* il est conseillé d'utiliser un environnement de développement intégré tel que *Eclipse*.

Ce logiciel a été développé par le groupe de l'informatique distribuée à *l'ETH Zurich*.

2. Interface graphique de L'application

2.1. Environnement Eclipse

Notre choix de la plateforme *Eclipse* est due parce que ce dernier présente l'environnement idéale pour l'exécution de notre projet parce qu'il s'adapte très bien avec le simulateur Sinalgo.

La fenêtre suivante montre une vue globale sur l'environnement de travail *Eclipse* :

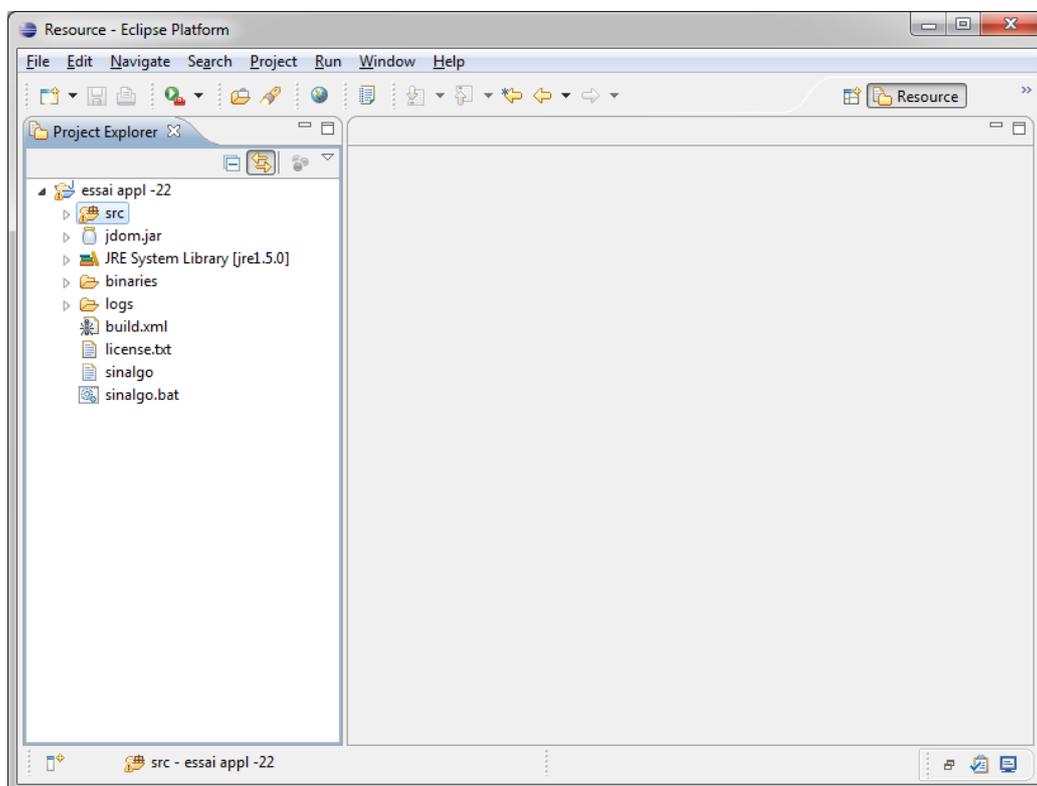


Figure III.1 : Environnement Eclipse

2.2. Structure de notre projet

La fenêtre suivante montre la structure de notre projet sur la plateforme *Eclipse*

Notre programme est composés de deux applications différentes l'une de l'autre la première présente le protocole *DSR* et la deuxième pour le protocole *AODV*.

