

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA
BADJI MOKHTAR- ANNABAUNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de L'ingéniorat
Département : Electronique
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Télécommunication
Spécialité : Réseaux et Télécommunication

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Etude comparative entre les protocoles de routage
AODV et DSR**

Présenté par: *GHERIBLI Rania*

REZZAG AOUID Zohra

Encadrant : *TAIBI Mahmoud* Grade : *Professeur* Université : *Badji-Mokhtar ANNABA*

Jury de Soutenance :

HAFS TOUFIK	MCA	UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA	Président
MAHMOUD TAIBI	Prof	UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA	Encadrant
SAHRAOUI LEILA	MCB	UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

Résumé :

Les réseaux mobiles ad-hoc (MANET) sont des réseaux sans fil distribués autonomes qui ne nécessitent pas d'infrastructure. Un réseau ad-hoc est un groupe de nœuds mobiles qui forment un réseau temporaire avec une structure dynamique et fonctionnent sans station de base et sans gestion centrale. Les connexions multi-sauts sont possibles grâce à des protocoles de routage spécifiques.

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude comparative entre deux algorithmes de routage de même classe (les deux protocoles sont réactifs) : AODV (Distance On Demand Vector) et DSR (Dynamic Source Routing), avec une analyse des performances basée sur les résultats obtenus par la simulation avec le simulateur NS-2.

Mots clés : réseau Ad-hoc, protocole de routage, AODV, DSR, NS-2

Abstract :

Mobile ad-hoc networks (MANETs) are stand-alone distributed wireless networks that do not require infrastructure. An ad-hoc network is a group of mobile nodes that form a temporary network with a dynamic structure and operate without a base station and without central management. Multi-hop connections are possible thanks to specific routing protocols.

The objective of this work is to carry out a comparative study between two routing algorithms of the same class (the two protocols are reactive): AODV (Distance On Demand Vector) and DSR (Dynamic Source Routing), with a performance analysis based on the results obtained by the simulation with the NS-2 simulator.

Keywords: Ad-hoc network, routing protocol, AODV, DSR, NS-2

ملخص:

شبكات مخصصة (MANET) هي شبكات لاسلكية موزعة قائمة بذاتها ولا تتطلب بنية تحتية. الشبكة المخصصة هي مجموعة من العقد المتنقلة التي تشكل شبكة مؤقتة ذات هيكل ديناميكي وتعمل بدون محطة أساسية وبدون إدارة مركزية. الاتصالات متعددة القفزات ممكنة بفضل بروتوكولات التوجيه المحددة. الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة مقارنة بين خوارزميتين توجيه من نفس الفئة (البروتوكولان تفاعليان): AODV (ناقل المسافة عند الطلب) و DSR (توجيه المصدر الديناميكي)، مع تحليل الأداء بناءً على النتائج تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة مع جهاز محاكاة NS2

الكلمات المفتاحية : شبكة مخصصة، بروتوكول التوجيه، AODV، NS-2، DSR

Dédicace

Je dédie ce travail en premier lieu

- * *A*mes parents qui m'ont soutenue tout au long de mes études, avec mon éternelle gratitude et toute mon affection.

*A*insi qu'à :

- * Ma famille et mes chères amies

Gheribli Rania

Je dédie ce travail aussi à mes parents un signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti, des efforts rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue. A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de bonté, de fierté, de sagesse et de patience. A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance, A mes parents. A mon frère et A ma sœur, et A mes amis Feriel et abderrahmen, je vous réserve une place dans mon cœur et dans mes pensées, Grand remerciements s'adressent à tous membres de Jury, qui ont accepté de nous honorer de leur présence et de juger notre travail Merci.

Rezzag Aouid Zohra

Remerciements

Ce travail est le fruit de la combinaison d'efforts de plusieurs personnes. Tout d'abord, nous tenons à remercier DIEU le miséricordieux de nos avoir donné la possibilité de réaliser notre projet, d'arriver à notre souhait et d'atteindre notre objectif. Nous aimerons dans ces quelques lignes remercier toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de notre travail, tout au niveau humain qu'au niveau scientifique. Nous tenons à remercier notre encadreur MONSIEUR TAIBI Mahmoud, on a pu bénéficier à la fois de ses compétences scientifiques, et de sa grande disponibilité, tant pour résoudre les difficultés rencontrées lors de notre réalisation, de répondre à nos questions. Nous ajoutons en particulière sa patience et ses encouragements, nous a permis de travailler dans des bonnes conditions.

Liste des tableaux

Table	Titre	N°
<i>Tableau (II.1)</i>	Comparaison des grandes catégories de protocole de routage	22
<i>Tableau (II.2)</i>	Comparaison entre les protocoles de routage	22
<i>Tableau (III.1)</i>	Liste des composantes dans NS2	26
<i>Tableau (III.2)</i>	Les paramètres utilisés dans le scénario de simulation	33

Liste des figures

Figure	Titre	N°
Figure(I.1)	Mode infrastructure avec BSS	4
Figure(I.2)	Le mode sans infrastructure(IBSS)	4
Figure(I.3)	Un réseau ad-hoc	5
Figure(I.4)	Architecture plate	6
Figure(I.5)	Architecture hiérarchique	7
Figure(I.6)	Exemples d'applications MANET	9
Figure(I.7)	Les différents modes de communication	9
Figure(I.1)	Optimisation de relais multipoints	15
Figure(II.2)	Le relai multipoint	16
Figure(II.3)	Architecture du protocole de routage AODV	18
Figure(II.4)	Génération du message d'erreur de route AODV	19
Figure(II.5)	Exemple de fonctionnement de DSR	20
Figure(II.6)	Lien entre les différents algorithmes mise en œuvre par le protocole ZRP	21
Figure(III.1)	Schéma de principe de l'architecture NS-2	27
Figure(III.2)	Le fichier Nam	29
Figure(III.3)	La première topologie	33
Figure(III.4)	Les paramètres de simulation	34
Figure(III.5)	Les paramètres de réseau	34
Figure(III.6)	Les paramètres de canal	35
Figure(III.7)	Exécution de fichier .tcl	35
Figure(III.8)	Résultat de l'exécution de fichier .Nam	36
Figure(III.9)	La deuxième topologie	36
Figure(III.10)	Le fichier .Nam de la deuxième topologie	37
Figure(III.11)	La troisième topologie	37
Figure(III.12)	Le fichier .Nam de la troisième topologie	38
Figure(III.13)	Le débit moyen	38
Figure(III.14)	Le délai de bout en bout	39
Figure(III.15)	Taux de livraison des paquets	39

Liste des Symboles

MANET	Mobile Ad-hoc Network
BSS	Basic Service Set
IBSS	Independent Basic Service Set
SSID	Service Set Identifier
ESS	Extended Service Set
QOS	Quality Of Service
IEEE	Instituted of Electrical and Electronics Engineers
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
OLSR	Optimized Link State Routing protocol
BF	Bellman-Ford
DSDV	Destination Sequenced-Distance Vector routing
AODV	Ad-hoc On demand Distance Vector routing
MPR	Multipoint Relaying
TC	Topology Control
MID	Multiple Interface Declaration
HNA	Host and Network Association
RREQ	Route Request message
RREP	Route Reply message
RERR	Route Error message
DSR	Dynamic Source Routing
ZRP	Zone Routing Protocol
IERP	Inter zone Routing Protocol
IARP	Intra zone Routing Protocol
BRP	Broader cast Resolution Protocol
FTP	File Transfer Protocol
CBR	Constant Bit Rate
OTCL	Object Tools Command Language
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Data Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SRM	Scalable Reliable Multicast
CBQ	Class-based Queuing
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access /Collision Access
TK	Tools Kit
P2P	Peer to Peer

Table des matières

Résumé.....	I
Dédicace.....	II
Remerciement.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des symboles	VI
Table des matières	VII
Introduction Générale	1
Chapitre I : Introduction aux Réseaux Ad-hoc.	
1. Introduction	3
2. Les Environnements Mobile.....	3
2.1. Le mode avec infrastructure.....	3
2.2. Le mode sans infrastructure.....	4
3. Les Réseaux Mobiles Ad-hoc.....	5
3.1. Définition.....	5
3.2. Les Caractéristiques des MANET.....	5
3.3. L'Architecture des Réseaux Ad-hoc.....	6
3.3.1. Architecture plate	6
3.3.2. Architecture hiérarchique.....	7
3.4. Les Avantages des réseaux ad-hoc.....	7
3.5. Les inconvénients des réseaux AD-HOC	7
3.6. Les domaines d'applications des réseaux AD-HOC	8
3.7. Modes de communications dans un réseau ad-hoc	9
4. Le standards IEEE 802.11 en mode Ad-hoc	10
4.1. Les protocoles MAC dans les MANETs pour l'accès au medium.....	10
5. Conclusion	10
Chapitre II : Le Routage dans les Réseaux Ad-hoc	
1. Introduction	11
2. Le Routage dans les réseaux Ad-hoc.....	11
2.1. Définition de Routage.....	11
2.2. Les contraintes de routages dans les réseaux ad-hoc	11
2.3. Les deux méthodes utilisées dans le routage	12
3. Classification des protocoles de routage Ad-hoc.....	13
3.1. Les Protocoles Proactifs	13
3.1.1. Le Protocole OLSR	13
3.2. Les Protocoles Réactifs	16
3.2.1. Le protocole AODV	16
3.2.2. Le protocole DSR	18
3.3. Les Protocoles Hybrides	19
3.3.1. Le Protocole ZRP	20
4. Les tableaux comparatifs.....	20
5. Conclusion.....	21
Chapitre III : La Simulation des protocoles AODV et DSR.	
1. Introduction.....	23
2. La simulation.....	24
3. Présentation du simulateur NS-2	24

3.1. <i>Architecture de NS-2</i>	25
3.2. <i>Les Avantages et les Inconvénients du simulateur NS-2</i>	27
3.3. <i>Structure du NS-2</i>	27
1.4. <i>Les différents modèles de mobilité sous NS-</i>	28
1.5. <i>NS2 scénario Generator 2 (NSG2)</i>	30
4. <i>L'installation du NS2</i>	30
5. <i>Les critères d'évaluations</i>	31
6. <i>Paramètre de simulation</i>	31
7. <i>Les différents scénarios</i>	32
8. <i>Les Résultat de simulation</i>	37
9. <i>Conclusion</i>	39
 <i>Conclusion générale</i>	 40
<i>Bibliographie</i>	

Introduction Générale

Depuis leurs créations, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles. Le média hertzien offre en effet des propriétés uniques, qui peuvent être résumées en trois points : la facilité du déploiement, l'ubiquité de l'information et le coût réduit d'installation. En particulier, ils offrent la mise en réseau des sites dont le câblage serait trop difficile et coûteux à réaliser. Généralement, les réseaux mobiles sans fil sont divisés en deux catégories : les réseaux avec infrastructure ou cellulaire et sans infrastructure ou ad-hoc. Plusieurs systèmes utilisent le modèle cellulaire ou ce qu'on appelle les réseaux téléphoniques à commutation. Ce type nécessite une infrastructure fixe, cependant il a un grand usage dans notre vie actuelle. Tandis que la deuxième catégorie s'appelle les réseaux mobiles Ad-hoc.

Dans un réseau Ad-hoc, généralement l'émetteur et le récepteur ne se trouvent pas dans la même zone de couverture, cela nécessite la coopération d'autres nœuds pour que l'acheminement des données se réalise. Dans le réseau ad-hoc, il n'ya pas une taille fixe ou un nombre précis de nœuds qui peuvent joindre le réseau, Les nœuds peuvent se déplacer aléatoirement et par conséquent la topologie du réseau change aussi rapidement et aléatoirement. L'acheminement des données vers la bonne destination est assuré via un protocole de routage multi-sauts. Ces protocoles prennent en considération les différents facteurs tels que la mobilité du nœud, l'auto-organisation, la bande passante, le nombre de liens et les ressources rares de réseau. Les protocoles de routage ont été classés en trois groupes : Les protocoles proactifs sont des protocoles qui utilisent un échange périodique d'informations de routage vers tous les nœuds de la topologie pour la création et la mise à jour des routes et les routes sont établies avant qu'il y aura une demande de transmission, et cette catégorie de protocoles est basée sur deux principales techniques: le routage par vecteur de distance et le routage par état de liens. Les protocoles réactifs initient le processus de découverte de chemins uniquement à la demande. Les protocoles hybrides, elles combinent les protocoles proactifs et réactifs. Suite à la mobilité des nœuds, plusieurs difficultés sont rencontrées dans les réseaux Ad-hoc telles que le problème du routage, la contrainte de la sur consommation énergétique, la limitation de la bande de fréquence et la faible sécurité de l'information transmise.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres, au premier chapitre, il y a une présentation générale des réseaux ad-hoc, leurs domaines d'applications, leur architecture et les contraintes qui sont illustrées. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous présentons en détail le routage et ses protocoles dans les réseaux Manet. A la fin de ce chapitre, nous présenterons une étude comparative entre ces protocoles. Enfin, Dans le troisième chapitre, nous procédons aux simulations des protocoles AODV et DSR avec différents scénarios sous l'outil du simulateur NS2 afin d'évaluer leurs performances.

1. Introduction :

Les MANETs sont des réseaux autonomes, Ils forment une topologie hautement dynamique avec la présence d'un ou plusieurs émetteurs-récepteurs différents entre les nœuds. Le principal défi pour le MANET est d'équiper chaque appareil pour maintenir en permanence les informations nécessaires pour acheminer correctement le trafic [1].

Dans ce chapitre nous allons présenter les environnements mobiles. Nous commençons par la définition de deux classes qui le constituent (mode infrastructure et mode sans infrastructure). Nous introduisons ensuite le concept des réseaux ad-hoc et les caractéristiques inhérentes à ces réseaux. Enfin nous définissons quelques domaines d'application d'un réseau ad-hoc.

2. Les Environnements Mobiles :

Un environnement mobile est un système composé d'unités mobiles et qui permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Le réseau sans fil offre deux modes de fonctionnement, le mode avec infrastructure et le mode sans infrastructure ou mode ad-hoc.

2.1. Le mode avec infrastructure :

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés stations support mobile (Mobile Support Station) ou station de base (SB) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec des sites ou unités mobiles (UM), localisés dans une zone géographique limitée.

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées. Dans ce modèle, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base [2].

