

## *Les Remerciements*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à l'ensemble des personnes de près ou de loin qui m'ont soutenu et permis de réaliser ce travail.*

*Pour commencer, je souhaiterais remercier mon encadreur TAG S AMIR qui m'a aiguillé tout au long de ce travail par son expérience et ses connaissances.*

*J'exprime ma gratitude à tous les enseignants qui nous ont permis d'accroître notre niveau de connaissances et notre capacité d'analyse.*

*Je tiens aussi à remercier ma chère famille, surtout mes parents qu'ils m'ont toujours encouragé.*

*Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Safim belkadi*



## *Les Remerciements*

*Pour commencer, je veux adresser mes remerciements à mon directeur de mémoire, Tag Samir, pour sa grande disponibilité et ses encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire.*

*Je remercie également tous les enseignants de département informatique pour son aide précieuse.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à mes collègues pour la qualité de leur travail et leur bonne humeur à toutes soutenances.*

*Abaidia Abdelmadjid*



# TABLE DES MATIÈRES

<b>Remerciements.....</b>	<b>1</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>7</b>
<b>1- État de l'art.....</b>	<b>8</b>
1-1 Introduction.....	8
1-2 Le développement des réseaux locaux sans fil.....	8
1-3 Variables et données du problème.....	8
1-4 Dimension du problème .....	9
1-5 Critères de planification.....	9
<b>2- Problématique .....</b>	<b>11</b>
<b>3- Notions de base –WIFI- .....</b>	<b>12</b>
3-1 Qu'est-ce que le Wi-Fi?.....	12
3-2 Les Composantes d'un réseau Wi-Fi.....	12
3-2-1 Les points d'accès (AP).....	12
3-2-2 Les cartes Wi-Fi.....	13
3-2-3 Les antennes.....	14
3-3 Architecture des réseaux Wi-Fi.....	16
3-3-1 le mode infrastructure.....	16
3-3-2 le mode ad hoc.....	18
3-3-3 Le mode hybride.....	18
3-4 Le standard IEEE 802.11.....	19
3-5 Les différentes normes Wi-Fi.....	19
3-6 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).....	23
<b>4- La technologie employée par le Wi –Fi.....</b>	<b>25</b>
4-1 Les canaux de transmission.....	25
4-2 Les technologies de transmission.....	25
4-2-1 La technique à bande étroite.....	26
4-2-2 Les techniques d'étalement de spectre .....	26
4-2-3 La technique de saut de fréquence.....	26
4-2-4 Etalement de spectre à séquence directe.....	27
4-2-5 La technologie infrarouge.....	27

4-3	Les techniques de modulation.....	28
4-4	Optimisations.....	28
<b>5-</b>	<b>Recherche tabou (TS) .....</b>	<b>30</b>
5-1	Historique et principes.....	30
5-2	Concepts de base.....	30
5-3	Liste tabou.....	30
5-4	Critère d'aspiration.....	30
5-5	Diagramme de l'algorithme Tabou.....	32
<b>6-</b>	<b>Le déploiement de réseaux sans-fil.....</b>	<b>33</b>
6-1	Variables et paramètres du problème de planification de WLAN.....	33
6-1-1	Le nombre de points d'accès.....	33
6-1-2	La position des AP.....	33
6-1-3	Les paramètres antennaires.....	33
6-2	L'objectifs de la planification.....	34
6-2-1	Les objectifs de couverture radio.....	34
6-2-2	Définition de la couverture radio.....	34
6-2-3	Les objectifs de recouvrement et d'interférences.....	34
<b>7-</b>	<b>Métaheuristiques - méthode tabou.....</b>	<b>35</b>
7-1	Intensification.....	35
7-2	Diversification.....	36
<b>8-</b>	<b>Heuristique basée sur la recherche tabou.....</b>	<b>37</b>
8-1	Recherche d'une solution initiale IH.....	37
8-2	Algorithme IH.....	40

8-3	Algorithme Tabu Search TS.....	42
8-4	Description des Concepts liés au TS.....	42
8-4-1	Structure du voisinage.....	42
8-4-2	Espace des solutions.....	42
8-4-3	Déplacement Tabou.....	42
8-4-4	Critère d'aspiration.....	42
8-5	Détail de l'algorithme TS.....	43
	<b>Conclusion.....</b>	<b>45</b>

## **Résumé :**

L'objectif du travail présenté dans cette manuscrite est de proposer une stratégie de planification automatique des réseaux locaux sans-fil de type WiFi en environnement Indoor. Il s'agit de rechercher La localisation des points d'accès (AP) au réseau garantissant une certaine qualité de service. La qualité d'une telle stratégie dépend en grande partie du La puissance utilisée pour chaque (AP) et de couverture radio utilisé (Le canal utilisé par chaque AP). La première partie de ce travail a donc été consacrée aux notions de base du réseau locale sans fils wLAN. La seconde partie Une vue d'ensemble sur la méthode utilisé pour résoudre notre problème avec la recherche tabou (TS). Puis la troisième partie se concentre sur le problème de planification Wlan. Des critères de couverture radio, de minimisation des points d'accès, d'optimisation et affectation des canaux pour l'amélioration des services en assurent le minimum de puissance de signale pour la meilleure mobilité d'usagés. Un heuristique de recherche basée sur une approche Tabou a été développée. Ce travail a mis en évidence les avantages d'une recherche taboue car elle permet d'obtenir plusieurs solutions associées au problème traité. Chaque solution représente alors un compromis différent entre les critères du problème à résoudre. Le choix de la solution à déployer se fait à posteriori dans l'ensemble limité des 'bonnes' solutions.

# Introduction Générale

Le besoin de communiquer sans fil s'est porté sur les réseaux informatiques pour l'échange de données. Les réseaux locaux sans fil, ou WLAN ont pénétré dans tous les lieux publics et privés, Ces réseaux supportent de très hauts débits et permettent d'avoir accès à des services évolués (Internet, TV, téléphonie-IP...), tout en libérant de la nécessité de se connecter physiquement au réseau local dans un bâtiment, apportant ainsi mobilité et flexibilité.

Avec ces réseaux, nous retrouvons les mêmes exigences de qualité de service et les mêmes difficultés techniques liées à la maîtrise du médium de communication mais pour un cadre de déploiement à l'intérieur des bâtiments.

Le grand enjeu scientifique et technique actuel des réseaux locaux sans fil est de réussir leur déploiement à grande échelle.

L'ensemble de ces éléments conduit à des problèmes complexes dont la résolution nécessite des approches performantes basées sur des méthodes d'optimisation.

L'objet de cette thèse est de répondre à ces problèmes en proposant un modèle et un algorithme heuristique recherche tabou pour optimiser la planification des réseaux WLAN à grande échelle.

La planification consiste d'une part à positionner et à paramétrer des points d'accès dans un bâtiment et d'autre part à leur affecter un canal de fréquence porteuse afin d'offrir un accès sans fil au réseau local.

Ce processus se réalise avec des critères de couverture radio pour avoir une connexion, de qualité de service pour avoir un débit, de continuité de service pour permettre la mobilité, tout en minimisant le nombre de point d'accès avec une bonne couverture.

La qualité de service est le critère le plus difficile à maîtriser. Elle demande une modélisation physique pointue et elle ne peut se faire que lorsque tous les paramètres du réseau sont connus.

les paramètres du réseau qui sont les inconnues du problème, sont majoritairement affectés en deux étapes successives : le placement et le paramétrage des points d'accès, puis l'allocation des fréquences. Chacun de ces deux problèmes est un problème combinatoire NP-difficile et demande donc des méthodes de résolutions appropriées.

Par contre, le déploiement de réseaux sans-fil présente des contraintes plus complexes à gérer pour obtenir des conditions de transmission optimales. La réception du message est tributaire de la qualité du lien radio qui elle-même est contrainte par la configuration de l'environnement (position et nature des murs, présence de meubles. ) et la position de l'émetteur. Il est clair que le choix de l'emplacement et des caractéristiques des émetteurs radio, compte tenu de la description de L'environnement, est primordial pour le bon fonctionnement d'un réseau sans-fil. Ce choix est le cœur du problème de planification radio traité dans ce manuscrit.

# 1- État de l'art

## 1-1 Introduction

Ce chapitre donne un aperçu le modèle, des outils et des méthodes utilisées pour traiter les problèmes de planification WLAN.

Après un bref examen de l'évolution actuelle de WLAN, nous évaluons la instances de dimension de problèmes que nous voulons résoudre. Ensuite , nous présentons les divers critères de planification qui ont été développés dans la littérature:

les critères de couverture, les critères de gestion des interférences et critères de capacité. Le problème de planification de réseau radio se compose d'un Par contre, une étape de mise en place et le positionnement des points d'accès, et d'autre part, l'attribution des fréquences des points d'accès. Nous passons en suite à l'algorithme et stratégie d'optimisation (recherche tabou TS) implémenté à résoudre ce problème. Enfin, quelques réflexions sur les déploiements réseaux opérationnels et de leurs modes d'évaluation sont menées.

En conclusion nous mettons en évidence les aspects qui semblent important de prendre en compte et refléter les faiblesses identifiées dans la littérature. ces propositions correspondent à l'orientation dans notre travail présenté dans les chapitres suivants.

## 1-2 Le développement des réseaux locaux sans fil

le problème de planification de réseau WLAN est de positionner et de configurer automatiquement les points d'accès sans fil dans un bâtiment pour offrir aux clients l' accès au réseau local avec une couverture désiré et la qualité de service nécessaire.

Outre la complexité de fournir la qualité de service (QoS Qualité de service) d'un réseau à partir des variables du problème (positions, paramètres, et la fréquence PA), le WLAN la planification du réseau fait face à plusieurs défis.