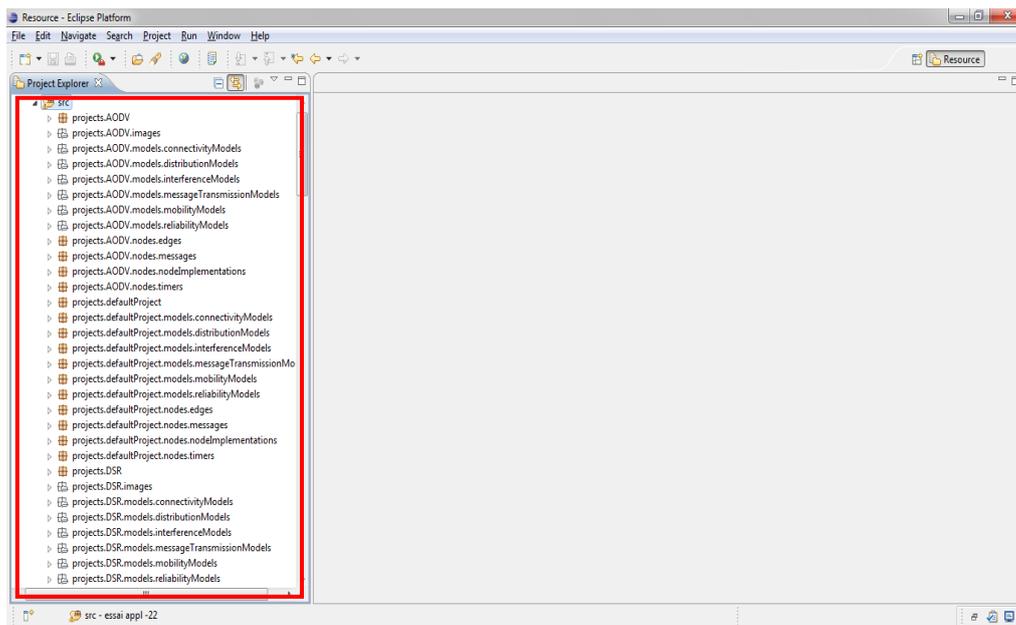


Figure III.2 : Structure de notre projet

2.3. Fenêtre de Sélection des Projets

La *Fenêtre de Sélection des Projets* englobe deux parties : partie gauche et la partie droite, la partie droite réservée à la configuration du projet contient trois onglets : le premier pour la description du projet, le deuxième pour la configuration de la plateforme et le dernier pour la configuration du projet. La deuxième partie contient les projets valables à simulés.

En premier lieu, l'utilisateur doit sélectionner le projet à simuler situer dans la partie gauche de la fenêtre, et en cliquant sur le bouton ok, une deuxième fenêtre (*Fenêtre Principale*) va apparaître.

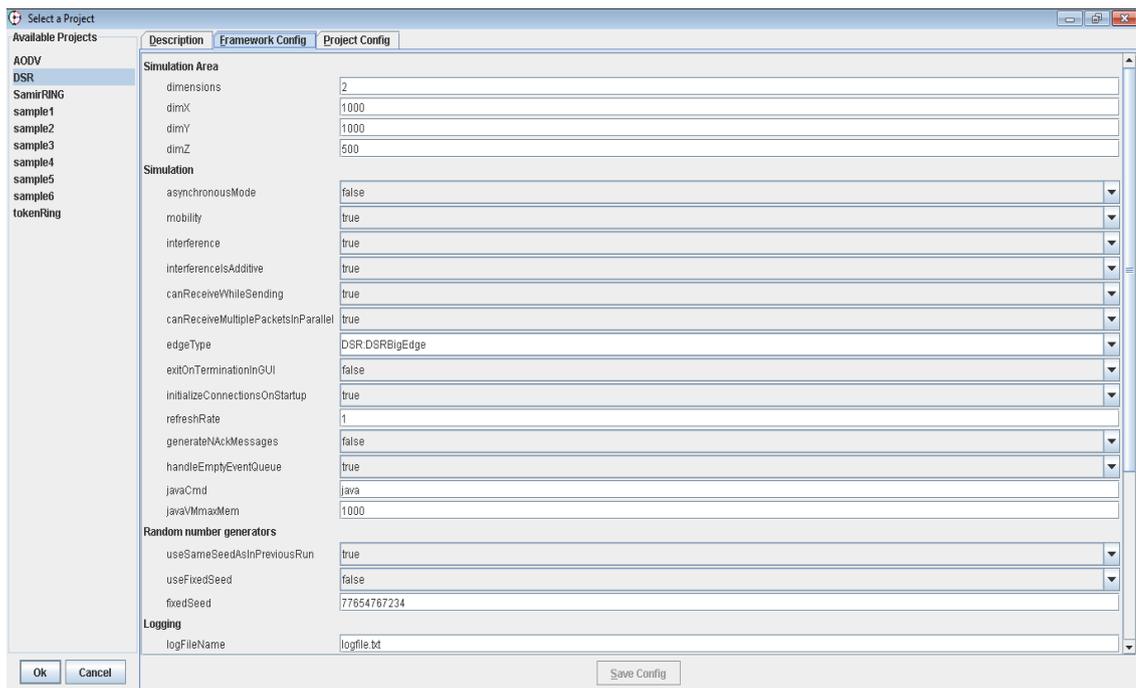


Figure III.3 : Fenêtre de Sélection des Projets

2.4. Fenêtre Principale

La fenêtre principale englobe deux parties : partie droite et la partie gauche, la première partie contient trois panneaux : panneau du *contrôle de simulation*, le panneau de *visualisation* d'animateur et le panneau de *Output* pour l'affichage. La deuxième partie contient un menu principale qui nous permet de lancer la simulation, consulter l'état globale du projet, régler la vision de notre simulation ou même avoir d'aide sur Sinalgo, cette partie englobe également un animateur (Scène) permettant de montrer la mobilité et les liens entre les nœuds générés et les scénarios de simulation.

Au début de simulation, l'utilisateur doit générer les nœuds à partir de : *Menu/Simulation/Generat Nodes* puis il doit saisir le nombre des nœuds mobiles à simuler, d'où les nœuds apparaissent dans l'animateur à des positions aléatoires, chacun portant un ID unique en suite il doit générer les liens entre les nœuds *Menu/Simulation/Reevaluate* cela permet de créer des groupes de nœuds connectés par des liens sur l'animateur.