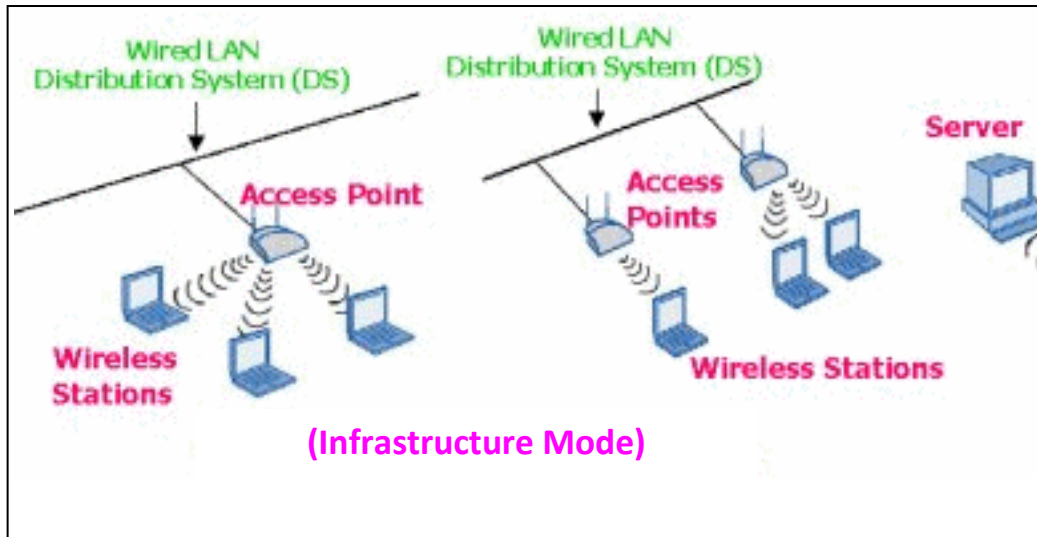
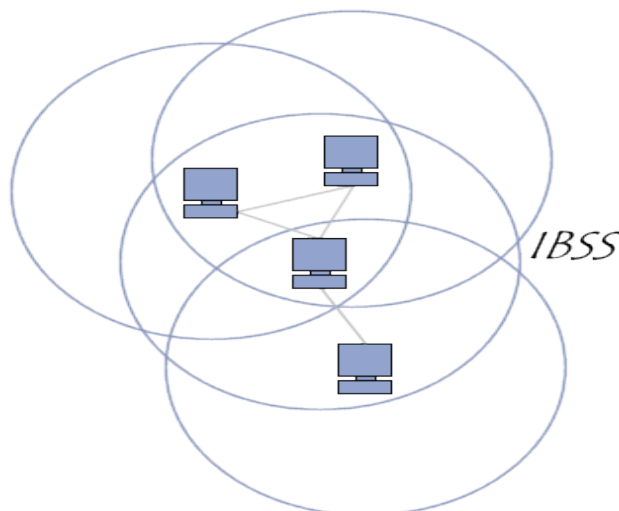


Figure (I.1) : Mode infrastructure avec BSS.

2.2. Le mode sans infrastructure :

Le réseau mobile sans infrastructure également appelé réseau Ad-hoc ou IBSS (**I**ndependent **B**asic **S**ervice **S**et) ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé des stations de base oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau [2].

Un **IBSS** est ainsi un réseau sans fil constitué au minimum de deux stations et n'utilisant pas de point d'accès. L'IBSS constitue donc un réseau éphémère permettant à des personnes situées dans une même salle d'échanger des données. Il est identifié par un **SSID** (**S**ervice **S**et **I**dentifier), comme l'est un **ESS** en mode infrastructure.

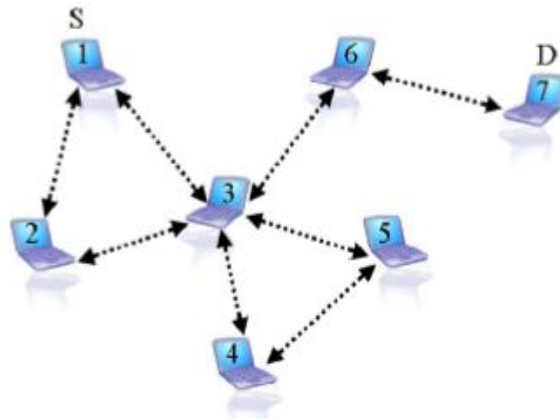


Figure(I.2) : Le mode sans infrastructure (IBSS).

3. Les Réseaux Mobile Ad-hoc :

3.1. Définition :

Un réseau mobile AD-HOC, appelé généralement **MANET** (Mobile AD-HOC Network), est un réseau sans fil autonome composé d'un ensemble de terminaux homogènes qui sont souvent en constante mobilité. Chaque station peut être par ailleurs, mise à contribution par d'autres stations pour effectuer le routage de données. De ce fait une collection d'hôtes équipés par des antennes qui peuvent communiquer entre eux sans aucune administration centralisée, utilisent les ondes radio. À cause de la mobilité des sites, La topologie du réseau peut changer à tout moment, elle est donc dynamique et imprévisible [3] [4].



Figure(I.3) : Un réseau ad-hoc [5].

3.2. Les Caractéristiques des MANET :

La perception d'un MANET comme étant équivalent à un réseau filaire conventionnel dont les câbles sont remplacés par des antennes est un malentendu commun. Les MANET ont des caractéristiques uniques qui nécessitent des solutions particulières [6].

- ❖ **Topologie dynamique** : les nœuds sont mobiles, donc la topologie évolue [7] l'apparition et la disparition des nœuds, la présence d'obstacles (arbres, bâtiments, etc.), les conditions environnementales (pluie, neige, etc.) et les interférences des ondes, sont tous des facteurs qui affectent la qualité de propagation des ondes émises et se manifestent comme des changements de topologie. L'utilisation d'interfaces radio de type **WIFI** implique le fonctionnement unidirectionnel des liens : communication Half duplex [7].
- ❖ **Bande passante limitée** : le médium de communication sans fil a une capacité plus réduite que celui filaire. De plus, le débit effectif de la communication sans fil (avec

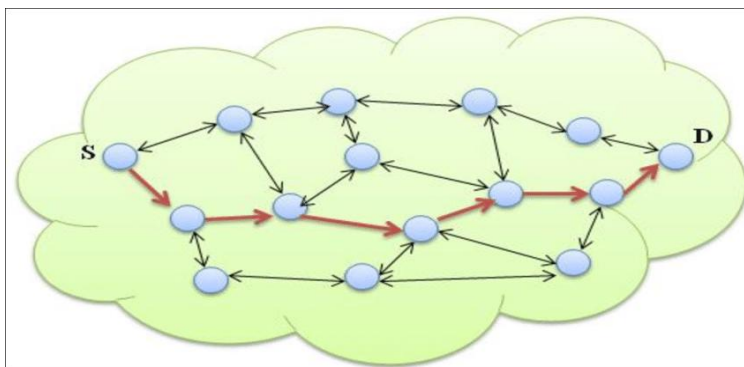
prise en compte des effets du bruit, d'affaiblissement, des collisions, etc.) est souvent inférieur au débit maximal théorique. Une conséquence directe de la capacité relativement faible du medium sans fil, est bien la congestion facile du réseau.

- ❖ **Sécurité limitée** : la communication sans fil entre les nœuds est assurée par l'échange d'ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air. Ces ondes peuvent être facilement capturées, surveillées et modifiées ce qui compromet la sécurité dans les MANET. Par exemple, le trafic peut être facilement désorienté de sa destination réelle. De plus, les attaques de type déni de service² sont faciles à implémenter [8].
- ❖ **Qualité de Service (QOS)** : de nombreuses applications ont besoin de certaines garanties relatives aux différents paramètres comme le débit, le délai, ... etc. Pour ces réseaux ad-hoc de telles garanties sont très difficiles à assurer à cause du canal radio d'une part (interférences et taux d'erreur élevés, perte des routes) et des fonctions employées pour la gestion du réseau en d'autre part [9].
- ❖ **Contrainte d'énergie** : les hôtes mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes telles que les batteries ou des autres sources consommables. le paramètre d'énergie doit être pris en compte dans tout le contrôle fait par le système [5].

3.3. Architecture des Réseaux Ad-hoc :

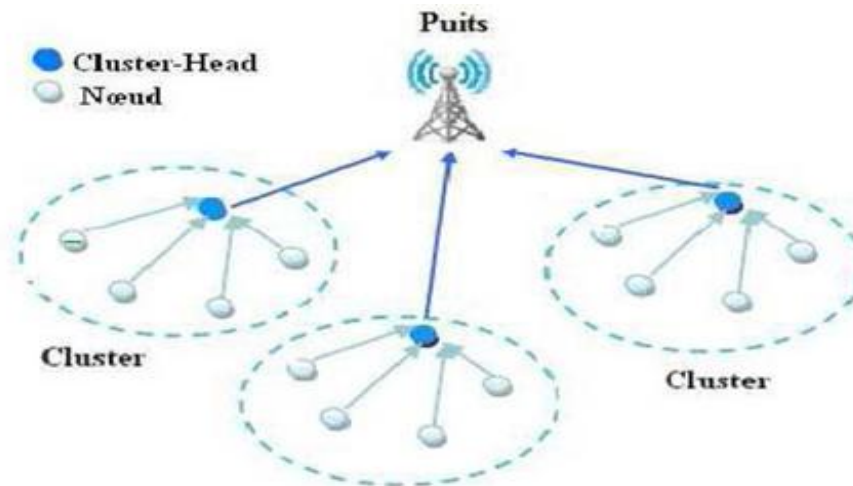
Les réseaux Ad-hoc peuvent être soit plate soit hiérarchique :

3.3.1. Architecture plate : dans cette architecture tous les nœuds participent au routage des paquets étant donné qu'ils sont au même niveau [5].



Figure(I.4) : Architecture plate.

3.3.2. Architecture hiérarchique : dans ce type un groupe des nœuds mobiles sont réunis afin de former des ensembles nommés « clusters », dans chaque cluster un seul nœud se charge du routage des paquets. Ce dernier appelé maitre ou cluster Head [5].



Figure(I.5): Architecture hiérarchique.

3.4. Les Avantages des réseaux ad-hoc :

Les réseaux ad-hoc présentent plusieurs avantages, les plus importants sont :

- Déploiement facile, rapide et économique : dans les réseaux ad-hoc, la tâche fastidieuse du déploiement des stations de base (câblage, installation, etc.) n'est plus nécessaire. En conséquence, le déploiement est aussi plus rapide et se fait avec un faible coût.
- Tolérance aux pannes : un réseau ad-hoc continue à fonctionner même si quelques nœuds tombent en panne, ceci est dû au fait qu'il ne comporte pas de nœuds centraux [10].
- assez d'avantages par rapport aux autres réseaux (filaires et cellulaires) par sa facilité de déploiement en cas d'urgence ou de travaux temporaires dont les autres réseaux engendrent des frais importants [11].

3.5. Les Inconvénients des réseaux AD-HOC :

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

- La connectivité limite les possibilités de communication. Ainsi, deux stations ne sont joignables que s'il existe un ensemble de stations pouvant assumer la fonction de routeur afin de faire suivre les paquets de données échangées entre les deux stations.
- La sécurité dans les réseaux ad-hoc est difficile à contrôler, notamment parce que dans l'interface air, l'écoute clandestine est très simple à réaliser.
- Les liens entre les stations ne sont pas isolés les uns des autres et polluent le voisinage, par diffusion, lors de chaque émission ou réception de données. Par conséquent, tout paquet de diffusion émis vers une station en cours de communication va altérer la communication de cette station. La diffusion est un facteur qui alourdit aussi d'autres paramètres tels que la bande passante et la consommation de batterie.
- Enfin, la faible autonomie des batteries constitue un frein à une utilisation longue du terminal et à la mise en place de nouveaux services, c'est une contrainte qui existe dans les réseaux avec infrastructure, mais qui est plus forte dans les réseaux ad-hoc, puisque les ressources énergétiques sont utilisées pour les besoins du routage [6].

3.6. Les domaines d'applications des réseaux AD-HOC :

La particularité du réseau AD-HOC est qu'il n'a besoin d'aucune installation fixe, ceci lui permettant d'être rapide et facile à déployer. Les applications tactiques comme les opérations de secours, militaires ou d'explorations se trouvent en AD-HOC. La technologie Ad-hoc qui s'intéresse à la recherche des applications civiles est également apparue. Parmi les applications des MANET, on peut distinguer :

- Services d'urgence : opération de recherche et de secours des personnes, tremblement de terre, feux, dans le but de remplacer l'infrastructure filaire.
- Travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments : dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence par exemple.
- Applications commerciales : pour un paiement électronique distant (taxi) ou pour l'accès mobile à Internet [12] [13].
- Domaine militaire : la mise en réseau Ad-Hoc peut permettre à l'armée d'exploiter les avantages de l'expertise des réseaux conventionnels pour préserver tout réseau d'informations parmi les véhicules, les forces armées et les quartiers généraux d'informations [14].
- Secteur de l'éducation : aménagement d'installations de communication pour des salles de conférence ou des salles de classe ou des laboratoires générés par ordinateur [14].

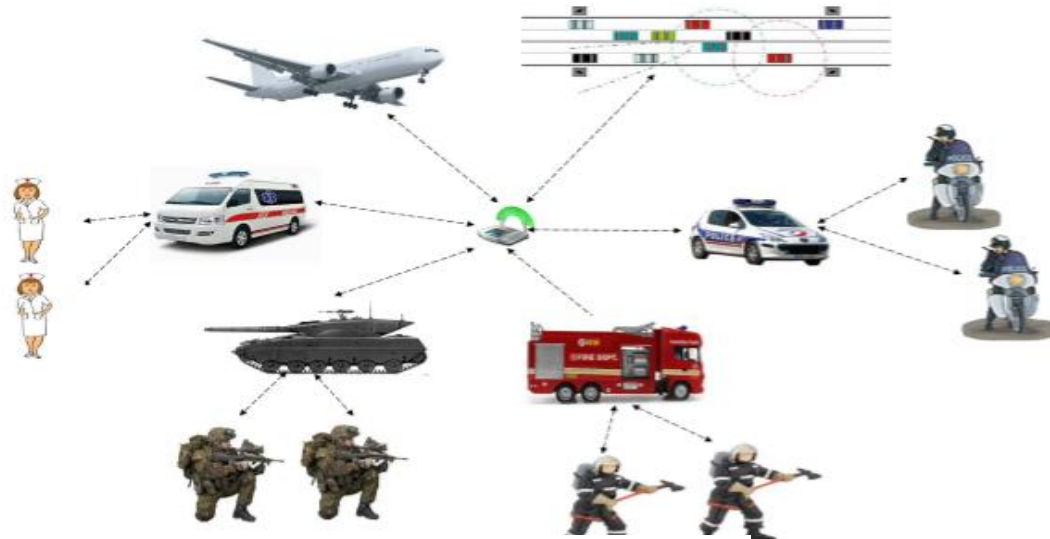


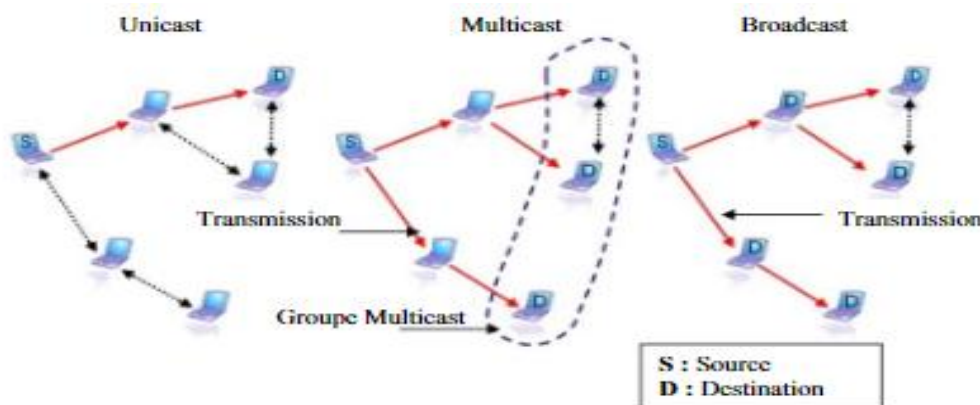
Figure (I.6): Exemples d'applications MANET [15].

