



Université ABBES LAGHROUR Khenchela  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Industriel  
جامعة عباس لغزور خنشلة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الصناعية



N° Série : .....

## Mémoire de fin d'étude

*Pour l'obtention du diplôme de Master*

**Filière : Télécommunications**

**Spécialité : Télécommunications Avancées**

**THEME**

**Implantation D'un Réseau Wifi RLAN  
D'entreprise Et Personnel**

Réalisé par : - BOURMADA ABDELHAK    Dirigé par : BERKANI ABD EL HAKIM  
- HASROUMI FARES

*Promotion 2015/2016*



# Remerciement

*Ce travail a été effectué dirigé par monsieur Mr. BERKANI A/Hakim.*

*Nous adressons nos remerciements en premier lieu, à Dieu tout puissant pour la volonté, la Santé, le courage et surtout la patience qu'il nous a donnés pour mener ce travail à terme.*

*Nous voudrions exprimés par ce modeste travail, nos gratitude, reconnaissances, considérations et nos grands remerciements à Mr. BERKANI A/Hakim pour avoir suivi notre travail avec une attention soutenue, une grande disponibilité et beaucoup d'encouragements. Ainsi que les membres de jury qui ont acceptés l'examinassions de ce travail et a l'occasion l'ensemble des enseignants et administrateurs de la faculté.*

*Merci à toutes et à tous...*

## ***Dédicace***

Que mes parents, mes frères et sœurs, mon fils ADEM ,et ma fille RAHMA et surtout ma femme toute ma famille et tous mes amis trouvent ici l'expression de ma gratitude et mes remerciements pour leur soutien et leurs encouragements.

Merci à toutes et à tous...

*fares*

# *Dédicace*

*Je dédie ce projet de fin d'études, aux personnes qui me sont  
les plus chères :*

*A mes parents et ma plus chère épouse SOUMIA qui m'a  
énormément soutenu dans les moments les plus difficiles,  
partagé mes joies et mes peines, qui es toujours sacrifiée pour  
moi*

*A mes enfants DJOURI et IYAD ABDELHAY ,  
A mes frère ,SELOUA ,ABDELHAMID,FOUAD ,REDHA  
A mes amis et collègues.*

*ABD EL HAK*

# Liste des Figures

**Figure I.1** : Catégories des réseaux sans fil

**Figure I.2** : la famille IEEE 802.11

**Figure I.3** : Réseau WLAN Ad Hoc.

**Figure I. 4** : Réseau WLAN avec infrastructure

**Figure I.5** : L'accès au canal de la norme HiperLAN1.

**Figure I.6** : Description des couches IEEE 802.11

**Figure I.7** : Les deux sous couches physique du standard 802.11

**Figure I.8**: Les couches physique du standard 802.11

**Figure I.9** : Répartition des canaux (1) dans la bande ISM,  
(2) dans la bande 5GHz.

**Figure I.10** : Étalement du signal DSSS : (1) Addition binaire du code et du signal  
(2)D'étalement spectral

**Figure I.11**: Gabarit des spectres après étalement et modulation des signaux 802.11b et 802.11g.

**Figure I.12** : Récapitulatif de l'architecture des couches physiques IEEE 802.11

**Figure I.13** : Structure temporelle de la super-trame PCF

**Figure II.1** : Exemple d'interférence entre deux obstacles

**Figure II.2** : Connexions d'un réseau sans fil WIFI entre deux points d'accès

**Figure II.3** : La différence des temps de propagation entre les signaux

**Figure II.4** : La différence des temps de propagation entre les signaux

**Figure II.5** : Illustre une configuration de réseau à microcellules.

**Figure II.6** : Configuration RLAN décentralisé

**Figure II.7** : Configuration RLAN décentralisé

**Figure II.8** : Configuration RLAN décentralisé

**Figure II.9** : Exemple de RLAN centralisé

**Figure II.10** : Exemple de RLAN comportant une microcellule à gestion centralisée et raccordé  
à un réseau sans nœud central

**Figure III.1** : Exemple de comparaison entre le champ électrique PIRE = 100mW

**Figure III.2** : Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ  
(en volt/mètre, les axes sont gradués en m)

**Figure III.3** : Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ  
(les axes sont gradués en m)

**Figure III.4:** Autre représentation du niveau de champ

**Figure III.5:** Cartographie des résultats de mesures in situ obtenus (AP : point d'accès)

**Figure III.6 :** Simulation d'une zone de 900m<sup>2</sup> équipée de 3 AP (P = 100mW).

**Figure III.7:** Résultat de simulation représentant la vue en coupe du champ électrique produit par un AP (P = 100mW). Ecalculé (1m) = 1.02V/m à comparer avec Emesuré (1m) = 0.95V/m.