## 1-3 Variables et données du problème

- La localisation des points de demande.
- Le nombre maximum de stations dans chaque point de demande.
- La localisation des sites potentiels pour installer les PA.
- L'ensemble des différents niveaux de puissance que les PA peuvent utiliser.
- L'ensemble des canaux qui ne se chevauchant pas et que peuvent utiliser les PA.
- Le débit minimum requis pour chaque client.
- Le niveau minimal du rapport signal sur bruit nécessaire pour la réutilisation d'un canal.
- L'atténuation entre les clients et les PA.
- La fonction du débit minimal par station relativement au nombre de clients dans une cellule.
- La puissance minimale nécessaire à une association avec un PA.

## 1-4 Dimension du problème

Le problème qui se pose et qu'en va résoudre est NP-difficile. Il est donc consiste trouver un algorithme de complexité polynomiale pour trouver la meilleure solution. dans ce projet, nous utiliserons une approche heuristique (ou approximative).

Considérons un instant que les PA sont déjà installés dans le réseau et que la puissance de chacun est sélectionnée. Ainsi, dans cette situation, le problème de conception peut se réduire à un problème de coloration de graphe pour l'affectation des canaux. Comme ce problème est aussi NP-difficile, en va utiliser l'heuristique DSATUR .

En cherche la localisation des PA. En va commençait avec une localisation initiale. Nous proposent et implantent une heuristique de recherche avec tabous, notée TS, basé de celle proposée par Gendreau et al.(1999). Cette stratégie de résolution a été utilisée à plusieurs reprises dans la littérature pour la localisation d'éléments de réseaux.

## 1-5 Critères de planification

Divers critères peuvent être pris en compte et exprimés en termes de contraintes (à le respect obligatoire) ou en termes d'objectifs (optimisation).

- Les **critères de couverture** permettent d'évaluer si une zone est recouverte Par le réseau, c'est-à-dire si elle reçoit des signaux à des puissances suffisamment importantes pour établir une communication.
- Les **critères d'interférences** sont tous les indicateurs permettant d'évaluer l'impact des interférences dans un réseau. Cela peut simplement être le calcul des zones de recouvrement entre deux AP ou le calcul du rapport signal à bruit plus interférence avec allocation des fréquences pour les cas les plus évolués. La gestion des interférences est l'aspect difficile du problème de planification car il rend le problème chaotique : un petit changement dans le plan de fréquence a des conséquences sur toute la qualité de service du réseau. Contrairement au problème de couverture, le problème d'allocation de fréquence est difficilement décomposable.
- Les **critères de capacité** du réseau évaluent la capacité en débit ou en nombre de clients d'un AP ou du réseau.

**A partir de ces critères nous définit les notion suivante**

**Ensembles :**

- $I$  l'ensemble des points de demande (où  $n_i$  est le nombre maximum de stations dans le point de demande  $i \in I$ );
- $J$  l'ensemble des sites potentiels pour l'installation des PA;
- $P$  l'ensemble des puissances (en W) qui peuvent être utilisées dans les PA;
- $C$  l'ensemble des canaux qui peuvent être utilisés dans les PA.

**Variables :**

- $w_j$  variable 0-1 tel que  $w_j = 1$  si et seulement si un PA est installé au site  $j \in J$ ;
- $x_{ij}$  variable 0-1 tel que  $x_{ij} = 1$  si et seulement si le point de demande  $i \in I$  est associé au PA installé au site  $j \in J$ ;
- $y_j^p$  variable 0-1 tel que  $y_j^p = 1$  si et seulement si la puissance  $p \in P$  est utilisée au PA installé au site  $j \in J$ ;
- $z_j^c$  variable 0-1 tel que si et seulement si le canal  $c \in C$  est utilisée au PA installé au site  $j \in J$ .

## 2- Problématique

Dans le cadre de ce projet, on se propose de concevoir un programme informatique de planification des réseaux Wi-Fi en mode infrastructure. A ce titre, le logiciel devra être capable de calculer et de déterminer automatiquement:

1. La localisation des PA;
2. La puissance utilisée pour chaque PA;
3. Le canal utilisé par chaque PA

Et ce en tenant compte des contraintes de couverture complète et de débit minimal fixé pour toutes les stations, et aussi en optimisant le nombre de PA utilisés dans le réseau.

Le problème ainsi posé est un problème dit NP- Difficile pour lequel il est peu probable de trouver un algorithme de complexité polynomiale utilisable pour aboutir à la solution exacte. Dans ces conditions, le recours à des approches heuristiques est nécessaire afin de trouver des solutions approximatives satisfaisantes mais qui peuvent ne pas être optimales.

Dans notre cas, en considérant les données du problème relatives entre autres a la localisation des points de demande et des sites potentiels pour les PA, aux valeurs de débit minimum par client, d'atténuation des signaux et de puissance minimale nécessaire a l'association d'une station a un PA, on se doit de trouver une solution de départ en appliquant l'heuristique IH qui tient compte de toutes les hypothèses et contraintes du problème.

L'affectation des canaux aux différents PA de la solution initiale revient à un problème de coloriage de graphe qui est aussi NP- Difficile et une heuristique suffisante dite DSATUR sera utilisée à cet effet.

Enfin la recherche d'une meilleure solution se fera à l'aide d'une heuristique de recherche avec tabous, notée **TS**. Le principe général de la méthode est en partant d'une solution initiale quelconque, de prospecter en effectuant de petits déplacements dans l'espace des solutions dans le but et l'espoir de trouver une meilleure solution qui se rapproche le plus de la solution optimale. Une liste de déplacement interdits (tabous) est mise a jour a chaque itération afin d'éviter le retour vers des solutions déjà visitées.

## **3- Notions de base –WIFI**

### **3-1 Qu'est-ce que le Wi-Fi?**

Le WIFI (contraction de Wireless-Fidelity) est un acronyme « rattaché » à un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (**WLAN**).

Le principe de cette technologie est d'établir des liaisons radio entre, par exemple, des terminaux et des points d'accès pour se connecter sur un réseau local ou sur Internet. Dans la pratique, le WiFi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ainsi que des périphériques mobiles à une liaison haut débit ou à des appareils électroniques communiquant sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur, à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert.

### **3-2 Les Composantes d'un réseau Wi-Fi**

Les points d'accès ou des cartes clientes possèdent le même type d'éléments actifs Wifi : leur fonction principale est de convertir les données numériques provenant d'un réseau Ethernet en signaux analogiques destinés à l'antenne. C'est à son niveau que les protocoles de modulation/démodulation des signaux interviennent. En réception, il effectue le processus inverse consistant à décoder les signaux transmis par l'antenne en données IP pour le réseau. Les caractéristiques principales d'un élément actif sont sa puissance d'émission et sa sensibilité en réception (puissance minimale admissible pour interpréter les données et assurer la liaison), toutes deux exprimées en mW ou dBm. Sont réglables sur ce matériel Wi-fi le débit de liaison souhaité, parfois le niveau de puissance de sortie, ainsi que plusieurs protocoles liés à la sécurité et à l'identification des autres AP connectées.

#### **3-2-1 Les points d'accès (AP)**

Le rôle des points d'accès est similaire à celui que tient les hubs dans les réseaux traditionnels. Il permet aux stations équipées de cartes Wi-Fi d'obtenir une connexion au réseau. On parle alors d'association entre l'AP et chaque station connectée. Les trames d'information envoyées par un client sont ré émises par l'AP, ce qui permet à la station de joindre un autre client qu'elle ne peut pas forcément voir directement (éloignement, obstacle). Le support physique étant les ondes radio, on ne peut pas empêcher les stations non destinataires de recevoir les trames émises, d'où l'analogie avec le hub.

Les APs sont nécessaires lorsque le réseau sans fil fonctionne en *mode infrastructure*.

Ce sont en fait des boîtes qui contiennent une carte Wi-Fi comme on en trouve sur les stations, une ou plusieurs antennes et du logiciel embarqué dans une puce pour gérer tout cela. Le logiciel présent permet de fournir des services supplémentaires liés à la sécurité et l'identification des autres AP connectés. Il est possible de transformer un ordinateur équipé d'une carte Wi-Fi en point d'accès, par simple adjonction de programmes.



La norme Wi-Fi étant entièrement compatible avec la norme Ethernet des réseaux filaires, on a la possibilité de connecter un AP sur le réseau filaire. Cela permet d'étendre rapidement et à faible coût un réseau filaire déjà existant, de mettre un serveur accessible par les stations, de surfer sur Internet dans son jardin sans avoir à tirer un câble depuis son modem, de mutualiser une connexion Internet avec ses voisins, etc... On peut également relier des APs entre eux par des câbles (mais aussi par radio) pour étendre une zone de couverture (si on a un très grand jardin par exemple...).

Bref, comme vous l'aurez compris, il ne reste plus qu'à inventer les usages liés à la mobilité !

### 3-2-2 Les cartes Wi-Fi

Ce terme désigne les périphériques actifs wifi/antenne directement branchés à un ordinateur client. Ils jouent exactement le même rôle que les cartes réseaux traditionnelles à la différence près qu'on ne branche pas de câble dessus, puisque la liaison est assurée par radio.

Elles existent en trois formats.

#### PCMCIA

Il s'agit du format le plus répandu puisque ce format est spécifique aux portables dont les propriétaires étaient les premiers intéressés par la technologie sans fil.



#### PCI

C'est le format standard pour les ordinateurs de bureau mais les cartes restent au format PCMCIA. Il y a donc un adaptateur PCMCIA-PCI sur lequel est logée une carte PCMCIA ; le prix d'achat est donc légèrement supérieur aux modèles précédents.



#### USB

Ce format s'est rapidement popularisé pour sa simplicité d'utilisation et les constructeurs n'ont pas tardé à proposer également des cartes Wi-Fi à ce format.



### 3-2-3 Les antennes

L'antenne intégrée à l'AP ou à la carte WiFi peut être remplacée par une antenne externe plus puissante reliée par un câble d'antenne, la plupart du temps avec un parafoudre pour protéger l'appareil.