3.7. Modes de communications dans un réseau ad-hoc :

Les principaux modes de communications dans les réseaux mobiles sont :

- ✚ La communication **point à point** ou **Unicast** : pour laquelle il y a une seule source et une seule destination, il a d'un objet principale, l'établissement et la maintenance correctes et efficaces de la route entre une paire de nœuds [16].
- ✚ La communication **multipoint** ou **Multicast** : qui permet d'envoyer un message d'une source à plusieurs destinataires [16].
- ✚ La communication **diffusion** ou **Broadcast** : qui envoie un message d'une source à tous les nœuds du réseau [10].

Ces trois modes de communication sont schématisés par la figure (I.7).



Figure(I.7) : Les différents modes de communication [17].

4. Le standards IEEE 802.11 en mode Ad-hoc :

La 802.11 est une norme établie par **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**, parfois nommé Wifi. Un réseau **Wifi Ad-Hoc** est en fait constitué uniquement des postes du réseau, sans point d'accès. C'est ce qui permet de mettre en réseau plus ou moins simplement des ordinateurs équipés de carte Wifi de manière improvisée. Dans un réseau Ad-hoc, la portée du BSS est déterminée par la portée de chaque station, Cela signifie que si deux des stations du réseau sont hors de portée l'une de l'autre, elles ne pourront pas communiquer même si elles "voient" d'autres stations. En effet, contrairement au mode infrastructure, le mode Ad-hoc ne propose pas de système de distribution capable de transmettre les trames d'une station à une autre [15]. Ce mode de fonctionnement se révèle très utile pour mettre en place facilement un réseau sans fil lorsqu'une infrastructure sans fil ou fixe fait défaut [18]. Dans les réseaux Ad-hoc, on choisit une méthode d'accès selon les caractéristiques du réseau (taille, mobilité, ressources des nœuds, volume d'information à échange...).

4.1. Les protocoles MAC dans les MANETs pour l'accès au médium :

Les réseaux ad-hoc mobiles utilisent dans leur accès au médium le protocole DCF (Distributed Coordination Function) qui est basé sur l'algorithme aléatoire CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [9]. Le DCF est la technique d'accès générale utilisée pour permettre des transferts de données asynchrones en best-effort. D'après le standard, toutes les stations doivent la supporter.

La méthode d'accès CSMA/CA n'est pas une méthode très répandue. Les demandes de transmission augmentent le trafic et ralentissent le réseau. La méthode d'accès évite les collisions en utilisant des trames d'accusé de réception, ou ACK (Acknowledgement). Un ACK est envoyé par la station destinataire pour confirmer que les données ont été reçues telles quelles. L'accès aux médias est contrôlé par l'utilisation d'espaces interstitiels, ou IFS qui sont l'intervalle de temps entre la transmission de deux trames [19].

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les notions nécessaires à la compréhension de l'environnement des réseaux ad-hoc. Ensuite, dans le chapitre suivant nous sommes intéressés plus au routage avec les protocoles. Ces protocoles présentent des avantages, et des inconvénients, donc des problèmes restent à résoudre.

1. Introduction :

Comme nous l'avons déjà vu, les Manets sont des réseaux autonomes sans infrastructure qui manipule la communication entre les nœuds mobiles. Afin d'assurer la transmission des informations d'un bout à l'autre du réseau, les terminaux mobiles doivent avoir la capacité de retransmettre les données.

L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques approches et techniques sur les quelles se basent les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad-hoc, on effectue une comparaison entre ces protocoles.

2. Le Routage dans les réseaux Ad-hoc:**2.1. Définition de Routage :**

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 efficaces entre n'importe quelle paire de nœud appartenant au réseau, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue. Vu les limitations des réseaux ad-hoc, la construction des routes doit être faite avec un minimum de contrôle et de consommation de la bande passante [6]. Ce cas, le plus simple correspond à une petite cellule, d'un diamètre inférieur à 100 m, comme dans un réseau 802.11 en mode ad-hoc [18].

2.2. Les contraintes de routages dans les réseaux ad-hoc :

L'étude et la mise en œuvre d'algorithmes de routage pour assurer la connexion des réseaux ad-hoc au sens classique du terme (tout sommet peut atteindre tout autre), est un problème complexe, et évolue donc au cours du temps, la topologie du réseau peut changer fréquemment. Il semble donc important que toute conception de protocole de routage doive étudier les problèmes suivants :

- **Minimisation de la charge du réseau** : l'optimisation des ressources du réseau renferme deux autres sous problèmes qui sont l'évitement des boucles de routage, et l'empêchement de la concentration du trafic autour de certains nœuds ou liens.

- **Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables** : Le fait que les chemins utilisés pour router les paquets de données puissent évoluer, ne doit pas avoir d'incident sur le bon acheminement des données. L'élimination d'un lien, pour cause de panne ou pour cause de mobilité devrait, idéalement, augmenter le moins possible les temps de latence.

-**Assurer un routage optimal** : La stratégie de routage doit créer des chemins optimaux et pouvoir prendre en compte différentes métriques de coûts (bande passante, nombre de liens, ressources du réseau,... etc.). Si la construction des chemins optimaux est un problème dur, la maintenance de tels chemins peut devenir encore plus complexe, la stratégie de routage doit assurer une maintenance efficace de routes avec le moindre coût possible.

- **Le temps de latence** : La qualité des temps de latence et de chemins doit augmenter dans le cas où la connectivité du réseau augmente [11].

2.3. Les deux méthodes utilisées dans le routage :

Autres classification, hérité du monde filaire, est possible pour les protocoles de routage: les protocoles basés sur l'état des liens et sur le vecteur de distance. Les deux méthodes exigent une mise à jour périodique des données de routage qui doivent être diffusées par les différents nœuds de routage du réseau. Les algorithmes de routage utilisent la même technique qui est les plus courts chemins, et permettent à un hôte donné, de trouver le prochain hôte pour atteindre la destination en utilisant le trajet le plus court existant dans le réseau.

La méthode 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. Un nœud qui reçoit les informations concernant l'état des liens, met à jour sa vision de la topologie du réseau et applique un algorithme de calcul des chemins optimaux afin de choisir le nœud suivant pour une destination donnée. En générale, ces algorithmes se basent sur le principe de l'algorithme de Dijkstra pour calculer les chemins les plus courts entre un nœud source et les autres nœuds du réseau. . Les principaux protocoles de routage dans les réseaux ad-hoc qui appartiennent à cette classe sont les suivants : TORA, OLSR.

La méthode du vecteur de distance : Les protocoles à vecteur de distance se basent sur un échange, entre voisins, des informations de distances des destinations connues. Chaque nœud envoie à ses voisins la liste des destinations qui lui sont accessibles et le coût correspondant. Le nœud récepteur met à jour sa liste locale des destinations avec les coûts minimums. Le processus de calcul se répète, s'il y a un changement de la distance minimale séparant deux nœuds, et cela jusqu'à ce que le réseau atteigne un état stable. Les calculs des routes se basent sur le principe de l'algorithme distribué de Bellman-Ford (DBF). Les protocoles de routage basés sur le vecteur de distance les plus connus pour les réseaux ad-hoc sont : DSR, DSDV et AODV [20].

3. Classification des protocoles de routage 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 (multi-hopping), chacun fondé sur différents concepts et reposant sur différentes hypothèses et intuitions.

Les protocoles de routage peuvent être divisés 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 [21].

3.1. Les Protocoles Proactifs :

Les protocoles de routage dans l'approche proactif « à la demande » essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau. Les routes sont sauvegardées même 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 [11].

Les protocoles proactifs offrent de bonnes performances en termes de temps de réponse, puisque les nœuds disposent immédiatement des informations de routage nécessaires. En contrepartie, le principal inconvénient des protocoles proactifs est leur coût en termes d'utilisation de la bande passante [22]. Ces informations sont stockées dans des tables de routages et qui seront mis à jour à chaque changement topologique du réseau ad-hoc mobile pour reconstruire à nouveau les routes. Les protocoles les plus utilisés sont : OLSR.

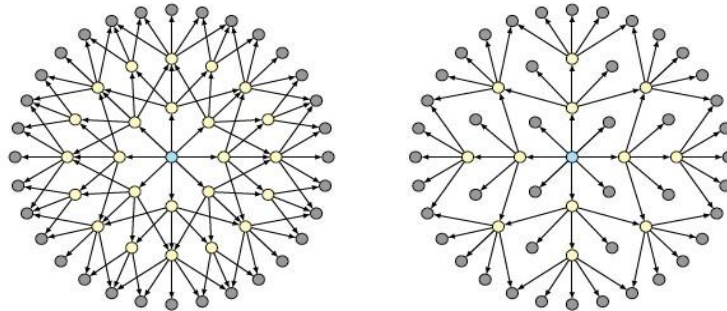
Avec un protocole proactif, les routes sont disponibles immédiatement, ainsi l'avantage d'un tel protocole est le gain de temps lors d'une demande de route. Le problème est que, les changements de routes peuvent être plus fréquents que la demande de la route et le trafic induit par les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routage peut être important et partiellement inutile, ce qui gaspille la capacité du réseau sans fil. De plus, la taille des tables de routage croît linéairement en fonction du nombre de nœud [23].

3.1.1. Le Protocole OLSR

Le protocole de routage OLSR ((**Optimized Link State Routing Protocol**), spécifié dans la RFC 3626, est un protocole à état de lien optimisé. OLSR offre des routes optimales en termes de nombre de sauts dans le réseau : le routage par état de lien optimisé (Link State Routing) où chaque nœud découvre des voisins et informe tout le réseau de son voisin par la

diffusion. Son inondation économiser la consommation de la bande passante et à réduire le nombre des messages de contrôle.

Ceci est fait à l'aide de la technique de relais multipoints MPR (Multipoint Relaying), dans lequel chaque nœud ne déclare qu'une sous partie de leurs voisinages, ainsi le nombre de message passant par MPR [11]. Le protocole est particulièrement adapté aux réseaux larges et denses car la technique des MPR fonctionne bien dans ce contexte [24].



(A): Transmission par inondation pure (B): Transmission avec les MPR

Figure (II.1): Optimisation de relais multipoints.

✚ Le protocole OLSR utilise 4 types de messages :

- **Hello** : utilisé pour la détection de voisinage.
- **TC** (Topology control) : diffuse les informations de topologie.
- **MID** (Multiple Interface Déclaration): permet de publier la liste des interfaces de chaque nœud.
- **HNA** (Host and Network Association) : utilisé pour déclarer les sous réseaux et hôtes joignables par un nœud jouant le rôle de passerelle.

✚ Les deux principales fonctionnalités d'OLSR sont :

✓ **La découverte des voisins :**

Chaque nœud du réseau diffuse périodiquement des messages 'HELLO' pour détecter ses voisins directs. Ces messages contiennent la liste des voisins connus du nœud et leur état de liens. L'état de la liaison peut-être soit symétrique, asymétrique, perdu ou relais multipoint. Ce dernier état signifie que le lien est symétrique et que l'expéditeur du message HELLO a choisi ce nœud comme un MPR. Les messages HELLO sont diffusés à chaque intervalle de temps.

Ces HELLO sont reçus par tous les voisins à un saut, mais ils ne sont pas transmis. Ainsi, les messages HELLO permettent la découverte de voisinage à un saut, et à deux sauts pour chaque nœud [25].

✓ *La diffusion de la topologie :*

Afin d'établir une base d'information, chaque nœud qui a été choisi comme MPR, diffuse des messages de contrôle spécifiques appelés : message de contrôle de topologie TC. Le message TC est envoyé périodiquement par chaque nœud dans le réseau afin de déclarer son ensemble d'élection MPR, c'est à dire le message TC contient la liste des voisins qui ont sélectionné l'émetteur comme MPR, ainsi ces informations vont aider les nœuds de construire leurs tables topologiques.

✚ *Le relais multipoint :*

Le concept de relais multipoint vise à réduire le nombre de retransmissions inutiles, lors de cette diffusion généralisée d'un message. Les voisins du second niveau peuvent être couverts par un ou plusieurs nœuds du premier niveau. L'idée se résume alors à choisir le nombre de répéteurs nécessaire pour atteindre tous les nœuds du second niveau d'un nœud. Cet ensemble forme un arbre recouvrant le réseau et s'appelle l'ensemble des relais multipoint. Il permet d'économiser la bande passante et réduit le nombre de messages reçus en plusieurs copies par un nœud [26].

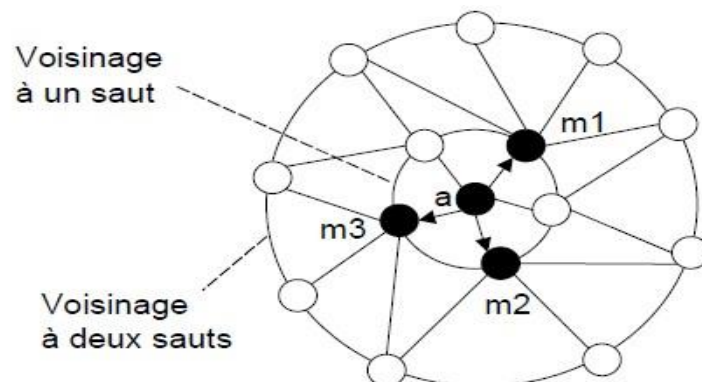


Figure (II.2): Le relais multipoint.

- ✚ **La table de routage :** est mise à jour à chaque fois qu'on détecte un changement dans la base de voisinage ou de la topologie. Plus précisément quand on détecte la disparition ou l'apparition d'un nœud dans le voisinage, ou la disparition ou l'apparition d'un tuple dans la topologie. Cette mise à jour n'entraîne aucune génération de message dans le réseau.

- ✚ Il existe quatre types de liens dans le protocole OLSR :
- a. **Lien symétrique** : signifie que le lien a été vérifié dans les deux sens, et qu'il est donc possible d'envoyer les données en unicast sur ce lien.
 - b. **Lien asymétrique** : indique que le nœud reçoit les messages HELLO, venant de l'interface voisine, mais que le lien n'est pas encore valide dans l'autre sens.
 - c. **Lien MPR** : indique que ce nœud a choisi ce voisin comme relais multipoints, et que le lien est symétrique.
 - d. **Lien perdu** : signifie que le lien correspondant est perdu et n'est plus valide.

3.2. Les Protocoles Réactifs :

Ces protocoles « à la demande » ne construisent pas de tables de routage au préalable. Si un nœud a des données à transmettre, il entreprend une recherche de route et lorsque le chemin est établi, l'acheminement des données peut commencer. Cette recherche de route diffère d'un protocole à un autre selon l'approche utilisée : état de lien ou vecteur de distance [22].

Le routage à la demande induit une lenteur à cause de la recherche des chemins, ce qui peut dégrader les performances des applications interactives (exemple les applications des bases de données distribuées). En outre, il est impossible de connaître au préalable la qualité du chemin (en termes de bande passante, délais, etc.). Une telle connaissance est importante dans les applications multimédias. Parmi les protocoles réactifs nous choisissons les deux protocoles AODV et DSR comme outils de notre simulation.

3.2.1. Le protocole AODV :

Le protocole **AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector)** est un protocole de routage réactif et basé sur le principe des vecteurs de distance, conçu pour les réseaux ad-hoc sans fil et mobiles. Ce protocole établit des routes vers des destinations à la demande et prend en charge le routage monodiffusion et multidiffusion [27].

