

الجمهورية  
الجزائرية  
الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة

الت  
عالي م الع والي و  
البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر  
بلقايد - تلمس - ان  
Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

Par : BEHAR Ouicha.  
BELLAHRECHE Manel.

### Thème

**L'étude de l'effet de type de routage sur les performances de handover dans les wifi Mesh.**

Soutenu en 2020 devant le jury composé de :

Mr. MERZOUGUI Rachid	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr. BAHRI SIDI Mohammed	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr. DJEMAI Abderrazak	MCB	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire

### \*\*\* REMERCIEMENTS \*\*\*

Nous rendons grâce à notre ALLAH, le tout puissant et miséricordieux, pour nous avoir donné le courage et la patience pour mener à bout ce modeste travail et qui nous a procuré ce succès.

Nos plus sincères remerciements s'adressent à notre Promotrice Mr DJAMAI Abderrazak, pour nous avoir proposé cet intéressant sujet et pour ses précieux conseils et encouragements, sans lesquels cette étude n'aurait pas vu le jour. Merci pour votre confiance, votre disponibilité et vos encouragements.

Nous remercions tous particulièrement les membres de jury, en l'occurrence Mr BAHRI Sidi Mohammed et Mr MERZOUGUI Rachid d'avoir accepté d'évaluer notre travail et pour l'intérêt qu'ils y portent. Ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Un grand merci à nos familles, pour leur soutien permanent et indéfectible qui nous a permis de chercher au plus profond fond de nous même la force, la volonté et la persévérance à même d'arriver à cet instant des plus importants de notre vie.

Un merci pudique à nos amis, nos collègues en Master 2 et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de cette œuvre.

*PAR LA GRÂCE DE DIEU JE DÉDIE CE TRAVAIL ... ✍*



\*\*\*\* Dédicaces \*\*\*\*

J'ai le plaisir de dédier les années d'études à tous ceux qui ont sacrifié par leur amour  
A ma chère mère pour ses sacrifices depuis qu'elle m'a mis au monde.

A mon père rabi yarahmah.

Leur tendresse et leur confiance Lamia, Adiba, Halima, khadidja, Abdia,  
Hadjar, Safae, Hanane.

A mes oncles Mohammed, Boumediene, Abdelkader, Si Amara, Abderrazak.

A mon frère Ahmed et toute ma famille.

À mes oncles, tantes, cousins et cousines.

À mes amis(es) et a tous qui nous aidés pour réalisé ce travail.

À mon binôme Bellahèche Manel et sa famille.

**MLLE BEHAR OUICHA**

\*\*\*\* Dédicaces \*\*\*\*

J'ai le plaisir de dédier les années d'études à tous ceux qui ont sacrifié par leur amour  
Leur tendresse et leur confiance.

A ma chère mère et mon père pour ses sacrifices depuis qu'elle m'a mis au  
Monde.

A mes sœur Radia et Wissal

À mes frère Mohammed khalil, Younes, Ziad, et toute ma famille.

À mes oncles Abdellah, Fethi, Amine, tantes, cousins et ma cousine Kheira.

À mes amis(es) et a tous qui nous aidés pour réalisé ce travail.

À mon binôme Behar Ouicha et sa famille.

**MLLE BELLAHRECHE MANEL**

## Résumé :

Les réseaux sans fil maillés constituent une solution pratique et peu coûteuse, pour la couverture en haut débit de région dépourvues d'infrastructure filaire dense. Dans ce type de réseau, des transmissions entre terminaux distants sans rendues possibles grâce à un acheminement des données en multi-sauts.

Le but recherché à travers ce travail est d'évaluer et analyser les protocoles de type de routage sur les performances du handover dans les réseaux maillés sans fil (802.11s). Tout d'abord, les architectures et principe de fonctionnement du WMN sont détaillés et comparés. Ensuite, une comparaison entre deux protocoles de type réactif (AODV, DSR) et deux protocoles de type proactif (DSDV, OLSR). Enfin, une architecture de simulation est présentée suivie de l'évaluation de performances des mécanismes de handover dans les réseaux Mesh.

**Mots clés :** Réseau, Mesh, Handover, Routage, wifi, Protocole, Ns-2.

## Abstract:

Mesh wireless networks provide a convenient and inexpensive solution for broadband coverage in areas without dense wired infrastructure. In this type of network, transmission between remote terminals without being made possible by means of multi-hop data routing.

The goal sought through this work is to evaluate and analyze the routing type protocols on the performance of the handover in wireless mesh networks (802.11s). First, the architectures and operating principle of the WMN are detailed and compared. Then, a comparison between two reactive type protocols (AODV, DSR) and two proactive type protocols (DSDV, OLSR). Finally, simulation architecture is presented followed by the performance evaluation of handover mechanisms in Mesh networks.

**Keywords:** Network, Mesh, Handover, Routing, wifi, protocol, Ns-2.

## ملخص :

تعد الشبكات اللاسلكية المتشابكة حلاً مناسباً وغير مكلف لتغطية النطاق العريض في المناطق التي لا تحتوي على بنية تحتية سلكية كثيفة. في هذا النوع من الشبكات أصبح النقل بين المسافات البعيدة ممكناً بفضل توجيه البيانات متعدد القفزات. الهدف المنشود من خلال هذا العمل هو تقييم وتحليل بروتوكولات نوع التوجيه على أداء التسليم في شبكات اللاسلكية، ثم المقارنة بين البروتوكولين من النوع التفاعلي والاستباقي .

اخيراً يتم تقديم البنية المحاكاة المتبوعة بتقييم أداء اليات التسليم في شبكات المتشابكة

الكلمات الرئيسية: شبكة ، تسليم ، توجيه ، واي فاي ، بروتوكول

# Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	X
Liste des abréviations. ....	XI
Introduction générale.....	1
Chapitre I: Présentation des réseaux sans fil maillés « Mesh».....	3
I.1- Introduction.....	4
I.2- Définition.....	4
I.3- les composants de réseaux sans fil maillés.....	5
I.4- Caractéristiques des réseaux sans fil maillés .....	6
I.5- Classification des réseaux sans fil maillés.....	7
I.5.1-Selon le type maillage. ....	7
I.5.1.1- maillage total. ....	7
I.5.1.2- maillage partiel. ....	8
I.5.2 Selon l'architecture. ....	9
I.5.2.1-Architecture de réseaux sans fil maillés basé clients.....	9

I.5.2.2 - Architecture réseaux sans fil maillés avec réseaux fédérateur .....	10
I.5.2.3- Architecture de réseaux sans fil maillés hybrides.....	11
I.6 - Domaines d'applications des réseaux sans fil maillés.....	11
I.7 - Avantages des réseaux sans fil maillés.....	14
I.8- Inconvénients des réseaux sans fil maillés.....	15
I.9- Conclusion.....	16
Chapitre II : Handover et le routage dans les réseaux maillés sans fil.....	17
II.1- Introduction.....	18
II.2- Handover. ....	18
II.2.1- Définition :.....	18
II.2.2- Principe de base du Handover.....	19
II.2.3- Nécessité du Handover .....	19
II.2.4- Les classification du handover.....	20
II.2.4.1- Selon technologie d'accès.....	20
II.2.4.1.1- Handover horizontal .....	20
II.2.4.1.2- Handover vertical.....	20
II.2.4.1.3- Handover Diagonal.....	20
II.2.4.2- Selon type de technologie que les supports de réseau .....	21
II.2.4.2.1- Hard handover.....	21
II.2.4.2.2 -Soft handover.....	22
II.2.4.2.3- Handover sans couture sou Le seamless Handover..	23
II.2.5 Contrôle de handover.....	23
II.2.5.1 -Handover contrôlé par le mobile (MCHO).....	24
II.2.5.2 -Handover contrôlé par le réseau (NCHO).....	24
II.2.5.3 - Handover assisté par le mobile (MAHO).....	24
II.2.5.4 -Handover assisté par le réseau (NAHO).....	24

II.2.6. Processus du Handover.....	25
II.2.7. La qualité de service dans les réseaux sans fil maillés.....	27
II.2.7.1 Définition de la qualité de service.....	27
II.2.7.2 Les paramètres de la qualité de service.....	28
II.2.7.3. L'objectif et les besoins de la QOS dans les réseaux maillés.....	29
II.3 Routage.....	29
II.3.1-Définition de routage.....	29
II.3.2- Les objectifs des protocoles de routage dans les réseaux maillés .....	29
II.3.3- Notions sur le routage dans les réseaux.....	30
II.3.4- Les méthodes de routage.....	30
II.3.4.1- Classifications des protocoles de routage.....	30
II.3.4.1- Les protocoles de routage proactifs.....	30
II.3.4.2- Les protocoles de routage réactifs.....	31
II.3.4.3- Les protocoles de routage hybrides. ....	31
II.3.5 L'étude de protocoles de routage :.....	32
II.3.5.1 Le protocole de routage réactif AODV.....	32
II.3.5.2 Le protocole de routage réactif DSR. ....	34
II.3.5.3 Le protocole de routage proactif OLSR.....	34
II.3.5.4 Le protocole de routage proactif DSDV.....	35
II.3.5.5 Le protocole de routage hybride ZRP. ....	35
II.4 Table des avantages et des inconvénients des protocoles de routage .....	37
II.5- Conclusion.....	38
Chapitre III : Simulation et résultats.....	39
III.1 Introduction.....	40
III.2 Définition.....	40
III.3 Architecture de logiciel NS2.....	40
III.4 Les protocoles simulés .....	42

III.5 Scénario de simulation.....	42
III.6 Simulation et évaluation des performances du handover WiFi mesh.....	43
III.6.1 les performances de protocole réactif AODV.....	43
III.6.2 les performances de protocole réactif DSR.....	45
III.6.3 Comparaison entre les protocoles réactifs AODV et DSR.....	47
III.6.4 les performances de protocole proactif DSDV.....	48
III.6.5 les performances de protocole proactif OLSR.....	50
III.6.6 Comparaison entre le protocole OLSR et DSDV.....	52
III.7 Comparaison entre l'AODV et OLSR.....	53
III.8 Analyse des résultats.....	56
III.9 Conclusion.....	57
Conclusion général.....	58
Références.....	59

# Liste des figures

Figure I.1: Architecture de réseau maillé sans fil.....	5
Figure I.2: Maillage total.....	8
Figure I.3: Maillage partiel. ....	9
Figure I.4: Architecture client d'un réseau maillé.....	10
Figure I.5 : Architecture " backbone " d'un réseau maillé.....	10
Figure I.6 : Architecture hybride d'un réseau.....	11
Figure I.7: Réseaux domestique.....	12
Figure I.8 : Réseaux de communauté.....	13
Figure I.9 : Architecture d'un réseau maillé selon le standard IEEE 802.11s.....	15
Figure II.1: Interaction entre un terminal mobile et le cœur de réseau.....	19
Figure II.2: Horizontal et vertical handover.....	21
Figure II.3: Hard handover.....	22
Figure II.4: Soft handover.....	22
Figure II.5: Seamless Handover.....	23
Figure II.6: Processus du Handover.....	27
Figure II.7: Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination...29	
Figure II.8 : Classification des protocoles de routage.....	32
Figure II.9 : La requête RREQ.....	33
Figure II.10 : La requête RREP.....	33
Figure II.11 : Déroulement du protocole DSR.....	34
Figure II.12: Zone de routage du nœud A définie par ZRP.....	36
Figure II.13 : Les protocoles de routage dans le réseau Mesh.....	36
Figure III.1: Architecture générale du NS2.....	41
Figure III.2: Topologie du scénario.....	42
Figure III.3 : L'évaluation de taux des paquets perdus. ....	43

Figure III.4 :L'évolution du délai de transmission. ....	44
Figure III.5 :L'évolution de débit.....	45
Figure III.6: L'évolution du Taux de paquets perdus.....	45
Figure III.7 : L'évolution du délai de la transmission.....	46
Figure III.8 :L'évolution du débit.....	47
Figure III.9 : L'évolution du Taux de paquets perdus.....	49
Figure III.10 : L'évolution du délai de transmission. ....	49
Figure III.11 : L'évolution du débit .....	50
Figure III.12 : L'évolution du taux des pertes de paquets. ....	51
Figure III.13 : L'évolution du délai de transmission. ....	51
Figure III.14 : L'évolution du débit.....	52
La figure III.15 : L'évolution de taux des paquets perdus. ....	54
La figure III.16: L'évolution de délai de transmission.....	55
La figure III.17: L'évolution du débit. ....	56

# Liste des Tableaux

Table II.1 : les avantages et les inconvénients des protocoles de routage.....37

## Liste des abréviations

### **A:**

AODV: *Ad Hoc On demand Distance Vector.*

### **B:**

BER: Bit Error Ratio.

BLER: Blocking Error Rate.

BS: Base Station.

### **C:**

CBRP: Cluster Based Routing Protocol.

### **D:**

DBF: Distributed Bellman-Ford.

DSDV: Dynamic Destination Sequenced Distance Vector.

DSR: *Dynamic Source Routing.*

### **M:**

MAHO: Mobile Assisted Handover.

MCHO: Mobile Controlled Handover.

MC: Mesh Client.

MPR: Multipoint Relay.

MR: Mesh Router.

### **N:**

NAM: Network AniMator

NAHO: Network Assisted Handover.

NCHO: Network Controlled Handover.

NS2: Network Simulator 2.

### **O:**

OLSR: Optimized Link State Routing

OTcl: Object-oriented Tool Command Language.

**P:**

PDA: Personal Digital Assistant.

**Q:**

QoS : Quality of Service .

**R:**

RERP-ACK : Route REPLY ACKnowledgment .

RERR : Route ERRor .

RREP : Route Reply .

RREQ: Route REQuest.

RSS : Radio Signal Strength.

**S:**

SINR : Signal to Noise Interference Ratio .

SN : sequence number .

**T:**

TC : Topology Control .

TCL :Tools Command Language .

**U:**

UDP: User Datagramme Protocol .

**W:**

WLAN: Wireless Local Area Network .

WMN : Wireless Mesh Networks .

**Z:**

ZRP :Zone Routing Protocol.

# Introduction générale

---

Ces dernières années, les réseaux sans fils ont connus une grande évolution et une large utilisation dans notre vie quotidienne.

Les entreprises et les gouvernements déploient les réseaux sans fils qui, grâce à leurs simplicités et souplesse d'une part, ainsi que leur coût et leur débit d'autre part, rendent l'accès au réseau plus confortable aux utilisateurs. En effet, les équipements sans fil sont moins chers comparés au filaire et permettent d'économiser le coût de câblage dans les bâtiments.

Les WLAN offrent aux utilisateurs la possibilité de se déplacer tout en restant connecté pour peu qu'ils se trouvent dans la zone de couverture du point d'accès. Ces réseaux sont faciles et rapides à déployer et permettent, en plus de la transmission de données, d'autres applications telles que la voix, la vidéo et l'Internet.

Cependant, comme les utilisateurs sont de plus en plus exigeants en termes de mobilité, l'idée d'étendre la zone de couverture d'un réseau WLAN est récemment adressée par les chercheurs. Cette idée a donné naissance à un nouveau type de réseaux : les réseaux maillés sans fil.

Grâce au succès du phénomène les réseaux locaux sans fil (WLAN) ont connu ainsi un essor important ces dernières années, et sont souvent installés comme des réseaux familiaux ou professionnels. Dans toutes ces installations, le point d'accès fixe est relié au réseau extérieur par des liaisons filaires ; ce qui limite la zone de couverture de ces réseaux tout en augmentant leur coût d'installation. En raison de ces limitations, une attention considérable s'est portée vers une technologie prometteuse de type "réseau maillé sans fil", communément appelés réseaux mesh sans fil (Wireless Mesh Networks - WMN). En effet, grâce à sa structure flexible, sa capacité à fournir une couverture sans fil haut débit sur de grandes surfaces sans besoins d'infrastructure, le réseau maillé agit comme un réseau de liaison commun qui fournit l'interconnexion entre un éventail de réseaux hétérogènes ainsi que l'accès éventuel à Internet.

Le réseau maillé sans fil est une solution prometteuse, vu ses caractéristiques telles que l'architecture, les technologies et les techniques utilisées, qui représentent les facteurs clés de sa réussite. Une partie importante de cette solution est le routage, qui est en cours de développement et de recherche pour trouver le protocole de routage le mieux adapté pour améliorer les performances du wifi mesh.

L'objectif de notre étude est de résoudre certaines limitations rencontrées à l'heure actuelle dans les WMN et d'améliorer la QOS (délai, perte de paquet, débit) des applications multimédia temps-réel en évaluant et en essayant de rendre plus performants les différents protocoles de routage, appliqués aux réseaux maillés sans fil, ainsi que tirer des conclusions et des propositions pour la solution idéal.

Pour cela notre travail a été effectué comme suit :

# Introduction générale

---

Le premier chapitre est consacré à une étude détaillée sur les WMN, (leurs architectures, classifications, caractéristiques, applications, avantages et inconvénients).

Dans le second chapitre nous étudions les protocoles de routages sur les performances de handover utilisés dans les réseaux maillés ainsi que la qualité de service.

Dans le troisième chapitre nous allons nous intéresser plus particulièrement aux deux types de protocoles de routage réactif « AODV et DSR » et proactif « DSDV et OLSR », ce dernier contient une présentation de l'outil de simulation Network Simulator 2 (NS2), ainsi que les langages et outils graphiques utilisés pour l'interprétation et l'analyse des résultats de simulation. Après avoir présenté le modèle de simulation, de trafic utilisé, et à la fin une étude comparative entre le protocole proactif et le protocole réactif.

Finalement, nous terminerons par une conclusion générale, avec quelques perspectives définissant les travaux futurs que nous comptons mener et qui vont dans le sens de l'amélioration de la QoS dans les réseaux maillés sans fil.

**Chapitre I:**  
**Présentation de réseaux sans fil  
maillés « Mesh».**

### I.1 Introduction :

Ces dernières années, le développement de la technologie de transmission sans fil a offert des nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. Les réseaux sans fil maillés « Mesh» constituent un nouveau type de réseau basé sur cette technologie.

En phase de recherche depuis quelques années, les WMNs sont une nouvelle classe de réseau sans fil. Comme leurs noms l'indiquent, ce sont des réseaux basés sur une ou plusieurs technologies sans fil telles qu'IEEE 802.11 (WLAN) et IEEE 802.16 (WIMAX).

Ces réseaux ont une architecture maillée où tous les routeurs sont connectés de proche en proche, sans hiérarchie centrale et où chaque nœud peut jouer le rôle d'émetteur, de récepteur ou de relai. Ainsi, chaque communication entre une source et une destination se fait à travers un acheminement à plusieurs sauts. Les WMNs conviennent à tout type d'environnement. Ils peuvent bien être déployés sur de petites surfaces comme des maisons ou sur de plus grandes surfaces telles que des campus, des entreprises, ou même des villes entières. L'un des plus grand avantage de l'utilisation des WMNs, est que ces technologies offrent des liaisons à hauts débits. De plus, ces environnements mobiles offrent une grande flexibilité d'emploi, en particulier ils permettent la mise en réseau de site pour lesquels le câblage serait trop onéreux ou complexe à déployer, voire même impossible.

### I.2 Définition :

Le réseau sans fil maillé "WMN" ( Wireless Mesh Network en anglais), nommé Mesh est un réseau multi-saut. Qui permet de couvrir, d'une façon flexible, une large zone géographique. Sans hiérarchie centrale forme une structure ayant la forme d'un filet sans avoir recours à une configuration manuelle [1,2].

Les réseaux sans fil maillés sont considérés comme une classe émergente dans un réseau multi-saut. Ils sont utilisés beaucoup par les fournisseurs de service, des entreprises, des municipalités...etc. La communication entre les nœuds est basée sur le principe de multi-saut, d'où plusieurs nœuds intermédiaires participent intelligemment dans la retransmission des informations jusqu'à destination [3]. La topologie de WMN est composée des éléments: des clients maillés mobiles sont des équipements mobiles (qui peuvent être des ordinateurs portables, note book, PDA). Et des routeurs maillés forment l'épine dorsale de réseau (backbone) [4].

Lorsqu'un client veut communiquer avec un autre, Il peut faire directement ou passer par des routeurs maillés cela peut avoir plusieurs possibilités de

routes. De ce fait la connectivité est maintenue en cas de panne de routeur, ce qui rend cette architecture flexible [5].

### I.3 les composants de réseaux sans fil maillés.

La topologie des WMNs est constituée de trois éléments : des clients maillés, des routeurs maillés et des passerelles (voir figure I.1) :

- Clients maillés (MC: Mesh Client) : Les clients sont les équipements mobiles qui peuvent être (des ordinateurs portables, PDA, smartphones ...) qui se connectent au réseau maillé. Un client équipé d'interfaces radio peut directement être connecté à un routeur par liaison radio. Un client qui ne possède pas l'interface radio peut tout de même être connecté à un routeur par liaison filaire et qui communiquent entre eux en mode multi-sauts [2].

- Routeurs maillés (MR: Mesh Router): Les routeurs maillés forment l'épine dorsale du réseau maillé, sont généralement fixes et raccordés à une source de courant électrique.