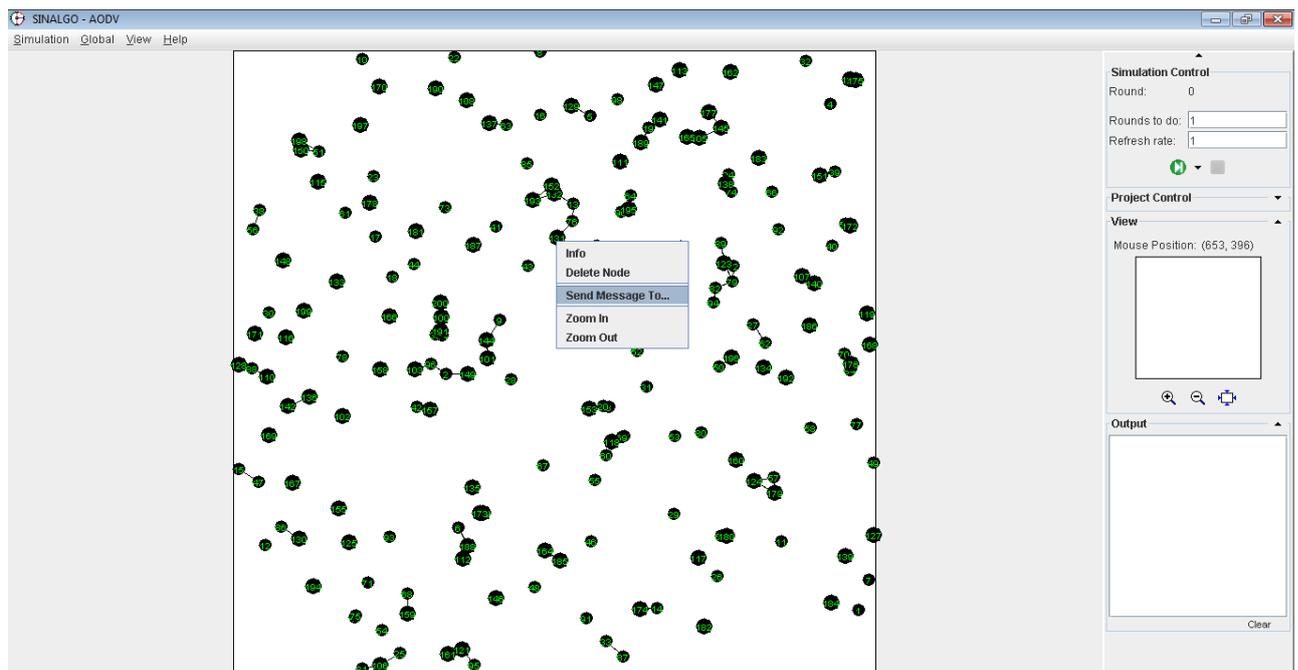


Figure III.4 : Fenêtre principale.

Le bouton *Run* permet de lancer la simulation en mode *automatique* ou en mode *manuel*, . Le simulateur offre pour chaque nœud une vitesse aléatoire. Le simulateur nous permet aussi de déplacer les nœuds manuellement via la souris.

Le bouton *Stop* permet d'arrêter momentanément arrêter la simulation en mode automatique

Pour commencer la simulation l'utilisateur doit sélectionner et cliquer par la droite de la souris sur un nœud membre dans un groupe puis choisir « *send message to* » cela lui permet de choisir le nœud de destination désiré il suffit de choisir ce dernier parmi les membre de même groupe du nœud expéditeur, et en cliquant sur le bouton *Run*, la simulation démarre.

Dans le panneau de *contrôle de simulation* apparaissent le nombre de rangs effectuer durant toute la simulation et dans le panneau *Output* en vois les nœuds sélectionnés au début du lancement de simulation.

3.1. Exemple de simulation AODV :

Dans ce qui suit l'utilisateur a choisis le protocole AODV dans la *Fenêtre de Sélection des Projets* pour effectuer la simulation il doit suivre les étapes suivantes :

Première étape :