**Figure III.8 :** Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus (AP : point d'accès)

**Figure III.9 :** Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus

**Figure III.10 :** Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus

**Figure III.11 :** Simulation d'une salle de cours (100m<sup>2</sup>, 80 équipements (P = 50mW) et 1Point d'accès (P = 100mW).

**Figure III.12 :** Interface du simulateur

**Figure III.13 :** Visualisation du champ électrique dans une zone de 400m<sup>2</sup> pour 200 équipements d'une puissance de 50 mW ( $E_{\min} = 1\text{V/m}$  et  $E_{\max} = 4,5\text{V/m}$ )

**Figure III.14 :** Visualisation du niveau de champ dans une zone de 1600m<sup>2</sup> contenant 2000 équipements WiFi en fonctionnement (P=50mW, résolution=0,5m).

**Figure III.15 :** Visualisation du niveau de champ dans une zone de 16m<sup>2</sup> contenant 20 équipements WiFi en fonctionnement (P=50mW, résolution=0,1m).

# Liste des Tableaux

**Tableau I.1** : Puissance et SIR Seuils pour la carte IEEE 802.11b

**Tableau II.1** : Portée d'un réseau Wi-Fi 802.11b à l'intérieur d'un bâtiment

**Tableau II.2** : Portée d'un réseau Wi-Fi 802.11b à l'extérieur

**Tableau II.3** : Atténuation du signal causée par différents matériaux

**Tableau II.4** : Présente un récapitulatif des technologies disponibles sur le marché

**Tableau III.1** : Présente un récapitulatif des technologies disponibles sur le marché

**Tableau III.2** : Valeur du champ pour deux valeurs de PIRE

# Liste des abréviations

**WPAN (Wireless Personal Area Network) :** Les réseaux "personnels" sans fil.

**WLAN (Wireless Local Area Network) :** Les réseaux "locaux" sans fil.

**WWAN (Wireless Wide Area Network):** Les réseaux "étendus"

**PAN:** Personal Area Network. sans fil.

**GSM:** Global System for Mobile communication.

**LAN:** Local Area Network.

**IEEE:** Institut of Electrical and Electronics Engineers.

**HiperLAN :** High Performance Local Area Network.

**Wi-Fi et WiFi :** Contraction de Wireless Fidelity.

**PDA :** personnel digital assistant

**DSS :** service direct par satellite

**RF :** radio fréquence

**LCD :** Langage de contrôle de données

**FHSS :** Fréquence Propagation Hopping Spectrum

**CSMA :** Carrier Sense Multiple Access

**ISM :** industriel, scientifique et médical

**MTA :** Mail Transfer Agent

# Sommaire

Introduction général.....	01
<b>Chapitre I : Les systèmes de communication mobile</b>	
I.1. Introduction.....	03
I.1.1 Définition d'un réseau sans fil.....	03
I.1.2 Intérêt du «sans fil» .....	03
I.1.3 Les technologies sans fil.....	04
I.1.3.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN) .....	04
I.1.3.2. Bluetooth .....	05
I.1.3.3 Home RF .....	05
I.1.3.4 ZigBee .....	05
I.1.3.5 Infrarouges .....	05
I.1.4.1 Réseaux locaux sans fil (WLAN).....	05
I.1.4.1.1 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN) .....	06
I.1.4.1.2 WiMAX .....	06
I.1.5 Réseaux étendus sans fil (WWAN) .....	06
I.1.5.1 GSM .....	06
I.1.5.2 GPRS :.....	07
I.2 Le Wifi (Wireless Fidelity).....	07
I.2.1 Introduction au wifi .....	07
I.2.2 Présentation de WiFi (802.11).....	08
I.2.3 Les équipements WiFi.....	08
I.2.4 Les différentes normes WiFi ou IEEE 802.11.....	09
I.2.5 Le standard IEEE 802.11 .....	11
I.2.5.1 La famille IEEE 802 et les standards 802.11.....	10
I.2.5.2 Topologies.....	12
I.2.5.3 Réseau WLAN Ad Hoc .....	12
I.2.5.4 Réseaux WLAN avec Infrastructure .....	12
I.2.6. L'HiperLAN.....	13
I.2.6.1 Présentation de L'HiperLAN.....	13
I.2.6.2. Le principe de fonctionnement de la norme HiperLAN.....	13
I.2.7. Architecture de la norme IEEE 802.11.....	14
I.2.7.1 La couche physique .....	15

