



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENTS SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN -TIARET**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du  
diplôme de

**MASTER**

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Présenter Par :

**ABDELLAOUI Marouane**

Sur le thème

---

## **Protocole de Routage ad-hoc : Etude et simulation**

---

Soutenu publiquement le 11 / 07 / 2023 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BEKKAR	Khaled	Grade MAA Université Ibn Khaldoun	Président
Mr NASSANE	Samir	Grade MAA Université Ibn Khaldoun	Encadrant
Mr MOUSTEFAOUI	Kadda	Grade MAA Université Ibn Khaldoun	Examinateur

2022 -2023



# REMERCIEMENT

*Nous tenons d'abord à exprimer notre gratitude à Dieu tout puissant, qui nous a donné le courage et la volonté de mener à bien ce projet.*

*Nous exprimons aussi notre gratitude sincère à Monsieur « Nassane Samir » pour son soutien, son sérieux, sa patience, sa disponibilité et ses précieux conseils lors de notre Parcours de préparation de ce projet.*

*De plus, nous remercions les membres du jury pour avoir accepté de juger ce mémoire de fin d'étude.*

*Enfin, nous voulons exprimer notre gratitude à nos proches, amis, collègues et à tous ceux qui nous ont aidé à terminer ce travail.*

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes parents, à qui je dois tout. Qui m'ont aidé et soutenu durant tout mon parcours.*

*À mes frères et sœurs pour leur soutien durant ce parcours*

*À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin toutes au long de ce chemin*

# Table Des Matières

Introduction Générale.....	1
1 CHAPITRE I.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition d'un réseau WiFi :.....	3
1.3 Définition d'un réseau mobile ad hoc.....	3
1.4 Les réseaux sans fil :.....	4
1.4.1 Les réseaux sans fil avec infrastructure.....	4
1.4.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure (ad-hoc).....	4
1.5 Types de Réseaux ad-hoc.....	5
1.5.1 Réseaux ad-hoc.....	5
1.5.2 Réseau véhiculaire.....	5
1.5.3 Réseaux poste à poste ou Peer to Peer.....	6
1.5.4 Les réseaux personnels.....	6
1.5.5 Les réseaux de capteurs.....	6
1.5.6 Réseau maillé.....	7
1.6 Domaines d'application des réseaux ad hoc.....	7
1.6.1 Les opérations de recherche et de secours :.....	8
1.6.2 Les entreprises.....	8
1.6.3 Les gares et aéroports.....	8
1.6.4 Les applications militaires.....	9
1.6.5 Mise en œuvre des réseaux véhiculaires.....	9
1.6.6 Applications industrielles.....	9
1.7 Avantage des réseaux ad hoc.....	10
1.7.1 Pas de câblages.....	10
1.7.2 Déploiement facile.....	10
1.7.3 Mobilité.....	10
1.7.4 Cout.....	10
1.8 Inconvénient des réseaux ad hoc.....	10
1.8.1 Débit faible.....	10
1.8.2 Sécurité.....	10
1.8.3 La bande passante.....	10
1.8.4 Autonomie courte du terminal.....	11

1.8.5	Connectivité .....	11
1.9	Conclusion.....	11
2	CHAPITRE II .....	13
2.1	Introduction .....	13
2.2	Définition du routage .....	13
2.3	La difficulté du routage dans les réseaux ad hoc .....	13
2.4	Contraintes de routage dans les réseaux ad-hoc.....	14
2.5	Classification des protocoles de routage .....	14
2.5.1	Routage hiérarchique ou plat.....	14
2.5.2	Le routage à la source et le routage saut par saut.....	15
2.5.3	Routage a état de lien et a Vecteur de distance .....	15
2.6	Protocoles de routage ad hoc.....	16
2.6.1	Les protocoles de routage proactif .....	16
2.6.1.1	Le protocole DSDV (Destination Sequence Distance Vector) .....	17
2.6.1.1.1	Définition.....	17
2.6.1.1.2	Principe de fonctionnement.....	17
2.6.1.1.3	Composition d'un paquet de mise à jour .....	18
2.6.1.1.4	Avantage et inconvénients du protocoles DSDV .....	19
2.6.1.1.4.1	Avantage.....	19
2.6.1.1.4.2	Inconvénients.....	19
2.6.1.2	Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing).....	19
2.6.1.2.1	Définition.....	19
2.6.1.2.2	Description du protocole OLSR .....	19
2.6.1.2.3	Détection de voisinage.....	20
2.6.1.2.4	Sélection des Relais Multipoints .....	22
2.6.1.2.5	Déclaration des relais multipoints .....	22
2.6.1.3	Description des protocoles proactifs .....	23
2.6.2	Les Protocoles de routage Réactifs .....	24
2.6.2.1	Principe de fonctionnement .....	24
2.6.2.2	Le protocole ad hoc On demande Distance Victor (AODV).....	24
2.6.2.2.1	Découverte des routes.....	25
2.6.2.2.2	Entretien des routes .....	25
2.6.2.2.3	Avantages et inconvénients du protocole AODV.....	26
2.6.2.3	Le protocole Dynamic Source Routing (DSR) .....	26
2.6.2.3.1	Découverte de route.....	26

2.6.2.3.2	Maintenance des routes .....	27
2.6.2.4	Description des protocoles Réactifs .....	27
2.6.3	Les Protocoles de routage Hybride .....	28
2.6.3.1	Le protocole Zone Routing Protocol (ZRP).....	28
2.6.3.2	Le protocole Zone Based Hierarchical (ZHLS).....	28
2.6.3.3	Description des protocoles Hybride .....	29
2.6.4	Conclusion.....	29
3	CHAPITRE III.....	31
3.1	Introduction .....	31
3.2	Outils de simulation .....	31
3.2.1	OMNET++ .....	31
3.2.2	Caractéristiques clés d'OMNET++ .....	31
3.2.3	Installation .....	32
3.2.3.1	Prérequis .....	32
3.2.3.2	Procédure d'installation .....	32
3.2.3.3	Topologie et Paramètres de Simulation :.....	34
3.2.3.4	Simulation des protocoles AODV et DSDV :.....	36
3.2.3.4.1	Exécution du protocole AODV : .....	36
	Exécution du protocole DSDV .....	40
3.2.3.5	Résultats de la simulation .....	43
3.3	Conclusion.....	44

## Liste Des Figures

Figure 1.1 Exemple d'un réseau ad hoc.....	03
Figure 1.2: Exemple d'un réseau avec Infrastructure.....	04
Figure 1.3: Exemple d'un réseau sans Infrastructure.....	04
Figure 1.4: Exemple de changement de topologie d'un réseau ad-hoc.....	05
Figure 1.5: Exemple de réseau VANET.....	05
Figure 1.6: Exemple de réseau poste à poste.....	06
Figure 1.7: Exemple de réseau capteurs.....	07
Figure 1.8: Exemple de Réseau maillé.....	07
Figure 1.9: Domaines d'utilisation des réseaux ad hoc.....	08
Figure 1.10: Domaines d'utilisation des réseaux ad hoc.....	08
Figure 1.11: Exemple de gestion Des gares et aéroports.....	09
Figure 1.12: Exemple d'application militaire des réseaux ad-hoc.....	09
Figure 2.1 : Exemple routage dans les réseaux ad-hoc.....	13
Figure 2.2 Exemple de routage a plats.....	14
Figure 2.3 Exemple de routage hiérarchique.....	15
Figure 2.4: Description des protocoles de routage ad-hoc.....	16
Figure 2.5: Exemple de réseau utilisant le protocole DSDV.....	18
Figure 2.6: Exemple de protocole OLSR.....	20
Figure 2.7: Exemple d'Échange des messages HELLO.....	21
Figure 2.8: Exemple de format des messages HELLO.....	21
Figure 2.9: Exemple de sélection des relais multipoints.....	22
Figure 2.10: Exemple de Format du message TC.....	23
Figure 2.11: Exemple de Phase de découverte des chemins dans AODV.....	25
Figure 2.12: Exemple – Coupure de route et envoi du RERR.....	26
Figure 2.13: Exemple de découverte de route dans DSR.....	27



Figure 2.14: Exemple de Concept du protocole (ZRP).....	28
Figure 2.15 Exemple de Topologie niveau inter_zone et inter_nœud dans ZRP.....	29
Figure 3.1: Exemple de l'interface de l'OMNET++.....	32
Figure 3.2: ligne de commande OMNET++.....	32
Figure 3.3: Configuration de OMNET++ .....	33
Figure 3.4: installation de l'OMNET++.....	33
Figure 3.5: lancement de OMNET++.....	34
Figure 3.6: Topologie de Simulation (20Noeuds) .....	35
Figure 3.7: Topologie de Simulation (05Noeuds) .....	35
Figure 3.8: établissement de route entre la source et la destination.....	36
Figure 3.9: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.....	36
Figure 3.10 : établissement de route entre la source et la destination.....	37
Figure 3.11 changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.....	37
Figure 3.12 établissement de route entre la source et la destination. ....	38
Figure 3.13 changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.....	38
Figure 3.14: établissement de route entre la source et la destination. ....	39
Figure 3.15: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires .....	39
Figure 3.16: établissement de route entre la source et la destination. ....	40
Figure 3.17: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires. ....	40
Figure 3.18: établissement de route entre la source et la destination. ....	41
Figure 3.19: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires. ....	41
Figure 3.20: établissement de route entre la source et la destination. ....	42
Figure 3.21: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.....	42
Figure 3.22: établissement de route entre la source et la destination.....	43

## **LISTE DE TABLEAUX**

Tableau 2.1: Description des protocoles proactifs.....	23
Tableau 2.2: Description des protocoles réactifs.....	27
Tableau 2.3: Description des protocoles Hybride.....	29
Tableau 3.1: Scenarios de simulation.....	34
Tableau 3.2: Résultat de Simulation.....	43

# **LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS**

**Wi-Fi** : Wireless Fidelity

**AODV** : ad hoc On-demand Distance Vector.

**DSDV** : Destination Sequenced Distance Vector.

**OLSR** : Optimized Link State Routing.

**DSR** : Dynamic Source Routing

**ZRP** : Zone Routing Protocol

**VANET** : Vehicular AD-HOCNetwork.

**MANET** : Mobile AD-HOCNetwork.

**RREQ** : Route Request.

**RREP** : Route Reply.

**OMNET++** : Objective Modular Network Testbed in C++

**RERR** : Route Error

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**PAN** : Personal Area Network

**LAN** : Local Area Network

**MAN** : Metropolitan Area Network

**WAN** : Wide Area Network

**DBF** : discrete-time Distributed Bayesian Filtering

**TBRPF** : Topology Broadcast Protocol for Dynamic Networks

**TORA** : Temporally Ordered Routing Algorithm

**TC** : Topology Control.

# Introduction General

### Introduction Générale

Depuis l'expansion des outils informatiques, les technologies de télécommunication n'ont cessé d'évoluer. Ces outils ont permis aux chercheurs d'investir leur temps et leur ressource pour créer de nouvelles techniques de communication. Ainsi, on assiste à la naissance des réseaux sans fil, tels que WiFi, Bluetooth, WiMax. La majorité des appareils de nos jours dit connectés à savoir les PCs, les Stations de travail, les Smartphones voir même les appareils électro-ménager et les voitures électriques, sont tous équipés de l'un voir plusieurs de ces technologies ; chacune a sa propre utilisation, ces avantages ainsi que ces inconvénients.

Un réseau local sans fil est un ensemble appareils informatiques colocalisés qui forment un réseau basé sur des transmissions radio plutôt que sur des connexions filaires.

Les réseaux sans fil se distinguent en deux grandes catégories : ceux avec infrastructure et ceux sans infrastructure nommées ad hoc. Dans un réseau avec infrastructure, la communication se fait via une station de base fixe. Alors que dans un réseau mobile ad-hoc, les communications se font dynamiquement en l'absence de toute infrastructure de communication fixe, à l'aide des techniques de routage. Ces dernières assurent l'acheminement des données de la source vers la destination en suivant un chemin bien défini, tout en prenant compte des changements de topologie.

Pour ce faire, plusieurs protocoles ont été proposés. Chacun a pour objectif de maximiser les performances des réseaux tout en réduisant : le délai d'acheminement des paquets, et le taux de perte des données. Les protocoles de routage mobile ad-hoc se distinguent en trois catégories : Proactifs, Réactif, Hybrides.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons les réseaux mobiles ad-hoc; les concepts liés à ces environnements, leurs caractéristiques et domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre nous allons détailler le routage ad-hoc, en exposant ses différents protocoles ; à savoir : AODV, DSDV, DSR, OLSR, ZRP tout en expliquant leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs principaux avantages et inconvénients.

Dans le troisième chapitre, nous allons simuler deux protocoles de routage ; à savoir ; l'AODV et le DSDV, en utilisant le simulateur OMNET++. De plus, nous ferons une étude comparative entre eux, tout en se basant sur quelques métriques d'évaluation.

A la fin, Nous concluons ce mémoire par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Généralité sue les Réseaux ad-hoc

# CHAPITRE I

## 1.1 Introduction

Ces dernières années ont eu leurs lots d'innovation dans le domaine des technologies mobiles impliquant l'évolution des technologies de transmission sans fil proposant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine des réseaux de télécommunications en dehors des techniques traditionnelles filaires. Les réseaux ad-hoc proposent un nouveau type de technologie révolutionnaire en parallèle avec l'apparition des appareils portables (PC, Smartphone, Smart Watch...etc.) équipés de capteurs sans fil dans le but d'atteindre l'objectif ultime : "l'accès à l'information n'importe où et n'importe quand".

Dans ce premier chapitre nous allons présenter les réseaux locaux sans fil, plus particulièrement les réseaux ad-hoc, tout en citant leurs principales caractéristiques, leurs avantages et inconvénients ainsi que leurs domaines d'applications.

## 1.2 Définition d'un réseau WiFi :

Aussi connu sous l'appellation "IEEE 802.11b" [1], le WiFi est une méthode de connexion très intéressante offrant flexibilité et mobilité d'utilisation tout en restant relativement peu coûteux en termes de déploiement. Le WiFi propose des transmissions de 5.5 et 11 Mbits/s, pour une couverture de 50 à 100 mètres. La norme 802.11g [14] propose un débit de à 54 Mbp/s pour une fréquence de 2,4 GHz, de même pour la norme 802.11a [2] mais avec une fréquence de 5 GHz.

## 1.3 Définition d'un réseau mobile ad hoc

Un réseau ad hoc est un environnement mobile sans infrastructure, appelé généralement MANET (Mobile ad hoc Network), composé d'un ensemble de nœuds mobiles qui sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière où l'interconnexion entre eux peut changer à tout moment [3]. Les nœuds d'un réseau ad hoc sont équipés d'interfaces sans fil et communiquent directement entre eux sans aucune administration centralisée.

La figure 1.1 représente un exemple d'un réseau ad hoc.

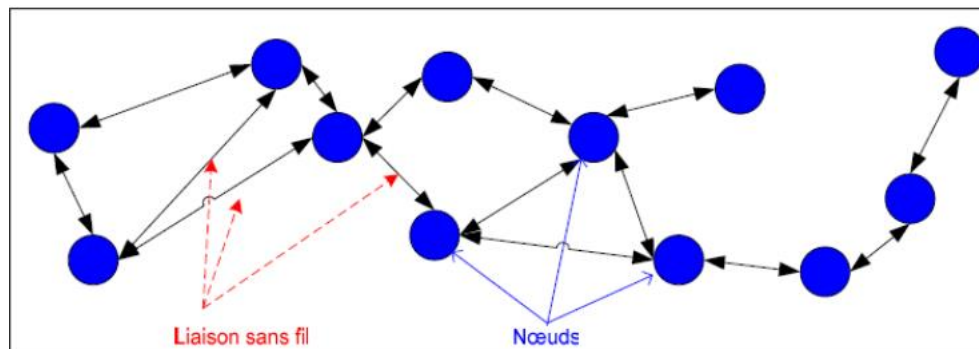


Figure 1.1: Exemple d'un réseau ad hoc

## 1.4 Les réseaux sans fil :

Les réseaux sans fil consistent en deux classes différentes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure [4, 5].

### 1.4.1 Les réseaux sans fil avec infrastructure

Un réseau avec infrastructure est constitué d'un ensemble de stations de base interconnectées par un réseau filaire. Ces stations de base sont des points d'accès utilisés par les hôtes mobiles dans le processus de communication (voir la figure 1.2).

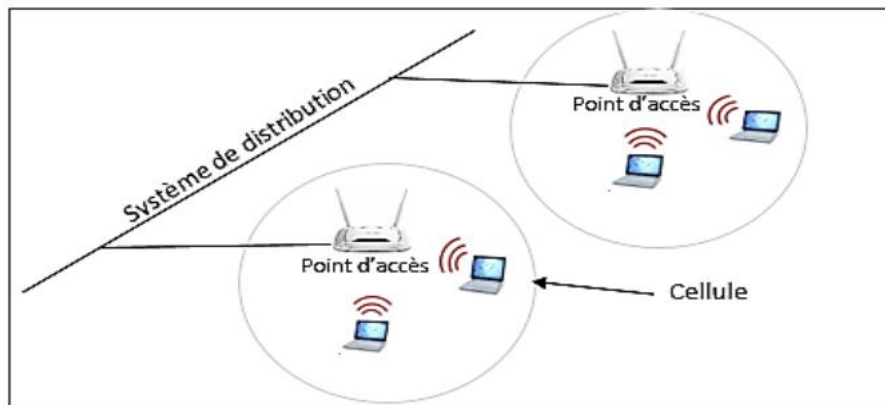


Figure 1.2: Exemple d'un réseau avec Infrastructure

### 1.4.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure (ad-hoc)

Les réseaux ad-hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par l'absence d'infrastructures fixe ou d'administrateur centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables de l'établissement et de la maintenance de la connectivité du réseau d'une manière continue (voir la figure 1.2).

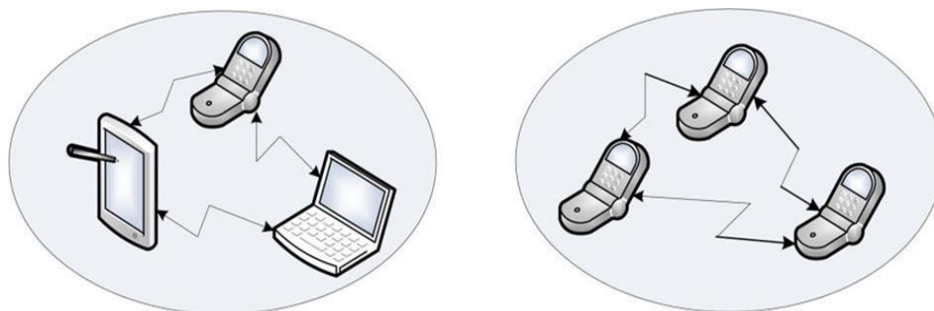


Figure 1.3: Exemple d'un réseau sans Infrastructure [8]



## 1.5 Types de Réseaux ad-hoc

### 1.5.1 Réseaux ad-hoc

Un réseau mobile ad-hoc ou MANET (Mobile ad-hoc Network), est caractérisé par l'absence d'infrastructure où la gestion de réseau est distribuée sur l'ensemble des nœuds. Ces derniers se déplacent librement engendrant un changement aléatoire de la topologie [8].

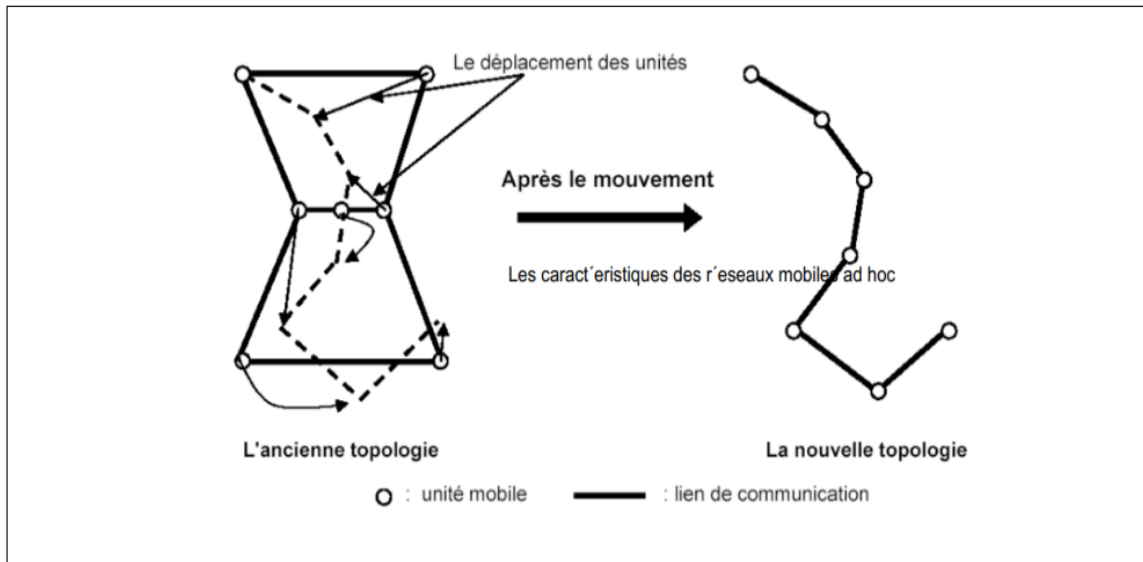


Figure 1.4: Exemple de changement de topologie d'un réseau ad-hoc [11]

### 1.5.2 Réseau véhiculaire

Un réseau véhiculaire ou (Vehicular ad hoc Network) utilise des véhicules qui communiquent entre eux à l'aide des transmissions sans fil ad hoc, dans le but d'améliorer grandement la sécurité des conducteurs, de régulariser le flux de trafic et d'éviter en conséquence la congestion du réseau routier [17].

