

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
Filière : Génie électrique  
Spécialité : Génie de Télécommunication  
Thème

*Etude de la gestion de QoS dans les réseaux wifi maillés  
(802.11s)*

**Présenté Par :**

- 1) BENGOU DIFA Sarah
- 2) BENLEBNA Fatima

**Devant les jurys composés de :**

BENAISSA Mohammed	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
BEMMOUSSAT Chemss Eddine	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
BENZERBADJ Mohammed	MCA	C.U.B.B(Ain Temouchent)	Examineur

*Année universitaire 2015/2016*

## **Remerciements**

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer nos remerciements par Allah qui par sa grâce et son infinie bonté nous a permis de réaliser ce présent travail.

Ainsi il nous est particulièrement agréable d'exprimer nos chaleureux remerciements à toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont aidés et encouragés à l'aboutissement de ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de nos sincères reconnaissances.

Nous tenant à remercier tout particulièrement et à témoigner toute notre reconnaissance à notre encadrant Dr. Chemss Eddine BEMMOUSSAT pour sa compréhension, son engagement, ses conseils qui ont été une aide estimable, sa disponibilité et son soutien dans notre recherche d'informations lors de l'élaboration du rapport.

Nos remerciements sont aussi destinés aux membres de jury, Dr. Mohamed BENAÏSSA, de nous avoir honoré en acceptant de présider ce jury, et Dr. BENZERBADJ, d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous remercions vivement tous les enseignants de département d'électronique du centre universitaire Belhadj

Bouchaib de Ain Témouchent pour tous les efforts qu'ils ont fournis tout au long de notre formation.

## **Dédicaces**

Je dédie cet humble travail avec grand amour, sincérité et fierté :

À ma mère, ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour.

À mon père, en signe d'amour, de reconnaissances et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.

À mes grands-parents, sources de tendresse, de noblesse et d'affection.

À mes deux sœurs Abla et Lamia, en témoignage de la fraternité, avec tous mes vœux de les voir réussir dans leurs vies.

À mes chères tantes Lila et Zoubida et mes petits cousins : Wail, Habibou, Amira, Abdallah, Aridj

À mes ami(e)s les plus proches : Amine, Sakina, Imene, Islem ; à qui je souhaite le succès, en les remerciant pour l'amitié qui nous a toujours unis.

## **Bengoudifa Sarah**

### **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail qui résulte une partie de mes études et formation :

À mes parents, qui font le maximum pour leurs soutien et encouragement durant toute ma vie ; avec toute ma reconnaissance et ma gratitude pour leurs sacrifices.

À ma tante et ma tata pour leurs sacrifices, soutien et leurs merveilleuses consignes pour arriver au point.

À mes frères et sœurs : Yacine, Sidahmed, Khalida, Leila, Djamila avec mes souhait de bonheur de santé et de succès.

À mes chères cousines :Hadjira et nadia et a tous mes petits adorables neveux.

À mes belles sœurs : Insaf et Randa pour leurs encouragements continus.

À mes amis a qui je souhaite tout le succès : Amine, Taki, Abd Elghani.Fatima zohra

**Benlebna Fatima**

## **Table des matières**

Remerciements .....

Dédicace.....

Table des matières.....

Liste des tableaux.....	1
-------------------------	---

Liste des figures.....	
------------------------	--

## Introduction Générale

i. Contexte de recherche.....	1
ii. Motivations et objectifs.....	2
iii. organisation du mémoire .....	3

## **Chapitre I : Introduction au standard 802.11s (Wifi Maillé)**

1.1. Introduction.....	4
1.2. Le standard IEEE 802.11s .....	5
1.2.1. Les réseaux 802.11 .....	5
1.2.2. Le standard IEEE 802.11s .....	6
1.3. Architecture des réseaux maillés .....	7
1.3.1. WMN avec réseau fédérateur (Backbone) .....	7
1.3.2. WMN basé client .....	8
1.3.3. WMN hybride .....	9
1.4. Les caractéristiques .....	10
1.5. Fonctionnement du Wifi maillé IEEE 802.11s.....	11
1.5.1. Couche physique.....	11
1.5.2. Couche liaison.....	11
1.5.3. Couche réseau.....	16
1.6. Les applications des réseaux maillés .....	16
1.7. Les avantages des réseaux maillés sans fil .....	19
1.8. Les limites.....	20
1.9. Conclusion .....	20

## **Chapitre II : Etat de l'art des solutions apportées par les réseaux maillés**

2.1. Introduction.....	22
2.2. Qualité de service dans les réseaux maillés sans fil .....	22
2.3. Solutions orientées couche physique.....	24
2.3.1. Utilisation de passerelles multiples .....	24
2.3.2. Utilisation des antennes intelligentes pour augmenter le débit .....	25
2.3.3. Codage de l'information et du canal et utilisation d'une architecture adéquate..	25
2.4. Solutions orientées couche Liaison de données .....	25
2.4.1. Améliorations du CSMA/CA pour un gain en QoS .....	26
2.4.2. Différenciation de service au niveau de la couche MAC .....	26
2.4.3. Utilisation conjointe de CSMA/CA et TDMA .....	27
2.4.4. Estimation de la bande passante et de la qualité du canal .....	27
2.5. Solution orientée couche réseau .....	28
2.5.1. Protocoles de routage proactifs .....	28
2.5.1.1. Protocole OLSR (Optimized Link State Routing).....	29
2.5.1.2. Protocole DSDV (Destination Sequenced Distance Vector).....	30
2.5.2. Les protocoles de routage réactifs .....	31
2.5.2.1. Protocole DSR (Dynamic Source Routing).....	31
2.5.2.2. Protocole AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector).....	32
2.5.3. Protocoles de routage Hybride et en clustering .....	32
2.5.3.1. HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol).....	33
2.5.3.2. ZRP (Zone Routing Protocol).....	36
2.6. Comparaison entre les protocoles de routage .....	36
2.7.. Conclusion .....	37

## **Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats**

3.1. Introduction.....	39
3.2. Simulation.....	39
3.3. Choix du simulateur.....	40

3.4. Comparaison entre NS2 et NS3.....	41
3.5. Présentation du Simulateur NS3 .....	41
3.6. Paramètres de simulation .....	42
3.7. Architecture.....	43
3.8. Résultats et analyse .....	44
3.8.1. Le Débit .....	44
3.8.2. Perte de paquets.....	45
3.8.3.Délai moyen.....	46
3.9.Conclusion.....	46
Conclusion général .....	47
Annexe .....	48
Liste des Sigles et Abréviation.....	52
Références.....	54

## Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : comparaison entre les protocoles de routage .....	36
Tableau 3.1 : Comparaison entre NS2 et NS3.....	41
Tableau 3.2 : paramètres de simulation .....	42

# Liste des figures

Figure 1.1. <b>(a)</b> Infrastructure BSS et <b>(b)</b> Independent BSS .....	5
Figure 1.2. Extended Service Set (ESS) dans les réseaux 802.11.....	6
Figure 1.3. Communications dans un réseau WLAN maillé.....	7
Figure 1.4. Architecture en infrastructure des réseaux WMNs.....	8
Figure 1.5. Architecture Client des réseaux WMNs.....	9
Figure 1.6. Architecture hybride des réseaux WMNs.....	9
Figure 1.7. Accès au média sans fil en mode DCF (IEEE 802.11).....	14
Figure 1.8. Station cachée et détection virtuelle de la porteuse par RTS/CTS.....	15
Figure 1.9. Méthode d'accès DCF .....	16
Figure 1.10. Mise en place d'un réseau maillé après incendie .....	17
Figure 1.11 Les réseaux maillés pour les entreprises.....	18
Figure 2.1 Présentation du protocole OLSR.....	30
Figure 2.2 Routage dans le protocole RM-AODV.....	34
Figure 2.3 Routage dans le protocole proactif PREQ.....	35
Figure 2.4 Routage dans le protocole proactif RANN.....	35
Figure 3.1 Cycle modélisation-simulation .....	40
Figure 3.2 : architecture de notre simulation.....	43
Figure 3.3 Débit en fonction du nombre des nœuds .....	44
Figure 3.4 Taux de perte de paquets en fonction du nombre des nœuds .....	45
Figure 3.5 Délai moyen en fonction du nombre des nœuds .....	46



### **i. CONTEXTE DE RECHERCHE**

Ces dernières années, plusieurs technologies de communication sans fil ont de plus en plus imprégné tous les aspects de notre vie quotidienne. Ces technologies ont un rôle de plus en plus fatidique dans notre vie au point où il est impossible, actuellement, d'imaginer un monde sans les services offerts par les technologies de communication sans fil. Grâce à leurs utilités et leurs souplesses, les réseaux sans fil sont devenus également de plus en plus accessibles au point de devenir incontournables partout : au domicile, à l'extérieur, dans les moyens de transport, etc. Dans le marché des réseaux sans fil, il existe plusieurs normes sans fil :

HyperLan, HomeRF, IEEE 802.11, Bluetooth ...etc., la plus utilisée pour le moment, est sans doute, l'IEEE 802.11, grâce à leur simplicité, rapidité et faible coût de déploiement par rapport aux autres normes sans fil. Dès lors, ils constituent une alternative sérieuse aux réseaux locaux filaires.

Toutefois, l'utilisation des réseaux locaux sans fil est très efficace pour les services de données et elle doit être optimisée pour les services de la voix ou de la vidéo, en plus de la couverture qui, elle, reste faible (quelques centaines de mètres). Un utilisateur d'aujourd'hui exigeant et mobile peut très vite perdre la connexion, ce qui lui est très désagréable. Et justement pour étendre la couverture du WLAN classique, une nouvelle solution a été apportée, le réseau sans fil maillé. [1]

Avec les avancées réalisées, le paradigme des réseaux maillés sans fil a vu le jour et la recherche dans ce domaine suscite un grand intérêt auprès de la communauté des chercheurs en télécommunications. Ceci est dû aux nombreux avantages que la technologie WMN offre, telles que l'installation facile et peu coûteuse, la connectivité fiable et l'interopérabilité flexible avec d'autres réseaux existants (réseaux Wi-Fi, réseaux cellulaires, réseaux de capteurs)... etc.

Les réseaux maillés sans fil (WMN : Wireless Mesh Networks) sont considérés comme une classe émergente de réseaux sans fil. Leur principe s'inspire d'un réseau sans fil multi sauts.

En effet, les communications entre deux nœuds peuvent être gérées par plusieurs nœuds intermédiaires, appelés Mesh Router (MR) dont le rôle est de transmettre l'information d'un

point à un autre. Ces MR s'organisent d'une manière autonome de façon à former un réseau maillé sans fil (Backbone Wireless Mesh) et jouent également le rôle d'une passerelle pour différentes technologies sans fil (réseaux Wi-Fi, réseaux WIMAX, réseaux cellulaires, réseaux de capteurs, réseaux IEEE 802.15, etc.).

Les réseaux sans fil maillés peuvent être le support de communication d'une grande diversité d'applications ayant des exigences différentes de qualité de service en termes de délai, débit, fiabilité, confidentialité, etc. Ces applications peuvent être déployées dans de nombreux domaines tels que la domotique, les systèmes embarqués, les systèmes de santé, etc. Ils s'organisent et se configurent de façon dynamique, avec les nœuds qui établissent et maintiennent eux-mêmes des connections maillées entre eux. Par conséquent, de nombreuses applications peuvent être développées grâce à la technologie WMN. Plusieurs compagnies ont déjà commercialisé les produits des réseaux maillés dans le marché Télécom. [2]

## **ii. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS**

Bien que la recherche dans le domaine des réseaux maillés sans fil soit récente, elle est vaste et diversifiée. En effet, des travaux de recherche conséquents sont actuellement en train d'être effectués dans le but de normaliser un ou plusieurs protocoles, en particulier le routage pour les réseaux maillés sans fil.

En outre, de nombreux autres travaux portant sur des protocoles promulguant la qualité de service, la découverte de services, l'auto configuration, l'auto organisation, la sécurité, etc... sont en cours de réalisation. Ces recherches s'appuient sur des travaux utilisant en particulier la norme 802.11 de l'IEEE ou son extension directe 802.11e. De plus, l'IETF en 2007-2009, a adopté le standard IEEE 802.11s, qui est le standard du réseau wifi maillé et qui utilise une méthode d'accès déterministe optionnelle, spécifique aux WMNs.

Bien que le standard 802.11e ait introduit des mécanismes qui assurent la qualité de service, en faisant la différenciation du trafic selon la priorité des applications, la solution apportée n'est pas satisfaisante à 100%, encore moins directement adaptée au réseau maillé. Ainsi, l'objectif des travaux de ce mémoire est de contribuer à la définition d'une solution pour le support de la QoS dans le réseau fédérateur Wifi maillé, ainsi qu'à l'analyse des performances de cette solution. Le travail se situe plus précisément au niveau de la couche réseau. Nous avons évalué

un protocole de routage de l'état de l'art, puis nous l'avons simulé sous NS3 pour démontrer ses performances. D'autre part nous avons étudié les performances de plusieurs protocoles de routage spécifiques aux réseaux MANET et Ad hoc, afin d'en choisir le plus approprié aux réseaux maillés, pouvant promulguer la QoS.

### **iii. ORGANISATION DU MEMOIRE :**

Au premier chapitre, nous présentons les réseaux sans fil maillés, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques ainsi que les différentes architectures utilisées. Nous citons aussi quelques applications des réseaux maillés ainsi que les avantages et les limites de ce type de réseau.

Dans le deuxième chapitre, nous commencerons par définir la notion de QoS (Quality of Service), ensuite nous résumons les solutions apportant cette dernière, existant déjà dans la littérature pour les trois couches basses de l'OSI (Open System Inter-connecting), en l'occurrence, la sous couche MAC (Medium Access Control) avec ses mécanismes de qualité de services, la couche physique avec l'aspect déploiement et robustesse des communications, et la couche réseau avec ses protocoles de routage.

Dans le dernier chapitre, nous utilisons le Simulateur du réseau NS3 pour pouvoir modéliser la globalité du système étudié, nous introduisons d'abord les détails de notre scénario. Ensuite nous allons également présenter notre contribution, consistant à faire une étude comparative entre deux protocoles de routage afin d'améliorer les performances du système et répondre aux besoins des utilisateurs, suivi d'une discussion sur les résultats de simulation.

Finalement ce mémoire est clôturé par une conclusion générale résumant les idées fondamentales que nous a apportées ce travail.

## 1.1. Introduction :

L'essor des technologies sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs dynamiques qui ont des caractéristiques particulières et accèdent au réseau à travers une interface de communication sans fil, d'où la naissance d'un nouvel environnement de communication appelé Environnement mobile sans fil ; Dans notre étude, nous nous intéressons au standard 802.11s, le réseau maillé sans fil (WMN: Wireless Mesh Networks), est considéré comme l'une des clés de la technologie réseaux sans fil pour la prochaine génération.

Depuis quelques années, la recherche dans le domaine des réseaux maillés sans fil ("Wireless Mesh Network suscite un grand intérêt auprès de la communauté des chercheurs en télécommunications. Ceci est dû aux nombreux avantages que la technologie WMN offre, telles que l'installation facile et peu coûteuse, la connectivité fiable et l'interopérabilité flexible avec d'autres réseaux existants (réseaux Wi-Fi, réseaux WiMax, réseaux cellulaires, réseaux de capteurs, etc.).

Dans le réseau maillé, les nœuds sont constitués de routeurs et de clients, formant un maillage entre eux (Mesh). Chaque nœud fonctionne non seulement comme un hôte, mais également comme un routeur. Le réseau maillé est dynamique, auto-organisé et auto-configuré : les nœuds dans le réseau peuvent automatiquement établir et maintenir la connectivité entre eux, en raison du maillage existant entre eux (en créant, en effet, un réseau ad hoc).

Les WMNs sont amenés à être le support de communication d'une grande diversité d'applications ayant différentes exigences de qualité de service (QoS) en termes de délai, de débit, de fiabilité, de confidentialité, etc. Ces applications concernent de nombreux domaines, tels que la domotique ; les systèmes embarqués, les systèmes de santé, etc. Par conséquent, de nombreuses applications peuvent être développées grâce à la technologie WMN.

- Plusieurs technologies de communication ont été proposées pour les réseaux maillés On distingue : Le standard IEEE 802.11 en particulier la norme IEEE 802.11s, Le standard IEEE 802.15 connu sous le nom commerciale Bluetooth en particulier sa norme IEEE 802.15.5 et enfin le standard IEEE 802.16 connu sous le nom WiMax et sa norme IEEE 802.16.a. En raison

du coût relativement bas des équipements et leur disponibilité sur le marché, les réseaux sans fil IEEE 802.11 sont les plus populaires. [3]

## 1.2. Le standard IEEE 802 .11s :

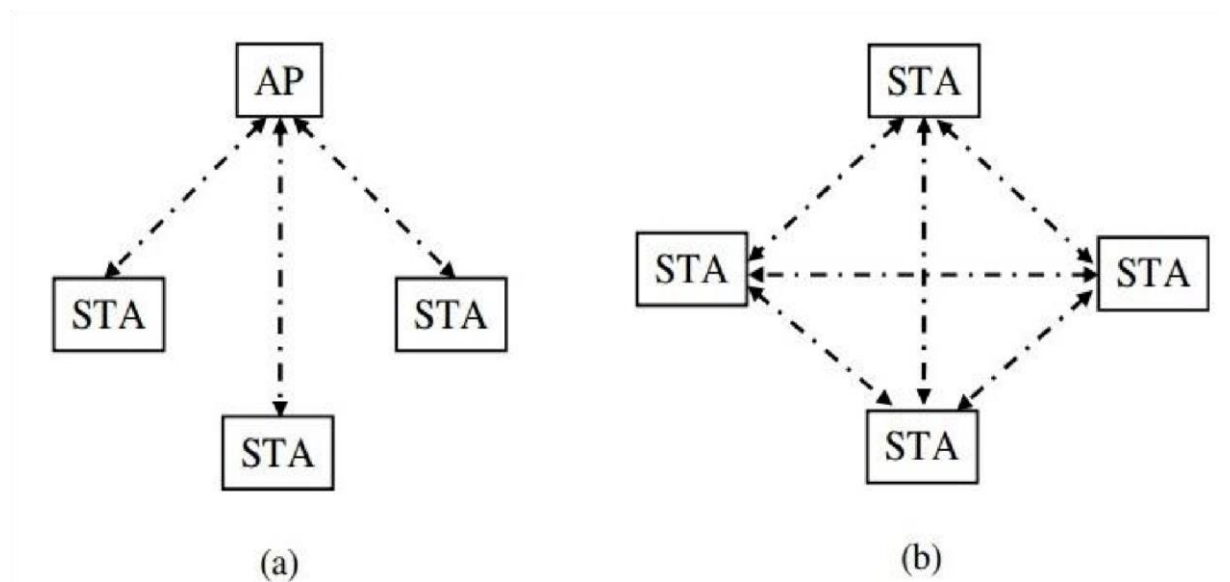
### 1.2.1 Les réseaux 802.11 :

Avant de parler du 802.11s, faisons quelques rappels et généralités concernant les différentes topologies qui existent dans le standard 802.11, afin de voir les différences technologiques avec la norme IEEE 802.11s.