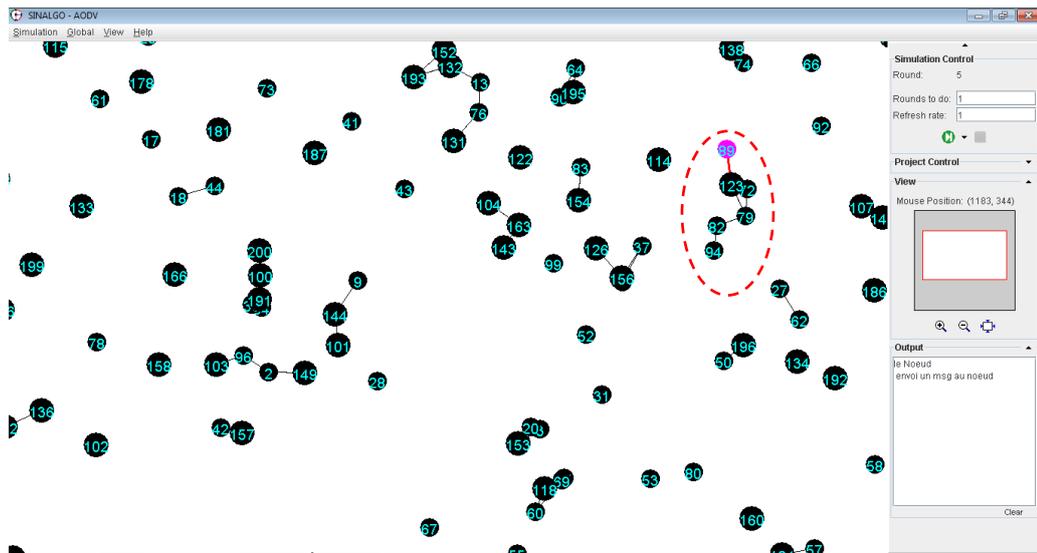


Figure III.5 : Simulation AODV l'émetteur envoi un RREQ.

Dans la première étape d'exécution de cet exemple, l'utilisateur a sélectionné le (*nœud 94*) comme émetteur pour envoyer une requête *RREQ* au (*nœud 89*) destinataire ce dernier a pris la *couleur Mauve* lorsqu'il a reçu le message.

Deuxième étape :

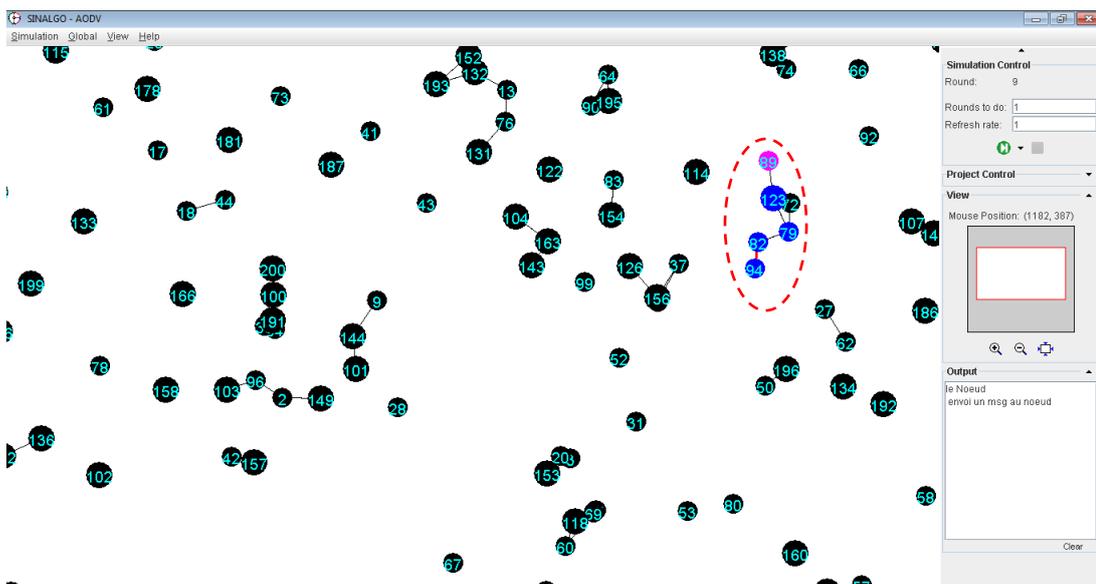


Figure III.6 : Simulation AODV repend avec un RREP.

Dans la deuxième étape d'exécution du même exemple précédent, le nœud destinataire (nœud 89) reprend l'émetteur (nœud 94) avec une requête *RREP* en faisant colorer les nœuds intermédiaires en *Blue*.

Troisième étape :

