

CHAPITRE 1

LES RESEAUX MAILLES SANS FIL WMNS

1 Introduction

Les technologies sans fil connaissent ces dernières années un essor prodigieux, ce qui a favorisé une utilisation massive d'appareils mobiles tels que les téléphones intelligents, les ordinateurs portables etc. Ces technologies ont permis la mise en place de réseaux de télécommunications sans fil à large bande avec une large couverture comme les réseaux maillés sans fil (RMSF). En phase de recherche depuis quelques années, les RMSF sont une nouvelle classe de réseau sans fil. Comme leurs noms l'indiquent, ce sont des réseaux basés sur une ou plusieurs technologies sans fil telles qu'IEEE 802.11 (WLAN) et IEEE 802.16 (WIMAX). Ces réseaux ont une architecture maillée où tous les routeurs sont connectés de proche en proche sans hiérarchie centrale et où chaque nœud peut jouer le rôle d'émetteur, de récepteur ou de relai. Ainsi, chaque communication entre une source et une destination se fait à travers plusieurs sauts.

2 Présentation des réseaux maillés sans fil:

Les réseaux sans fil ont deux modes de fonctionnement:

- Le mode Infrastructure: avec ce mode, la communication est gérée par des points d'accès fixe. Lorsqu'un nœud désire envoyer des données, il les envoie au point d'accès qui, à son tour l'envoie au destinataire. Les communications entre routeurs ne se font pas directement et passent toujours par le point d'accès.
- Le mode Ad-Hoc: littéralement le terme "ad hoc" signifie "d'égal à égal". En effet, dans ce type de réseau tous les nœuds jouent le même rôle et sont tous mobiles. Il n'y a pas de point d'accès pour gérer le réseau, chaque nœud peut retransmettre les informations qu'il reçoit aux autres membres. La communication se fait sur plusieurs sauts.

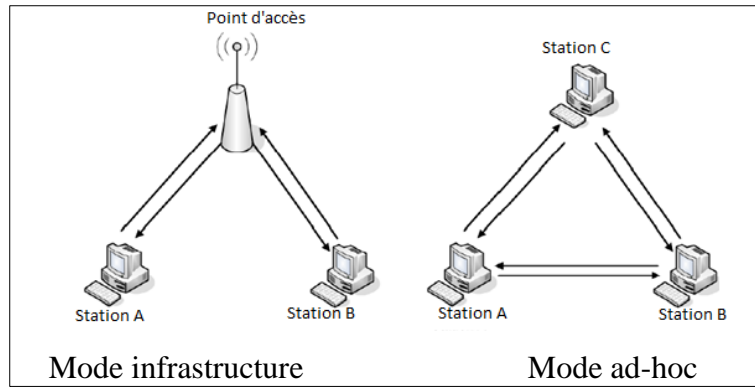


Figure 1.1 les modes de communication

Les RMSF peuvent être vus comme des réseaux ad hoc avec infrastructure. En effet l'architecture des RMSF est composée de routeurs maillés fixes qui forment l'épine dorsale (backbone) et de clients maillés mobiles (voir Figure 1.2). Lorsqu'un client veut communiquer avec un autre, il peut le faire directement ou passer par des routeurs maillés cela permet d'avoir plusieurs possibilités de routes. De ce fait la connectivité est maintenue en cas de panne routeur, ce qui rend cette architecture flexible.

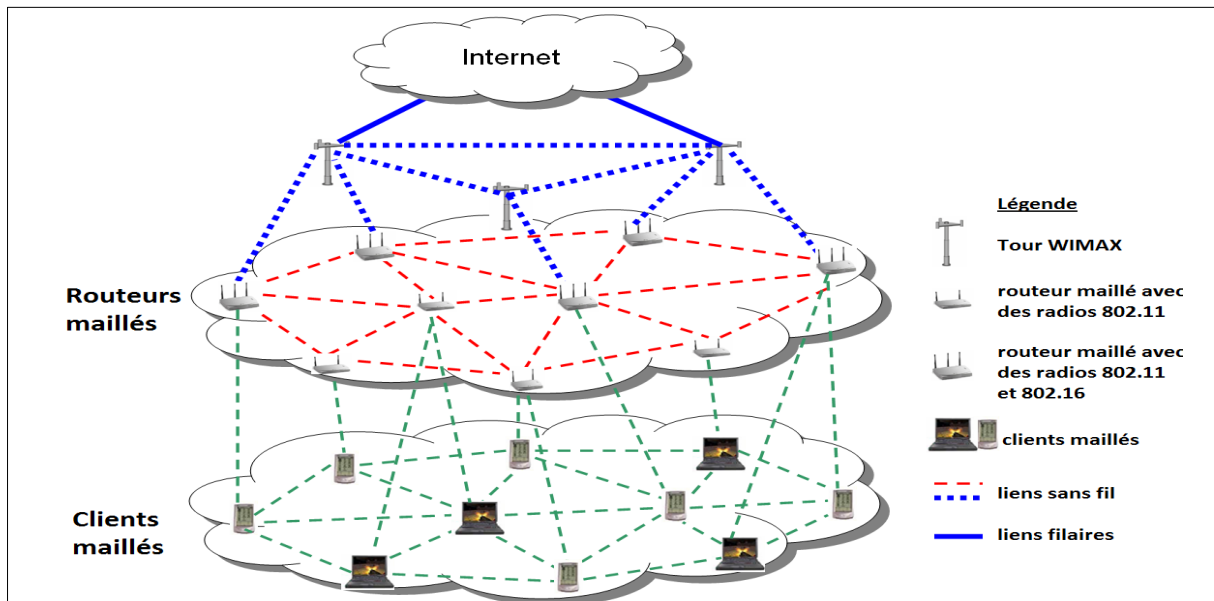


Figure 1.2 Architecture d'un réseau maillé sans fil

Un réseau maillé sans fil est un ensemble des équipements informatiques sans fil (possèdent un ou plusieurs interfaces sans fil) interconnectés de proche en proche sans hiérarchie centrale, formant une structure de filet. Les nœuds du réseau maillé sans fil sont capables de se configurer et s'organiser dynamiquement avec la possibilité de l'établissement et le