Le choix d'une antenne est important et doit être déterminé par le rôle qu'elle devra assurer, c'est à dire les interactions souhaitées avec les autres éléments WiFi distants. En fonction des caractéristiques du terrain et des zones à couvrir, il pourra par exemple être décidé de réaliser des liaisons point à point via deux antennes directionnelles ou utiliser un élément omnidirectionnel en cas de clients plus dispersés et rapprochés.

Il y a 3 grandes familles d'antennes :

#### ✓ Les omnidirectionnelles

Ce type d'antenne rayonne dans toutes les directions à la fois. Ce sont les modèles les plus chers car les plus complexes à réaliser. On doit les employer lorsque les stations peuvent être n'importe où par rapport à l'AP. En revanche, la distance maximale depuis l'AP reste limitée en comparaison des autres antennes

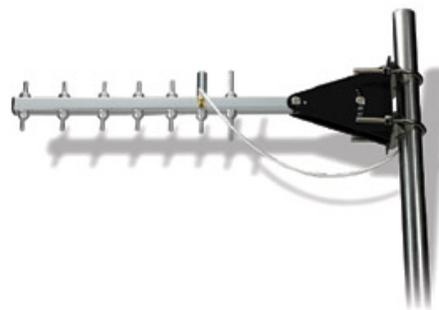


#### ✓ Les directionnelles

Ces antennes ont un fort gain, c'est-à-dire qu'elles peuvent capter un signal à plus grande distance qu'une antenne omnidirectionnelle, mais dans une zone très restreinte. En général, plus le gain est fort, plus la zone couverte est rétrécie mais on peut capter le même signal depuis un point encore plus éloigné.



type parabolique

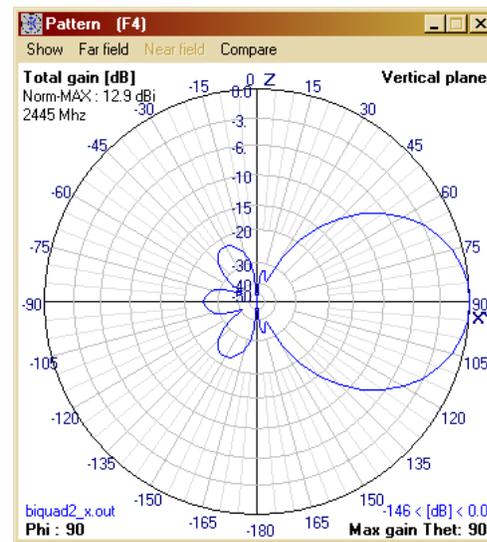
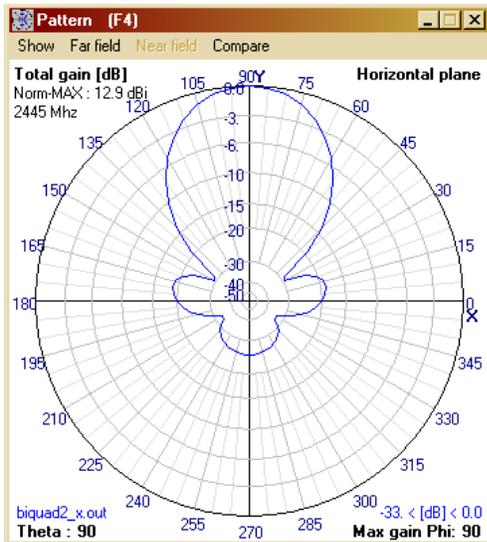


type yagi

Typiquement, les antennes directionnelles sont employées pour créer des liaisons point à

point, où seulement deux appareils Wi-Fi sont associés l'un à l'autre. Ce type de lien est nécessaire pour parcourir de longues distances (environ >500 m).  
 Pour évaluer les performances d'une antenne, on se base sur des abaques qui indiquent le gain en fonction de la direction.

Voici un exemple d'abaque (plans horizontal et vertical) :



Le terme dBi correspond au gain nécessaire à appliquer à l'antenne pour retrouver les caractéristiques d'une antenne isotrope parfaite - et théorique !- d'où l'appellation de gain isotrope équivalent.

### ✓ Les patches ou antennes sectorielles

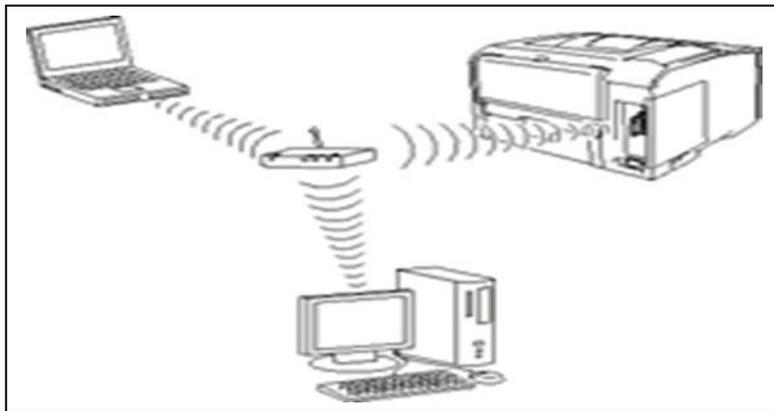
Il s'agit d'un compromis entre les deux types précédents. On les emploiera lorsque la zone à couvrir est relativement confinée (on peut la voir entièrement sans tourner la tête ou les yeux) mais elle peut être plus éloignée que pour une antenne omnidirectionnelle. L'angle d'ouverture est généralement de 60, 90 ou 120 °.



## 3-3 Architectures des réseaux Wi-Fi

Le principe de la technologie WiFi est d'établir des liaisons radio entre des équipements terminaux. Ces équipements peuvent être des stations et des points d'accès permettant de se connecter sur un réseau local, puis sur Internet. Il existe trois **modèles de déploiement** d'un réseau WIFI: ad hoc, infrastructure, et hybride.

**3-3-1 le mode infrastructure** où les éléments discutent autour d'un point d'accès central, appelé point d'accès (Access Point – AP) ou borne d'accès ou encore borne WiFi. C'est le mode à privilégier dans la plupart des cas, notamment pour fournir aux utilisateurs une mobilité au sein de locaux ou dans un périmètre prédéfini



Autrement dit, le mode infrastructure correspond à des stations Wi-Fi fédérées autour d'un AP et partageant un SSID commun. Il est possible d'utiliser plusieurs AP reliés entre eux par un système de distribution. La compréhension de cette définition nécessite de détailler plusieurs termes qui sont utilisés:

**-SSID : Service Set Identifier.** Le SSID est un code envoyé avec toutes les trames Wi-Fi à des fins d'identification. Ainsi, deux réseaux différents peuvent partager la même fréquence, s'ils n'ont pas le même SSID. C'est une chaîne de caractères. Deux équipements qui souhaitent communiquer doivent absolument avoir le même SSID.

**-BSS : Basic Service Set.** Cela peut être vu comme la zone couverte par le signal d'un point d'accès (AP). Toutes les stations se trouvant dans la zone géographique d'un BSS peuvent émettre et recevoir des trames de l'AP.

**-Beacon : balise .** C'est une trame envoyée régulièrement par l'AP pour signaler sa présence. Cela fonctionne sur le même principe que les radio- balises en aviation. Les

stations ont libre latitude sur la manière dont traiter l'information contenue dans ce beacon. En d'autres termes, tout point situé dans le BSS reçoit le beacon à intervalle régulier.

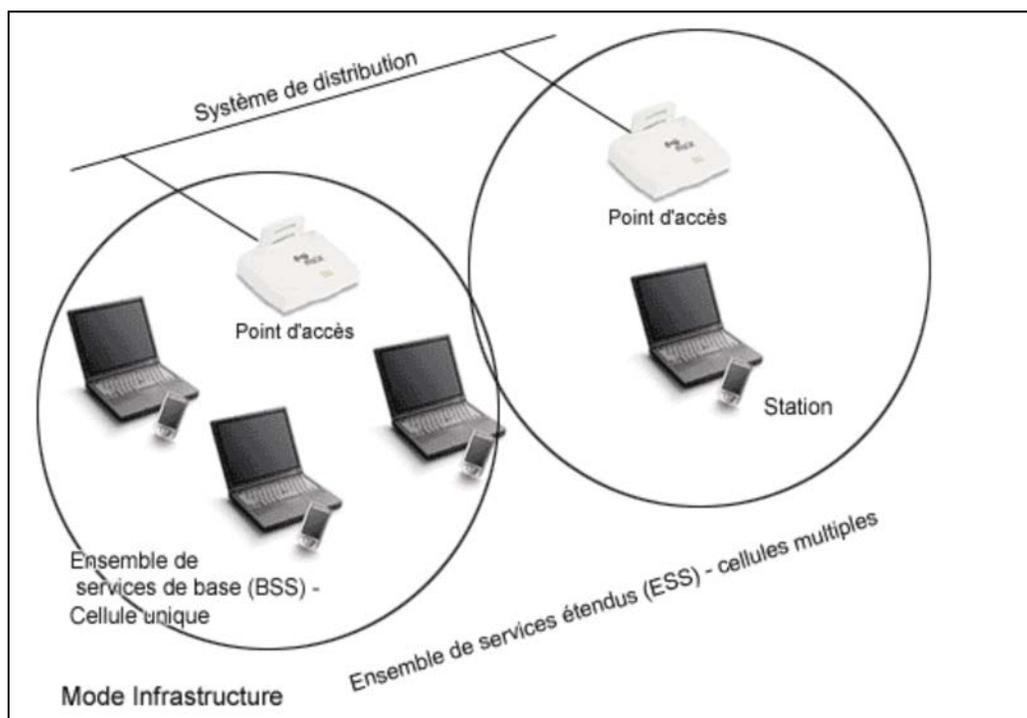
**-BSSID : Basic Service Set Identifier.** A ne pas confondre avec le SSID. Le BSSID correspond à l'adresse MAC de l'équipement Wi-Fi, et de fait, est un identifiant unique.