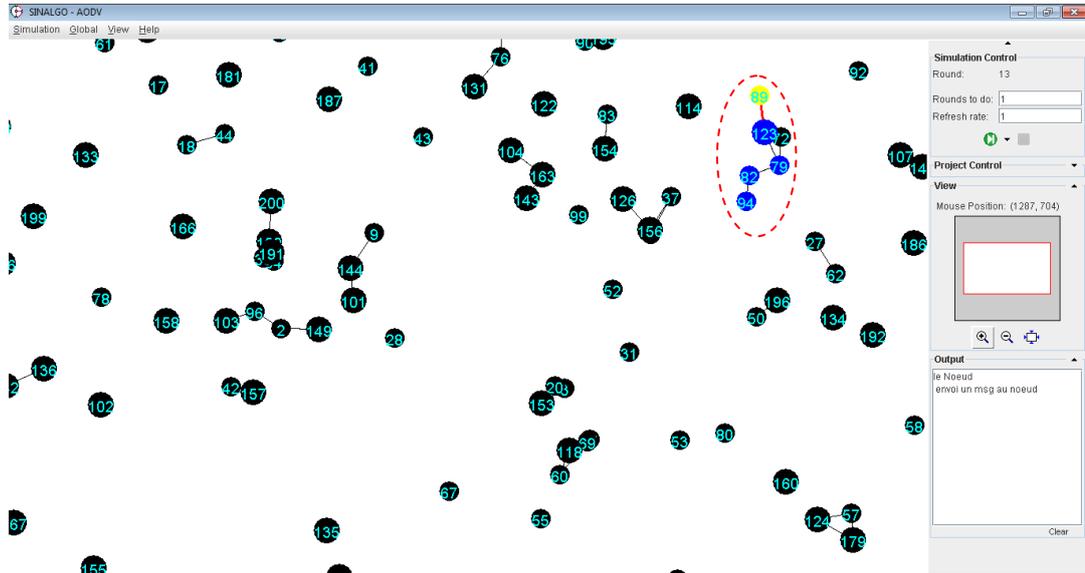


Figure III.7 : Simulation AODV l'émetteur envoi les Données.

Dans la troisième étape d'exécution de cet exemple, l'émetteur (nœud 94) envoi un *Message de Données* au nœud destinataire (nœud 89) qui a pris la couleur *Jaune* l'horse qu'il a reçu le message .

Quatrième étape :

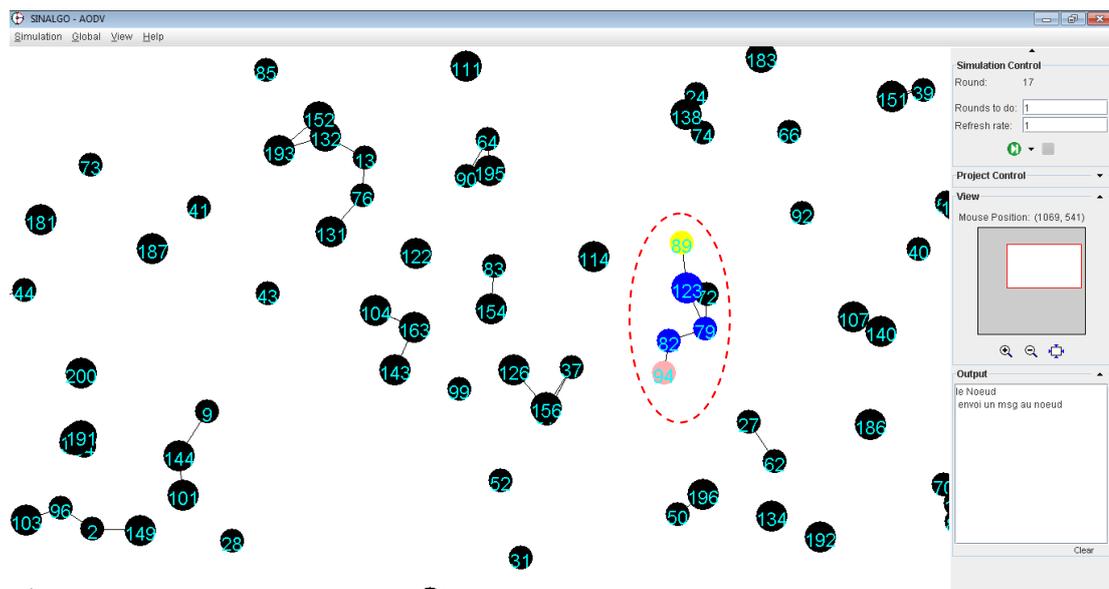


Figure III.8 : Simulation AODV le destinataire reprend avec un Ack.

Dans la quatrième étape d'exécution de notre exemple, le nœud destinataire (*nœud 89*) accuse le message de données reçu de l'émetteur (*nœud 94*) avec un *Ack* et prend la couleur *Rose*.

3.2 Exemple de Simulation DSR :

Dans ce qui suit l'utilisateur a choisi le protocole *DSR* dans la *Fenêtre de Sélection des Projets* pour effectuer la simulation il doit suivre les étapes suivantes :

Première étape :