maintien automatique des connexions et la déconnexion de relais. Comme il est montré dans la figure (Figure 1.2), la communication entre les nœuds est basée sur le principe de multi-sauts, d'où plusieurs nœuds intermédiaires participent intelligemment dans la retransmission des informations jusqu'à destination. C'est un réseau qui s'étend en fonction du nombre de participants.

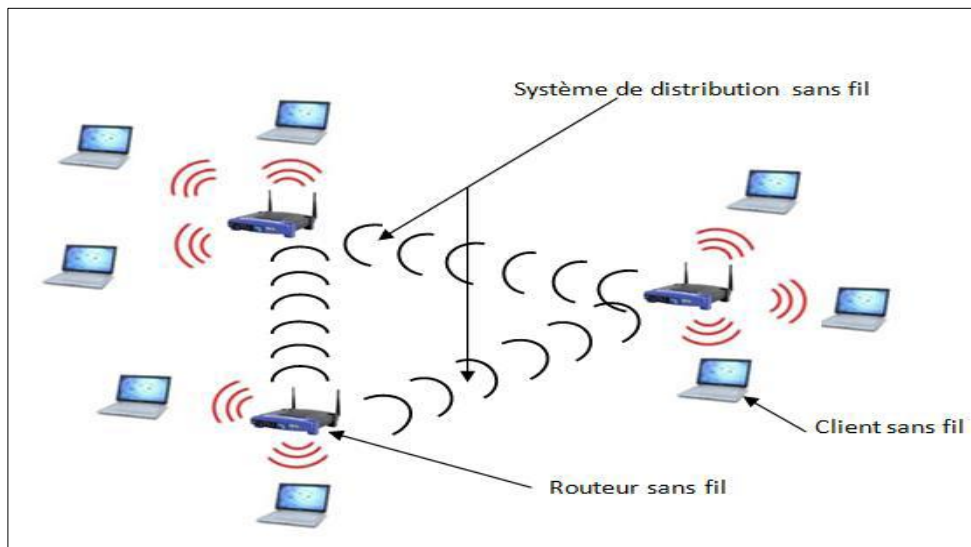


Figure 1.3 Réseau maillé sans fil WMN

3 Caractéristiques des réseaux maillés sans fil

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

1. La mobilité : La mobilité dans les réseaux mesh varie selon le type de nœud :

Les nœuds routeurs (WMRs : Wireless mesh router) ont une mobilité réduite. Les nœuds clients peuvent être stationnaires ou mobiles (PC portable, PDA, Pockets PC, téléphone mobile,...).

2. Un réseau en multi sauts : Deux nœuds qui ne sont pas liés directement peuvent communiquer par l'intermédiaire des nœuds qui assurent le routage saut par saut. Cette caractéristique permet à un nœud d'atteindre la totalité des nœuds du réseau.

3. Propriété et responsabilité partagées: L'appartenance du réseau Mesh est partagée au sein des adhérents du réseau, donc la gestion du réseau est assurée par la totalité des nœuds.

4. Divers types d'accès : Les réseaux mesh offrent évidemment la connexion entre les nœuds du réseau, en plus ils donnent la possibilité de faire des connexions aux autres réseaux, ce qui permet aux adhérents du réseau de bénéficier des nouveaux services.

5. Compatibilité et interopérabilité : Les réseaux mesh basés sur les technologies IEEE802.11 donnent la possibilité de supporter les clients conventionnels Wifi ainsi que supporter la technique de maillage. Ainsi qu'ils doivent inter-opérer avec d'autres technologies sans fil comme le Wimax, le Zigbee.

6. La contrainte d'énergie dépend du type de nœud : Le problème d'énergie n'est pas posé pour les mesh routeurs par ce qu'ils sont branchés aux ressources énergétiques, par contre les clients mobiles souffrent toujours de ce problème.

7. Plusieurs interfaces de transmission radio: Les mesh routeurs sont dotés de deux types d'interfaces de transmission : un pour les transmissions inter-mesh routeurs et l'autre pour les transmissions mesh routeur- clients, par contre les clients sont dotés d'une seule interface de transmission utilisée pour les transmissions inter client ou client-routeur. Voir figure (Figure 1.2).

8. Plusieurs fonctionnalités des routeurs : En plus de la tâche principale d'un routeur qui est le routage, certains routeurs sont chargés de fonctions supplémentaires (le rôle d'une passerelle, pont).