Un réseau 802.11 peut être organisé en deux catégories topologiques :

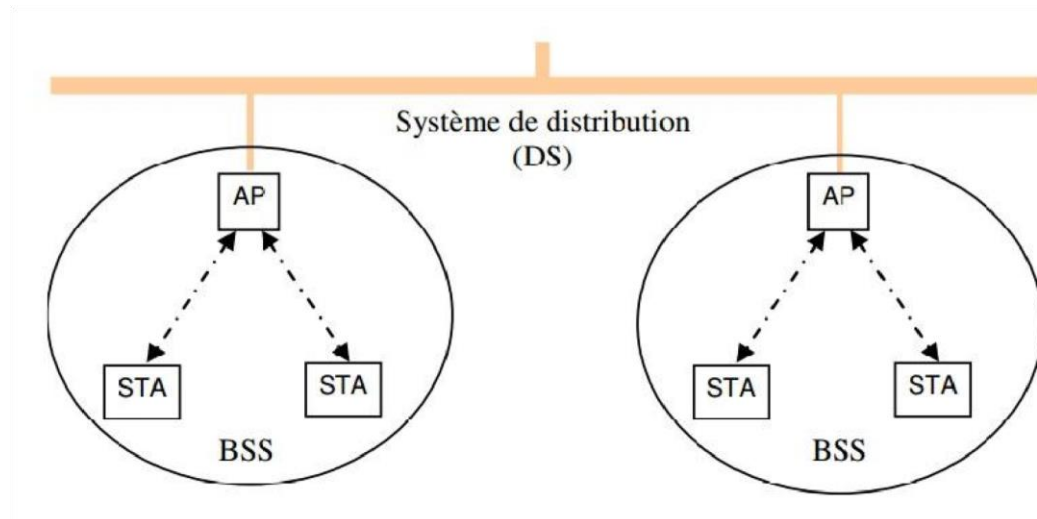
- **BSS (Basic Service Set)** : un BSS est un réseau temporaire (Short-Lived Network) formé d'un petit nombre de terminaux. On distingue deux types de BSS :

- Infrastructure BSS : Au moins un point d'accès (AP : Access Point) est présent dans le BSS. Les réseaux WLAN, en générale, sont des Infrastructure BSS figure 1.1(a)
- Independent BSS (IBSS) : toutes les stations (STA) sont possiblement mobiles. Un réseau ad-hoc ou tous les terminaux sont mobiles constitue un Independent BSS comme illustré Figure 1.1(b).



**Figure 1.1 (a) Infrastructure BSS et (b) Independent BSS**

**-ESS (Extended Service Set) :** un ESS est un ensemble de points d'accès reliés entre eux (ou plus exactement plusieurs BSS) par une liaison appelée système de distribution noté DS (Distribution System) afin de constituer un ensemble de services étendu. Le système de distribution DS peut être aussi bien un réseau filaire, qu'un réseau sans fil. Les stations peuvent passer de façon transparente d'un point d'accès à un autre.



*Figure 1.2. Extended Service Set (ESS) dans les réseaux 802.11*

### 1.2.2. Le standard IEEE 802.11s :

Un réseau sans fil maillé est un réseau permettant l'interconnexion de plusieurs dispositifs sans fil entre eux en constituant ainsi un maillage n'ayant aucun câblage. Il permet de couvrir, d'une façon flexible, une large zone géographique. Son hiérarchie centrale forme une structure ayant la forme d'un filet sans avoir recours à une configuration manuelle, Il offre un accès sans fil, avec un coût attractif et des débits élevés

Le standard 802.11s a été proposé en 2004 pour gérer les réseaux sans-fil 802.11 multi-saut, Plus spécifiquement, pour définir les amendements nécessaires au niveau des couches MAC et physique pour la création d'un système de distribution sans fil à base de la technologie IEEE 802.11

Dans les réseaux WLAN non maillés, les stations (STAs) doivent s'associer à un point d'accès (AP) afin d'accéder au réseau. Ces STAs dépendent de ce point d'accès avec lequel ils se sont associés pour communiquer (Figure 1.2). Dans un réseau maillé les APs peuvent communiquer entre eux directement sur un lien sans fil et sans l'intermédiaire d'un réseau externe. [4]

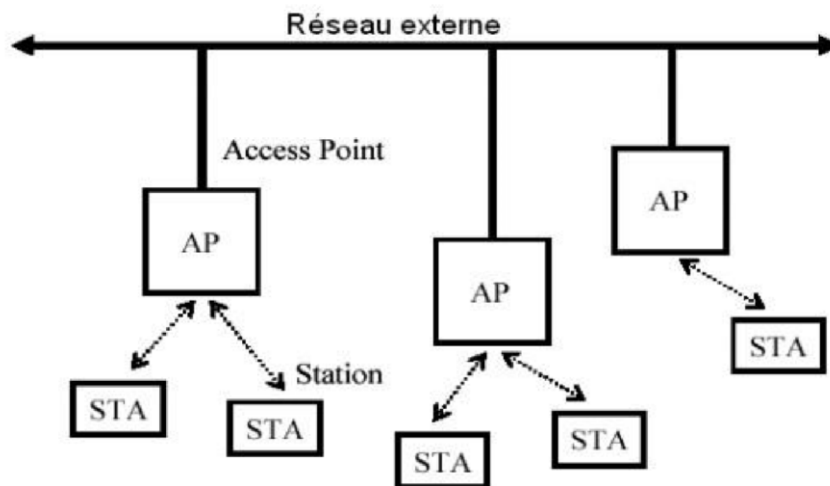


Figure 1.3. Communications dans un réseau WLAN maillé.

### 1.3. Architecture des réseaux maillés :

WMNs se composent de deux types de nœuds : mesh routeurs et meshclients, (gateway) un routeur de réseau sans fil maillé contient des fonctions de routage supplémentaires pour soutenir la création de réseaux maillés. Pour renforcer encore la flexibilité du réseau maillé, un routeur maillé est généralement équipé d'interfaces sans fil multiples construit sur les mêmes ou différentes technologies d'accès sans fil. Par rapport à un routeur sans fil classique, un routeur de réseau sans fil maillé peut obtenir la même couverture avec une puissance de transmission beaucoup plus faible dans les communications multi sauts. Facultativement, le protocole de contrôle d'accès au support dans une maille routeur est améliorée pour une meilleure évolutivité dans un environnement de maille multi sauts.

Les mesh clients peuvent être dotés de fonctions de routage ; pour relayer les paquets d'autres clients .Toutefois, ces nœuds ne peuvent être ni une passerelle ni un pont.

En outre, les mesh clients n'ont qu'une interface sans fil. En conséquence, la plate-forme matériel et logiciel pour les clients peut être beaucoup plus simple que celles pour les routeurs .Ainsi les clients ont une plus grande variété d'appareils comparativement aux routeurs. . Ils peuvent être soit un PC, Lap top PC, Pocket PC, IP phone, ... etc.

L'architecture d'un WMN peut être classée en trois grandes catégories basée sur les fonctionnalités des nœuds. [3]

### 1.3.1. WMN avec réseau fédérateur (Backbone) :

L'architecture de ce type d'installation est présentée dans la figure 1.4. Les lignes continues et discontinues représentent respectivement les liens filaires et sans fil. Dans cette architecture les mesh routeurs forment l'infrastructure du réseau fédérateur, Le WMN avec réseau fédérateur peut fonctionner avec plusieurs technologies radio en plus de la technologie Wifi qui est la plus utilisée. Avec la fonction passerelle, les mesh routeurs peuvent être connectés à l'Internet via, en générale, une connexion filaire Cette approche, fourni l'accès réseau aux clients conventionnels et permet l'intégration du WMN à d'autres réseaux sans fil, à travers les fonctions passerelle ou pont des mesh routeurs. Les Clients traditionnels avec une interface Ethernet peuvent être connectés à des routeurs maillés via des liaisons Ethernet, Si différentes technologies radio sont utilisées, les clients doivent communiqués avec la station de base qui dispose d'une connexion Ethernet.

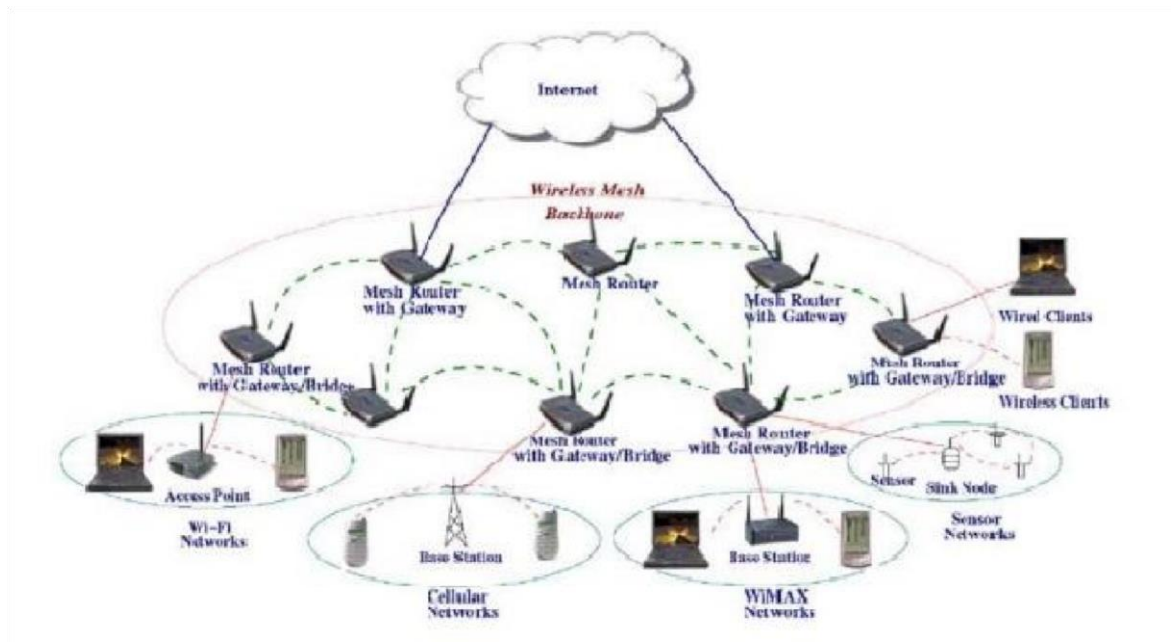


Figure 1.4. Architecture en infrastructure des réseaux WMNs

### 1.3.2 WMN basé client :

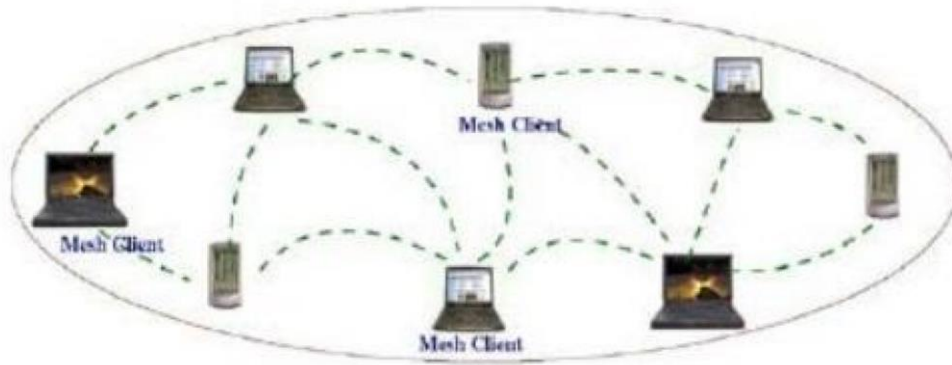
Le maillage client (client meshing) fourni des connexions point à point entre les nœuds clients du réseau, dans ce type d'architecture le réseau n'est constitué que des nœuds clients, qui donc doivent être en mesure d'exécuter les fonctionnalités de routage et de configuration, Pour ce type de réseau un mesh routeur n'est pas requis. La figure 1.5. Suivante représente l'architecture



de base, Dans cette architecture, un paquet destiné à un autre nœud dans le réseau fait des sauts multiples pour atteindre la destination.

Les WMNs maillés clients sont souvent mobiles et comportent des machines qui ont des contraintes d'énergie

Les clients maillés peuvent être stationnaires ou des nœuds mobiles.



*Figure 1.5. Architecture Client des réseaux WMNs*

### 1.3.3 WMN hybride :

Cette architecture est la combinaison entre la première et la deuxième architecture comme il est illustré sur la figure 1.6, Les clients maillés peuvent accéder au réseau par les routeurs maillés ou bien entrée directement en communication avec d'autres clients. L'infrastructure

(backbone) fournit la connectivité aux mesh clients ainsi que l'accès à d'autres réseaux tel que l'Internet, le Wifi, Le WIMAX, les réseaux cellulaires et les réseaux de capteurs. L'architecture hybride est le cas le plus utilisé dans les réseaux métropolitains sans fil.

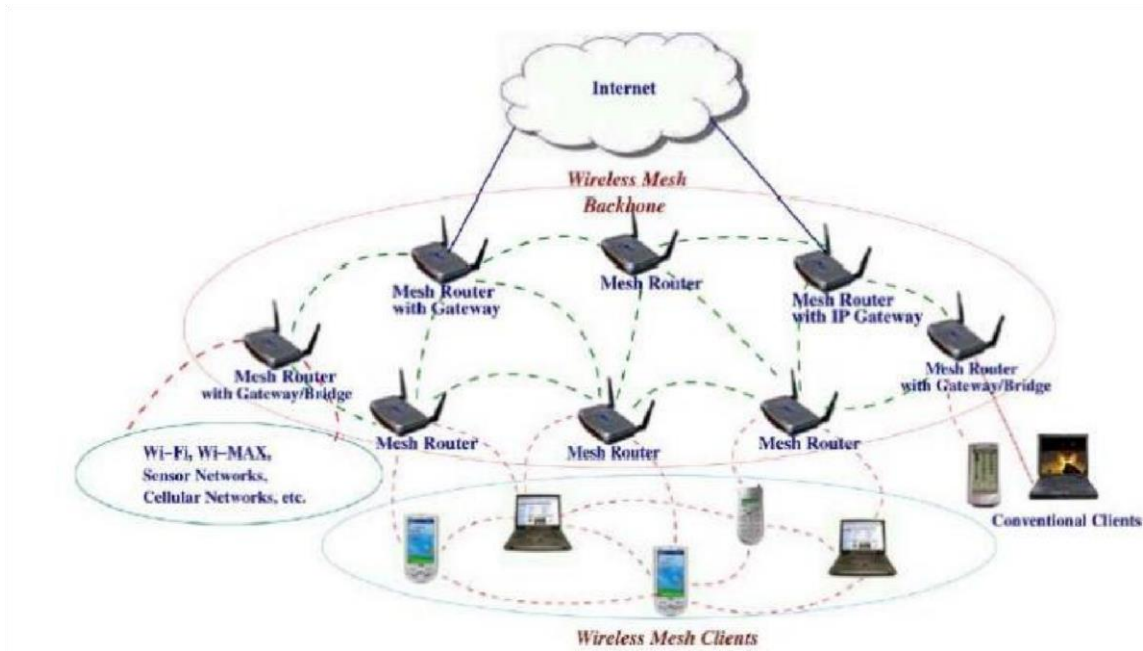


Figure 1.6. Architecture hybride des réseaux WMNs

#### 1.4. Les caractéristiques :

Les architectures sans fils Mesh constituent une approche différente des réseaux sans fils déjà existants. Elles portent de nombreuses caractéristiques :

- réseau sans fil Multihop : une des incitations à développer WMNs est pour étendre la couverture d'une gamme de réseaux sans fil actuels sans sacrifier la capacité en canaux. Un autre objectif majeur de WMNs est de fournir nonline-of-sight (NLOS) connectivité entre les utilisateurs sans visibilité directe (LOS). Pour répondre à ces exigences, mesh multihopping est indispensable , ce qui facilite un débit plus élevé sans pour autant sacrifier la gamme radio efficace via distances des liaisons plus courtes, moins d'interférences entre les nœuds, et la réutilisation répétée des fréquences plus efficace.
- Soutien pour un réseau ad hoc, et capacité d'Auto-formation, l'auto-cicatrisation et d'autoorganisation : Les réseaux ad hoc améliore les performances réseau, telles que les horaires flexibles architecture réseau, déploiement et configuration facile, la tolérance aux pannes et la connectivité de maillage, c'est-à-dire, multipoint à multipoint communications. En raison de ces caractéristiques, WMNs ont un faible investissement initial et le réseau peut se développer graduellement selon le besoin.