La fonction des routeurs est d'agréger le trafic généré par les clients qui leur sont rattachés, et de le transmettre de saut en saut jusqu'à destination. Les routeurs peuvent être dotés de plusieurs interfaces radio, Les interfaces peuvent être homogènes et basées sur la même technologie, ou bien hétérogènes et supporter des technologies différentes [2].

- Passerelle (Gateway) ou pont (Bridge) est l'élément de sortie du réseau, elle permet l'accès aux différentes technologies sans fil (internet, GSM, Wimax...etc) [12].

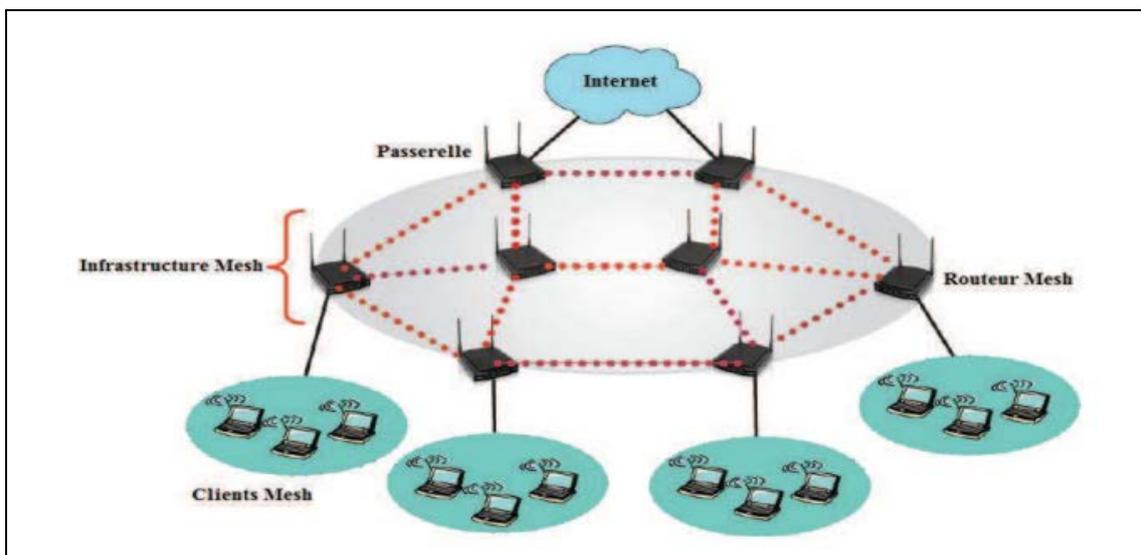


Figure I.1: Architecture de réseau maillé sans fil.

### I.4 Caractéristiques des réseaux sans fil maillés :

Les caractéristiques de réseaux mesh sont les suivantes :

- Réseau multi-sauts : L'objectif principal des réseaux maillés est d'élargir la zone de connectivité (couverture) offerte par les autres types de réseaux sans fil sans sacrifier la capacité du réseau. Dans un réseau en multi sauts, deux nœuds qui ne sont pas liés directement peuvent communiquer par l'intermédiaire des nœuds qui assurent le routage saut par saut. Il est possible de couvrir des zones plus importantes sans avoir à utiliser de hautes puissances d'émission. Cela permet la réutilisation spatiale des canaux grâce à des transmissions parallèles non interférentes [10].
- Support des fonctionnalités des réseaux ad hoc :  
Ces fonctionnements sont essentiellement la capacité d'auto-configuration et d'auto-organisation. Les réseaux mesh développent les performances des réseaux ad hoc par la flexibilité de l'infrastructure, la tolérance à la rupture de lien, la communication multipoint à multipoint et connectivité. Grâce à tous ça, l'installation et l'extensibilité d'un réseau Mesh devient très faibles.
- Mobilité dépendante de type de nœud :  
Généralement les routeurs sont fixe (faible mobilité) alors que les clients peuvent être stationnaires ou mobiles.
- Plusieurs types d'accès réseaux :  
Dans les réseaux maillés, On a deux types d'accès : l'accès de l'infrastructure à Internet et la communication pair-à pair entre les routeurs Mesh (Peer to Peer communication). Dans ce fait, les WMNs peuvent fusionner avec d'autres types de réseau maillés sans fil et peuvent fournir des services aux utilisateurs finaux de ces réseaux [6].
- Contraintes d'énergie :  
Généralement, les routeurs Mesh sont branchés aux ressources énergétiques. Par contre, les clients mobiles doivent exécuter des protocoles de conservation d'énergie [4].

- Mobilité :

Dans les réseaux maillés la topologie des routeurs est stable tandis que les clients peuvent être stationnaires ou mobiles. Le routage et la configuration sont plus simples et sont assurés la plupart du temps par les routeurs.

- La qualité de service :

Les réseaux maillés sans fil permettent d'intégrer plusieurs technologies sans fil et ont donc pour vocation de jouer le rôle d'un réseau d'accès vers l'Internet ou vers différents types de réseaux sans fil. Ils sont donc amenés à être le support de communication d'une grande diversité d'applications ayant des exigences différentes de qualité de service (QoS). Ces besoins peuvent être exprimés en termes de débit, délai ou taux de perte. Les réseaux ad hoc trouvent des difficultés pour garantir une QoS minimale à cause des problèmes de mobilité, partage de la bande passante et limitation des ressources. Par ailleurs, les réseaux Wifi souffrent aussi des problèmes de liaison filaire entre les points d'accès. De ce fait les réseaux maillés sans fil semblent plus adaptés pour offrir la QoS. En effet, les réseaux maillés sont caractérisés par une infrastructure partiellement stable à l'inverse des réseaux ad hoc où les nœuds sont constamment mobiles [4].

### **I.5 Classification des réseaux sans fil maillés :**

#### **I.5.1 Selon le type maillage:**

Réseaux maillés sans fil utilise comme méthode de connexion décentralisée une topologie de maillage complet ou partiel, c'est-à-dire où les nœuds du réseau sont reliés les uns aux autres de manière décentralisée et forment une " maille ":

##### **I.5.1.1 - maillage total :**

Chaque nœud (poste de travail ou autre appareil) du réseau est directement relié à chacun des autres (voir la figure I.2) donc si le réseau contient N nœuds, donc chaque nœud possède N-1 connexions directes.

##### **- *Avantage:***

Le problème de routage n'est pas posé : la communication entre les nœuds se fait directement, ce qui optimise la qualité de service QoS, la bande passante, le débit, le temps de latence.

### -Inconvénients:

- Le problème d'interférence, et de nœud exposé.
- La zone de couverture du réseau ne peut pas dépasser la zone de couverture d'un nœud [16].

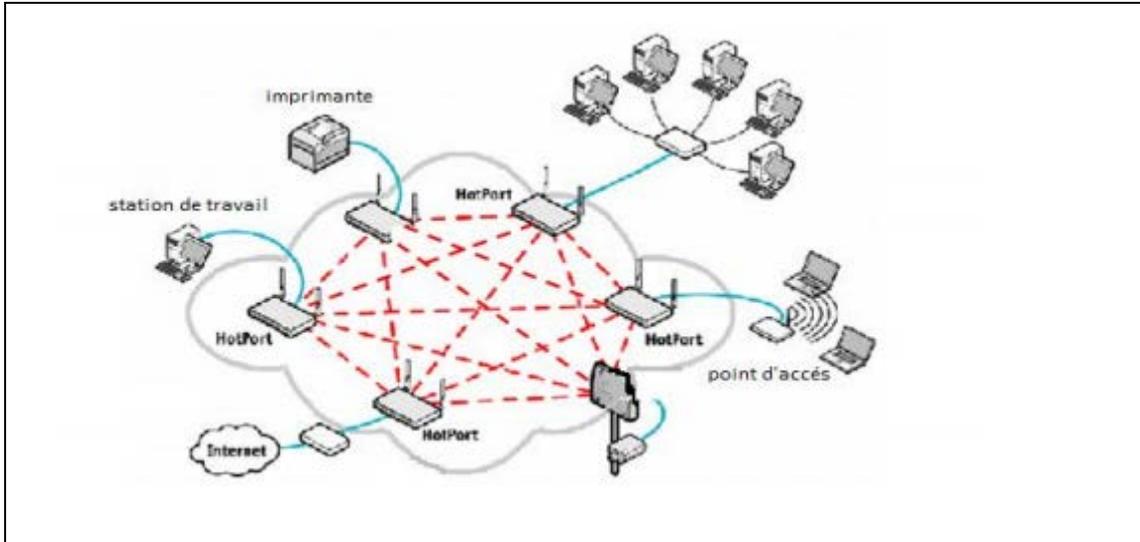


Figure I.2: Maillage total.

### I.5.1.2-maillage partiel :

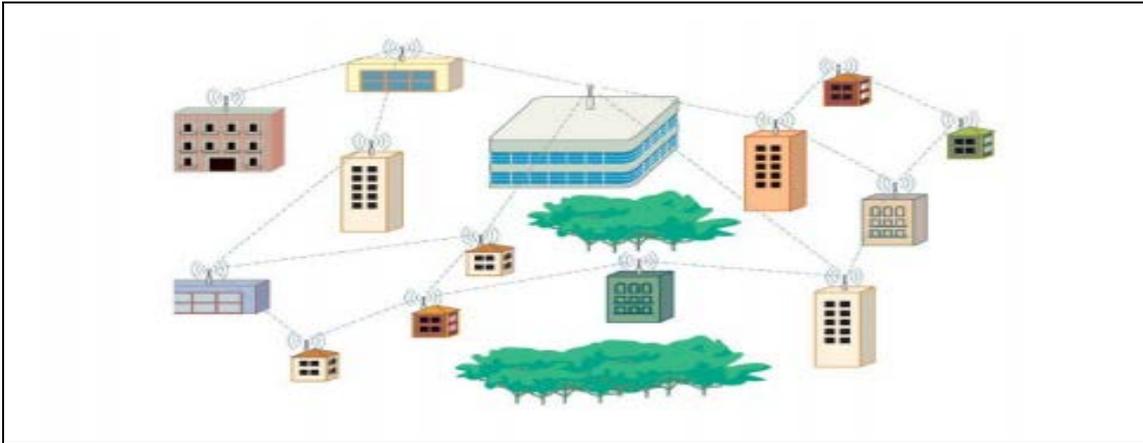
Certains nœuds sont connectés à tous les autres, tandis que d'autres ne sont reliés qu'aux nœuds avec lesquels ils échangent le plus de données.

### -Avantage:

- la possibilité d'extension de la zone de couverture.
- la diminution du problème d'interférence et de nœud exposé.

### -Inconvénients:

- problème de routage: la nécessité d'utiliser un protocole de routage [16].



**Figure I.3: Maillage partiel.**

### **I.5.2- Selon l'architecture :**

L'architecture de réseau sans fil maillés est caractérisée par deux niveaux, le premier niveau se compose des clients maillés et le second des routeurs maillés. Le maillage se fait au niveau des routeurs (backbone). En plus des fonctionnements des routeurs sans fil classique, les routeurs maillés intègrent d'autres fonctionnalités. En effet, les routeurs maillés peuvent être équipés de plusieurs interfaces radio. Le WMNs sont extensible grâce à la couche MAC des routeurs maillés qui a été améliorée a fin de supporter cette extensibilité.

L'ensemble des nœuds peut être interconnecté pour former une architecture particulière .Il y a trois types d'architecture dans les WMNs.

#### **I.5.2.1-Architecture de réseaux sans fil maillés basé clients.**

Dans ce type la communication est point à point, les réseaux maillés est composé seulement des clients qui fait le rôle de client et de routeur au même temps. Les WMNs clients sont souvent mobile et comportent des machines qui ont des contraintes d'énergie. Ce type de réseau est plus similaire aux réseaux conventionnels ad hoc puisqu'une seule technologie radio est utilisée, Cependant les fonctionnalités supplémentaires de routage et d'auto-configuration des clients maillés sont supportées par des logiciels et des matériels [1].

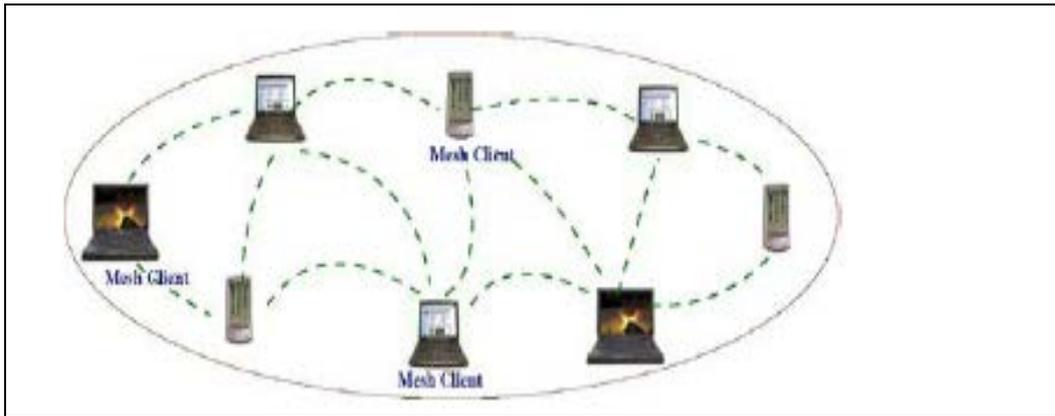


Figure I.4: Architecture client d'un réseau maillé.

### I.5.2.2-Architecture réseaux sans fil maillés avec réseaux fédérateur.

L'architecture de ce type d'installation est présentée à la figure (I.5). Les lignes continus et discontinus représentent les liens filaires et sans fil respectivement. Cette architecture est composée de routeurs maillés fixes qui assurent la connectivité. En généralement, Ils peuvent être connectés à Internet via, en connexion filaire avec une fonction passerelle.

Les clients maillés peuvent communiquer directement avec des routeurs de l'épine dorsale s'ils utilisent la même technologie sans fil, ou passer par un point d'accès.

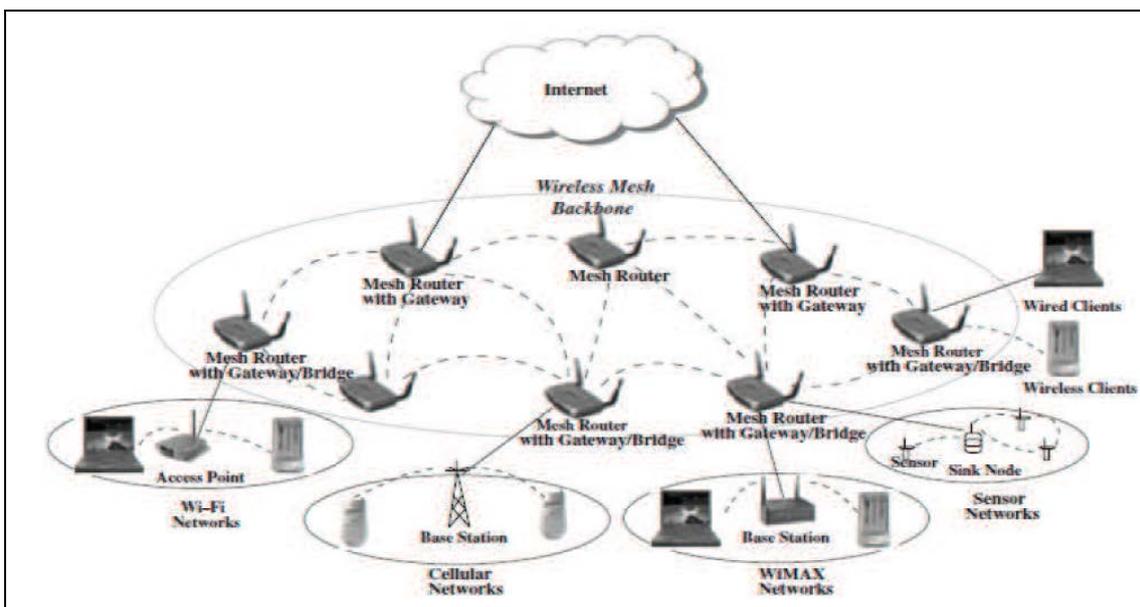


Figure I.5 : Architecture " backbone " d'un réseau maillé.

### I.5.2.3-Architecture de réseaux sans fil maillés hybrides.

Cette architecture est la combinaison entre l'architecture backbone et l'architecture client.

Les clients maillés peuvent accéder au réseau par l'intermédiaire des routeurs ou bien directement avec d'autres clients, tandis que l'infrastructure fournit la connectivité à d'autres réseaux tels que le réseau internet, Wifi, WIMAX ou GSM [4].

Cette combinaison donne plus de solutions dans le calcul des routes ce qui augmente les performances du réseau étudié.

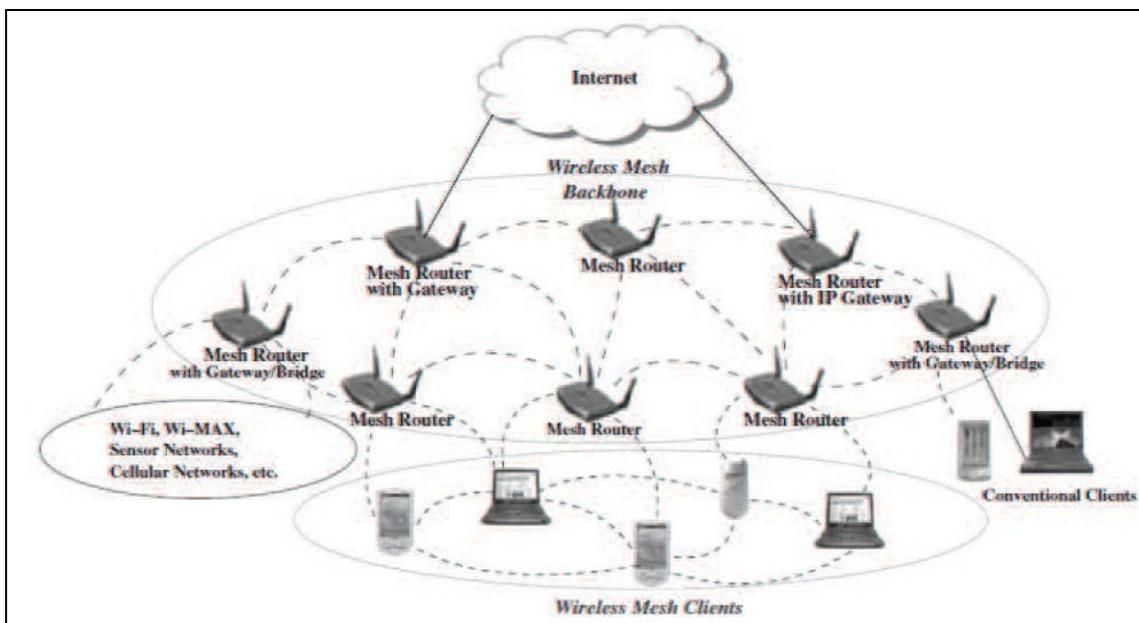


Figure I.6 : Architecture hybride d'un réseau.

### I.6- Domaines d'applications des réseaux sans fil maillés.

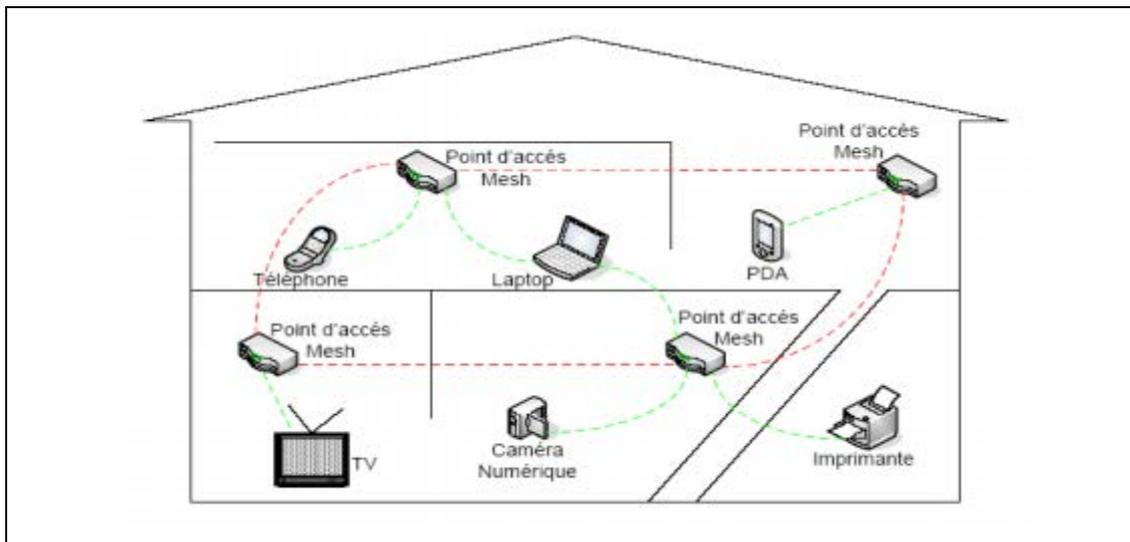
La recherche et le développement dans le domaine des réseaux maillés sans-fil sont motivés par diverses applications. Ces futures applications ne peuvent pas être directement supportées par les réseaux sans-fil existants comme les réseaux cellulaires ou de capteurs, ou par le standard 802.11, etc. Nous présentons ci-après quelques-unes de ces applications :

- Réseaux domestique (*Broadband Home Networking*) :

Actuellement, le réseau domestique est réalisé par les technologies WLAN IEEE 802.11. Un problème qui surgit toujours est les localisations des points d'accès. Sans une

étape préalable de planification, une maison (même très petite) a plusieurs zones mortes sans couverture radio. Les solutions basées sur la planification sont coûteuses ainsi que la méthode de déploiement de plusieurs points d'accès de peur de ne pas couvrir tout l'espace. La solution des réseaux maillés sans-fil est capable de résoudre ce problème à moindre coût (voir figure I.7). En effet, remplacer les points d'accès classiques (avec interface filaire) par des points d'accès maillés permet déjà de réduire les installations filaires. Ces points d'accès constituent par conséquence le backbone auquel se connectent tous les équipements sans-fil de la maison.