**-ESS : Extended Service Set.** Un ESS correspond à la réunion de plusieurs BSS qui sont reliés par un lien réseau (wifi ou filaire) et qui partagent le même SSID. Il est nécessaire de remarquer qu'ils n'ont pas à partager la même fréquence, c'est le SSID seul qui spécifie l'appartenance au même réseau.

**-DS :Distribution System.** C'est le lien réseau qui permet aux AP de communiquer entre eux. Généralement filaire, la littérature indique que l'on peut construire un DS également sur du Wi-Fi.

**-STA: station .** Cela correspond à tout matériel équipé d'une carte Wi-Fi autre qu'un AP. Il peut s'agir d'un PC avec une antenne wifi, mais également des PDA, des telephones wifi, ou de tout autre type d'équipement.

**Voici un schéma représentant en situation l'ensemble des notions définies ci-dessus:**



### **Connexion à un réseau Wi- Fi en mode infrastructure.**

La connexion d'une station à un AP s'effectue en deux phases. La première correspond à une phase d'authentification, la seconde à l'association.

**Authentification:** La station désirant entrer sur le réseau Wi-Fi doit s'authentifier sur

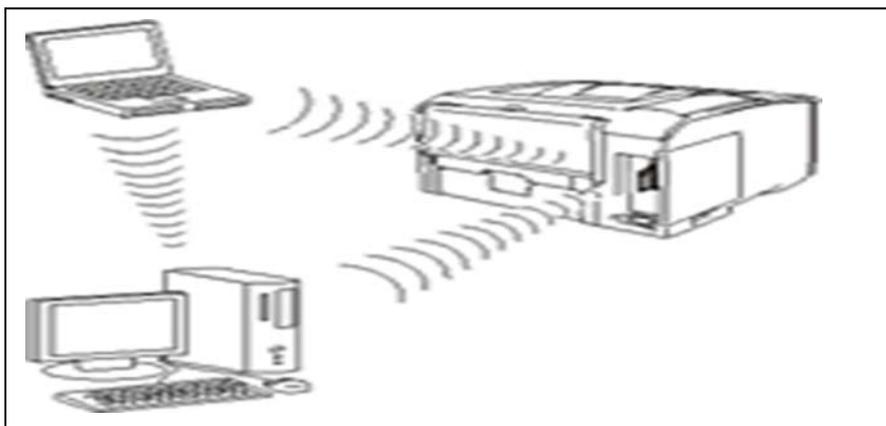
l'AP. Si le réseau est ouvert, cette phase est obligatoirement un succès. Les mécanismes actuels demandent un mot de passe,

**Association:** Une fois authentifiée, une station est associée et peut commencer à émettre des trames sur le réseau. L'AP relaiera ces informations aux destinataires concernés.

### Qu'est-ce que le roaming en wifi?

Le roaming, ou handover, ou encore appelé l'itinérance en wifi représente l'action qui consiste pour une station à changer de point d'accès (AP) sans perdre sa connectivité réseau.

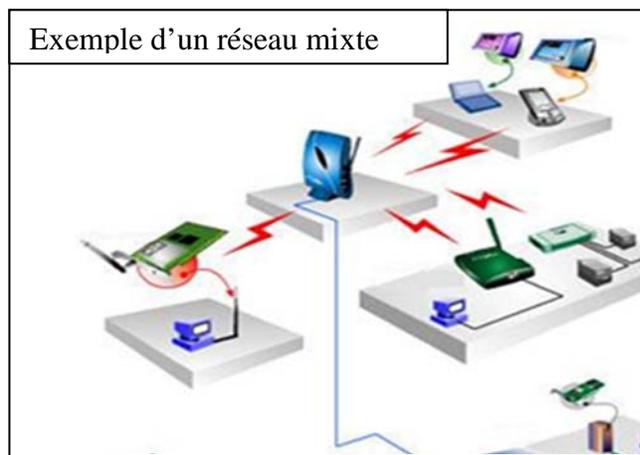
**3-3-2 le mode ad hoc** où les stations (STA) discutent directement entre-elles en établissant une liaison entre pairs. Ce mode trouve principalement son utilité afin de connecter des stations entre-elles lorsque aucun point d'accès WiFi en mode infrastructure n'est disponible.



**3-3-3 Le mode hybride** se compose d'une combinaison des réseaux ad hoc et d'infrastructure. Dans ce mode, vous créez un réseau d'infrastructure, et vous créez alors les réseaux ad hoc parmi les dispositifs reliés à l'infrastructure.

En d'autres termes, le réseau hybride ajoute WLANs au WLAN plus grand, plus ou moins de la même façon pendant que le réseau traversier d'infrastructure ajoute WLANs à un plus grand LAN.

Le mode hybride maximise la largeur de bande d'un réseau sans fil par le soulagement du point d'accès de la nécessité de traiter tout le trafic ; au lieu de cela, les PCs transmettent des données à une des autres si possible, laissant le point d'accès libre pour transmettre par relais des données à et du LAN de câble et à d'autres points d'accès.



### 3-4 Le standard IEEE 802.11

La norme 802.11 s'attache à définir les couches basses du modèle OSI pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire :

- la **couche physique** (notée parfois *couche PHY*), proposant trois types de codages de l'information.
- la **couche liaison de données**, constitué de deux sous-couches : le contrôle de la liaison logique (**Logical Link Control**, ou **LLC**) et le contrôle d'accès au support (**Media Access Control**, ou **MAC**)

La couche physique définit la modulation des ondes radio-électriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données, tandis que la couche *liaison de données* définit l'interface entre le bus de la machine et la couche physique, notamment une méthode d'accès proche de celle utilisée dans le standard ethernet et les règles de communication entre les différentes stations. La norme 802.11 propose en réalité trois couches physiques, définissant des modes de transmission alternatifs :

<b>Couche Liaison de données(MAC)</b>	802.2
	802.11
<b>Couche Physique(PHY)</b>	DSSS FHSS Infrarouges

Il est possible d'utiliser n'importe quel protocole de haut niveau sur un réseau sans fil WiFi au même titre que sur un réseau Ethernet.

### 3-5 Les différentes normes Wi-Fi

La norme *IEEE 802.11* est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées normes 802.11 physiques) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité. Voici un tableau présentant les différentes révisions de la norme 802.11 et leur signification :

Nom de la norme	Nom	Description
802.11a	Wifi5	La norme 802.11a (baptisé <i>WiFi 5</i> ) permet d'obtenir un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.
802.11b	Wifi	La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbps (6 Mbps réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles.
802.11c	Pontage 802.11 vers 802.1d	La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.1d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11 (niveau <i>liaison de données</i> ).
802.11d	Internationalisation	La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquence et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel.
802.11e	Amélioration de la qualité de service	La norme 802.11e vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche <i>liaison de données</i> . Ainsi cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en terme de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.
802.11f	Itinérance (roaming)	La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de point d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole <i>Inter-Access point roaming protocol</i> permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée <i>itinérance</i> (ou

		<i>roaming en anglais)</i>
<b>802.11g</b>		La norme 802.11g offre un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels) sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b
<b>802.11h</b>		La norme <i>802.11h</i> vise à rapprocher la norme 802.11 du standard Européen (HiperLAN 2, où le <i>h</i> de 802.11h) et être en conformité avec la réglementation européenne en matière de fréquence et d'économie d'énergie.
<b>802.11i</b>		La norme <i>802.11i</i> a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l' <i>AES (Advanced Encryption Standard)</i> et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.
<b>802.11r</b>		La norme <i>802.11r</i> a été élaborée de telle manière à utiliser des signaux infra-rouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement.
<b>802.11j</b>		La norme <i>802.11j</i> est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.
<b>802.11n</b>		La norme 802.11n, normalisée en septembre 2001, offre un débit théorique jusqu'à 450 Mbits/s

Il est intéressant de noter l'existence d'une norme baptisée «*802.11b+*». Il s'agit d'une norme propriétaire proposant des améliorations en terme de débits. En contrepartie cette norme souffre de lacunes en termes de garantie d'interopérabilité dans la mesure où il ne s'agit pas d'un standard IEEE.

### ***Portées et débits***

Les normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées «*normes physiques*» correspondent à des révisions du standard 802.11 et proposent des modes de fonctionnement, permettant d'obtenir différents débits en fonction de la portée.

<b>Standard</b>	<b>Bande de fréquence</b>	<b>Débit</b>	<b>Portée</b>
-----------------	---------------------------	--------------	---------------

WiFi a (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
WiFi B (802.11b)	2.4 GHz	11 Mbit/s	140 m
WiFi G (802.11g)	2.4 GHz	54 Mbit/s	140 m
WiFi N (802.11n)	2.4 GHz / 5 GHz	450 Mbit/s	250 m

### 802.11a

La norme 802.11a permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps, soit cinq fois plus que le 802.11b, pour une portée d'environ une trentaine de mètres seulement. La norme 802.11a s'appuie sur un codage du type *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sur la bande de fréquence 5 GHz et utilisent 8 canaux qui ne se recouvrent pas.

Ainsi, les équipements 802.11a ne sont donc pas compatibles avec le équipements 802.11b. Il existe toutefois des matériels intégrant des puces 802.11a et 802.11b, on parle alors de matériels «**dual band**».

Débit théorique(en intérieur)	Portée
54 Mbits/s	10 m
48 Mbits/s	17 m
36 Mbits/s	25 m
24 Mbits/s	30 m
12 Mbits/s	50 m
6 Mbits/s	70 m

### 802.11b

La norme 802.11b permet d'obtenir un débit théorique de 11 Mbps, pour une portée d'environ une cinquantaine de mètres en intérieur et jusqu'à 200 mètres en extérieur (et même au-delà avec des antennes directionnelles).