- Mobilité dépendant sur le type de nœuds maillés : Mesh routeurs offrent généralement un minimum de mobilité, tandis que les clients maillés peuvent être stationnaires ou des nœuds mobiles. Ainsi, la mobilité dans WMNs varie d'un nœud à l'autre, qui est différent de réseaux ad hoc.
- Plusieurs types d'accès réseau : Dans WMNs, tant l'accès à Internet et Communication peer-to-peer (P2P) au sein WMNs sont pris en charge. En outre, l'intégration de WMNs avec d'autres réseaux sans fil et fournissant des services aux utilisateurs finals de ces réseaux peuvent être accomplis à travers WMNs.
- la compatibilité et l'interopérabilité avec les réseaux sans fil existants : Le réseau maillé construit sur la base des technologies IEEE 802.11, doit être compatible avec les normes IEEE 802.11. Les réseaux maillés ont aussi besoin d'être interopérables avec d'autres réseaux sans fil comme le WiMAX, ZigBee et les réseaux cellulaires.
- l'infrastructure sans fil/fédérateur : Comme nous l'avons dit avant, WMNs se composent d'une connexion sans fil avec maillage de réseau fédérateur et des routeurs. Le réseau fédérateur sans fil offre une vaste couverture, de connectivité et de robustesse dans le domaine sans fil.
- Intégration : WMNs support clients classiques qui utilisent les mêmes technologies radio Commemesh routeur. Cela est possible grâce à une fonction de routage hôte disponible dans les meshrouteurs .WMNs permettent également l'intégration des différents réseaux existants tels que le WiFi, l'Internet, des réseaux de capteurs et cellulaires par le biais de la passerelle/les fonctions de pont Dans les mesh routeurs.
- Compatibilité : WMNs : contiennent de nombreuses différences en comparaison à des réseaux ad hoc. Toutefois, tel que discuté ci-dessus, les réseaux ad hoc peut être considérée comme un sous-ensemble de WMNs. Plus précisément, les techniques élaborées pour les réseaux ad hoc sont déjà applicables à WMNs. [5]

## **1.5. Fonctionnement du Wifi maillé IEEE 802.11s**

Le fonctionnement du 802.11s est similaire à la norme 802.11b sauf que le 802.11s utilise les trois couches basses du modèle OSI alors que les autres standards ne fonctionnent qu'avec les deux couches inférieures (Physique, Liaison) . Dans la section suivante, nous allons détailler les fonctionnalités des trois niveaux

### **1.5.1. Couche physique :**

La couche physique définit la modulation des ondes radioélectrique et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données. La couche physique est divisée en deux sous couches : la couche PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) et la couche PMD (Physical Medium Dependent). La couche PMD définit les caractéristiques de la couche physique employée à savoir les techniques de transmissions utilisées (FHSS, DSSS ou OFDM). La couche PLCP permet la liaison entre la couche PMD et la couche MAC et a pour principal rôle la gestion des trames (encapsulation, décapsulation, etc). Elle permet aussi d'envoyer à la couche MAC des rapports d'erreur ou encore lui signifier si le support est libre ou non. [1]

### **1.5.2. Couche liaison des données :**

Elle est Constituée de deux sous-couches :

La sous-couche de contrôle de liaison logique (LLC : Logical Link Control).

La sous-couche de contrôle d'accès au support (MAC : Medium Access Control).

#### **1.5.2.1. Sous-couche LLC :**

La sous-couche LLC 802.11 est totalement identique à la sous-couche LLC 802.2. Son but est de permettre aux protocoles réseaux de niveau 3 (par exemple IP) de reposer sur une couche unique (la couche LLC) quel que soit le protocole sous-jacent utilisé, dont le Wifi ou l'Ethernet, par exemple. Tous les paquets de données Wifi transportent donc un paquet LLC.

Il est possible d'avoir en même temps, sur un même réseau trois protocoles de niveau trois. [1]

#### **1.5.2.2. Sous-couche MAC :**

Dans les communications sans fil, le canal est une ressource partagée. L'objectif de la couche MAC est d'éviter et de minimiser les accès simultanés qui provoquent des collisions, en indiquant comment les différents utilisateurs doivent se partager la parole, le format des paquets

échangés et les topologies possibles ; aussi elle définit les modalités avancées telle que la sécurité de communication, l'économie d'énergie, le contrôle d'erreur ou encore la qualité de service. Cette sous-couche représente en quelque sorte le cerveau de Wifi.

-la sous-couche MAC offre plusieurs fonctionnalités par exemple : L'adressage des paquets, Le formatage des trames, Le contrôle d'erreur; En plus de ces fonctions généralement assurées par la sous-couche MAC, la sous-couche MAC 802.11 offre d'autres fonctions qui sont normalement confiées aux protocoles supérieurs comme : La fragmentation et le réassemblage, Les retransmissions des paquets, et les accusés des réceptions ;De même Certains protocoles de routage sans indépendent de la couche MAC, c'est-à-dire que le routage se fait strictement à la couche réseau tel que défini par le modèle OSI de l'ISO, alors que d'autres sont très liés à cette dernière. On note que la norme IEEE 802.11s, qui hérite des réseaux IEEE 802.11, est basée sur CSMA/CA (Collision Avoidance). [1] [6] [3] 🚦 **Méthodes d'accès au support :**

La sous-couche MAC définit deux méthodes d'accès différentes [7] :

- **PCF (Point Coordination Function) :** La méthode d'accès PCF propose une approche centralisée par un contrôleur nommé PC (Point Coordinator). Celui-ci définit une division temporelle du canal Wi-Fi afin de garantir un temps de parole à chaque STA. Cependant, PCF n'est pas utilisé car les performances sont faibles lorsque le réseau contient beaucoup de STA. De plus, le PC doit être écouté de tous les nœuds, et il est probable qu'aucun nœud ne soit capable de jouer ce rôle dans un réseau maillé étendu.
- **DCF (Distributed Coordination Function) :** La méthode d'accès DCF est basée sur l'utilisation du CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) Celle-ci prévoit que lorsqu'un nœud veut émettre un paquet il écoute le canal pour voir si un autre nœud est en train d'émettre ; il doit s'assurer que le canal est libre pour pouvoir transmettre. Contrairement à CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) qui est utilisé dans un réseau local Ethernet, une station ne peut pas écouter le canal et émettre en même temps. Un mécanisme d'écoute avec évitement de collision et acquittement et aussi qui supporte les transmissions asynchrones de données, basé sur la méthode d'accès CSMA/CA, est alors utilisé.

-La méthode DCF comprend d'autres mécanismes, à savoir : algorithme "Backoff", principe de réservation du média, et la détection virtuelle des collisions.

Si un nœud souhaite émettre des paquets, il écoute d'abord le support. Si dans sa zone de couverture une transmission est en cours, la transmission est différée. Si le support est libre pendant un temps supérieur au DIFS (DCF Inter Frame Spacing), il est autorisé à transmettre ; Le nœud envoie alors un message RTS (Ready To Send) vers sa destination, ce message contient des informations sur le volume de données du paquet et sa vitesse de transmission ; la destination va répondre par un message CTS (Clear to Send) signifiant qu'elle est prête pour recevoir, donc l'émetteur commence le transfert des données. [8]

- A la fin de communication, la station réceptrice envoie un accusé de réception sous la forme d'un message 'ACK' (Acknowledgement) signifiant que les données ont toutes été bien transmises.

Le mécanisme DCF utilise plusieurs temps d'attente pour la transmission de différents types de trames. Ces derniers sont déduits à partir d'IFS (Inter-Frame Space) ; Nous comptons trois sortes d'IFS: 1) SIFS (Short IFS): utilisé pour séparer les transmissions d'un même dialogue, par exemple entre une trame émise et son acquittement, Etant donné que le SIFS est le plus court des espaces inter trames; 2) PIFS (Priority Inter Frame Space): utilisé par l'AP pour accéder prioritairement au média (PIFS < DIFS); 3) DIFS (Distributed IFS): utilisé par une station pour accéder au support de transmission. [9]

Pour une collision, les stations qui entendent une transmission en cours utilisent un temporisateur le NAV (Network Allocation Vector) calculé en fonction du temps, Les stations, voulant émettre et trouvant le support encore occupé après le temps DIFS, attendent donc un temps correspondant au NAV (durée théorique de l'occupation) augmentée d'un niveau DIFS. Au bout de ce temps d'attente, les stations ne cherchent pas à émettre toutes en même temps et évitent les collisions en attendant chacune un temps supplémentaire aléatoire suivant un algorithme de Backoff.

L'algorithme de Backoff est basé sur la gestion de time-slot correspondant à des tranches de temps fixées par la couche physique. Initialement une station calcule en nombre de time-slot les valeurs d'un temporisateur (time Backoff) compris entre 0 et CW max (Contention Window) Lorsque le support est libre pendant un temps supérieur au DIFS, la station décrémente son

temporisateur jusqu'à ce que le support soit occupé par une autre station avec Timer plus faible (la décrémentation est suspendue) ou que son propre temporisateur expire. [1]

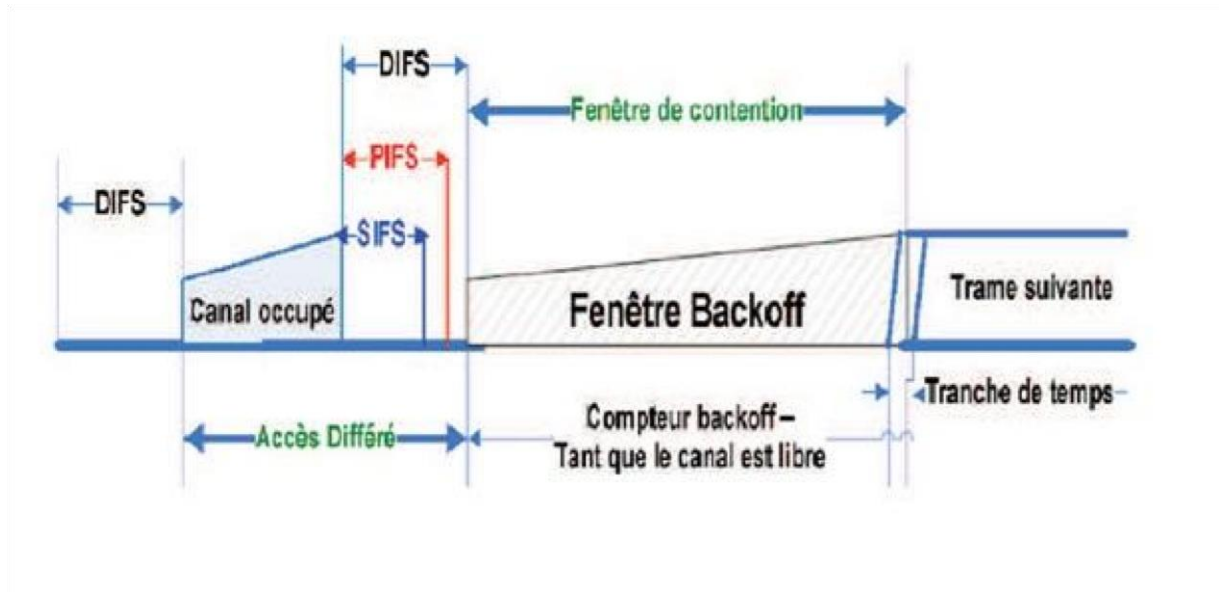
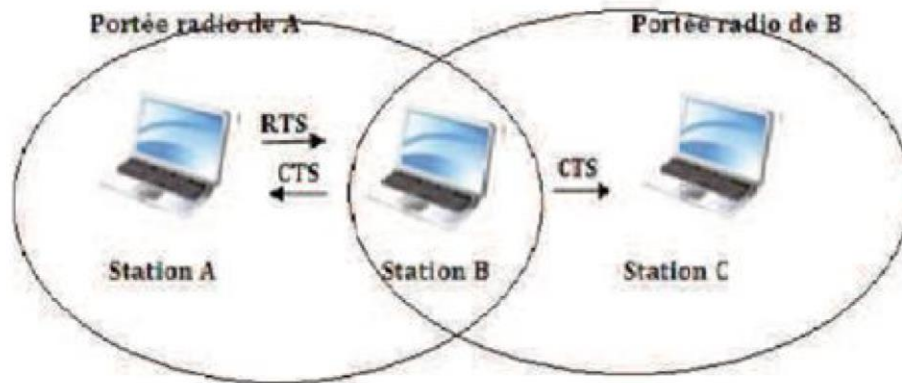


Figure 1.7. Accès au média sans fil en mode DCF (IEEE 802.11)

Cas de la station cachée : [10]

Une station A veut envoyer à B : si le canal est clair alors la transmission démarre

- C veut également envoyer (A est toujours en train de transmettre) et vérifie si le canal est libre
- C ne peut pas entendre A alors elle suppose que le canal est libre
- A est une station cachée (hidden terminal) du point de vue de C  
Donc Collision à B, ce scénario provoque une collision qui ne peut être évitée par la méthode CSMA/CA.



**Figure 1.8. Station cachée et détection virtuelle de la porteuse par RTS/CTS**

Un mécanisme nommé VCS (Virtual Carrier Sense), comparable à l'écoute du support effectué au niveau physique (PCF, Physical Carrier Sense) est utilisé pour résoudre ce problème. Une station voulant émettre transmet d'abord une petite trame (30 octets) de contrôle RTS (Request To Send). Toutes les stations qui entendent le RTS mettent à jour leurs NAV en fonction du champ durée du RTS. La station destination concernée répond après l'attente d'un temps SIFS avec une trame courte CTS (Clear To Send). Le NAV est de nouveau mis à jour par la station entendant le CTS. Après réception du CTS par la station source, celle-ci est assurée que le support est réservé pour sa transmission pendant un temps au moins égal au NAV [11] Par ailleurs, les stations cachées seront prévenues d'une émission en cours (dans l'exemple précédent, la station C qui aura entendu le CTS émis par B différera sa transmission). Ce mécanisme permet donc d'une part de réserver le support pendant un temps paramétrable et de résoudre le problème de la station cachée. Il n'évite cependant pas les collisions de RTS ou de CTS, mais celles-ci sont moins coûteuses que des collisions de longues trames de données.



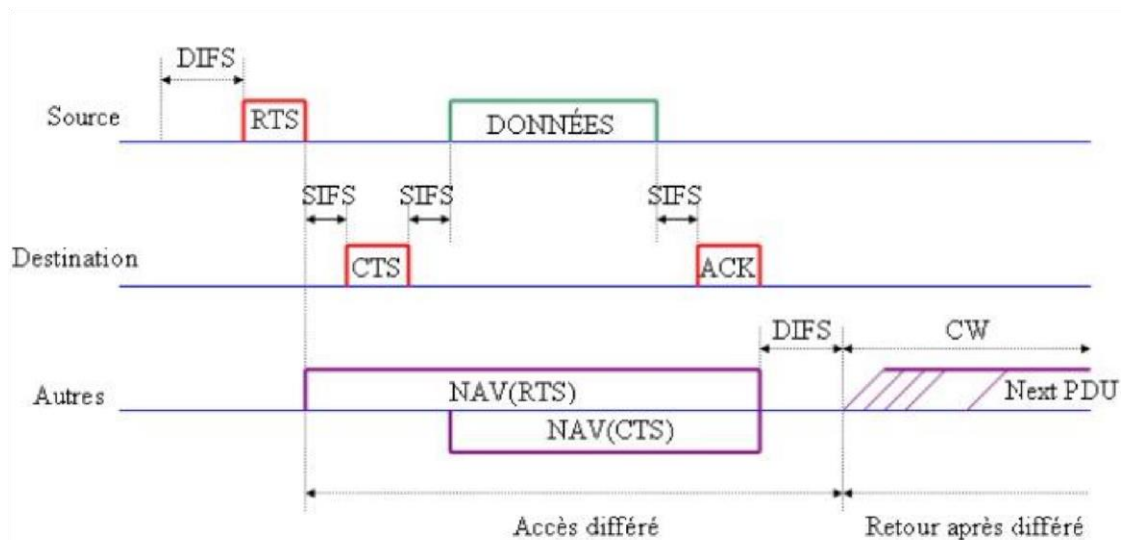


Figure 1.9. Méthode d'accès DCF

### 1.5.3. Couche réseau :

Parmi les fonctions principales dans cette couche ; le routage, ses protocoles ressemble aux protocoles utilisés dans les réseaux Ad hoc. Les principaux protocoles utilisés dans le Wifi maillé, seront détaillés dans le chapitre suivant.