4 Objectifs des réseaux maillés sans fil

En plus des objectifs classiques d'un réseau informatique sans fil, les réseaux maillés sans fil sont prévus pour résoudre les problèmes liés aux réseaux ad hoc classiques, ainsi que pour améliorer leurs performances, avec le maintien de leurs avantages, tels que:

- La consommation énergétique.
- La qualité de service.
- La robustesse et la stabilité.
- La diminution de l'interférence.
- Interopérabilité et compatibilité : la possibilité d'établir des connexions aux différents réseaux (notamment internet).
- Capacité : augmenter la quantité du trafic écoulee par le réseau dans une période donnée.
- Connexion des endroits inaccessibles où le câblage est difficile à réaliser.
- Elimination du câblage: la couverture d'une zone géographique étendue sans recours à l'utilisation de câbles.

5 La transmission dans les WMNs :

5.1 Les technologies de transmission Mesh :

Les réseaux Mesh permettent d'intégrer plusieurs technologies sans fil, offrant ainsi un accès vers Internet ou vers différents types de réseaux.

5.1.1 Le standard IEEE 802.11s :

Les produits de réseau maillé sans fil précédemment diffusés sous des normes propriétaires ont commencé à converger sous la bannière de la Wi-Mesh Alliance et de la norme 802.11s proposée. IEEE 802.11s a été créé en Janvier 2004 pour offrir les fonctionnalités du maillage aux architectures et protocoles de la famille IEEE 802.11. 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. Cette norme permet à la fois les réseaux ad hoc maillés sans fil et les réseaux avec infrastructure maillés sans fil, et définit les protocoles de routage nécessaires au bon fonctionnement du système. La sécurité pour la norme proposée comprend la définition de la 802.11i à laquelle il est ajouté des améliorations pour remédier aux problèmes de remise à la clé et d'authentification.

5.1.2 Le standard IEEE 802.15.5 :

C'est un standard qui a pour objectif l'introduction de la technologie mesh au niveau des réseaux sans fil personnels WPAN, ce protocole vise à définir et à développer les mécanismes qui doivent être présents au niveau des couches physiques et MAC pour pouvoir mettre en œuvre la technologie Mesh dans les WPANs. Le standard IEEE 802.15.5 donnera naissance à des réseaux sans fil personnels qui offrent des débits plus importants et garantissent des transmissions à des distances plus longues. En outre, les WPANs basés sur la technologie Mesh vont économiser la consommation des batteries des équipements par rapport aux WPANs traditionnels en minimisant les retransmissions.

5.1.3 Le standard IEEE 802.16a :

Le standard IEEE 802.16 visait à résoudre le problème de l'accès sans fil à large bande dans les réseaux sans fil métropolitains. Il opère dans la bande de fréquence de 10 à 60 GHz et utilise une architecture point à multipoint (voir la Figure 1.4), dans cette dernière, une station de base (BS) sert plusieurs clients. Dans la bande de fréquence de 10 à 60 GHz, les communications entre la station de base et les clients doivent se faire à vue directe, donc l'existence d'un obstacle entre la station de base et le client conduit automatiquement à la perte d'information. Par conséquent, ce mode de communication est difficile à mettre en œuvre dans les zones urbaines.



Figure 1.4 Architecture point à multipoint

Le standard IEEE 802.16a a été introduit pour résoudre ce problème. Il opère dans des fréquences plus basses (2 à 11 GHz). Cette plage de fréquences n'exige pas l'acquisition d'une licence pour l'exploiter et peut fonctionner même avec la présence d'obstacles. L'IEEE 802.16a permet aussi la communication inter-clients sans passer obligatoirement par la station de base. (Voir la Figure 1.5).

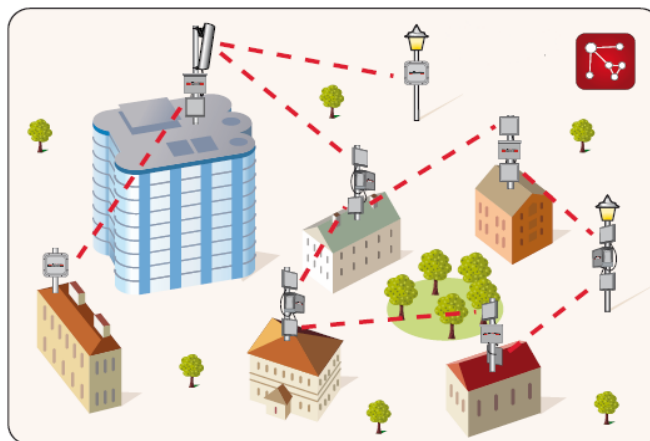


Figure 1.5 Architecture mixte PMP et Mesh

5.2 Les techniques de transmission

5.2.1 La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) :

La technique OFDM est une modulation multi porteuses, son principe est de diviser la bande passante en tranches appelées sous-canaux, tel que chaque sous canal est utilisé comme un support de communication entre deux nœuds. Cette technique est implémentée au niveau de points de maillage (mesh point) du réseau mesh. Donc un Mesh point équipé de plusieurs

sous-canaux de transmission possède plusieurs interfaces logiques, ce qui diminue l'interférence et augmente la capacité d'un mesh point, et par conséquent il augmente la capacité du réseau. En plus, l'utilisation de la technique OFDM permet de créer des sous réseaux virtuels dont les nœuds utilisent le même sous canal (voir la Figure 1.6), ce qui introduit la flexibilité au niveau de l'architecture du réseau.