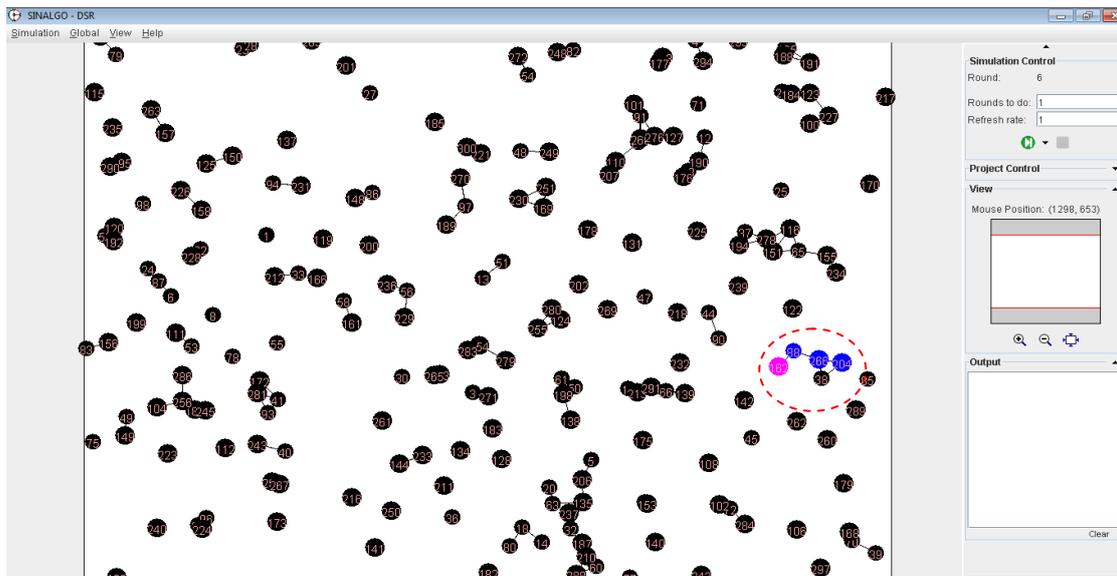


Figure III.9 : Simulation DSR le destinataire reçoit un *RREQ*.

Dans la première étape d'exécution de cet exemple, l'utilisateur a sélectionné le (*nœud 38*) comme émetteur pour envoyer une requête *RREQ* au destinataire (*nœud 162*) ce dernier a pris la couleur *Mauve* lorsqu'il a reçu le message.

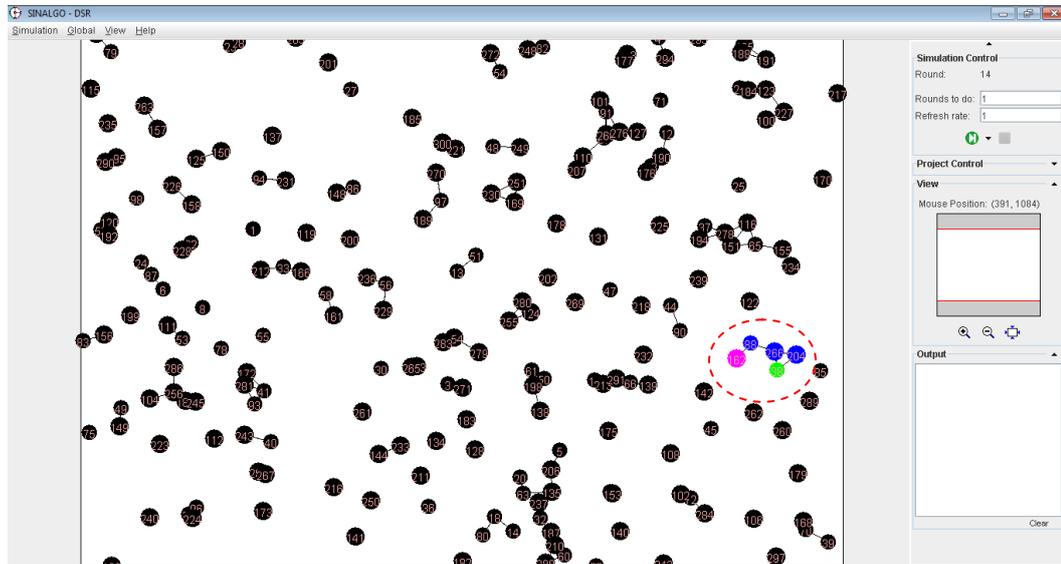
Deuxième étape :

Figure III.10 : Simulation DSR l'émetteur reçoit un RREP.

Dans la deuxième étape d'exécution du même exemple précédent, le nœud destinataire (nœud 162) reprend l'émetteur (nœud 38) avec une requête RREP en faisant colorer ce dernier en Vert.