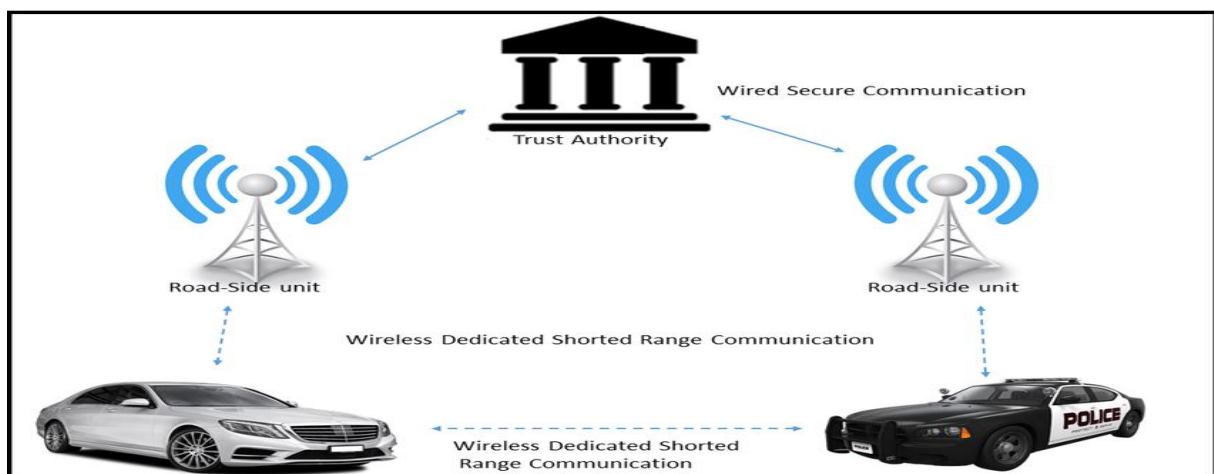


Figure 1.5: Exemple de réseau VANET [13]

### 1.5.3 Réseaux poste à poste ou Peer to Peer

Ce sont des réseaux décentralisés où leur fonctionnement se déroule entre les différents utilisateurs dont les appareils sont à la fois client et serveur [18].

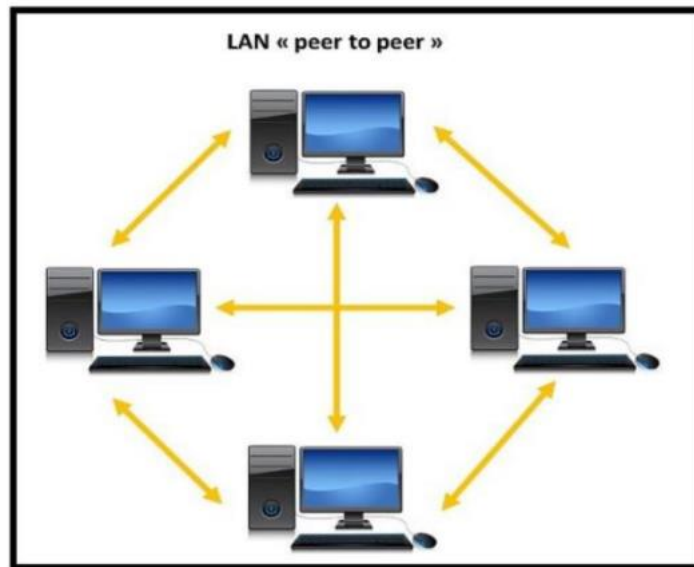


Figure 1.6: Exemple de réseau poste à poste [18]

### 1.5.4 Les réseaux personnels

PAN (Personal Area Network) sont des équipements informatiques à utilisation restreinte notamment utilisés dans un cadre civile personnel (Domicile, Voiture...etc.) ou dans un environnement de travail professionnel (Bureau, Laboratoire...etc.). Les réseaux PAN utilisent un ensemble de technologie sans fil, tels que le Bluetooth, l'infrarouge (IR) ou le Zigbee (la norme 802.15.4) [11].

### 1.5.5 Les réseaux de capteurs

Ce sont des réseaux ad-hoc composée de plusieurs nœuds ayant la capacité de collecter des unités physiques mesurable tels que la chaleur, les vibrations ou fluctuation, l'humidité, ...etc. Ces capteurs sont généralement disposés aléatoirement dans des zones à haut risque pour mesurer les différents changements de la zone. Les mesures capturées sont envoyées vers des stations de base muni d'espace de traitement et de stockage plus conséquent agissant comme des passerelles entre ces capteurs et leur utilisateur final [20, 11], voir la Figure 1.7.

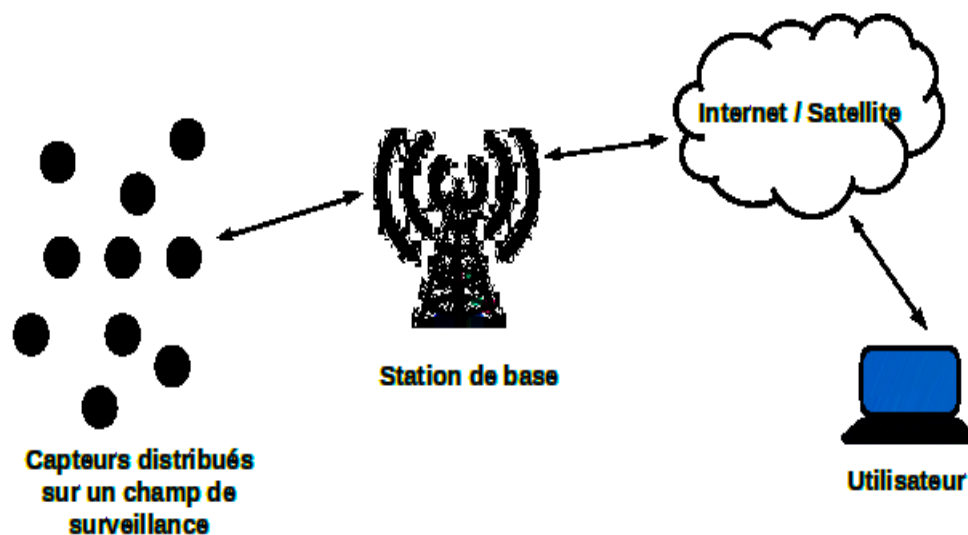


Figure 1.7: Exemple de réseau capteurs [19]

### 1.5.6 Réseau maillé

Les réseaux maillés ou mesh sont basés sur le concept de communication multi-saut où la gestion est totalement distribuée. Ils sont constitués de nœuds radio organisés dans une topologie maillée et ayant la capacité de se connecter directement sans hiérarchie [21, 22], voir la Figure 1.8.

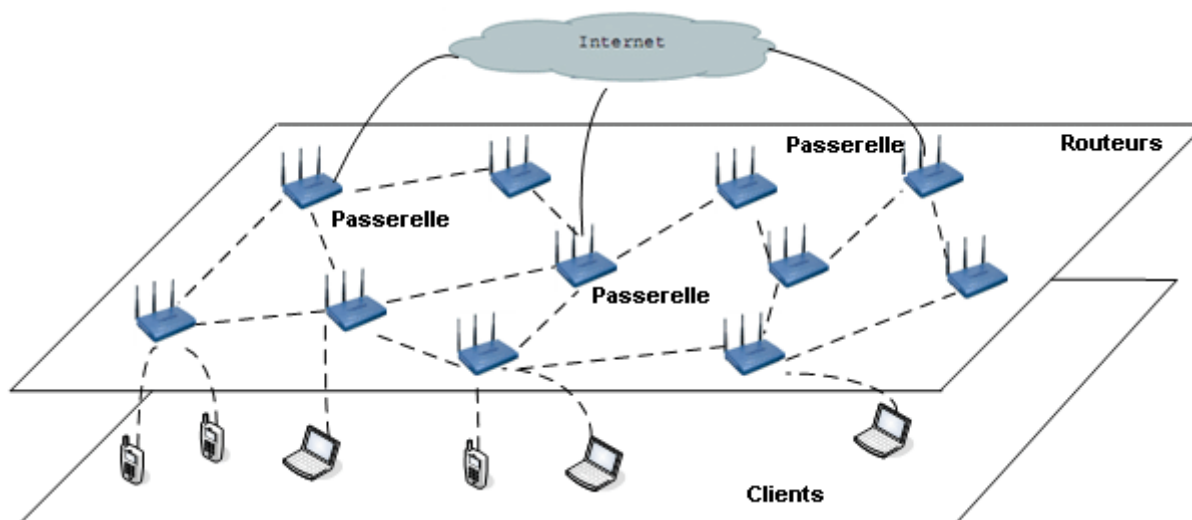


Figure 1.8: Exemple de Réseau maillé [19]

### 1.6 Domaines d'application des réseaux ad hoc

Les domaines d'application des réseaux ad-hoc sont divers grâce à leur rapidité et facilité de déploiement dans les environnements difficiles à câbler, voir la Figure 1.9.

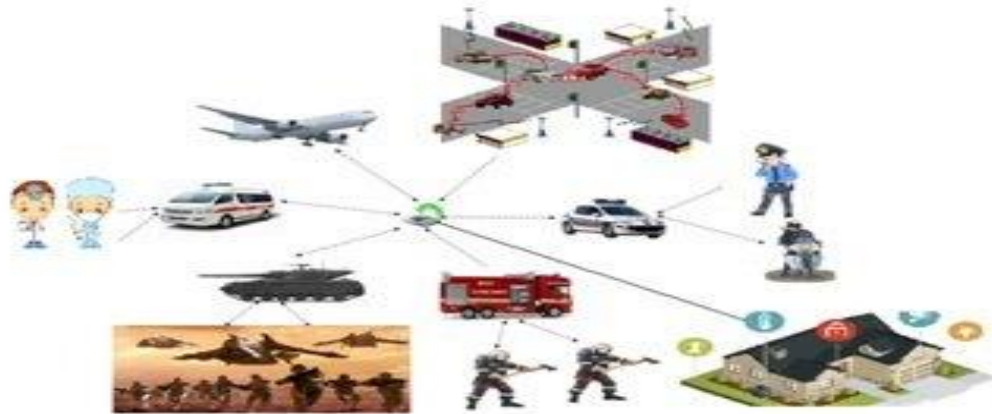


Figure 1.9: Domaines d'applications des réseaux ad hoc [24]

### 1.6.1 Les opérations de recherche et de secours :

En cas de catastrophe naturelle ou d'accident les réseaux ad-hoc sont déployés pour effectuer une analyse de la zone à l'aide de capteurs pour cartographier et envisager des scénarios de sauvetage [25].

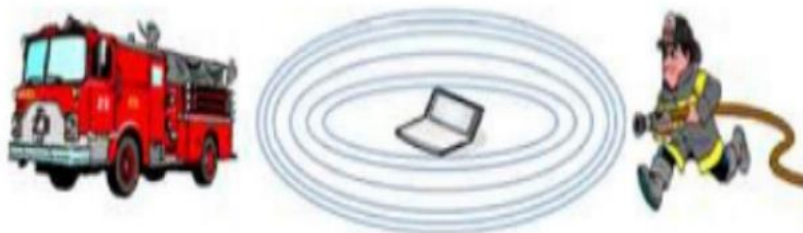


Figure 1.10: Domaines d'utilisation des réseaux ad hoc [11]

### 1.6.2 Les entreprises

Dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence pour assurer la connectivité et disponibilité du réseaux lors de colloque ou conférence international [11].

### 1.6.3 Les gares et aéroports

Pour la communication et la collaboration entre les membres du personnel et ainsi assurer la gerabilité et bon déroulement des vols et escales aérienne [26], voir la Figure 1.11.

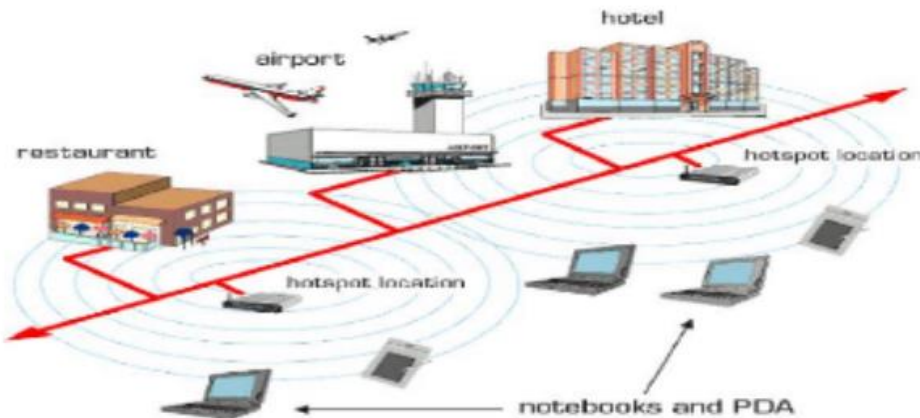


Figure 1.11: Exemple de gestion Des gares et aéroports [11]

### 1.6.4 Les applications militaires

Pour assurer les communications dans les champs de bataille entre les différents bataillons [27], voir la Figure 1.12.

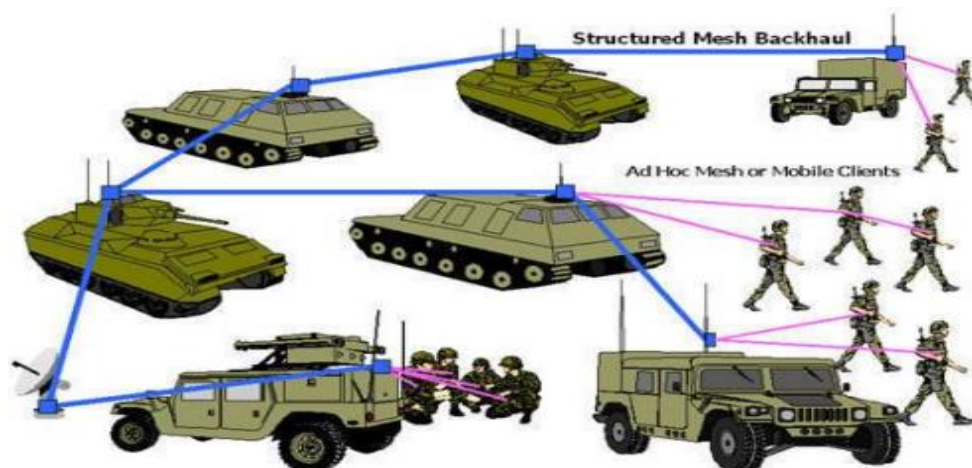


Figure 1.12: Exemple d'application militaire des réseaux ad-hoc [28]

### 1.6.5 Mise en œuvre des réseaux véhiculaires

Dans les réseaux routiers, les véhicules circulants ont éventuellement besoin de communiquer entre eux ou avec leur environnement dans le but de réguler le trafic. Les réseaux ad-hoc offrent sont une solution adéquate [29].

### 1.6.6 Applications industrielles

Dans le domaine industrielle les réseaux ad hoc sont fortement sollicités pour le monitoring des équipements et machines industrielles où l'erreur humaine est potentiellement dangereuse [25].

## 1.7 Avantage des réseaux ad hoc

### 1.7.1 Pas de câblages

L'absence de câblage est la caractéristique la plus importante dans les réseaux ad hoc. Elle permet de surpasser les pannes physiques causées par les câbles [30].

### 1.7.2 Déploiement facile

L'absence du câblage permet un déploiement facile et rapide. Cette facilité minimise considérablement les coûts et le temps d'installation [30].

### 1.7.3 Mobilité

L'absence d'infrastructure fixe offre aux nœuds du réseau la possibilité de se déplacer librement à condition de ne pas s'éloigner trop les uns des autres pour garder une meilleure connectivité [30].

### 1.7.4 Coût

Le déploiement d'un réseau ad hoc ne nécessite pas d'installer des stations de base. Les terminaux mobiles sont la seule entité physique à configurer [31].

## 1.8 Inconvénient des réseaux ad hoc

### 1.8.1 Débit faible

Les ondes radio ne permettent qu'un débit faible comparé aux réseaux filaires puisque, l'air étant un support moins fiable et soumis aux bruits parasites, le taux d'erreur sur l'interface air est nettement plus important que sur les liens filaires [32, 33].

### 1.8.2 Sécurité

Ce qui est difficile à contrôler, notamment parce que sur l'interface air l'écoute clandestine constitue une faille de sécurité importante et très simple à réaliser [32, 33].

### 1.8.3 La bande passante

Tous les nœuds connectés partagent la même bande passante ce qui affecte sa disponibilité [34].

### 1.8.4 Autonomie courte du terminal

La faible autonomie des batteries constitue un frein à une utilisation longue du terminal et à la mise en place de nouveaux services qui requièrent des calculs longs et complexes [32, 33].

### 1.8.5 Connectivité

Deux stations ne peuvent se joindre que s'il existe un ensemble de terminaux pouvant assumer la fonction d'acheminement des données entre ces deux stations, ce qui limite davantage la connectivité [31].

## 1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les réseaux mobiles ad-hoc. Nous avons cité de nombreuses caractéristiques liées à ce type d'environnement, tel que l'absence d'infrastructure et la mobilité, qui offrent des avantages et des atouts considérables. Cependant, ce type de réseaux souffre de nombreux défauts dont le plus important est le problème de routage.

Dans le deuxième chapitre, nous allons dévoiler en détail les principaux protocoles de routage proposés dans ce domaine par la communauté scientifique.

## Chapitre II

# Routage dans les réseaux Mobiles

## Ad-hoc



## CHAPITRE II

### 2.1 Introduction

Dans un réseau ad hoc, l'opération de routage est cruciale car elle assure l'échange de données entre nœuds mobiles en se basant sur des protocoles adaptés.

Dans ce chapitre, nous abordons, en premier lieu, les principes fondamentaux du routage. En second lieu, nous présentons certains protocoles de routage créés spécialement pour ce type de réseaux. En dernier lieu, nous exposons une comparaison entre ces différents protocoles en se basant sur des paramètres bien définis.

### 2.2 Définition du routage

Afin de réaliser des communications multi-sauts entre des nœuds distants. Le routage est l'une des principales activités des réseaux ad hoc. Le routage est une technique permettant d'acheminer des informations vers l'emplacement prévu via un réseau de connexions donnée [35].

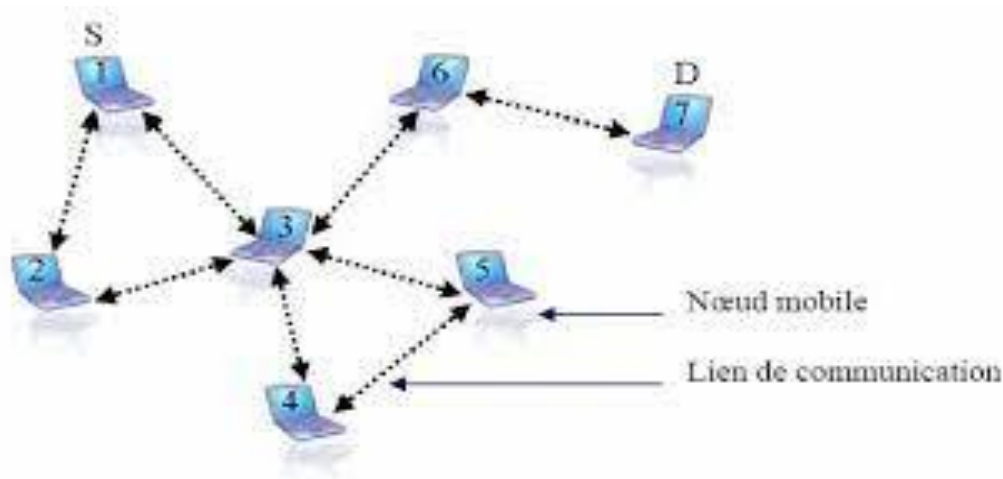


Figure 2.1: Exemple routage dans les réseaux ad-hoc[36]

### 2.3 La difficulté du routage dans les réseaux ad hoc

Étant donné qu'un réseau ad hoc est constitué d'un ensemble de nœuds dispersés de manière aléatoire et dynamique, l'interconnexion entre les nœuds est susceptible de changer à tout moment. Il est possible qu'un hôte de destination se trouve en dehors de la portée de communication d'un hôte source, auquel cas un routage interne utilisant des nœuds intermédiaires est nécessaire pour transmettre des paquets de données au destinataire prévu. En effet, la problématique qui se pose dans le cadre des réseaux ad hoc est l'adaptation de la méthode de routage au changement constant de la topologie [37].

## 2.4 Contraintes de routage dans les réseaux ad-hoc

Afin d'assurer le support de la topologie dynamique et la mobilité des réseaux ad hoc. Certaines contraintes doivent être prises en compte lors du déploiement de ces protocoles de routage, à savoir [38] :

- **Distribution Total** : les pannes des routes doivent être bien gérées par ces protocoles.
- **Administration réseau minimale** : les paquets de contrôle dans un protocole de routage doivent être aussi peu nombreux que possible.
- **Le temps de latence** : l'augmentation des temps de latence est proportionnée à l'augmentation de la connectivité du réseau.
- **Conservation de ressources** : les protocoles doivent exploiter efficacement les ressources limitées telles que le temps de traitement du terminal, la puissance de calcul et la bande passante.
- **Sécuriser les données** : en employant des défenses contre toutes les attaques potentielles sur un réseau ad-hoc, il est possible d'éviter les attaques par déni de service et les comportements gourmands en ressources.