Débit théorique	Portée(en intérieur)	Portée(à l'extérieur)
11 Mbits/s	50 m	200 m
5,5 Mbits/s	75 m	300 m
2 Mbits/s	100 m	400 m
1 Mbit/s	150 m	500 m

## **802.11g**

La norme 802.11g permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps pour des portées équivalentes à celles de la norme 802.11b. D'autre part, dans la mesure où la norme 802.11g utilise la bande de fréquence 2,4GHZ avec un codage OFDM, cette norme est compatible avec les matériels 802.11b, à l'exception de certains anciens matériels.

<b>Débit théorique</b>	<b>Portée(en intérieur)</b>	<b>Portée(à l'extérieur)</b>
54 Mbits/s	27 m	75 m
48 Mbits/s	29 m	100 m
36 Mbits/s	30 m	120 m
24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

## **802.11n**

La norme 802.11n permet d'obtenir un débit théorique de 450 Mbps pour des portées de l'ordre de 250 mètres. D'autre part, la norme 802.11n peut utiliser une double bande de fréquence 2,4GHZ / 5GHz.

### **3-6 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)**

le protocole d'accès permet d'éviter la collision en obligeant les deux stations à attendre un temps différent avant d'avoir le droit de transmettre. Comme la différence entre les deux temps d'attente est supérieure au temps de propagation sur le support de transmission, la station qui a le temps d'attente le plus long trouve le support physique déjà occupé et évite ainsi la collision, d'où son suffixe CA (Collision Avoidance).

Pour éviter les collisions, chaque station possède un temporisateur avec une valeur spécifique. Lorsqu'une station écoute la porteuse et que le canal est vide, elle transmet

En résumé par les étapes suivantes

- La station voulant émettre écoute le réseau.
- Si le réseau est encombré, la transmission est différée.

- Si le média est libre, la station transmet un message RTS (Ready To Send) avec les informations sur le volume de données et sa vitesse de transmission.
- Le récepteur répond par un message CTS (Clear To Send) que reçoivent toutes les stations.
- La station effectue l'émission des données.
- A réception de toutes les données, le récepteur envoie un ACK (accusé de réception).
- Toutes les stations voisines patientent alors pendant le temps calculé à partir du CTS

## **4- La technologie employée par le Wi-Fi**

### **4-1 Les canaux de transmission**

On appelle canal de transmission une bande étroite de fréquence utilisable pour une communication. Dans chaque pays, le gouvernement est en général le régulateur de l'utilisation des bandes de fréquences, car il est souvent le principal consommateur pour des usages militaires.

Toutefois les gouvernements proposent des bandes de fréquence pour une utilisation libre, c'est-à-dire ne nécessitant pas de licence de radiocommunication. Les organismes chargés de réguler l'utilisation des fréquences radio sont :

l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en Europe

la FCC (Federal Communications Commission) aux Etats-Unis

le MKK (Kensa-kentei Kyokai) au Japon

En 1985 les Etats-Unis ont libéré trois bandes de fréquence à destination de l'Industrie, de la Science et de la Médecine. Ces bandes de fréquence, baptisées ISM (Industrial, Scientific, and Medical), sont les bandes 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz.

En Europe la bande s'étalant de 890 à 915 MHz est utilisée pour les communications mobiles (GSM), ainsi seules les bandes 2.400 à 2.4835 GHz et 5.725 à 5.850 GHz sont disponibles pour une utilisation radio-amateur.

### **4-2 Les technologies de transmission**

Les réseaux locaux radio-électriques utilisent des ondes radio ou infrarouges afin de transmettre des données. La technique utilisée à l'origine pour les transmissions radio est appelé transmission en bande étroite, elle consiste à passer les différentes communications sur des canaux différents. Les transmissions radio sont toutefois soumises à de nombreuses contraintes rendant ce type de transmission non suffisantes. Ces contraintes sont notamment :

Le partage de la bande passante entre les différentes stations présentes dans une même cellule.

La propagation par des chemins multiples d'une onde radio. Un onde radio peut en effet se propager dans différentes direction et éventuellement être réfléchié ou réfractés par des objets de l'environnement physique, si bien qu'un récepteur peut être amené recevoir à quelques instants d'intervalles deux mêmes informations ayant emprunté des cheminements différents par réflexions successives.

La couche physique de la norme 802.11 définit ainsi initialement plusieurs techniques de transmission permettant de limiter les problèmes dûs aux interférences :

La technique de l'étalement de spectre à saut de fréquence,

La technique de l'étalement de spectre à séquence directe,

La technologie infrarouge.

#### **4-2-1 La technique à bande étroite**

La technique à bande étroite (narrow band) consiste à utiliser une fréquence radio spécifique pour la transmission et la réception de données. La bande de fréquence utilisée doit être aussi petite que possible afin de limiter les interférences sur les bandes adjacentes.

#### **4-2-2 Les techniques d'étalement de spectre**

La norme IEEE 802.11 propose deux techniques de modulation de fréquence pour la transmission de données issues des technologies militaires. Ces techniques, appelées étalement de spectre (en anglais spread spectrum) consistent à utiliser une bande de fréquence large pour transmettre des données à faible puissance. On distingue deux techniques d'étalement de spectre :

La technique de l'étalement de spectre à saut de fréquence,

La technique de l'étalement de spectre à séquence directe

#### **4-2-3 La technique de saut de fréquence**

La technique FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum, en français étalement de spectre par saut de fréquence ou étalement de spectre par évocation de fréquence) consiste à découper la large bande de fréquence en un minimum de 75 canaux (hops ou sauts d'une largeur de 1MHz), puis de transmettre en utilisant une combinaison de canaux connue de toutes les stations de la cellule. Dans la norme 802.11, la bande de fréquence 2.4 - 2.4835 GHz permet de créer 79 canaux de 1 MHz. La transmission se fait ainsi en émettant successivement sur un canal puis sur un autre pendant une courte période de temps (d'environ

400 ms), ce qui permet à un instant donné de transmettre un signal plus facilement reconnaissable sur une fréquence donnée.

L'étalement de spectre par saut de fréquence a originalement été conçue dans un but militaire afin d'empêcher l'écoute des transmissions radio. En effet, une station ne connaissant pas la combinaison de fréquence à utiliser ne pouvait pas écouter la communication car il lui était impossible dans le temps imparti de localiser la fréquence sur laquelle le signal était émis puis de chercher la nouvelle fréquence.

Aujourd'hui les réseaux locaux utilisant cette technologie sont standards ce qui signifie que la séquence de fréquences utilisées est connue de tous, l'étalement de spectre par saut de fréquence n'assure donc plus cette fonction de sécurisation des échanges. En contrepartie, le FHSS est désormais utilisé dans le standard 802.11 de telle manière à réduire les interférences entre les transmissions des diverses stations d'une cellule.

#### **4-2-4 Etalement de spectre à séquence directe**

La technique DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, étalement de spectre à séquence directe) consiste à transmettre pour chaque bit une séquence Barker (parfois appelée bruit pseudo-aléatoire ou en anglais pseudo-random noise, noté PN) de bits. Ainsi chaque bit valant 1 est remplacé par une séquence de bits et chaque bit valant 0 par son complément.

La couche physique de la norme 802.11 définit une séquence de 11 bits (10110111000) pour représenter un 1 et son complément (01001000111) pour coder un 0. On appelle chip ou chipping code (en français puce) chaque bit encodé à l'aide de la séquence. Cette technique (appelée chipping) revient donc à moduler chaque bit avec la séquence barker.

Grâce au chipping de l'information redondante est transmise, ce qui permet d'effectuer des contrôles d'erreurs sur les transmissions, voir de la correction d'erreurs.

Dans le standard 802.11b, la bande de fréquence 2.400-2.4835 GHz (d'une largeur de 83.5 MHz) a été découpée en 14 canaux séparés de 5MHz, dont seuls les 11 premiers sont utilisables aux Etats-Unis. Seuls les canaux 10 à 13 sont utilisables en France.

Toutefois, pour une transmission de 11 Mbps correcte il est nécessaire de transmettre sur une bande de 22 MHz car, d'après le théorème de Shannon, la fréquence d'échantillonnage doit être au minimum égale au double du signal à numériser. Ainsi certains canaux recouvrent partiellement les canaux adjacents, c'est la raison pour laquelle des canaux isolés (les canaux 1, 6 et 11) distants les uns des autres de 25MHz sont généralement utilisés.

Ainsi, si deux points d'accès utilisant les mêmes canaux ont des zones d'émission qui se recoupent, des distortions du signal risquent de perturber la transmission. Ainsi pour éviter toute interférence il est recommandé d'organiser la répartition des points d'accès et l'utilisation des canaux de telle manière à ne pas avoir deux points d'accès utilisant les mêmes canaux proches l'un de l'autre.

Le standard 802.11a utilise la bande de fréquence 5.15GHz à 5.35GHz et la bande 5.725 GHz à 5.825 GHz, ce qui permet de définir 8 canaux distincts d'une largeur de 20Mhz chacun, c'est-à-dire une bande suffisamment large pour ne pas avoir de parasitage entre canaux.

#### **4-2-5 La technologie infrarouge**

Le standard IEEE 802.11 prévoit également une alternative à l'utilisation des ondes radio : la lumière infrarouge. La technologie infrarouge a pour caractéristique

principale d'utiliser une onde lumineuse pour la transmission de données. Ainsi les transmissions se font de façon uni-directionnelle, soit en "vue directe" soit par réflexion. Le caractère non dissipatif des ondes lumineuses offre un niveau de sécurité plus élevé.

Il est possible grâce à la technologie infrarouge d'obtenir des débits allant de 1 à 2 Mbit/s en utilisant une modulation appelé PPM (pulse position modulation).