Les zones mortes peuvent être éliminées par l'ajout de points d'accès, changer leurs localisations (plus facile avec les points d'accès maillés) ou ajuster leurs niveaux de puissance [12].



**Figure I.7: Réseaux domestique.**

- *Réseaux de communauté et de voisinage (Community and Neighborhood Networking):*

Dans une communauté, l'architecture de réseau courante se base sur la connexion au réseau Internet est réalisée par câblage et que seulement le dernier saut est sans-fil. Ce type de réseau possède plusieurs inconvénients :

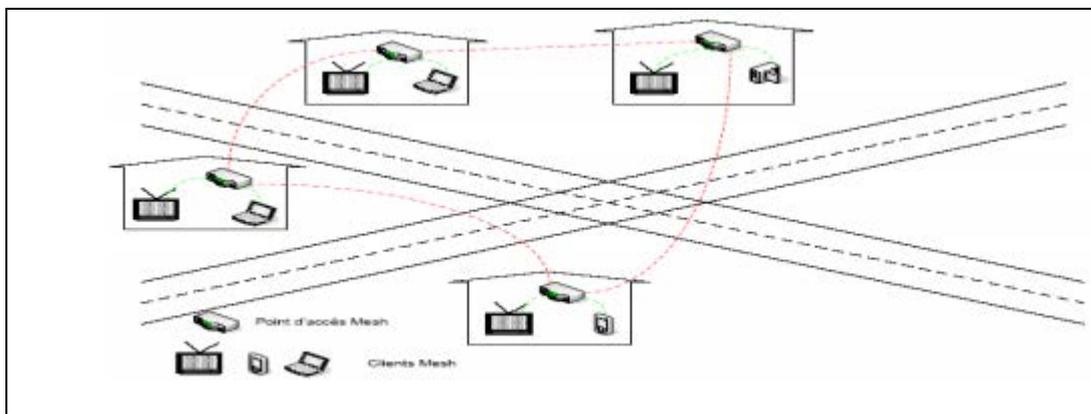
-Même si l'information doit être partagée au sein d'une communauté ou d'un quartier, n'importe quelle communication entre deux utilisateurs passe obligatoirement par internet.

- La nécessité d'une passerelle pour chaque maison, ce qui peut augmenter le coût des services du réseau.

-Un grand pourcentage de zones entre les maisons ne sont pas couverts par les services sans fil.

-La flexibilité du réseau maillé (voir figure I.8) permet d'éviter ces problèmes. En effet, le backbone sans-fil entre les maisons garantit le partage d'applications et de données sans

avoir besoin de passer par Internet. En plus, il donne la possibilité à une maison de se connecter à Internet moyennant de l'une des passerelles disponibles sur le réseau de voisinage [16].



**Figure I.8 : Réseaux de communauté.**

- *Accès Internet :*

Récemment, plusieurs fournisseurs de services Internet ont mis en place des WMN pour permettre un accès sans fil à large distance dans les villes, les zones rurales, etc. Cette technologie leur permet de couvrir des zones plus larges à un coût moins élevé que les Wi-Fi traditionnels tout en assurant de bonnes performances. Les WMN sont déployés aussi dans les lieux de divertissement, dans les hôtels, les aéroports, dans les campus etc. Parmi les cas de déploiement, TROPOS (TROPOS Networks) a réalisé un réseau municipal dans la ville Chaska de l'état de Minnesota à l'aide de quelques 250 nœuds. D'autre part, Nortel (NORTEL) a été choisie par la ville de Taipei pour déployer un réseau municipal en 2005 à l'aide de 10 000 nœuds dans une surface de 272 Km<sup>2</sup>.

- *Réseaux d'entreprise:*

Que ce soit pour des locaux d'entreprises de tailles réduites, moyennes ou grandes, déployer un WMN est plus économique qu'une couverture à base de liaisons Ethernet.

De plus, en s'agrandissant, l'entreprise n'a qu'à multiplier les nœuds routeurs. Cela est aussi applicable pour les campus, hôtels, aéroports, centre, commerciaux, centre-ville, sites touristiques, etc [3].

- *La sécurité publique :*

La police, la protection civile et les services d'urgences sont des services de sécurité publique dans lesquels les réseaux sans fil maillés peuvent être déployés.

Leurs interventions doivent être efficaces et ponctuelles. Pour cela, ces services ont commencé à équiper leurs employés sur le terrain avec des ordinateurs portables, des PDAs (Personal Digital Assistant) et des caméras de surveillance mobiles, en se basant sur l'approche de maillage. Actuellement, plusieurs de ces services utilisent des réseaux sans fil maillés comme infrastructure de communication afin d'organiser et synchroniser les différentes étapes d'intervention dans ces situations d'urgence [20].

- *domaine médical:*

Beaucoup de données nécessitent de transiter entre les services d'un hôpital. Les WMNs permettent un déploiement à la demande. Ils peuvent servir à interconnecter les équipements médicaux. Au monitoring de patients, et à la localisation de patients [3].

### **I.7 Avantages des réseaux sans fil maillés.**

Les WMN ont plusieurs avantages par rapport aux réseaux sans fil traditionnels comme le Wi-Fi et les réseaux ad-hoc. Les WMNs sont des réseaux qui ont la capacité d'auto-formation, auto-configuration et auto-cicatrisation (self-healing). Nous résumons ci-dessous les principales caractéristiques et avantages des WMN :

- *Auto-configuration et auto-organisation:*

Les WMNs sont capables de s'auto-configurer et de s'auto-réorganiser, donc capables de s'adapter aux changements fréquents de la topologie et de maintenir la connectivité dynamiquement en cas de panne ou de défaillance [17].

- *Formation automatique :*

Les réseaux maillés sans fil sont conçus pour être formés automatiquement. Un nœud MP exécute une procédure de découverte de réseaux présents. Si aucun réseau n'est présent, le MP peut initier un nouveau réseau. Pour la procédure de découverte, deux approches existent : une approche passive basée sur la réception de messages balise, qui se base sur l'écoute du canal mais engendre un temps de découverte plus long que la deuxième approche, active, qui est basée sur l'envoi de messages de sondage (sondage du canal).

- *Coût réduit de déploiement :*

Contrairement aux réseaux filaires où le câblage représente un coût supplémentaire, les WMNs s'affranchissent de ce coût. De plus leur capacité de

fonctionner d'une manière autonome minimise toute forme d'intervention.

- *Auto-cicatrisation et fiabilité :*

Au contraire des WLANs où le point d'accès constitue le point d'échouement, dans le cas des WMNs, en cas de défaillance d'un lien, les paquets pourront toujours atteindre leur destination via un autre lien. La redondance de chemins assure [18].

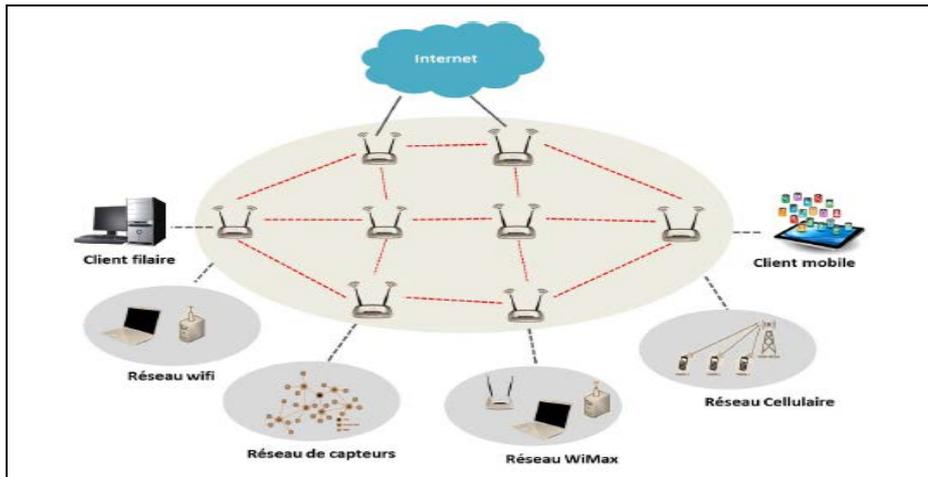


Figure I.9: Architecture d'un réseau maillé selon le standard IEEE 802.11s.

### I.8- Inconvénients des réseaux sans fil maillés.

Malgré tous les avantages que nous avons cité, les réseaux maillés sans fils ont aussi des inconvénients :

- *Le débit :* la transmission des données saut par saut dégrade le débit (surtout lorsque le nombre de sauts est élevé).
- *Le temps de latence :* le délai de transit augmente avec l'augmentation du nombre de sauts, les effets du temps de latence dépendent de l'application.
- *Distribution des adresses IP:* la distribution des adresses IP est essentielle dans les réseaux maillés, le DHCP dans les éventails IP privés fonctionne, mais le problème qui se pose c'est lorsque un réseau maillés 1 rencontrera un autre réseau maillés 2.
- *La taille du réseau:* La taille du réseau influe sur les performances de la capacité. En effet, plus le nombre de nœuds augmente plus les performances se dégrade.
- *La sécurité:* les réseaux maillés comme toutes les autres catégories des réseaux sans fil souffrent des problèmes de sécurité, ces problèmes sont

hérités des propriétés du medium de transmission et des réseaux sans infrastructure fixe.

- Parmi les problèmes liés au medium on peut citer les écoutes clandestines, les usurpations d'identité, les voles de session en cours, les faux points d'accès.
- L'absence d'infrastructure fixe rend le routage particulièrement vulnérable, ainsi que l'absence d'une structure de confiance complique la gestion des clés publiques et privées et la gestion des certifications [19].

### **I.9-Conclusion.**

Dans ce chapitre nous avons introduit les réseaux sans fil maillés par une présentation générale qui résume leur définition, architectures et classification. Ensuite, on a mis le point sur les technologies, les avantages et les inconvénients.

Certains exemples d'implémentations réels des réseaux sans fil maillés, dans des grandes agglomérations urbaines dans différents endroits du monde sont cités afin montrer la faisabilité de ce genre de projets, l'expérience acquise et le future prometteur de cette technologie émergente.

Dans le chapitre suivant on va étudier les différents critères de base sur le handover et leur classification. Ensuite, on va présenter les trois classes des protocoles de routage dans les réseaux maillés.

# **Chapitre II :**

## **Handover et le routage dans les réseaux maillés sans fil.**

### II.1 Introduction :

Les protocoles de routage dans les réseaux informatiques sont divers et varie en fonction des types de réseaux. Dans notre étude nous allons nous intéresser particulièrement aux protocoles de routage au sein de réseau sans fil maillés.

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différents critères de base sur le handover et leur classification. Ensuite, nous allons présenter les trois classes des protocoles de routage dans les réseaux maillés en étudiant dans chaque cas quelques protocoles puis nous décrivons leurs principales caractéristiques et fonctionnalités qui permettent d'assurer l'acheminement des données entre les différentes unités mobiles quelque soit le type proactive, réactif ou hydrique. Enfin nous verrons aussi quelques notions sur la qualité de service.

### II.2 Handover:

#### II.2.1 Définition :

Le Handover est un mécanisme essentiel qui garantit la mobilité dans un réseau, et sa principale fonction est de maintenir le flux de trafic lorsque qu'un terminal mobile se déplace le long du réseau.

Il représente l'ensemble des opérations mises en œuvre a fin de permettre à une station mobile de changer de cellule sans interruption de service. L'idée derrière cela est simple: lorsqu'un terminal mobile perd la couverture radio d'un BTS source alors qu'elle s'approche d'une autre couverture radio BTS, une nouvelle connexion doit être établie sur cette nouvelle station de base et la connexion avec l'ancien doit être annulée. Il y a plusieurs raisons pour lesquelles des handovers doivent être exécutés. D'une façon générale les handovers sont nécessaires quand le raccordement n'est plus satisfaisant. : [15]

Parmi les causes qui sont à l'origine d'un besoin de Handover nous pouvons citer :

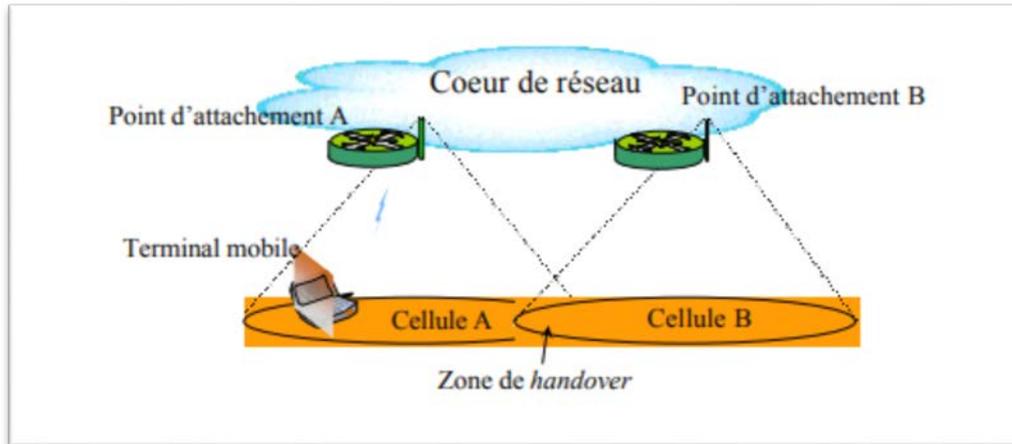
- *Qualité de signal :*

Le Handover est déclenché dans le cas où les signaux émis par une station de base voisine sont reçus avec un niveau de puissance supérieure a celle signaux issus de la station de base courante. Cette méthode présente ainsi l'inconvénient d'entraîner un nombre de handovers trop importants dans le cas où la station de base courante a une puissance insuffisante et que celle-ci peut donc encore desservir le mobile.

- *Le trafic :*

Lors du dimensionnement du réseau, le taux de trafic est estimé dans chaque cellule. Il faut donc prendre en compte les appels (regroupés sous le terme de

trafic « trafic de frais ») dans la cellule et également les appels qui en sortent ou qui y rentrent après handover (regroupés sous le terme de « trafic de handover »). Le trafic de handover négligeable dans le système de première génération devient important dans les systèmes de deuxième génération et sera encore plus important dans la troisième génération [21].



**Figure II .1 : Interaction entre un terminal mobile et le cœur de réseau.**

### II.2.2 Principe de base du Handover :

Pendant la communication (transfert de données usager ou signalisation), le lien radio pour le quelle la communication se déroule est mesurée périodiquement. La détection d'une station anormale déclenche une alarme. A la réception de cette alarme, le contrôleur de réseau (commutateur) cherche une nouvelle cellule et un nouveau canal pour transférer les données. S'il en trouve, un Handover sera déclenchée, sinon, la communication continue sur le même canal et des Handovers sont périodiquement tentés. Après la réussite du Handover, l'ancien canal est libéré et la communication prend un nouveau chemin.

### II.2.3 Nécessité du Handover :

Il existe trois cas où un handover est nécessaire :

- Le nœud mobile quitte la zone de couverture de la cellule courante et communique à travers une nouvelle cellule. C'est la qualité de transmission qui détermine la nécessité du handover, qualité indiquée par le taux d'erreur, le niveau du signal reçu et le délai de propagation.
- Le nœud mobile subit une grande interférence sur la cellule courante d'où le besoin de passer sur une autre cellule (du même réseau ou d'un réseau différent), où il y a moins d'interférence. La station mobile écoute en permanence d'autres cellules pour mesurer la qualité d'une connexion

avec ces dernières. De plus, chaque MS est synchronisée avec plusieurs BTS pour être prêt en cas de handover.

- Le nombre des nœuds mobiles dans une cellule est très important de façon que la bande passante soit insuffisante provoquant ainsi une détérioration de la qualité du service .Le mobile peut choisir d'aller dans les cellules voisines qui sont moins encombrées [22].

### **II.2.4- La classification du handover est basée sur les éléments suivants :**

#### **II.2.4.1-Selon technologie d'accès :**

##### **II.2.4.1.1- Handover horizontal:**

Ceci est également connu comme le transfert intra-technologie. Il est généralement réalisé dans les réseaux cellulaires homogènes lors de déplacement d'un utilisateur entre deux cellules de la même technologie d'accès. Ce processus est requis normalement à cause de la mobilité et de l'impossibilité de la maintenance de la connexion avec la même station de base où l'accès au service devient indisponible [14].

##### **II.2.4.1.2-Handover vertical:**

Il est aussi appelé transfert inter-technologie. Ce processus est indispensable dans le domaine des réseaux hétérogènes lors de déplacement d'un utilisateur entre deux cellules utilisant des technologies différentes. Le transfert vertical nécessite à la fois la couche 2 (couche liaison de données) et la couche 3 pour terminer la procédure de transfert avec succès [14].

##### **II.2.4.1.3-Handover Diagonal:**

La combinaison de ces deux versions citées précédemment permettant de transférer le trafic d'un point d'accès dont on arrive en limite de connexion vers un réseau de technologie différente [13].

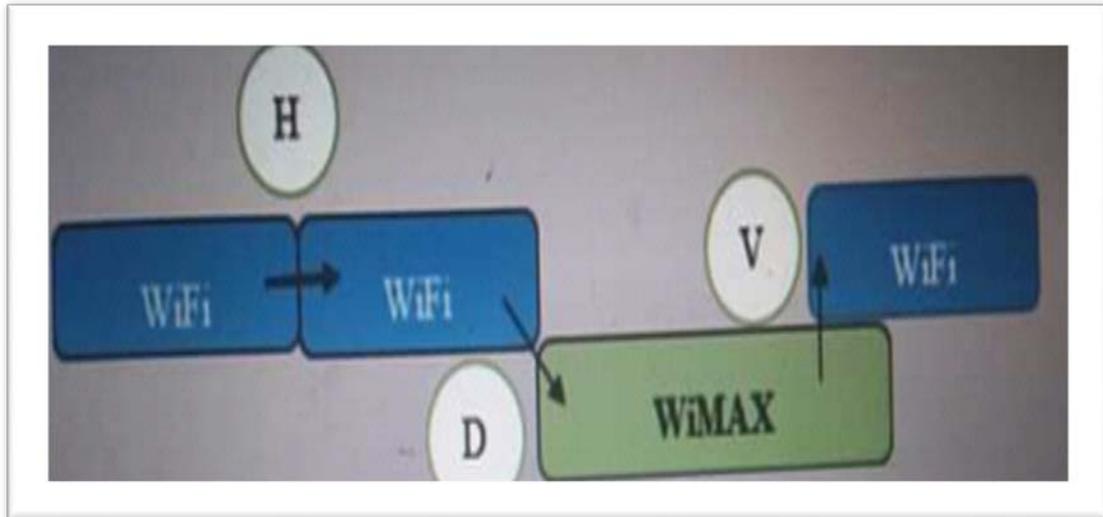


Figure II.2: les types de handover.

#### II.2.4.2-Selon type de technologie que les supports de réseau :

##### II.2.4.2.1-Le hard handover:

Se produit lorsque le canal radio de la cellule source est libéré et le canal dans la cellule cible est engagé. Ainsi, la connexion à la cellule source est rompue avant (ou au même moment) l'établissement de la liaison avec la cellule cible. Cette méthode est appelée break-before-make qui signifie « rompre avant de faire ».

Un transfert inefficace entraîne des problèmes tels qu'une mauvaise utilisation de la bande passante, une surcharge du système, le blocage des appels, la terminaison d'appel, la perte de paquets et une mauvaise qualité de service [14].