## 2.5 Classification des protocoles de routage

De nombreuses classifications ont émergé pour résoudre le problème du routage ad hoc[39].

### 2.5.1 Routage hiérarchique ou plat

- **Routage à plat** : L'AODV est l'un des protocoles qui utilisent cette stratégie. Dans ce style de routage, les nœuds sont similaires et l'envoi des données d'un nœud à un autre dépend de leurs positions. Un exemple de routage plat est illustré dans la figure suivante [40].

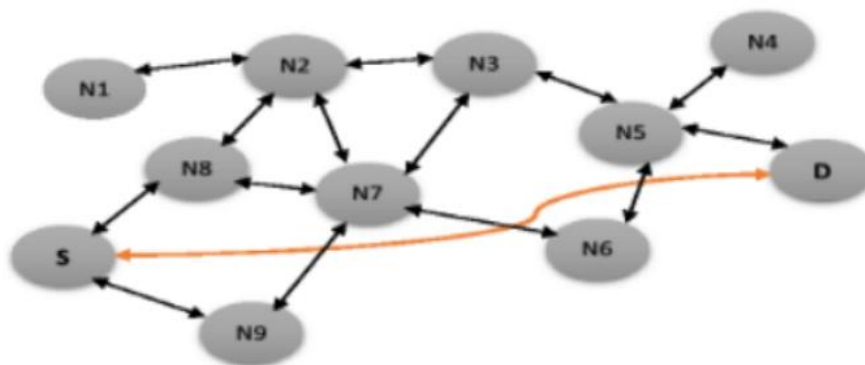


Figure 2.2: Exemple de routage à plats [40]

- **Routage hiérarchique** : Chaque nœud racine de cette méthode attribue des rôles spécifiques aux nœuds feuilles dans le but de trouver un bon chemin. Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds soient atteints [40].

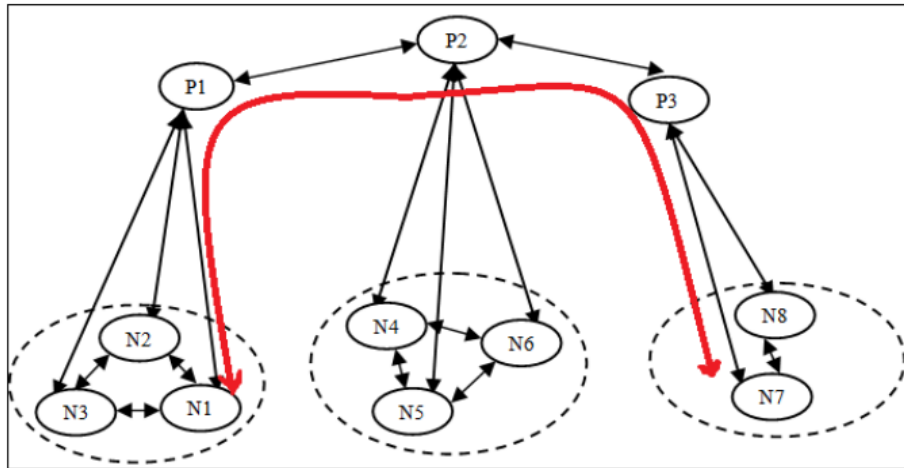


Figure 2.3: Exemple de routage hiérarchique [41]

### 2.5.2 Le routage à la source et le routage saut par saut

- **Le routage à la source** : Dans ce type de routage, la liste des différents nœuds relayeurs vers la destination doit être incluse dans le paquet à envoyer. Le protocole le plus connu qui utilise ce principe est le DSR [42].
- **Le routage saut par saut** : dans ce type de routage, les paquets transmis ne contiennent que l'adresse du prochain nœud qui mène vers la destination. L'AODV est l'un des protocoles qui adoptent cette technique [42].

### 2.5.3 Routage à état de lien et à Vecteur de distance

Ce type de routage repose sur deux techniques clés : construire des routes et les entretenir régulièrement tout en acheminant les données. Il existe trois grandes familles de routage : le routage à vecteurs de distance, le routage à état de liens, et le routage hybride [11].

- **Routage à Etat de liens** : Sur la base des données recueillies sur l'état des liens dans le réseau, la famille des protocoles d'état de liens est construite. Périodiquement, le réseau distribue ces informations, permettant aux nœuds de créer et rafraîchir leurs tables de routage. Les trois principaux protocoles de routage qui appartiennent à cette classe sont TORA, OLSR et TBRPF [41].

- **Routage a vecteur de distance** : Le principe de base de ce type de routage est le partage des données de distance des voisins. Chaque nœud diffuse à ses voisins une liste des endroits qu'il peut atteindre et leurs coûts associés. Le nœud récepteur rafraîchit à peu de frais sa liste locale de destinations. S'il y a un changement dans la distance minimale entre deux nœuds, le calcul est répété jusqu'à ce que le réseau trouve un état stable. Les protocoles les plus connus sont : AODV et DSDV [11].
- **Routage hybride** : Ce type de routage comprend des éléments d'état des liens et de routage à vecteur de distance. En utilisant le concept de découpage du réseau, cette solution combine les avantages des deux méthodes précédentes [11].

## 2.6 Protocoles de routage ad hoc

Il existe trois types de protocoles de routage ad hoc : proactif, réactif et hybride.

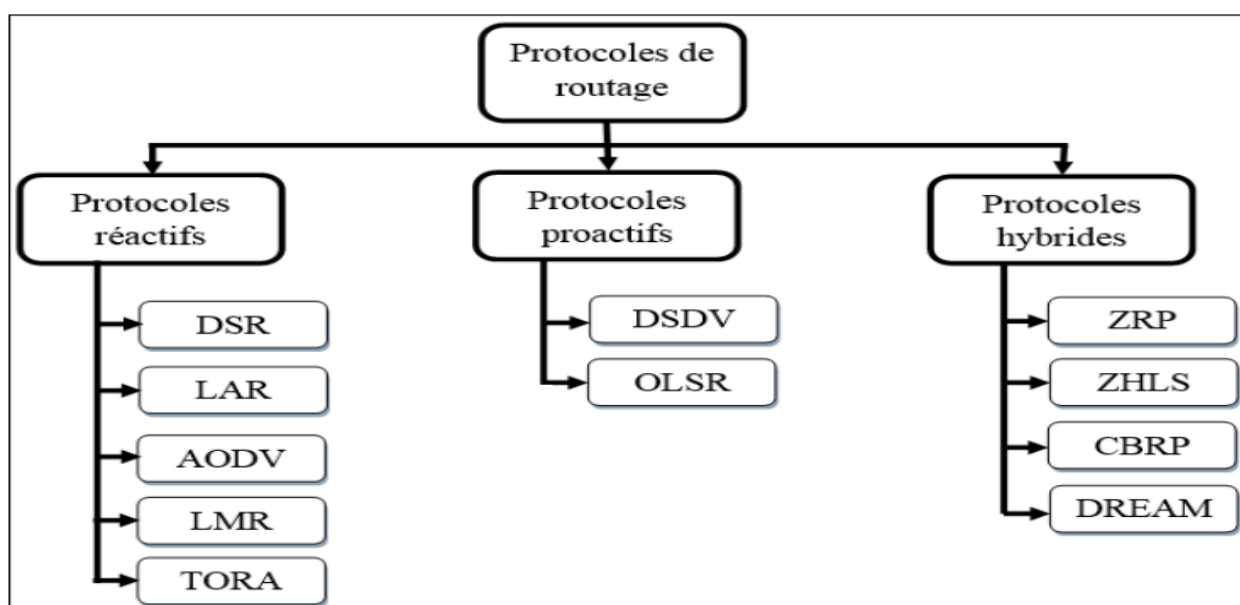


Figure 2.4: Description des protocoles de routage ad-hoc[44]

### 2.6.1 Les protocoles de routage proactif

Les protocoles de routage proactif sont construits sur la même base que les techniques de routage de réseau filaire. La méthode d'états des liens et la méthode de vecteurs de distance sont les deux approches de base. Ces deux techniques visent à conserver, au niveau de chaque nœud du réseau, les meilleurs chemins déjà en place vers toutes les destinations (qui peuvent représenter l'ensemble de tous les nœuds du réseau). Même lorsqu'ils ne sont pas utilisés, les itinéraires sont conservés [45]. L'échange constant de messages de mise à jour de chemin, qui entraîne un niveau de contrôle excessif, en particulier dans le cas de grands réseaux, assure la protection persistante des chemins de routage. Cette méthode accélère le processus de demande d'itinéraire, bien qu'elle puisse être gourmande en bande passante en raison de la transmission régulière de messages de contrôle, en particulier dans les réseaux comportant de nombreux nœuds [11].

### 2.6.1.1 Le protocole DSDV (Destination Sequence Distance Vector)

#### 2.6.1.1.1 Définition

- Une version modifiée de l'algorithme de Ford distribué par Bellman, DSDV est un protocole de vecteur de distance. Chaque nœud de réseau a une table de routage avec une entrée pour toute destination possible. Cette entrée comprend les données suivantes :
- Le nœud voisin qui doit être utilisé pour se rendre à cet emplacement.
- Un numéro envoyé par le nœud de destination qui peut être utilisé pour faire la distinction entre les nouvelles et les anciennes routes.
- La quantité de sauts nécessaires pour arriver à cet emplacement (nœuds intermédiaires).

Chaque nœud du réseau envoie périodiquement une inondation de paquets de mise à jour qui contient des tables de routage avec des destinations accessibles, le nombre de sauts nécessaires pour atteindre chaque destination et le numéro de séquence associé à chaque route. Pour diffuser les informations de routage aussi rapidement que possible, des paquets de mises à jour sont également diffusés instantanément chaque fois que la topologie du réseau change [47].

#### 2.6.1.1.2 Principe de fonctionnement

Le protocole DSDV [46] fonctionne de manière similaire aux algorithmes à vecteur de distance dans ses principes fondamentaux. L'utilisation de numéros de séquence, qui empêchent la génération de données qui se chevauchent, est la principale contribution du protocole DSDV. Un nœud sélectionne le paquet de mise à jour avec le plus grand numéro de séquence lorsqu'il reçoit plusieurs paquets de mise à jour concernant le même nœud de destination.

Lorsqu'un lien se rompt, un nœud génère un paquet de mise à jour avec un nombre infini de séquences possibles. Chaque nœud supprime l'entrée correspondant à sa table de routage après avoir reçu ce paquet [46].

Chaque nœud vérifie le contenu d'un paquet de mise à jour par rapport aux données déjà présentes dans sa table de routage. Les routes les plus récentes avec la Distance la plus courte (et le plus grand numéro de séquence) sont maintenues, tandis que les plus anciennes sont simplement ignorées [47].

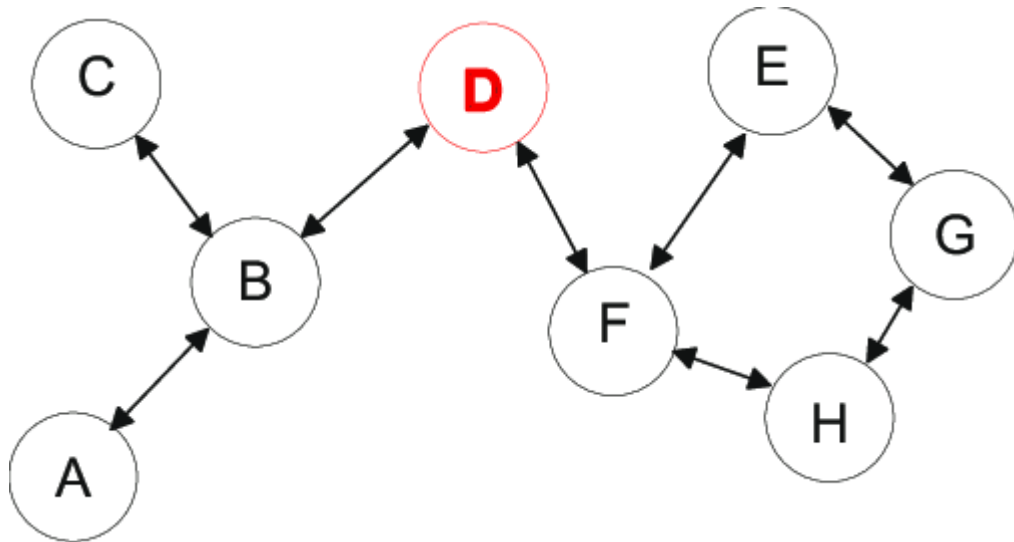


Figure 2.5: Exemple de réseau utilisant le protocole DSDV d'après [67].

Les tables de routage sont mises à jour régulièrement et immédiatement après un changement de topologie pour garantir la cohérence. Il existe deux types de mises à jour utilisées pour réduire le trafic créé par ces mises à jour [48].

- Mises à jour complètes (full dump) : Chaque nœud du réseau diffuse l'intégralité de sa table de routage à l'ensemble de ses voisins lors de cette mise à jour périodique, qui nécessite la livraison de nombreux paquets de données [48].
- Les mises à jour incrémentales (incremental updates) : seules les entrées qui ont changé depuis la dernière mise à jour sont transmises dans les mises à jour incrémentales, comme l'émergence d'un nouveau voisin, la perte d'un nœud, etc. Une autre façon de réduire le trafic réseau consiste à faire en sorte que les nœuds retardent leurs rapports de mise à jour du temps moyen nécessaire pour identifier le chemin le plus court vers une destination donnée [48].

#### 2.6.1.1.3 Composition d'un paquet de mise à jour

- Contient l'adresse de destination du paquet
- Le nouveau numéro de séquence qui a été augmenté.
- Le nombre de nœuds (ou sauts) se situant entre le nœud et sa destination
- Le numéro de séquence tamponnée par la destination.

#### 2.6.1.1.4 Avantage et inconvénients du protocoles DSDV

##### 2.6.1.1.4.1 Avantage

- Il convient aux réseaux ad hoc avec peu de nœuds.
- Les mises à jour incrémentielles permettent d'éviter un trafic supplémentaire.
- Il assure des parcours sans boucles.
- DSDV ne conserve pas la trace des différents chemins vers la destination dans la table de routage.

##### 2.6.1.1.4.2 Inconvénients

- Le routage multiple n'est pas pris en charge par DSDV.
- Pour un réseau plus grand, la maintenance d'une table de routage est difficile.
- La largeur de la bande est gaspillée en raison d'une publicité inutile sur les informations de chemin.
- La batterie est épuisée par la mise à jour fréquente des tables de routage requises par DSDV.

#### 2.6.1.2 Le protocol OLSR (Optimized Link State Routing)

##### 2.6.1.2.1 Définition

Pour les réseaux sans connexion fixe, le Optimized Link State Routing est une technique de routage proactif basée sur l'état des liens. Ce protocole a été choisi comme l'un des principaux protocoles de routage pour les réseaux ad hoc [50].

##### 2.6.1.2.2 Description du protocole OLSR

Le protocole OLSR utilise des échanges de messages HELLO récurrents pour introduire ces voisins à 1 saut et 2 sauts à chaque nœud. En raison de l'utilisation de relais multipoints MPR, OLSR utilise une distribution optimale des messages de contrôle. Cela permet à chaque nœud de voir la topologie et d'utiliser un algorithme du plus courts chemin pour trouver la route la plus courte vers toutes les destinations possibles [50].

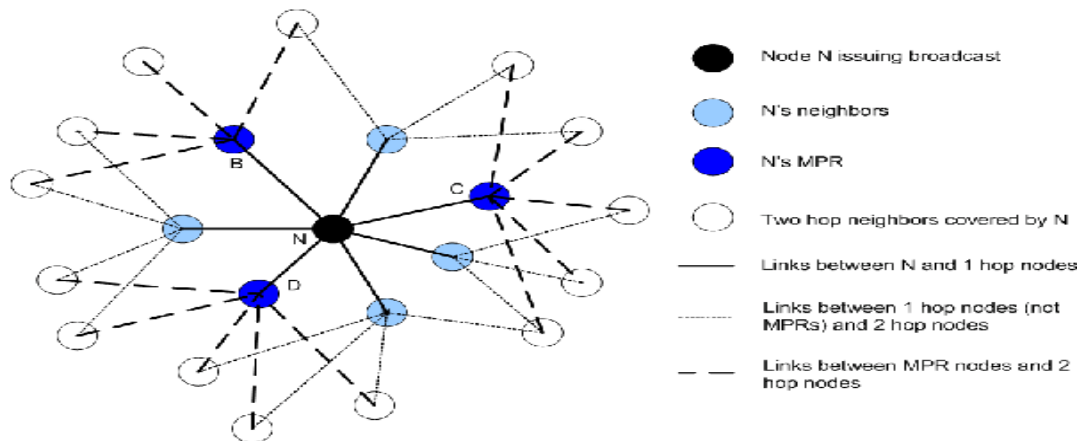


Figure 2.6: Exemple de protocole OLSR.

Dans le secteur civil, des applications supplémentaires ont été faites. Avec l'évolution rapide d'OLSR, de nombreuses extensions du protocole sont en cours de développement. Pour illustrer [51] :

- PS-OLSR : OLSR avec économiseurs d'Energie
- MOLSR : OLSR avec multidiffusion
- SOLSR : OLSR avec sécurité
- QOLSR : OLSR avec qualité de service (QoS)

### 2.6.1.2.3 Détection de voisinage

La topologie des réseaux ad hoc est dynamique et en constante évolution. Le protocole OLSR est principalement basé sur la détection et la mise à jour de la liste des voisins de chaque nœud afin d'identifier tout changement dans le réseau et de créer des informations sur la topologie. La section suivante suppose que chaque nœud possède une seule interface sans fil [51].

Les connexions entre deux nœuds peuvent être divisées en trois groupes.

- **Asymétrique** : Lorsqu'un nœud reçoit des messages d'un autre nœud mais qu'aucun nœud n'a reçu la confirmation que l'autre nœud l'a entendu, le lien est dit asymétrique.
- **Perdu** : Si une relation a été une fois déclarée symétrique ou asymétrique mais a ensuite disparu au même moment, on dit que le lien est perdu.
- **Symétrique** : Si les deux nœuds peuvent s'entendre, une liaison est dite symétrique [51]

Chaque nœud diffuse périodiquement des messages HELLO à tous ses voisins dans le but d'identifier d'autres nœuds dans la zone. Ces messages incluent des détails sur les nœuds qui sont à proximité, les nœuds qui sont sélectionnés comme MPR



(c'est-à-dire, l'ensemble MPRSelector) et les nœuds de liste que ce nœud a désignés comme asymétriques.

La procédure de découverte des voisins entre les nœuds A et B est illustrée dans la figure 2.6. Le nœud envoie d'abord à B un message HELLO sans information. Parce que B ne peut pas localiser son adresse dans le message, il enregistre A comme voisin asymétrique lorsqu'il reçoit ce message. Par la suite, le Node B transmet un message HELLO confirmant son écoute du Node A. Ce dernier localise son adresse dans la communication et enregistre B comme voisin symétrique. B revendique alors cette dernière personne comme son voisin après avoir découvert son adresse dans le message HELLO de A [51].

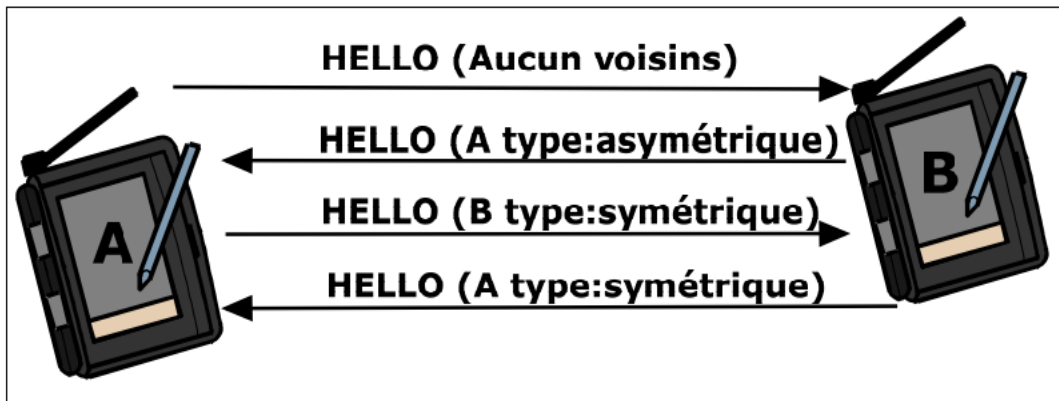


Figure 2.7: Exemple d'Échange des messages HELLO [51].

Chaque message au format HELLO est divisé en plusieurs parties qui représentent divers états de liaison. Les champs (Neighbor Interface Address) incluent une liste d'adresses d'interfaces proches qui sont connectées par un lien symétrique.

0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Reserved										Htime										Willigness											
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															
..																															
Link Code					Reserved					Link Message Size																					
Neighbor Interface Address																															
Neighbor Interface Address																															

Figure 2.8: Exemple de format des messages HELLO [50].

### 2.6.1.2.4 Sélection des Relais Multipoints

De nombreux algorithmes de routage utilisent la technique d'inondation pour diffuser des messages à chaque nœud d'un réseau. Avec cette méthode, chaque nœud envoyait une copie du message qu'il venait de recevoir à tous ses voisins proches. Cette méthode a un effet sur les ressources de bande passante du réseau. Où les problèmes de performances et les ressources limitées sont critiques dans les réseaux ad hoc [51].