## 1.6 Les applications des réseaux maillés :

### 1.6.1. Metropolitan Area Networks (MAN) :

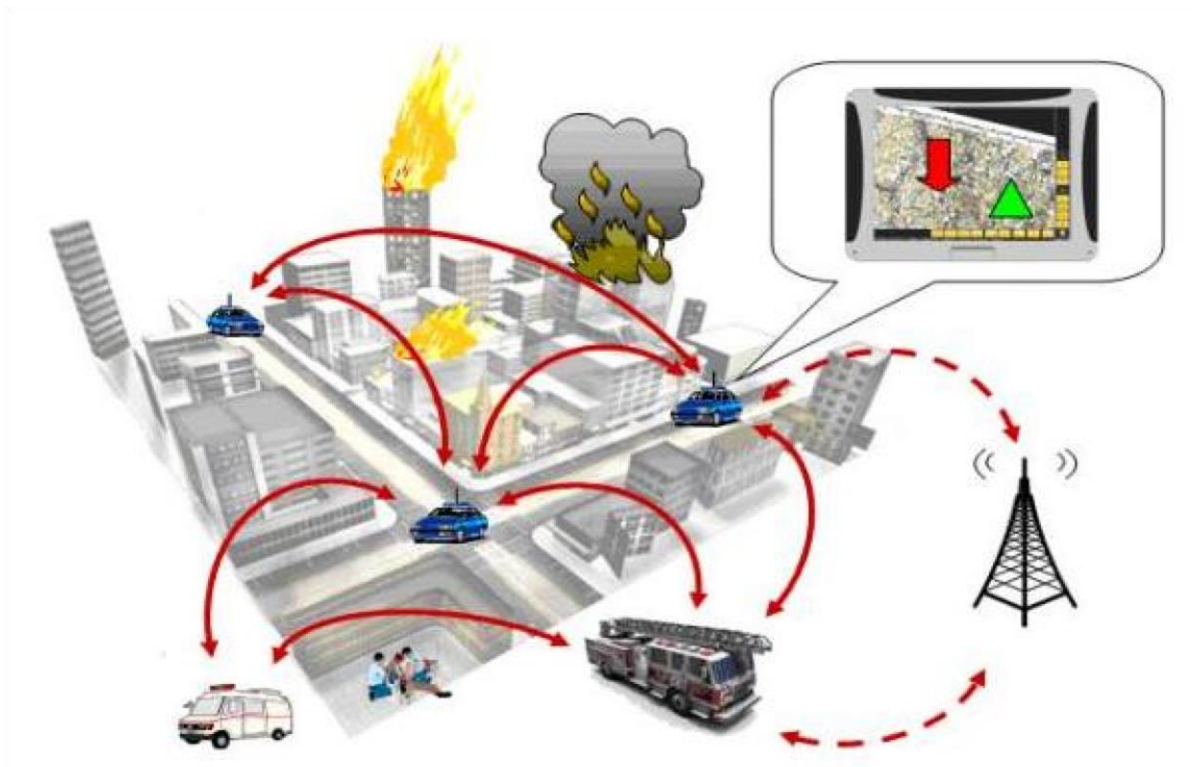
Les WMNs dans une zone métropolitaine ont plusieurs avantages. Le taux de transmission de la couche physique d'un nœud en WMNs est beaucoup plus élevé que dans n'importe quel des systèmes cellulaires. Par exemple, un nœud IEEE 802.11g peut transmettre des données à un débit de 54 Mbits/s. En outre, la communication entre les nœuds dans WMNs ne repose pas sur un réseau fédérateur câblé. Par rapport aux réseaux câblés, p. ex., câble ou les réseaux optiques, MAN maillés sans fil est une alternative économique aux réseaux à large bande, en particulier dans les régions sous-développées. Le maillage sans fil MAN couvre une zone beaucoup plus étendue que potentiellement accueil, Enterprise, le bâtiment ou les réseaux communautaires. Ainsi, l'exigence sur l'évolutivité du réseau par le maillage sans fil MANs est beaucoup plus élevée que par d'autres applications.

### 1.6.2 Systèmes de surveillance de la sécurité :

La sécurité s'avère être une préoccupation très élevée, les systèmes de surveillance de sécurité deviennent une nécessité pour l'entreprise de bâtiments, des centres commerciaux, des épiceries, etc. afin de déployer de tels systèmes à des endroits vulnérable, les WMNs se présentent comme une solution plus fiable que les réseaux câblés pour connecter tous les périphériques. Depuis toujours les images et vidéos sont les principaux flux du trafic dans le réseau, cette application exige une capacité beaucoup plus élevé que les autres applications du réseau

### 1.6.3. Réseau d'urgence :

Les réseaux maillés peuvent également être employés dans des applications spontanées (urgences/catastrophes). Par exemple, les réseaux sans fil sont fiables pour une équipe d'intervention d'urgence et des pompiers qui n'ont pas connaissance au préalable du lieu où le réseau doit être déployé. En plaçant simplement les routeurs maillés sans fil dans des endroits souhaités, un WMN peut être rapidement mis en place. Pour un groupe de personnes détenant des dispositifs avec une capacité de mise en réseau sans fil, par exemple, les ordinateurs portables et des PDA, les communications P2P est une solution efficace pour le partage de l'information n'importe quand et n'importe où. Les réseaux maillés sont en mesure de répondre à cette demande. Le WMN peut accomplir toutes les fonctions offertes par les réseaux ad hoc.

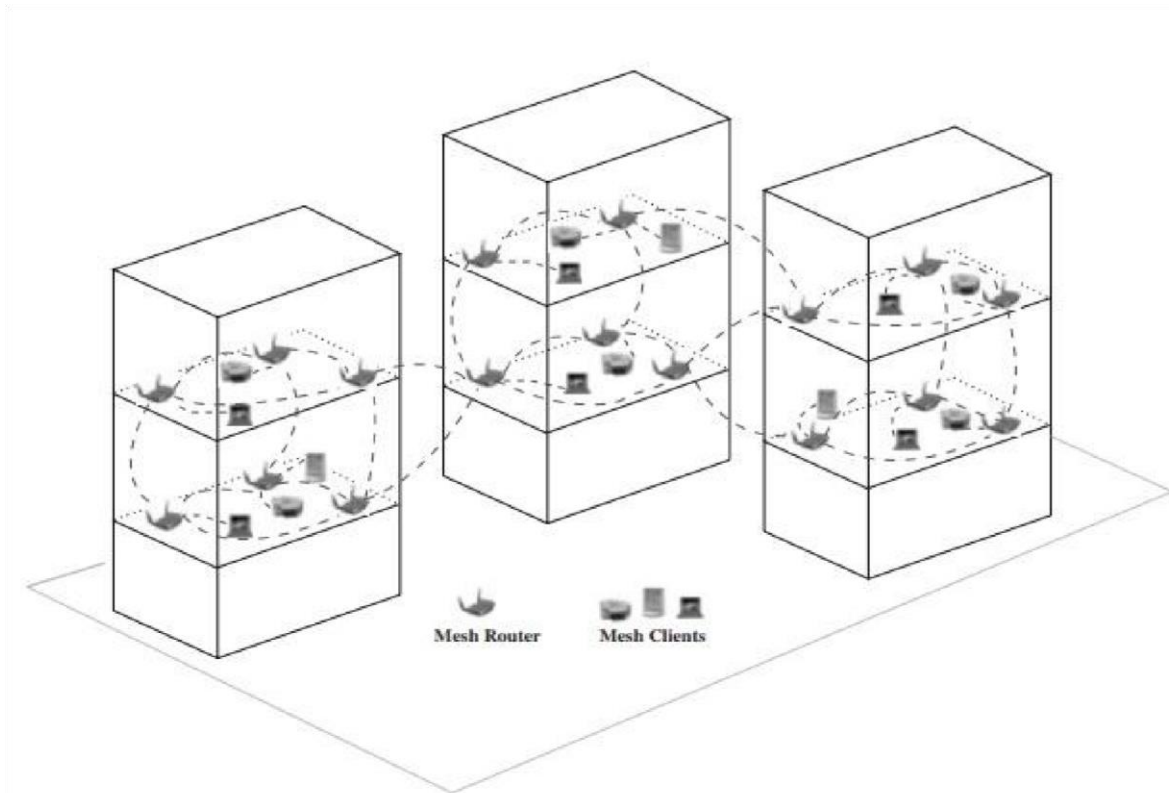


*Figure 1.10. Mise en place d'un réseau maillé après incendie (les nœuds sont considérés comme Fixes).*

#### **1.6.4. Réseau d'Entreprise :**

Ce peut être un petit réseau au sein d'un bureau ou d'un réseau de taille moyenne pour tous les bureaux dans l'ensemble d'un bâtiment, ou d'un réseau à grande échelle entre des bureaux dans plusieurs bâtiments. Actuellement les réseaux sans fil IEEE 802.11 standard sont largement utilisés dans les divers bureaux. Toutefois, ces réseaux sans fil sont encore des îles isolées. Les liaisons entre eux doivent être atteintes grâce à des connexions Ethernet filaire, qui est la principale raison pour le coût élevé des réseaux d'entreprise. En outre, l'ajout de plus de modems d'accès backhaul seulement augmente la capacité localement, mais il n'améliore pas la robustesse aux pannes de liaison, la congestion du réseau, et d'autres problèmes de l'ensemble du réseau. Si les points d'accès sont remplacés par un treillis de routeurs, comme illustré dans la figure 1.11. , les câbles Ethernet peuvent être éliminés. Plusieurs modems d'accès backhaul peut être partagé par tous les nœuds dans l'ensemble du réseau, et donc d'améliorer la robustesse et l'utilisation des ressources des réseaux d'entreprise. WMNs peuvent évoluer facilement comme la taille de l'entreprise se développe.

WMNs pour les réseaux d'Entreprise sont beaucoup plus compliquées qu'à la maison parce qu'un plus grand nombre de nœuds et les topologies de réseau complexes sont impliqués. Le modèle de service De la mise en réseau d'entreprise peut être appliquée à de nombreux autres services publics et commerciaux scénarios de réseau tels que les aéroports, les hôtels, les centres commerciaux, les centres de congrès, des centres sportifs, etc.



*Figure 1.11. Les réseaux maillés pour les entreprises*

### **1.7 Les Avantages des réseaux maillés sans fil :**

- Ce nouveau type de réseaux possède de nombreux avantages, notamment comparé à la topologie traditionnelle en anneau ; Il est compatible avec les normes 802.11b et 802.11g, ce qui est un avantage important étant donné le fait que tous les nouveaux ordinateurs portables sont équipés de matériel compatible.
- Le fait que chaque machine utilisateur est susceptible de devenir un point d'accès réduit le nombre de points d'accès à installer et donc le coût.
- Auto-configuration et Auto-organisation : Les wifi Mesh sont auto-configurables et autoorganisés, les nœuds peuvent être ajoutés ou supprimés du réseau en connaissance de leur nœuds voisins, les nœuds quittent et rejoignent le réseau, quelques connexions échouent, d'autres sont créés.
- Autoréparation : quand certains nœuds ou routes ont échoués, aucune intervention administrative n'est requise, "Mesh" signifie que ces nœuds sont maillés et qu'il existe un nombre alternatif de routes qui peuvent remplacer les routes qui ont échouées, ajouter plus de routeurs permet aussi d'augmenter la fiabilité du réseau et de disposer d'intérimaires alternatifs.

- Coût de déploiements réduit : les réseaux maillés sans fil sont basé sur des routeurs maillés qui sont interconnecté par des liaisons radios cela minimise le nombre de câbles et par la suit réduit le coût de déploiement du réseau.
- Extensible (scalable) : contrairement aux réseaux WLAN, les nœuds communique uniquement avec le point d'accès, les nœuds hors de la zone de couverture des routeurs maillé peuvent se connecter grâce aux nœuds intermédiaire relayant leur trafics de cette façon le réseau peut être étendue de manière transparente.
- Support de la mobilité : les nœuds d'un réseau maillé sans fil transmettent leurs données à travers des canaux radios et par la suit peuvent se déplacer librement tant qu'ils restent dans la zone de couverture d'autre nœud connectés.
- L'avantage le plus marquant des réseaux mesh est donc bien sa flexibilité sa robuste infrastructure et sa simplicité de déploiement et aussi des possibilités d'alimentation diverses. On dispose d'un réseau intégrant seul les nouvelles stations, pouvant facilement et automatiquement changer de topologie, tout en restant Wireless et donc Une infrastructure robuste

### 1.8 Les limites :

Malgré tout, cette technologie possède des limites qui peuvent être un frein à son développement, il hérite également du défaut inhérent à la technologie Wifi :

- Débit plus faible que celui du filaire : la bande passante est une ressource rare, il faut minimiser la portion utilisée pour la gestion du réseau, afin de pouvoir laisser le maximum de bande passante pour les communications.
- Les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.
- Interférences : les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence ou utilisant des fréquences proches peuvent interférer. De plus, les interférences peuvent provenir d'autres types de machines non dédiées aux télécommunications. Par exemple, les fréquences utilisées dans les fours à micro-ondes sont dans des fréquences de la bande ISM (Industriel, Scientifique et médicale) et peuvent perturber les communications.

- Nécessité d'un maillage important : si un poste veut se connecter, il doit «accrocher» un voisin. Donc faire en sorte que les postes soient en activité permanente.
- Le monde sans fil mobile possède des contraintes supplémentaires par rapport à la filaire. Les protocoles classiques des filaires telles que le RIP ou OSPF ayant faits leurs preuves se trouvent confrontés à des situations inédites et non prises en compte : mobilité physique, versatilité des liens, interférences, ....
- Il y a une forte déperdition entre chaque utilisateur faisant office de nœud, le débit maximum décroît en fonction du nombre de saut. [12]

### **1.9 Conclusion :**

Les réseaux sans fils maillés représentent l'avenir des réseaux informatique ; du faite que ce sont des réseaux avec infrastructure qui utilise la technologie sans fils dans tous les niveaux (infrastructure et clients), son architecture offre une robustesse et une efficacité importante ainsi que la facilité d'installation avec un cout faible par rapport aux réseaux filaires classiques.

Un des buts premier du réseau maillé sans fil est de permettre aux utilisateurs d'étendre rapidement leur couverture spatiale de leur réseau, et ainsi d'accéder aux différents services situés sur d'autres réseaux (Internet par exemple).

L'un des éléments clé qui à contribuer de façon directe sur le déploiement des réseaux sans fils maillés est qu'ils utilisent des composant logiciels (protocoles) et matériels disponibles déjà sous forme de réseaux ad hoc.

## 2.1. Introduction :

Au cours des dernières années le déploiement de WMNs a été considéré comme une prochaine étape prometteuse vers l'objectif de l'accès à large bande sans fil. WMNs sont intéressants non seulement dans le contexte de petits réseaux communautaires et de réseaux de voisinage, mais aussi dans le domaine des réseaux à l'échelle de l'entreprise ou des réseaux fédérateurs sans fil qui peut être établie de façon ad hoc , par exemple dans des scénarios de reprise après sinistre .

Pour assurer la QoS dans ces réseaux, plusieurs travaux dans la littérature ont proposé des solutions s'attaquant à des aspects différents, résumés dans les points suivants : - Proposer des algorithmes pour améliorer la QoS au sein du réseau maillé.

- Combiner entre plusieurs algorithmes existants pour en faire un algorithme hybride plus robuste.
- Etendre des algorithmes existants pour en améliorer le fonctionnement.
- Toutes ces contributions sont validées, soit par des modèles mathématiques, soit par des simulations sous des environnements variés (NS2, NS3, OPNET, OMNET, etc.). [5]

Dans l'état de l'art les solutions proposées s'orientent sur les trois couches basses du modèle OSI. On commence par nous intéresser à la couche physique nous analysons toutes les approches concernant le déploiement des routeurs à l'intérieur du réseau maillé, ainsi que l'aspect transmission. Ensuite nous introduisons dans la deuxième partie les solutions orientées couche liaison de données en présentant les mécanismes d'amélioration de la QoS. Enfin on terminera par les solutions concernant la couche réseau en présentant les différentes approches de routage.

Les solutions proposées dans notre état de l'art s'étendent sur les trois couches basses du modèle OSI (physique, liaison, réseau), or nous nous intéressons à la couche réseau dans notre travail.

## 2.2. Qualité de service dans les réseaux maillés sans fil :

Dans la nouvelle génération de réseaux sans fil tel que le (wifimesh) sont destinées à supporter diverses applications, tel que la voix, data, fichier multimédias. Fournir une qualité de service (QoS) garantie aux différentes applications est un objectif important dans la conception de la nouvelle génération de réseaux sans fil. La QoS peut être définie comme le degré de satisfaction d'un utilisateur des services fournis par un système de communication.

Les caractéristiques de qualité de service sont considérées comme des paramètres pour lesquels la qualité de service est contrôlée et gérée afin de fournir un meilleur service. Ces paramètres sont décrits comme suit :

**La latence** : C'est le temps de transmission qu'un paquet peut prendre pour passer de la couche application au niveau de transmetteur jusqu'au même niveau au récepteur. Ce temps est appelé aussi le délai de bout en bout. Il peut être exprimé comme la somme des délais de processus au niveau de transmetteur, soient les délais de propagation, délai de mémoire tampon et le délai de processus au niveau de récepteur.

**La gigue de transmission** : Elle est définie comme la différence temporelle de paquets qui arrivent au récepteur en différentes séquences. Autrement dit, c'est la différence de délai de bout en bout entre deux séquences. Par exemple, si deux paquets ont des délais de bout en bout : l'un est de 60ms et l'autre de 70ms, le délai de gigue est lûmes. Généralement, la gigue doit être inférieure à 100ms pour une qualité acceptable.

**Perte de paquets** : Le phénomène de congestion détruit une certaine proportion de paquets entrants en fonction de seuils prédéfinis. Une erreur sur l'en-tête d'un paquet causé par le bruit d'interférence, de la dégradation de signal entraîne la perte de paquet ou l'envoi vers une mauvaise destination. En effet, quand le récepteur reçoit le paquet, il effectue le contrôle de redondance cyclique (CRC) pour le paquet et trouve qu'il est corrompu. Ainsi, le récepteur néglige l'envoi d'un accusé au récepteur. Le transmetteur considère que le paquet est perdu une fois le temps d'accusé de réception est dépassé.

**La bande passante** : C'est une ressource allouée au réseau et représente le taux de bits envoyés. Cette quantité est variable et dépend de différents facteurs comme la technologie (Ethernet, Wifi), le support de communication, les protocoles de routage ... etc.

L'objectif de la qualité de service est d'atteindre le meilleur compromis en termes de délai de bout en bout, de la variance du délai, de la bande passante et des pertes de paquets, ceci afin d'assurer correctement l'acheminement de données. La qualité de service est définie comme la capacité de fournir un certain niveau de qualité de service lors de la transmission des données. Dans les applications en temps-réel, comme la voix et la vidéo, le délai de bout en bout doit être limité. Généralement, il est difficile de garantir la qualité de service pour ce genre d'applications dans le cas des réseaux sans fil maillés. En effet, différents facteurs doivent être pris en considération, spécialement le changement de la topologie et la bande passante limitée. Pour les



applications qui ne sont pas en temps-réel, comme la messagerie, ils nécessitent une communication plus fiable. [2]

Le support de la QoS a été largement étudié dans les réseaux filaires. Le réseau ATM (Asynchronous Transfert Mode) supporte la QoS du trafic tout en le différenciant en plusieurs classes. Dans ce contexte, des solutions ont été proposées par l'IETF pour améliorer le réseau Internet afin de fournir la QoS aux communications multimédias. De même, des mécanismes ont été fournis pour gérer efficacement les ressources réseaux (bande passante, mémoires tampons) et répondre aux exigences des applications notamment celles ayant des contraintes temporelles.