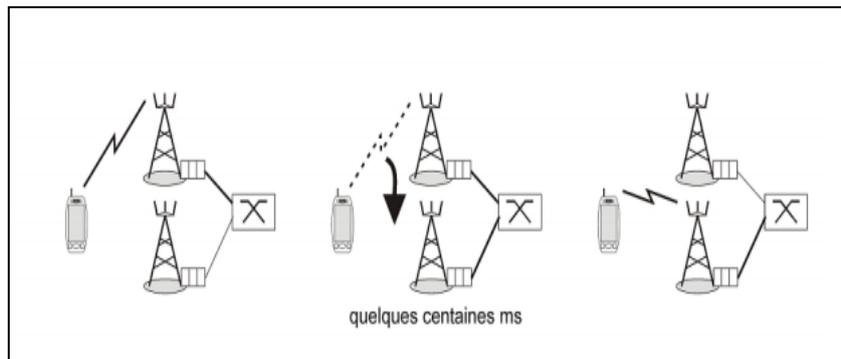
Dans ce cas, il est important de minimiser la durée d'interruption de la communication. Ce type de handover est utilisé dans les réseaux mobiles GSM car le circuit est complètement relâché avant qu'un nouveau soit établi. Aussi le réseau WIMAX utilise ce type de Handover. Il existe deux autres types de handover :

- le Hard Handover inter-fréquences qui permet à un terminal mobile de passer d'un spectre de fréquence à un autre.
- le Hard Handover inter-systèmes qui permet au terminal mobile de passer d'un système à un autre.

##### • *Caractéristique du Hard Handover*

- Un seul radio à la fois ;

- Légère interruption de la communication(GSM)[15].



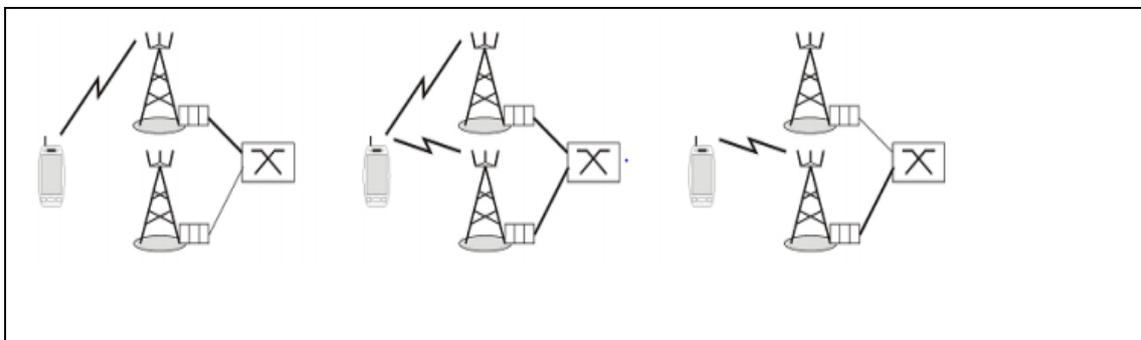
**Figure II.3: hard handover.**

### II.2.4.2.2- soft handover:

Se produit lorsque le canal de la cellule source est maintenu pendant un certain laps de temps pendant que la liaison avec la cellule cible est engagée, Avec cet algorithme, l'échec du transfert est réduit car la connexion avec la cellule cible est établie avant la rupture du lien avec la cellule source. Cette méthode est appelée make-before-break (qui signifie « faire avant de rompre »). Ce type de handover est utilisé dans les réseaux 3G UMTS [14].

#### • *Caractéristiques du soft handover*

- Qualité de service offerte a l'usage.
- Charge élevée au niveau de réseau.
- Charge élevée sur l'interface radio (système CDMA et 3eme génération « UMTS »)[15].



**Figure II.4: Soft handover.**

### II.2.4.2.3-Handover sans coutures ou *Le seamless Handover* :

Dans le seamless handover, la nouvelle liaison est établie en parallèle avec l'ancienne et le flux de données est transfère par le mobile sur les deux liens. Pendant le handover, seul l'ancien lien est actif à la fin du handover le nouveau flux de données est activé.

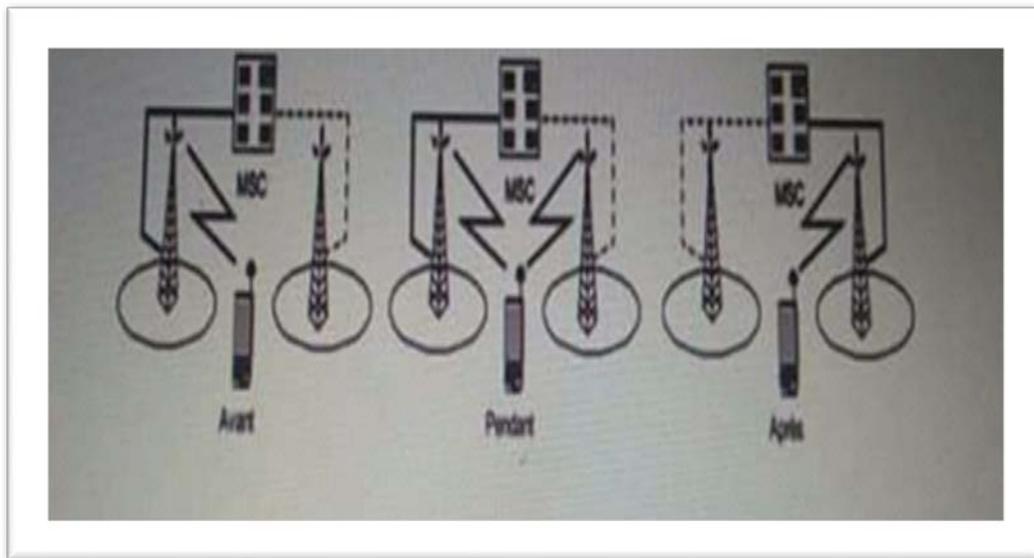


Figure II.5 : Le mécanisme de Seamless Handover.

- *Caractéristiques du seamless Handover*

- Qualité de service maintenue.
- Probabilité de coupure minimisée.
- Consommation supérieure des ressources [15].

### II.2.5- Contrôle de handover :

La prise de décision et l'exécution du Handover peut être complètement prise en charge par l'opérateur " le réseau concerné ", ou peut être complètement du côté du mobile ou bien un partage entre les deux côtés. Dans ce qui suit nous détaillons les différents modes du Handover :

### **II.2.5.1-Handover contrôlé par le mobile (MCHO):**

Dans ce type de handover, Le nœud mobile prend la décision du Handover en se basant sur des informations locales tels que : la puissance du signal (Radio Signal Strength, RSS), l'interférence sur le canal radio (Signal to Noise Interférence Ratio, SINR), le Blocking Error Rate (BLER), les préférences de l'utilisateur, la vitesse du mobile, etc.

Ensuite, en se basant sur la stratégie de sélection considérée, le terminal mobile prend la décision finale. Avec le handover MCHO, le réseau n'a aucune participation à la décision. Ce type de handover a l'avantage de la réduction de la complexité de réseau.

### **II.2.5.2-Handover contrôlé par le réseau (NCHO) :**

Dans ce mode de Handover, c'est le réseau qui prend la décision. Les mesures des paramètres sont effectuées dans la partie réseau. Il n'ya aucune participation du terminal mobile de la décision de handover [13].

### **II.2.5.3-Handover assisté par le mobile (MAHO) :**

A ce type de handover, la décision finale de handover est également prise grâce à une participation conjointe du terminal mobile et du réseau. En fait, c'est le réseau qui s'occupe de prendre la décision de handover mais en se basant sur des informations et des mesures reçues de la part du terminal mobile. C'est le cas avec le système GSM.

### **II.2.5.4-Handover assisté par le réseau (NAHO) :**

Dans le cas de handover assisté par le réseau, la décision finale est faite en combinant les efforts renforcés des deux parties concernées : le terminal mobile et le réseau. Mais, dans ce cas, c'est le réseau qui combine des informations nécessaires à la décision de handover et les envoie au terminal mobile pour être utilisées lors de la décision de handover. Donc et contrairement au handover assisté par le mobile, c'est le terminal mobile qui a la responsabilité de prendre la décision finale de handover utilisant des informations envoyées de la part du réseau concerné [13].

### II.2.6 Processus du Handover :

En général, le processus de handover peut être réalisé en passant par trois étapes principales :

- **Collecte de l'information et initiation de handover :**

Cette étape concerne la préparation et l'initiation de handover quand un nœud mobile a le besoin de quitter son point d'attachement au réseau courant pour aller se connecter sur un autre réseau où la qualité de service sera meilleure. Généralement, la raison peut être une faible puissance du signal ou bien une valeur d'un ou de plusieurs paramètres de qualité de service qui tombent en dessous d'un certain seuil. A cette étape, le terminal mobile détermine les réseaux disponibles dans son environnement et ensuite identifie leurs caractéristiques principales tels que le rayon de couverture du réseau, le taux de perte des paquets, la bande passante, Bit Error Ratio (BER), Signal to Interférence Radio (SINR), etc. D'autres informations sont reliées plutôt au mobile, comme la puissance du signal, la durée de vie de la batterie, la vitesse du mobile.

- **Décision de handover et sélection d'un réseau :**

Durant cette phase, les informations qui ont été collectées de la phase précédente vont être compilées pour arriver à prendre une décision et choisir un réseau parmi plusieurs disponibles dans l'environnement du nœud mobile. En général, cette étape assure la surveillance de la connexion avec le réseau en cours, la détermination de la nécessité de handover, la sélection du réseau et le temps précis de transfert de l'appel. En considérant les préférences des utilisateurs et les caractéristiques des réseaux disponibles, la stratégie de sélection adoptée permet à chaque utilisateur de choisir le réseau d'accès le plus approprié parmi les autres disponibles. Des instructions à la phase d'exécution seront fournies en fin de cette étape.

- **Exécution du handover :**

Dans la phase précédente, nous avons choisi le réseau au quelle nœud mobile doit se connecter. Donc, cette étape est utilisée pour changer les canaux de l'ancien réseau vers le nouveau point d'accès (ou station de base) en suivant les instructions détaillées au cours de la phase de décision. Trois démarches sont incluses pendant cette période : l'établissement de la connexion avec le réseau

cible, la libération des canaux avec le réseau en cours et l'invocation des services d'authentification nécessaires. Une fois le meilleur réseau d'accès sélectionné, et l'authentification avec le réseau cible réalisée, la session de communication se poursuivra par le nouveau réseau à travers une nouvelle interface radio. Il faut noter que l'exécution de handover peut être réalisée de différentes méthodes générant plusieurs types de handover. Dans le premier type, make-before-break, la connexion avec le nouveau réseau (AP ou BS) est établie avant la libération de la connexion avec l'ancien réseau et ce type de handover est appelé soft handover. Donc, le terminal mobile est relié à deux points d'accès (ou BS) pendant une certaine durée du temps. En revanche, avec le handover de type break-before-make, la connexion avec l'ancien réseau est résiliée avant d'en établir une autre avec le nouveau réseau et ce type de handover est appelé hard handover.

Cette exécution peut se faire selon l'un des 4 cas suivant : (1) Décision contrôlée par le réseau (Network Controlled Handover Decision, NCHO) habituellement utilisé par les opérateurs pour répartir les charges réseaux. (2) Décision contrôlée par le mobile (Mobile Controlled Handover Decision, MCHO). (3) Handover initié par le réseau et assisté par le mobile (network initiated but Mobile Assisted Handover, MAHO) et, (4) Handover initié par le mobile et assisté par le réseau (mobile initiated but Network Assisted Handover NAHO)[23].

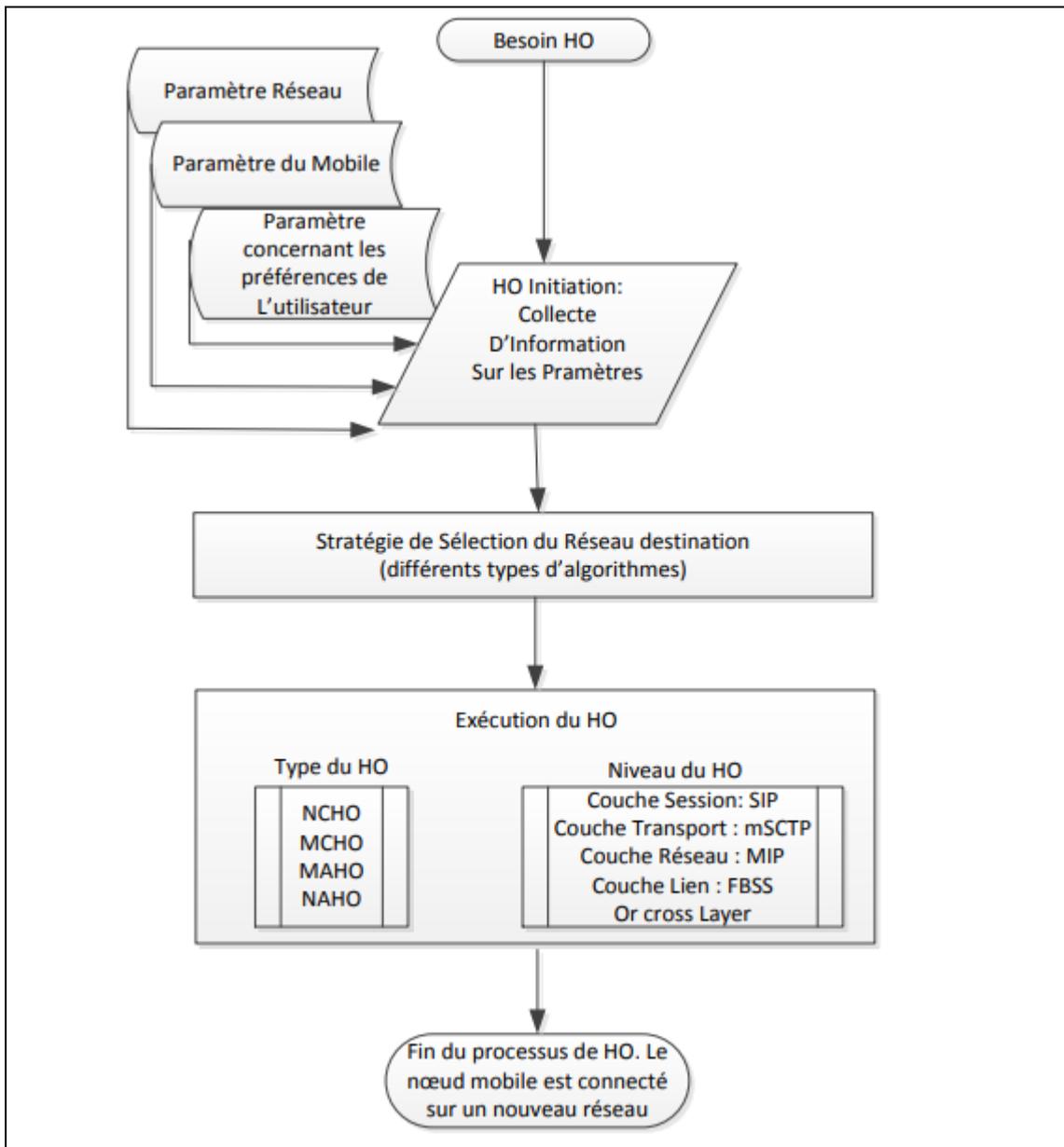


Figure II.6: Processus du Handover

## II.2.7 La qualité de service dans les réseaux sans fil maillés :

### II. 2.7.1 Définition de la qualité de service :

Le terme QoS est l'acronyme de « Quality of Service », en français « Qualité de Service », désigne la capacité à fournir un service (notamment un support de communication) conforme à des exigences en matière de temps de réponse et de bande passante. Appliquée aux réseaux à commutation de paquets (réseaux basés sur l'utilisation de routeurs) la QoS désigne l'aptitude à pouvoir garantir un niveau acceptable de perte de paquets, défini contractuellement, pour un usage donné (voix sur IP, vidéo-conférence, etc... [4]).

### II.2.7.2 Les paramètres de la qualité de service :

En général, La qualité de service est basée sur un certain nombre de paramètres différents et qui ont pour but de préciser les besoins des utilisateurs envers les fournisseurs de services. Pour cela, afin de garantir la qualité de service, le réseau offre un ensemble de services préalablement déterminés et attribués aux utilisateurs satisfaisant certains critères de QoS par rapport à la connexion de bout en bout en terme de délai, de bande passante, de probabilité de perte des paquets et de gigue.

- **Le débit :**

Appelé aussi *bande passante*. Il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps. Il se trouve deux modes de disponibilité de la bande passante, en fonction du type de besoin exprimé par l'application. Le mode "burst" est un mode immédiat, qui monopolise toute la bande passante disponible (lors d'un transfert de fichier par exemple). Le mode "Stream" est un mode constant, plus adapté aux fonctions audio/vidéo ou aux applications interactives.

- **Délai de bout en bout :**

Le délai de bout en bout est la durée de temps prise pour transférer un paquet à partir de sa source d'envoi vers sa destination de réception. Ce délai pour chaque paquet est calculé suivant cette formule :

*Délai de bout en bout = instant de réception du paquet - instant d'émission du paquet.*

- **La gigue (variation du délai) :**

La variance de délai ou gigue (en anglais jitter) est la différence entre le délai de bout en bout max et le délai de bout en bout min.

*Gigue = Délai de bout en bout max - Délai de bout en bout min.*

En général, si la gigue est faible cela peut vouloir dire que les nœuds sont proches les uns des autres donc la connectivité du réseau est forte. A l'inverse, si la valeur de la gigue est grande cela veut dire que les vitesses des nœuds sont très variables et que la connectivité du réseau est faible.

- **La perte des paquets :**

Le taux de perte des paquets est le nombre de paquets perdus par rapport au nombre total de paquets envoyés.

*Taux de perte = (nombre des paquets perdus/nombre des paquets émis)\*100.*

Dans le nombre des paquets perdus, sont inclus les paquets de données et les paquets de contrôle qui servent à trouver les routes et à les maintenir. Ce taux est recalculé à chaque émission ou perte d'un paquet dans le réseau [12].

### II.2.7.3 L'objectif et les besoins de la QoS dans les réseaux sans fil maillés :

Les besoins de la QoS sont différents selon le type de l'application. Par exemple, pour les applications temps-réel, comme la voix et la vidéo, le délai de bout en bout d'un paquet doit être limité, autrement le paquet est inutile. Les applications qui ne sont pas en temps-réel, comme le transfert de fichier ou la messagerie, se focalisent quant à elles sur la fiabilité des communications [4].

La qualité de service dans les réseaux de télécommunication est d'atteindre un meilleur comportement de la communication, pour que le contenu de cette dernière soit correctement acheminé et les ressources du réseau soient utilisées d'une façon optimale.

Enfin, l'objectif d'un support de QoS dans les réseaux sans fil maillés n'est pas d'offrir une garantie stricte de la QoS, mais plutôt de s'efforcer d'offrir une QoS proche de la QoS demandée, tout ayant une bonne utilisation des ressources et en acceptant un nombre important de flux [3].

### II.3 Routage :

#### II.3.1-Définition de routage :

Le routage est les mécanismes par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires [7].

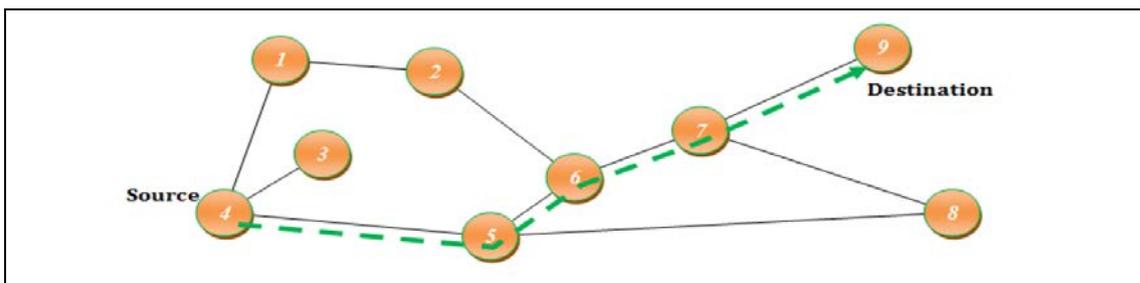


Figure II.7: Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination

#### II.3.2-Définition de protocole :

Un protocole de routage est une politique de sélection de route entre chaque paire de nœuds dans le réseau. On peut diviser en trois étapes le fonctionnement d'un protocole de routage : la découverte des nœuds voisins, le calcul de la métrique et le calcul des itinéraires optimaux. Dans les réseaux maillés sans fil, la mise en place des

protocoles de routage constitue un grand défi parce qu'ils permettent l'exploitation des réseaux en organisant le trafic. Ces derniers peuvent être divisés en trois catégories : Les protocoles de routage proactifs, réactifs et hybrides [5].

### II.3.3- Les objectifs des protocoles de routage dans les réseaux maillés sans fil :

L'objectif principal d'un protocole de routage est de trouver et de maintenir le chemin optimal à multi- sauts pour une communication quelconque, le sens du mot optimal dépend de la nature du réseau , la nature de l'application, la nature des informations échangées et la nature des utilisateurs, on distingue plusieurs points de vue :

- Chemin qui consomme le minimum de ressources (bande passante, mémoire, processeur, énergie).
- Chemin qui utilise le minimum de sauts.
- Chemin qui est le plus court chemin (distance).
- Chemin qui est le plus sûr.
- Chemin qui assure la meilleure qualité de service.

Cet objectif peut être atteint par les points suivants :

- Eviter les boucles de routage.
- Réduire le nombre et la taille des messages de contrôle.
- Maintenir la topologie d'une manière dynamique.
- Réduire et si amplifier les traitements [4].