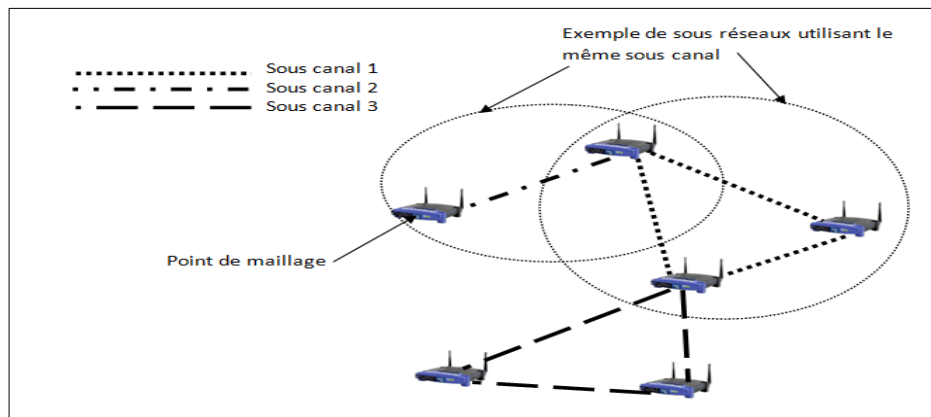


Figure 1.6 Les sous réseaux créés par la technique OFDM

5.2.2 Les systèmes à antennes multiples MIMO (Multiple Input- Multiple Output) :

Vu le déploiement et le succès des réseaux sans fil en général, l'appétit de consommation de ses ressources est augmentée. Les systèmes MIMO sont apparus pour pouvoir fournir des capacités dans le côté transmissions, ils permettent d'offrir des débits importants par rapport au mode de transmission classique, et proportionnel au nombre d'antennes utilisées. Le principe des systèmes MIMO est de doter les nœuds du réseau par plusieurs antennes, ces antennes sont utilisées lors de l'émission et la réception de données. Comme il est montré dans la figure (Figure 1.7), l'émetteur transmet simultanément plusieurs flux de données par le biais de ses antennes (un flux par antenne). Le récepteur capte par ses antennes des versions transformées et indépendantes du même signal émis, puis il combine ces signaux pour que le signal résultant a une variabilité d'amplitude plus faible que le signal capté par une antenne. Les WMNs ont exploité cette nouvelle technologie afin de satisfaire les besoins de ses clients dans les meilleures conditions (débit et délai de transmission). Puisque le BackBone sans fil du WMN est utilisé comme dorsale sans fil, chargé d'assurer la communication entre les clients, et aussi la connexion des clients à l'Internet, les systèmes MIMO sont implémentés au niveau de la couche physique de ces Nœuds (WMRs).

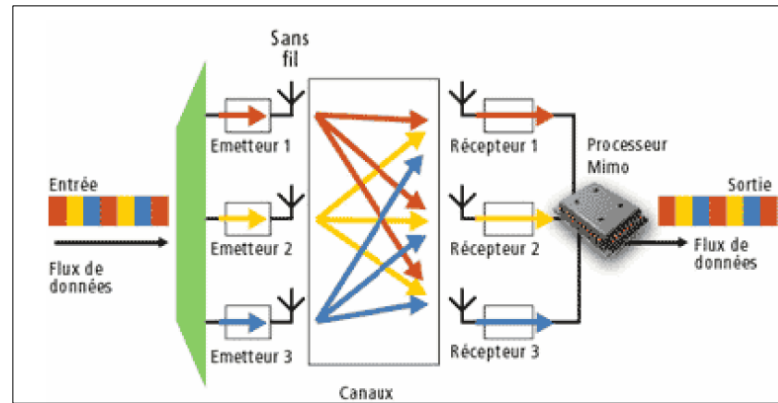


Figure 1.7 Système de communication MIMO

5.3 Protocoles d'accès au medium

Il est évident que les performances du réseau maillé deviennent plus médiocres lorsque la taille du réseau devient de plus en plus importante, ainsi que le trafic autour des passerelles devient encombrant, ce qui limite la capacité du réseau. Donc l'utilisation des protocoles d'accès au médium est nécessaire.

5.3.1 CSMA/CA : accès multiple avec écoute de porteuse/évitement de collision :

Chaque nœud du réseau possède une zone d'émission et une zone d'interférence, lorsqu'un nœud établit une connexion avec l'un de ses voisins, les autres nœuds situés dans sa zone d'interférence doivent cesser toute activité de transmission sous peine de brouiller la communication. Si un nœud A veut envoyer des paquets à un nœud B alors : B doit se trouver dans la zone de couverture de A. Tous les nœuds situés dans la zone d'interférence de A doivent se taire, ce principe peut se concrétiser par les étapes suivantes : - Si un nœud A souhaite émettre des paquets, il écoute d'abord le réseau. - Si dans sa zone de couverture une transmission est en cours, la transmission est différée. - Sinon (le médium est libre) le nœud A tire un temps d'attente aléatoire DIFS (Distributed Inter Frame Space) et attend que celui-ci s'écoule. Les nœuds situés dans la zone de couverture de A et qui souhaitent aussi émettre des paquets feront la même tâche. Le premier nœud ayant fini d'attendre possède le droit d'émettre, les autres suspendent l'écoulement de leurs temps respectifs.

- Le nœud sélectionné 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.
- Si la destination est libre (non brouillée par d'autres transmissions), elle répond par un message CTS (Clear to Send) signifiant qu'elle est prête pour recevoir, donc l'émetteur commence le transfert des données.
- 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 bien transmises. Et l'opération peut se commencer au début. Durant tout ce temps (du RTS à l'ACK) les autres nœuds qui entendent successivement ces messages doivent cesser toute communication.