Le protocole OLSR utilise une méthode connue sous le nom d'inondation par relais multipoint. Cette méthode Permet de rationaliser la distribution sur le réseau et ainsi alléger la charge sur le système de trafic. Ainsi, chaque nœud  $n$  choisit un sous-ensemble de points parmi ses voisins en  $N(n)_1$  et  $N(n)_2$  appelés MPR (Multipoint-Relay), ce qui lui permet d'être connecté à tous les autres nœuds en  $N(n)_2$ . [50]. Pourtant, la connaissant les  $N(n)_1$  et  $N(n)_2$  de chaque nœud permet l'envoi de messages peuvent à travers le réseau [52]. L'échange Périodique de messages HELLO permet à chaque nœud du réseau de mettre à jour ses ensembles  $N(n)_1$  et  $N(n)_2$ . C'est comme ça que l'ensemble des relais multipoints est recalculé dès qu'un chaque changement est détectée dans la topologie du réseau.

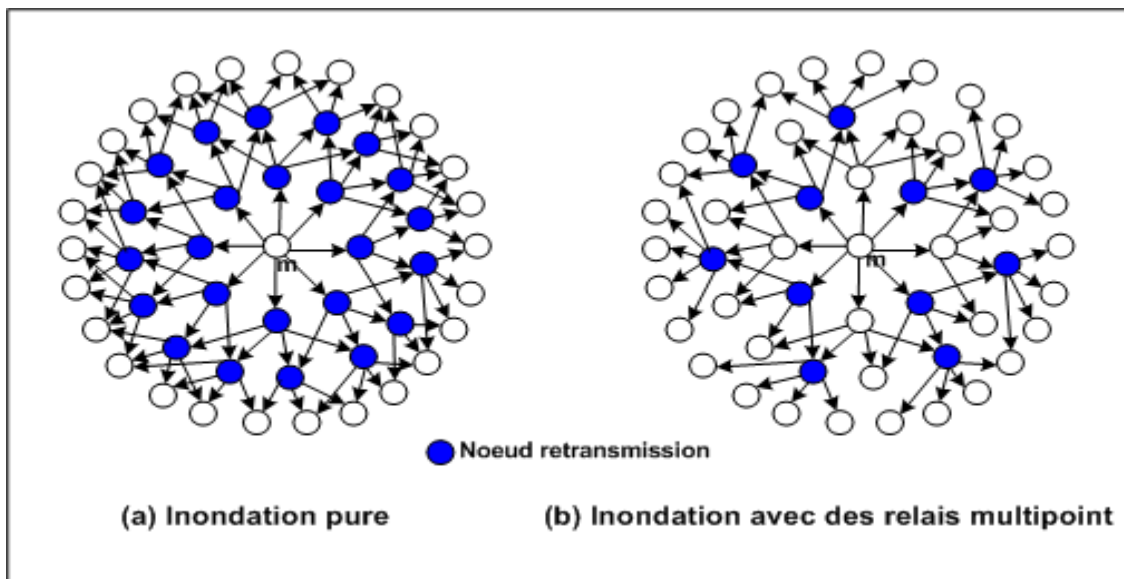


Figure 2.9: Exemple de sélection des relais multipoints [53].

### 2.6.1.2.5 Déclaration des relais multipoints

Chaque nœud du réseau construit l'ensemble des relais multipoints en utilisant l'algorithme 1.1. Chaque nœud qui a été choisi comme MPR diffuse périodiquement des messages de contrôle de topologie « TC » (Topology Control) afin de donner les informations de topologie nécessaires pour générer les routes et ainsi assurer le

routage des paquets. Tous les nœuds reçoivent ces messages, mais seuls les MPR sont capables de les transmettre [50].

Chaque message « TC » transmis par un nœud  $n$  comprend une liste appelée MPR-Sel(x) et un numéro associé appelé ANSN. Ces messages permettent à chaque nœud de se tenir à jour avec la table d'informations de topologie, ce qui simplifie la génération de la table de routage de chaque nœud [51].

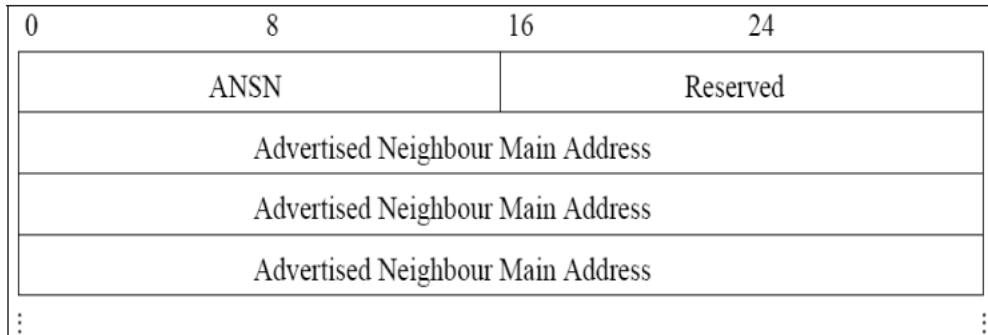


Figure 2.10: Exemple de Format du message TC [51].

### 2.6.1.3 Description des protocoles proactifs

	<i>WCC</i>	<i>WTC</i>	<i>SR</i>	<i>Fréquence des mises à jour</i>	<i>Nœuds Critiques</i>	<i>MH</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<b>OLSR</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Périodique	MPR	Oui	Diffusion optimisée des messages de contrôle par rapport aux autres protocoles basés sur l'état des liens.	Les informations sur les voisins à 1-saut et 2-sauts sont nécessaires.
<b>HOLSR</b>	$O(N)$	$O(D)$	H	Périodique	Racines des clusters	Oui	Idéal pour les réseaux MANET hétérogènes à grande échelle.	Les informations sur les voisins à 1-saut et 2-sauts sont nécessaires; Ajout de nouvelles structures pour former et maintenir les clusters.
<b>DSDV</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Périodique et sur-demande	Non	Oui	Simple, absence de problème de boucle de routage et de compteur à l'infinie.	Importante activité sur le réseau lors des demandes de mise à jour; Convergence lente; Tendance à créer des boucles de routage dans les réseaux très grands.
<b>CGSR</b>	$O(N)$	$O(D)$	H	Périodique	Racines des clusters	Non	Surdébit de routage est petit par rapport à DSDV; Schéma d'adressage simple.	La complexité en temps <i>WTC</i> est très grande par rapport à DSDV et WRP en cas des ruptures des liens entre les racines des clusters.
<b>DREAM</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Sur-demande	Non	Non	Petit surdébit de routage.	Nécessite le GPS.
<b>STAR</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Sur-demande	Non	Non	Réduit le nombre de paquets de mise à jour dans le réseau.	Choix non optimal des routes vers les destinations; Consomme beaucoup de mémoire et surcharge le réseau dans le cas des réseaux MANET très grands.
<b>HSR</b>	$O(n^*)$	$O(D)$	H	Périodique	Racines des clusters	Non	Petit surdébit de routage et consomme peu de mémoire par rapport à tous les protocoles proactifs plats.	Ajout de nouvelles structures pour former et maintenir les clusters.
<b>TBRPF</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Périodique et sur-demande	Nœud parent	Oui	Petit WCC.	La charge dans le réseau augmente avec la mobilité des nœuds et la taille du réseau.
<b>FSR</b>	$O(N)$	$O(D)$	P	Périodique	Non	Non	Réduit le nombre de paquets de mise à jour dans les réseaux très grands.	Choix non optimal des routes vers les destinations.
<b>LANMAR</b>	$O(N)$	$O(D)$	H	Périodique	Non	Non	Offre l'extensibilité dans les réseaux MANET très grands.	Choix non optimal des routes vers les destinations.

*WCC: Worst Case Communication Complexity, c.-à.-d. nombre de messages nécessaires pour effectuer une opération de mise à jour;*  
*WTC: Worst Case Time complexity, c.-à.-d. complexité en temps (ou le nombre d'étapes) pour effectuer une mise à jour;*  
*SR: Structure du routage; P: Plat; H: Hiérarchique; MH: Messages Hello; N: Nombre de nœuds dans le réseau; D: Diamètre du réseau;*  
*h: Hauteur de l'arbre de routage; n: Nombre moyen de nœuds dans un cluster; l: nombre de niveaux hiérarchiques.*

Tableau 2.1: Description des protocoles proactifs [51].

## 2.6.2 Les Protocoles de routage Réactifs

Avant la demande d'acheminement d'un paquet vers une destination, un protocole réactif ne calcule pas d'informations topologiques. Ce n'est que lorsqu'une source le demande afin d'envoyer un paquet vers une destination que le protocole tente de trouver une route. La source peut apprendre des détails topologiques sur cette route à partir de la réponse à cette demande [41].

### 2.6.2.1 Principe de fonctionnement

Les protocoles réactifs fonctionnent selon le principe de la création et de la maintenance des routes selon les besoins. Ainsi, à moins qu'un nœud ne commence une communication pour demander une route vers le nœud cible, aucune information de route ou de routage ne sera calculée. Chaque fois qu'un nœud a besoin d'une route pour communiquer avec le destinataire Une procédure de localisation du chemin par inondation est lancée sur le réseau pour trouver un moyen de contacter le récepteur. Cette approche empêche les nœuds du réseau de produire un trafic de contrôle superflu. Ce faisant, la charge du trafic réseau peut être réduite. D'autre part, du fait que tous les nœuds participent au mécanisme au moment du flood pour l'établissement d'une route, le mécanisme est assez coûteux en bande passante. De plus, les paquets de données qui doivent être livrés seront mis en attente pendant cette phase de recherche d'itinéraire en attendant qu'un itinéraire soit disponible. Un retard de paquet et un délai d'attente significatifs en résulteront [54].

### 2.6.2.2 Le protocole ad hoc On demande Distance Victor (AODV)

Basé sur l'idée des vecteurs de distance, AODV est une technologie de routage réactif qui prend en charge à la fois le routage unicast et multicast [55]. Il reflète essentiellement une amélioration du protocole DSDV basé sur la méthode de découverte de chemin à la demande ; cependant, AODV, utilise le routage source saut par saut, il n'utilise pas le routage source. Pour éviter le problème des boucles de routage, chaque nœud dans AODV maintient une base de données de routage et utilise des numéros de séquence similaires à DSDV [54].

Il existe trois types de messages différents utilisés par AODV.

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

### 2.6.2.2.1 Découverte des routes

Chaque nœud du protocole AODV doit garder une trace d'une liste de ses voisins actifs. L'obtention de cette liste nécessite un échange régulier de messages HELLO de chaque nœud avec ses nœuds voisins. Une opération de découverte de route est lancée par un nœud source S lorsqu'il souhaite délivrer des données à un nœud destinataire D mais qu'il n'y a pas de route vers cette destination enregistrée dans le routage source. La source S envoie une demande de route RREQ (Route REQest) à ses voisins qui comprend l'adresse de la source, l'identification de la demande et un compteur de séquence, le compteur de nombres saute avec une valeur de départ de 0, de même que l'adresse de D. Si une route vers le nœud D est disponible, chaque nœud récepteur vérifie sa table de routage locale ; sinon, le nœud traitant la requête est utilisé. Le nombre de sauts est à nouveau transmis par RREQ après avoir été augmenté. Une réponse RREP (Route REPLY) est diffusée sur la même route de réception que le RREQ après que la requête ait atteint la destination D ou un nœud connaissant la route vers la destination (chemin inverse). L'adresse source, l'adresse de destination, le nombre de sauts, le numéro de séquence de destination et la durée de vie du paquet sont tous inclus dans la réponse RREP. Le nœud source S reçoit la réponse RREP via le chemin inverse (chemin du retour). Ainsi, avant de renvoyer le paquet, chaque nœud sur cette route ajoute un enregistrement au nœud de destination dans sa table de routage locale. La source S commence à fournir des données à D dès qu'elle a reçu le message [51] [56].

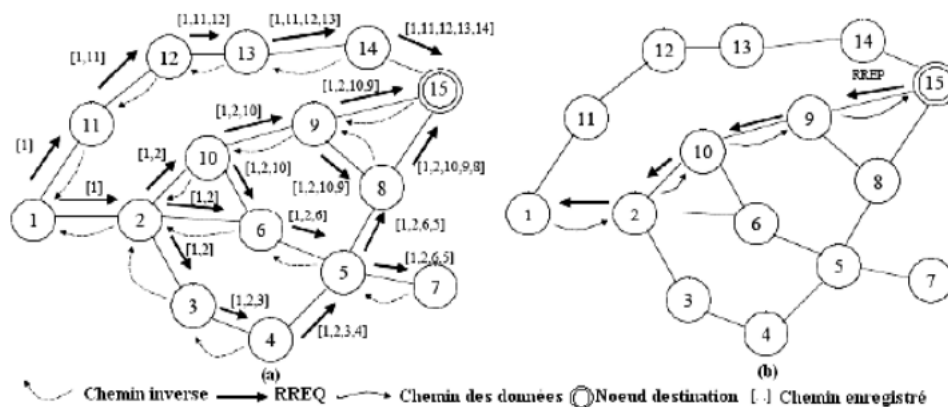


Figure 2.11: Exemple de Phase de découverte des chemins dans AODV [57].

### 2.6.2.2.2 Entretien des routes

Il est possible de rafraîchir la liste des voisins de chaque nœud par l'échange de messages HELLO avec ses voisins immédiats. Un nœud N met à jour des liens dans sa base de données de routage lorsqu'il s'aperçoit qu'un autre nœud Q n'est plus joignable (Q a quitté le réseau ou est hors de portée radio). En fait, il recherche toutes les routes passant par le nœud Q dans sa table de routage et les supprime avant d'informer ses

voisins actifs que la route passant par le nœud Q n'est plus valide. Le nœud source est alors informé par le message RERR (Route ERRor).

En conséquence, la mise à jour est transmise à travers le réseau saut par saut et le nœud source démarre un nouveau processus de recherche d'itinéraire pour la destination [51].

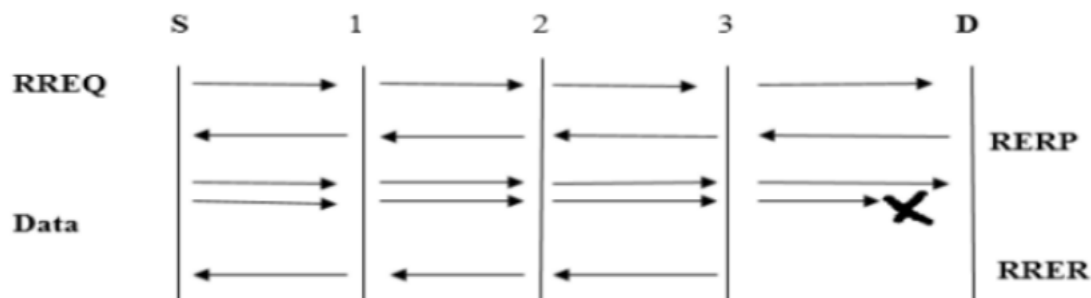


Figure 2.12: Exemple – Coupure de route et envoi du RERR [11].

#### 2.6.2.2.3 Avantages et inconvénients du protocole AODV

- **L'utilisation de numéros de séquence de messages :** Ces numéros de séquence sont cruciaux pour la mise à jour de la table de routage car ils empêchent l'apparition de problèmes de boucle infinie.
- **Chaque message comprend un rappel de l'adresse IP du nœud d'origine :** En conséquence, il est possible de garder une trace du nœud qui a envoyé le message lors de chaque relais.
- **L'inconvénient du protocole AODV est qu'il n'y a pas de structure de message standard :** Les formats de chaque message sont RREQ, RREP et RERR.

#### 2.6.2.3 Le protocole Dynamic Source Routing (DSR)

Le protocole DSR est un protocole réactif basé sur le routage source, dans lequel la source de données décide de tout le chemin que les données vont parcourir et ce dernier est diffusé avec les données. La liste des nœuds qui doivent être suivis pour atteindre la destination est contenue dans chaque paquet de données transmis [58].

Comme AODV ce protocole fonctionne sur le principe de deux phases.

##### 2.6.2.3.1 Découverte de route

La route connue est utilisée si un destinataire est trouvé dans le cache du nœud source. Si ce n'est pas le cas, un processus de recherche d'itinéraire est lancé. Les adresses source et destination, ainsi qu'un identifiant permettant aux nœuds intermédiaires de savoir s'ils ont déjà traité les paquets, Ces informations sont tous inclus dans les packages de découverte d'une route. Le paquet Route Finder crée le

Chemin vers la destination. Chaque nœud qui reçoit ce paquet ajoute sa propre adresse à la route existante dans ce paquet.

Un nœud répond à la source initiale lorsque l'un des paquets de recherche de route atteint sa destination ou un nœud qui a une route valide dans cette direction [59].

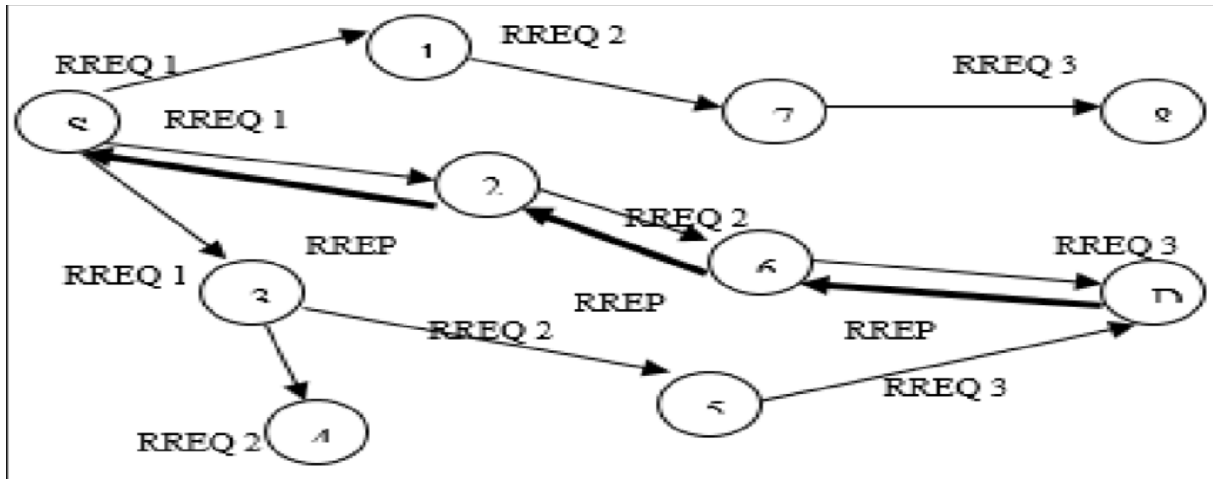


Figure 2.13: Exemple de découverte de route dans DSR [60].

### 2.6.2.3.2 Maintenance des routes

DSR effectue une procédure de maintenance des itinéraires pour s'assurer que les chemins sont toujours viables. Un message RERR est envoyé à l'expéditeur d'origine du paquet lorsqu'un nœud détermine qu'il existe un problème de transmission fatal en utilisant les informations de sa couche de liaison. L'adresse du nœud qui a découvert le problème et le nœud qui le suivra dans son voyage sont tous deux inclus dans le message d'erreur. Le nœud affecté par l'erreur est supprimé du chemin enregistré lorsque le paquet d'erreur est reçu par l'hôte source, et tous les chemins qui contiennent ce nœud sont désormais invalides. L'expéditeur commence alors une nouvelle opération de découverte de route vers la destination. [59].

### 2.6.2.4 Description des protocoles Réactifs

	<i>WCC [DR]</i>	<i>WCC [MR]</i>	<i>WTC [DR]</i>	<i>WTC [MR]</i>	<i>SR</i>	<i>RM</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<b>AODV</b>	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2D)$	$O(2D)$	P	Non	Adapté aux topologies très dynamiques; Possibilité de routage Multicast.	Grand délai; Nécessite les messages HELLO; Ne supporte pas des routes multiples.
<b>DSR</b>	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2D)$	$O(2D)$	P	Oui	Routes multiples; Les nœuds intermédiaires ne stockent pas les informations sur les routes.	Grand délai.
<b>LMR</b>	$O(2N)$	$O(2A)$	$O(2D)$	$O(2D)$	P	Oui	Routes multiples.	Problèmes de boucle de routage.
<b>CBRP</b>	$O(2X)$	$O(2A)$	$O(2D)$	$O(2B)$	H	Non	Réduit la charge de communication; Juste les clusters échantillent les informations de routage.	Problèmes de boucle de routage. Ajout de nouvelles structures pour former et maintenir les clusters.
<b>AOMDV</b>	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2D)$	$O(2D)$	P	Oui	Multiples routes disjointes.	Nécessite des messages HELLO périodiques.

*WCC: Worst Case Communication Complexity, c.-à.-d. nombre de messages nécessaires pour effectuer une opération de mise à jour;*  
*WTC: Worst Case Time complexity, c.-à.-d. complexité en temps (ou le nombre d'étapes) pour effectuer une mise à jour;*  
*DR: Découverte de route; MR: Maintenance de route; SR: Structure du routage; P: Plat; H: Hiérarchique; RM: Routes multiples;*  
*N: Nombre de nœuds dans le réseau; D: Diamètre du réseau; A: Nombre de nœuds affectés; B: Diamètre de la région affecté; X: Nombre de clusters dans CBRP.*

Tableau 2.2: Description des protocoles réactifs [51].