### II.3.4- Classifications des protocoles de routage :

#### II.3.4.1- Les protocoles de routage proactifs.

Le principe de cette classe est que les routes sont préparées à l'avance. Les protocoles de routage proactifs utilisent une ou plusieurs tables de routage dans chaque nœud, Ils essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau, pour le faire ils utilisent l'échange régulier des messages de contrôle pour mettre à jour les tables de routage vers toute destination atteignable depuis celui-ci [4].

Cette manière de procéder permet aux nœuds de construire de façon distribuée la topologie du réseau. Il existe, à cet effet, deux types de paquets de contrôle :les paquets envoyés localement (à un saut) pour la découverte du voisinage et les paquets diffusés dans tout le réseau pour communiquer aux autres nœuds les informations sur l'état du voisinage (généralement l'ensemble des voisins ou un sous ensemble) rassemblés par le premier type de messages de contrôle.

Les deux principales méthodes utilisées sont : les méthodes Etat de Lien "*Link State*" et la méthode du Vecteur de Distance "*Distance Vector*". Les célèbres protocoles basés sur ce principe sont : DSDV, WRP, TBRPF, GSR, FSR, ZHLS, CGSR, DREAM, LSR et OLSR [13].

### II.3.4.2 Les protocoles de routage réactifs.

Les protocoles de routage proactifs engendrent un trafic très important ce qui conduit, souvent, à la saturation rapide du réseau. Pour y remédier, les protocoles réactifs évitent au maximum les inondations qui consomment beaucoup de ressources.

L'idée de cette approche est de lancer le processus de recherche de routes uniquement au besoin (à la demande). Ainsi, quand un nœud demande de relayer ses données vers une destination quelconque dont il ne dispose pas de route valide, le mécanisme de recherche de route est déclenché. Le principe est le suivant :

- le nœud émetteur diffuse une requête « Route Request RREQ » au niveau de son rayon de propagation.
- le mécanisme d'inondation permet à cette requête de se propager sur tout le réseau.
- à chaque fois que le paquet passe par un nœud mobile, jouant dans ce cas le rôle d'un routeur, une information portant l'identifiant du nœud est ajoutée à la route jusqu'à ce que le paquet atteigne sa destination.
- à la réception du paquet, le nœud destinataire renvoie le tracé du chemin à la source en suivant le chemin inverse.
- parmi toutes les routes renvoyées par le nœud destinataire, le nœud source sélectionne la plus petite et il la sauvegarde dans son cache afin de l'utiliser en cas de besoin.

Cependant, du fait que l'on ne dispose pas immédiatement de la route vers la destination, le délai nécessaire à l'acheminement des paquets vers la destination est plus important en comparaison avec les protocoles proactifs.

Les principaux protocoles réactifs sont : AODV (*Ad Hoc On demand Distance Vector Routing*) et DSR (*Dynamic Source Routing*) [8].

### II.3.4.3 Les protocoles de routage hybrides.

Il existe une autre famille de protocole de routage qui est une combinaison des deux concepts proactifs et réactifs, il est dite 'hybrides'. A fin de profiter de leurs avantages et limiter leurs inconvénients.

Les protocoles hybrides utilisent un protocole proactif, pour apprendre le proche voisinage par exemple voisinage à deux sauts ou trois sauts. Ainsi ils disposent des routes immédiatement dans le voisinage. Au-delà de cette zone prédéfinie, le protocole hybride fait appel aux techniques des protocoles réactifs pour chercher des routes. Avec ce découpage, le réseau est partagé en plusieurs zones, et la recherche de route en mode réactif peut être améliorée. Ce type de protocole s'adapte bien aux grands réseaux.

Les principaux protocoles hybrides sont : ZRP (the Zone Routing Protocol) et CBRP (Cluster Based Routing Protocol) [9].

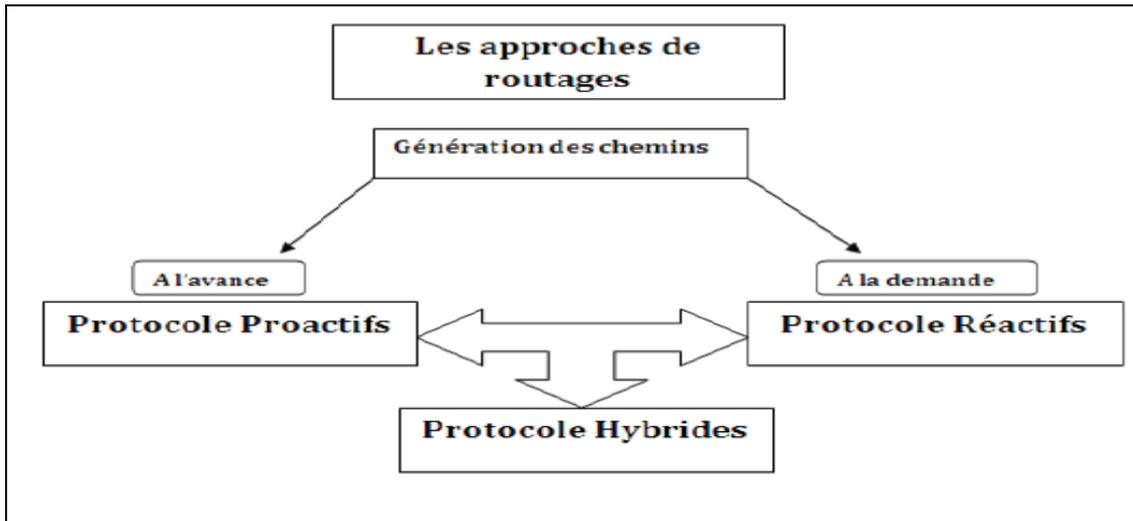


Figure II.8: Classification des protocoles de routage.

### II.3.5- L'étude des protocoles de routage :

#### II.3.5.1 Le protocole de routage réactif AODV.

Spécifié par la RFC 3561, AODV (*Ad hoc On Demande Vector*) est un protocole de routage réactif spécifique, comme son nom l'indique, aux réseaux mobiles ad hoc. Conçu par Charles E. Perkins et Elizabeth M. Royer. Il peut être considéré comme une combinaison des deux protocoles DSDV et DSR, car il détient de DSR ses mécanismes de découverte et de maintenance de routes "Route Discovery" et "Route Maintenance" ; et de DSDV, son routage sauts par sauts "hop by hop", ses numéros de séquences ainsi que la diffusion des mises à jour des tables de routage. Il est basé sur le routage de vecteur de distance en minimisant sensiblement le nombre de diffusions de messages en créant le chemin à la demande, c'est-à-dire qu'il ne construit de route entre nœuds que lorsqu'elle est demandée par un nœud source, ce nœud la maintient durant le temps qu'il en fait usage. Le protocole utilise le principe des numéros de séquence permettant aux nœuds d'utiliser les routes les plus fraîches.

AODV définit quatre types de messages distincts, transmis via le port 654 en utilisant le protocole UDP (User Datagram Protocol): RREQ (Route REQuest), RREP (Route Reply) RERR (Route ERRor) et RERP-ACK (Route REPLY ACKnowledgment).

En résumé le fonctionnement du protocole suivant [AODV, 2011] recherche de route à l'initiative du nœud 1 vers le nœud 8.

Lorsque le nœud 1 veut émettre un message il cherche dans sa table de routage si une route valide existe pour la destination qu'il souhaite atteindre s'il n'en existe aucun, il diffuse (broadcast) un message RREQ. Si la réponse est reçue alors l'opération de découverte de route est terminée. un nœud recevant le

RREQ émettra alors un paquet RREP s'il est destination, sinon il rediffuse le paquet RREQ. Les nœuds conservent chacun une traces des adresse IP sources et des identifiants de diffusion des paquets RREQ. Dans le cas où ils reçoivent un paquet RREQ qu'ils ont déjà traité alors ils le suppriment. Une fois que la source a reçu les paquets RREP, elle peut commencer à émettre des paquets de données vers la destination. Une meilleure route est utilisée (mise à jour de table de routage) en cas où le nœud source reçoit un RREP contenant un numéro de séquence supérieur ou égale, mais avec un nombre de sauts plus petits.

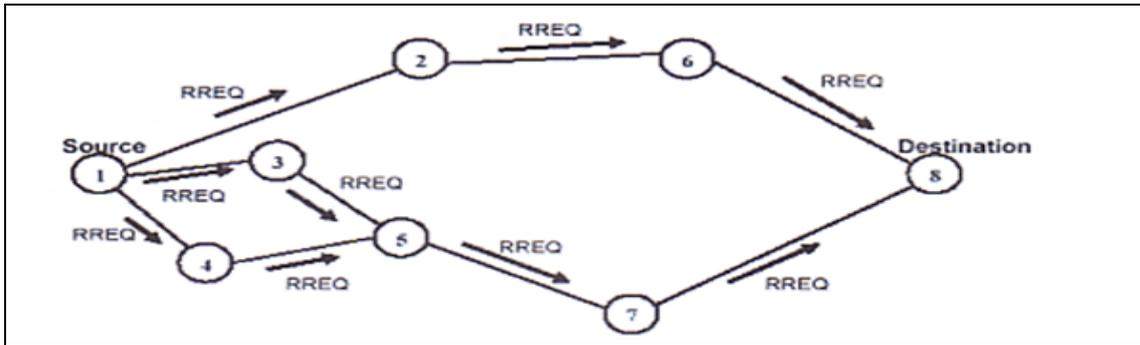


Figure II.9 : La requête RREQ.

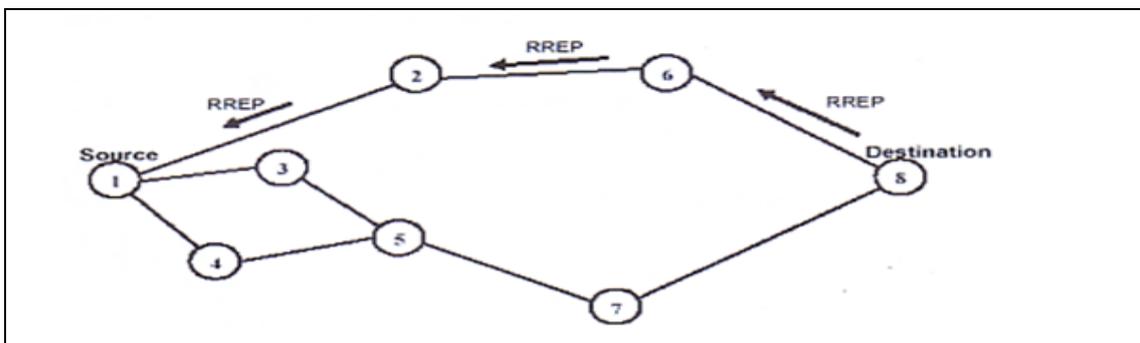


Figure II.10 : La requête RREP.

### II.3.5.2- Le protocole de routage réactif DSR.

Le protocole DSR (*Dynamic Source Routing*) est un protocole de routage réactif unicast, efficace et dédié aux réseaux ad hoc mobile multi sauts qui sont basé sur le concept de routage par la source. Chaque nœud maintient en cache l'adresse source des routes découvertes. Chaque entrée dans la cache est continuellement mise à jour lorsque de nouveaux chemins sont découverts.

Le protocole consiste essentiellement en deux phases :

1. la découverte d'une route.
2. la maintenance d'une route.

Dans cette technique la source détermine la séquence complète des nœuds à travers lesquels les paquets de données seront envoyés. Avant d'envoyer un

paquet de données vers un autre nœud, l'émetteur diffuse un paquet "route request" vers tous ses voisins. Si l'opération de découverte de routes est réussie, l'émetteur reçoit un paquet "route réponse" qui contient une séquence de nœuds à travers laquelle la destination peut être atteinte. Le paquet "route request" contient un champ d'enregistrement de routes, dans lequel sera accumulée la séquence des nœuds visités durant la propagation de la requête dans le réseau.

L'utilisation de la technique de routage par la source, fait que les nœuds de transit n'ont pas besoin de maintenir les informations de mise à jour pour envoyer les paquets de données.

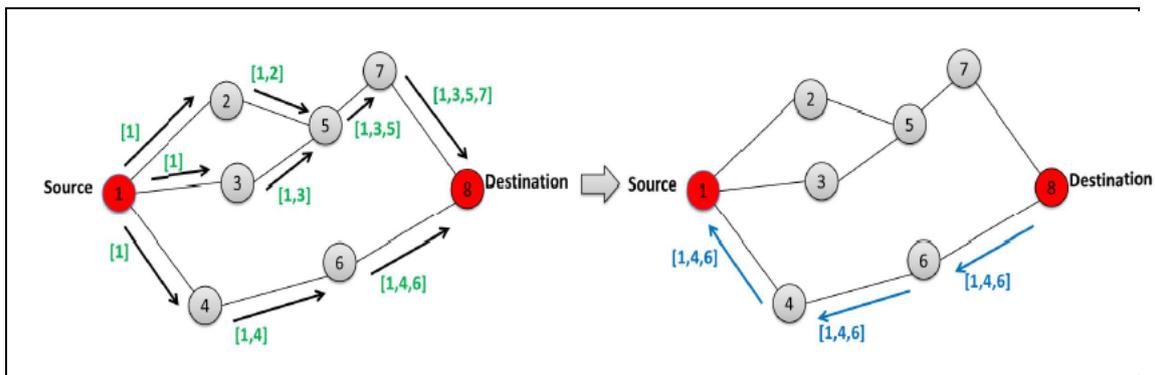


Figure II.11 : Déroulement du protocole DSR.

### II.3.5.3 Le protocole de routage proactif DSDV.

En 1994, Charles Perkins et Pravin Bhagwat proposent un algorithme de routage appelé "Vecteur de Distance à Destination Dynamique Séquencée", ou DSDV (Dynamic Destination Sequenced Distance Vector) a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Il est basé sur l'idée classique de l'algorithme distribué de Bellman-Ford (DBF : Distributed Bellman-Ford) en rajoutant quelques améliorations.

Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient : toutes les destinations possibles, Le nombre de nœud (ou de sauts) nécessaire pour atteindre la destination, Le numéro de séquences (SN : sequence number) [9].

Le SN est utilisé pour faire la distinction entre les anciennes et les nouvelles routes, ce qui évite la formation des boucles de routage.

La mise à jour dépend donc de deux paramètres : le temps, c'est à dire la période de transmission, et les événements qui peuvent surgir (déplacement de nœuds, apparition d'un nouveau voisin ...etc.)

Un paquet de mise à jour contient :

- Le nouveau numéro de séquence incrémenté, du nœud émetteur.
- Et pour chaque nouvelle route :

- L'adresse de la destination.
- Le nombre de nœuds (ou de sauts) séparant le nœud de la destination.
- Le numéro de séquence (des données reçues de la destination) tel qu'il a été estampillé par la destination.

Avec le DSDV, on peut éliminer les deux problèmes de boucle de routage "routingloop", et celui du "counting to infinity". Cependant, dans ce protocole, une unité mobile doit attendre jusqu'à ce qu'elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination, afin de mettre à jour l'entrée associée à cette destination, dans la table de distance. Ce qui fait que le DSDV est lent. On trouve ce même problème dans l'algorithme DUAL - utilisé dans des protocoles Internet tel qu' EIGRP- et dans les algorithmes similaires basés sur la synchronisation explicite. En outre, le DSDV utilise une mise à jour périodique et basée sur les événements, ce qui cause un contrôle excessif dans la communication.

### II.3.5.4 Le protocole de routage proactif OLSR.

OLSR (Optimized Link State Routing) est un protocole de routage proactif à état de liens. Son innovation réside dans sa façon à économiser la consommation de la bande passante lors des broadcast. Ceci est réalisé grâce à l'utilisation du concept des "relais multipoints" (*MPR*) dans lequel chaque nœud choisit un sous-ensemble de ses voisins pour retransmettre ses paquets en cas de broadcast. En se basant sur le broadcast en utilisant les MPRs, tous les nœuds du réseau sont atteints avec un nombre réduit de répétitions. Un ensemble de MPR d'un nœud  $N$  est l'ensemble minimal de ses premiers sauts voisins qui couvrent (dans le sens de la portée de communication) ses deuxièmes sauts voisins. Dans OLSR, chaque nœud broadcast périodiquement des messages Hello qui contiennent l'état de ses liens avec ses premiers sauts voisins (unidirectionnel, bidirectionnel ou MPR pour dire que ce voisin est un MPR). Grâce aux messages Hello, un nœud construit sa table des voisins ainsi que la liste des voisins qui l'ont choisi comme MPR dits "MPR-sélecteurs". De plus, un nœud broadcast périodiquement des messages TC (*Topology Control*) qui contiennent la liste de ses MPR-sélecteurs. En exploitant ces messages, chaque nœud remplit les deux champs nommés "destination" (correspond aux MPR-sélecteurs dans le message TC) et "dernier saut" (prend comme valeur l'identificateur du nœud émetteur du message TC) d'une table dite de topologie. Les tables de topologie et des voisins sont exploitées pour construire la table de routage.

### II.3.5.5 Le protocole de routage hybride ZRP.

Le protocole de routage ZRP (Zone Routing Protocol) est un protocole de routage dit hybride. Il met en place, simultanément, un routage proactif et un routage réactif, afin de combiner les avantages des deux approches. Dans le ZRP le réseau est décomposé en plusieurs zones de routage chevauchées appelées « zone de routage ». La zone de routage d'un nœud est définie comme l'ensemble des nœuds qui se trouvent à une distance inférieure

## Chapitre II : Handover et le routage dans les réseaux maillés sans fil.

ou égale au rayon de la zone. Ce rayon correspond au nombre de sauts maximum qu'il peut y avoir entre deux nœuds.

Les nœuds qui se trouvent exactement à une distance égale au rayon de la zone sont appelés "nœuds périphériques" [11].

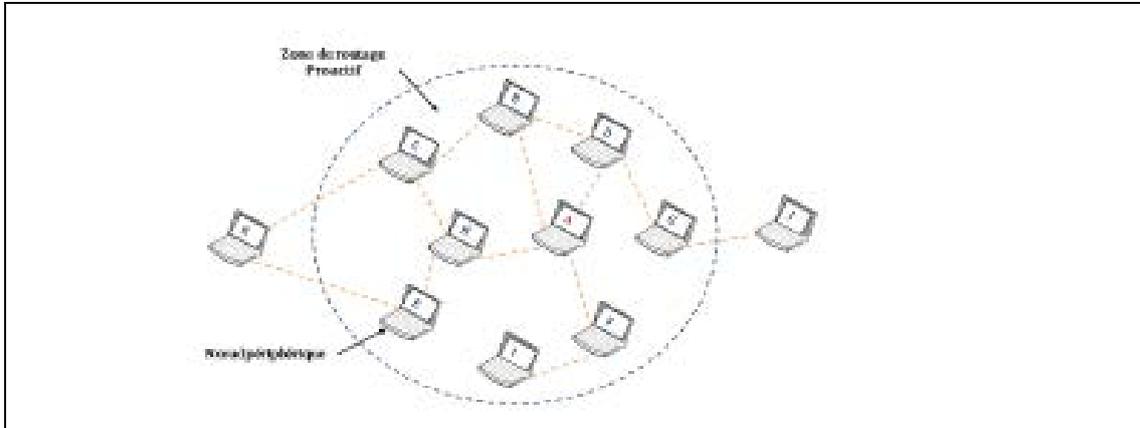


Figure II.12: Zone de routage du nœud A définie par ZRP.

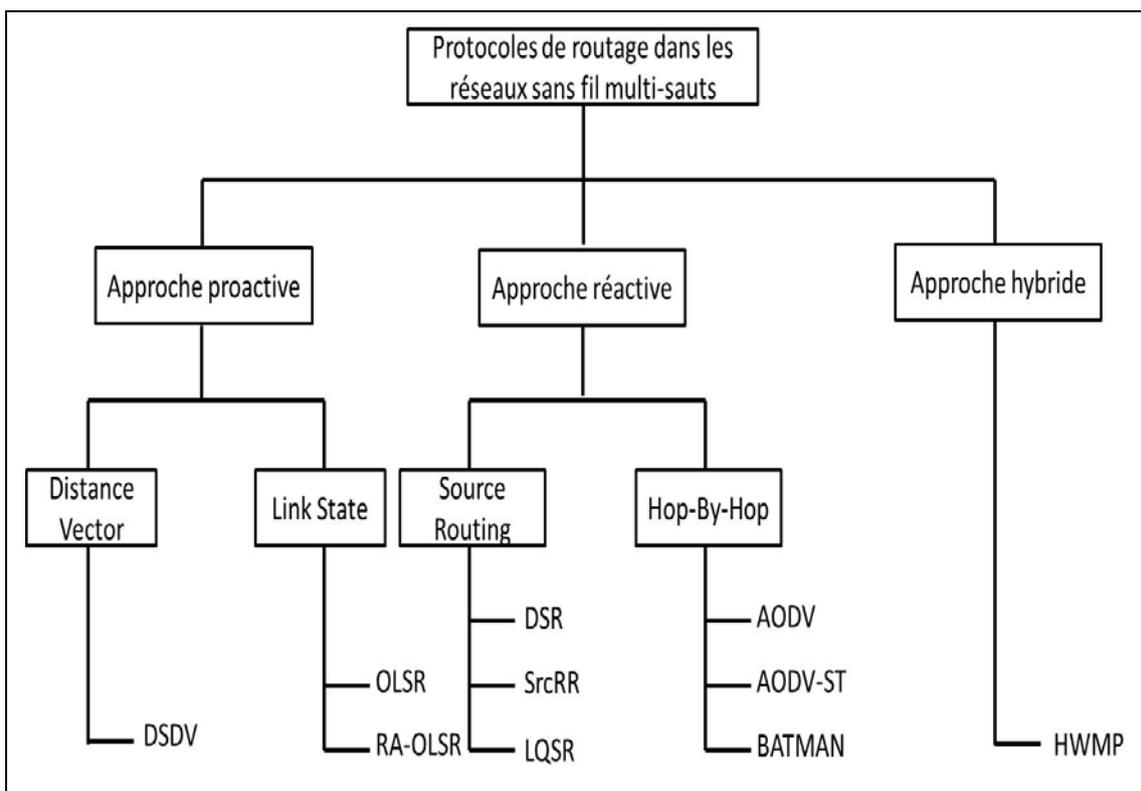


Figure II.13 : les protocoles de routage dans le réseau Mesh.