5.3.2 TDMA (Time Division Multiple Accesses):

TDMA est une technique d'accès au médium permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal sans interférence, cette technique consiste à diviser le temps disponible entre les différents utilisateurs en petit intervalles, appelés slots. Ainsi, chaque utilisateur émet sur des intervalles de temps différents. Il faut noter que dans cette technique on ne trouve pas la notion d'écoute du canal, un nœud émet directement si son slot est arrivé. Pour éviter les collisions, une forte synchronisation entre les utilisateurs est obligatoire.

5.3.3 Protocoles Mac Hybride CSMA/ TDMA :

Ce protocole consiste à combiner les deux techniques CSMA et TDMA afin de profiter de leurs avantages : la simplicité de CSMA et son efficacité dans le cas d'un faible trafic et l'utilisation optimale de la bande passante de TDMA dans le cas d'un trafic important. Dans les réseaux maillés les nœuds sont divisés en deux catégories :

- 1- Nœuds situés au voisinage de degré déterminé (k) de la passerelle (où le trafic est important) : utilisent le protocole TDMA.
- 2- Le reste de nœuds (où le trafic est faible) : utilisent le protocole CSMA/CA.

6 Classifications des réseaux maillés sans fil

6.1 Selon le type maillage

6.1.1 Maillage total :

Dans ce type de réseau, tous les nœuds sont dans la portée de tous, où chaque nœud du réseau est connecté avec tous les autres nœuds (voir la Figure 1.8), donc si le réseau contient N nœuds, alors chaque nœud possède $N-1$ connexions directes (voisins à un saut).

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

Inconvénients : La zone de couverture du réseau ne peut pas dépasser la zone de couverture d'un nœud, en plus le problème d'interférence, et de nœud exposé.

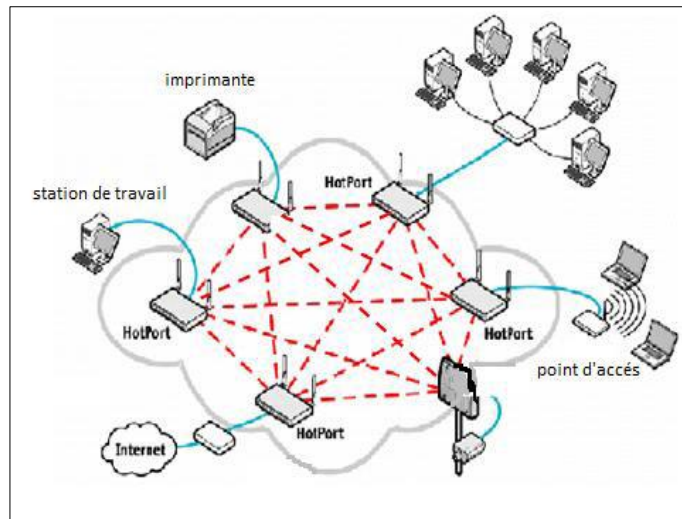


Figure 1.8 Maillage total

6.1.2 Maillage partiel :

Les nœuds sont connectés entre eux formant un graphe connexe (voir la Figure 1.9), tel que chaque nœud peut communiquer avec les autres comme suit :

- Directement s'il s'agit d'une communication avec les voisins de type un saut,
- Indirectement (saut par saut) s'il s'agit d'une communication avec le reste des nœuds,

Avantages : - La possibilité d'extension de la zone de couverture.

- La diminution du problème d'interférence et du nœud exposé.

Inconvénient :

- Problème de routage : la nécessité d'utiliser un protocole de routage.

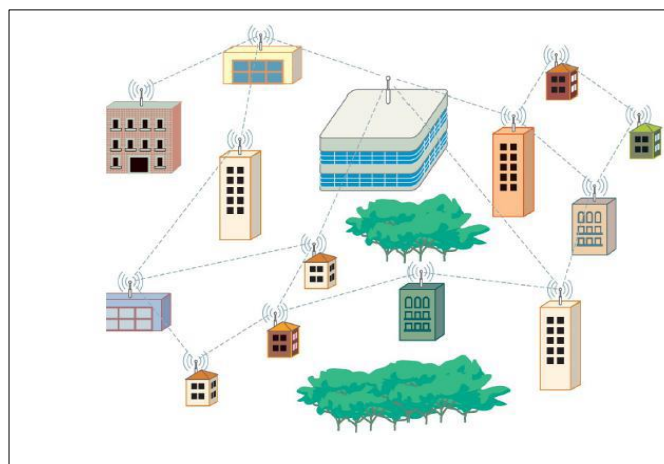


Figure 1.9 Maillage partiel

6.2 Selon l'architecture :

Il existe trois architectures de réseaux Mesh présentés ci-après:

6.2.1 Maillage utilisateurs :

Les terminaux des utilisateurs servent de routeurs répéteurs à leurs voisins, qui à leur tour rempliront le même rôle, et ainsi de suite. Le déploiement de réseaux maillés au niveau des utilisateurs nécessite une masse critique des usagers et des antennes de base pour assurer le bon fonctionnement. Ce type de maillage constitue un réseau égale à égale multi-sauts, utilise généralement un seul type d'interface radio, (voir la Figure 1.10).