✚ Le protocole AODV fonctionne à partir de trois types de messages :

RREQ : (Route Request Message) les messages de demande de route.

RREP : (Route Reply Message) les messages de réponse de route.

RERR: (Route Error Message) les messages d'erreur de route.

HELLO : les messages de contrôle qui permettent de vérifier la connectivité des routes [2].

✚ Chaque nœud intermédiaire qui se trouve dans la route entre un nœud source et un nœud destination doit garder une table de routage qui contient :

- ✓ Adresse du nœud destination : c'est l'adresse IP du nœud destinataire à atteindre.
- ✓ Adresse du nœud suivant : l'adresse IP du nœud auquel on va envoyer un paquet à router pour joindre une destination.
- ✓ La distance en nombre de nœud (nombre de nœud nécessaire pour atteindre la destination).
- ✓ Le numéro de séquence destination qui garantit qu'aucune boucle ne peut se former.
- ✓ Durée de vie pour laquelle la route reste à la disposition du nœud source.
- ✓ Liste des voisins qui utilisent cette route : adresses IP d'éventuels nœuds précurseurs qu'utilise le nœud courant comme un prochain saut pour atteindre la destination [25].

✚ **La découverte de route :**

Une source S diffuse un message RREQ à tous les nœuds voisins. Ce protocole utilise le numéro de séquence pour éviter le problème de boucle et utilise les routes les plus récentes. Lorsqu'un nœud de transit envoie un RREQ à un voisin, il enregistre la source dans la table de routage à partir de la première copie de la requête reçue. Une fois que la destination reçoit le message, elle retransmet un message RREP vers la source par le chemin inverse.

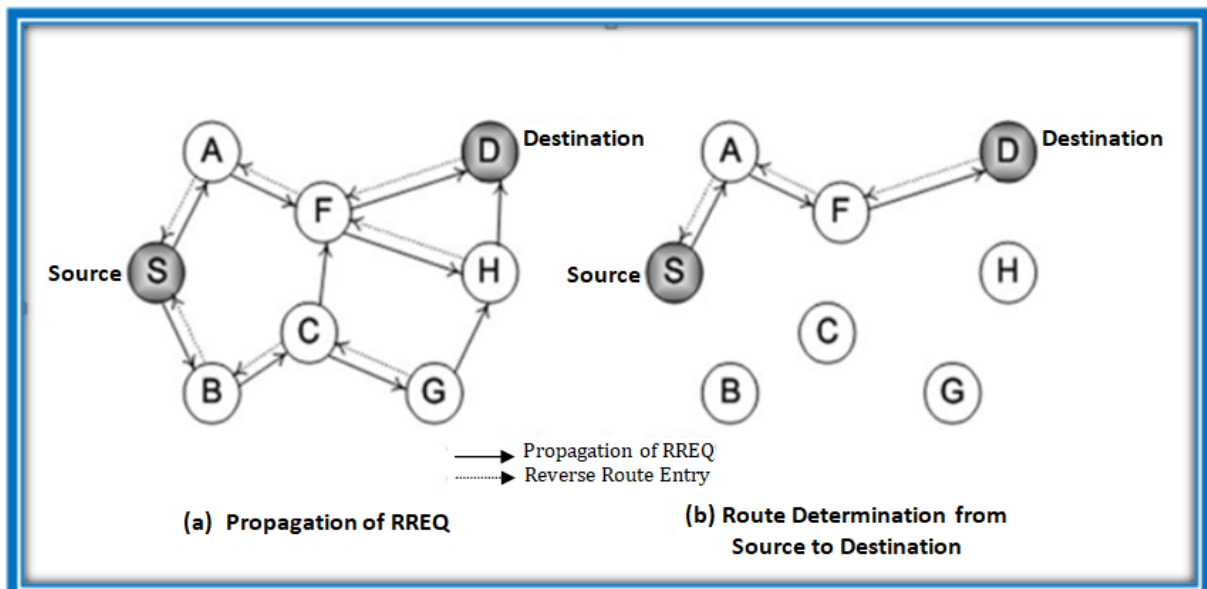


Figure (II.3) : Architecture du protocole de routage AODV.

✚ La maintenance de route :

La mise à jour des routes dans AODV est assurée par l'échange périodique de messages HELLO entre les voisins pour voir s'il est encore là, s'il n'y a pas de message Hello qui arrive d'un nœud particulier, le voisin suppose que ce nœud est déplacé et marque ce lien comme interrompu. Le message RERR envoyé par un nœud lorsqu'il détecte que la liaison avec son voisin est rompue (route invalide).

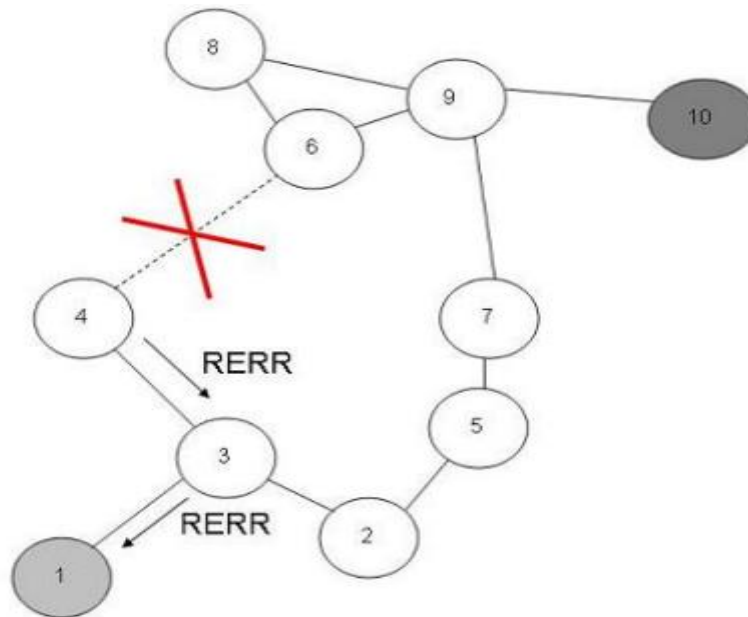


Figure (II.4) : Génération du message d'erreur de route AODV [28].

3.2.2. Le protocole DSR :

DSR (Dynamic Source Routing), son fonctionnement est très similaire du protocole AODV à la différence qu'il fournit dans les paquets de données l'ensemble des nœuds permettant d'atteindre une destination. Il est un protocole de routage réactif qui utilise la technique de routage source. Cette technique permet à la source de déterminer le chemin ou bien la séquence complète des nœuds parcourus pour atteindre une destination. Dans lequel un nœud commence le processus de découverte de la route par un paquet RREQ (**route Request**) seulement lorsqu'il n'en connaît pas le chemin approprié. Ce protocole permet de créer une liste de nœuds du chemin du routage qui sera apposé au paquet de données. Cette liste est mise à jour d'une façon continue, alors que les nouvelles routes sont aussi stockées dans d'autres listes. Lorsque le paquet RREQ arrive à la destination, celle-ci envoie un paquet-réponse RREP à la source. Le chemin de retour peut s'effectuer en inversant les entrées délivrées et mises à jour lors du parcours de RREQ. Une fois RREP est reçu, la source peut

alors établir le chemin en se basant sur le chemin mis à jour par le processus de découverte du chemin [29].

Afin de maintenir les routes, chaque nœud est responsable de transférer aux nœuds suivants. Si plusieurs échecs successifs arrivent lors de la transmission d'un paquet, le nœud envoie d'un message Route Error à l'émetteur qui supprime la route et en utilise soit une autre soit en cherche une nouvelle.

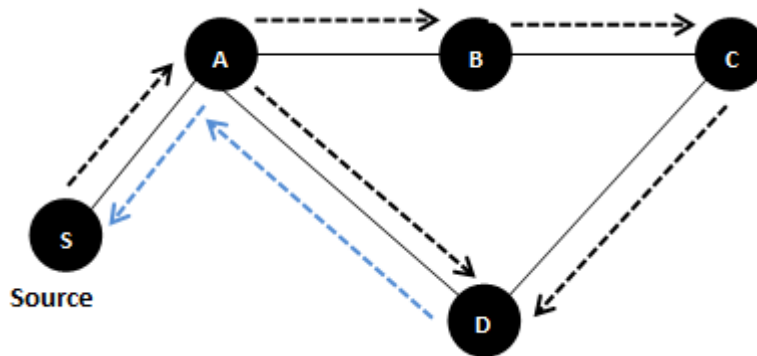


Figure (II.5) : Exemple de fonctionnement de DSR.

3.3. Les Protocoles Hybrides :

La combinaison d'un protocole réactif et d'un protocole proactif donne lieu à une troisième catégorie qu'on appelle les protocoles hybrides. Ce type de protocoles adopte une méthode proactive pour établir les chemins à l'avance dans un voisinage ne dépassant pas quelques sauts (2 ou 3 sauts) et utilise une méthode réactive au delà de cette limite. La combinaison de ces deux techniques partage le réseau en zones où un nœud peut décider directement à la réception d'un message si la destination fait partie de la même zone ou non, auquel cas il devra rediriger le message vers une autre zone [10].

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 découpe du réseau. Cependant, ils cumulent toujours quelques inconvénients des deux approches proactives et réactives.

3.3.1. Le Protocole ZRP :

ZRP est un protocole de routage hybride. Il utilise à la fois un routage proactif et un routage réactif dans le but de combler les problèmes spécifiques à ces deux types de routage. Cela est possible grâce à la notion de zone.

ZRP définit pour chaque nœud une zone de routage, qui inclut tous les nœuds dont la distance minimale à ce nœud est x . Les nœuds qui sont exactement à la distance x sont appelés nœuds périphériques.

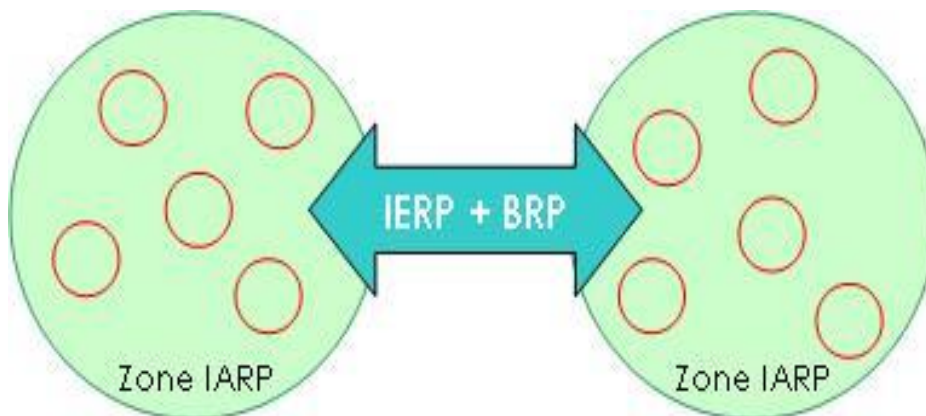
Pour trouver une route vers des nœuds situés à une distance supérieure à x , ZRP utilise un système réactif, qui envoie une requête à tous les nœuds périphériques.

ZRP met pour cela en œuvre deux types de fonctionnement : **IARP** (IntrA zone Routing Protocol) et **IERP** (IntEr zone Routing Protocol). Fondé sur un protocole à vecteur de distance, IARP donne toutes les routes jusqu'à une distance x , selon une technique proactive. IERP donne les routes pour des destinations à plus de x sauts d'une façon réactive [30].

A travers IARP chaque nœud apprend la distance qui le sépare de chaque autre nœud dans sa zone. IERP établit des liens entre nœuds dont la distance est supérieure au rayon de zone. Il s'appuie sur le protocole BRP qui définit la frontière des zones grâce à la technique de Broadcasting.

Le Broadcasting est un processus d'émission de paquets IP à partir d'un nœud vers chacun des nœuds périphériques.

Alors qu'IARP permet de trouver des routes à l'intérieur d'une zone, IERP quant à lui est responsable d'établir des liens entre des nœuds dont la distance qui les sépare est supérieure au rayon de zone [9].



Figure(II.6) : Lien entre les différents algorithmes mise en œuvre par le protocole ZRP.

4. Les Tableaux comparatifs :

Les tableaux comparatifs proposés ci-dessous présentent une synthèse des protocoles vus dans ce document :

Tableau (II.1) : Comparaison des grandes catégories de protocole de routage.

Paramètre	Proactif	Réactif	Hybride
Exigences de stockage	plus haute	Dépend du nombre de routes entretenues ou nécessaires	Dépend de la taille de chaque zone ou cluster
Disponibilité des itinéraires	Toujours disponible	Calculé selon les besoins	Dépend de l'emplacement de destination
Mise à jour périodique de l'itinéraire	Obligatoire toujours	Non requis	Utilisé à l'intérieur de chaque zone
Retard	Faible	Haute	Faible pour la destination locale et Plus élevé pour les interzones
Evolutivité	100 nœuds	>100	>1000
Contrôler le trafic	Haute	Faible	Plus bas que les autres types
Informations de routage	Conserver stocké dans le tableau	Ne stocke pas	Dépend de l'exigence

 **Comparaison entre les Protocoles de Routages :**

Paramètre	OLSR	AODV	DSR	ZRP
Type de protocole	Optimized Link State Routing protocol	Ad-hoc On Demand Distance Vector routing	Dynamic Source Routing	Zone Routing Protocol
Approche de routage	Proactif	Réactif	Réactif	Hybride

Structure de routage	Plate	Plate	Plate	Plate
Sélection d'itinéraire	Etat de lien	le chemin le plus court et le chemin de mise à jour	le chemin le plus court et le chemin de mise à jour	inversion de lien
Route	Multiple	Multiple et unicast	Unicast	Multiple
Table de routage	Chaque nœud conserve une adresse complète vers chaque destination.	Chaque nœud maintient une table de routage dans laquelle les informations de routage du prochain saut pour le nœud de destination sont stockées.	Route cache full route to destination.	Table de routage
Entretien des itinéraires	Contrôler les messages envoyés à l'avance.	Chaque nœud maintient deux compteurs numéro de séquence et ID de diffusion.	Deux processus différents : 1. accusé de réception saut par saut. 2. Reconnaissance de bout en bout.	Inversion de lien et informations stockées dans la table de liens
Fonctionnement du protocole	Prend en charge trois mécanismes de détection des voisins, une inondation efficace du trafic de contrôle et des informations de	1. RREQ diffuser 2. RREP propagation 3. RERR un message	1. RREQ diffuser 2. RREP propagation 3. RERR un message	1. RREQ diffuser 2. RREP propagation 3. RERR un message

	topologie suffisantes			
Avantage	1. Minimiser les frais généraux amélioré la qualité de la transmission	1. Adaptable à la topologie dynamique élevée. 2. boucle libre. 3. AODV a une efficacité de bande passante plus élevée en raison d'une moindre surcharge	1. Prend en charge le routage multi chemin	Avec une zone radius correctement configurée, exécutez à la fois des protocoles de routage proactifs et des protocoles de routage réactif
limitation	1. Nécessitent plus de puissance de traitement et de la bande passante	1. Problèmes d'évolutivité dus au routage et à l'inondation des sources 2. AODV prend plus de temps pour construire la table de routage	1. Problèmes d'évolutivité dus au routage et à l'inondation des sources 2. étant un protocole réactif DSR souffre d'une latence de découverte de route élevée	1. La destination du chemin peut-être sous-optimale 2. L'exigence de mémoire est plus grande

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous sommes concentrés sur les protocoles de routage AODV, DSR, OLSR et ZRP qui sont concernés par notre étude. Ce chapitre a été axé sur le fonctionnement et le comportement de chacun de ces protocoles dans les réseaux Ad-hoc. Dans le chapitre qui suit on va montrer la simulation des deux protocoles AODV et DSR.