**II.4 Table des avantages et des inconvénients des protocoles de routage :**

<b>Protocoles</b>	<b>Spécificités</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Proactif	maintien constant d'une table de routage	propagation des paquets très rapide, adapté à la mobilité	réaction lente aux changements de topologie, échanges massifs de messages
OLSR	amélioration de LSR via introduction de MPR	diminution du nombre de messages échangés et de leur taille	problème si mobilité très importante
DSDV	amélioration de DVR via suppression du problème de comptage à l'infini, mises à jour incrémentales pour modifications de topologie mineures	taille des messages diminue	envoi de messages plus important
Réactif	routes obtenues à la demande	routes toujours à jour, pas d'envois excessifs de messages de contrôle	délai nécessaire pour trouver une route, pas optimisé pour la forte mobilité
AODV	choix du next-hop situé sur la route de coût minimum	idem protocoles réactifs	idem protocoles réactifs
DSR	route complète stockée dans chaque nœud, route insérée dans le paquet à envoyer	choix de la route indépendant des autres nœuds, connaissance totale par un nœud de la route empruntée	overhead sur le paquet, mémoire pour stocker les routes

**Table II.1 : les avantages et les inconvénients des protocoles de routage.**

### **II.5 Conclusion :**

Les principaux défis à relever dans les réseaux maillés sans fil sont fondamentalement liées aux problèmes de routage. Comme nous avons vu, le problème de routage est loin d'être évident dans cet environnement, ou ce dernier impose de nouvelles limitations par rapport aux environnements classiques. Les stratégies de routage doivent tenir compte des changements fréquents de la topologie, de la consommation de la bande passante qui est limitée, ainsi d'autres facteurs.

Dans ce chapitre, nous avons vu les définitions et les types de handover, les besoins et quelque métrique de la QOS dans les réseaux maillés sans fil. Ensuite, classification des protocoles de routage (AODV, DSDV, OLSR, DSR, ZRP) dans les environnements mobiles.

Dans le chapitre suivant on va faire une comparaison entre les protocoles, deux protocoles proactifs et deux réactifs.

# **Chapitre III :**

## **Simulation et résultats.**

### III.1 Introduction:

Après la présentation des réseaux maillés sans fil, le fonctionnement et le type des protocoles de routage nous allons procéder à la simulation.

Nous avons choisi le logiciel NS2 car il est plus pratique, moins coûteuse et très utile dans le domaine de la recherche, et du développement de nouveaux protocoles pour différents types de réseaux.

Ce chapitre est composé de deux parties : Dans la première partie nous allons présenter le simulateur utilisé pour cette simulation, qui est le NETWORK SIMULATOR 2 ou NS2.

Dans la dernière partie nous étudions et analysons les résultats de simulation de ces deux types de protocole de routage. Puis, nous avons fait une comparaison entre deux protocoles réactifs (AODV, DSR) et deux proactifs (OLSR, DSDV) qui sont déjà intégrés dans le simulateur NS2.

### III.2 Définition :

NS2 (Network Simulator) est un simulateur des réseaux filaires et sans fil à événements discrets développé dans un but de recherche. NS2 prend en entrée un fichier TCL (Tools Command Language) qui contient toutes les informations sur le réseau, il décrit les conditions de la simulation et fixe les valeurs de certains paramètres tels que les positions des nœuds, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, les communications qui ont lieu, etc. Les protocoles sont codés avec le langage C++ qui est le noyau de ce simulateur. La simulation doit d'abord être saisie sous forme de fichier texte que NS va utiliser pour produire un fichier trace contenant les événements qui se sont déroulés durant la simulation à chaque instant [5].

### III.3 Architecture de logiciel NS2 :

L'architecture générale du NS2 consiste en deux types de langage de programmation : le C++ et l'OTcl (Object-oriented Tool Command Language). Le C++ est utilisé pour programmer les entités internes des systèmes simulés, alors que l'OTcl est utilisé pour définir les scénarios des simulations et les paramètres de configuration. Ces deux types de langages sont, ensuite, liés via le TclCL qui permet le passage des codes C++ vers les codes en OTcl et vice versa. Une fois la simulation terminée, NS2 génère des fichiers particuliers dits fichiers de traces contenant un ensemble d'informations sur le déroulement de la simulation. Ces fichiers permettent d'évaluer les performances de réseau étudié selon des critères précis. Ils peuvent être interprétés en utilisant les outils : NAM (Network Animator) et Xgraph.

On distingue deux types de fichiers de trace :

- Les fichiers trace ".NAM"

Ces fichiers contiennent des informations utiles pour la visualisation des nœuds et leurs déplacements ainsi que le parcours des paquets entre les nœuds.

Un logiciel appelé NAM est nécessaire pour exploiter ce type de fichiers.

- Les fichiers trace ".tr"

Ces fichiers contiennent un ensemble de lignes tel que chaque ligne correspond à un événement daté concernant soit un nœud ou un paquet, ils servent à calculer les différents critères et taux utiles pour évaluer les performances du réseau étudié.

L'utilisateur décrit les conditions de la simulation : la topologie de réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, les communications qui ont lieu. La simulation doit d'abord être saisie sous forme de fichier que NS va utiliser pour produire un fichier contenant les résultats. Mais l'utilisation de l'Otcl permet aussi à l'utilisateur de créer ses propres procédures. Il contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes unicast ou multicast, des protocoles de transport, de session, de réservation, d'application et des services intégrés. Et voici une liste des principaux composants actuellement disponibles dans NS par catégories :

Traffic: WEB, CBR, FTP, etc.

Couche Transport : TCP, UDP

Couche Réseaux : routage dans les réseaux ad hoc (AODV, DSR, DSDV, TORA), routage dans les réseaux filaire (Link state, Distance Vector).

Couche MAC : CSMA, CDMA, liens satellite, etc [24].

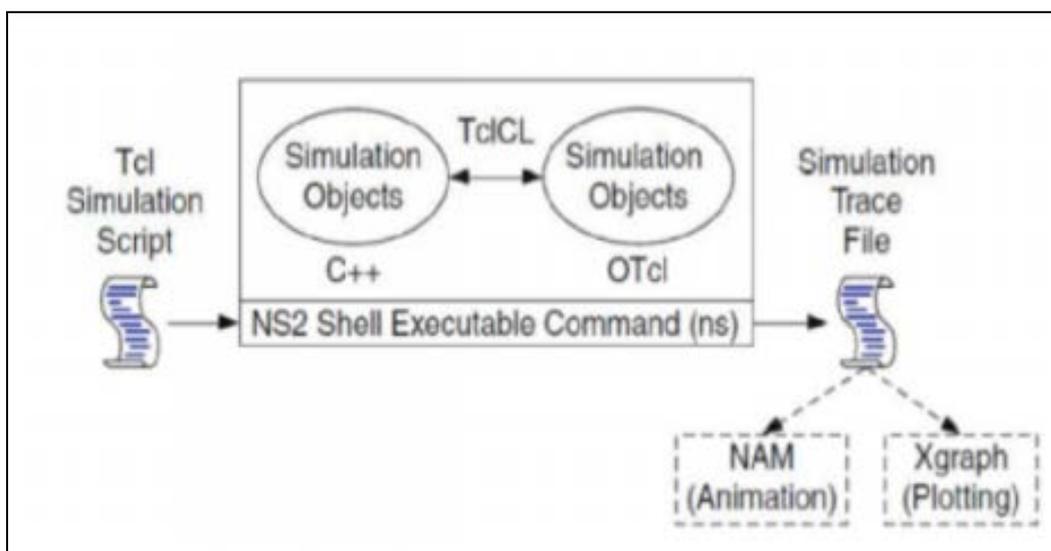


Figure III.1: Architecture générale du NS2.

### III.4 Les protocoles simulés :

Nous avons simulé quatre protocoles qui rentrent dans le cadre des deux types réactif et proactif.

- Réactif : protocole AODV et DSR.
- Proactif : protocole DSDV et OLSR.

### III.5 Scénario de simulation

Dans cette partie nous considérons une topologie simple comprenant un nœud multi-interface supportant les deux technologies WiFi. Le nœud mobile (MN) établit une connexion avec le CN (Correspondent Node).

Supposant que le MN emploie au début l'interface WiFi, on commute le trafic à autre interface WiFi quand il devient disponible.

La figure III.2 contient les éléments essentiels de notre scénario : [25]

- Router 0 (CN)
- Router1 (passerelle)
- Point d'accès WiFi2 (AP2 802.11)
- Point d'accès WiFi1 (AP 802.11)
- Nœud mobile (MN1)
- Nœud mobile(MN2)

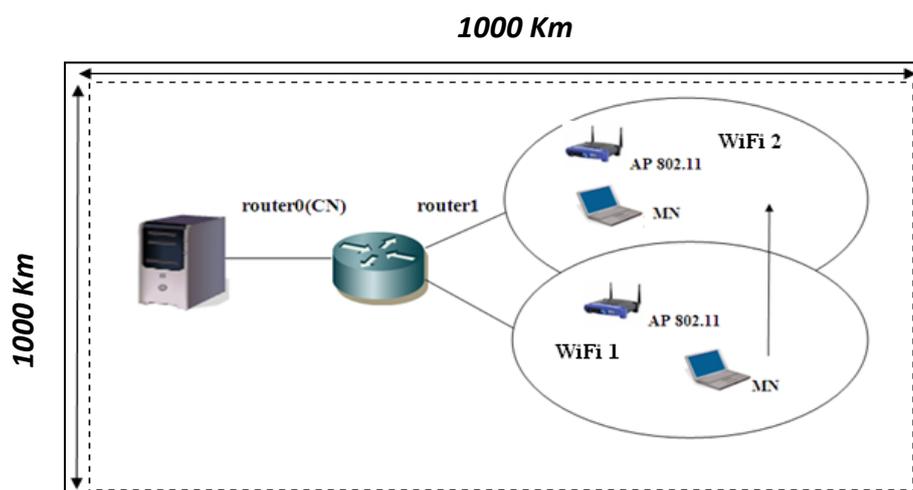


Figure III.2: Topologie du scénario.

### III.6 Simulation et évaluation des performances du handover WiFi mesh :

Nous présentons dans cette partie les résultats des scénarios simulés et les analyses des métriques (taux de paquets perdus, délai de transmission et le Débit) utilisés dans notre étude après l'implémentation de mécanismes de handover des quatre protocoles de routage deux réactifs « AODV, DSR » et deux protocoles proactifs « DSDV, OLSR » dans le réseau Mesh. Finalement, nous comparerons les performances obtenues.

#### III.6.1 les performances de protocole réactif AODV :

##### III.6.1.1 Taux des paquets perdus :

La figure montre l'évolution de taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation de protocole AODV :

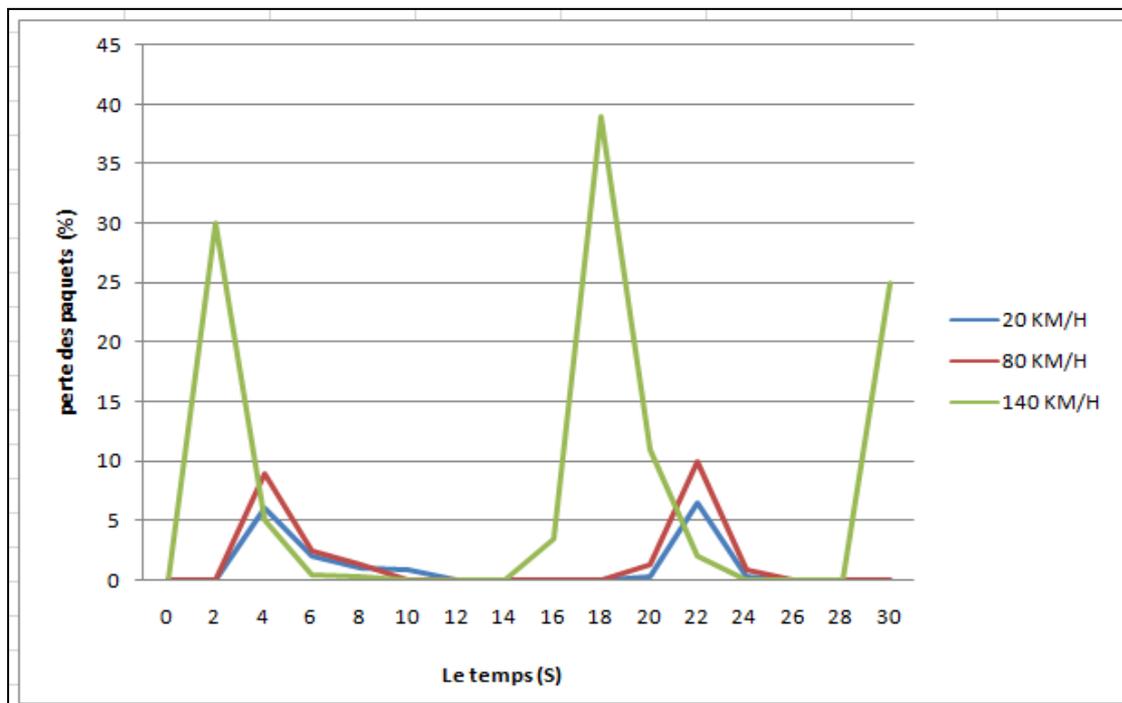


Figure III.3 : L'évaluation de taux des paquets perdus.

### III.6.1.2 Délai de transmission :

La figure suivante illustre délai de transmission en fonction de temps de simulation à différent vitesse de protocole AODV.

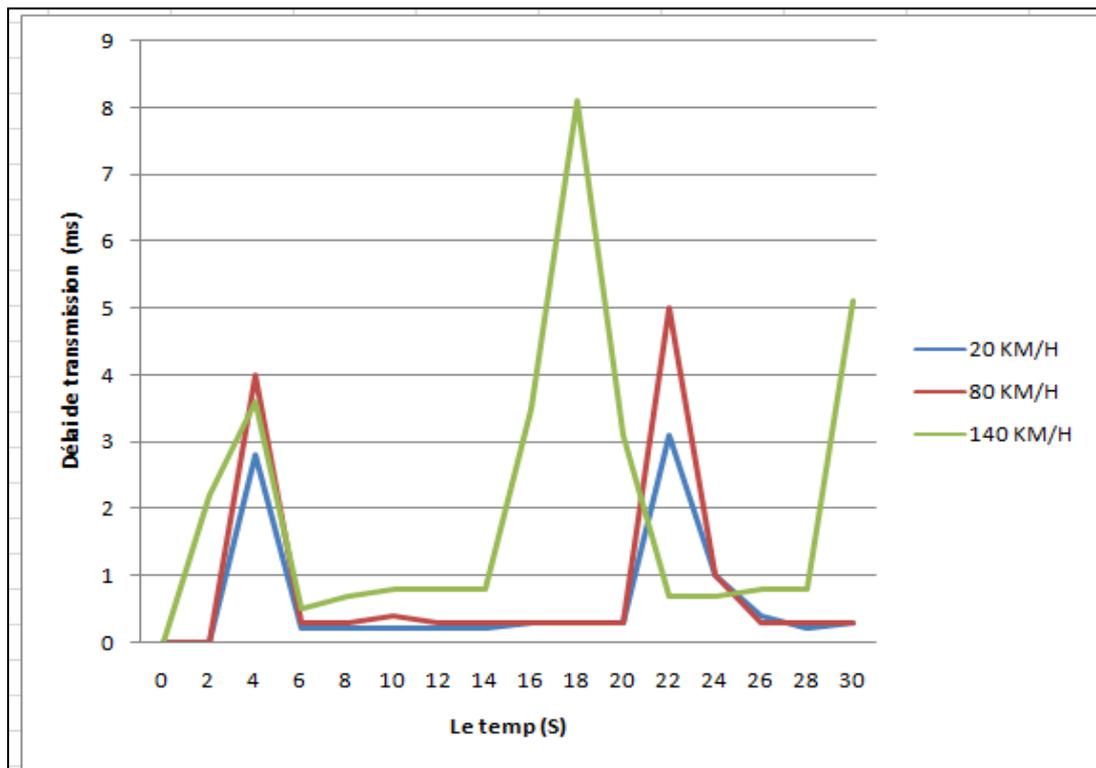


Figure III.4 :L'évolution du délai de transmission.

### III.6.1.3 Débit :

La figure suivante illustre le débit en fonction de temps de simulation à différent vitesse de protocole AODV.

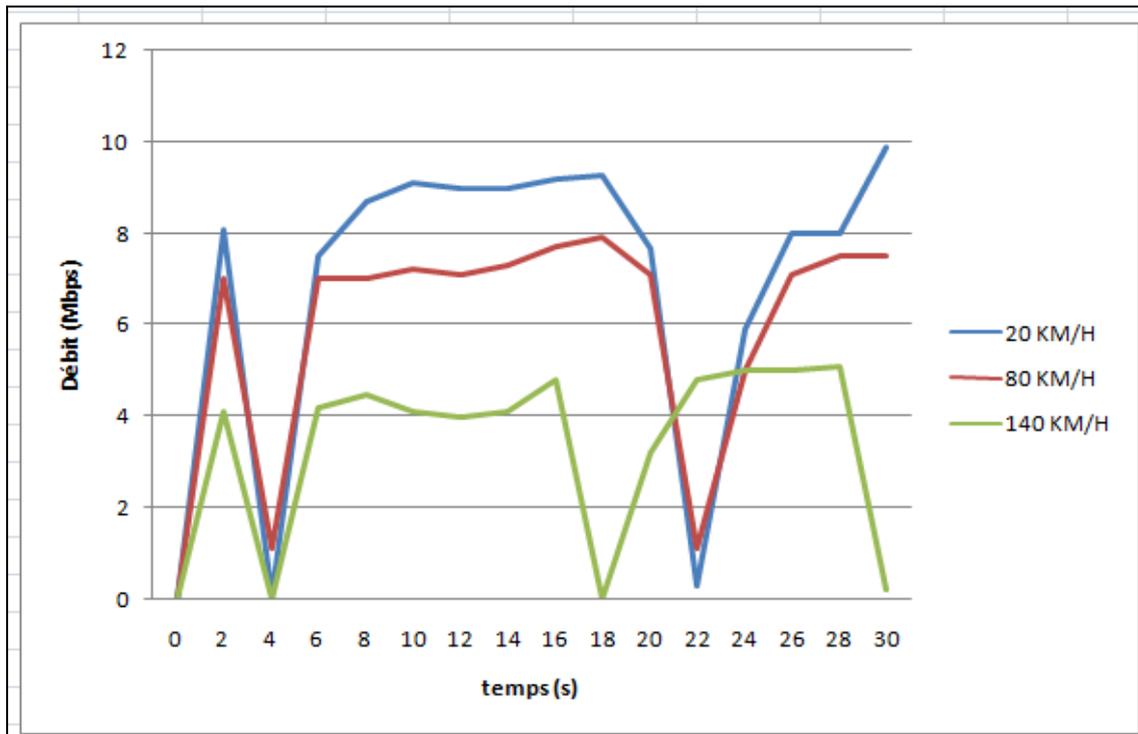


Figure III.5 : L'évolution du débit.