Cependant, il est très difficile de garantir une QoS prédéterminée à une application temps réel dans un WMN, car il faut prendre en considération les spécificités de ces réseaux, à savoir : la bande passante limitée, le changement dynamique de la topologie dans le temps ainsi que le manque d'information complète sur l'état du réseau. En outre, la communication entre les stations mobiles, étant effectuée par voie radio, la qualité du lien sans fil reste peu fiable et sujette à des variations selon la configuration et l'état du réseau. [13]

### **2.3. Solutions orientées couche physique :**

Les problèmes de la propagation des ondes radio dans un environnement encombré d'obstacles, sont nombreux et connus. Les travaux sur ces problèmes ont beaucoup progressé et de nouvelles solutions sont proposées. Deux solutions ont été développées : la première touche à l'architecture (topologie en arbre, ou hiérarchique ou en clusters, etc.) et le déploiement (matériel utilisé, plus précisément l'utilisation d'antennes intelligentes et de passerelles) du réseau. L'état de l'art sur ce sujet propose beaucoup de solutions. Nous citons quelques une car notre but est de trouver une solution au niveau de la couche réseau, que nous avons enrichis par un mécanisme de niveau deux. Les solutions relatives au niveau un, vont surtout nous servir pour poser des conseils d'utilisation

#### **2.3.1. Utilisation de passerelles multiples :**

WMN's sont essentiellement des réseaux à bonds multiples, dans lequel les données sont transmises au réseau fédérateur via une passerelle entre les postes client et vice-versa. Les postes clients peuvent être câblés ou sans fil et peut être mobile avec l'architecture de réseau client variable. Passerelle a une bande passante fixe pour être partagées par tous les clients pour la communication si le nombre de clients augmente cela conduit à la réduction de débit et, par

conséquent, peut conduire à une dégradation des performances globales. Associer les clients à une Gateway est un point crucial en décidant de performance que celui de la passerelle, de routage et de planification de placement au niveau de la passerelle. Associer des nœuds à une seule passerelle la plus proche entraîne une réduction de la capacité du WMN. Les réseaux maillés sans fil étant dynamiques, auto-organisés et peuvent s'auto dépanner, cela impose une responsabilité encore plus grande sur les passerelles. Avoir plusieurs passerelles dans le réseau maillé peut améliorer les performances du réseau d'une manière significative. C'est ce que préconisent les auteurs dans [16] et le démontrent par des simulations. [16]

### **2.3.2. Utilisation des antennes intelligentes pour augmenter le débit :**

Le débit réseau fédérateur WMN est principalement limité par deux facteurs : la congestion entrée/sortie dans la passerelle et le brouillage causé par les transmissions simultanées. Étude récente a révélé que le déploiement de plusieurs passerelles dans WMN est un moyen efficace pour atténuer le taux de congestion d'entrée/sortie. En outre, l'utilisation de plusieurs canaux, plusieurs interfaces radio et l'antenne directionnelle dans WMN peuvent alléger de façon considérable l'interférence. Une architecture des réseaux maillés sans fil pratique à l'aide multi-saut, multi-radios et plusieurs antennes directionnelles. Est proposée par les auteurs de l'article En plus, l'algorithme STDMA de programmation centralisée lien a été utilisé pour assurer le bon fonctionnement de la transmission. Ces approches sont illustrées par des exemples de simulation et les résultats obtenus montrent que leur algorithme possède de meilleures performances. [15]

### **2.3.3. Codage de l'information et du canal et utilisation d'une architecture Adéquate :**

La transmission vidéo sur le canal sans fil multi-chemin doit surmonter la vulnérabilité inhérente de vidéo compressée « erreurs canal ». Pour prévenir efficacement la corruption de flux vidéo et la propagation de l'erreur dans le domaine spatial et temporel, des contrôles d'erreur sont largement déployés, une nouvelle architecture de transmission vidéo via WMNs est proposée pour répondre à l'exigence de transmission vidéo. Cette architecture adresse une stratégie de jointage sources et codage de canal basé sur codage sur code vidéo H.264 standard. En prenant le temps-variables de canal sans fil condition et caractéristiques de codec vidéo en compte, d'abord, les auteurs ont présenté un transport de bout en bout pour l'architecture vidéo streaming sur réseau maillé sans fil. [14]

## **2.4. Solution orientée couche liaison :**

Parmi les exigences majeure de la QoS, les protocoles qui existe dans la couche liaison générale et la sous-couche MAC en particulier comme Le contrôle de l'accès aux ressources radio, Le contrôle d'erreur , la gestion de files d'attente, l'ordonnancement de trafic, etc. En outre les protocoles MAC et les réseaux sans fil doivent être interopérable, ces derniers fonctionnes sur le même spectre et sont équitable envers tous les utilisateurs. Afin de rendre meilleur la QoS au sein du réseau Wifi maillé plusieurs approches se sont concentrés sur cette couche. Les approches les plus récentes et les plus pertinentes sont étudiées et résumées dans ce qui suit.

### **2.4.1. Améliorations du CSMA/CA pour un gain en QoS :**

Parmi les différents facteurs qui contribuent à la dégradation de la qualité de service dans les réseaux maillés sans fil figurent Les collisions entre les stations, les stations cachées déjà mentionnées dans le chapitre précédent ainsi que l'accès au canal à cause du multi-saut

Mathilde Benveniste propose trois mesures visant à améliorer les performances de la QoS dans le wifi maillé premièrement : un éventail plus large du Backoff connu sous le nom de fenêtre de contention afin de réduire les risques de répétition des collisions entre les nœuds cachés, ensuite il pose la notion «transport express» , qui est une extension spatiale du concept TXOP pour une amélioration du protocole CSMA/CA conçu pour réduire la latence connu de bout en bout par un maillage multi-sauts sans fil ; Il effectue aussi un nouveau mécanisme pour réduire les collisions au moment de la retransmission appelé «retransmission express». Les résultats des études présentés dans [17] montrent l'intérêt potentiel des améliorations proposées et l'impact sur un réseau 802.11s mobile ; d'après les résultats obtenus, une simple amélioration des valeurs du standard 802.11e (en particulier la valeur du TXOP) et du fonctionnement de la couche CSMA/CA peuvent assurer une QoS acceptable. [17]

### **2.4.2. Différenciation de service au niveau de la couche MAC :**

Récemment, des schémas de différenciation de service au niveau MAC ont été proposés. Néanmoins, ils sont souvent basés sur un contrôle centralisé. Dans les réseaux sans fil multi sauts, un contrôle distribué est nécessaire. Le protocole MACA/PR (Multihop Access Collision Avoidance with Piggyback Reservation).

(C. R. Lin and M. Gerla) propose de fournir des garanties de bande passante pour les applications temps réel via une réservation. Il permet d'établir des connexions temps réel à un

saut seulement. Il utilise un dialogue RTS/CTS (Request To send/ Clear To Send) avec acquittement, et différencie la politique d'accès au médium selon la nature des flux. Pour le trafic prioritaire, une seule demande d'autorisation à transmettre (RTS-CTS) au début du flux est utilisée (jusqu'à perte d'un paquet). Dans chaque paquet, des informations sur l'ordonnancement du paquet suivant sont incluses pour empêcher les voisins d'entrer en collision avec les prochains paquets. [18]

#### **2.4.3. Utilisation conjointe de CSMA/CA et TDMA**

Le protocole CSMA/CA présente des performances médiocres dans des régions caractérisées par une forte congestion. Ceci est confirmé par plusieurs travaux qui ont étudié ce protocole d'accès dans les réseaux radio multi-saut. À l'inverse de CSMA/CA, le protocole d'accès au médium TDMA est plus efficace dans les zones de congestion puisqu'il se base sur le principe d'ordonnancement pour éviter les collisions.

Ouni Anis a proposé l'utilisation conjointe de ces deux familles de protocoles (CSMA/CA et TDMA) pour résoudre le problème de goulot d'étranglement autour de la passerelle. Ainsi, il propose d'appliquer un ordonnancement de type TDMA dans les voisinages des passerelles et garder CSMA/CA au-delà (dans les zones moins chargées). Le principe se base sur la division d'une trame de Nslots en deux parties : une partie TDMA dans laquelle chaque nœud a ses propres slots et une deuxième partie dans laquelle les nœuds accèdent au médium d'une façon aléatoire en utilisant le protocole CSMA/CA.

Dans sa proposition, un nœud fonctionne, soit avec TDMA, soit avec CSMA/CA mais pas avec les deux. Les résultats ont indiqué que le fait d'utiliser des protocoles d'accès différents dans le même réseau peut poser problèmes dans la région à l'interface entre les nœuds fonctionnant avec TDMA et ceux fonctionnant avec CSMA/CA. [19]

#### **2.4.4. Estimation de la bande passante et de la qualité du canal :**

[13] Une grande majorité des solutions de qualité de service pour les réseaux sans fil multisauts nécessitent l'estimation de la bande passante sur le chemin de bout en bout. Un problème fondamental pour les réseaux sans fil multi-sauts est la difficulté d'estimer avec précision la bande passante d'un lien sans fil ; ainsi un débit instable ou une bande passante insuffisante entraînera des retards inattendus ou un problème de gigue, toute fois, il reste difficile de fournir des garanties globales de services pour l'environnement maillé sans fil

Chungui Liu et Yantai Shu<sup>1</sup> et Lianfang Zhang [20] ciblent le problème de QoS multimédia dans les réseaux sans fil maillés. Les auteurs ont mis en place un réseau maillé sans fil du campus banc d'essai, et proposent un algorithme d'estimation de bande passante disponible ainsi qu'un mécanisme de route de secours pour accueillir les flux du trafic multimédia dans les réseaux maillés mobiles. Les expériences faites par les auteurs ont montré que leurs mécanismes peuvent améliorer efficacement la stabilité du réseau, le débit et le taux de pertes de paquets.

## **2.5. Solution orientée couche réseau :**

Généralement, dans un réseau, le routage permet d'établir une route de plus court chemin en terme de distance ou de délai entre deux nœuds source et destination.

Dans le cadre d'une qualité de service, le but du protocole de routage est de trouver la meilleure route selon les critères précis de la qualité de service souhaitée (délai, taux de perte, quantité de bande passante, ...), et reposant sur des liens fiables.

Les protocoles de routages utilisés dans WMN sont les mêmes utilisés dans les réseaux ad hoc et MANET, et sont divisés en trois catégories :

Première catégorie, la famille proactive construisent et mettent à jour régulièrement les tables de routage de tous les nœuds du réseau. Nous parlerons du DSDV (Dynamic destination

Sequenced Distance Vector) et de l'OLSR (Optimized Link State Routing).

Deuxième catégorie, la famille réactive établit les tables de routage sur demande. Un nœud source va donc connaître la route à emprunter pour atteindre un nœud destination qu'après en avoir fait la demande. Nous parlerons de l'AODV (ad hoc On-demand Distance Vector) et de DSR (Dynamic Source Routing)

Troisième catégorie, la famille hybride combinent les deux approches proactive et réactive nous citons HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol), et ZRP (zone routing protocole). [12] Nous allons les détailler dans ce qui suit :

### **2.5.1. Protocole de routage proactif :**

Dans cette catégorie dite à diffusion de table, les protocoles maintiennent à jour une table de routage dans chaque nœud. A chaque changement du réseau des messages de mise à jour sont

communiqués aux nœuds. Les protocoles basés sur ce principe sont entre autre : DSDV, WRP, OLSR, TBRPF, GSR, FSR, HSR, ZHLS, CGSR, DREAM, LSR et OLSR. [21]

Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles (qui peuvent représenter l'ensemble de tous les nœuds du

Réseau) au niveau de chaque nœud du réseau. Les routes sont sauvegardées mêmes si elles ne sont pas utilisées. La sauvegarde permanente des chemins de routage, est assuré par un échange continu des messages de mise à jour des chemins, ce qui induit un contrôle excessif surtout dans le cas des réseaux de grande taille. L'avantage premier de ce type de protocole est d'avoir les routes immédiatement disponibles quand les nœuds en ont besoin, mais cela se fait au coût d'échanges réguliers de messages (consommation de bande passante) qui ne sont certainement pas tous nécessaires (seules certaines routes seront utilisées par les nœuds en général).

### **2.5.1.1. Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing)**

OLSR 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" (MPRs) ; 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 MPRs d'un nœud N est l'ensemble minimal de ses 1-saut voisins qui couvrent (dans le sens de la portée de communication) ses 2-sauts voisins.

Dans OLSR, chaque nœud broadcast périodiquement des messages Hello qui contient l'état de ses liens avec ses 1-saut 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 contient 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.

Il est à noter que le protocole OLSR est adapté aux réseaux à une haute densité. Dans un réseau à faible densité, chaque voisin devient MPR et OLSR se réduit à un protocole à état de liens pur. Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc [6]

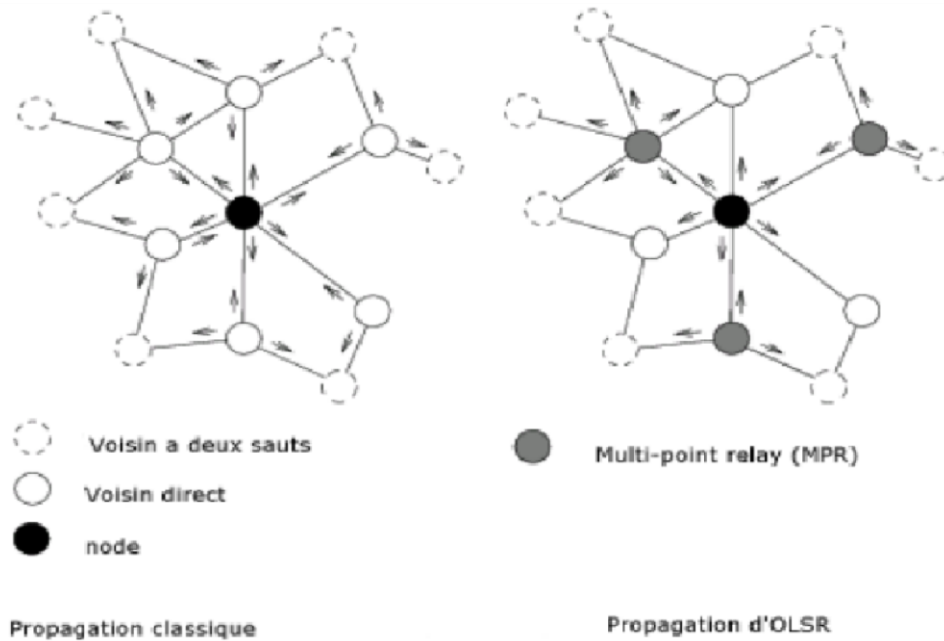


Figure 2.1. Présentation du protocole OLSR

### 2.5.1.2. DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector) :

A été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient toutes les destinations possibles et le numéro de séquences (SN) qui correspond à un nœud destination, permettant de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d'éviter la formation de boucles de routage [21]

Quand un nœud reçoit plusieurs paquets de mise à jour au sujet d'un même nœud destination, il choisit celui avec le numéro de séquence le plus haut. Le numéro de séquence est utilisé afin d'éviter le problème des boucles infinies et des transmissions inutiles des messages sur le réseau. Il permet en plus de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds dans le réseau sans fil mobile, les routes changent fréquemment, ce qui fait que les routes maintenues par certains nœuds, deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d'utiliser les routes les plus nouvelles (les plus fraîches (fresh routes)).

Un nœud qui détecte la rupture d'un lien, génère un paquet de mise à jour dont le numéro de séquence possède une valeur infini. En recevant ce paquet, chaque nœud retire l'entrée correspondante de sa table de routage. [1]

Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau afin de maintenir la consistance des informations ce qui génère un trafic important qu'il faut limiter. Pour cela, deux types de paquets de mise à jour sont utilisés : les « fulls dump », contenant toutes les informations et des paquets plus petits dits « incrémental » ne contenant que les informations ayant changé depuis le dernier full dump. Les mises à jour sont soit incrémentale ou complète. [21]

### **2.5.2. Les protocoles de routage réactifs :**

Le principe de cette classe est que les routes sont établies à la demande. Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de route est lancée, ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Ce type de routage minimise l'échange des messages de contrôle ce qui libère la bande passante, cependant il est lent à cause de la recherche des chemins, ce qui peut dégrader les performances des applications interactives. Parmi les protocoles basés sur ce principe on cite : DSR, CEDAR, TORA, ABR, SSR, LAR, RDMAR, EARP et AODV.

#### **2.5.2.1. Le protocole DSR (Dynamic Source Routing) :**

DSR est un protocole à routage source. Il est composé de deux mécanismes : la découverte des chemins et la maintenance des chemins. Un nœud qui veut transmettre des données vers une destination, alors qu'il ne maintient aucun chemin vers cette dernière dans sa mémoire initie une découverte de chemins en diffusant un paquet RREQ vers tous ses voisins. Un nœud intermédiaire qui reçoit ce paquet peut répondre de sa mémoire s'il connaît un chemin vers la destination, sinon il inclut son adresse dans le paquet et le rebroadcast. Le nœud qui répond au paquet RREQ, s'il est la destination, génère un paquet RREP et il inclut dans ce dernier la séquence des nœuds enregistrés dans le RREQ. Sinon, il effectue une concaténation de la séquence des nœuds incluse dans le RREQ avec le chemin enregistré dans sa mémoire. Si le nœud générant le RREP maintient un chemin vers la source, il envoie le RREP sur ce chemin. Un nœud qui ne maintient pas un chemin pareil transmet le RREP en suivant le chemin inverse



de celui dans le RREP si les liens sont bidirectionnels, sinon une nouvelle découverte de chemins est initiée en incluant la réponse dans un paquet RREQ. Un nœud qui transmet un paquet en utilisant un chemin source est responsable de confirmer la bonne réception de ce dernier ; le paquet est retransmis jusqu'à la réception d'une confirmation ou jusqu'à ce que le nombre maximal de retransmission soit atteint. Si les tentatives de retransmission échouent ou le nombre maximal de retransmissions est atteint, un paquet

RERR sera transmis vers le nœud source identifiant le lien brisé. En recevant ce paquet, le nœud source retire de sa mémoire les entrées qui contiennent ce lien. Si aucun chemin alternatif n'est disponible, il ré-initie une nouvelle découverte de chemins [22]

#### **2.5.2.2. Le protocole AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector) :**

Le protocole de routage AODV, tout comme DSR, repose sur le mécanisme de découverte de chemins à la demande mais il n'utilise pas le routage source ; AODV repose sur le routage saut par saut. Chaque nœud dans AODV, maintient une table de routage et utilise les numéros de séquence comme DSDV pour éviter le problème des boucles de routage .Il définit quatre types de messages distincts : RREQ (Route REQuest), RREP (Route Reply), RERR (Route ERRor) et RERP-ACK (Route REPlYACKnowledgment).