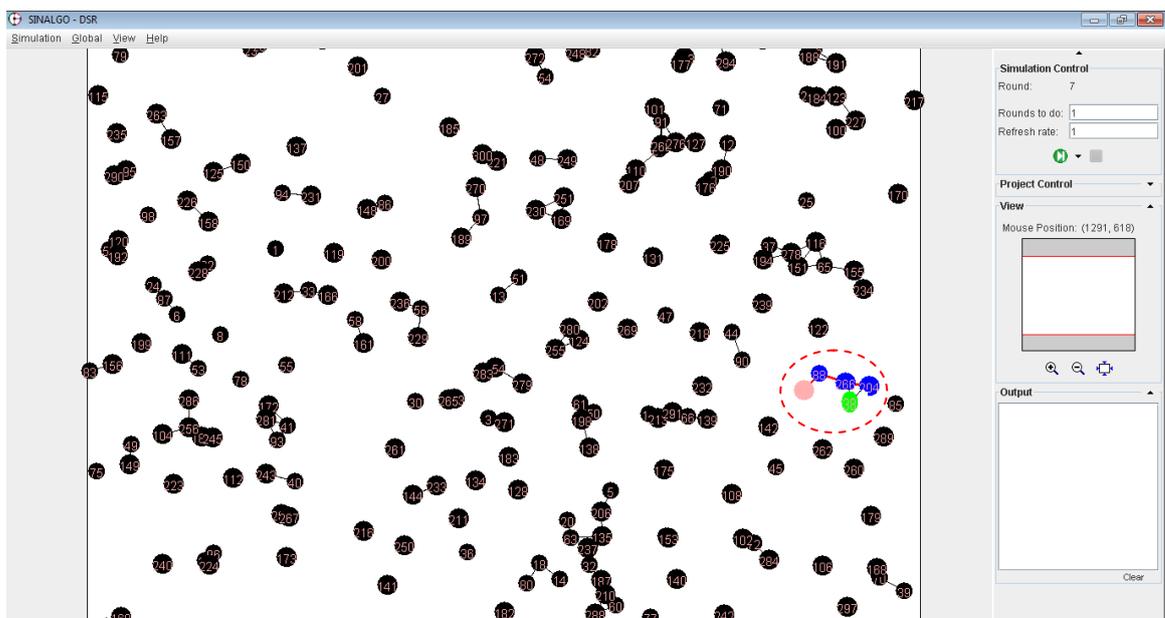
Troisième étape :

Figure III.11 : Simulation DSR le destinataire reçoit les Données.

Dans la troisième étape d'exécution de cet exemple, l'émetteur (*nœud 38*) envoie un *Message de Données* au nœud destinataire (*nœud 162*) qui a pris la couleur *Rose* l'horse qu'il a reçu le message .

Quatrième étape :

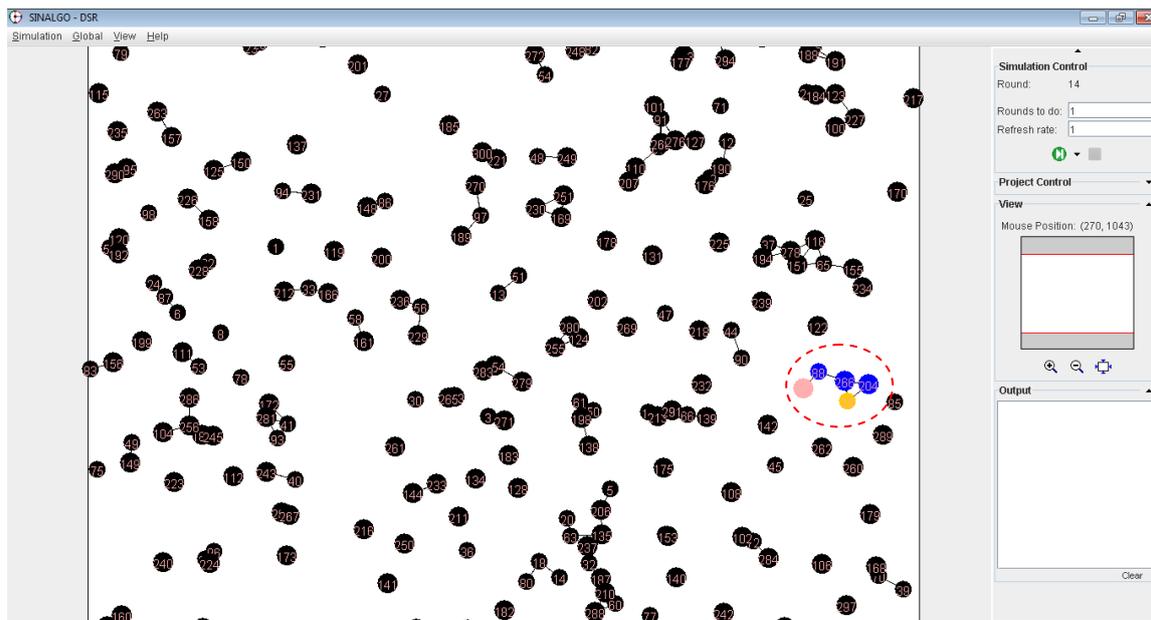


Figure III.12 : Simulation DSR l'émetteur reçoit un Ack.

Dans la quatrième étape d'exécution de notre exemple, le nœud destinataire (*nœud 162*) accuse le message de données reçu de l'émetteur (*nœud 38*) avec un *Ack* et prend la couleur *Orange*.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la simulation de deux protocoles de routage *Ad Hoc*, il s'agit de *AODV* et *DSR* l'un est basé sur le concept du routage à la source (*source routing*) et l'autre utilise un mécanisme de découverte de route inspiré de *DSR* et un algorithme de routage similaire à celui de *DSDV*. Pour se faire, nous avons utilisé une nouvelle plateforme de simulation *SINALGO* qui permet de tester et de valider à « *haut niveau* » des algorithmes distribués à l'aide d'*Eclipse* sous *JAVA* pour l'évaluation des performances.