### III.6.2 les performances de protocole réactif DSR :

#### III.6.2.1 Taux des paquets perdus :

La figure montre l'évolution de taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation de protocole DSR :

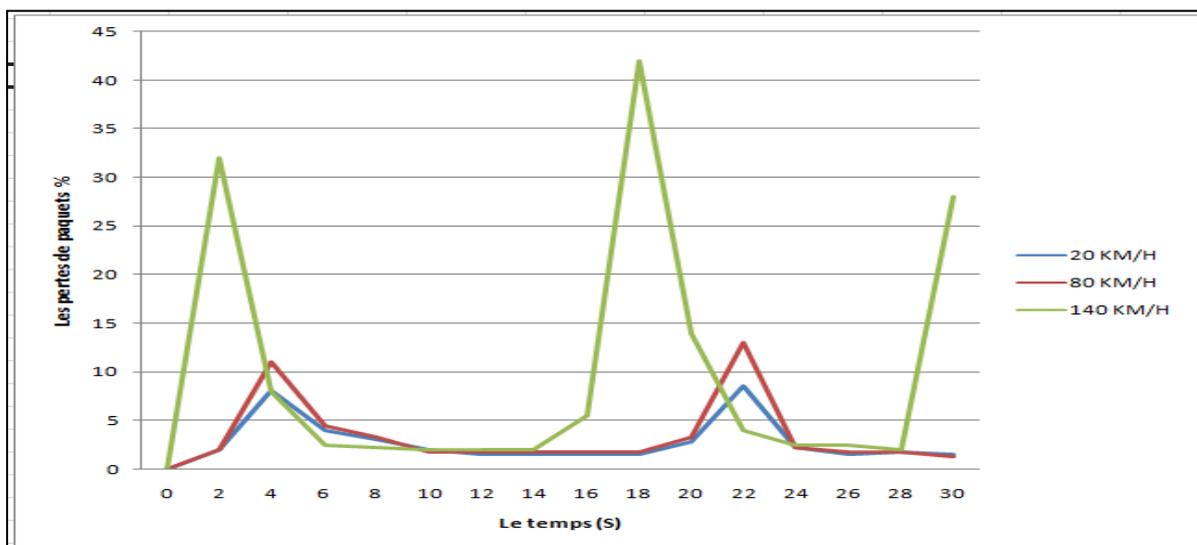


Figure III.6: L'évolution du Taux de paquets perdus.

### III.6.2.2 Délai de transmission :

La figure montre l'évolution Délai de transmission en fonction du temps de la simulation de protocole DSR :

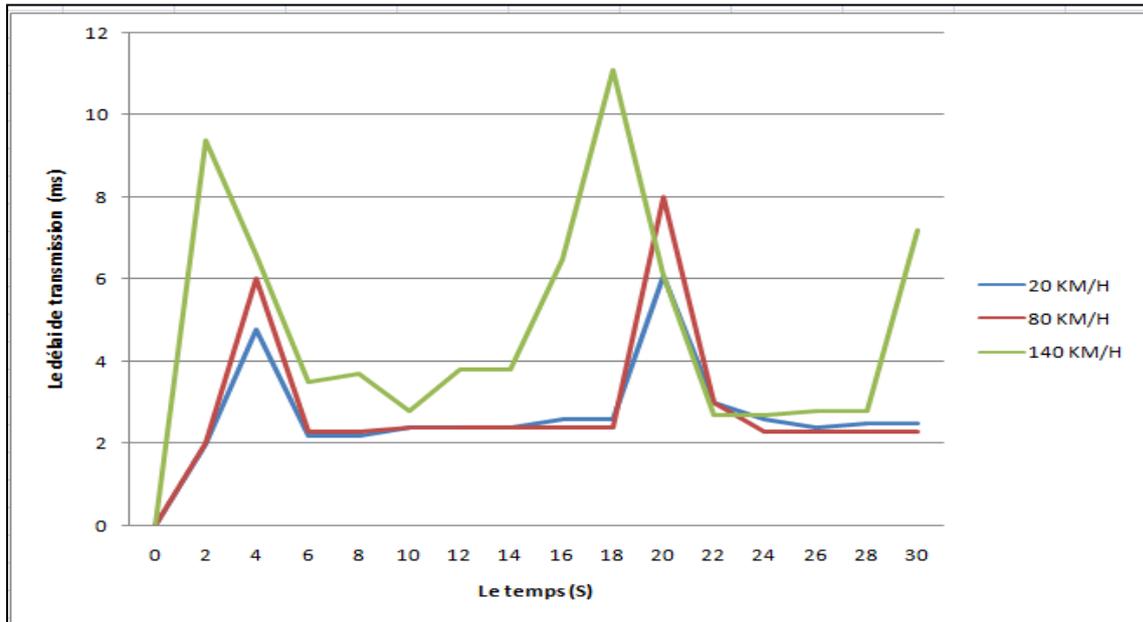


Figure III.7 : L'évolution du délai de transmission.

### III.6.2.3 Débit :

La figure montre l'évolution de débit en fonction du temps de la simulation de protocole DSR:

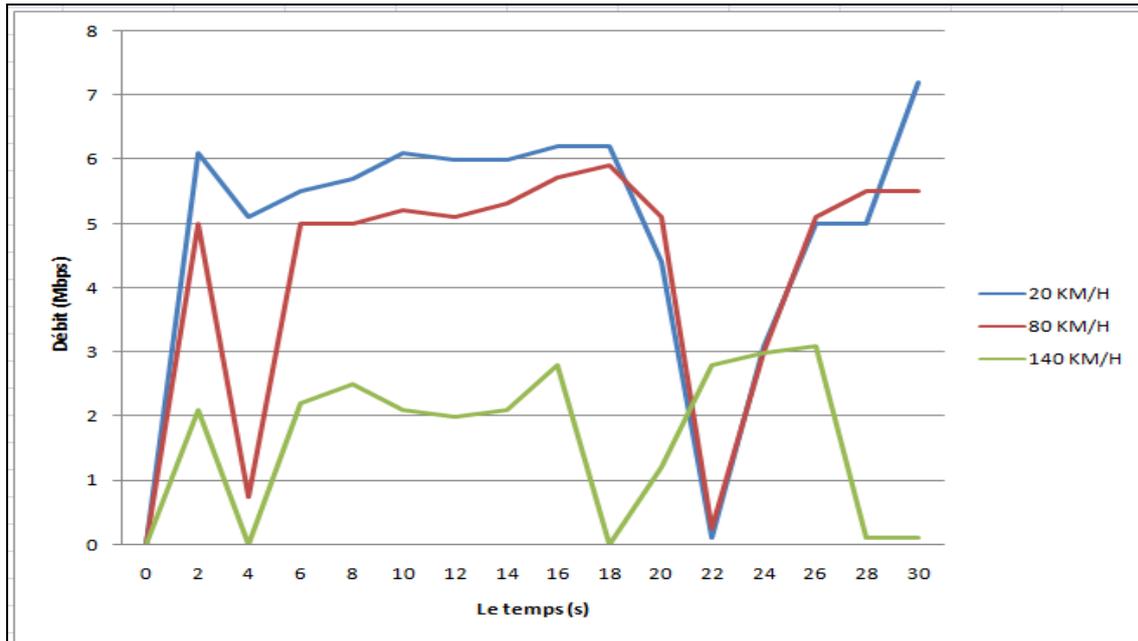


Figure III.8: L'évolution du débit.

- **Conclusion :**

D'après les figures ci- dessus nous déduisons que :

- Le nombre des paquets perdus augmente avec la vitesse et avec l'exécution du handover.
- Ces résultats montrent que pour une faible vitesse le délai de transmission au moment de handover est plus important. Par contre lorsqu'on augmente la vitesse le délai est insignifiant à l'exécution du Handover.
- Au moment de handover le débit est très élevé pour des vitesses faibles.
- En guise de conclusion pour une faible mobilité (20 km/h), les performances du Handover sont satisfaisantes.

### III.6.3 Comparaison entre les protocoles réactifs AODV et DSR :

D'après les résultats de notre simulation nous avons déduit que le protocole AODV est plus performant que le protocole DSR c'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'améliorer le protocole DSR en utilisant un des avantages du protocole AODV.

- Nous remarquons dans les figures ci-dessus (III.3; III.6) qui présente le taux des paquets perdus que : Les pertes de paquets de données avec le protocole

DSR sont plus élevées que celles du protocole AODV. Ces pertes augmentent avec l'augmentation de la vitesse de la mobilité, Par exemple : dans le cas d'une vitesse de 20km/h le protocole AODV à un taux de perte maximale de 6%, celui-ci augmente jusqu'à 39% pour le cas d'une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSR qui a un taux de perte maximale de 8% dans un réseau à faible mobilité et 42 % dans un réseau à forte mobilité. Donc, on peut dire que le protocole DSR à un taux de perte nettement supérieure à celui du protocole AODV.

- D'après les deux figures (III.4 ; III.7) nous remarquons qu'en générale, le protocole de routage AODV offre un délai moyen de transfert des paquets nettement meilleur que le protocole de routage DSR surtout dans les réseaux à faible mobilité des nœuds. Par exemple : dans le cas d'une vitesse de 20km/h le protocole AODV offre un délai moyen maximale de 3.18ms, celui-ci augmente jusqu'à 8.1ms pour le cas d'une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSR qui offre un délai moyen maximale de 6 ms dans un réseau à faible mobilité et 11ms dans un réseau à forte mobilité.
- En suite, d'après les deux figures de (III.5; III.8) l'évolution de débit avec handover ci-dessus, nous remarquons que le protocole de routage AODV offre un Débit meilleur que le protocole de routage DSR surtout dans les réseaux à faible mobilité par exemple : pour une vitesse de 20km/h le protocole AODV offre un débit maximal de 9.8 Mbps qui diminue jusqu'à 5 Mbps pour une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSR 7.2 Mbps pour une vitesse de 20 Km/h et 3.1 Mbps pour une vitesse élevé (140 km/h) .

Le protocole AODV utilise des messages de contrôle qui ont une petite taille cela permet au nœud de les lire très rapidement sans avoir de congestion. De plus, les résultats de notre simulation, nous avons montré que le protocole AODV offre un meilleur délai que le protocole DSR, Et un protocole qui offre un meilleur délai offre un meilleur débit c'est pour cela que le protocole AODV a un débit plus élevé que le protocole DSR.

### III.6.4 les performances de protocole proactif DSDV :

#### III.6.4.1 Taux des paquets perdus :

La figure montre l'évolution de taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation de protocole DSDV :

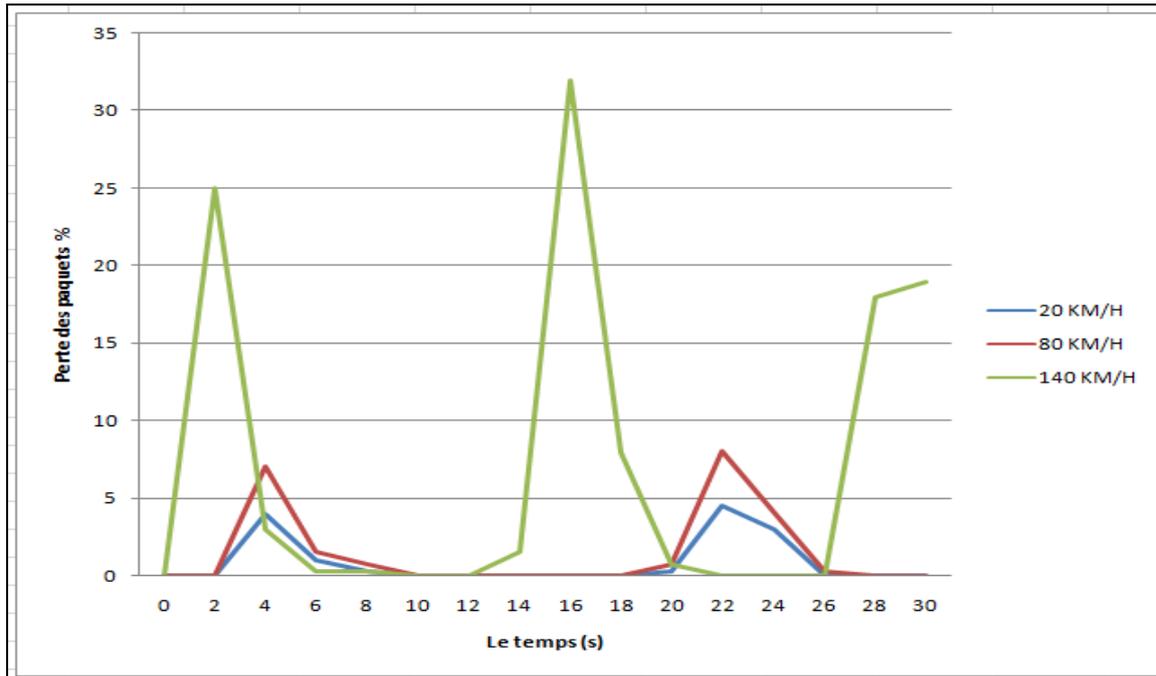


Figure III.9 : L'évolution du Taux de paquets perdus.

### III.6.4.2: Délai de transmission :

La figure montre l'évolution de délai de transmission en fonction du temps de la simulation de protocole DSDV :

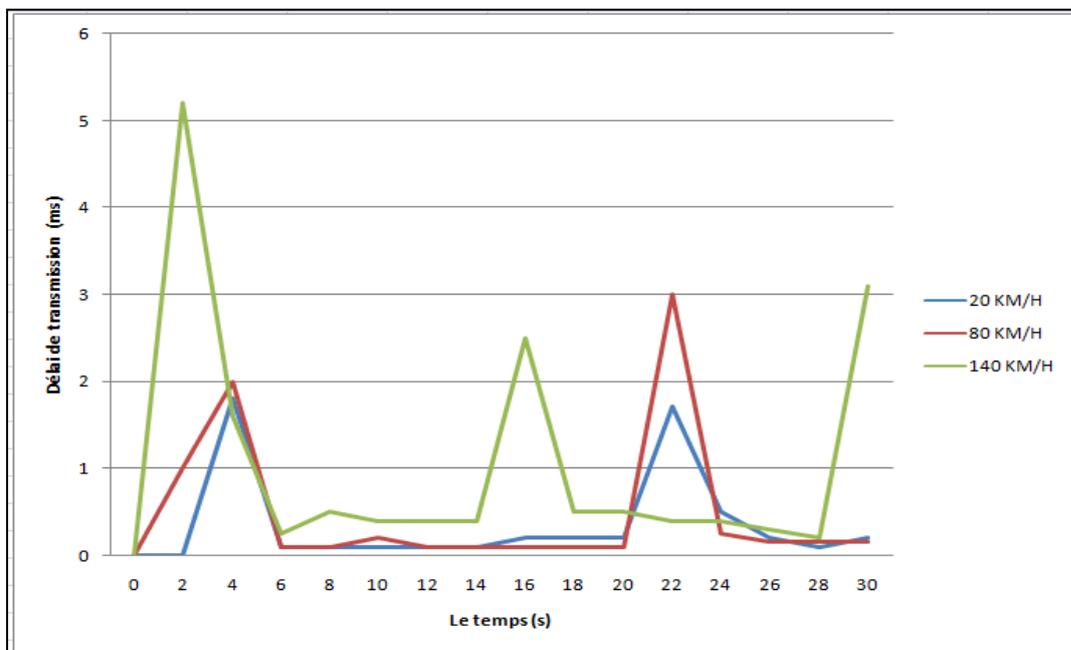


Figure III.10 : L'évolution du délai de transmission.

### III.6.4.3 Débit :

La figure montre l'évolution de débit en fonction du temps de la simulation de protocole DSDV :

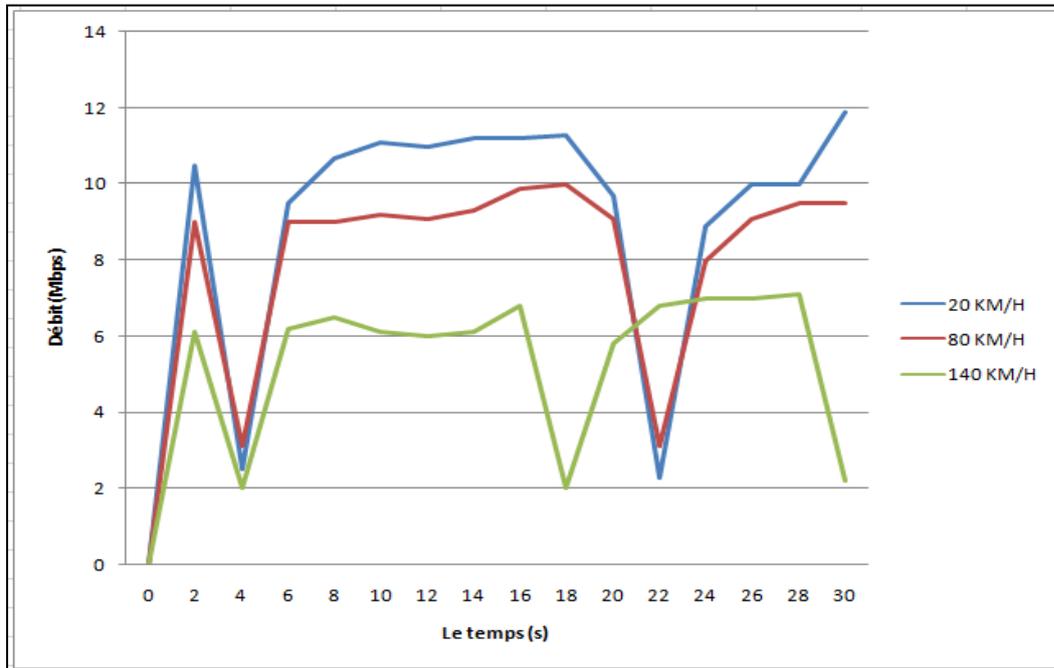


Figure III.11 :L'évolution du débit.

### III.6.5 les performances de protocole proactif OLSR:

#### III.6.5.1 Taux des paquets perdus :

La figure montre l'évolution de taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation de protocole OLSR :

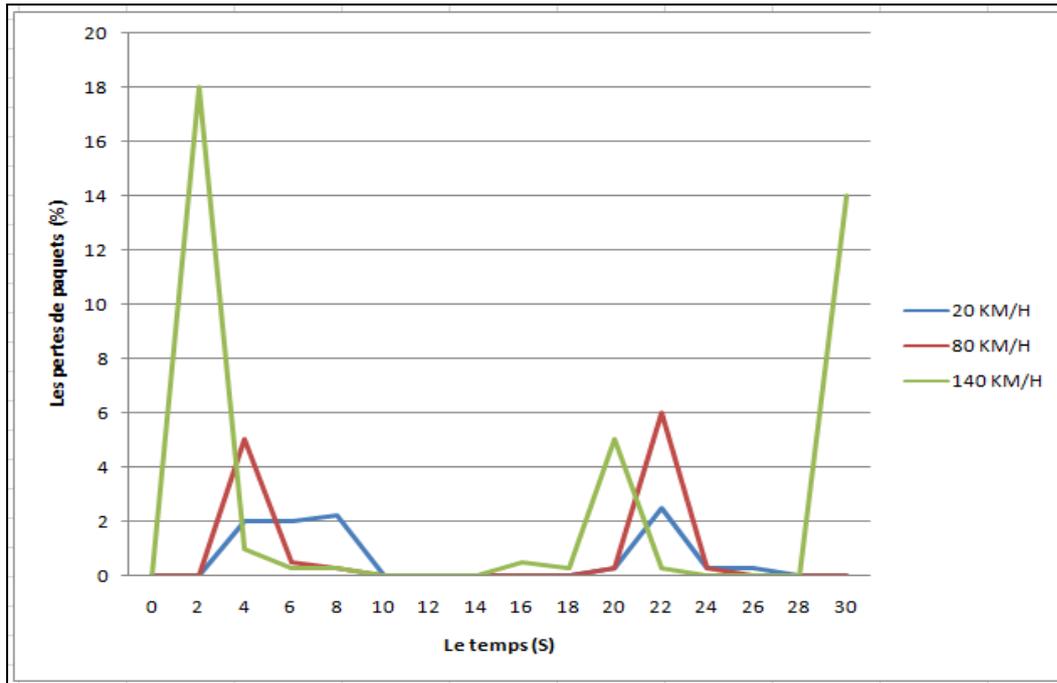


Figure III.12 :L'évolution du taux des pertes de paquets.

### III.6.5.2 Délai de transmission :

La figure montre l'évolution de délai de transmission en fonction du temps de la simulation de protocole OLSR:

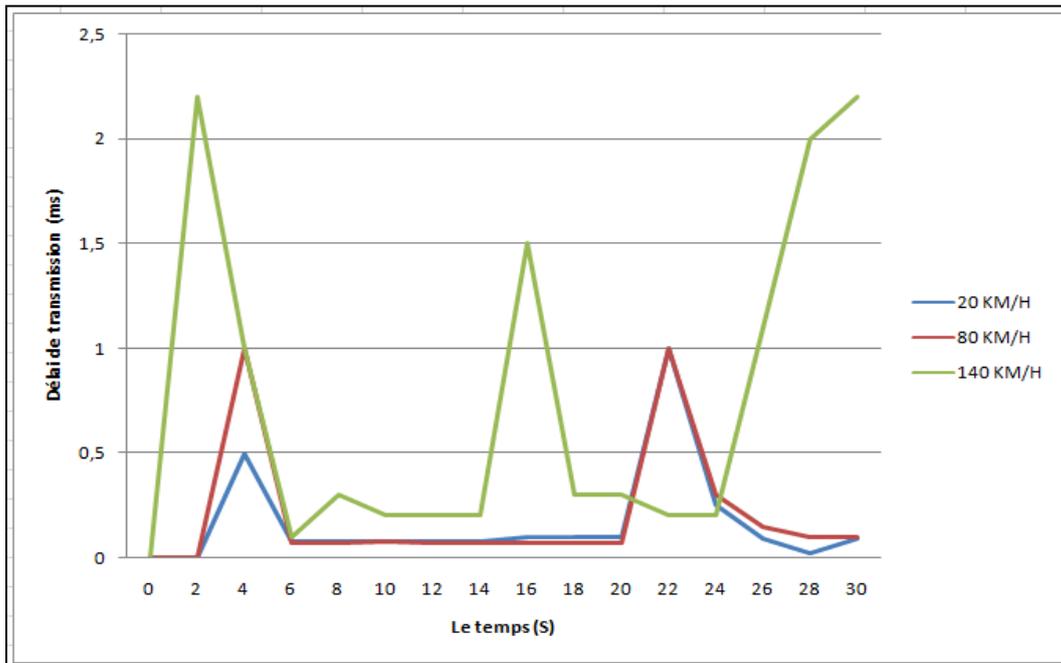


Figure III.13 : L'évolution du délai de transmission.