### 2.6.3 Les Protocoles de routage Hybride

Les deux méthodes sont combinées dans des protocoles hybrides. Afin de contacter les nœuds en dehors de cette zone de voisinage prédéfinie, ils utilisent un protocole réactif. Ils utilisent un protocole proactif pour découvrir le voisinage proche (quartier à deux ou trois sauts). Les protocoles réactifs sont utilisés par les protocoles hybrides pour trouver des routes. Le réseau est ainsi divisé en plusieurs sections et la recherche d'itinéraire en mode réactif peut être renforcée. Les demandes de recherche réactives peuvent être acheminées vers différentes zones sans perturber le reste de la région du nœud si un nœud peut immédiatement déterminer si la destination se trouve dans le voisinage ou non. Les grands réseaux peuvent facilement s'adapter à ce type de protocole [61].

#### 2.6.3.1 Le protocole Zone Routing Protocol (ZRP)

Afin d'obtenir le meilleur des deux protocoles, ZRP est un exemple de protocole hybride qui combine des tactiques proactives et réactives [62] [63].

Le réseau est divisé en différentes zones par le protocole ZRP, chacune pouvant avoir une taille variée. En fait, il établit une zone de routage avec un nombre de sauts maximum de pour chaque nœud S. En conséquence, tous les nœuds qui sont au moins à des sauts de S sont inclus dans la zone de routage de S. Les nœuds périphériques sont ceux qui sont précisément à des sauts de S. En dehors de sa région de routage, ZRP utilise son protocole réactif alors qu'à l'intérieur de cette zone, il utilise son protocole proactif [62] [63].

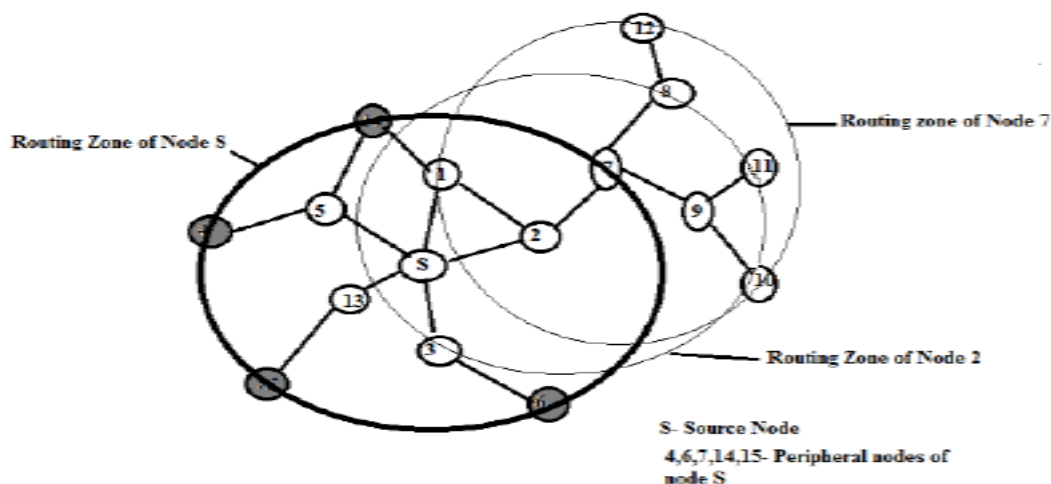


Figure 2.14: Exemple de Concept du protocole (ZRP) [64].

#### 2.6.3.2 Le protocole Zone Based Hierarchical (ZHLS)

Le protocole ZHLS est un protocole hybride hiérarchique construit sur la décomposition d'un réseau en zone [65]. Il n'y a pas de représentation pour chaque zone contrairement à la plupart des protocoles dits hiérarchiques. Ainsi, la topologie d'un réseau est divisée en deux niveaux :



- Un niveau de zone qui offre des détails sur les connexions entre les différentes zones [65].
- Un niveau de nœud décrit les connexions physiques entre les nœuds d'une zone. S'il y a au moins un nœud d'une autre zone, alors il peut y avoir un lien virtuel entre les deux zones [65].

De ce fait, il existe deux sortes de liens distincts : les liens inter-zones et les liens inter-nœuds. Une identification de zone, un identifiant de nœud et l'utilisation de LSP (Link State Packet) pour l'état de la liaison constituent la configuration d'adressage. Deux types de LSP sont concevables : ceux qui sont orientés zone et ceux qui sont orientés nœuds.

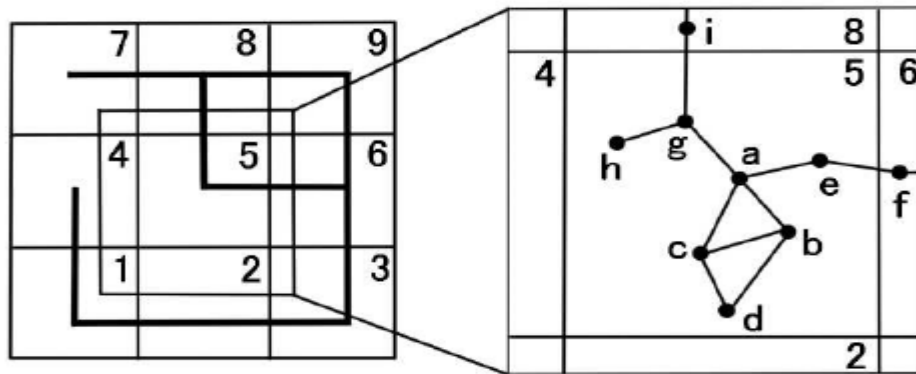


Figure 2.15: Exemple de Topologie niveau inter\_zone et inter\_nœud dans ZRP [66].

### 2.6.3.3 Description des protocoles Hybride

	<i>WCC</i> [I]	<i>WCC</i> [In,DR]	<i>WCC</i> [In,MR]	<i>WTC</i> [I]	<i>WTC</i> [In,DR]	<i>WTC</i> [In,MR]	<i>SR</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<b>ZRP</b>	$O(n)$	$O(N+r)$	$O(N+r)$	$O(d)$	$O(2D)$	$O(2D)$	P	Réduit la charge de communication en comparaison avec les protocoles proactifs; Découverte rapide des routes en comparaison avec les protocoles réactifs.	Problème de chevauchement des zones entre les nœuds.
<b>ZHLS</b>	$O(N/M)$	$O(N+r)$	$O(N+r)$	$O(d)$	$O(2D)$	$O(2D)$	H	Absence de chevauchement des zones.	Nécessite le GPS.

*WCC: Worst Case Communication Complexity, c.-à.-d. nombre de messages nécessaires pour effectuer une opération de mise à jour;*  
*WTC: Worst Case Time complexity, c.-à.-d. complexité en temps ou (le nombre d'étapes) pour effectuer une mise à jour;*  
*DR: Découverte de route; MR : Maintenance de route; SR : Structure du routage; P : Plat; H: Hiérarchique;*  
*I: Intra zone; In: Inter zone; N: Nombre de nœuds dans le réseau; D: Diamètre du réseau ; d: Diamètre d'une zone locale;*  
*n: Nombre de nœuds dans une zone; r: Nombre de nœuds dans le chemin Reply-Path; M : Nombre de zones.*

Tableau 2.3: Description des protocoles Hybride [51].

### 2.6.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé plusieurs algorithmes de routage ad hoc, en décrivant leurs classes, leurs caractéristiques, leurs objectifs, leurs avantages et limites. De plus, nous avons donné une comparaison résumant les protocoles de chaque classe.

# Chapitre III

## Partie de Simulation

## **CHAPITRE III**

### 3.1 Introduction

La simulation a été et reste l'outil préféré pour évaluer les performances des protocoles et étudier leur comportement en raison de la complexité des réseaux de communication. Nous pouvons facilement modifier les conditions de fonctionnement du réseau et collecter les mesures d'un scénario à un autre.

Dans ce chapitre, nous allons simuler deux algorithmes de routage ad hoc à savoir ; AODV et DSDV, en utilisant l'outil de simulation OMNET++, dans le but d'étudier leur comportement dans différents scénarios et de faire une comparaison entre eux, en se basant sur le nombre de données reçus.

### 3.2 Outils de simulation

#### 3.2.1 OMNET++

OMNET ++ est un environnement de simulation qui est disponible gratuitement sur le Web. Ce simulateur a un noyau de simulation intégré et une interface graphique robuste. Le but principal est de simuler des communications réseaux et des systèmes de technologies de l'information. En effet, il est capable de reproduire des architectures matérielles grâce à son architecture de base flexible. C'est ainsi que cette plateforme est devenue connue dans le monde industriel et dans la communauté scientifique. Cette architecture modulaire facilite l'implémentation de nouveaux protocoles [47]

#### 3.2.2 Caractéristiques clés d'OMNET++

Les principaux ingrédients d'OMNET++ sont :

- Bibliothèque du noyau de simulation (C++)
- Le langage de description de la topologie NED
- IDE de simulation basé sur la plateforme Eclipse
- Interface graphique d'exécution de simulation interactive (Qtenv)
- Interface de ligne de commande pour l'exécution de la simulation (Cmdenv)
- Utilitaires (outil de création de makefile, etc.)
- Documentation, exemples de simulations, etc.

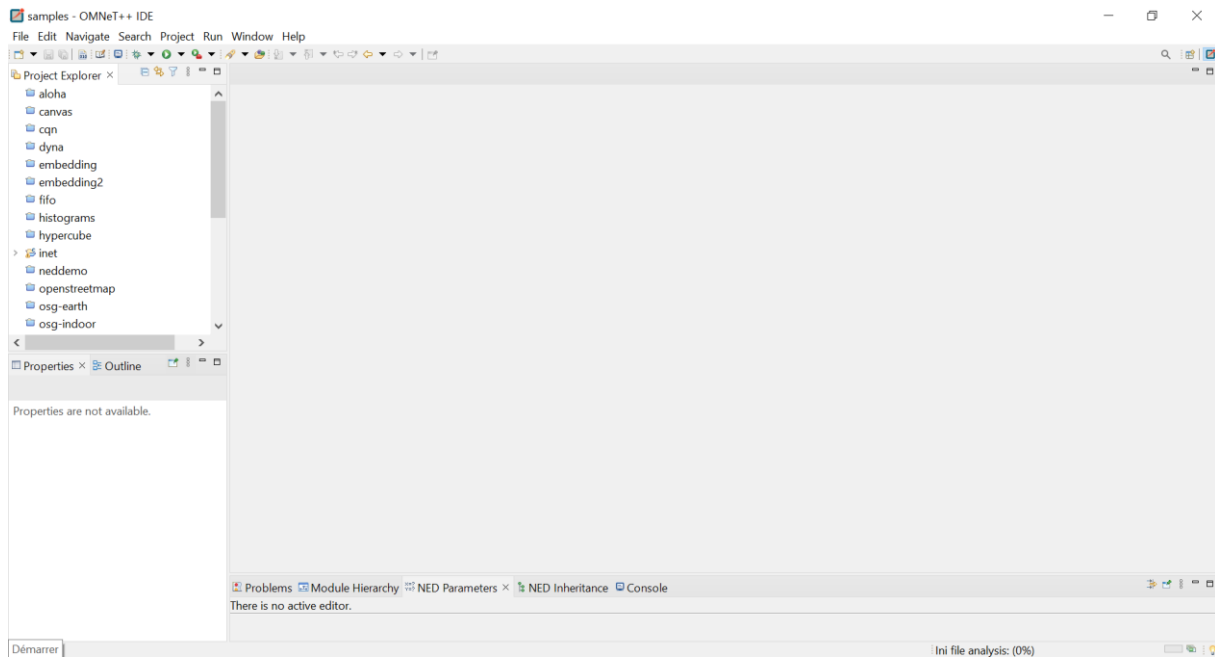


Figure 3.1: Exemple de l'interface de l'OMNET++

## 3.2.3 Installation

### 3.2.3.1 Prérequis

Avant d'entamer l'installation, il est recommandé d'avoir une machine tournant sous l'un de ces system d'exploitation (Windows ou Linux) équipée d'un processeur 64bits. Dans notre cas, nous avons installé l'OMNET++ sous Windows, après l'avoir téléchargé depuis son site officiel : <https://omnetpp.org/download/>. Nous avons téléchargé aussi la bibliothèque INET depuis le site officiel : <https://inet.omnetpp.org/>, pour ajouter des fonctionnalités en lien avec notre simulation.

### 3.2.3.2 Procédure d'installation

Après décompression de l'archive, ouvrir le dossier et exécuter le fichier nommé (mingwenv.cmd).

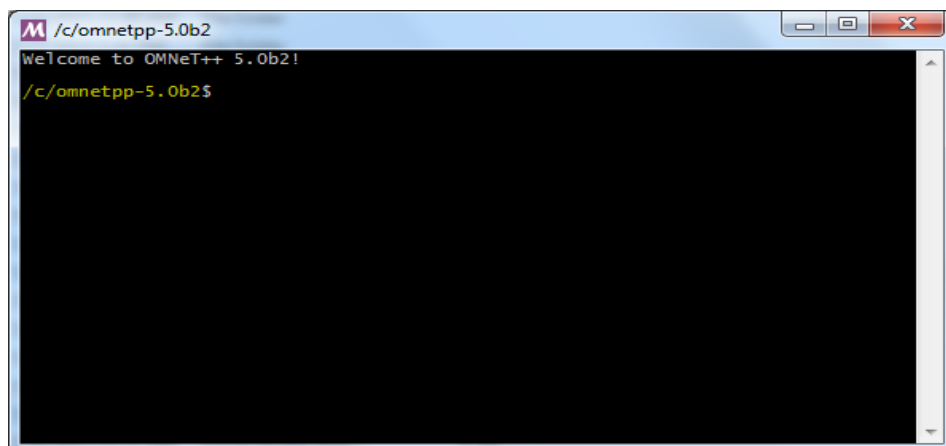
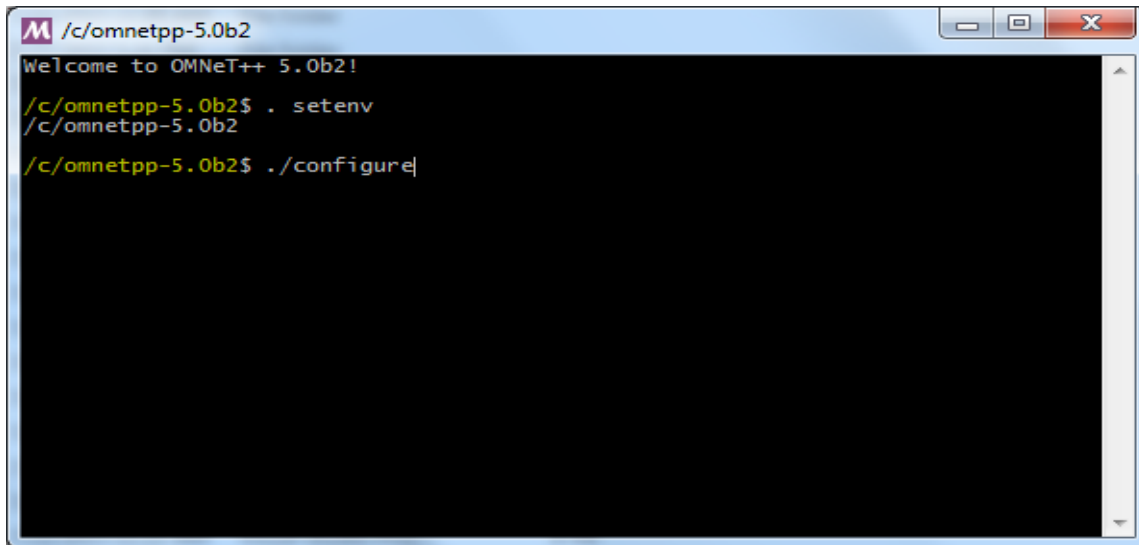


Figure 3.2: ligne de commande OMNET++

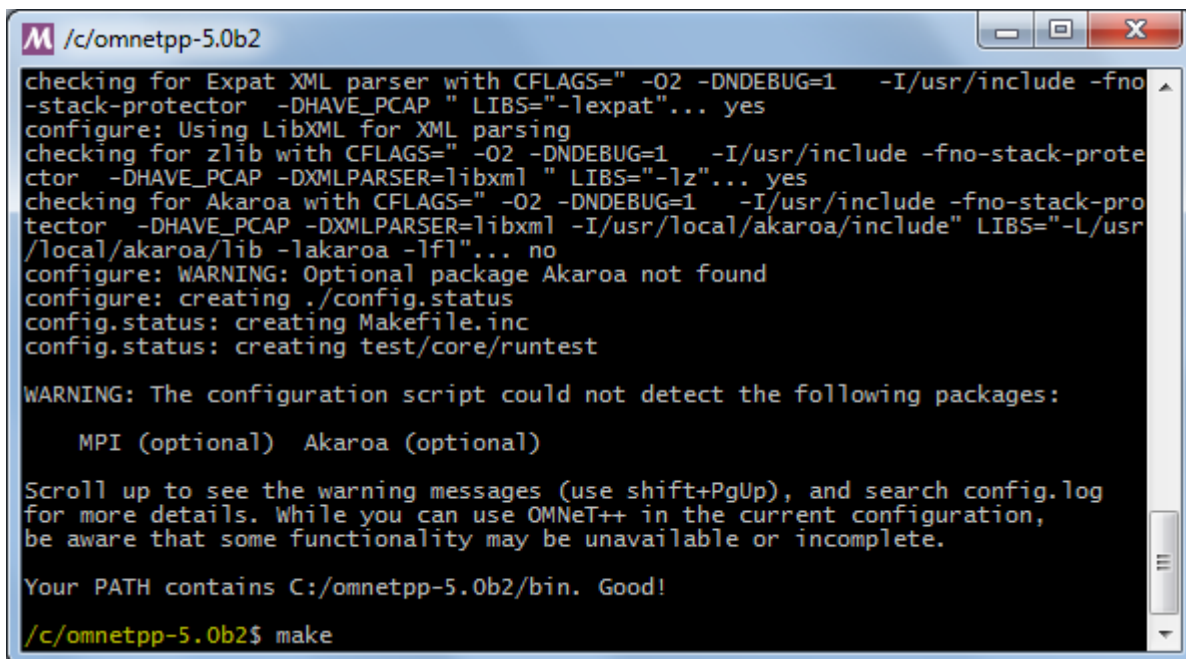
Une fenêtre en ligne de commande s'ouvrira on tape la commande (.setenv) puis la commande (./configure).



```
M /c/omnetpp-5.0b2
Welcome to OMNeT++ 5.0b2!
/c/omnetpp-5.0b2$ . setenv
/c/omnetpp-5.0b2
/c/omnetpp-5.0b2$ ./configure
```

Figure 3.3: Configuration de l'OMNET++

Si la configuration s'est déroulée sans problème, vous pouvez passer à la dernière étape en tapant la commande (make) pour finaliser l'installation.



```
M /c/omnetpp-5.0b2
checking for Expat XML parser with CFLAGS="-O2 -DNDEBUG=1 -I/usr/include -fno-
-stack-protector -DHAVE_PCAP " LIBS="-lexpat"... yes
configure: Using LibXML for XML parsing
checking for zlib with CFLAGS="-O2 -DNDEBUG=1 -I/usr/include -fno-stack-prote
ctor -DHAVE_PCAP -DXMLPARSER=libxml " LIBS="-lz"... yes
checking for Akaroa with CFLAGS="-O2 -DNDEBUG=1 -I/usr/include -fno-stack-pro
tector -DHAVE_PCAP -DXMLPARSER=libxml -I/usr/local/akaroa/include" LIBS="-L/usr
/local/akaroa/lib -lakaroa -lf1"... no
configure: WARNING: Optional package Akaroa not found
configure: creating ./config.status
config.status: creating Makefile.inc
config.status: creating test/core/runtest

WARNING: The configuration script could not detect the following packages:

    MPI (optional) Akaroa (optional)

Scroll up to see the warning messages (use shift+PgUp), and search config.log
for more details. While you can use OMNeT++ in the current configuration,
be aware that some functionality may be unavailable or incomplete.

Your PATH contains C:/omnetpp-5.0b2/bin. Good!
/c/omnetpp-5.0b2$ make
```

Figure 3.4: Installation de l'OMNET++

Pour lancer le simulateur OMNET++, taper la commande (omnetpp).