. A la réception d'un paquet RREQ, le nœud destination répond en envoyant un paquet RREP vers le nœud source. Un nœud intermédiaire peut également répondre au paquet RREQ s'il possède un chemin valide vers la destination en question, sinon il incrémente le compteur des sauts du paquet RREQ et garde trace de ce dernier et il le rebroadcast ensuite à ses voisins.

Chaque nœud maintient aussi l'adresse du voisin qui lui a transmis le paquet RREQ, pour pouvoir acheminer ultérieurement le paquet RREP. En recevant un paquet RREP, chaque nœud enregistre l'adresse du nœud qui lui a envoyé le paquet RREP pour qu'il puisse acheminer après les paquets de données, et il le retransmet

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

### 2.5.3. Les protocoles de routage hybrides :

Il s'agit d'une combinaison des protocoles proactifs et réactifs. Ils utilisent un protocole proactif, pour « cartographier » le voisinage proche (par exemple voisinage à deux ou trois sauts) ainsi ils disposent des routes immédiatement dans le voisinage. Au-delà de cette zone prédéfinie, les protocoles hybrides font appel aux techniques des protocoles réactifs pour rechercher 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, cependant, il cumule aussi les inconvénients des protocoles réactifs et proactifs : messages de contrôle périodique ainsi que le coût d'ouverture d'une nouvelle route. [23]

#### 2.5.3.1 HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) : [24]. [25]

IEEE 802.11s définit le HWMP comme un protocole de routage de base pour un WMN. C'est un protocole de routage hybride qui combine un mode réactif et un mode proactif. Le fonctionnement en mode réactif du protocole est basé sur RM-AODV (pour Radio Metric Adhoc On Demand vector), tandis que le mode proactive utilise le routage basé sur des arbres ; Le premier mode est utilisé pour construire un chemin entre les délégués, alors que dans le deuxième mode, une topologie à base d'arbre est créée lorsqu'un MP est configuré en tant que racine. Les deux modes peuvent être actionnés simultanément, dans ce cas, le mode qui fournit un meilleur chemin est utilisé.

HWMP est situé sur la couche 2 ; par conséquent, il utilise des adresses MAC au lieu des adresses IP pour acheminer le message des communications. En outre, on note que le terme « Sélection du chemin » est utilisé à la place de 'routage' dans le routage de couche.

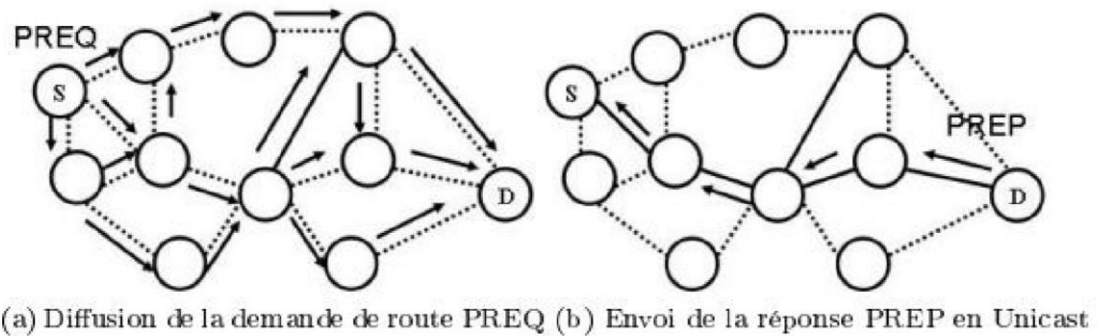
1. Mode réactif : dans ce mode, les nœuds créent et maintiennent les routes selon le besoin. Lorsqu'un nœud a besoin d'une route qui n'existe pas dans sa table de routage, une procédure de découverte globale de routes est lancée.
2. Mode proactif : dans ce mode, lorsqu'un nœud du réseau souhaite communiquer avec un autre nœud, il peut localement interroger la table de routage dont il dispose. Le routage peut ainsi être effectué de proche en proche, à l'image du routage IP. Le mode proactif définit deux sous modes à base d'arbre :

- Proactive Path REQuest (Proactive PREQ)
- Proactive Route Announcement (Proactive RANN)

**Mode réactif de HWMP :**

Quand un MP source veut connaître la route vers un MP destination, il envoie en diffusion une requête de demande de route PREQ (PathREQuest) en insérant la destination recherchée dans la requête et en initialisant le champ métrique à la valeur zéro.

La figure présente un exemple de fonctionnement de ce mode. Quand un MP reçoit un PREQ, il crée un chemin vers la source S de la requête (reverse path) ou met à jour le chemin. Si le PREQ contient un numéro de séquence plus grand que celui enregistré ou si le numéro de séquence est le même et ce PREQ contient une meilleure métrique par rapport au chemin existant. Si un nouveau chemin est créé ou mis à jour, le PREQ sera rediffusé. Avant que le MP rediffuse le PREQ, il met à jour le champ métrique du PREQ afin de refléter la métrique Totale du chemin vers la source. Après la création ou la mise à jour du chemin vers la source, La destination, émet un PREP (PathREPLY) en unicast vers la source.



**Figure 2.2. Routage dans le protocole RM-AODV**

Les MP intermédiaires, en recevant le PREP, créent une route vers la destination puis font suivre le PREP vers la source. Lorsque la source reçoit un PREP, elle crée le chemin vers la destination. Si la destination reçoit plus de PREQ d'une même source avec une meilleure Métrique, elle met à jour son chemin vers la source et émet un nouveau PREP à la source.

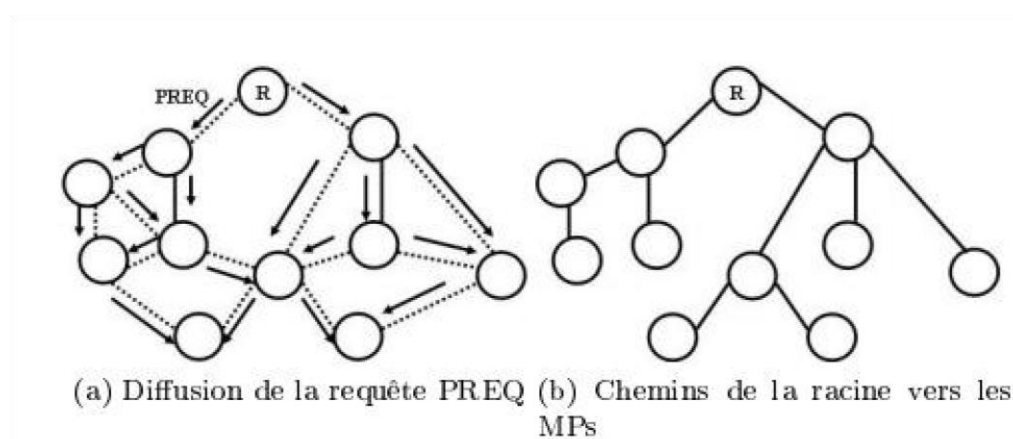
Ainsi, un chemin bidirectionnel de bout en bout avec une meilleure métrique sera établi entre la source de la requête et la destination. [26]

### Le mode proactif de HWMP :

Le mode proactif (routage à base d'arbre) consiste à configurer un MP particulier comme étant la racine(Root) de l'arbre. Il y a deux mécanismes pour diffuser les informations de routage dans le réseau d'une manière proactive afin d'atteindre le MP Root. La première méthode utilise un message Proactive PREQ (Proactive PathRequest) et il permet de créer des routes entre la racine et les autres MP dans le réseau. La deuxième méthode utilise un message RANN(RootAnnouncement) et elle permet de distribuer les informations de routage pour atteindre la racine. Un MP configuré en tant que racine va envoyer les messages Proactive PREQ et Proactive RANN périodiquement..[26]

### Le mécanisme Proactive PREQ :

La figure montre le principe du mode proactive PREQ de HWMP. Le MP Root émet d'une manière Proactive des PREQ avec, comme adresse de destination, une adresse de diffusion. Le PREQ contient la métrique du chemin et le numéro de séquence du Root incrémenté à chaque émission. lorsqu'un MP intermédiaire reçoit un PREQ proactive, il crée ou met à jour le chemin vers le Root, met à jour la métrique du chemin et le nombre des sauts et rediffuse le PREQ mis à jour. Le traitement de PREQ Proactive reçu est le même que celui du mode routage à la demande. Si le PREQ Proactive émis avec le bit " Proactive PREP " à 0, le MP récepteur peut émettre un PREP si nécessaire (exemple s'il a des données vers le Root et il a besoin d'établir un chemin bidirectionnel). Si le PREQ est émis avec le bit "Proactive PREP" à 1, chaque MP récepteur doit émettre un PREP Proactive. Ce PREP Proactive établit un chemin entre le Root et le MP émetteur. [26]

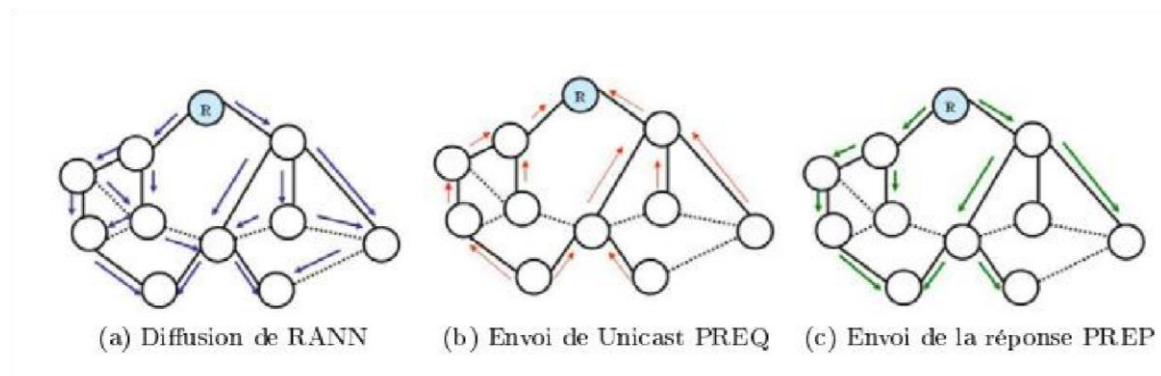


**Figure 2.3. Routage dans le protocole proactif PREQ**

**Le mécanisme Proactive de RANN :**

Si le nœud racine est configurés à utiliser le mécanisme RANN, alors il diffuse périodiquement un message RANN avec un SN incrémentale. Il ne crée pas de chemin inverse et n'effectue pas de mise à jour de la table de routage. Si un MP veut créer ou faire la mise à jour d'un chemin à la racine alors il doit envoyer un PREQ unicast à la racine, dans ce cas le nœud racine répond par un PREP. Le PREQ/PREP est effectué de la même manière que

pour le PREQ/PREP du mode réactif. [3]



*Figure 2.4. Routage dans le protocole proactif RANN*

**2.5.3.2. ZRP : Zone Routing Protocol**

Ici, chaque nœud définit une zone autour de lui dans laquelle il va utiliser son protocole proactif. Le protocole proactif en lui-même n'est pas imposé par ZRP, et en principe il peut être de tout type.

La zone du nœud est limitée en nombre de sauts entre le centre et les nœuds de frontière. Autrement dit un nœud appartient à la zone s'il est au Xème saut au max du nœud central. Les nœuds qui se trouvent à la limite de cette zone sont appelés les nœuds périphériques. Un deuxième protocole réactif opère en dehors de cette zone, qui permet de chercher une route vers une destination à l'extérieur. Ce protocole réactif n'est pas spécifié non plus, et intervient entre les différentes zones.

Lorsqu'un nœud veut joindre un autre, il regarde tout d'abord s'il est dans sa zone ou non.

S'il est présent dans sa zone, alors la route est connue et disponible immédiatement grâce au protocole proactif, sinon, une requête est envoyée aux nœuds périphériques qui à leur tour regardent si le nœud recherché appartient à leurs zones respectives. Si c'est le cas, une réponse est renvoyée au demandeur. Dans le cas contraire, le processus se poursuit de la même façon jusqu'à trouver le nœud en question. Une réponse est alors formulée et renvoyée à la source.

Chaque nœud maintient une liste des requêtes traitées de manière à éviter les doublons qui seront détruits [23]

## 2.6. Comparaison entre les protocoles de routage :

	Bande passante	Délai	Débit	Mobilité
AODV	+	-	+	+
DSR	+	-	+	+
OLSR	+	-	+	+
DSDV	-	+	-	+
HWMP	-	-	-	+
ZRP	+	-	+	+

**Tableau2.1 : comparaison entre les protocoles de routage**

L'objectif des auteurs des références [27] est d'évaluer et de comparer les protocoles de routage à la fois proactif et réactif conçu pour les réseaux ad hoc et adaptés à des réseaux maillés sans fil. A partir de l'analyse des résultats finale, les auteurs de [27] on conclut qu'AODV et OLSR sont les protocoles les plus adéquats pour un réseau maillé sans fil.

Dans [28] les auteurs se sont penchés sur les protocoles de routage à la demande en mettant l'accent sur DSR et AODV dans WMN.et les résultats montrent que, DSR n'est pas convenable pour la transmission sans fil, tandis qu'AODV est adapté à la transmission sans fil avec changement rapide de topologie du réseau.

De [27] et [28] on constate que AODV a les caractéristiques les plus requise pour un réseau maillé sans fil.

Le tableau 2.1 résume une comparaison entre les quatre protocoles de routage les plus utilisés dans les réseaux maillés. Vu leurs familles et leurs types nous avons résumés le tout dans le tableau. Le signe '+' veut dire que le protocole garantie le critère de qualité de service et le signe '-' veut dire que le protocole ne garantit pas le critère sélectionné.

## 2.7. Conclusion :

Dernièrement, avec l'émergence des services multimédia temps réel, et les champs variés des applications du wifi mesh, la qualité de service dans le réseau maillé est devenu un thème de recherche qui a suscité beaucoup d'intérêts ; Dans ce chapitre Nous avons présenté la définition de la QoS selon les normes de certains organismes internationaux et certaines de ses métriques et caractéristiques .Ensuite nous avons nous avons passé en revue les différentes solutions aux nombreux défis posés dans la garantie de la qualité de service pour les réseaux maillés sans fil (WMNs) en général.

Notre étude est divisée en trois parties, où dans chaque partie nous avons développé les solutions et les approches existantes dans la littérature dans les trois couches basses de la pile protococolaire OSI.

La première partie est dédiée à la couche base du modèle OSI, où l'utilisation de la technique MIMO, déjà incluse dans certains AP vendus sur le marché, augmente le débit d'une manière expressive. Aussi l'utilisation d'antennes intelligentes constitue une bonne option pour limiter les interférences. Pareillement., la détection/correction d'erreurs d'un canal très fortement perturbé est la solution idéale pour éviter les nombreuses retransmissions qui usent les ressources du réseau.

En ce qui concerne les solutions de la couche liaison, changer entièrement le protocole de base CSMA/CA du standard IEEE 802.11s n'est pas très indiqué, car c'est toucher à une solution qui fonctionne bien jusque-là , il existe aussi diverses solutions pour améliorer la qualité de service, comme Différenciation de service au niveau de la couche MAC , le contrôle d'erreur , l'estimation de la bande passante etc.

Par ailleurs, du côté routage nous avons présenté plusieurs protocoles de routage qui ont été proposés pour assurer le service de routage dans le wifi maillé ; nous avons donné une

classification des protocoles de routage selon qu'ils soient proactives réactives ou hybrides. Ces protocoles ont été comparés en termes de taux de débit, de délai moyen et de la bande passante.etc. Nous sommes arrivés à la conclure que le protocole AODV est le meilleur en termes des différents critères de la QOS.



### 3.1 Introduction :

Les réseaux informatiques connaissent une expansion importante grâce à plusieurs moyens qui ont pu se développer au cours du temps. En effet il serait trop coûteux, voire impossible, de mettre en place un réseau à des fins de test pour certains critères par exemple des applications sur des réseaux de grande envergure n'est possible en réalité que si l'on dispose de moyens matériels importants. C'est pour cela les simulateurs de réseaux viennent pour pallier à ce problème et mettre à la disposition des concepteurs des réseaux un environnement d'expérimentation. Les simulateurs du réseau offrent beaucoup d'économie de temps et d'argent pour l'accomplissement des tâches et constitue actuellement l'outil le plus pratique pour tester les nouveaux protocoles ou modifier les protocoles déjà existants d'une manière contrôlée et productive.