La modulation PPM consiste à transmettre des impulsions à amplitude constante, et à coder

l'information suivant la position de l'impulsion. Le débit de 1 Mbps est obtenu avec une modulation

de 16-PPM, tandis que le débit de 2 Mbps est obtenu avec une modulation 4-PPM permettant de coder deux bits de données avec 4 positions possibles :

|

### **4-3 Les techniques de modulation**

Tandis que la radio classique utilise une modulation de fréquence (radio FM pour Frequency Modulation) ou bien une modulation d'amplitude (radio AM pour Amplitude Modulation), le standard 802.11b utilise une technique de modulation de phase appelée PSK pour Phase Shift Keying. Ainsi chaque bit produit une rotation de phase. Une rotation de 180° permet de transmettre des débits peu élevés (technique appelé BPSK pour Binary Phase Shift Keying) tandis qu'une série de quatre rotations de 90° (technique appelé QPSK pour Quadrature Phase Shift Keying) permet des débits deux fois plus élevés.

### **4-4 Optimisations**

La norme 802.11b propose d'autres type d'encodage permettant d'optimiser le débit de la transmission. Les deux séquences Barker ne permettent de définir que deux états (0 ou 1) à l'aide de deux mots de 11 bits (compléments l'un de l'autre).

Une méthode alternative appelée CCK (complementary code keying) permet d'encoder directement plusieurs bits de données en une seule puce (chip) en utilisant 8 séquences de 64 bits. Ainsi en codant simultanément 4 bits, la méthode CCK permet d'obtenir un débit de 5.5 Mbps et elle permet d'obtenir un débit de 11 Mbps en codant 8 bits de données.

La technologie PBCC (Packet Binary Convolutionary Code) permet de rendre le signal plus robuste vis-à-vis des distorsions dues au cheminement multiple des ondes hertziennes. Ainsi la société Texas Instrument a réussi à mettre au point une séquence tirant avantage de cette meilleure résistance aux interférences et offrant un débit de

22Mbit/s. Cette technologie baptisée 802.11b+ est toutefois non conforme à la norme IEEE 802.11b ce qui rend les périphériques la supportant non compatibles avec les équipements 802.11b.

La norme 802.11a opère dans la bande de fréquence des 5 GHz, qui offre 8 canaux distincts, c'est la raison pour laquelle une technique de transmission alternative tirant partie des différents canaux est proposée. L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) permet d'obtenir des débits théoriques de 54 Mbps en envoyant les données en parallèle sur les différentes fréquences. De plus la technique OFDM fait une utilisation plus rationnelle du spectre.

<b>T</b>	<b>Codage</b>	<b>Ty</b>	<b>D</b>
8	11 bits	PS	1
8	11 bits	QP	2
8	CCK	QP	5
8	CCK	QP	2
8	CCK	OF	5
8	CCK	OF	5

## **5- Recherche tabou (TS)**

### **5-1 Historique et principes**

La recherche avec tabou a été proposée par Fred Glover en 1986. Depuis cette date, la méthode est devenue très populaire, grâce aux succès qu'elle a remportés pour résoudre de nombreux problèmes.

L'intention de l'auteur était de concevoir une méthode de recherche intelligente.

La méthode utilise une mémoire (ou plusieurs mémoires) qui sont mises à jour et exploitées au cours de la recherche.

- Algorithme tabou de base : mémoire à court terme (liste tabou)
- Algorithme tabou évolué : mémoire à court terme (liste tabou) + mémoire à long terme pour assurer l'intensification et/ou la diversification

### **5-2 Concepts de base**

L'idée de base de la liste tabou consiste à mémoriser les configurations ou régions visitées et à introduire des mécanismes permettant d'interdire à la recherche de retourner trop rapidement vers ces configurations.

Ces mécanismes sont des interdictions temporaires de certains mouvements (mouvements tabous). Il s'agit d'interdire les mouvements qui risqueraient d'annuler l'effet de mouvements effectués récemment (voir les exemples).

A chaque itération, l'algorithme tabou choisit le meilleur voisin non tabou, même si celui-ci dégrade la fonction de coût. Pour cette raison, on dit de la recherche avec tabou qu'elle est une méthode agressive.

### **5-3 Liste tabou**

En général, la liste tabou contient des attributs.

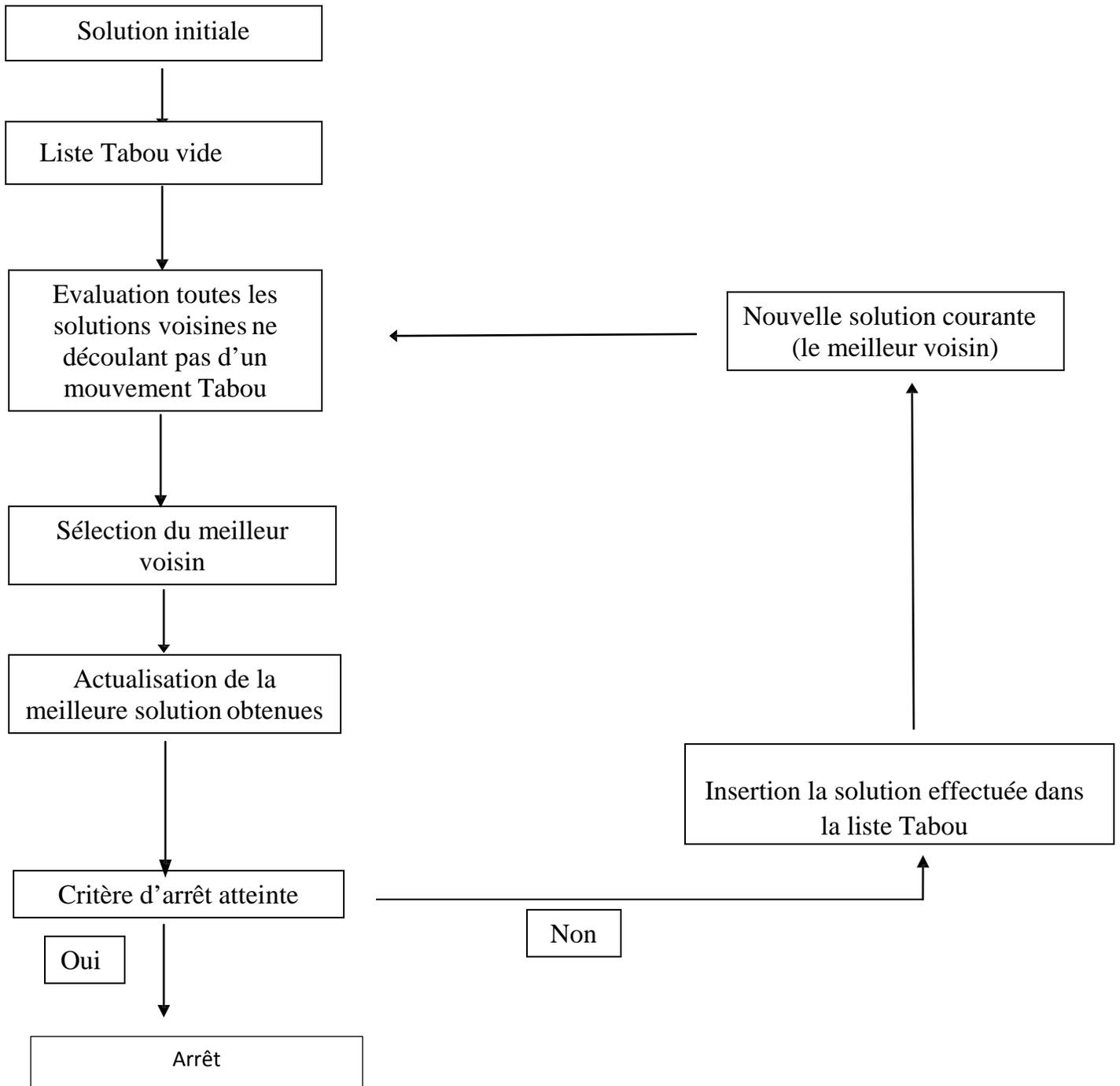
- Un attribut qui vient d'être rendu tabou le reste pendant quelques itérations (tabou tenure). Cette durée est fixée par un ou des paramètres. Ensuite, le mouvement perd son statut de mouvement tabou. On parle de stratégie de diversification à court terme.
- Normalement, la liste tabou doit garantir l'absence de cycles de petite taille.

## 5-4 Critère d'aspiration

Dans certains cas, les interdictions occasionnées par la liste taboue peuvent être jugées trop radicales. En effet, on risque d'éliminer (en les rendant tabous), certains mouvements particulièrement utiles. Autrement dit, il s'agit d'assouplir le mécanisme de liste taboue.

- Un mécanisme d'aspiration détermine un critère selon lequel un mouvement ,Bien que tabou, peut quand même être accepté. Il faut faire attention, cependant, au risque d'introduire à nouveau des cycles dans la recherche.
- Par exemple, un critère d'aspiration rudimentaire peut consister à accepter un mouvement s'il conduit à une configuration meilleure que la meilleure Configuration déjà trouvée. Des mécanismes plus sophistiqués peuvent être introduits.

## 5-5 Diagramme de l'algorithme Tabou



## **6- Le déploiement de réseaux sans-fil**

Avec la croissance et le développement des réseaux local sans fil WLAN depuis ses dernières années il est indispensable de mis en place un processus déploiement en 3 étapes :

1. Mesure et analyse du site,
2. Installation du réseau : positionnement des AP et allocation des canaux,
3. Tests de fonctionnement

### **6-1 Variables et paramètres du problème de palanification de WLAN**

#### **6-1-1 Le nombre de points d'accès**

la minimisation du nombre de points d'accès ne soit plus un objectif essentiel du déploiement wLAN. Pourtant, l'objectif est d'assurer la couverture avec un nombre d'AP est fixé à l'avance.

Pourtant, lorsque le nombre de points d'accès est surestimé, la configuration de points d'accès obtenue conduit à un fonctionnement fortement dégradé par les interférences entre canaux. il est nécessaire de choisir un nombre juste de points d'accès.