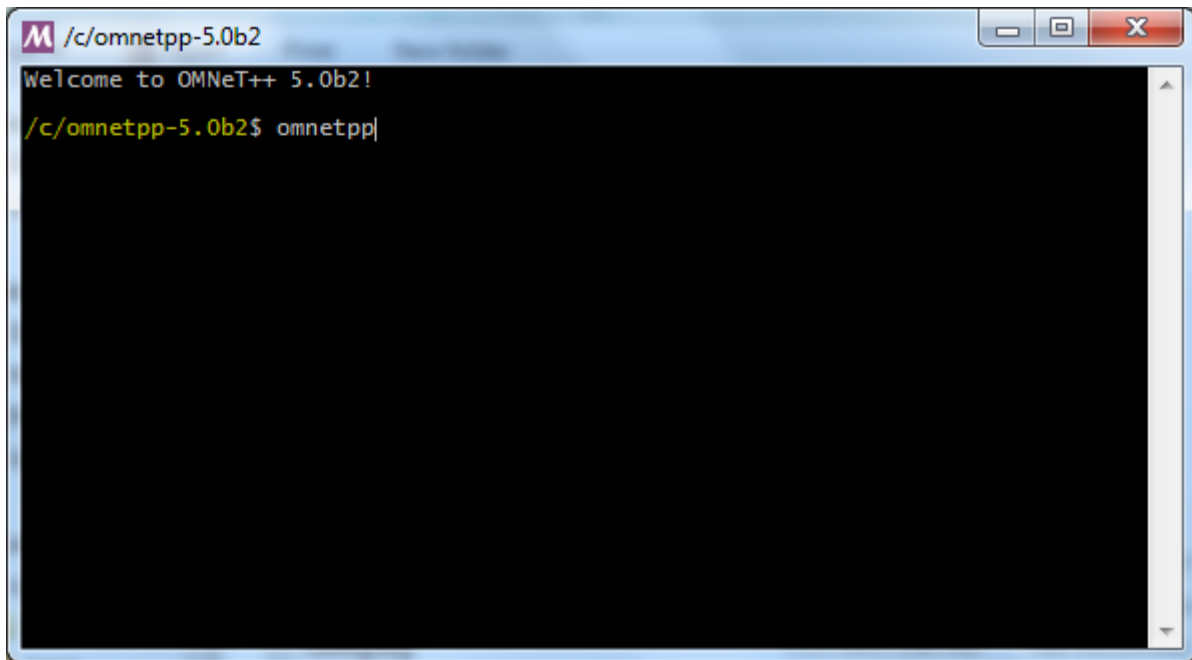


Figure 3.5: Lancement de l'OMNET++

### 3.2.3.3 Topologie et Paramètres de Simulation :

Dans ce mémoire, nous simulons les protocoles AODV et DSDV suivant les scénarios et topologie décrits ci-dessous :

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
AODV	Porté :500 m Mobilité : Linéaire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :5	Porté :250 m Mobilité : Linéaire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20	Porté :500 m Mobilité : Aléatoire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20	Porté :250 m Mobilité : Aléatoire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20
DSDV	Porté :500 m Mobilité : Linéaire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :5	Porté :250 m Mobilité : Linéaire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20	Porté :500 m Mobilité : Aléatoire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20	Porté :250 m Mobilité : Aléatoire Vitesse de mobilité :12mps Nombre de nœuds intermédiaires R :20

Tableau 3.1: Scenarios de simulation.

avec les topologie Suivant :

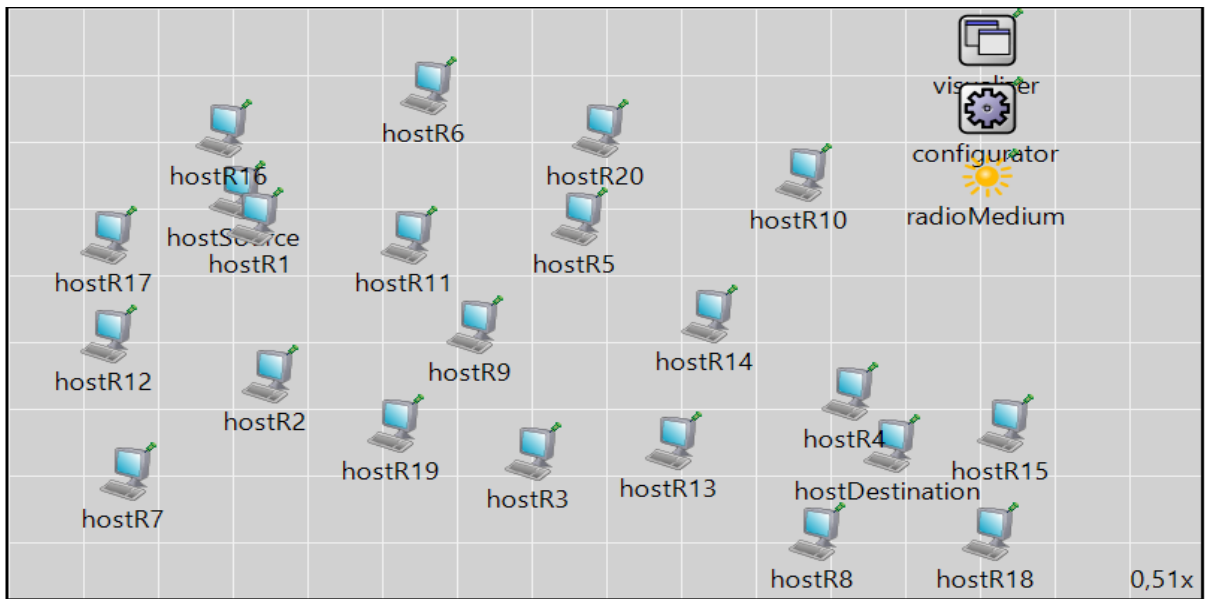


Figure 3.6: Topologie de Simulation (20Noeuds)

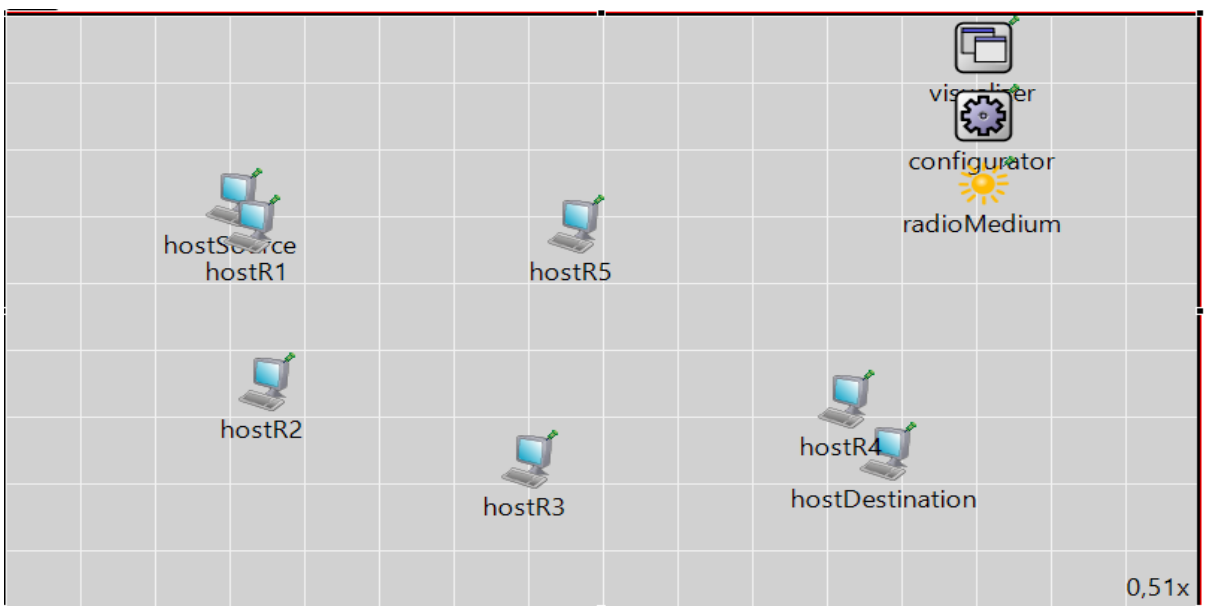


Figure 3.7: Topologie de Simulation (05Noeuds)

## 3.2.3.4 Simulation des protocoles AODV et DSDV :

## 3.2.3.4.1 Exécution du protocole AODV :

- Scenario 1 : Porté=500m ; Mobilité= Linéaire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds intermédiaires=5.

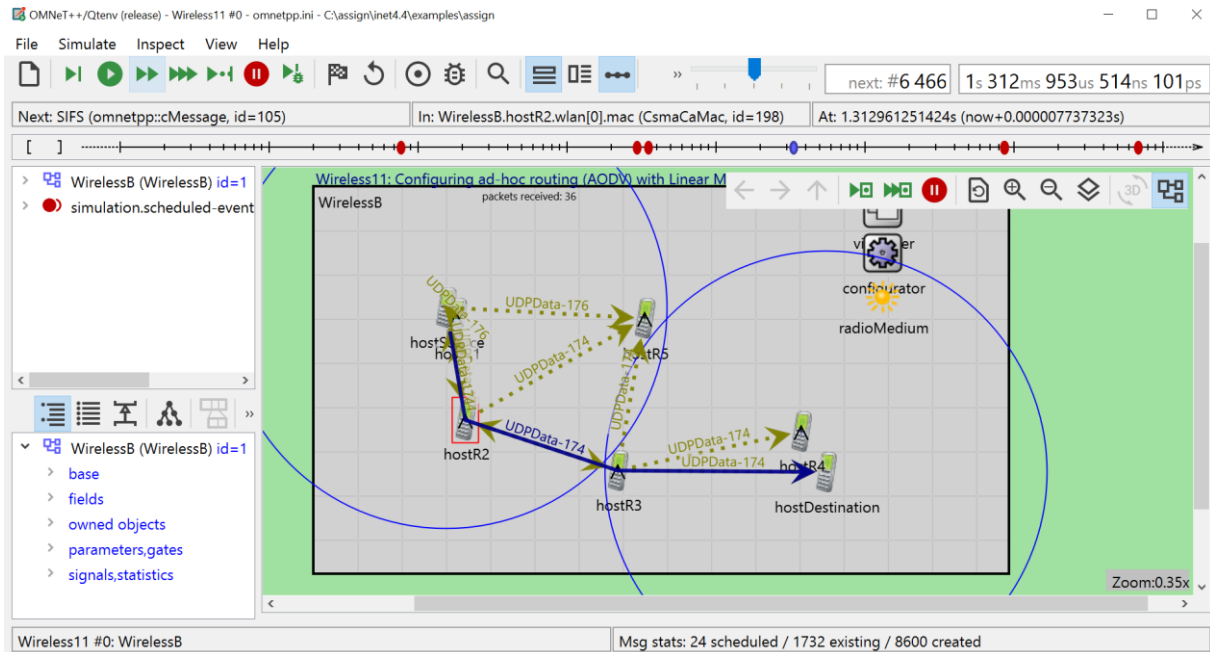


Figure 3.8: établissement de route entre la source et la destination.

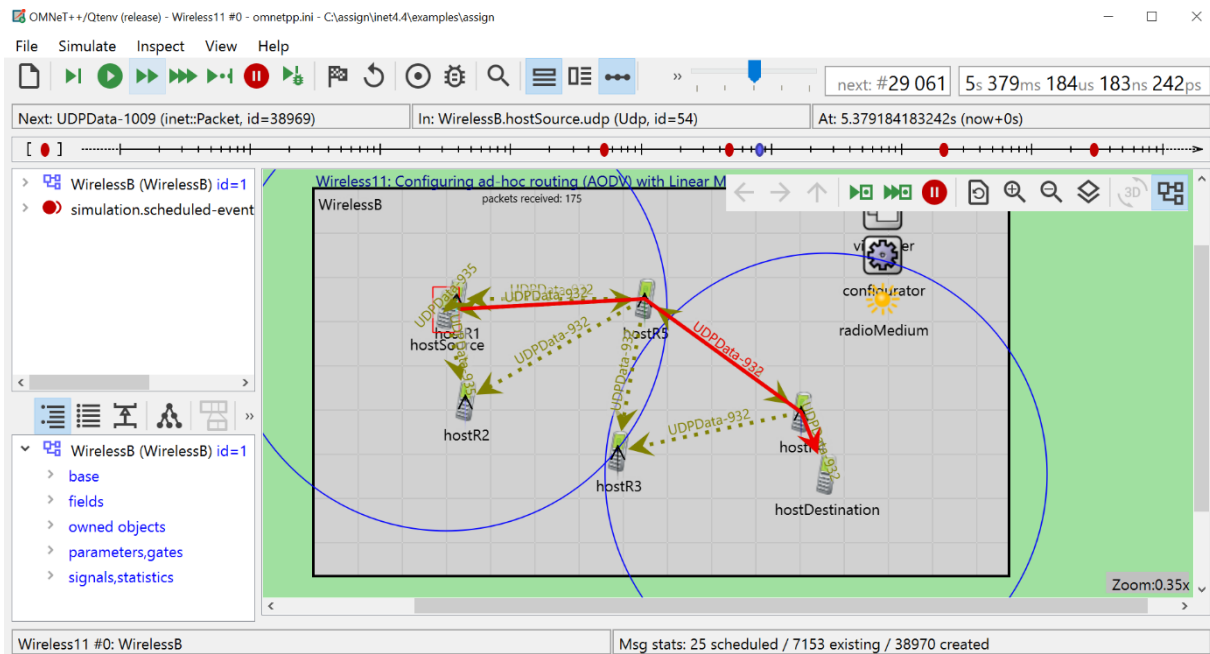


Figure 3.9: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.



- Scenario 2 : Porté=250m ; Mobilité=Linéaire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds intermédiaires=20.

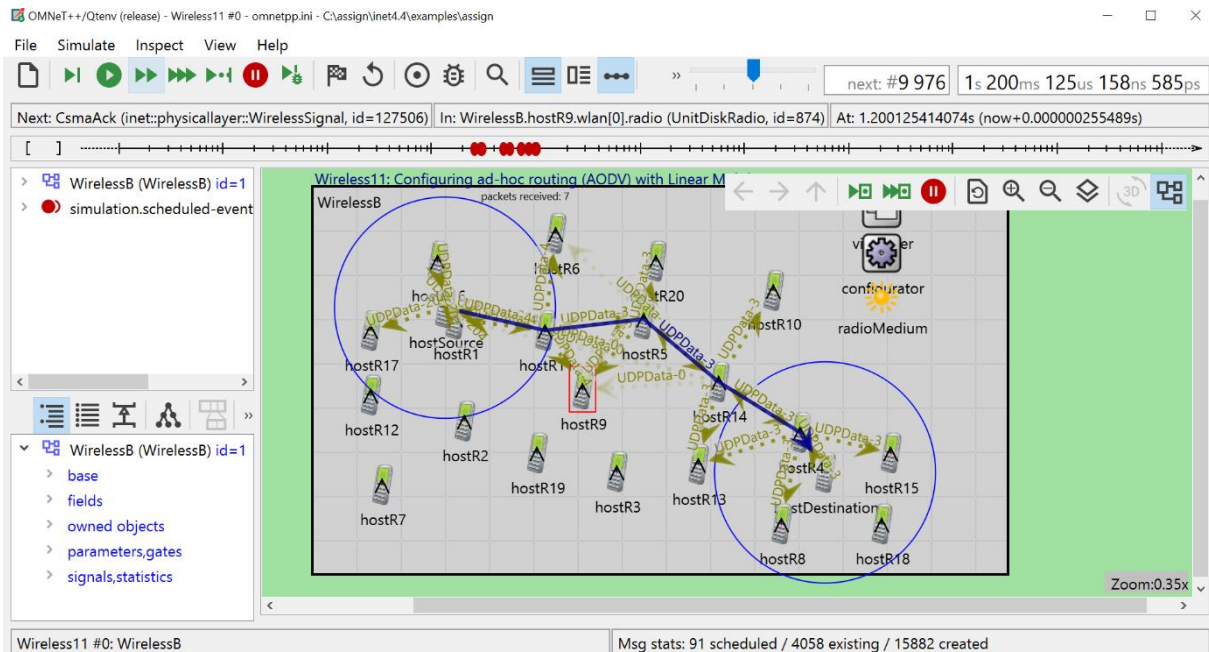


Figure 3.10: établissement de route entre la source et la destination.

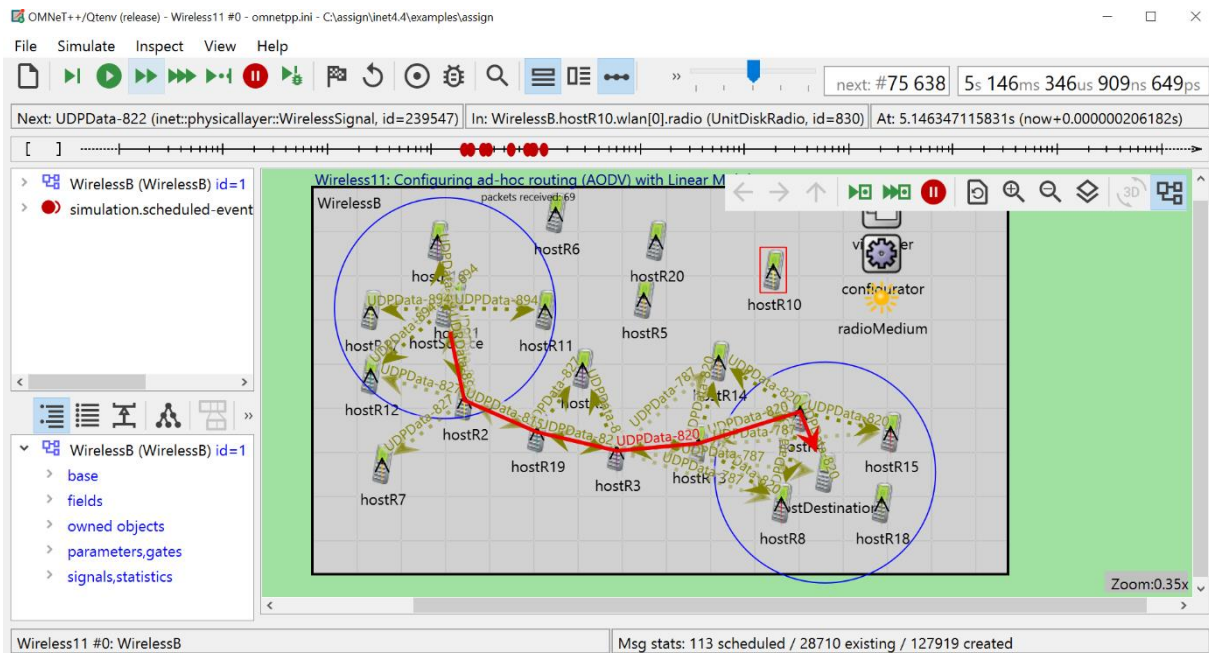


Figure 3.11: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

- Scenario 3 : Porté=500m ; Mobilité=Aléatoire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds intermédiaires =20.

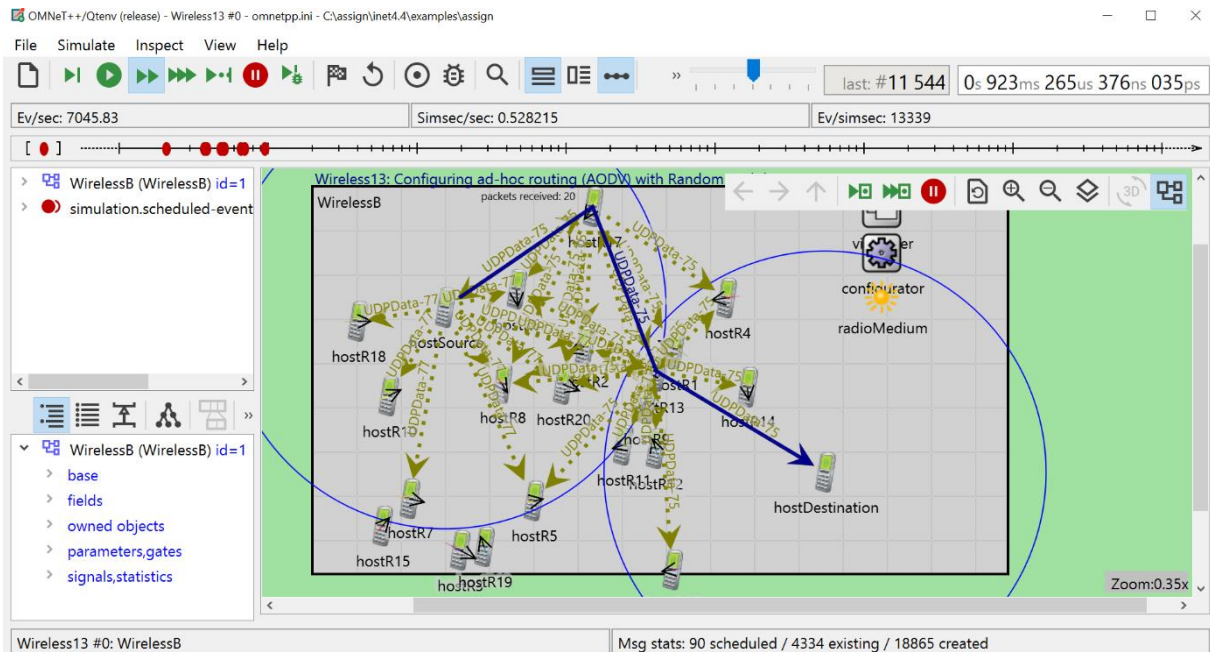


Figure 3.12: établissement de route entre la source et la destination.

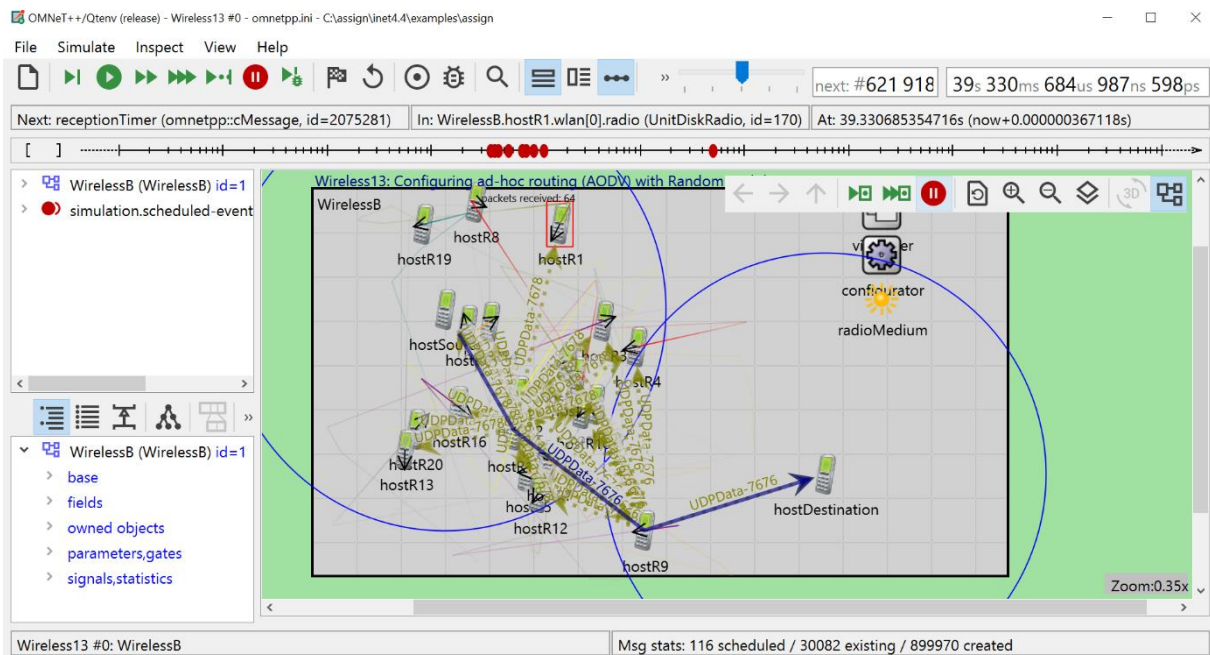


Figure 3.13: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

- Scenario 4 : Porté=250m ; Mobilité Aléatoire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds=20.