Les résultats de simulation sont différentes et instables car ils dépendent généralement de la mobilité des nœuds de réseau.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Les réseaux informatiques sans fil se distinguent en deux catégories, les réseaux sans fil avec une infrastructure préexistante et fixe, et les réseaux sans fils sans infrastructure. Le premier modèle est généralement utilisé avec l'architecture cellulaire où chaque point d'accès est relié aux autres par l'infrastructure fixe et couvre une certaine zone appelée cellule. L'autre modèle est représenté par les réseaux *Ad Hoc* et étend les notions de mobilité à tous les éléments composant le réseau. Dans les réseaux *Ad Hoc*, tout équipement peut être mis à contribution pour acheminer des données qui ne le concerne pas et chaque nœud participe à une stratégie de routage afin que tous les nœuds puissent ensemble créer un réseau efficace. C'est pour cela que les protocoles de routages mis en œuvre dans les réseaux *Ad Hoc* ont une importance cruciale, il est impensable de vouloir créer un routage statique dans un environnement mobile et les protocoles de routages doivent être très réactifs à la dynamité du réseau. Cette étude a montré les différentes techniques utilisées par les protocoles de routages pour les rendre plus réactifs en consommant un minimum de bande passante. Ces protocoles sont divisés en deux catégories. Les protocoles de routage proactif qui tentent de maintenir à jour une représentation actuelle du réseau, et les protocoles de routage réactifs qui déterminent une route uniquement en cas de besoin. Il existe aussi les protocoles mélangeant les deux procédés, ce sont les protocoles de routage hybride. Cette étude montre qu'il existe de nombreux protocoles de routage pour les réseaux *Ad Hoc* ayant chacun leurs avantages et inconvénients, il n'existe pas de protocole meilleur que les autres mais certains sont plus adaptés que d'autres suivant les situations.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Nicolas DAUJEARD, Julien CARSIQUE. Rachid LADJADJ. (2002-2003). " *LE ROUTAGE DANS LES RESEAUX MOBILES AD HOC* ".
1
- [2] Nadjib BADACHE, P. p. (s.d.). " *Le routage dans les reseaux mobiles Ad hoc* ".
http://opera.inrialpes.fr/people/Tayeb.Lemlouma/Papers/AdHoc_Presentation.pdf
- [3] BOUZAHER, M. (s.d.). " *Mémoire APProche agent mobile pour l'adaptation des réseaux moboles ad hoc* ". univercité Mohamed Khider Biskra.
<http://dspace.univ-biskra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/3420/1/Approche%20agent%20mobile%20pour%20l%E2%80%99adaptation%20des%20r%C3%A9seaux%20mobiles%20ad%20hoc>
- [4] LOHIER, S. (2002). " *Routage QoS dans les réseaux ad hoc* ".
http://www.senouci.net/download/Stages/Rapport_Lohier.pdf
- [5] BEYDOUN, K. (2009). " *Conception d'un protocole de routage hierarchique pour les reseaux de capteurs* ".
HYPERLINK "http://lifc.univ-fcomte.fr/home/~hguyennet/These_beydoun.pdf" http://lifc.univ-fcomte.fr/home/~hguyennet/These_beydoun.pdf
- [6]
http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAAahUKEwiRzYiAkKHHAhWEVRoKHSs8As4&url=http%3A%2F%2Fdspace.univ-tlemcen.dz%2Fbitstream%2F112%2F5016%2F1%2FBalancement_de_charges_dans_les_reseaux_Ad_Hoc.pdf&ei=L_fJVdH5JISraav4iPAM&usg=AFQjCNFWwRQ7T8OyW5jwoiRs8hqxx2J-w
- [7] AYAD, K. (Novembre 2012). " *Sécurité du routage dans les réseaux ad hoc* ". Ecole nationale Supérieure en Informatique (ESI) ".
<http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAAahUKEwi0lbXak6HHAhWG0hoKHWIRAV4&url=http%3A%2F%2Fshare.esi.dz%2F170%2F1%2FS%25C3%25A9curit%25C3%25A9%2520du%2520routage%2520dans%2520les%2520r%25C3%25A9seaux%2520ad%2520hoc%2520mobile.pdf&ei=EvvJVbTEF4ala-KihPAF&usg=AFQjCNFFHEsGSvp5-3TvDPDezFXzmx0odA>
- [8] Zimanyi, P. E. (2006). " *Hybridation entre les modes ad-hoc et infrastructure dans les réseaux de type Wi-Fi* ". Université Libre de Bruxelles.
} <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/Van2006amastersthesis.pdf>
- [9] SADQI, Y., & ZAOUI, M. (2011). " *Les protocoles de routage mis en place DANS LE CADRE DE RESEAUX AD HOC mobiles (caractéristiques, comparaison)* ". Prof. Abdellah MASSAQ. <http://fr.slideshare.net/zaouimed/routage-adhoc>