1. Introduction :

La simulation est une étape essentielle dans le processus de conception des protocoles réseaux. En effet, tester un protocole sur un simulateur de réseau est un moyen très économique pour mesurer ses performances et donner une idée précise des performances à attendre sur une plateforme réelle.

Dans ce chapitre on présente une étude comparative des protocoles AODV et DSR au moyen du simulateur NS2. Nous commençons tout d'abord par présenter l'outil de simulation NS2 et son architecture et les modèles de mobilité supportés par NS sont ensuite listés. Nous décrivons par la suite la structure des nœuds mobiles sous NS2 avant d'illustrer le processus d'installation, configuration de NS2. Par la suite, on donnera les formats des fichiers de trace générée par NS2, en plus de la visualisation des résultats sous NS2. Puis on passe à la description de Scénario de la simulation d'un réseau mobile. Des simulations aussi sont faites pour montrer une comparaison en tant que : délai de bout en bout, le taux de livraison de paquets et le débit moyen.

2. La Simulation :

La simulation est une méthode intéressante pour évaluer les performances d'une nouvelle approche avant l'implémentation sur une carte ou sur un autre équipement. La simulation par ordinateur permet de modéliser des objets hypothétiques et de la vie réelle sur un ordinateur afin qu'il puisse être étudié pour voir comment le fonctionnement du système.

3. Présentation du simulateur NS2 :

Le plus célèbre et le plus répandu des simulateurs de réseaux est sans conteste Network Simulator 2 (NS-2). Il est disponible gratuitement et open source. L'ouverture du code source à la communauté a contribué à l'enrichir de nouveaux protocoles et de nouvelles fonctions au fil du temps. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau.

NS-2 nécessite deux langages : OTCL (Object Tools Command Language) et C++. A travers le langage OTCL, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : topologie du réseau, caractéristiques des liens physiques, protocoles utilisés ...etc. Ainsi, Le langage C++ sert à décrire le fonctionnement interne des composants de la simulation. Bien que les scripts de simulation soient écrits en OTCL, la base du simulateur est en C++ ce qui permet à chacun de modifier à sa guise les différents protocoles. De plus, il fait figure d'exception en matière

de compatibilité avec les simulateurs de mobilité car il permet de prendre en compte facilement des formats de mobilité largement répandus [30].

Le script contient une description globale sur la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, le type de trafic généré par les sources, les événements, etc. Le corps de simulateur est écrit en c++, cela donne une puissance d'exécution et calcul aux différents protocoles. Le résultat d'une simulation est un fichier trace contenant tous les événements de la simulation. À travers un traitement, on extrait toutes les informations désirées.

Par ailleurs, le simulateur permet la création d'un fichier d'animation (d'extension. Nam), permettant de visualiser la simulation sur l'interface graphique NAM. Cette visualisation fournit une représentation du graphique du réseau sur laquelle on peut voir les paquets circuler, suivre le niveau des files d'attente et observer le débit courant des liaisons.

NS-2 est conçu initialement pour fonctionner sur les systèmes d'exploitation Unix et Linux, mais il existe un moyen pour son installation sur un système Windows. Le simulateur NS-2 est fourni sous forme d'un paquetage qui regroupe tous les fichiers nécessaires à son installation.

Plusieurs principaux composants sont actuellement disponibles dans NS-2, nous les représentons par catégorie dans le tableau suivant [31] :

Tableau(III.1) : Liste des composantes dans NS2.

Application	Web , ftp , telnet , générateur de trafic(CBR)
Transport	TCP , UDP , RTP , SRM
Routage	DSR AODV DSDV TORA
Gestion de file d'attente	RED , DropTal , Token bucket
Discipline de service	CBQ , SFQ , DRR , Fair queueing
Système de transmission	CSMA/CD , CSMA/CA , P2P

3.1. Architecture de NS2 :

Un grand nombre de classes sont prédéfinies et mettent en œuvre plusieurs types de protocoles, des files d'attentes, de sources et algorithmes de routage.

TclObject : C'est la racine de toutes les autres classes à la fois dans l'arborescence compilée et interprétée.

NsObject : c'est une sous-classe de la classe TclObject mais reste cependant un super classe aux autres classes. La principale différence avec la classe TclObject tient à ce qu'elle soit capable de recevoir des paquets et traiter des événements. Elle est réellement définie par les sous-classes :

- **Application** : Classe mère de toutes les applications (ftp, Telnet, web).
- **Agent** : La classe agent fournit des méthodes utiles au développement de la couche transport et à d'autres protocoles du plan de signalisation ou de gestion. C'est la classe de base pour définir des nouveaux protocoles dans NS-2.
- **Node** : un nœud peut être une machine hôte, un switch, un routeur, une passerelle, etc. Chaque nœud contient au minimum les composants suivants :
 - ✓ Une adresse ou un identificateur (id) automatiquement incrémenté par une unité (à partir de 0) quand les nœuds sont créés.
 - ✓ Une liste de nœuds voisins (neighbor).
 - ✓ Une liste d'agents (agent).
 - ✓ Un identificateur du type du nœud (nodetype).
 - ✓ Un module de routage.
- **Queue** : la classe mère de tous les buffers (Drop Tail, RED) Link Delay : cette classe simule le délai de propagation et le temps de transmission sur les liens du réseau. avec la classe Queue, cette classe simule la couche 1 et la couche 2.
- **Packet** : la classe de tous les paquets circulant sur le réseau.
- **TimerHundler** : la classe mère de tous les timers (temporisateurs) utilisés par les protocoles du réseau [32].

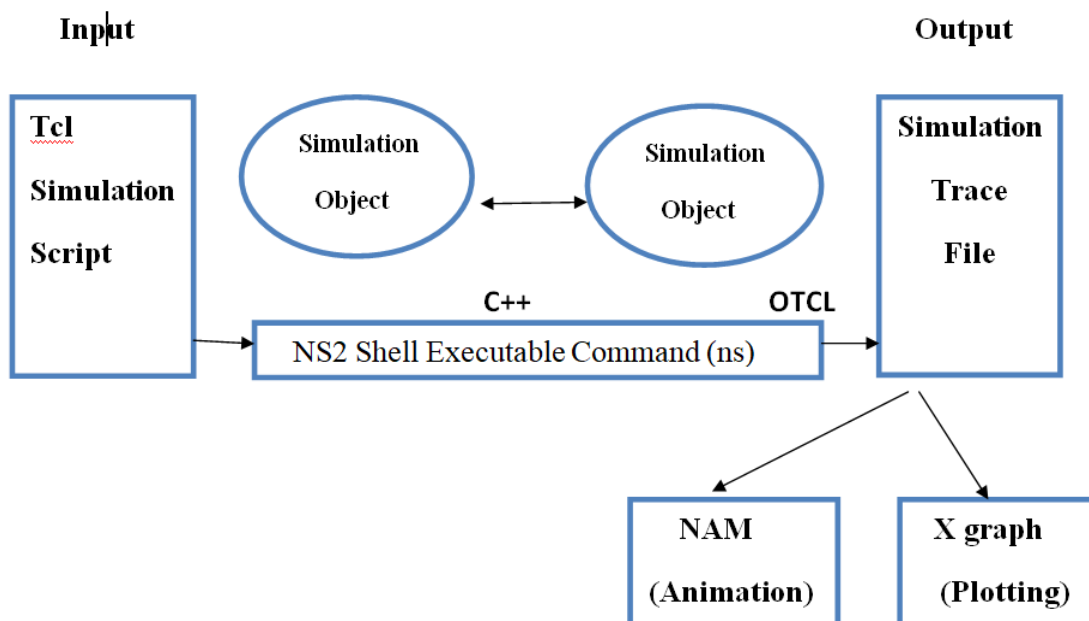


Figure (III.1) : Schéma de principe de l'architecture NS-2.

3.2. Les Avantages et les Inconvénients de simulateur NS2 [33] :

- **Les Avantages :**

- Un logiciel de simulation multicouche.
- Un outil complètement libre pour plusieurs plateformes.
- Possibilité d'ajouter des composants à la demande.
- Développement orienté objet.
- Du fait de sa popularité, de nombreux protocoles sont à priori disponibles pour NS-2.

- **Les Inconvénients :**

- la modélisation dans NS-2 reste une tâche complexe : il n'y a pas d'interface graphique.
- Une forte technicité est requise pour utiliser ce simulateur.

3.3. Structure du NS2 :

Le simulateur NS-2 fonctionne en combinaison avec différents outils de développement et langages. Principalement, les langages orientés objets et de script, C++ et OTCL sont utilisés.

Le C++ est utilisé pour développer et implémenter des algorithmes et des opérations de bas niveau alors qu'OTCL est utilisé pour les codes scripts des scénarios externes de simulations.

Le NS2 est équipé par les outils NAM et xgraph pour montrer graphiquement le déroulement de la simulation et pour tracer les résultats sous forme de courbes. Nous allons expliquer avec un peu de détails, dans ce qui suit les termes TCL/TK/OTCL, NAM, XGRAPH fichier de trace et fichier AWK :

- **TCL** : (Tools command langage), est un langage interprété, traité par un interpréteur TCL dans notre cas le NS2, les programmes écrits en Tcl sont en fait des fichiers texte constitués commandes, Ces fichiers sont appelés scripts TCL.
- **OTCL** : est une extension orientée objet de TCL, il utilise les fonctions standards du langage TCL mais également ajoute des commandes à l'interpréteur.
- **Tk (Tools kit)** : est un langage interprété permet de construire des interfaces graphiques.
- **NAM** (Network Animator) : Le NAM est un outil d'animation basé sur Tcl/Tk, utilisé dans NS2 afin d'interpréter et de visualiser le tracé de simulation des réseaux, ainsi que le trace des données. Le NAM peut être exécuté en tapant la commande

" ns<nom du fichier NAM (.nam)>", dans le Shell de Linux.

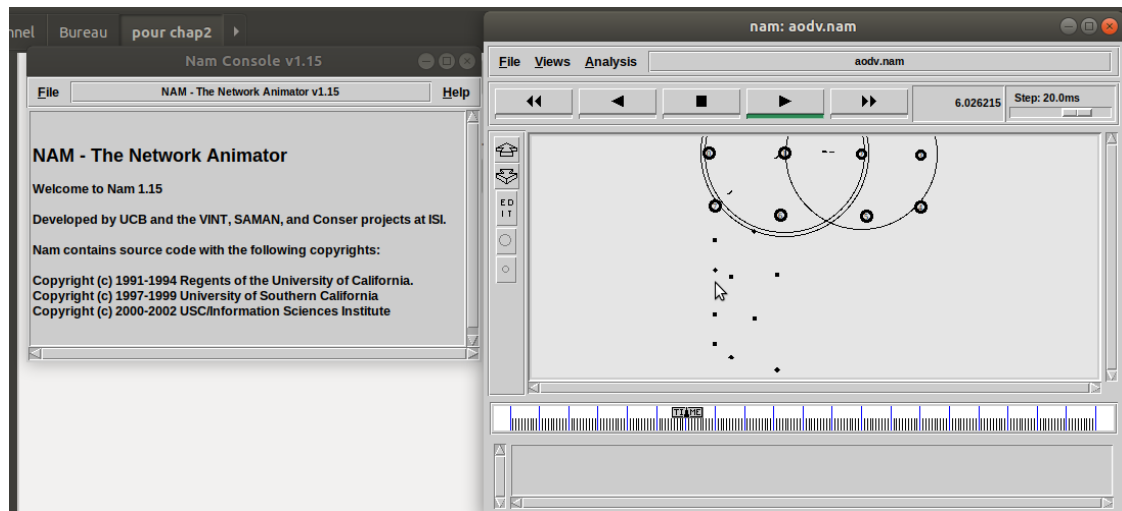


Figure (III.2) : Le fichier Nam.

- **Xgraph** : est un outil permettant de dessiner des courbes de données à partir de tableaux x/y. Il peut manipuler des tailles de l'ensemble de données illimitées et n'importe quel nombre de fichiers de données.
- **Fichier de trace** (résultat de la simulation) : Le fichier de trace est un fichier qui retrace tous les événements qui se sont produits pendant la simulation à savoir émission, réception, perte et même le passage des paquets entre les différentes couches du modèle TCP/IP. Cependant, il existe deux formats, l'ancien format et le nouveau format. Ce dernier est beaucoup explicite et clair par rapport à l'ancien. Pour l'avoir, il faut ajouter:

"\$ns use-new trace " dans le script de simulation. Les fichiers de trace sont utilisés généralement pour montrer les résultats des simulations sous forme de courbes (Xgraph).

- **Fichier AWK**: C'est un fichier écrit en AWK utilisé appliqué sur un fichier de trace. Tr afin de filtrer ce dernier et obtenir les résultats voulus et les enregistrer en sortie dans un autre fichier intermédiaire, la commande suivante montre comment le fichier AWK s'exécute directement depuis le terminal ou l'insérer dans le fichier TCL :

Exec awk -f pdr.awk dsr.tr> dsr_mesure.txt [30].

3.4. Les différents modèles de mobilité sous NS-2 :

Le déroulement de chaque simulation des réseaux ad-hoc (MANET) est lié à leurs paramètres spécifiés au préalable, ainsi, l'évaluation d'un protocole de routage ad-hoc dépend du choix

d'un modèle de mobilité pour visionner les mouvements réalistes des nœuds. Il existe plusieurs types de modèles de mobilité, certains catégories représentent les nœuds mobiles dont les mouvements sont indépendants l'un de l'autre. D'autre part, il y a des modèles de mobilité de groupe qui représentent les nœuds mobiles dont les mouvements dépendent les uns des autres et ils tendent à être plus réalistes dans les applications impliquant la communication de groupe.

Le modèle Random WAY Point (RWP) :

Dans ce modèle la mobilité des nœuds est typiquement aléatoire et tous les nœuds sont distribués uniformément dans l'espace de simulation. En effet il consiste à :

- Le placement d'un certain nombre de mobiles dans une zone rectangulaire de laquelle ils ne peuvent sortir.
- L'affectation d'une position, d'une vitesse et d'une destination initiale à chaque mobile.
- Chaque fois que les mobiles atteignent leur destination dans le carré, ils se déplacent vers une autre destination choisie aléatoirement après un éventuel temps de pause.

Le modèle Random Walk :

Ce modèle est développé pour imiter un mouvement imprévisible. Un nœud mobile dans ce modèle se déplace de son endroit actuel à un nouvel endroit en choisissant aléatoirement une direction et une vitesse suivant lesquelles il se déplace. Les nouvelles vitesses et direction sont choisies dans des gammes prédéfinies. Un nœud mobile atteignant la frontière de simulation, rebond avec l'angle déterminé par la direction entrante et puis continue le long du nouveau chemin.