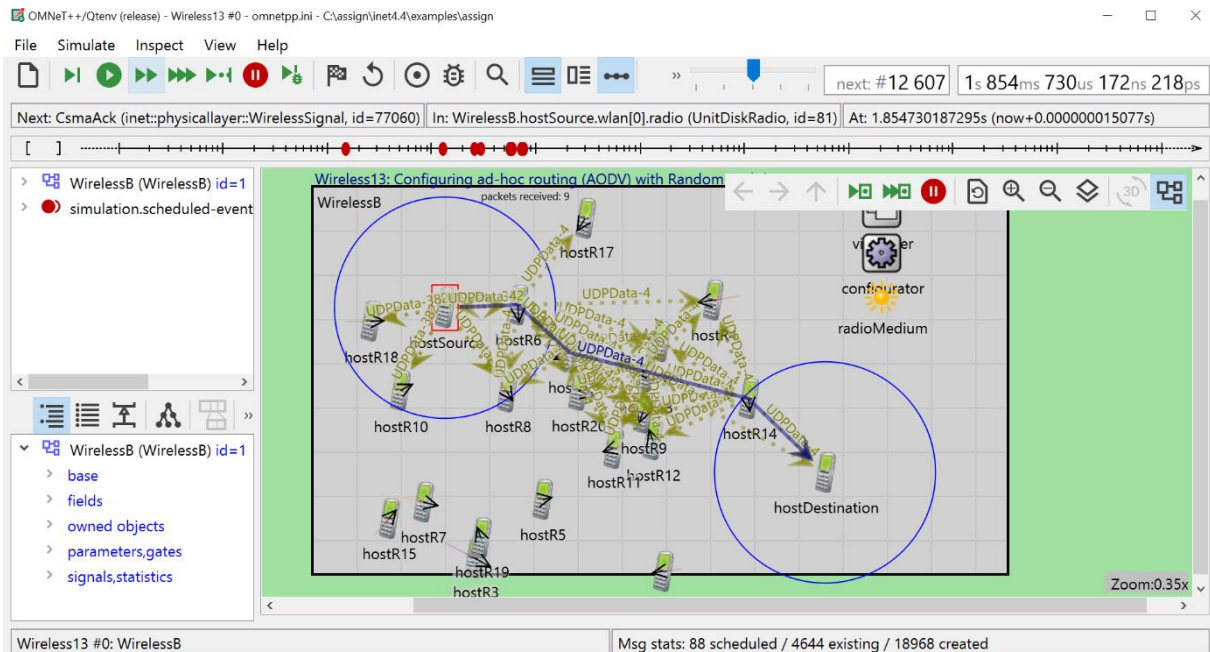


Figure 3.14: établissement de route entre la source et la destination.

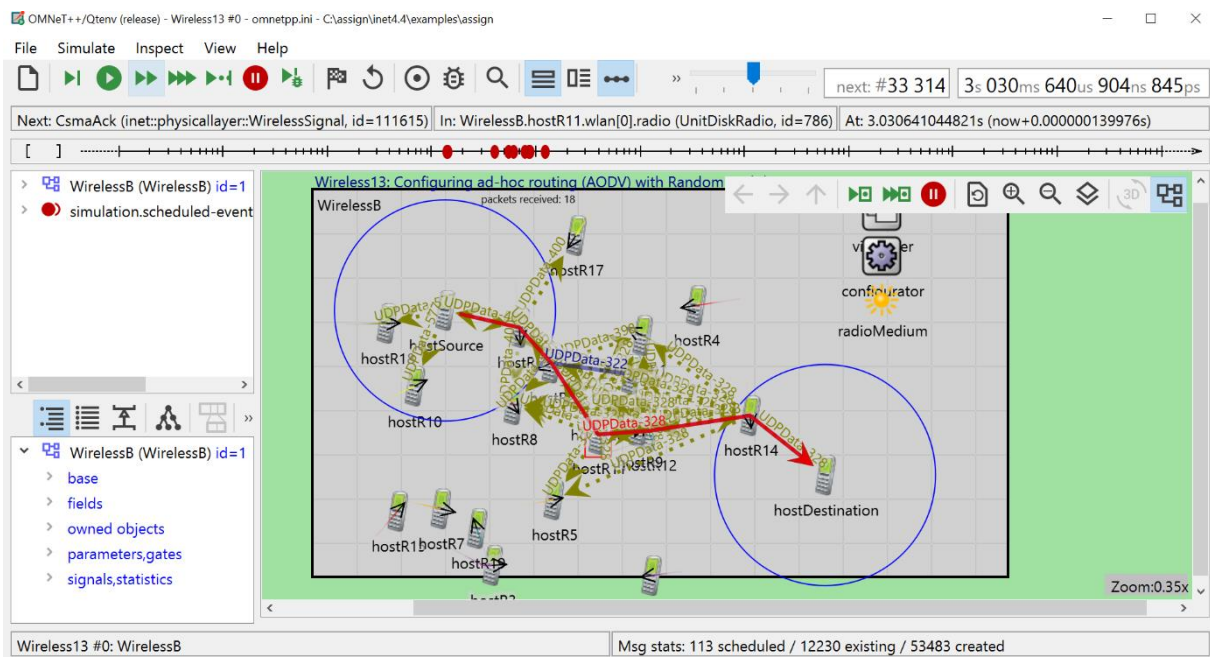


Figure 3.15: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

### Exécution du protocole DSDV

Dans cette Partie nous exécuterons ce protocole sous 4 scenarios

- Scenario 1 : Porté=500m ; Mobilité=Linéaire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds=5.

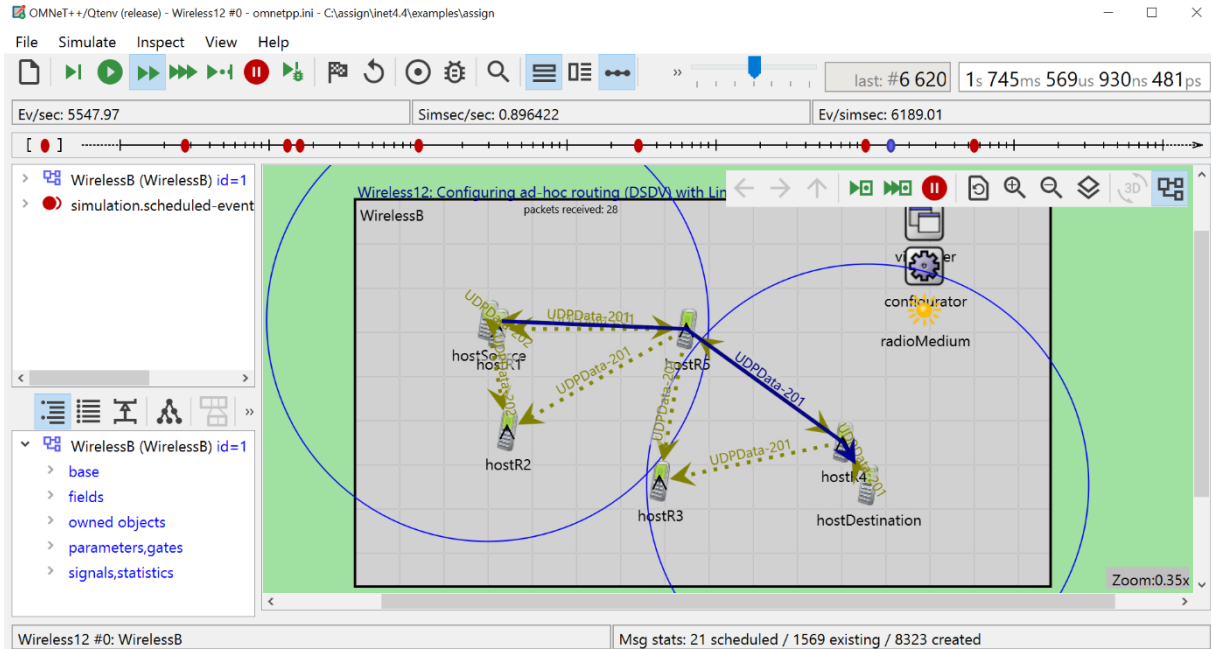


Figure 3.16: établissement de route entre la source et la destination.

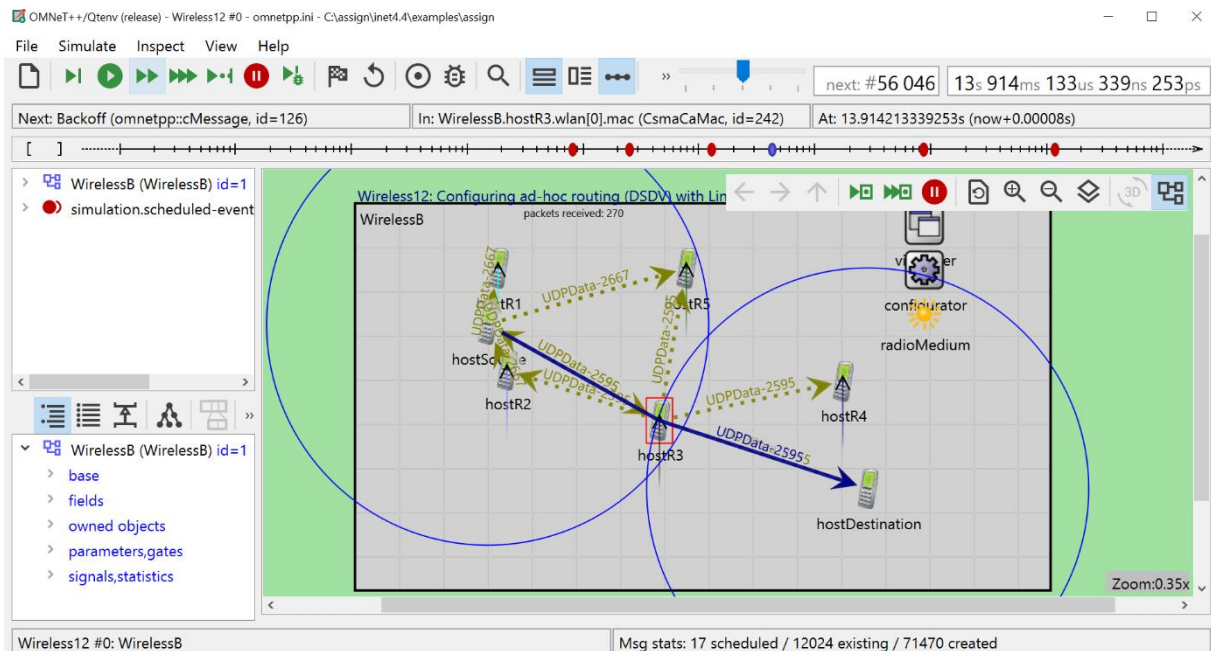


Figure 3.17: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

- Scenario 2 : Porté=250m ; Mobilité=Linéaire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds=20.

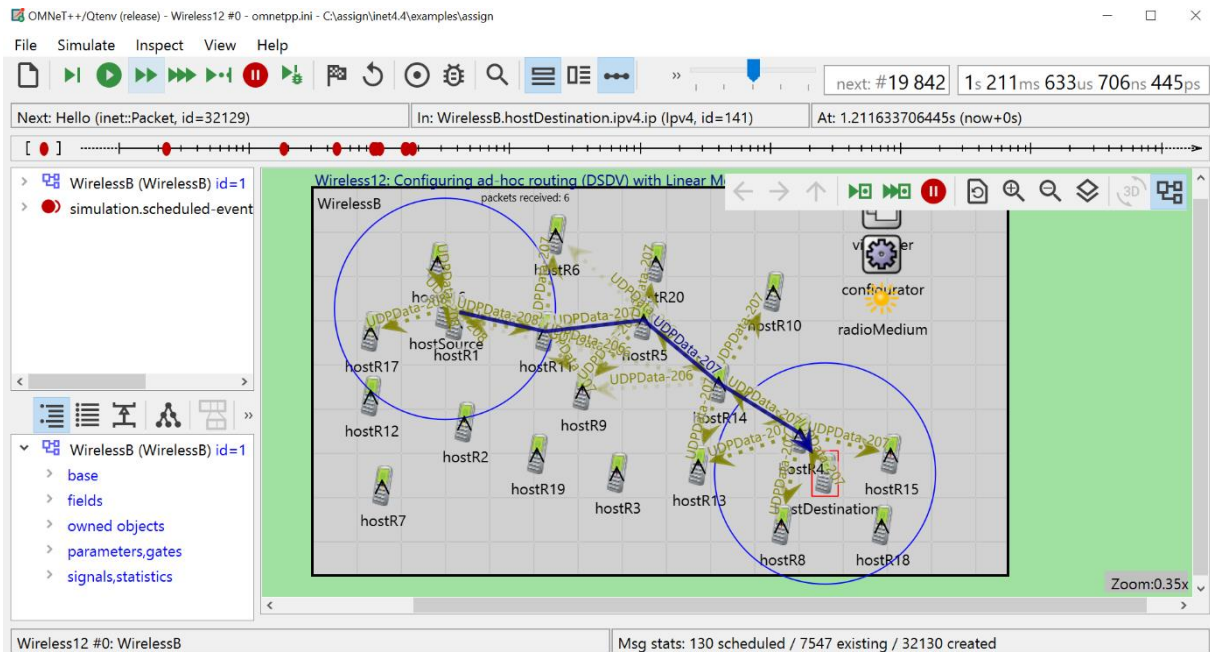


Figure 3.18: établissement de route entre la source et la destination.

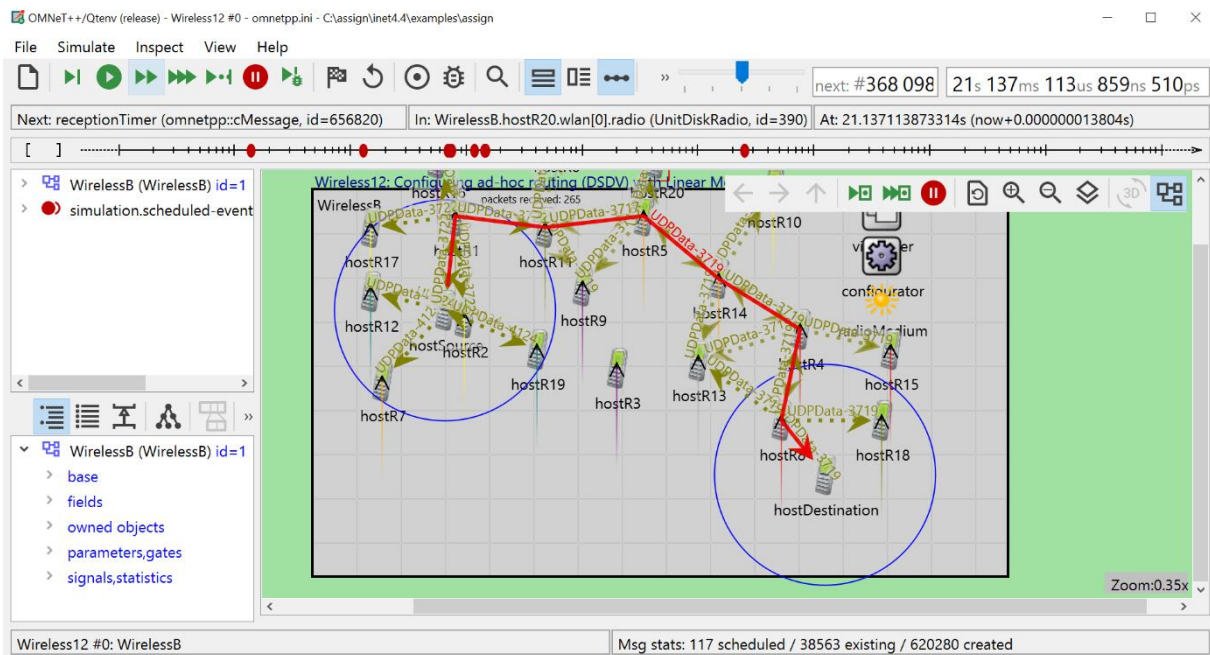


Figure 3.19: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

- Scenario 3 : Porté=500m ; Mobilité=Aléatoire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds=20.

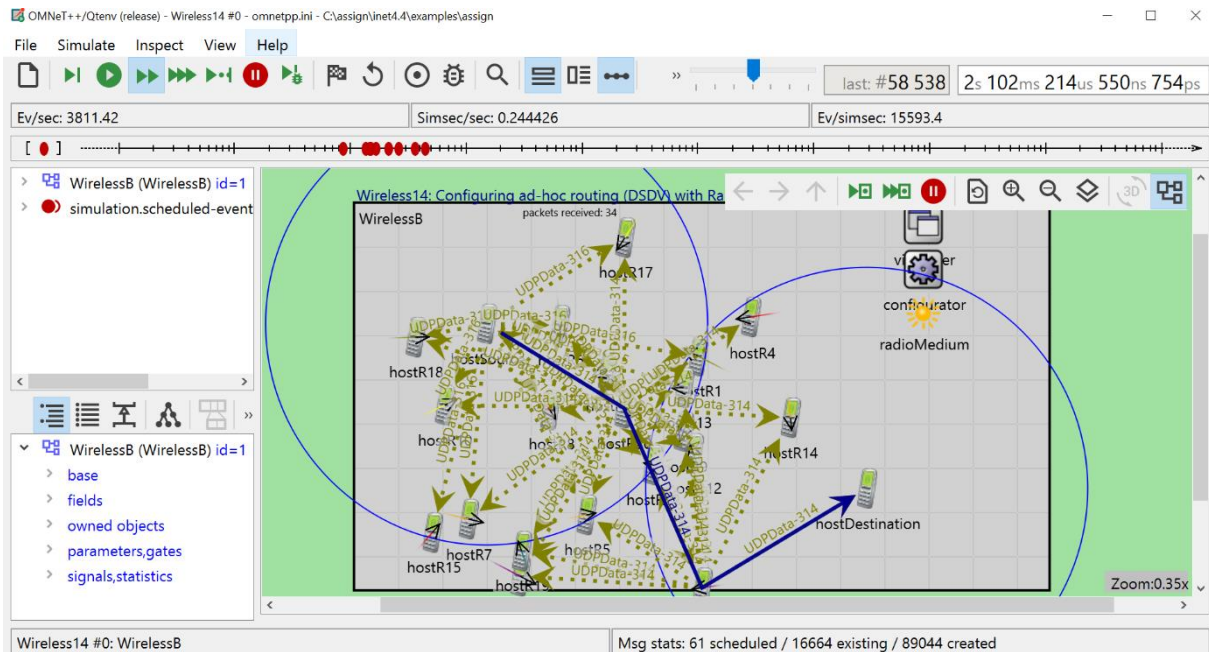


Figure 3.20: établissement de route entre la source et la destination.

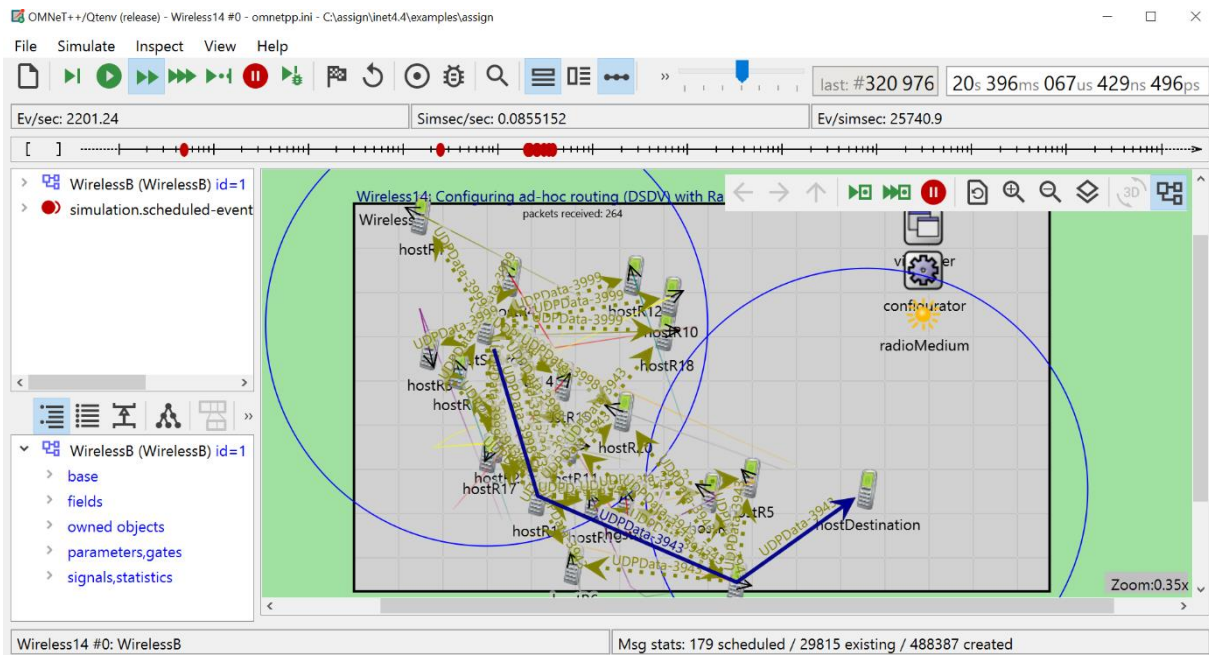


Figure 3.21: changement de route à cause de la mobilité des nœuds intermédiaires.