I.2.7.1.a La couche FHSS.....	17
I.2.7.1.b La couche DSSS.....	17
I.2.7.2 La couche HR-DSSS .....	19
I.2.7.3 La couche OFDM .....	19
I.2.8 Rapidité de modulation et qualité du signal.....	21
I.2.9 La couche MAC 802.11.....	21
I.2.10 Le mode PCF.....	22
I.3 Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil .....	23
I.3.1 Les avantages du réseau sans fil .....	23
I.3.2 Les inconvénients du réseau sans fil .....	23
I.4 Conclusion .....	23

## **Chapitre II : Etude du réseau RLAN**

II.1 Introduction.....	25
II.1.1 zone de couverture .....	25
II 1.1.1 En milieu intérieur .....	26
II.1.1.2 En milieu extérieur.....	26
II .2.2 les Interférences .....	27
II .2.2 1 Les Interférences Entraînent.....	27
II .2.2.2 Sources d'interférence .....	28
II.2.3 Combattre Les Interférences .....	29
II.3 Processus De Dimensionnement Et D'un Réseau Wifi.....	29
II.3.1 Prévision De Couverture.....	30
II.3.1.1 Théorie de portée radio .....	30
II.3.1.2 Bilan de la liaison.....	33
II.3.2 Dimensionnement D'un Réseau Wifi .....	36
II.3.2.1 Dimensionnement Des Cellules Wifi.....	36
II.3.2.2 Rayon et surface des cellules .....	36
II. 3.2.3 Nombre de cellules dans la zone à couvrir.....	36
II.3.3 Dimensionnement Des Équipements .....	36
II.3.3.1 Nombre de point d'accès par cellule .....	36
II.3.3.2 Nombre des switches .....	37
II.4 Caractéristiques des RLAN.....	37
II.4.1 Modulation, codage et diversité.....	37
II.4.3 Topologie des RLAN.....	38

II.4.4 Types des réseau RLAN.....	38
II.4.5 Raccordement à un LAN filaire ou à un réseau public pour données (RPD).....	41
II.4.6 Niveau de qualité de fonctionnement.....	43
II.4.7 Tolérance au brouillage.....	43
II.5 Les avantages des RLAN.....	44
II.6 Conclusion.....	45

### **Chapitre III : implantation et simulation d'un réseau RLAN**

III.1 Introduction .....	47
III.I.2 Problématique de l'étude.....	47
III.1.1 l'objectif de l'étude .....	48
III.3 Calculs et simulation des niveaux de champs électromagnétiques.....	49
III.3.1 Simulations.....	51
III.3.2. Simulation du champ produit par une carte WiFi.....	51
III.3.3. Simulation du champ produit par plusieurs points d'accès.....	52
III.3.4 comparaison du résultat de mesure avec ceux de la simulation dans l'amphithéâtre.....	53
III.3.5 Mesures réalisées dans l'amphithéâtre	54
III.3.6 Mesures réalisées dans la cafétéria.....	56
III.3.7 Mesures réalisées dans la bibliothèque.....	56
III.3.8. Mesures réalisées dans la zone de bureaux.....	57
III.3.9 Traitement relatif aux salles de cours.....	58
III.4. Synthèse.....	59
III.4.1 Résultats des mesures.....	59
III.5. Les principaux résultats.....	61
III.6 Conclusion de la simulation .....	62
<b>Conclusion général</b> .....	63
<b>Bibliographiques</b> .....	64

### **Annexe**

# **Introduction général**

## INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux sans fil ont été créés pour permettre aux utilisateurs d'effectuer des communications de tel sorte à garder la connectivité des équipements, tout en ayant gain de mobilité et sans avoir recours aux `fils' utilisés dans les réseaux traditionnels et qui encombrant ces derniers.

Ces dernières années, les technologies sans fil ont connues un essor considérable que ce soit au niveau commercial ou dans le domaine des recherches, ceci revient aux multiples avantages qu'elles offrent (mobilité, faible coûts...).