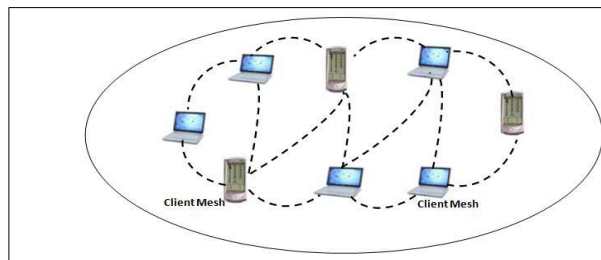


Figure 1.10 Maillage utilisateurs

6.2.2 Maillage routeurs :

Dans ce type, les nœuds sont des nœuds d'accès ou des nœuds clients. En effet, le maillage se fait au niveau des routeurs **Wifi**. Les nœuds routeurs (WMR : *Wireless Mesh Router*) forment le *backbone*, ils sont fixes ou d'une mobilité très réduite, ils n'ont pas de contraintes d'énergie, et permettent de maintenir la connectivité entre différents clients. Un routeur maillé équipé d'une *Gateway* et d'un pont, peut intégrer des fonctionnalités d'accès à plusieurs réseaux assurant ainsi l'interconnexion entre eux. Les nœuds clients (WMC : *Wireless Mesh Client*) forment le réseau maillé client. N'importe quel équipement conventionnel peut être un client maillé (tel que les PC, *Notebooks*, ...). Ils peuvent être mobiles ou stationnaires, connectés de façon directe aux routeurs. La particularité du réseau maillé au niveau de l'infrastructure résulte dans la connectivité de réseaux sans fils dans de vastes espaces, où le collecte des points d'accès avec des réseaux filaires serait techniquement / économiquement impossible, comme par exemple dans une partie d'une ville, des ports de plaisance, des terrains de golf....etc.

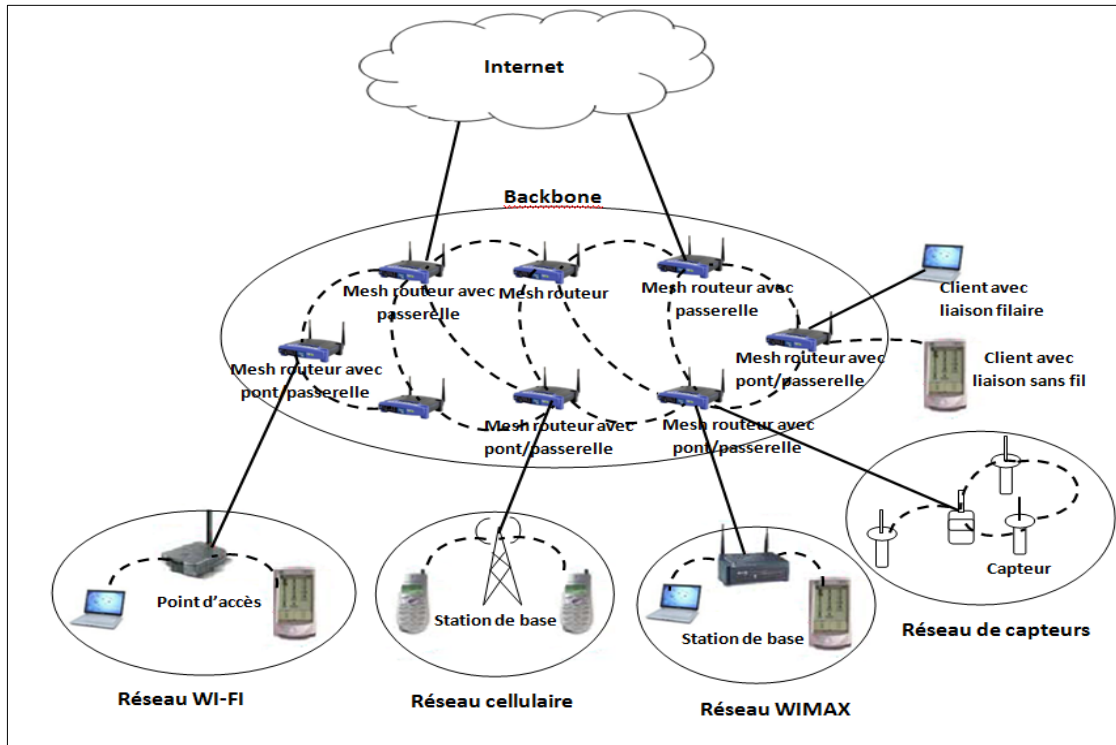


Figure 1.11 Maillage routeurs

6.2.3 Maillage hybride :

Ce type de maillage qui est montré dans la figure (Figure 1.12), combine les deux types de maillage cités précédemment. Tel que le maillage des routeurs assure la communication entre des clients généralement éloignés, ainsi que l'accès aux autres types de réseaux. Le maillage des clients assure la communication entre des clients situés dans un périmètre restreint sans déranger le backbone formé des routeurs. Cette combinaison donne plus de solutions dans le calcul des routes, ce qui augmente les performances du réseau.