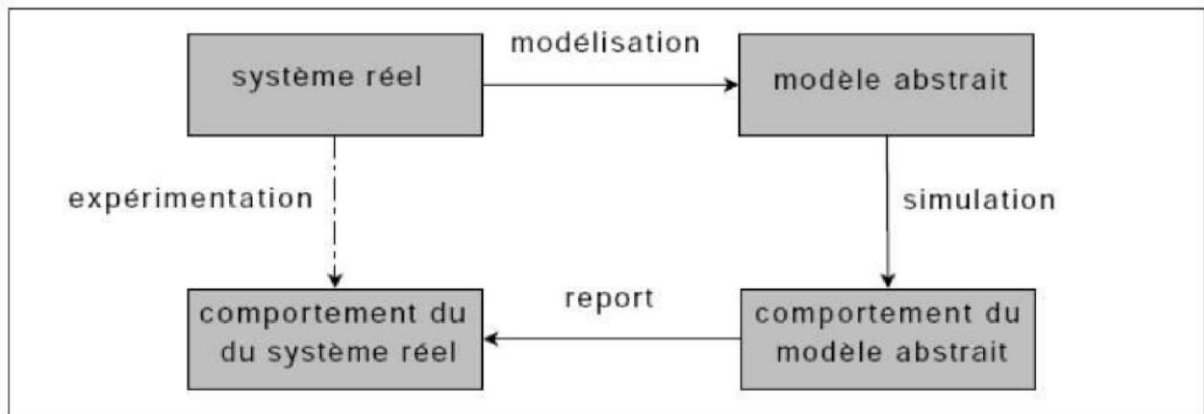
Après l'état de l'art présenté au chapitre précédent ; nous allons exposer à travers ce chapitre notre principale contribution qui consiste à tester et comparer deux protocoles AODV, HWMP dans un environnement de réseaux mailles sans fil, et de suivre le comportement de chaque protocole pour pouvoir analyser ses performances.

Nous commencerons par la description de l'ensemble des paramètres de simulation ainsi que les différents paramètres de QoS auxquelles nous nous sommes intéressés. Ensuite, nous présenterons l'ensemble des résultats obtenus tout en fournissant les interprétations nécessaires. Enfin, les performances des protocoles HWMP et AODV ont été comparées ; ces comparaisons ont été menées sous des conditions différentes de densité du réseau.

### 3.2. La Simulation :

Simuler, c'est modéliser un système complexe, afin de prévoir son comportement dans le monde réel. Il s'agit d'une approche permettant de représenter le fonctionnement d'un système réel constitué de plusieurs entités, de modéliser les différentes interactions entre elles, et enfin évaluer le comportement global du système et son évolution dans le temps. Le recours à la simulation permet de contourner les limites de la complexité des modèles analytiques. Toutefois, il est nécessaire de bien identifier les caractéristiques du système afin de le représenter, le plus finement possible, par des modèles abstraits [29]





**Figure 3.1 : Cycle modélisation-simulation**

Si la représentation du système réel par des modèles abstraits est suffisamment réaliste et précise, il est alors possible de reporter les résultats obtenus avec ces modèles sur le système réel. Le cycle correspondant aux étapes de modélisation, simulation et report des résultats est illustré dans la figure 3.1

### 3.3. Choix du simulateur :

Les simulateurs réseaux sont utilisés par des personnes de différents domaines tels que les chercheurs universitaires, industriels et, d'assurance de qualité (AQ) pour concevoir, simuler, vérifier et analyser les performances des protocoles de différents réseaux. Ils peuvent également être utilisés pour évaluer l'effet des différents paramètres des protocoles étudiés. En général, un simulateur de réseau est composé d'un large éventail de technologies et de protocoles réseaux et aide les utilisateurs à construire des réseaux complexes à partir de blocs de construction de base comme des grappes de nœuds et de liens ; Il existe plusieurs simulateurs réseaux tel que les simulateurs NS-2 et NS-3

Le simulateur NS-2 a été un simulateur populaire pour la recherche et l'éducation sur les systèmes Internet. Il bénéficie d'utilisation répandue dans le milieu de la recherche. Cependant, une lacune majeure de NS-2 est son évolutivité en termes d'utilisation de la mémoire et du temps d'exécution de la simulation. Ceci est particulièrement un problème en ce qui concerne les nouveaux domaines de recherche dans les réseaux informatiques, tels que les architectures maillées qui exigent une simulation de réseaux très larges. Outre NS-2, plus d'une douzaine de simulateurs des réseaux sont actuellement utilisés dans les universités et l'industrie. Parmi les simulateurs les plus connus nous choisissons le simulateur NS-3 pour réaliser notre travail. [30]

### 3.4. Comparaison entre NS2 et NS3 :

Le tableau ci-dessous présente les différents modèles utilisés dans les différentes couches : [31]

	NS2	NS3
Interface	C++/OTcl	C++/Python
Graphical support	No	limited
Parallelisme	No	yes
Scalability	small	Large
Documentation and user support	Excellente	Excellente
Extendibility	Excellente	Excellente
Emulation	limited	yes

**Tableau 3.1 : Comparaison entre NS2 et NS3**

En outre ; Des travaux de comparaison entre NS-2 et NS-3 ont été réalisés et ont montré que NS-3 est meilleur que NS-2 de plusieurs façons, notamment :

- Un noyau logiciel pour améliorer l'évolutivité et extensibilité, y compris le soutien pour des simulations distribuées,
- une architecture à l'appui de l'incorporation de logiciel de mise en réseau open-source telles que les machines virtuelles, les piles de protocole, le routage des démons et des analyseurs de trace de paquets,
- Modèles sans fil entièrement nouveau pour l'IEEE 802.11, et éventuellement d'autres modèles tels que l'IEEE 802.16,
- réorganisé la capacité d'émulation de réseau,
- une version révisée de regroupement des statistiques [32]

### 3.5. Présentation du Simulateur NS3 :

NS-3 est conçu pour remplacer le NS-2 courant populaire. Toutefois, NS-3 n'est pas une version mise à jour de NS2. NS-3 est un nouveau simulateur et il n'est pas rétro compatible avec NS-2. NS-3 est un simulateur réseau à évènements discrets. Il vise à remplacer son prédécesseur NS-2, écrit en C++ et OTcl (version orientée objet de Tcl), pour tenter de remédier à ses limites (mauvaise gestion des traces ou encore, plus gênant l'utilisation de multiples interfaces sur un nœud...). NS-3 est écrit en C++ et Python, et peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix, OS X (Mac) et Windows. Son développement a d'abord commencé en Juillet 2006, et devait durer quatre ans, Il est financé par les instituts comme l'Université de Washington, Georgia Institute of Technology et le Centre de l'ICSI pour la recherche sur Internet, la première version majeure publique et stable a été publiée en juin 2008. Les développeurs de NS-3 ont décidé que l'architecture de simulation devait être remaniée complètement en partant du zéro. Dans cette optique, l'expérience tirée de NS-2 doit être associée avec les progrès des langages de programmation et du génie logiciel. L'idée de la rétrocompatibilité avec NS-2 a été abandonnée dès le départ. Cela libère NS-3 de contraintes héritées de NS-2 et permet la construction d'un simulateur qui est bien conçu depuis le début.

[30]

### 3.6. Paramètres de simulation :

Pour évaluer les performances des protocoles HWMP, AODV on a utilisé le simulateur NS version 3.19, le réseau considéré est composé de 10 jusqu'à 90 nœuds maillé

La norme IEEE 802.11 a été utilisée comme base pour les expériences avec une capacité de transmission de 2Mb/sec, la vitesse des nœuds est fixée à 4m/s.

Les paramètres de simulation sont résumés dans le tableau suivant :

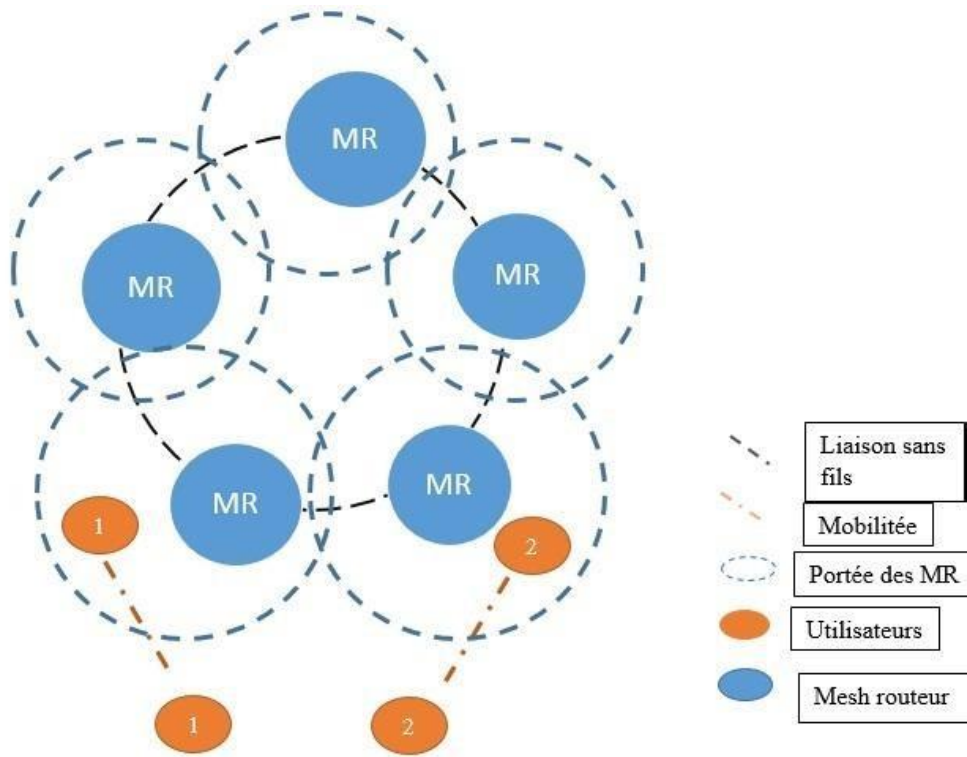
<b>Temps de simulation</b>	<b>150s</b>
<b>Vitesse des nœuds</b>	<b>4m /s</b>
<b>Transmission</b>	<b>802.11</b>
<b>Mobilité</b>	<b>aléatoire</b>

<b>Taille des paquets</b>	<b>160 Ko</b>
<b>Intervalle entre les paquets</b>	<b>25 <math>\mu</math>s</b>
<b>Protocole de transport</b>	<b>UDP</b>

**Tableau 3.2 : paramètres de simulation**

### 3.7. Architecture :

L'architecture de notre réseau se présente comme dans la figure 3.2 Ci-dessous des mesh routeur (MR) fixes et deux utilisateurs mobiles (mobilité aléatoire) :

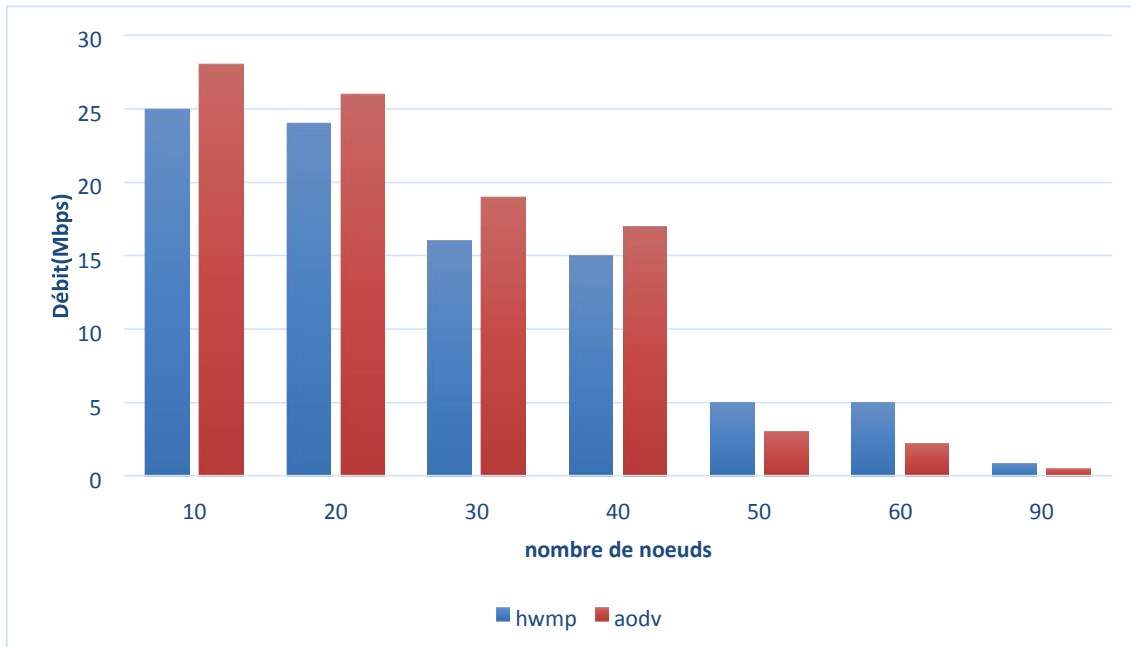


**Figure 3.2 : architecture de notre simulation**

### 3.8. Résultats et analyse :

Nous avons entrepris une comparaison entre les deux protocoles AODV et HWMP en faisant varier le nombre des nœuds maillés sur la base des paramètres mentionnés dans le tableau 3.1 en fonction du temps de simulation.

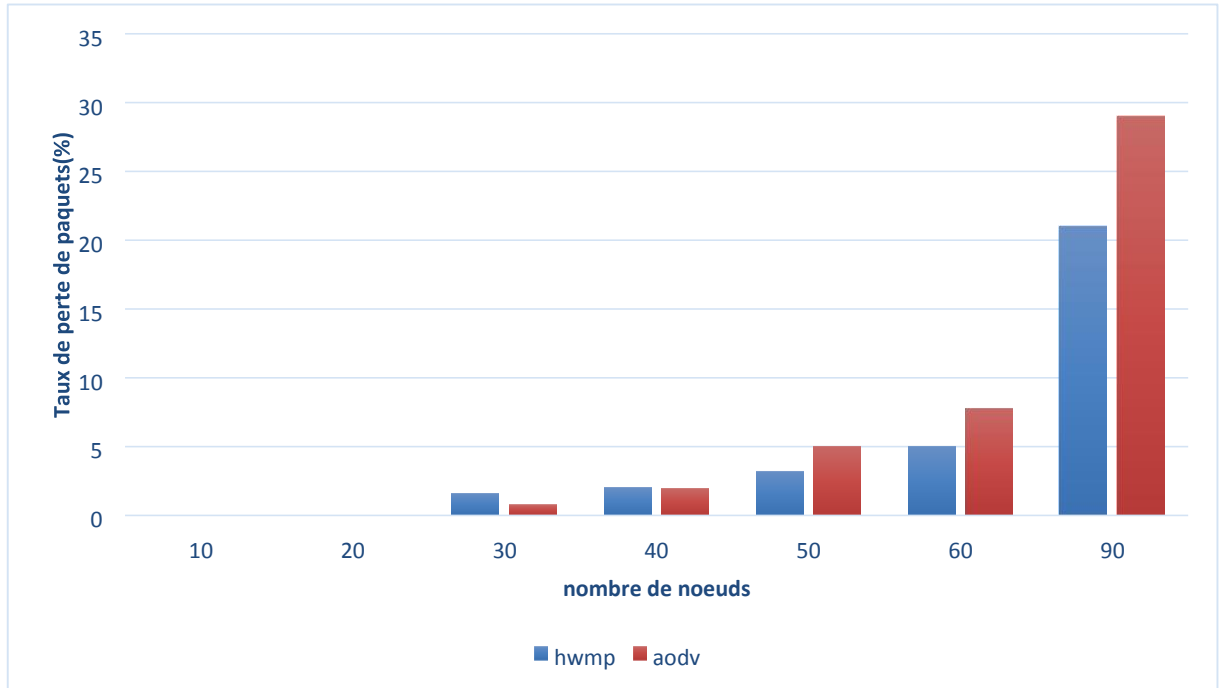
#### 3.8.1. Débit :



**Figure 3.3 : Débit en fonction du nombre des nœuds**

La figure ci-dessus décrit les résultats de la variation du débit en fonction de nombres de nœuds, nous constatons que AODV offre un léger avantage dans le cas où le nombre de nœuds varie de 10 jusqu'à 40 (densité moyenne des nœuds clients) en revanche quand le nombre de nœuds dépasse le 40 (forte densité des nœuds clients) HWMP est légèrement plus performant et génère plus débit

Entre les deux protocoles, HWMP donne un débit supérieur l'ors de l'augmentation de la taille du réseau, vue qu'il combine entre les deux types de protocoles (réactif / proactif) ce qui diminue le contrôle de surcharge conduisant à la libération de la bande passante et donc un débit plus élevé



### 3.8.2. Perte de paquets :

**Figure 3.4 : taux de perte de paquets en fonction du nombre de nœuds** La figure ci-dessus illustre les résultats de simulation de ces deux protocoles de routage sur la

base perte de paquets en fonction du temps de simulation en augmentant le nombre de nœuds maillés

A partir de ses résultats nous observons que tant que la densité des nœuds est faible ( 10 à 20 ) le taux de perte de paquets est nul pour les deux protocole ( HWMP ,AODV ) , mais dès que le nombre de nœuds augmente nous observons un taux de perte de paquet qui augmente avec l'augmentation des nœuds clients .

Néanmoins lorsque nous avons une densité moyenne des nœuds maillés (30 à 40) l'AODV donnent de meilleur résultats, mais dès que la densité des nœuds client augmente (50à 90) l'HWMP est plus performant.

Nous pouvons dire que HWMP génère un taux de paquet délivré beaucoup plus avantageux par rapport à l'AODV et ceci est justifié par la particularité d'architecture du HWMP

(protocole hybride) qui s'adapte très bien au réseau maillé.