Mais, comparer aux interfaces filaires, peu nombreuses sont les interfaces sans fil qui offrent un débit rapide (ondes hertziennes, l'infrarouge) .Il existe plusieurs technologies pour les réseaux sans fil se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions (Bluetooth, Zigbee, Hiperlan, Wi-Fi et le réseau local sans fil qui est l'objet de ce mémoire), leur arrivée a soulevé un engouement nouveau pour les réseaux radio qui étaient jusqu'alors le domaine exclusif des militaires.

Afin d'effectuer une étude détaillée sue le RLAN , notre travail est organisé comme suit :

Le premier chapitre aborde les réseaux sans fils le standard IEEE 802.11 ou son appellation commerciale Wi-Fi. Ce standard représente la technologie la plus utilisée aujourd'hui comme interface sans fil pour échanger des données. Ce chapitre présente aussi les aspects d'architecture, le format des trames ainsi que quelques extensions dérivées de ce standard.

Le second chapitre expose l'étude d'un réseau RLAN ainsi qu'une illustration à la propagation radio et les différentes topologies dans le standard I EEE 802.11, en commençant par citer quelques-unes de ses caractéristiques et leur impact sur les RLAN utilisés dans l'industrie et les entreprises.

Le troisième chapitre illustre une simulation simple configuration d'un point d'accès au réseau sans fil de l'université, ainsi que les résultats obtenu à l'aide de logiciel MTLAB.

# **CHAPITRE I**

## **I.1.Introduction :**

L'essor des technologies sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs dynamiques ont des caractéristiques particulières d'où la naissance d'un nouvel environnement de communication appelé Environnement mobile sans fil.

Dans ce chapitre nous verrons l'intérêt des réseaux sans fil, ainsi que les différentes technologies des réseaux sans fil qui seront classés selon leur zone de couverture, et après nous citons quelques avantages des réseaux sans fil.

### **I.1.1Définition d'un réseau sans fil:**

Un réseau sans fil (en anglais Wireless Network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur portable, PDA, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions. Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

### **I.1.2 Intérêt du réseau sans fil :**

Un réseau sans fil peut servir plusieurs buts distincts :

- Utilisation croissante des terminaux portables en milieu industriel et logistique ; Besoin d'un accès permanent des populations nomades au système d'information de l'entreprise ; Pour transmettre :
- Des messages courts ;
- Bips, numériques, alphanumériques ;La voix ;
- Des données informatiques ;
- fax, fichiers, textes, images.

- Réaliser des installations temporaires ;
- Mettre en place des réseaux en un temps très court ;
- Eviter le câblage de locaux, de liaisons inter-bâtiments ;
- Créer une infrastructure dans des bâtiments classés ;
- Maturité des technologies sans fil:

### I.1.2 Les technologies sans fil:

Les technologies dites « sans fil », la norme 802.11 en particulier, facilitent et réduisent le coût de connexion pour les réseaux de grande taille. Avec peu de matériel et un peu d'organisation, de grandes quantités d'informations peuvent maintenant circuler sur plusieurs centaines de mètres, sans avoir recours à une compagnie de téléphone ou de câblage. Ces technologies peuvent être classées en quatre parties :

- Les réseaux personnels sans fil : WPAN.
- Les réseaux locaux sans fil : WLAN.
- Les réseaux métropolitains sans fil : WMAN.
- Les larges réseaux sans fil : WWAN. [1]