Le modèle aléatoire de direction (Random direction model) :

Ce modèle essaie d'alléger ce comportement, fournissant un nombre constant de voisins dans toute la simulation. Les nœuds mobiles choisissent une direction aléatoire suivant laquelle ils se déplacent en tant que modèle de mobilité de Random Walk, où ils se déplacent vers la frontière de la simulation dans cette direction. Une fois que la frontière est atteinte, le nœud mobile fait une pause pendant le temps indiqué, choisit une autre direction angulaire entre (0 et 180) et continue alors le processus [32].

3.5. NS2 Scenarios Generator 2 (NSG2) :

Est un générateur de scénarios ns2 basé sur JAVA. Étant donné que NSG2 est écrit en langage JAVA, vous pouvez exécuter NSG sur n'importe quelle plate-forme. NSG2 est capable de générer des scripts TCL filaires et sans fil pour ns2. Certaines fonctions principales de NSG2 sont énumérées ci-dessous [34]:

1. Création de nœuds filaires et sans fil
2. Créer une connexion entre les nœuds
3. Création de liens (Duplex-Link et Simplex-Link)
4. Création d'agents (TCP et UDP)
5. Création d'applications (CBR et FTP)
6. Mouvement des nœuds

4. Installation du NS2 :

Dans cette partie, nous allons expliquer comment installer NS-2 sous l'environnement linux:

1. Télécharger la version du simulateur NS-2.35 (fichier ns-allinone-2.35.tar.gz) depuis:
[Http://sourceforge.net/projects/nsnam/files/](http://sourceforge.net/projects/nsnam/files/)
2. Décompresser le fichier dans un endroit bien précis, dans notre cas le NS-2.35 se situe dans les Téléchargements, avec la commande :

Note: toutes les commandes suivantes s'exécutent dans le terminal.

- Tar zxvfns-allinone-2.35.tar.gz Pour la décompression
- Sudo apt install gcc-4.8 g++-4.8 Pour l'installation de compilateur
- Sudo apt update Pour la mise à jour
- Sudo apt install build-essential auto conf auto make lib xmu-dev./install
- Cd ns2.35/
- Gedit Makefile.in pour modifier
- On change :
- CC = @cc@ à cc= gcc-4.8
- CPP=@cxx@ à CPP = g++-4.8
- Gedit linkstate\ls.h

Dans la ligne 137 on change erase à this->erase

- cd.. Pour sortir de ns2.35 à ns-allinone-2.35
- ./install On Install le ns avec le changement effectue

→Sudo apt install nam Pour installer network animator

→Gedit Makefile.in Le fichier makefile.in de nam, on change :

CC = @cc@ à cc= gcc-4.8

CPP=@cxx@ à CPP = g++-4.8

→ ./install On install le nam

3. L'installation de NSG2.1 :

1- Pour faire marcher le NSG il faut installer java, on tape cette commande dans le terminal :

Sudo apt install default-jdk

2- On télécharge le NSG2.1 depuis <https://sites.google.com/site/pengjungwu/nsg>

3- On l'exécute par cette commande (on tape dans le terminal) :

Chmod +x NSG2.1.jar

Java -jar NSG2.1.jar

5. Les critères d'évaluations :

Notre objectif dans ce travail est d'effectuer une évaluation des performances des protocoles AODV et DSR à travers les métriques suivantes :

1. Débit :

Parfois appelé bande passante, est une mesure de la quantité de données transmises depuis la source vers la destination dans une période unitaire de temps (seconde). Le débit est mesuré en nombre total de bits reçus par seconde. Le débit d'un nœud est calculé comme suit :

- **Débit moyen** = Somme du débit des nœuds du réseau / Nombre de nœuds

2. Le délai de bout en bout :

Il est en secondes et calculé par le nœud destinataire du paquet. Il inclut tout le temps passé par le paquet dans le réseau depuis sa génération.

3. Taux de livraison de paquets :

Ce taux noté PDR pour *Packet Delivery Ratio* est le nombre de paquets de données reçus avec succès par la destination par rapport au nombre de paquets de données émis par la source. Il nous permet de vérifier l'extension du protocole à un impact sur le transfert de paquets de données avec succès.

6. Paramètres de Simulation :

Dans les simulations menées avec NS-2, la zone de la simulation 1000m*1000m, nous avons considéré des nœuds mobiles qui suivent le modèle Random Waypoint. En termes de trafic de

données, nous avons choisi des sources à débit constant CBR(constant bit rate) associées au protocole UDP, et la taille des paquets de données est fixée à 1500 octets.

Tableau (III.2) : Les paramètres utilisés dans le scénario de simulation.

Paramètres	Scénario	
Protocole	AODV	DSR
Nombre de nœuds	25 – 50 – 75	25 – 50 - 75
Temps de simulation	2 minutes	2 minutes
Taille d'un paquet	1500 octets	1500 octets
Nombres des nœuds déplacés	2	2

7. Les différents scénarios :

Dans cet exemple (premier scénario), nous avons l'utilisation principale de NS-2. On va désigner la première topologie qui contient 25 nœuds avec 2 nœuds déplacés. Cela peut être vu dans la figure ci-dessous :

✚ Création de la topologie :

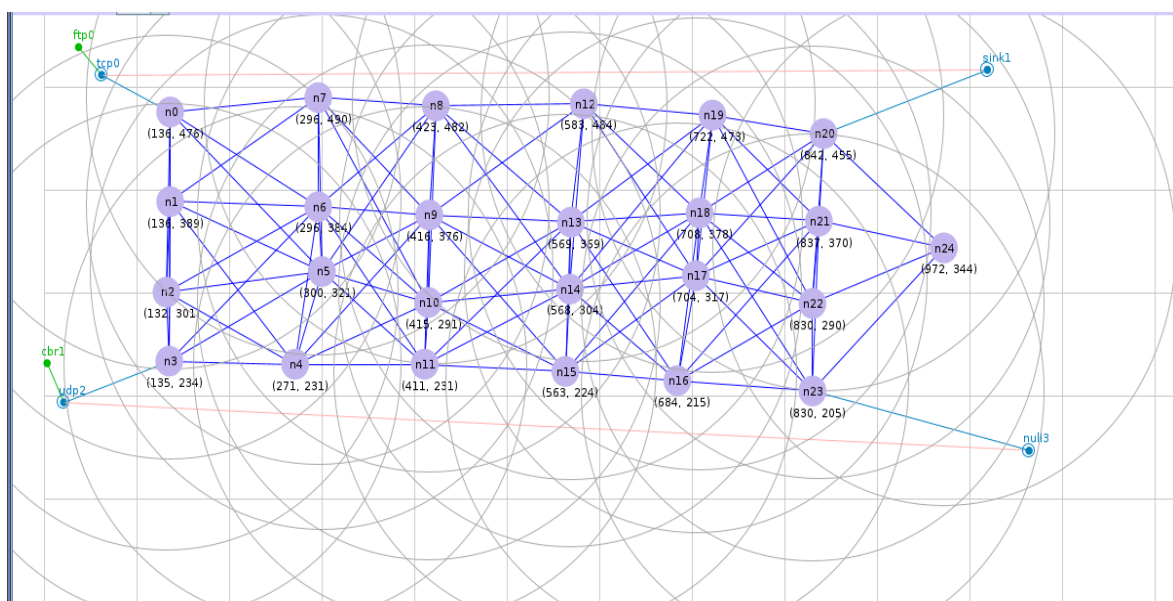
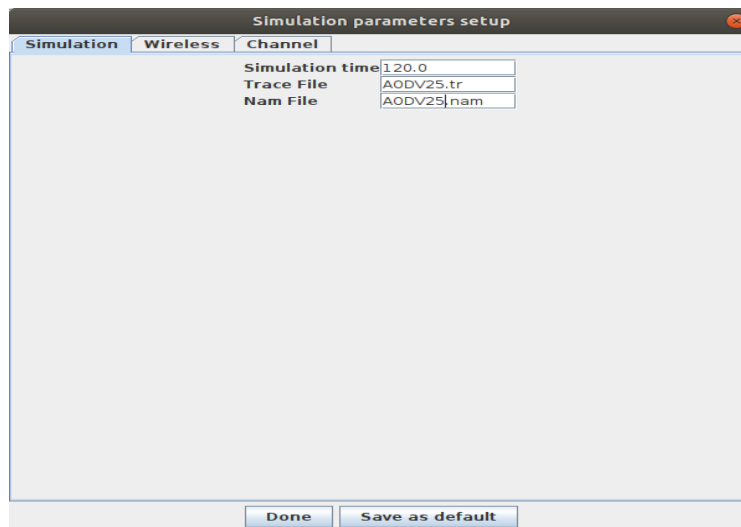
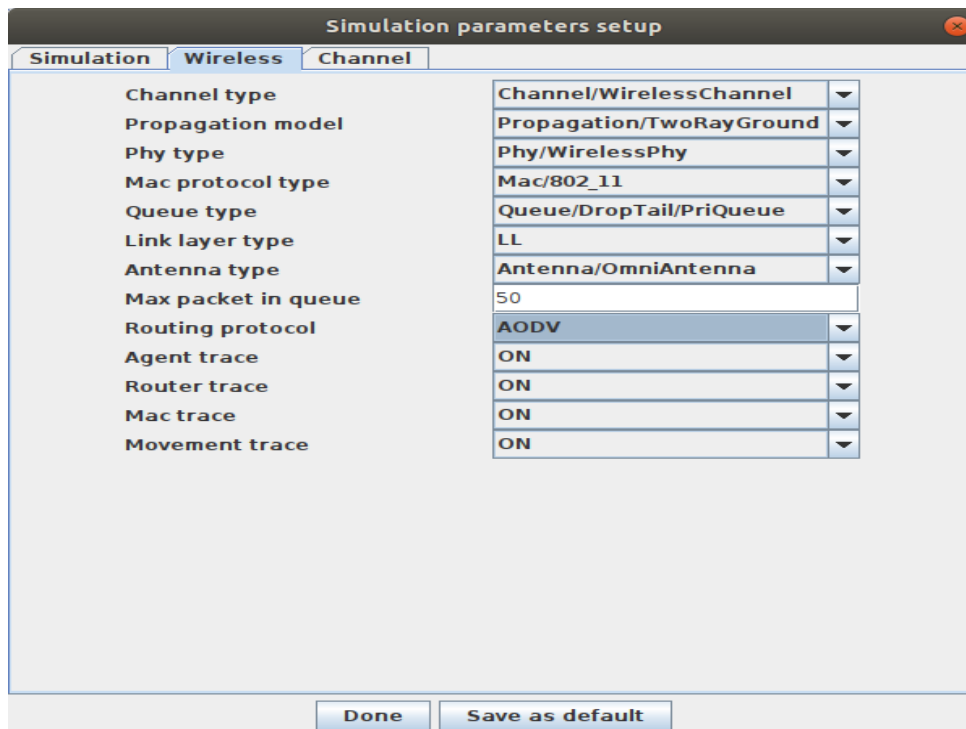


Figure (III.3) : La première topologie.

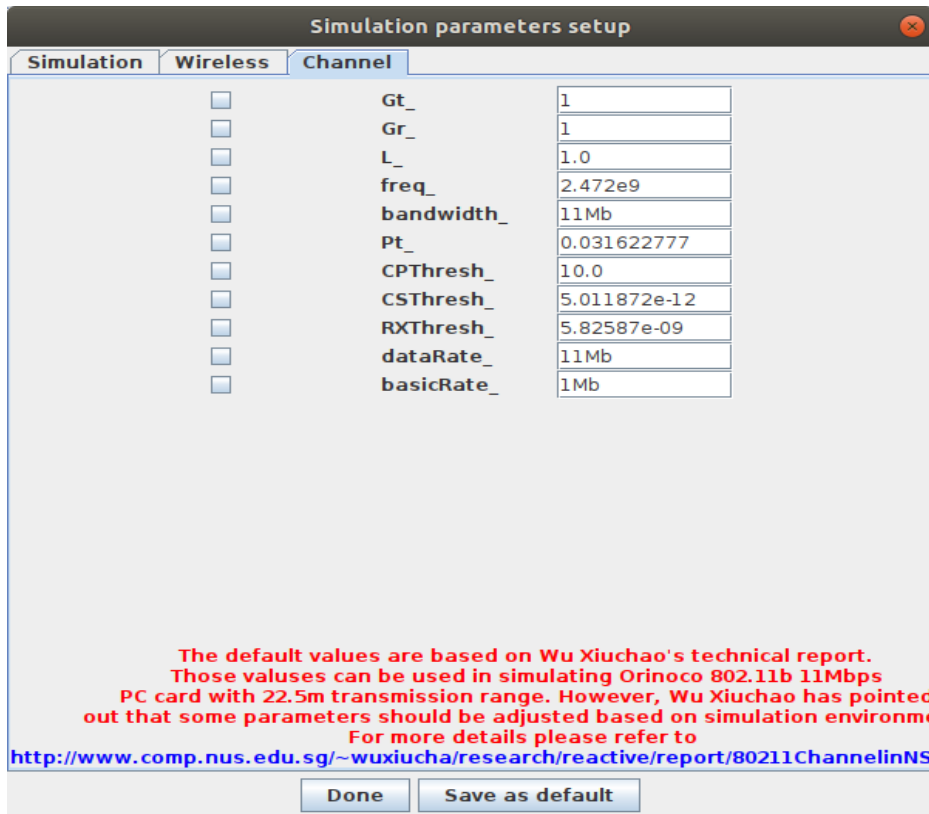
✚ On règle les paramètres de simulation suivants le tableau précédent. Les figures montre 4 5 6 comment régler ces paramètres.



Figure(III.4) : Les paramètres de simulation.



Figure(III.5) : les paramètres de réseau.



Figure(III.6) : Les paramètres de canal.

✚ Une fois le chargement effectué, nous exécutons la fichier de simulation .TCL.

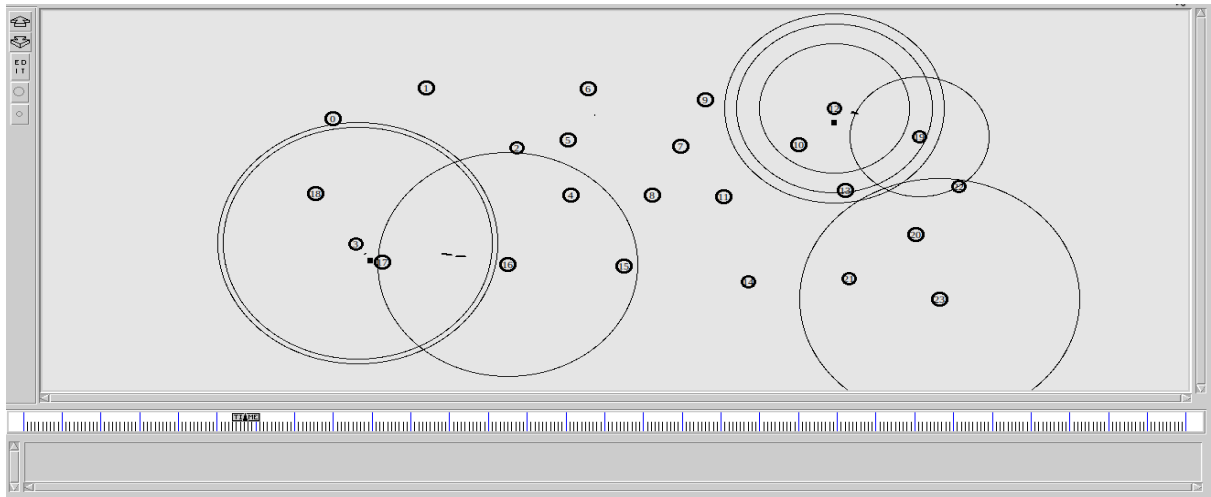
```

zahra@zahra-Inspiron-15-3567: ~/Bureau/25.50.75/25
on Affichage Recherche Terminal Onglets Aide
-Inspiron-15-... x zahra@zahra-Inspiron-15-... x zahra@zahra-Inspiron-15-... x
-Inspiron-15-3567:~/Bureau$ cd 25.50.75
-Inspiron-15-3567:~/Bureau/25.50.75$ cd 25
-Inspiron-15-3567:~/Bureau/25.50.75/25$ ns aodv25.tcl
s set 24
THE LIST xListHead
sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
ennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
TS ...DONE!
-Inspiron-15-3567:~/Bureau/25.50.75/25$ ls
aodv25.tr dsr25.tr scénario25n.mp4
ng dsr25.nam dsrnam.png
dsr25.tcl partie1générerunscénario25n.mp4
-Inspiron-15-3567:~/Bureau/25.50.75/25$ ns dsr25.tcl
s set 24
THE LIST xListHead
sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
ennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
TS ...DONE!
-Inspiron-15-3567:~/Bureau/25.50.75/25$

```

Figure(III.7) : Exécution de fichier.tcl .