### 3.8.3. Délai moyen :

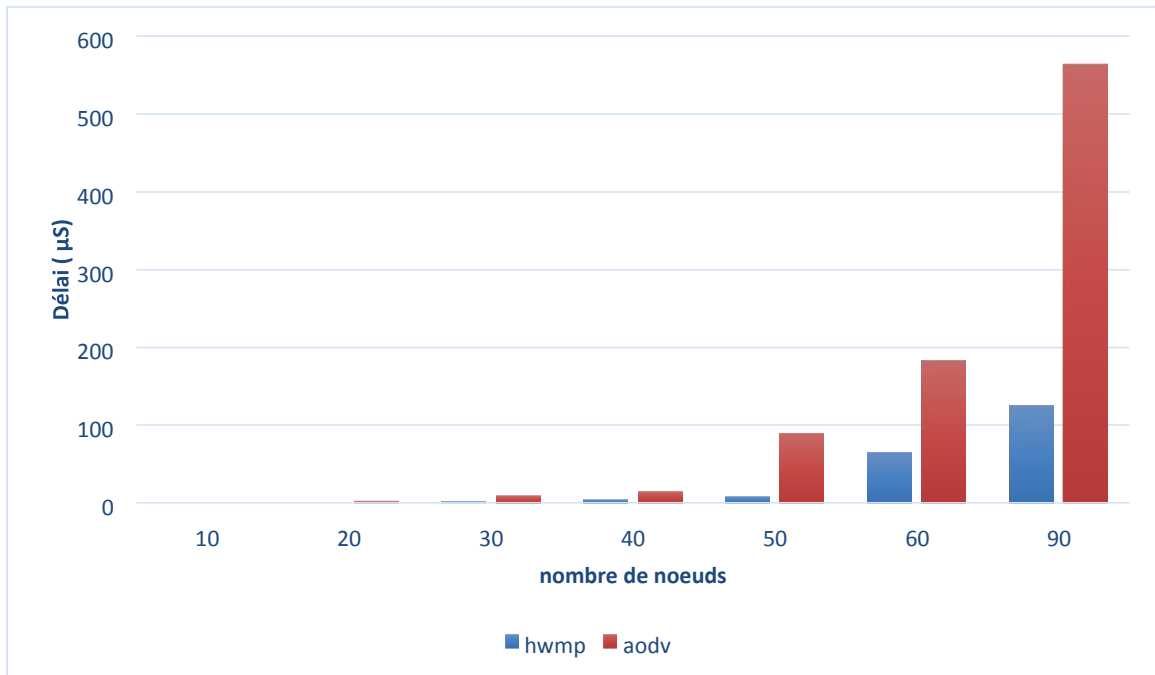


Figure 3.5 : délai moyen en fonction du nombre de nœuds

La figure 3.5 représente les résultats de simulation en termes de délai moyen en fonction du temps de simulation en augmentant le nombre de nœuds maillés.

A partir de ces résultats, nous remarquons que l'augmentation du délai moyen dans le réseau wifi maillé est proportionnelle à l'augmentation du nombre de nœuds clients

Nous constatons que le HWMP donne de meilleures performances en termes de délai moyen.

En comparant les deux protocoles le HWMP reste le plus favorable pour un réseau maillé, du fait que le HWMP est un protocole hybride qui tire pleinement parti des deux types de protocoles (réactif /proactif), ce qui entraîne un délai plus court.

### **3.9. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons procédé à une comparaison entre AODV et HWMP, les deux protocoles ont été comparés en termes de délai moyen, de débit moyen et de taux de perte de paquets

A partir des résultats observés nous pouvons conclure que l'HWMP est le protocole de routage plus adapté au réseau maillé.



## Conclusion générale

Suite au développement des technologies sans fil et le nombre croissant d'utilisateurs avec des applications qui demandent plus de ressources et de qualité de service. Il est devenu nécessaire, voire même indispensable, de recourir à une solution sans contrainte filaire et facile à déployer pour répondre à ces besoins. C'est dans ce cadre que les réseaux sans fil maillés ont été proposés pour répondre à ces attentes. La caractéristique qui distingue la technologie de réseaux sans fil maillés est sa topologie dynamique, qui lui permet d'être automatiquement auto configurable et auto organisé.

La maîtrise de la QoS dans les réseaux d'accès de type 802.11s nécessite une bonne compréhension des mécanismes d'accès, de leurs spécifications et de leurs performances. Cette compréhension constitue la clé permettant de guider le réseau à assurer la performance désirée pour le support des applications temps réel et multimédia.

Partant de cette compréhension, Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés aux travaux relatifs à la couche réseau, notamment aux protocoles de routage. Le routage dans les WMNs est loin d'être un problème simple ; dans la conception des protocoles de routage pour les réseaux mesh, des buts non compatibles doivent être atteints pour évaluer les performances du protocole HWMP en comparaison avec le protocole AODV, Nous nous sommes intéressés respectivement à : l'étude de l'impact de la densité des nœuds sur les performances des deux protocoles en ce qui concerne le délai, le débit, et la perte des paquets. Les résultats auxquels nous avons abouti ont montré l'efficacité du protocole en clustering dans les critères les plus difficiles.

Grâce à nos expérimentations avec les deux protocoles, nous avons touché de près la difficulté de conception d'un protocole de routage performant dans toutes les mesures et pour tous les scénarios. Cette difficulté est due au nombre important des facteurs qui conditionnent les performances d'un protocole de routage dans le contexte des mesh.

## Annexe :

Dans cette partie, nous avons décidé de faire une petite introduction à notre programme

```
#include "ns3/core-module.h"  
#include "ns3/internet-module.h"  
#include "ns3/network-module.h"  
#include "ns3/applications-module.h"  
#include "ns3/wifi-module.h"  
#include "ns3/mesh-module.h"  
#include "ns3/mobility-module.h"  
#include "ns3/mesh-helper.h"
```

### 1. Bibliothèques :

Le code commence par charger les fichiers include pour importer les bibliothèques que nous avons utilisés lors de notre simulation

**Core Module:** Module de base, il est indépendant, il permet la création d'une structure de classes hiérarchiques dérivant de la classe Object de base. Cette hiérarchie possède plusieurs fonctionnalités conçus spécialement pour répondre aux besoins de la simulation.

**Internet module :** fait appel aux sept couches du modèle OSI

**Network module :** fait appel aux trois couches basses du modèle OSI

**Application Module :** Certaines applications sont intégrées et fournies par NS-3. Elles sont installées dans les nœuds et peuvent être démarrées/arrêtées à des moments précis dans la simulation.

**Wifi module :** le code source suivant définit les caractéristiques d'une liaison sans fils de type wifi pour les points d'accès

**Mobility Module :** Ce module permet de définir la position des nœuds et associe un modèle de mouvement aux agents de la simulation. NS-3 fournit sept modèles de mobilité.

**MESH module :** ce module détermine les caractéristiques d'une liaison sans fils de type wifi pour les utilisateurs

**MeshHelper Module :** Ce modèle peut être considéré comme un emballage de haut niveau. Il facilite la construction des scénarios complexes de simulation et l'installation des différents modules mesh dans des agents différents.

```

    /// List of network nodes
    NodeContainer nodes;
    /// List of all mesh point devices
    NetDeviceContainer meshDevices;
    ///Addresses of interfaces:
    Ipv4InterfaceContainer interfaces;
    // MeshHelper. Report is not static methods
    MeshHelper mesh;
private:
    /// Create nodes and setup their mobility
    void CreateNodes ();
    /// Install internet m_stack on nodes
    void InstallInternetStack ();
    /// Install applications
    void InstallApplication ();
    /// Print mesh devices diagnostics
    void Report ();
};

```

## 2. Architecture :

Ici nous avons ajouté des variables pour la liste des nœuds du réseau et la liste de tous les point mes et les adresses des interfaces et les meshhelper. Ainsi que les procédures

```

{
  CommandLine cmd;
  cmd.AddValue ("x-size", "Number of nodes in a row grid. [6]",
m_xSize);
  cmd.AddValue ("y-size", "Number of rows in a grid. [6]", m_ySize);
  cmd.AddValue ("step", "Size of edge in our grid, meters. [100 m]",
m_step);
  /*
   * As soon as starting node means that it sends a beacon,
   * simultaneous start is not good.
   */
  cmd.AddValue ("start", "Maximum random start delay, seconds. [0.1
s]", m_randomStart);
  cmd.AddValue ("time", "Simulation time, seconds [100 s]",
m_totalTime);
  cmd.AddValue ("packet-interval", "Interval between packets in UDP
ping, seconds [0.001 s]", m_packetInterval);
  cmd.AddValue ("packet-size", "Size of packets in UDP ping",
m_packetSize);
  cmd.AddValue ("interfaces", "Number of radio interfaces used by each
mesh point. [1]", m_nIfaces);
  cmd.AddValue ("channels", "Use different frequency channels for
different interfaces. [0]", m_chan);
  cmd.AddValue ("pcap", "Enable PCAP traces on interfaces. [0]",
m_pcap);
  cmd.AddValue ("stack", "Type of protocol stack. ns3::Dot11sStack by
default", m_stack);
  cmd.AddValue ("root", "Mac address of root mesh point in HWMP",
m_root);
}

```

### 3. Traffic :

Dans cette partie nous avons insérer les paramètres de la simulation Comme exemple nous avons inséré le temps de la simulation a 100s

```

// Setup mobility - static grid topology
MobilityHelper mobility;
mobility.SetPositionAllocator ("ns3::GridPositionAllocator",
                               "MinX", DoubleValue (0.0),
                               "MinY", DoubleValue (0.0),
                               "DeltaX", DoubleValue (m_step),
                               "DeltaY", DoubleValue (m_step),
                               "GridWidth", UIntegerValue (m_xSize),
                               "LayoutType", StringValue ("RowFirst"));
mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
mobility.Install (nodes);

```

**4. Mobilité :** Dans cette partie du programme nous sommes en train d'allouer des positions pour l'emplacement de nos nœuds

```

MeshTest::Report ()
{
    unsigned n (0);
    for (NetDeviceContainer::Iterator i = meshDevices.Begin (); i !=
meshDevices.End (); ++i, ++n)
    {
        std::ostringstream os;
        os << "mp-report-" << n << ".xml";
        std::cerr << "Printing mesh point device #" << n << "
diagnostics to " << os.str () << "\n";
        std::ofstream of;
        of.open (os.str ().c_str ());
        if (!of.is_open ())
        {
            std::cerr << "Error: Can't open file " << os.str () << "\n";
            return;
        }
        mesh.Report (*i, of);
        of.close ();
    }
}

```

## 5. Résultat :

Les résultats de notre simulation seront sauvegardés dans un fichier Trace. Les fichiers trace seront nommés de 0 à 7 selon la commande utilisée "os <<"mp-report-" <<n<<".xml"

## Liste des Sigles et Abréviations

<b>ATM</b>	Asynchronous Transfert Mode
<b>AP</b>	Access Point
<b>AIFS</b>	Arbitration IFS
<b>AODV</b>	Ad-hoc On Demand Distance Vector
<b>BSS</b>	Basic Service Set
<b>CSMA/CA</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
<b>CSMA/CD</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
<b>CTS</b>	Clear to Send
<b>CW</b>	Contention Window
<b>DS</b>	Distribution System
<b>DCF</b>	Distributed Coordination Function
<b>DSR</b>	Dynamic Source Routing
<b>DIFS</b>	DCF Inter Frame Spacing
<b>DSDV</b>	Dynamic destination Sequenced Distance Vector
<b>ESS</b>	Extended Service Set
<b>HWMP</b>	Hybrid Wireless Mesh Protocol
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LOS</b>	Line-of-sight
<b>LLC</b>	Logical Link Control
<b>MPR</b>	Multi-Points relays
<b>MANET</b>	Mobile Ad hoc Network
<b>MACA/PR</b>	Multihop Access Collision Avoidance with Piggyback Reservation
<b>MAC</b>	Medium Access Control
<b>NLOS</b>	Nonline-of-sight
<b>NAV</b>	Network Allocation Vector

<b>NS-2</b>	Network Simulator-2
<b>NS-3</b>	Network Simulator-3
<b>OLSR</b>	Optimized Link State Routing
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnexion
<b>PLCP</b>	Physical Layer Convergence Protocol
<b>PMD</b>	Physical Medium Dependent
<b>PCF</b>	Point Coordination Function
<b>PC</b>	Point Coordinator
<b>PIFS</b>	Point Coordination IFS
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RTS</b>	Ready to Send
<b>RREQ</b>	Route REQuest
<b>RREP</b>	Route Reply
<b>RERR</b>	Route ERRor
<b>RERP-ACK</b>	Route REPLY ACKnowledgment
<b>RM-AODV</b>	Radio Metric Ad-hoc On Demand vector
<b>RANN</b>	Root Announcement
<b>SN</b>	Sequence Number
<b>SIFS</b>	Short IFS
<b>ToXP</b>	Transmission Opportunity
<b>TDMA</b>	Time Devision Multiple acces
<b>TC</b>	Topology Control
<b>VCS</b>	Virtuel Carrier Sense
<b>Wlan</b>	Wireless Local Area Network
<b>WMN</b>	Wireless Mesh Networks
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity
<b>WiMax</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access
<b>ZRP</b>	Zone Routing Protocol

## REFERENCES

- [1] Bemoussat Chems Eddine « Contribution a l'étude du trafic multimédia sur wifi mesh (IEEE 802.11S) » Thèse de doctorat en système et réseau de télécommunication, 2014.
- [2] tawfik belannague "Modélisation Mathématique du contrôle de puissance, de l'affectation des canaux et de la capacité dans les réseaux sans fil maillés meshes Mémoire de maîtrise d'ingénierie Québec, 2012.
- [3] Geusmia Mohamed "Protocoles de routage multicast multicritères dans les Réseaux Sans fil Maillés" thèse de doctorat en informatique, Université d'Oran, 2014.
- [4] K.kleung « spingerwirelessMeshNetworks,Architecture and Protocols » Livre:Springer,2008
- [5] <http://mjahanshahi.ir/wp-content/uploads/book-wirelss-mesh-networks.pdf> visité le 28/02/2016
- [6] Saloua CHETTIBI : « Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux mobiles ad-hoc » Mémoire de magister en informatique: 2008/2009
- [7] Rémi Soulage "Contribution à l'étude et à l'amélioration de la qualité de service sur un réseau maillé WiFi" Thèse de doctorat en informatique a Université de Montréal, 2010
- [8] Mahseur Mohammed "Routage dans les Réseaux maillés Sans Fil" Magister en Informatique a l'université de boumerdes, 2011
- [9] Jihene Rezgui "Gestion adaptative des ressources dans les réseaux maillés sans fil à multiples-radios multiples-canaux""Thèse de doctorat en informatique a Université de Montréal, 2010
- [10] Wireless Mesh Networks: Introduction Basic Concepts Eduard Glatz
- [11] Wireless Mesh Networks Technologies: Architectures, Protocols, Resource Management and Applications Eugen Borcoci INFOWARE Conference, August 22- 29th, Cannes, France
- [12] BEN TERKIA SARRA BELAZIZ CHAFIA KERBADJ Faiza BENADJROUD Fatma exposé sur :« Réseaux maillés Mesh »,université des sciences et de la technologie houari Boumedienne ,2013/2014



- [13] Rabah MERAIHI, "Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc 'Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur ', Ecole nationale supérieure des télécommunications Paris, 10 Mai 2005.
- [14] Tanghuai Fan, Lizhong Xu, Xuewu Zhang and Huibin Wang, "A Study of End to End Video Robust Transmission via WMN", IEEE 2009
- [15] Zhuyan Zhao, Jianhong Mu, Hao Guan, "Characterizing the End-to-End Throughput in WMN Using Multiple Directional Antennas" , IEEE 2010
- [16] Geeta Tripathi, Prof. Dr. N. G. Bawane, " Gateways and Performance of WMN" 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC), Italie ,2012.
- [17] Mathilde Benveniste "A Distributed QoS MAC Protocol for Wireless Mesh" The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2008.
- [18] C. R. Lin and M. Gerla, "MACA/PR: An Asynchronous Multimedia Multihop Wireless Network in Proceedings of IEEE INFOCOM '97.
- [19] OUNI Anis " Optimisation de la capacité et de la consommation énergétique dans les réseaux maillés sans fil", Thèse pour l'obtention du Grade de Docteur, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2013.
- [20] Chungui Liu, Yantai Shu1 and Lianfang Zhang « Backup Routing for Multimedia Transmissions over Mesh Networks" IEEE, 2007.
- [21] Sedrati Maamar, Aouragh Lamia, Guettala Leila, Bilami Azeddine, "Etude des Performances des Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad-Hoc Département d'informatique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université El Hadj Lakhdar – Batna, Novembre 2007
- [22] <http://www.umc.edu.dz/buc/theses/informatique/CHE5338.pdf> visité le 25/03/2016
- [23] François Houriez et Hania Doumer/ Mars 2007 / Template design by Arcsin
- [24] Sidi Ould Cheikh, Malik Mubashir Hassan and Abdelhak Geuroui, "NEW METRIC FOR HWMP PROTOCOL ", NMH PRiSM Laboratory, University of Versailles, Versailles, France, March 2013

[25](Whye Kit Tan , Sang-Gon Lee , Jun Huy Lam 1 and Seong-Moo Yoo 2, A Security Analysis of the 802.11s Wireless Mesh Network Routing Protocol and Its Secure Routing Protocols, September 2013

[26] Routage dans les réseaux locaux maillés sans fil, Rapport de These Sana Ghannay.pdf

[27] Anna Zakrzewska, Leszek Koszalka, Iwona Pozniak-Koszalka, Andrzej Kasprzak « Analysis of Routing Protocol Performance in Wireless Mesh Networks ». Dept. Of Systems and Computer Networks, Wroclaw University of Technology,

[28] Yinpeng Yu, Yuhuai Peng, Lei Guo, Xingwei Wang « Performance Evaluation for Routing Protocols in Wireless Mesh Networks » College of information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China

[29], Mohamed djihad BEN SALEM Oussama BOUGOFFA « Etude comparative de deux simulateurs pour les réseaux ad-hoc sans fil », Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master en Informatique, juin 2014 Ouargla

[30] Melle KHERBACHE Zeyneb, Melle LARIBI Amina « Étude de la Qualité de Service (QoS) dans les réseaux WIFI » Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique, 2011

[31] Piotr Owczarek and Piotr Zwierzykowski « Review of Simulators for Wireless Mesh Networks » Faculty of Electronics and Telecommunications, Poznan University of Technology, Poznan, Poland

[32] <http://simutools.org/2008/ns3.shtml> visité le 19/04/2016.