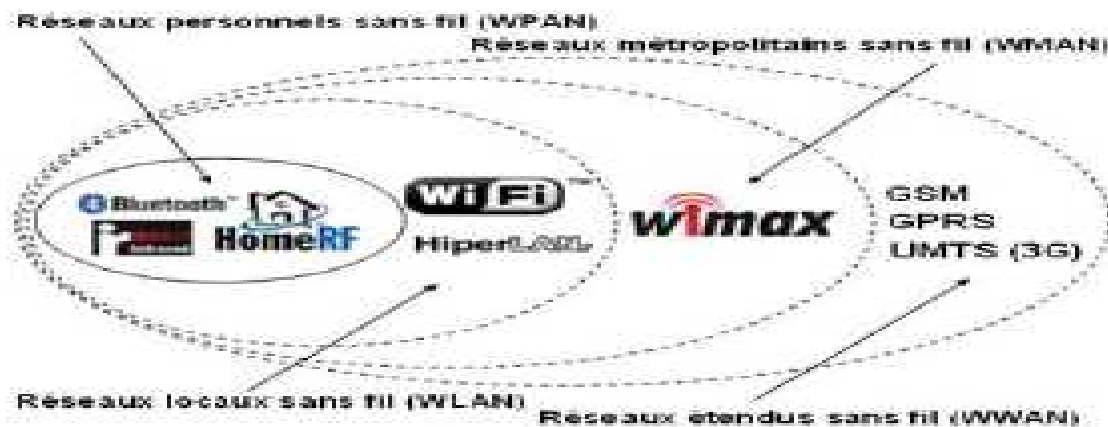


Figure 1-1: Catégories des réseaux sans fil [4]

#### I.1.2.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN) :

Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines de mètres.

Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans Liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN :

#### **I.1.2.2. Bluetooth :**

C'est la principale technologie WPAN, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmande en énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée à une utilisation au sein de petits périphériques.

#### **I.1.2.3 Home RF :**

Lancée en 1998 par le HomeRF Working Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003, notamment car les fondeurs de processeurs misent désormais sur les technologies Wi-Fi Embarquée (via la technologie Centrino, embarquant au sein d'un même composant un microprocesseur et un adaptateur Wi-Fi).

#### **I.1.2.3 ZigBee :**

(Aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...). La technologie Zigbee, opérant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kb/s avec une portée maximale de 100 mètres environ.

#### **I.1.2.4 Infrarouges :**

Permettent de créer des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. [2]

#### **I.1.3.1 Réseaux locaux sans fil (WLAN) :**

Le réseau local sans fil (noté WLAN) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres.

Il permet de relier entre-deux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes :

#### **I.1.3.1.a Réseaux métropolitains sans fil (WMAN) :**

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN) est connu sous le nom de BLR. Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication.

#### **I.1.3.1.b WiMAX :**

C'est La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres. Elle permet de fournir un accès internet rapide à certaines zones rurales qu'il coûterait trop cher d'équiper en ADSL classique. WiMAX utilise des bandes de très hautes fréquences, situées entre 2 et 66 GHz. C'est une technologie de réseau sans fil fixe et non mobile. Elle nécessite que les antennes émettrices et réceptrices soient situés l'une en face de l'autre pour que les transmissions passent. Connue sous le nom officiel 802.16, cette technologie est très utile pour éviter les coûteuses liaisons câblées qui étaient jusques là nécessaires pour apporter l'internet à haut débit dans les régions moins peuplées. WiMAX peut être utilisé en complément de Wi-Fi pour relier deux réseaux trop éloignés l'un de l'autre, par exemple deux bâtiments d'une même entreprise. [3]

#### **I.1.4 Réseaux étendus sans fil (WWAN) :**

Le réseau étendu sans fil (WWAN) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes :

##### **I.1.4.1 GSM :**

Le réseau GSM constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS) ou des messages multimédias (MMS). [4]

### **I.1.4.2 GPRS :**

Le standard GPRS est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM++ (ou GSM 2+). Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G). Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) utilisant le protocole IP ou le protocole X.25. Le GPRS permet de nouveaux usages que ne permettait pas la norme GSM, généralement catégorisés par les classes de services suivants :

- Services PTP, c'est-à-dire la capacité à se connecter en mode client-serveur à une machine d'un réseau IP,
- Services PTMP, c'est-à-dire l'aptitude à envoyer un paquet à un groupe de
- destinataires (Multicast).
- Services de messages courts (SMS).

## **I.2 Le Wifi (Wireless Fidelity):**

### **I.2.1 Introduction au wifi :**

En 1997; alors que l'attention est accaparée par le succès d'Internet et l'euphorie boursière montante, un événement est passé inaperçu sauf pour quelques spécialistes et observateurs:

L'adoption du standard IEEE 802.11 ou Ethernet sans fil. Exploitant la bande de fréquence de 2,4 GHz, le 802.11 plafonne à un débit de 2 Mbits/s au maximum. Ce précurseur est suivi de plusieurs déclinaisons dont le célèbre Wi-Fi qui connaît un franc succès, aidé par le volontarisme des fabricants, distributeurs et fournisseurs de services... Wi-Fi, est un nom composé à la manière d'Hi-Fi qui signifie Wireless fidelity. Il désigne les différentes déclinaisons de la norme IEEE 802.11 qui permet à plusieurs ordinateurs de communiquer sans fil en utilisant comme support les ondes radio. Les câbles disparaissent enfin. avantage: le déploiement d'un réseau Wi-Fi est assez simple, le prix plutôt modeste en comparaison d'autres technologies. Le Wi-Fi est une technologie intéressante pour de nombreuses sociétés liées au monde des télécoms et d'Internet. Les collectivités locales et surtout les particuliers profitent de la facilité d'accès à Internet haut débit liée à cette norme. Dans sa déclinaison la plus connue, 802.11 b.