#### **6-1-2 La position des AP**

La principale variable du problème wLP est la position physique des points d'accès. Pour chaque AP, il est nécessaire de déterminer ses coordonnées (x, y, z) dans le bâtiment.

#### **6-1-3 Les paramètres antennaires**

Il est possible de choisir 3 types de paramètres antennaires pour modifier la carte de couverture d'un émetteur

1. la puissance d'émission .
2. l'azimut .
3. le tilt .

Le tilt et l'azimut d'une antenne sont définis à partir du système de coordonnées sphériques.

## **6-2 L'objectifs de la planification**

Un objectif de planification est une mesure des performances du réseau sans fil à optimiser pour un type de service donné.

### **6-2-1 Les objectifs de couverture radio**

Le premier service que doit offrir un réseau est la fourniture d'accès. Pour un réseau sans-fil, du fait de la nature du médium radio utilisé, il est nécessaire de garantir un accès aux utilisateurs sur tout le bâtiment en proposant un canal de communication de qualité. Il est possible de formuler mathématiquement un critère de couverture à partir de plusieurs grandeurs dérivées de l'estimation de la puissance reçue et du bruit ambiant au point donné

### **6-2-2 Définition de la couverture radio**

La grandeur communément utilisée est basée sur la notion de couverture radio. Un Point de demande  $i$  du model  $P$  est couvert par le réseau si la puissance du signal  $p$  qu'il reçoit depuis au moins un point d'accès  $PA$  du réseau est suffisante pour pouvoir comprendre le message transmis.

### **6-2-3 Les objectifs de recouvrement et d'interférences**

Le deuxième critère de planification communément rencontré a rapport aux interférences. En effet, la dégradation du débit fourni par le canal radio peut être liée à un rapport signal sur interférences trop faible.

## 7- Métaheuristiques - méthode tabou

Depuis des années, des progrès importants ont été réalisés avec l'apparition d'une nouvelle génération de méthodes approchées puissantes et générales, souvent appelées Métaheuristiques [28], [40]. Une métaheuristique est constituée d'un ensemble de règles et de mécanismes (par exemple, la liste tabou et les mécanismes d'intensification et de diversification pour la métaheuristique tabou), qui permettent d'aider à la conception de méthodes heuristiques pour un problème d'optimisation.

Les métaheuristiques sont représentées essentiellement par les méthodes de voisinage comme la méthode tabou a été développée par Fred Glover. Son objectif est de surmonter le problème des optima locaux de la recherche locale tout en évitant au maximum de cycler.

Recherche tabou, et les algorithmes évolutifs comme les algorithmes génétiques et les stratégies d'évolution. Dans cette section nous détaillons les métaheuristiques de recherche tabou.

Commençant à partir d'une solution initiale réalisable, le processus consiste, à chaque itération, à choisir la meilleure solution dans le voisinage de la solution courante, même si cette solution n'entraîne pas une amélioration. La recherche tabou ne s'arrête donc pas au premier optimum trouvé.

Cette stratégie peut entraîner des cycles. Pour empêcher ce type de cycle, on crée une liste T qui mémorise les dernières solutions visitées et qui interdit tout déplacement vers une solution de cette liste. Par ailleurs, en s'interdisant ainsi certaines permutations, un mouvement qui aboutirait à une solution meilleure que toutes celles déjà visitées risquerait d'être écarté. Pour éviter cela, on incorpore dans l'algorithme des critères d'aspiration, qui autorisent certains mouvements, bien qu'interdits par la liste T, parce qu'on suppose qu'ils vont améliorer la recherche.

Deux composants importants de la recherche tabou sont les stratégies d'intensification et de diversification. Ces techniques font appel à des mémoires à long terme.

### 7-1 Intensification

L'idée à la base de l'intensification est qu'on devrait explorer de façon plus approfondie les régions qui semblent les plus prometteuses (où l'optimum global est susceptible de se trouver), évitant ainsi les optima locaux. De nombreuses techniques ont été proposées dans ce sens :

Repartir de bonnes solutions (dites solutions d'élite) déjà rencontrées. Ces

solutions sont conservées dans l'ordre pour que l'on puisse examiner leurs voisins immédiats. Cette technique a été proposée par Chakrapani et Skorin-Kapov [31].

Reconstruire une solution de départ qui tente de combiner des attributs qui ont été présents souvent dans les meilleures configurations. Pour ce faire, on ne considère que les attributs souvent présents dans les configurations d'élite et on incite à les introduire dans la solution reconstruite,

Geler certains attributs qui ont été souvent présents dans les configurations visitées. Dans la pratique, ceci consiste à fixer un seuil de fréquence et à ne prendre en compte que les mouvements au-dessus de ce seuil.

## **7-2 Diversification**

L'objectif de la diversification, opposé à celui de l'intensification, est d'orienter la recherche vers de nouvelles régions non encore explorées, et peut-être, très intéressantes.

Deux techniques de diversification sont couramment utilisées :

Diversification par relance : selon cette technique, on interrompt périodiquement la recherche. On effectue alors une relance en construisant une nouvelle solution qui contient des attributs de fréquence faible. Une technique possible pour reconstruire la nouvelle solution est de partir d'un attribut qui n'a jamais été présent dans la solution (attribut de fréquence nulle). Puis, on complète la solution de manière gloutonne.

Diversification en continu : Périodiquement et pendant une certaine durée (phase de diversification), on modifie l'évaluation des mouvements en ajoutant à l'objectif un terme relié à l'ancienneté ou à la fréquence des attributs.

## 8- Heuristique basée sur la recherche tabou

Comme nous l'avons signalé dans le chapitre 2, la technique de recherche tabou (TS) est une technique bien connue pour résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire difficiles. TS a prouvé son

efficacité dans de nombreux problèmes d'optimisation combinatoire, et en particulier pour la conception des réseaux résiliant aux pannes [51]. Dans la suite, nous décrivons comment nous avons adapté les idées de TS à notre problème de conception des réseaux local sans fil.

Une description complète de notre heuristique de TS est donnée dans l'algorithme IH. Nous décrivons ci-dessous les détails de cet algorithme.

### 8-1 Recherche d'une solution initiale IH

Une solution acceptable au problème de conception d'un réseau local sans fil qui répond aux hypothèses et contraintes fixées dans l'énoncé du projet revient à minimiser par le biais de l'heuristique proposée (IH), la fonction P qui représente le nombre de PA installés dans le réseau.

$$\mathbf{P} = \min_{w,x,y,z} \sum_{j \in J} w_j \quad (1)$$

Les contraintes et hypothèses du problème sont exprimées par les relations suivantes :

*Contraintes d'affectation des points de demande*

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad (i \in I) \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq w_i \quad (i \in I, j \in J) \quad (3)$$

$$\left( P_{\min} - \alpha(i, j) \sum_{p \in P} p y_j^p \right) x_{ij} \leq 0 \quad (i \in I, j \in J) \quad (4)$$

$$\left( \alpha(i, j') \sum_{p \in P} p y_{j'}^p - \alpha(i, j) \sum_{p \in P} p y_j^p \right) x_{ij} \leq 0 \quad (i \in I, j < j', j, j' \in J) \quad (5)$$

*Contraintes d'unicité de la puissance d'un PA*

$$\sum_{p \in P} y_j^p = w_j \quad (j \in J) \quad (6)$$

*Contraintes d'unicité d'un canal d'un PA*

$$\sum_{c \in C} z_j^c = w_j \quad (j \in J) \quad (7)$$

Contraintes de débit minimum

$$t_{\min} - \delta \left( \sum_{i \in J} n_i x_{ij} \right) \leq 0 \quad (j \in J) \quad (8)$$

Contraintes de réutilisation des canaux

$$\left( d_{\min} \sum_{\substack{j' \in J \\ j' \neq j}} \left( \beta(j, j') z_j^c \sum_{p \in P} p y_j^p \right) - p_{\min} \right) z_j^c \leq 0 \quad (j \in J, c \in C) \quad (9)$$

Contraintes d'intégralités

$$\mathbf{w} \in \{0, 1\}^{|\mathcal{J}|}, \mathbf{x} \in \{0, 1\}^{|\mathcal{J}|^2}, \mathbf{y} \in \{0, 1\}^{|\mathcal{J}|^{|P|}}, \mathbf{z} \in \{0, 1\}^{|\mathcal{J}|^{|C|}} \quad (10)$$

A noter aussi que pour le calcul des atténuations entre les paires de sites ou entre un site et un point de demande, on utilisera le modèle de Hata, dont l'expression finale dans le cas du standard 802.11a utilisé dans notre projet, est comme suit :

$$\bar{L}_p(d) (\text{dB}) = 42,68 + 36,89 \log(d) + \sum_k n_k \Delta_k (\text{dB})$$

Où  $d$  représente la distance séparant les deux éléments considérés (émetteur-récepteur),  $n_k$ , le nombre d'obstacles de type  $k$  et  $\Delta_k$  l'atténuation (en dB) causée par un obstacle de type  $k$ .

Notons que la distance  $d$  entre deux éléments situés en deux points de l'espace M1 et M2 de coordonnées respectives  $(x_1, y_1, z_1)$  et  $(x_2, y_2, z_2)$  est donnée par :

Par ailleurs, selon le site à considérer pour le projet, soit un édifice à 3 niveaux sans cloisons de séparation, les seuls obstacles à considérer seront les planchers pour lesquels l'atténuation donnée est évaluée à 25 dB.

En posant  $N_k$  comme étant le nombre total de planchers séparant les deux éléments.

$$N_k = \sum_k n_k$$

La relation précédente deviens :

$$\bar{L}_p(d) (\text{dB}) = 42,68 + 36,89 \log(d) + 25 N_k (\text{dB}) \quad (11)$$

avec :

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Notons que dans le cas du site considéré, la valeur de  $N_k$  sera calculée en considérant l'écart entre les coordonnées  $z_2$  et  $z_1$  des points où sont situés les deux éléments considérés.