- Scenario 4 : Porté=250m ; Mobilité Aléatoire ; Vitesse de mobilité=12mps ; Nombre de nœuds=20.

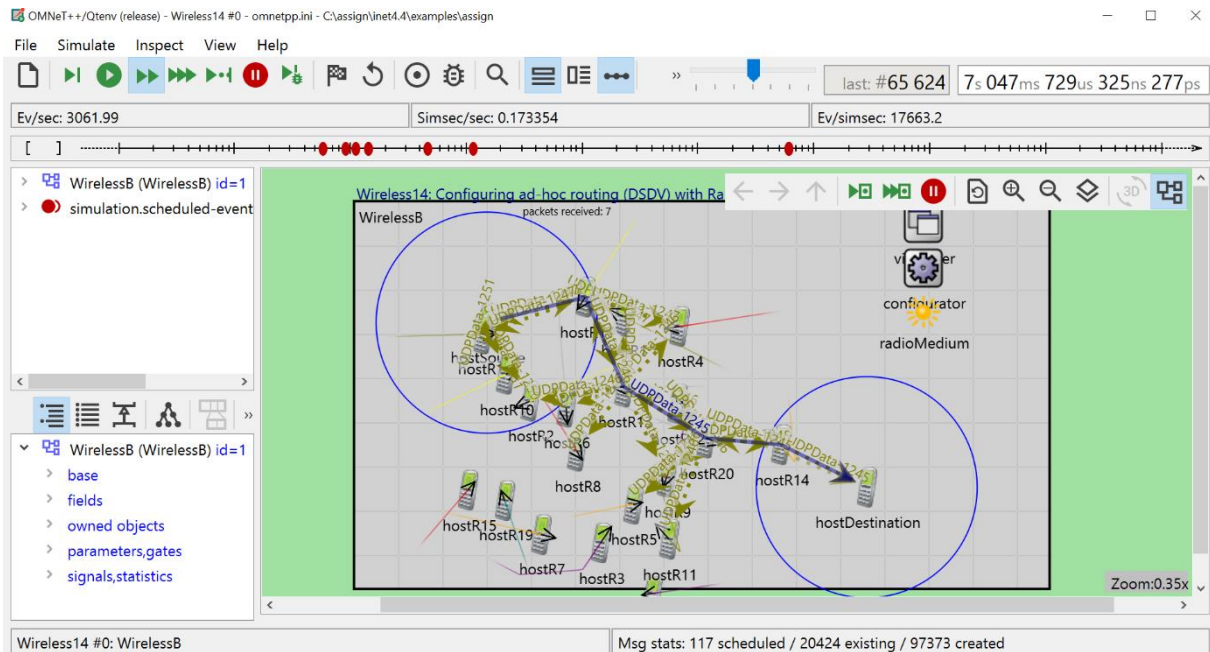


Figure 3.22: établissement de route entre la source et la destination.

### 3.2.3.5 Résultats de la simulation

Le tableau comparatif suivant représente les résultats de simulation en adoptant le nombre de paquets reçus par la destination comme métrique d'évaluation :

	Nombre de Paquets Reçu (AODV)	Nombre de Paquets Reçu (DSDV)
Scenario 1	217	169
Scenario 2	186	83
Scenario 3	767	490
Scenario 4	82	23

Tableau 3.2: Résultat de Simulation

D'après ces résultats, nous observons la supériorité et la fiabilité du protocole réactif AODV par rapport au protocole proactif DSDV, dans les environnements mobiles. Cela est dû au fait que l'AODV permet d'accélérer le rétablissement de route vers les destinations déjà atteintes à l'aide de ces requêtes de route, contrairement au protocole DSDV qui ralentit ce processus à cause de la mise à jour coûteuse des tables de routage de tous les nœuds de réseau. Par conséquent, l'AODV permet de réduire considérablement les délais de transmission des données.

### 3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons simulé deux protocoles de routage ad hoc à savoir ; l'AODV et le DSDV, en utilisant le simulateur OMNET++, dans le but de bien comprendre leur fonctionnement et de percevoir leur comportement dans un environnement dynamique. D'après les résultats de simulation, nous avons remarqué que le protocole AODV a amélioré davantage les performances du réseau en termes de taux de réception des paquets.



# **CONCLUSION GENERALE**

### CONCLUSION GENERALE

Les réseaux locaux sans fil comprennent deux catégories ; les réseaux avec infrastructure fixe préexistante et les réseaux sans infrastructure. Dans la deuxième catégorie, toutes les unités du réseau peuvent se déplacer librement et il n'y a aucune administration centralisée disponible. Les réseaux mobiles ad hoc font partie de cette catégorie.

Dans un réseau ad hoc, chaque nœud est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un nœud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination, jouant ainsi le rôle de station et de routeur, afin d'assurer la connectivité du réseau. Ainsi, chaque nœud utilise une stratégie de routage pour trouver les routes disponibles pour atteindre les autres nœuds du réseau.

Dans l'objectif d'étudier les performances de chaque stratégie, nous avons présenté en détail les protocoles de routage correspondants.

Dans le premier chapitre, l'objectif était d'évoquer les caractéristiques générales des réseaux mobiles ad hoc et de citer leurs avantages et limites.

Le second chapitre a été consacré à la présentation des protocoles de routage ad hoc tout en signalant leurs difficultés, leurs avantages et leurs contraintes.

Dans le dernier chapitre, nous avons simulé le protocole réactif AODV et le protocole proactif DSDV en utilisant le simulateur de réseau OMNET++. Les résultats de simulations ont été représentés par un tableau comparatif.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements. Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer
- [2] IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Amendment 4 : Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band. June 2003.
- [3] M. A. Ayachi ; « Contributions à la détection des comportements malhonnêtes dans les réseaux ad hoc AODV par analyse de la confiance implicite » ; Thèse de Doctorat en Informatique, 2011.
- [4] N. A. Tabbane ; « Modèles stochastiques pour la prévision de la qualité de service dans les réseaux ad hoc multimédia » ; Thèse de Doctorat en Informatique, Ecole Supérieure des Communications Tunis,2006.
- [5] O. Bouatay ; « Gestion de la consommation d'énergie dans les réseaux ad hoc via la différenciation de service » ; Docteur de l'École Supérieure des Communications de Tunis, 2010.
- [6] M. A. Ayachi ; « Contributions à la détection des comportements malhonnêtes dans les réseaux ad hoc AODV par analyse de la confiance implicite » ; Thèse de Doctorat en Informatique, 2011.
- [8] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, I. Stojmenovic ; « Mobile Ad Hoc Networking », Wiley ; SanFrancisco, CA, USA, IEEE Press, 2004.
- [9] S. Corson, J. Macker: « Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations », RFC 2501, 1999.
- [11] A.BESSAIH, S.BOUCHEKEL, « Routage et simulation dans les réseaux mobiles ad hoc », Mémoire de fin d'études, Université A/Mira de Bejaïa, 2016.(PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. June 2003.
- [16] Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. June 2003.

- [17] A.Abdel « TECHNIQUES DE TRANSMISSION ET D'ACCES SANS FILS DANS LES RESEAUX AD HOC VEHICULAIRES (VANETS) », thèse de doctorat, n° 2012TELE0036.
- [18] RAID Khaila SOUMIA CHELIHI - AKRAM Mekhancha - ADEM Bounar – MERIEM « Installation, Configuration et Administration d'un Réseau Local avec Controller de Domaine » Mémoire de fin d'études, Institut National Spécialisé de la Formation Professionnelle de Gestion Djebabia Kaddour Guelma 2015-2018
- [19] Approches cross-layer pour l'optimisation de la latence des communications dans les réseaux de capteurs sans fil - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Exemple-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil\\_fig2\\_321791920](https://www.researchgate.net/figure/Exemple-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil_fig2_321791920)
- [20] S.CHETTIBI, « Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc», Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [21] Mailles Sans fil, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI Pierre et Marie Curie, 2006
- [25] O.LAHLOU « Routage multi-chemin basé sur la fiabilité des routes dans les réseaux mobiles ad hoc », Mémoire de maîtrise en sciences appliquées, Université de Sherbrooke – canada, juillet 2005.
- [26] N.BOUKHECHEM, « routage dans les réseaux mobiles ad hoc par une approche à base d'agents», Mémoire de pour l'obtention du diplôme de Magister en informatique, Faculté des sciences et science de l'ingénieur, Constantine ,2008
- [27] N.LABRAOUI ; Pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT « La sécurité dans les réseaux sans Fil Ad Hoc » Soutenue en 2012 à l'université de Tlemcen faculté des sciences
- [28] B.Aissaoui , Z.Hemaizia , Pour l'obtention du diplôme de MASTER « Un protocole de routage optimisé dans les réseaux Ad Hoc » Soutenue le 30/05/2016 à l' Université de Tébessa Département des mathématiques et informatique.
- [29] K.AYAD Mémoire MAGISTER Thème « Sécurité du routage dans les réseaux Ad Hoc mobile » Option : Informatique Répartie et Mobile Présenté par : 14 Novembre 2012
- [30] Melle. Saloua CHETTIBI ; « Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobile Ad Hoc » ; Université Ourgla 2012
- [31] Mémoire ROUTAGE DANS LES RESEAUX MOBILES Ad Hoc PAR UNE APPROCHE A BASE D'AGENTS Présenté par : Mr BOUKHECHEM Nadhir Promotion 2007-200
- [32] Rapport de stage : routage dans les réseaux Ad Hoc minimisant la consommation des batteries laurent Ouakil september 2002

- [33] R. Bedouhene et M. Benmedour. « Protocole de Connexion des Réseaux Ad Hoc à Internet » Mémoire de fin d'études, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 2004
- [34] S.JGUIRIM, « analyse et simulation du routage dans un réseau ad hoc», mémoire de fin d'études, école de technologie supérieure université du QUEBEC, 2018
- [35] F. Ducatelle, « Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks » ; Université a Della Svizzera italiana,2007.
- [36] K.Zoubir et S.Yazid, « Protocoles de routage ad-hoc: étude et simulation», Mémoire de fin d'études, Université Ibn Khaldoun - Tiaret, 2022.
- [37] M. Dawoud, "Analyse du protocole AODV, DEA d'Informatique", Faculté des sciences Université libanaise, 2005-2006.
- [38] A.HAJAMI, « Sécurité du routage dans les réseaux sans fil spontanés : cas du protocole OLSR » ; these doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS)- Rabat, université Mohammed V.
- [39] K.Ouididi, « Routage et Qualité de Service dans les réseaux sans fil spontanés » ; Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes (ENSIAS), Université Mohammed V – Souissi,2009-2010
- [40] D.M. Mondonga, « Etude sur les protocoles de routage d'un réseau sans fil en mode Ad Hoc et leurs impacts Cas de protocoles OLSR et AODV », Mémoires magister, Institut supérieure de l'informatique Kinshasa congo, année académique 2009/2010.
- [41] S. Allouache et R. Tayeb Cherif, « Etude Comparative entre AODV et AOMDV dans le Cadre des Réseaux Ad Hoc», Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira Bejaia- 2017.
- [42] FATIMA AMEZA « Les technologies sans fil: Le routage dans les réseaux ad hoc (OLSR et AODV)», Mémoire de fin d'études, Université de Bejaia - Licence en informatique 2007.
- [43] : A.Berrabah, H.Saidi, Balancement de charges dans les réseaux Ad hoc, mémoire de fin d'études, Faculté des Sciences, université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen, 2012-2013.
- [44] M. ABDELFETTAH et S. BEKTACHE, « Développement d'un environnement pour les protocoles de routage : cas AODV et TORA », Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira Bejaia- 2015.
- [45] N. Boukhechem, routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc par une approche à base d'agents, Memoire Magister, Faculte des sciences et science de l'ingenieur, universite de Constantine, 2008

- [46] M. Abolhasan , T. Wysocki , E. Dutkiewicz ; "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks" ; Ad Hoc Networks 2, pp. 1-22, 2004 .
- [47] D. KINZI et A. MEDJBEUR, « Etude et simulation du protocole de routage DSDV dans le cadre des réseaux AD-HOC », Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira Bejaia- 2018.
- [48] : C.E. Perkins, T.J. Watson ; " Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers" ; ACM SIGCOMM-94 Conf. on Communications Architectures, London, 1994.
- [49] M. BOULKAMH CHOUAIB « prise en compte de la QOS par les protocoles de routage dans les réseaux Mobiles Ad Hoc », Mémoire de fin d'études, Université El Hadj Lakhdar de Batna 2007/2008.
- [50] Clausen, T., et Jacquet, P. (2003), "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", IETF, RFC 3626 (2003).
- [51] R.ABDELLAOUI ; « su-olsr une nouvelle solution pour la sécurité du protocole olsr », Mémoire de fin d'études, école de technologie supérieure université du Québec - 05 MAI 2009.
- [52] A.Laouiti, et P.Jacquet ; (1999), « Analysis of mobile ad-hocnetwork routing protocols in random graph models », rapport de recherche RR-3835, INRIA. 1999. ffinria-00072822f
- [54] C.Perkins, E.Belding-Royer, and S.Das ; (2003), « Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing » ; IETF, RFC 3561 (2003).
- [55] S. Redaoui « Le routage dans les reseaux mobile ad hoc », Thèse de magister, Université de Bejaia- 2006
- [56] B.GUIZANI « algorithmes de cautérisation et routage dans les réseaux Ad Hoc », Thèse de Doctorat, École Nationale des Sciences de l'Informatique (Tunisie) ,2012.
- [57] M. Ilyas ; « The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks » ; USA, CRC Press LLC, ISBN 0-8493- 1332-5, 2003.
- [58] : D. Johnson, D. Maltz, and Y. Hu, « The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (dsr), » Internet-Draft, 16 April 2003.
- [59] : O.Cheikhrouhou, « Sécurité des réseaux ad hoc », Diplôme National d'Ingénieur en Génie Informatique, l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 2005.
- [61] M.Adel S.Allal, « Expérimentation des réseaux sans fil »,2007.
- [62] ZJ Haas, MR Pearlman « The performance of query control schemes for the zone routing protocol » - ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1998

[63] ZJ Haas, MR Pearlman, P Samar « The interzone routing protocol (IERP) for ad hoc networks » - draft-ietf-manet-zone-ierp-02. Txt, 2002

[65] M. Joa-Ng, I.-T. Lu, « A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks » ; IEEE Journal on Selected Areas in Communications 17 (8) (1999) 1415–1425.

# RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES

- [7] A Survey on Ad Hoc Networks - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/An-infrastructure-less-wireless-network-1\\_fig2\\_310516691](https://www.researchgate.net/figure/An-infrastructure-less-wireless-network-1_fig2_310516691)
- [10] <https://tecnonautas.net/caracteristicas-y-usos-de-una-red-inalambrica-ad-hoc/>
- [12] <https://www.techslang.com/definition/what-is-an-ad-hoc-network/>
- [13] Review of Prevention schemes for Replay Attack in Vehicular Ad hoc Networks (VANETs)-Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/The-architecture-of-VANET\\_fig1\\_344864927](https://www.researchgate.net/figure/The-architecture-of-VANET_fig1_344864927)
- [23] Capacité de réseaux maillés sans fil : éléments déterminants et caractères insensibles - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Architecture-du-reseau-maille-sans-fil-les-points-daccess-collectent-le-trafic-de\\_fig4\\_42583594](https://www.researchgate.net/figure/Architecture-du-reseau-maille-sans-fil-les-points-daccess-collectent-le-trafic-de_fig4_42583594)
- [24] Optimisation de la QoS dans les réseaux adhoc mobiles - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Exemple-dapplication-des-reseaux-ad-hoc\\_fig3\\_360412782](https://www.researchgate.net/figure/Exemple-dapplication-des-reseaux-ad-hoc_fig3_360412782)
- [53] Adaptation à la mobilité dans les réseaux ad hoc - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Optimisation-de-linondation-par-des-relais-multipoint\\_fig7\\_39968027](https://www.researchgate.net/figure/Optimisation-de-linondation-par-des-relais-multipoint_fig7_39968027)
- [60] Black hole Attack Prevention on AODV in MANET - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Route-Discovery-using-AODV-protocol-In-Figure-2-Source-node-broadcasts-RREQ-message-The\\_fig1\\_350809210](https://www.researchgate.net/figure/Route-Discovery-using-AODV-protocol-In-Figure-2-Source-node-broadcasts-RREQ-message-The_fig1_350809210)
- [64] POWER SAVING MECHANISM FOR HYBRID ROUTING PROTOCOL USING SCHEDULING TECHNIQUE - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Concept-of-Zone-Routing-Protocol-ZRP\\_fig1\\_280671191](https://www.researchgate.net/figure/Concept-of-Zone-Routing-Protocol-ZRP_fig1_280671191)
- [66] Fault-tolerant ZHLS routing protocol for wireless mobile ad hoc network - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Zone-and-Node-Topology-of-ZHLS-In-ZHLS-an-area-is-divided-into-zones-in-which-mobile\\_fig1\\_262163363](https://www.researchgate.net/figure/Zone-and-Node-Topology-of-ZHLS-In-ZHLS-an-area-is-divided-into-zones-in-which-mobile_fig1_262163363)
- [67] Algorithme de routage coopératif à qualité de service pour des réseaux ad hoc agri-environnementaux - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Un-exemple-de-reseau-utilisant-le-protocole-DSDV-dapres-Perkins-01b\\_fig6\\_341440646](https://www.researchgate.net/figure/Un-exemple-de-reseau-utilisant-le-protocole-DSDV-dapres-Perkins-01b_fig6_341440646)



## Resumé

Un réseau AD-HOC est une collection d'entités mobiles connectées par une technologie sans fil qui créent un réseau temporaire sans infrastructure préexistante ou administration centralisée. Les nœuds de ces réseaux peuvent se déplacer librement et sont indépendants les uns des autres. De plus, la topologie de ces réseaux change constamment, ce qui rend le routage extrêmement difficile. En conséquence, le routage est l'un des aspects les plus importants de ces réseaux. Un protocole de routage approprié doit posséder certaines caractéristiques et être plus dynamique afin de répondre rapidement aux changements topologiques en raison du dynamisme de la technologie ad hoc. Les protocoles DSDV, OLSR, AODV, DSR et autres sont disponibles actuellement. Nous avons présenté en détail les différents algorithmes de routage ad hoc proposés dans ce travail. Nous avons également simulé deux protocoles, AODV et DSDV, afin de visualiser leur fonctionnement et de comprendre leurs avantages et inconvénients.

**Mot clé :** réseau, topologie, AD-HOC, routage, AODV, DSDV

## Abstract

An AD-HOC network is a collection of mobile entities connected by wireless technology that create a temporary network without pre-existing infrastructure or centralized administration. The nodes of these networks can move freely and are independent of each other. In addition, the topology of these networks is constantly changing, which makes routing extremely difficult. As a result, routing is one of the most important aspects of these networks. A proper routing protocol must possess certain characteristics and be more dynamic in order to respond quickly to topological changes due to the dynamism of ad hoc technology. DSDV, OLSR, AODV, DSR and other protocols are currently available. We presented in detail the different ad hoc routing algorithms proposed in this work. We also simulated two protocols, AODV and DSDV, to visualize how they work and understand their advantages and disadvantages.

**Keywords :** network, topology, AD-HOC, routing, AODV, DSDV

## ملخص:

شبكة AD-HOC عبارة عن مجموعة من الأجهزة المتنقلة المتصلة بتقنية لاسلكية تنشئ شبكة مؤقتة بدون بنية تحتية موجودة مسبقاً أو إدارة مركزية. يمكن لعقد هذه الشبكات أن تتحرك بحرية وتكون مستقلة عن بعضها البعض. بالإضافة إلى ذلك، تتغير طوبولوجيا هذه الشبكات باستمرار، مما يجعل التوجيه في غاية الصعوبة. نتيجة لذلك، يعد التوجيه أحد أهم جوانب هذه الشبكات. يجب أن يمتلك بروتوكول التوجيه المناسب خصائص معينة وأن يكون أكثر ديناميكية من أجل الاستجابة السريعة للتغيرات الطوبولوجية بسبب ديناميكية التكنولوجيا المخصصة. DSDV و OLSR و AODV و DSR والبروتوكولات الأخرى متاحة حالياً. قدمنا بالتفصيل خوارزميات التوجيه المخصصة المختلفة المقترحة في هذا العمل. قمنا أيضاً بمحاكاة بروتوكولين، AODV و DSDV، لتصور كيفية عملها وفهم مزاياها وعيوبها.

**كلمات المفتاحية:** الشبكات، البنية، التوجيه، AD-HOC، AODV، DSDV