- ✚ On choisit le fichier de type NAM trace et on spécifie l'emplacement du fichier puis on lance la simulation comme montre la figure suivant :



Figure(III.8) : Résultats de l'exécution de fichier.nam .

Figure(III.8) montre les paquets circulant le réseau, les nœuds et ses zones de couverture et les paquets perdus.

- ✚ On refait les mêmes étapes avec les deux protocoles comme illustré dans les figures précédentes.

Deuxième scénario avec 50 nœuds

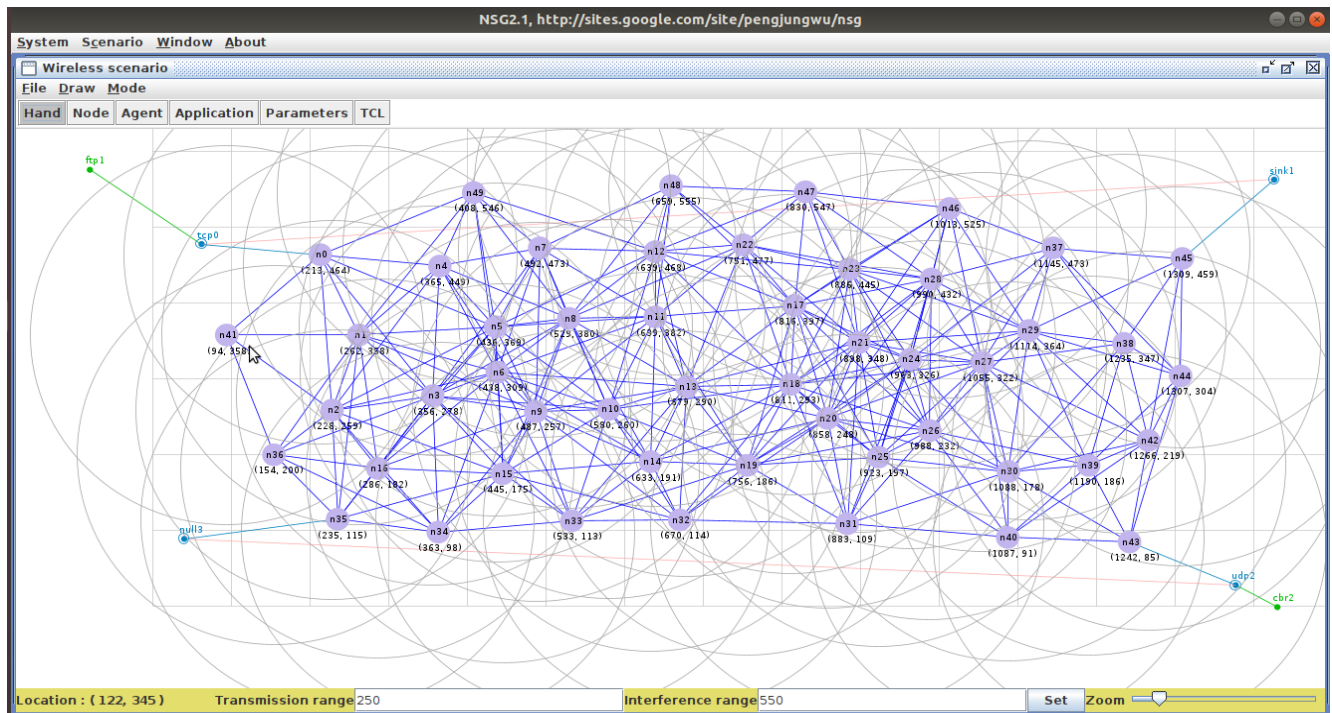


Figure (III.9) : La deuxième topologie.

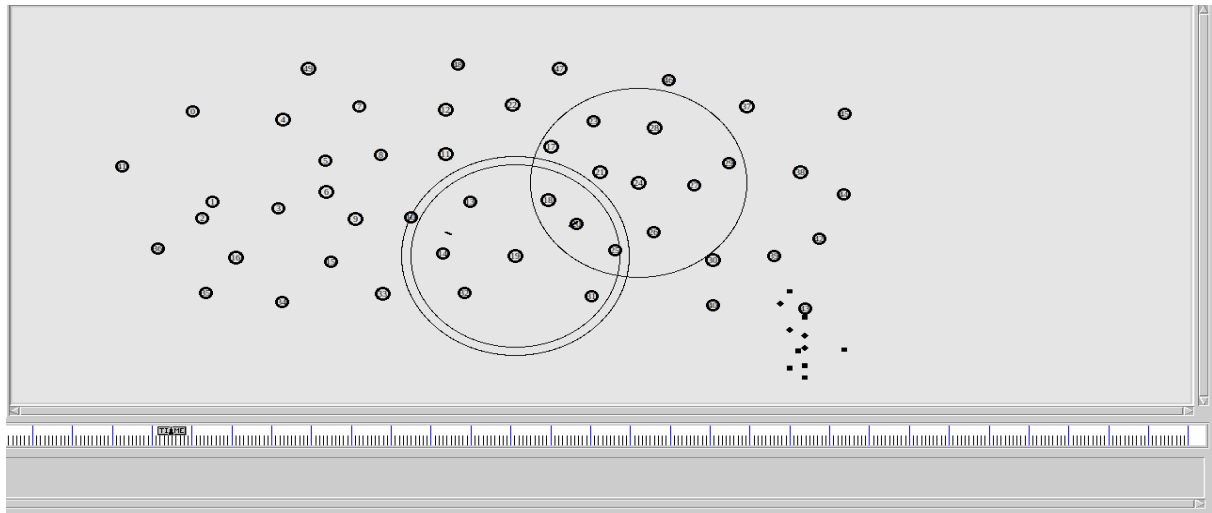
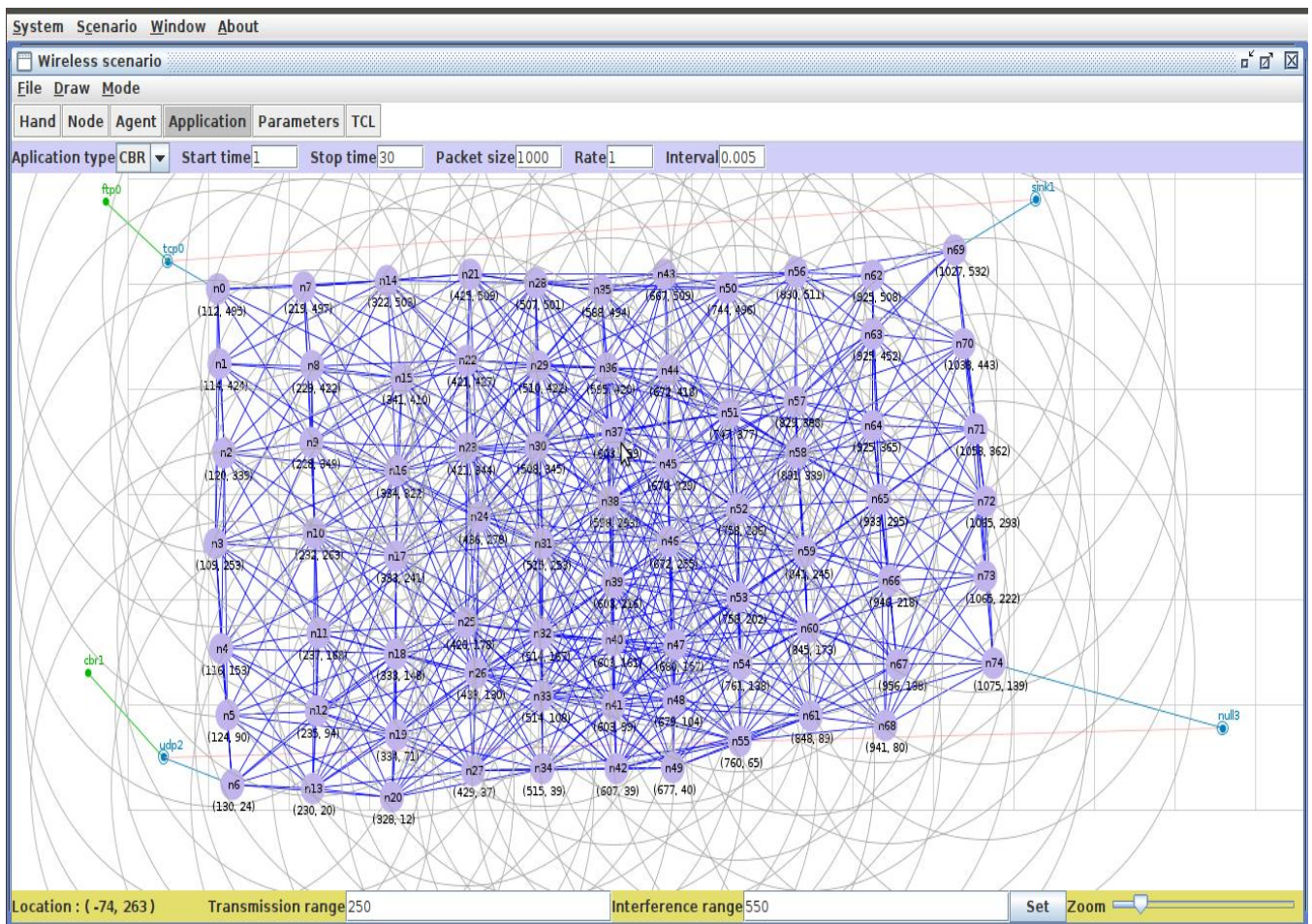


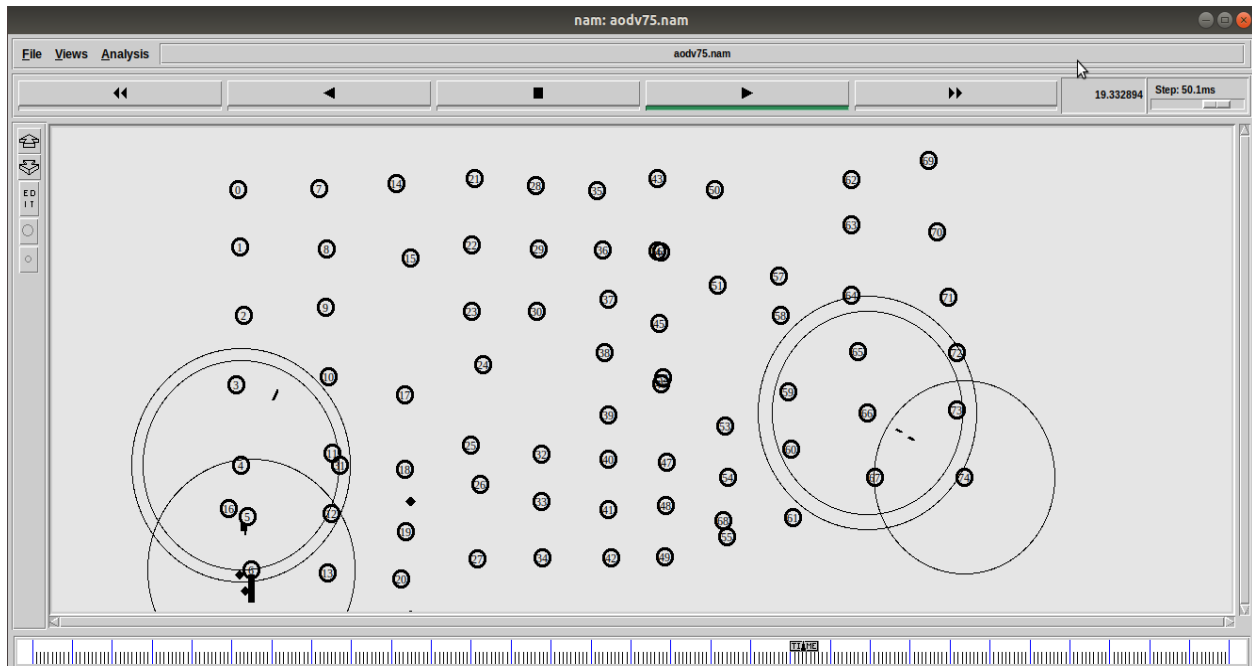
Figure (III.10) : Le fichier. Nam de la deuxième topologie.

La figure (III.10) montre les paquets circulant le réseau, les paquets perdus et la zone de couverture des nœuds actifs.

Troisième scénario avec 75 nœuds



Figure(III.11) : la troisième topologie.



Figure(III.12) : Le fichier.nam de la troisième topologie.

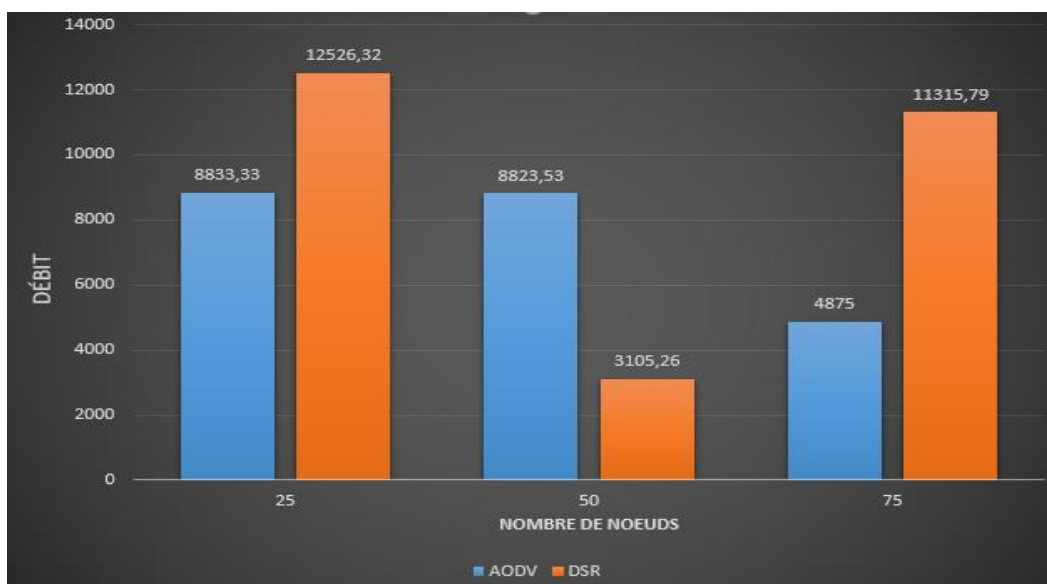
Figure(III.12) dans cette figure on voit les deux nœuds en mouvements, les nœuds actifs et les paquets perdus.