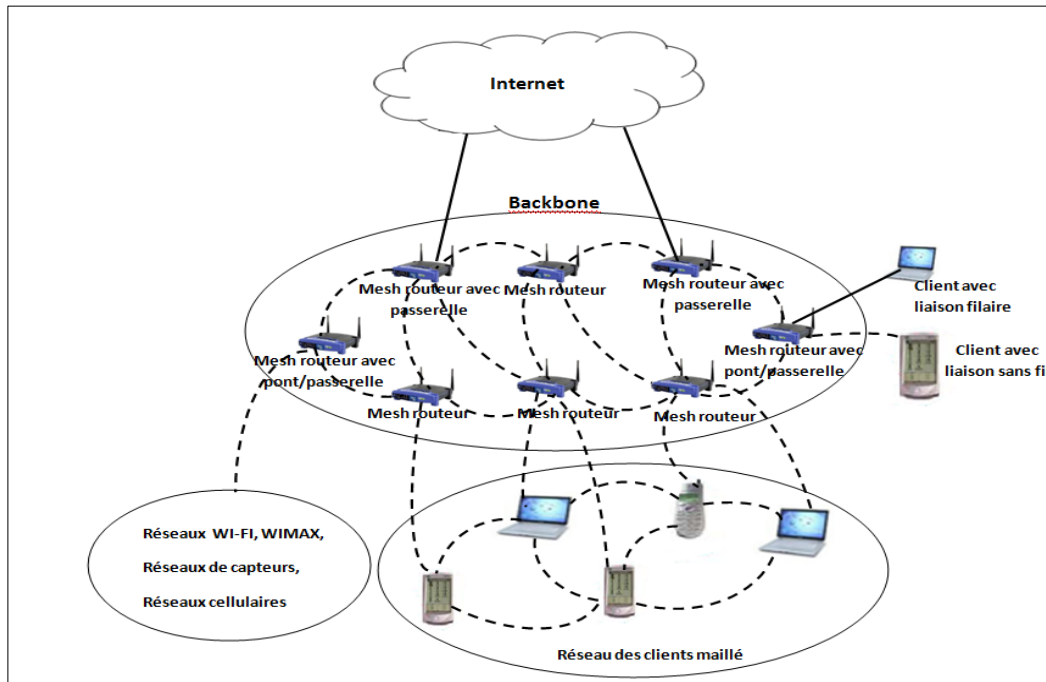


Figure 1.12 Maillage hybride

7 Applications des réseaux maillés sans fil

A l'origine, la technologie des réseaux maillés mobiles, ou Mesh, a été mise au point par les militaires pour déployer rapidement des réseaux de radiocommunication sur les champs de bataille. En dix ans, grâce aux recherches de l'agence de recherche militaire américaine et de l'INRIA (Institut de recherche en informatique et automatique) en France, ces réseaux sont devenus des réseaux de haut débit et ont fait leurs preuves, notamment en Irak.

Depuis peu, les applications civiles se multiplient tels que la domotique, les systèmes embarqués, les systèmes de surveillance, les systèmes de santé, le multimédia, etc.

1. Réseau Domestique (Broadband Home Networking): Les réseaux domestiques classiques (qui utilise la technologie IEEE 802.11) souffrent d'un problème de coût de déplacement des points d'accès filaires, d'où il faut faire une étude préalable de localisation des points d'accès pour assurer une couverture idéale dans tous coins de la maison, et éviter par conséquent le déplacement des points d'accès. Cette étude ne résout pas le problème définitivement, lorsqu'il y a des changements dans la structure de la maison (travaux de construction), ceci peut engendrer des points morts (non couverts), dans ce cas le déplacement des points d'accès est inévitable. La solution Mesh est capable de résoudre ce problème par l'utilisation des points d'accès sans fil à moindre coût avec une facilité de déplacement et ajustement.

2. Réseau de Communauté et de Voisinage (Community and Neighborhood Networking): Actuellement, la communication entre maisons se fait par l'intermédiaire du réseau internet. Un avantage de cette architecture est la couverture étendue du réseau. Par contre elle possède des inconvénients :

- N'importe quelle communication entre deux utilisateurs passe obligatoirement par internet.
- La nécessité d'une passerelle pour chaque maison.

La solution Mesh peut faire face à ces problèmes par l'installation des mesh routeurs pour chaque maison, ainsi que doter quelques maisons par des passerelles pour permettre l'accès aux autres réseaux. Dans ce cas les communications sont assurées par le backbone, ainsi que l'accès aux autres réseaux se fait seulement lorsqu'un besoin est manifesté par n'importe quel utilisateur, et pas forcément possédant une passerelle.

3. Réseau de Véhicules (Transportation System): La solution classique pour doter un train par un réseau informatique est d'installer une station de base dans chaque véhicule du train. La liaison filaire entre les stations de base pose un problème lors de la connexion / déconnexion des véhicules. La solution mesh permet de résoudre ce problème, tel que l'utilisation des mesh routeurs à la place des stations de base filaires offre une souplesse et une flexibilité dans la connexion / déconnexion des véhicules.

4. Infrastructure de connexion internet : Les fournisseurs Internet peuvent utiliser l'architecture Mesh comme infrastructure pour distribuer la connexion internet dans un périmètre étendu.

8 Avantages des réseaux maillés sans fil

- Elimination totale du câblage.
- Les réseaux maillés sont auto-régénérant : Le réseau reste fonctionnel dans le cas où un nœud tombe en panne, ou si une connexion devient inutilisable.
- Réseau à haut débit, par rapport aux autres réseaux mobiles.
- Auto Formation : Après avoir été configuré et activé, les routeurs décident seuls du chemin à prendre.
- Tolérance aux défauts : Si une route sur le réseau devient défaillante, le flux d'information n'est pas interrompu, le réseau va dynamiquement changer de route.
- Auto Curatif : Après une restauration ou un redémarrage, le routeur se reconnecte tout seul.