Dans le cas de notre site,  $N_k$  ne peut prendre que les valeurs 0, 1 ou 2.

$$N_k = 0$$

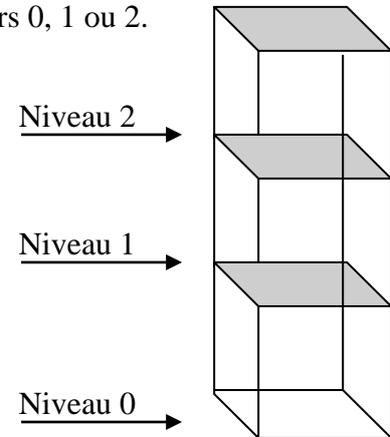
Lorsque les deux éléments se trouvent sur le même niveau (0, 1 ou 2)

$$N_k = 1$$

Lorsque l'un est au niveau 0 et l'autre au niveau 1 ou l'un est au niveau 1 et l'autre au niveau 2

$$N_k = 2$$

Lorsque l'un est au niveau 0 et l'autre au niveau 2



## 8-2 Algorithme IH

### Algorithme IH

Étape 1 : (initialisation) Soit  $P := \{p_1, p_2, \dots, p_{|P|}\}$ .

Étape 2 : Pour  $k := 1$  à  $|P|$  faire

2.1 :  $E_I := \emptyset$  et  $E_J := \emptyset$ .

2.2 : (Trouvez la localisation des PA)

2.2.1 Pour tout  $j \in J$  faire

Trouver l'ensemble  $\Gamma(j)$  défini comme étant l'ensemble des points de demande associés à un PA de puissance  $p_k$  installé au site  $j \in J$ .

2.2.2 Tant que  $E_I \neq I$  faire

Soit  $j^* \in J \setminus E_J$  la valeur de  $j$  qui maximise  $|\Gamma(j) \setminus E_I|$ . Poser  
 $E_J := E_J \cup \{j^*\}$ ,  $E_I := E_I \cup \Gamma(j^*)$ .

2.3 : Pour tout  $j \in J$  faire

Si  $j \in E_J$  installer un PA au site  $j$  avec une puissance  $p_k$ .

2.4 : Trouvez les canaux à utiliser avec l'heuristique DSATUR.

2.5 : Calculer le coût de la solution trouvée avec l'équation suivante.

$$\sum_{j \in J} w_j + \theta \sum_{j \in J} \left( \sum_{i \in I} n_i x_{ij} - n_{\max} \right)^+$$

où  $\theta$  est un facteur de pénalité et  $n_{\max}$  le nombre maximum de stations pouvant être associées à un PA tout en respectant le débit minimum.

Étape 3 : (Fin de l'algorithme)

Retourner la meilleure solution trouvée.

**Fig1. Algorithme IH**

L'application de l'algorithme IH va aboutir à une solution initiale qui sera utilisée comme élément de départ par l'algorithme de recherche avec tabous pour trouver une meilleure solution caractérisée par un meilleur coût.

Les valeurs numériques utilisées pour les calculs sont :

Débit : 18 Mbps

Nombre maximum d'utilisateurs reliés à un PA : 36

Puissance min pour être associé à un PA : - 80 dBm

Ratio signal sur bruit min pour que 2 PA voisins puissent utiliser le même canal : 21 dB

Nombre de canaux (couleurs) utilisables : 8

Puissances des PA : 5, 10, 20 et 40 mW

Pour uniformiser les unités utilisées pour les puissances, une conversion mW vers dBm est nécessaire. Celle-ci est effectuée à partir d'une table de conversion (ci-après)

Conversion dBm / W			
0 dBm	1 mW	11 dBm	12,6 mW
1 dBm	1,25 mW	12 dBm	15,8 mW
2 dBm	1,6 mW	13 dBm	20 mW
3 dBm	2 mW	14 dBm	25 mW
4 dBm	2,5 mW	15 dBm	31 mW
5 dBm	3,2 mW	16 dBm	40 mW
6 dBm	4 mW	17 dBm	50 mW
7 dBm	5 mW	18 dBm	63 mW
8 dBm	6,4 mW	19 dBm	80 mW
9 dBm	8 mW	20 dBm	100 mW
10 dBm	10 mW	21 dBm	126 mW

**Fig2. Table de conversion dBm/mW (extraite du site internet**

<http://mrs3.hosteur.com/~media66/dbm.htm> )

Les puissances possibles pour les PA en dBm sont : 7, 10, 13 et 17.

## 8-3 Algorithme Tabu Search TS

### 8-4 Description des Concepts liés au TS

Une fois la solution IH est connu (précédament calculé), on va chercher d'autres solutions (dispositions) meilleures et ceci dans le voisinage de la solution.

Concepts liés à la recherche Tabou :

**8-4-1 Structure du voisinage :** L'ensemble des mouvements liés à l'ajout des PA (Point accès) on faisant varier leurs puissances selon différents valeurs 5, 10, 20, 40 et aussi le cas d'enlever des PA en leurs affectant la puissance 0.

Alors la cardinalité de l'espace des voisins pour chaque solution est  $Card(J)$  sachant que  $J$  est l'ensemble des sites potentiels et  $Card(P)$  :  $P$  est l'ensemble des puissances qui peuvent être utilisés dans les PA.

**8-4-2 Espace des solutions :** Cet espace correspond à l'affectation de l'ensemble des points d'accès aux sites potentiels avec leur puissance correspondante.

**8-4-3 Déplacement Tabou :** Un mouvement effectué ne doit plus être revisité pendant un certain nombre d'itérations

**8-4-4 Critère d'aspiration :** a pour objectifs de raffiner la solution, un mouvement tabou peut être accepté et révoquer le status tabou si celle-ci permet d'aboutir à une solution de qualité supérieure que toutes les solutions trouvées

## 8-5 Detail de l'algorithme TS

Pour chaque itération on exécute les procédures suivantes :

- 1- Exploration du voisinage de la solution courante : pour chacun des sites potentiels on lui affectant des puissances : 0, 5, 10, 20, 40. On peut considérer un tel mouvement (changer/enlever PA) a condition qu'il soit non tabou ou qu'il satisfait au critère d'aspiration.
- 2- Affectations des stations au point d'accès correspondant : En fonction de la puissance reçue du point d'accès le plus proche les stations seront alors affectés tout en respectant les contraintes d'affectations des point de demande à savoir C2, C3, C4, C5 décrite dans la partie 5. le model
- 3- Affectations d'un canal au point d'accès : L'attribution des canaux sont effectués dès que l'assignation de toutes les stations au PA a pris fin. Cette dernière repose sur la configuration précédente et ne traite que le point d'accès modifié. En effet, ses voisins trouvés (les points d'accès avec lesquels il interfère), on assigne le plus petit canal libre.
- 4- Évaluation du coût de la solution par mouvement : Le coût est déduit en fonction de nombre des points d'accès installés, un supplément pénalité est rajouté dans le cas de figure suivante :
  - a. Si chaque point d'accès supporte plus de stations que son débit.
  - b. Si un canal n'a pu être attribué au point d'accès correspondant.
  - c. Si une ou plusieurs stations ne sont desservies par aucun point d'accès.
- 5- Acquisition de la meilleure solution : Si le coût de la solution courante est inférieur à celui de la meilleure solution trouvée

depuis le début on conserve la solution courante et qui de de plus l'ensemble des contraintes évoquées a l'étape (4).

```
Pour nombre_iteration < maximum_iteration // (maximum_iteration = constante)
  Pour chaque site potentiel
    Pour chaque puissance
      Si la transformation n'est pas status Tabou
        et respecte le critère d'aspiration
          Affecter la puissance au site // Puissance = 0, 5, 10, 20, 40
          Affecter les stations aux points d'accès
          Mettre à jour des canaux des points d'accès
          Calculer la fonction de coût de la solution
          Si le coût calculé est meilleur que celui des autres voisins
            Retenir la solution optimale correspondante
    Retourner la meilleure solution.
```

**Fig. 3 Algorithme TS**

# CONCLUSION

Cette thèse avait pour objet de proposer une stratégie de planification automatique des réseaux wLAN. Il s'agissait de définir une ou plusieurs configurations des points d'accès (AP) garantissant une qualité de service fixée. Cet objectif devait s'adapter à différents services d'un réseau wLAN allant de la simple garantie de couverture radio à la mise en place d'un réseau favorisant la localisation de stations mobiles.

Le problème de planification de réseaux WLAN consiste d'une part à positionner et à paramétrer des antennes dans un bâtiment et d'autre part à leur affecter une fréquence afin d'offrir aux clients un accès sans fil au réseau local. Le réseau ainsi construit doit répondre à des critères de couverture et de qualité de service, tout en minimisant le coût financier.

Notre modélisation est basée sur le calcul du débit réel offert en chaque point de demande de service du réseau. Nous montrons que ce critère de débit réel permet une modélisation complète de la qualité de service car il unifie les critères habituels de couverture, de gestion des interférences et de capacité.

Notre optimisation traite simultanément le problème de placement des points d'accès et le problème d'affectation de fréquences par un algorithme à Voisinages Variables Aléatoires : à chaque itération de cette recherche locale le type de voisinage est tiré au hasard. Cet algorithme est très modulaire et permet facilement de combiner les deux sous problèmes (placement et affectation).

Enfin nous approfondissons la modélisation du problème en explicitant les liens entre l'installation des points d'accès, la puissance du signal et l'affectation des canaux. Dans une première étape, nous montrons que les contraintes à l'affectation de l'ensemble des points d'accès aux sites potentiels avec leur puissance correspondante. Dans une seconde étape, nous définissons un algorithme Un mouvement effectué ne doit plus être revisité pendant un certain nombre d'itérations. Ainsi un mouvement tabou peut être accepté et révoquer le statu tabou si celle-ci permet d'aboutir à une solution de qualité supérieure que toutes les solutions trouvées.