8. Résultats de simulations :

L'exécution des protocoles de routage est évaluée sur le simulateur NS2. Nous avons examiné trois paramètres d'évaluation : le débit, délais, taux de livraison des paquets.

Les figures suivantes montrent les performances de ces deux protocoles. :

1. Le débit moyen :

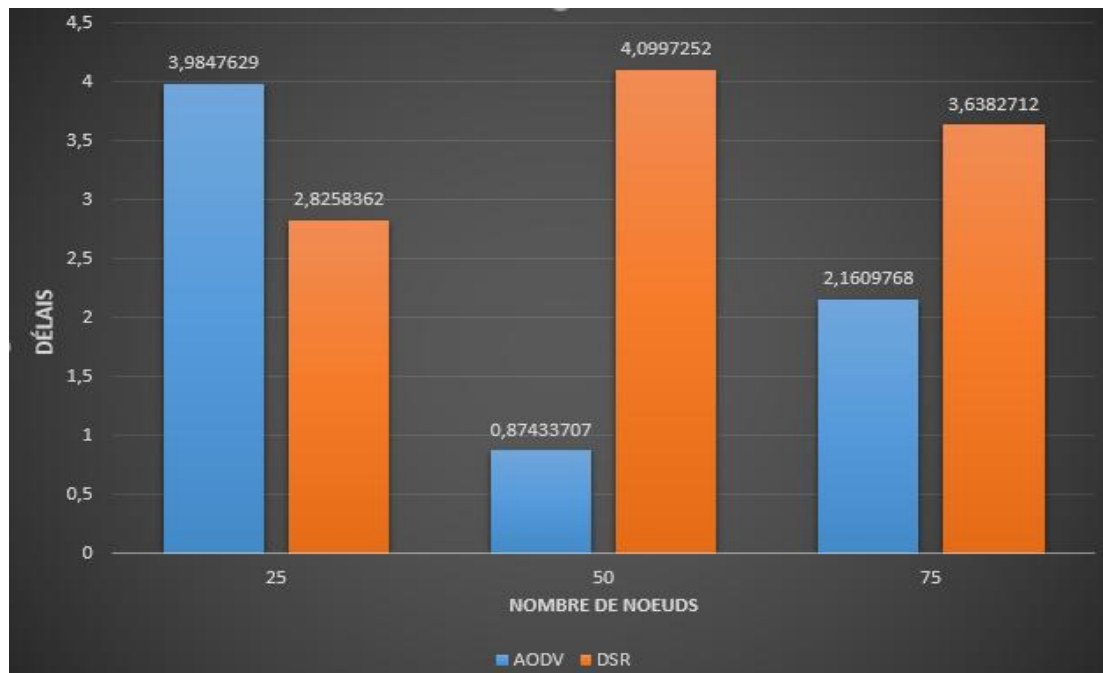


Figure(III.13) : Le débit moyen.

La figure (III.13) qui représente le débit moyen en fonction du nombre de nœuds, le débit du protocole DSR dépasse 11kb/s tandis que le débit d'AODV ne dépasse pas 4875b/s. Donc on constate que le débit de DSR est mieux que celui d'AODV pour un réseau dense.

Le débit moyen de protocole AODV est réduit à cause la consommation de la bande passante due au trafic des messages périodiques Hello.

2. Le délai de bout en bout :

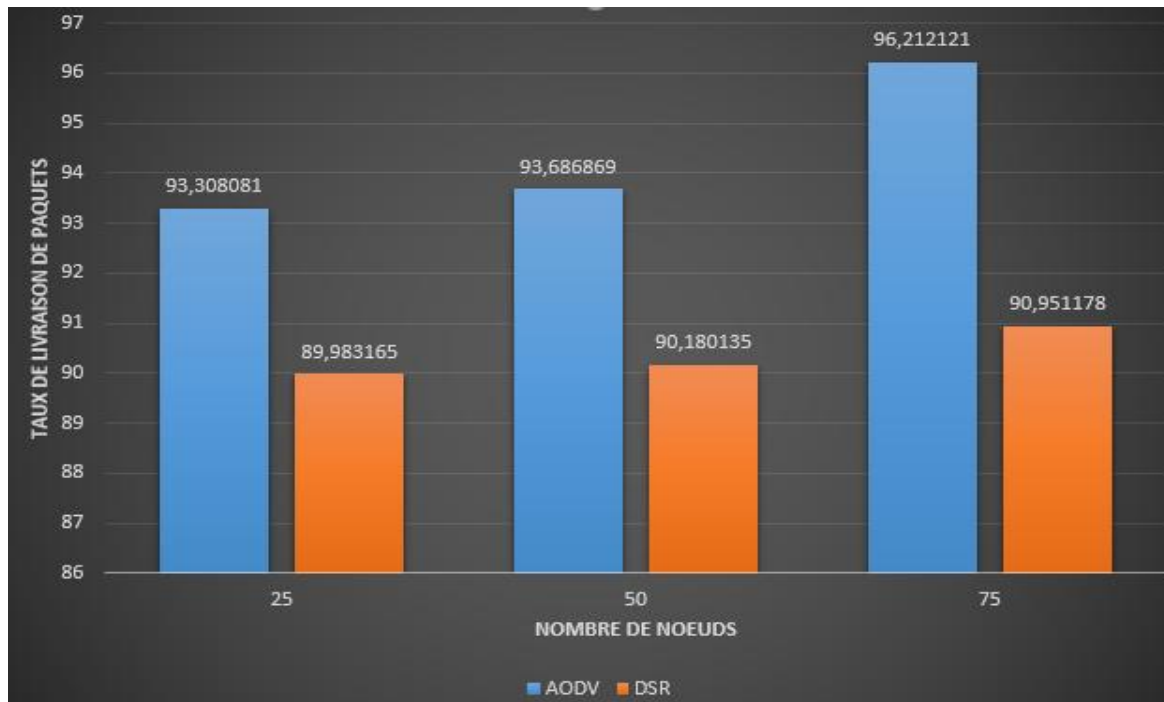


Figure(III.14) : Le délai de bout en bout.

Enfin la figure (III.14) Montre que le protocole DSR a un délai de bout en bout très élevé par rapport à l'AODV. On observe que DSR produit un retard plus important en comparaison avec le protocole de routage AODV.

Le retard dans le protocole DSR due au mouvement des nœuds.

3. Taux de livraison des paquets :



Figure(III.15) : Taux de livraison des paquets.

Dans figure (III.15) les résultats montrent que le taux de livraison de paquets d'AODV augmente avec l'augmentation de nombre de nœuds et dépasse 96% pour 75 nœuds. Donc les résultats obtenus confirment que le taux de paquets délivrés par le protocole AODV est plus élevé par rapport au protocole DSR.

Le protocole AODV supporte le routage unicast et multicast, par contre le protocole DSR supporte que le routage unicast.

9. Conclusion :

Les résultats montrent que le protocole DSR surpasse AODV en termes de débit. D'autre part, AODV surpasse le DSR en termes de délai de bout en bout et de taux de livraison de paquets.

Le DSR est influencé par la mobilité des nœuds et consomme moins de bande passante par rapport à l'AODV. Le protocole AODV offre des meilleures performances que le DSR dans les scénarios de grande mobilité.

Conclusion Générale

Le standard IEEE 802.11 est un standard très utilisé remplaçant le réseau Ethernet. Il libère les utilisateurs de raccordement de câble pour connecter deux ou plusieurs équipements réseaux et de profiter des services offerts par le réseau n'importe qu'il soit dans la zone de couverture du réseau. Nous avons présenté aussi le concept de réseau ad-hoc et le problème de routage dans cet environnement, ses principales applications, ses caractéristiques, nous avons parlé aussi du problème d'acheminement des paquets et le concept de routage dans les environnements mobiles. Comme nous avons vu, les protocoles proposés sont classés en trois catégories : les protocoles proactifs, les protocoles réactifs et les protocoles hybrides. Les protocoles essaient de s'adapter aux contraintes imposées par le réseau ad-hoc.

Dans ce projet nous avons basé sur la simulation des protocoles AODV et DSR avec le simulateur NS-2, nous nous sommes intéressés à l'analyse de leurs performances selon : le débit, délais et taux de livraison des paquets.

On a pu conclure que le routage est une des fonctions de base essentielles au bon fonctionnement des réseaux. On a pu tirer que le protocole de routage AODV offre un bon taux de livraison de paquet avec un bas retard de bout en bout durant notre simulation. La comparaison entre le protocole de routage AODV et DSR, il a fallu traverser plusieurs obstacles et passer plusieurs heures voir même des jours à concevoir, à rechercher, à installer et à programmer. Finalement, le résultat de cette recherche offre une nouvelle perspective pour le chercheur afin d'obtenir une analyse plus approfondie des protocoles de routage ad-hoc.

Bibliographie

- [1] Article contribute par **ANUSHKA KHATTRI** « Introduction of Mobile Ad-hoc Network (MANET) », last Updated: 01 Apr, 2021.
- [2] Présenter par : **Sabrine NAIMI** sur « Gestion de la mobilité dans les réseaux Ad-hoc par anticipation des métriques de routage », doctorat 2015.
- [3] Présenter par : M^{elle} **BESSADI Katia** et M^{elle} **YAHIA TENE Lisa** sur : « Evaluation des protocoles de routage dans les MANETS pour une utilisation de données multimédia », Master 2013.
- [4] Présenter par : **TAHAR ABBES MOUNIR** sur « proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride GSM et AD-HOC », thèse doctorat 2012.
- [5] Présenter par : **DERRICHE OUIZA** sur : « Etude et simulation des attaques dans les réseaux ad-hoc », Master 2011.
- [6] Présenter par : M^{elle} **MAALI NAOUEL** et Mr **GUIDDIRE SAAD** sur « Ordonnancement dans un réseau mobile ad-hoc », Master 2020.
- [7] Présenter par : Associates Membres / HdR. **Marc GILG**, HDR, SUR « Routage et sécurisation pour les Réseaux sans fil » 2018.
- [8] Présenter par : **CHETTIBI Saloua** sur «<protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc>>, Mémoire de Magister 2009.
- [9] Présenter par : **Mira Yousef** et **DJETTOU Brahim Khalil** sur « Étude des Réseaux Ad-hoc par la Théorie des Jeux », Master 2019.
- [10] Présenter par : **HAMEL REBHLE MACHI** et **KHALFI Asma** «<QOS, Routage dans les réseaux ad-hoc>>, Master 2017.
- [11] Présenter par : **FATIMA AMEZ** sur « Les-technologies-sans-fil-Le-routage-dans-les-reseaux-ad-hoc-OLSR et AODV », Licence 2007.
- [12] Présenter par : **Omar SAMI OUBBTI** «<proposition et simulation d'un algorithme de partage de ressources dans les Manet s basé sur l'algorithme de NAIMI et TREHEL >> MASTER 2011.
- [13] Présenter par : **LAHDIR .M** sur « sécurité et routage dans les réseaux ad-hoc », Master 2012/2013.
- [14] **RAZA, N., UMAR AFTAB, M., QASIM Akbar, M., ASHRAF, O. and IRFAN, M.** (2016) Mobile Ad-Hoc Networks Applications and Its Challenges. *Communications and Network*, 8, 131-136.
- [15] Présenter par : **BOUAZZAOUI SAMIRA** et **DEKALI ZAHIRA** sur « CONCEPTION DES RESEAUX SANS FILS IEEE 802.11 EN MODES INFRASTRUCTURE ET AD-HOC », Master 2016.
- [16] Livre complet sur les réseaux ad-hoc. Pour tous ceux qui souhaitent entrer dans les détails des protocoles de routage : C. K. TOH – Ad-hoc Mobile Wireless Networks: Protocoles and Systems, PRENTICE Hall, 2001.
- [17] Présenter par : <https://fr.calameo.com/read/0000007229c7146e6c4c>
- [18] Présenter par : **Guy PUJOLLE**, 5^{ème} Édition « les réseaux ». 2006.
- [19] <http://hautrive.free.fr/reseaux/supports/methodes-acces-au-reseau.html#:~:text=Etc%E2%80%A6%20La%20m%C3%A9thode%20d'acc%C3%A8s,les%20porteuses%20et%20les%20collisions>
- [20] Présenter par : **JADDI Farid** sur « CSR : une extension hiérarchique adaptative du protocole de routage ad-hoc DSR », Master 2006.

- [21]Présenter par : **BERRABAH Abdelkrim** et **SAIDI HASSIBA** sur « balancement de charges dans les réseaux ad-hoc », Master 2013.
- [22]Présenter par : **Mohamed Ali AYACHI** sur << Contributions à la détection des comportements malhonnêtes dans les réseaux ad-hoc AODV par analyse de la confiance implicite>>, THÈSE DE DOCTORAT 2011.
- [23] Présenter par : **NADJETTE & Hanane MOUICI & BOUKHALFA**<< L'impact des attaques sur la fiabilité des réseaux ad-hoc>>,Master 2015.
- [24]Presenter par: Network Working Group **T. Clausen, P. JACQUET, Ed**, Project Hipercom, INRIA October 2003.
- [25]Présenter par : **BENALI Amal** et **DABO Mohamed** sur<<Routage réactif et proactif (Unicast) dans les réseaux mobiles ad-hoc>>, Master 2012.
- [26] Présenter par : **Daniel MABELE MONDONGA** sur « Etude sur les protocoles de routage d'un réseau sans fil en mode Ad-hoc et leurs impacts »,Master2010.
- [27]<https://www.techopedia.com/definition/2922/ad-hoc-on-demand-distance-vector-aodv>
- [28] Présenter par : **NILESH P. BOBADE** et al. (IJCSSE) International Journal on Computer Science and Engineering Vol. 02, No. 08, 2010, 2731-2735 sur « Performance Evaluation of Ad-hoc On Demand Distance Vector in MANETs with varying Network Size using NS-2 Simulation»
- [29] Présenter par : **HDGGAR BACHAR Salim** sur « les protocoles de routage dans les réseaux ad-hoc », rapport du stage.
- [30]Présentation par : **AKRAM KOUT** sur « Contributions à la Résolution du Problème de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad-hoc par les Méthodes Bio-inspirées », Thèse 2017.
- [31]Présenter par **BOUZEBIBA HADJER** et **BOUIZEM YASMINA** sur « Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routages en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (V2V) », Master 2015.
- [32]Présenter par : **AZZA MOHAMMED** sur « Sécurité des Réseaux Ad-hoc », Thèse 2017.
- [33]Présenter par : **YAHY SIHAM** et **MALLEK FARIDA**, sur« Sécurité et Routage dans les réseaux Ad-hoc »,Master 2013.
- [34]<https://dvsramanjaneyulu.blogspot.com/2017/12/ns2-scenario-generator-nsg.html>
- [35]Article Publishing **LALAR S, YADAV A. K.** Comparative Study of Routing Protocols in MANET. Orient .J. Comp. Sci. and Technol; 10(1)