- Faible coût de l'infrastructure : Le matériel qui permet de créer un nœud maillé ne coûte vraiment pas cher, et est très facile à trouver.
- Le coût au fil du temps : Il n'y a pas de gros investissements pour faire démarrer un projet de réseau maillé, le coût est très faible au départ, il augmente à chaque nouvelle adhésion.
- Facilité de déploiement : Il est très simple de créer, configurer et déployer un nœud.
- La consommation énergétique : Contrairement aux réseaux ad hoc où le problème d'énergie représente un obstacle majeur pour le bon fonctionnement du réseau à cause des ressources énergétiques limitées de la majorité des nœuds ainsi que les tâches supplémentaires accomplies par ces derniers (routage, auto configuration). Dans les WMNs cet obstacle est diminué sensiblement par ce que les tâches de routage, auto-configuration sont assurées par les routeurs qui sont branchés aux ressources énergétiques, ce qui libère les nœuds clients.
- Qualité de service, Robustesse, connectivité et interférence : La pratique montre que la qualité de service des réseaux ad hoc est dégradée dans les chemins formés de longs sauts, ainsi que le réglage de la portée des nœuds est un problème difficile :

- Une portée réduite minimise le problème d'interférence, par contre cela menace la connectivité et la robustesse du réseau (mobilité aléatoire des nœuds).

- Une portée étendue assure la connectivité et la robustesse du réseau mais le problème d'interférence est posé.

Contrairement dans les WMNs où les routeurs sans fil sont placés avec des distances réduites, avec des portées réduites, donc les routes proposées sont formées de sauts de courte distance, ce qui assure une qualité de service idéale, et économise l'énergie, ainsi que le problème d'interférence est réglé, en plus la connectivité du réseau n'est pas menacée par ce que les routeurs sans fil ont une mobilité réduite.

- Capacité : Les nœuds dans les réseaux ad hoc classiques utilisent une seule interface de communication ce qui limite la capacité du réseau, par contre les WMNs utilisent généralement deux interfaces : une pour les communications inter routeurs et l'autre pour les communications de type client-routeur ou client-client, ce qui augmente sensiblement la capacité du réseau.

- Interopérabilité et compatibilité : Dans les WMNs quelques routeurs accomplis des tâches supplémentaires (passerelle, pont) ce qui permet l'accès aux autres types de réseaux.
- La couverture étendue.

9 Les challenges des réseaux maillés sans fil

Grace à leurs caractéristiques, les WMNs représentent une solution idéale et prometteuse. Elle offre des avantages intéressants par rapport aux autres réseaux mobiles. D'autre part, les exigences et les besoins des utilisateurs augmentent et évoluent. Ce qui oblige les WMNs à améliorer leurs performances pour convoyer ce déploiement. Le débit, le temps de latence, la sécurité sont des vrais challenges.

Le débit : la transmission des données saut par saut dégrade le débit (surtout lorsque le nombre de sauts est élevé).

Le temps de latence : le délai de transit augmente avec l'augmentation du nombre de sauts, les effets du temps de latence dépendent de l'application.

La sécurité : les réseaux mesh comme toutes les autres catégories des réseaux sans fil souffrent des problèmes de sécurité, ces problèmes sont hérités des propriétés du medium de transmission lui-même et des réseaux sans infrastructure fixe. Parmi les problèmes liés au medium on peut citer les écoutes clandestines, les usurpations d'identité, les vols de session en cours, les faux points d'accès. L'absence d'infrastructure fixe rend le routage particulièrement vulnérable, ainsi que l'absence d'une structure de confiance complique la gestion des clés publiques et privées et la gestion des certificats.

Distribution des adresses IP : la distribution des adresses IP est essentielle dans les réseaux mesh, le DHCP dans les éventails IP privés fonctionne, mais le problème qui se pose c'est lorsque un réseau mesh 1 rencontrera un autre réseau mesh 2.

Connectivité en milieu non urbain : assurer en plus de l'interconnexion entre les nœuds, la connexion aux autres réseaux (internet) dans des zones où la connexion filaire n'existe pas (zone rurale, désert, océan,...)

Expérimentation : il y a plusieurs choses qui non pas encore été expérimentées (échelle, stabilité,...) et qui ne peuvent être analysées en laboratoire.

10 Conclusion

Les WMNs est une solution prometteuse pour un déploiement à faible coût, efficace et une couverture étendue, elle permet à un utilisateur d'atteindre rapidement la couverture géographique de son réseau, ainsi d'offrir l'accès aux différents services situés sur d'autres

réseaux (internet). Les entreprises et les établissements sont motivés le jour après l'autre d'utiliser cette technologie.

L'un des facteurs clé qui à contribuer de façon directe sur le déploiement des WMNs est qu'ils utilisent des composant logiciels (protocoles) et matériels disponibles déjà sous forme de réseaux ad hoc. Mais il faut faire attention : un réseau Mesh n'est pas un réseau ad hoc, d'où plusieurs efforts et recherches sont en cours pour réinventer ou adapter ses composants avec les réseaux Mesh. L'un de ses composants est le routage, qui représente une pierre angulaire pour les WMNs. Donc l'adaptation et la rénovation des protocoles de routage est indispensable. Les propriétés des WMNs seront prises en considération dans le routage, qui est notre prochain chapitre.