### III.6.5.3 Débit :

La figure montre l'évolution de débit en fonction du temps de la simulation de protocole OLSR:

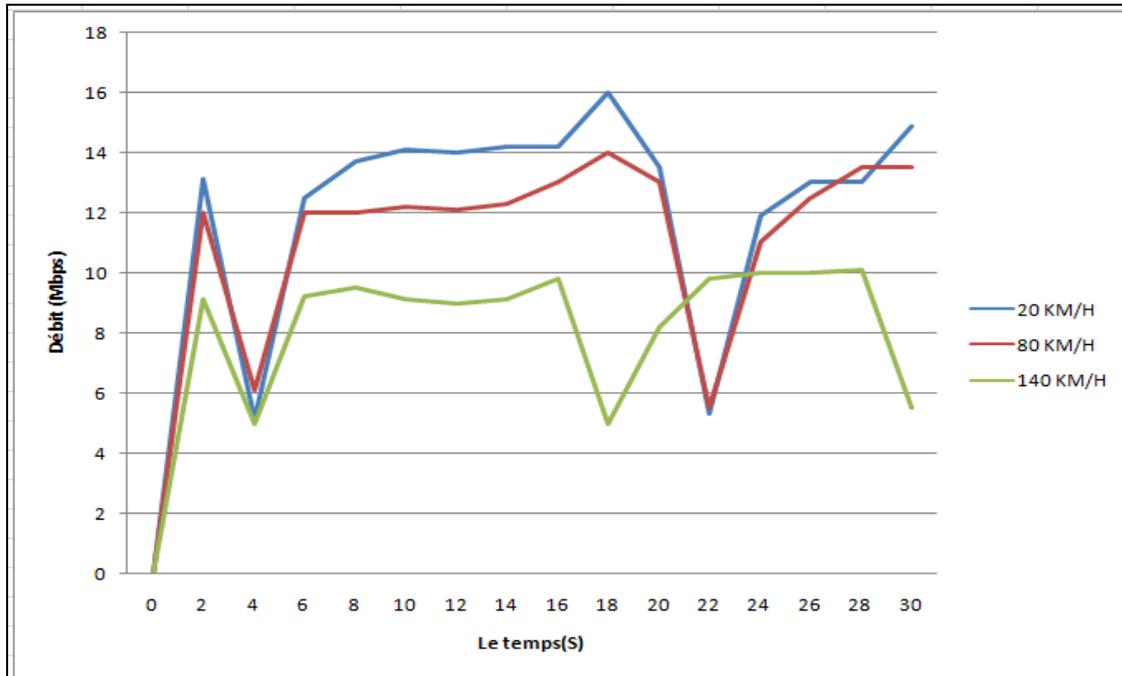


Figure III.14 : L'évolution du débit.

- **Conclusion :**

- Avec l'augmentation de la vitesse, le taux des paquets perdus au moment de handover est plus important.
- le délai au moment du Handover est plus important pour une vitesse faible.
- D'après cette figure nous déduisons qu'au moment de handover avec des vitesses faibles (20km/h) on a un débit plus élevé.
- Pour des vitesses élevées, les performances du Handover chutent considérablement.

### III.6.6 Comparaison entre le protocole OLSR et DSDV :

D'après les résultats de notre simulation nous avons déduit que le protocole OLSR est plus performant que le protocole DSDV.

- Nous remarquons dans les figures (III.9 ; III.12) qui présente le taux des paquets perdus que : Les pertes de paquets de données avec le protocole DSDV sont plus élevées que celles du protocole OLSR. Ces pertes augmentent avec l'augmentation de la vitesse de la mobilité, Par exemple : dans le cas d'une vitesse de 20km/h le protocole OLSR a un taux de perte maximale de

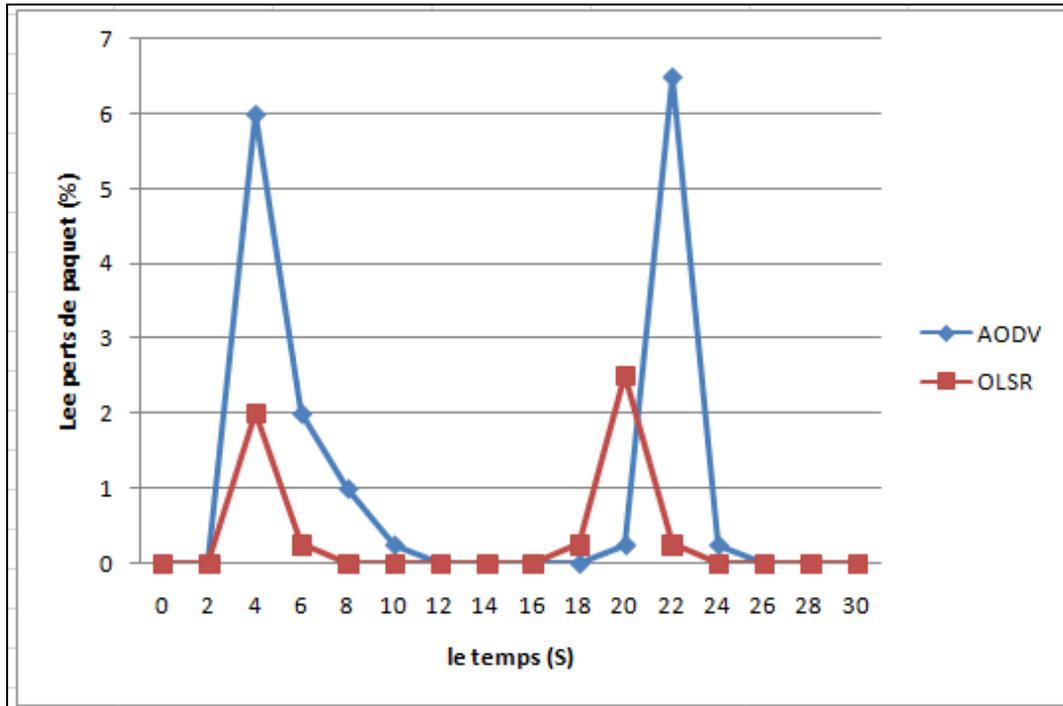
2.5%, celui-ci augmente jusqu'à 18% pour le cas d'une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSDV qui a un taux de perte maximale de 4% dans un réseau à faible mobilité et 33% dans un réseau à forte mobilité. Donc, on peut dire que le protocole DSDV a un taux de perte nettement supérieure à celui du protocole OLSR.

- D'après les deux figures ci-dessus (III.10 ; III.13), nous remarquons qu'en général, le protocole de routage OLSR offre un délai moyen de transfert des paquets nettement meilleur que le protocole de routage DSDV surtout dans les réseaux à faible mobilité des nœuds. Par exemple : dans le cas d'une vitesse de 20km/h le protocole OLSR offre un délai moyen maximale de 1ms, celui-ci augmente jusqu'à 2.2ms pour le cas d'une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSDV qui offre un délai moyen maximale de 1.8 ms dans un réseau à faible mobilité et 5.2ms dans un réseau à forte mobilité.
- En suite, d'après les deux figures (III.11 ; III.15) de l'évolution de débit nous remarquons que le protocole de routage OLSR offre un Débit meilleur que le protocole de routage DSDV surtout dans les réseaux à faible mobilité par exemple : pour une vitesse de 20km/h le protocole OLSR offre un débit maximal de 16 Mbps qui diminue jusqu'à 10Mbps pour une vitesse de 140km/h, la même chose pour DSDV 12 Mbps pour 20 km/h et 7 Mbps pour une vitesse de 140 Km/h.

### III.7 Comparaison entre l'AODV et OLSR.

#### III.7.1 Taux des paquets perdus :

La figure montre l'évolution de taux des paquets perdus en fonction du temps de la simulation de protocole AODV et OLSR.

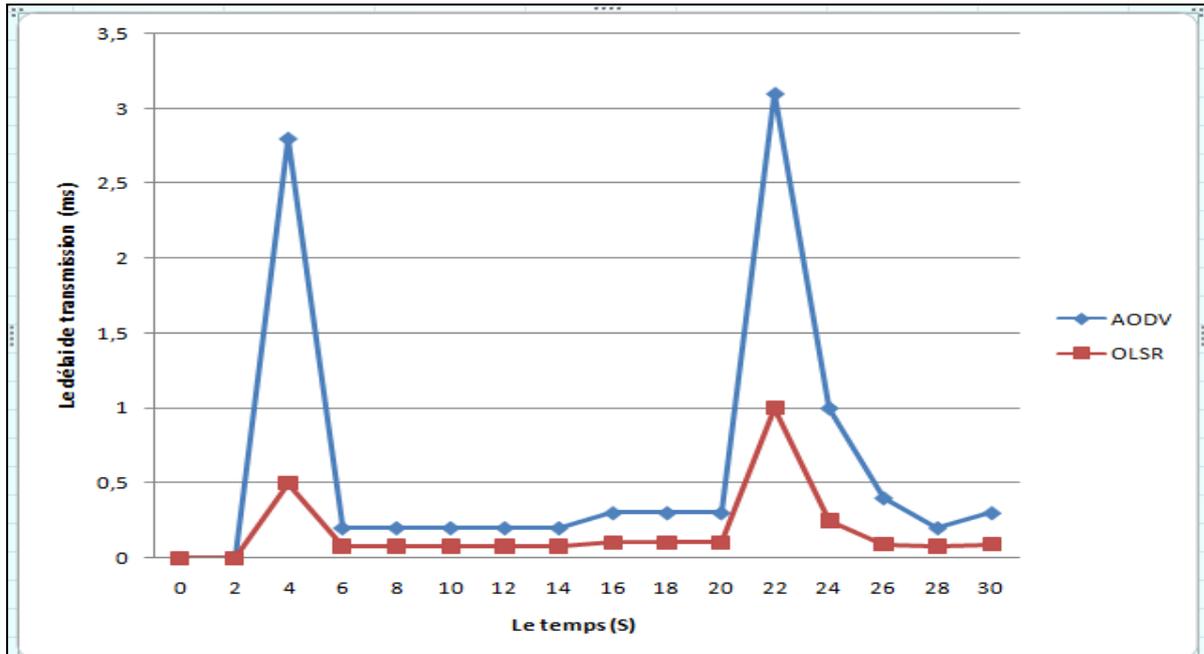


La figure III.15 : L'évolution de taux des paquets perdus.

- A partir de la figure, au moment de handover nous remarquons que les pertes de paquets avec le protocole AODV sont plus élevées que celles du protocole OLSR.  
AODV perd plus en plus de paquets avec le temps de simulation à cause des chemins qui ne restent plus valides en raison de la mobilité des nœuds.

### III.7.2 Délai de transmission :

La figure montre l'évolution de délai de transmission en fonction du temps de la simulation de protocole AODV et OLSR.

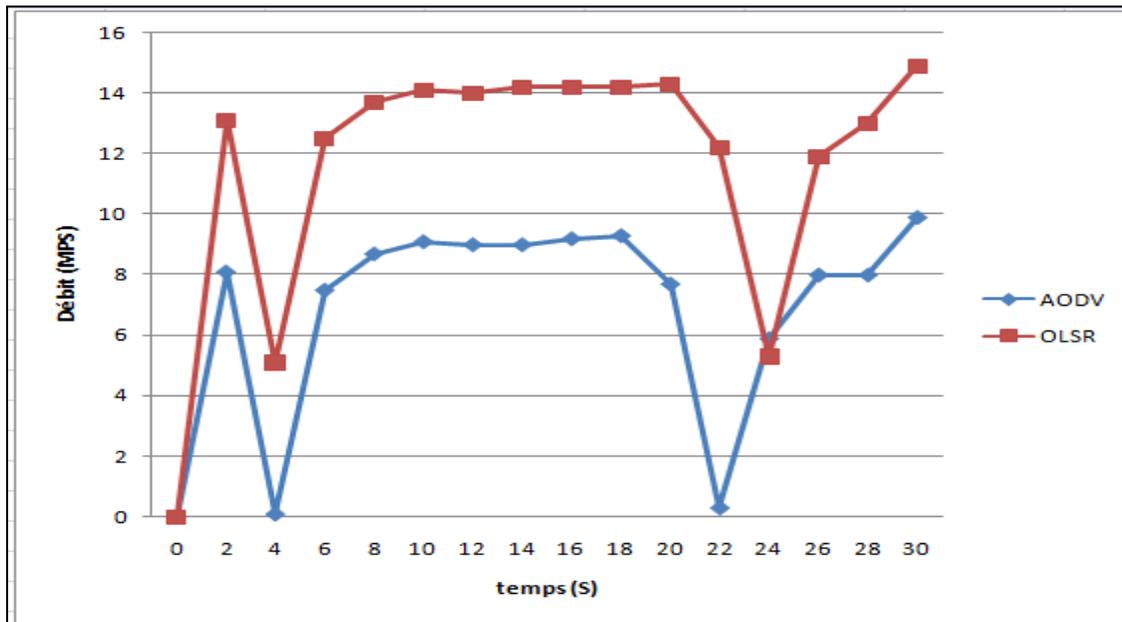


**La figure III.16: l'évolution de délai de transmission**

D'après cette figure nous déduisons que le délai de transmission avec le protocole OLSR est nettement meilleur que celle du protocole de routage AODV.

### III.7.3 Débit :

La figure montre l'évolution de débit en fonction du temps de la simulation de protocole AODV et OLSR.



La figure III.17: L'évolution de débit.

Au moment de handover, nous avons dénoté que le débit de protocole OLSR est plus important que le débit de protocole AODV.

### III.8 Analyse des résultats :

Dans les réseaux maillés sans fil :

- Le protocole OLSR est plus performant en point de vue délai de transmission, le taux des paquets perdus et le débit qu'AODV.
- Le protocole OLSR est plus efficace car l'utilisation des MPRs minimise considérablement les traitements et la diffusion des paquets de contrôle. La sélection des mesh routeurs comme MPR donne une stabilité et une robustesse pour le WMN.

### III.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons comparé quatre protocoles de routage deux réactif AODV et DSR et deux proactif OLSR et DSDV en utilisant le simulateur NS2, puis nous avons décrit des langages utilisés et l'architecture générale dans ce simulateur etc, ou le but a été d'étudier les performances de handover avec différentes vitesses. Nous avons utilisé trois métriques qui sont le taux de perte de paquets, le délai moyen, et le débit.

Les résultats de simulation ont été récupérés, traités et représentés sur des graphes et interprétés pour distinguer la différence et comprendre le comportement de chaque protocole.

## Conclusion générale

---

Les réseaux maillés sans fil apparaissent comme une nouvelle technologie évolutive et prometteuse. En effet, ils bénéficient de caractéristiques avantageuses comme La facilité de déploiement et l'absence de gestion centralisée des communications. Les réseaux maillés sans fil essaient de répondre à l'augmentation croissante du nombre d'utilisateurs et de leurs applications qui demandent de plus en plus de ressources.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les performances du réseau wifi mesh, pour cela nous avons procédé en premier temps à détaillé les réseaux maillés sans fil en mettant l'accent sur leurs caractéristiques leurs architecture ainsi que leur mode de fonctionnement et leurs applications.

Après cela nous avons étudié le problème de routage avec la qualité de service dans les réseaux maillés sans fil. L'idée fondamentale a été de concevoir et d'analyser des protocoles de routage au moment de handover avec QoS qui peut survenir aux exigences des applications temps réels, multimédias. Notre choix s'est porté sur deux protocoles proactifs OLSR et DSDV et deux protocoles réactifs AODV et DSR que nous avons décidé d'étendre avec une QoS en termes de taux des paquets perdus, de délai, et de débit.

Les résultats obtenus montrent qu'OLSR offre une amélioration considérable des performances du réseau en termes de délai, de taux des paquets perdus, et de débit de transmission.

Finalement, on conclure à partir des résultats obtenus que les protocoles proactifs sont mieux que les protocoles réactifs.

### \*\*\*LES RÉFÉRENCE \*\*\*

- [1]: Chiraz houaidia « Vers des mécanismes de routage robustes et optimisés dans un réseau sans fil métropolitaine et collaboratif »2016 ,Thèse de doctorat Université Toulouse.
- [2]: Tandjaoui Amel faiza . «**Optimisation des réseaux sans fil maillés**», laboratoire LITIO, 20017.
- [3] : Mr SEBAHI Yazid & Mlle YESSAD Nawel « Routage avec Qualité de Service dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc », 2013.
- [4]: Bouatia Wassila, Maziane TaniFadia Selma « Etude et évaluation des performances du reseau wifi Mesh (802.11S)», 2013, Mémoire de Université abou bakr belkaid-tlemcen.
- [5] : YayeSarr « Métriques de routage dans les réseaux maillés sans fil » 2011, Mémoire de Université de Montréal Faculté des arts et des sciences
- [6] <https://www.google.com/url?client=internal-element-cse&cx=partner-pub>,2015.
- [7] :[https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau\\_ad\\_hoc](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_ad_hoc), 2011.
- [8] : Benali Amal, Dabo Mohamed « Routage réactif (unicast) dans les réseaux mobiles Ad Hoc », 2012, Mémoire de Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- [9] : BouelkamhChouaib « Prise en Compte de la QoS par les Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc», 2007-2008, Mémoire de Université El Hadj Lakhdar de Batna.

[10]: Guesmia Mohamed «Protocoles de routage multicaste multicritères dans les réseaux sans fil maillés »2014, Thèse de doctorat Université Ahmed Ben Bella-Oran.

[11] : Abdelali Boushaba, Mohammed Oumsis, Rachid Benabbou «Evaluation des performances des protocoles de routage Ad hoc » Mars 2010, Thèse de doctorant Sophia Antipolis, France. Inria-00468484.

[12]:Meraihi Yassine. «Qualité de service dans les réseaux sans fil maillés/Vanet» , 2017, Mémoire de Université M'hamedbougara -boumerdes .

[13] Ahmad Rahil «Gestion du Handover dans les réseaux hétérogènes mobiles et sans fil » 2015, Mémoire de Université de Bourgogne - Français.

[14] :[https://www.researchgate.net/publication/319919425\\_Handover\\_in\\_Mobile\\_Wireles\\_Communication\\_Network\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/319919425_Handover_in_Mobile_Wireles_Communication_Network_-_A_Review) page 934/935, 2017.

[15] AIT HELLAL Siham, BOUAICHE Lila. «Etude de Handover dans les réseaux mobiles» 2016, Thèse de doctorant de Université Abderrahmane Mira - Béjaia .

[16]:Mohammed mehseur. « Routage dans les réseaux maillés sans fils » 2011, Mémoire de Université M'hamed Bouguara - Boumerdés.

[17]: OUNI Anis « Optimisation de la capacité et de la consommation énergétique dans les réseaux maillés sans fil »2013, Thèse de doctorat. Lyon, INSA.

[18]:<http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless-fr/17-Mesh-Networking/17-fr-mmtk-wireless-mesh-slides.pdf>,2011.

[19]:Zouatine Djamel Eddine.«Routage Multicast à Travers un Backbone Maillé Sans Fil » 2017, Mémoire de Université Larbi Ben M'hidi- Oum El Bouaghi.

[20] Belanna guetawfik. «Modélisation Mathématique du Contrôle de puissance, de l'affectation des Canaux et de la Capacité dans les réseaux maillés sans fil (MESH) » 2012, Mémoire de Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

[21] Kaouadji Hadjer «Etude de la mobilité entre wifi et UMTS »2009, Mémoire de Université abou bakr belkaid-tlemcen.

[22] <https://www.techno-science.net/definition/11646.html>,2013.

[23] Ahmad Jabban.«Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes »2013, Mémoire de INSA de Rennes - Français.

[24] Bessiah Aldja , Bouchakel Siham . « Routage et Simulation dans les réseaux mobiles ad Hoc » 2017, Mémoire de Université A/Mira-Béjaia.

[25] Serir Oussama, Mezarai SIHAM, « Etude et Evaluation des performances de Handover dans le réseau WiFi-Mesh » 2012-2013, Mémoire de Université abou bakr belkaid-tlemcen.