Le Wi-Fi utilise la bande de fréquence de 2,4 GHz et atteint un débit théorique de 11 Mbits/s (contre 128, 512 Kbits/s ou 1 Mbits/s pour l'ADSL), le 802.11a culmine à 22 Mbits/s et le 802.11 g, enfin, flirte avec les 54 Mbits/s. Le Wi-Fi peut certes servir à surfer sur Internet, mais pas seulement. Il autorise l'organisation de réseaux -pourvus ou pas d'Internet - pour échanger des fichiers, des données, et bien entendu pour jouer. Ce ne sont là que quelques exemples de ses usages possibles. Les avantages des réseaux sans fil ne sont plus à démontrer surtout à une génération de plus en plus habituée à la mobilité. La multiplication des appareils (PDA, PC portables, terminaux et bientôt les téléphones portables) capables de communiquer entre eux en fait le support idéal des réseaux modernes.

### I.2.2 Présentation de WiFi (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 codage 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.[5]

### I.2.3 Les équipements WiFi :

Il existe différents types d'équipement pour la mise en place d'un réseau sans fil Wifi :

#### a) Les adaptateurs sans fil ou cartes d'accès :

En anglais Wireless Adapters ou Network Interface Controller, noté NIC. Il s'agit d'une carte réseau à la norme 802.11 permettant à une machine de se connecter à un réseau sans fil. Les adaptateurs WiFi sont disponibles dans de nombreux formats (carte PCI, carte PCMCIA, adaptateur USB, carte compact flash ...).

On appelle station tout équipement possédant une telle carte. A noter que les composants Wi-Fi deviennent des standards sur les portables (label Centrino d'Intel).

**b) Les points d'accès**

Notés AP pour Access point, parfois appelés bornes sans fil, permettant de donner un accès au réseau filaire (auquel il est raccordé) aux différentes stations avoisinantes équipées de cartes WiFi. Cette sorte de hub est l'élément nécessaire pour déployer un réseau centralisé en mode infrastructure. Certains modèles proposent des fonctions de modem ADSL et comprennent plus ou moins de fonctions comme un par feu.

**c) Les autres**

- *Smart Display*: écrans mobiles, soutenus par Microsoft.
- *Chaînes WiFi*: offrant la capacité de lire les MP3 directement sur le disque dur d'un ordinateur grâce à l'interface Ethernet sans fil intégrée. Elle préfigure toute une génération de produits, capables de lire, outre les CD audio, les radios qui émettent en MP3 sur Internet.
- *Assistant personnel*: les PDA intégrant le WiFi est parfois plus avantageux qu'un portable pour lire ses mails, importer des documents voir surfer sur le net.
- *Rétroprojecteurs*: pour des présentations avec portables mobiles.
- *Caméra vidéo*: transmettre des images à distance à l'ordinateur qui les enregistre Les composants Wi-Fi ne sont pas plus onéreux que ceux des réseaux filaires, bientôt toutes les plates-formes seront vendues avec des modules Wi-Fi intégrés. C'est déjà le cas dans le monde des PC portables, qui, sous l'impulsion d'Intel, fait sa révolution sans fil grâce au Centrino.

#### **I.2.4 Les différentes normes WiFi ou IEEE 802.11 :**

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. La logique aurait voulu un ordre alphabétique. 80211a pour le moins performant 80211 b, c. mais non. Voici les différentes révisions de la norme 802.11 et leur signification :

- ✓ *802.11 (norme initiale)* : Dans sa version initiale de 1997, 802.11 proposait trois couches physiques : Radio a étalement de spectre par utilisation de séquences directes (DSSS3), débit bande de base 1 Mbits/s et 2 Mbits/s, Radio a étalement de spectre par utilisation de sauts de

fréquences (FHSS3) a 1,6 Mbits/s, Infrarouge, 1 ou 2 Mbits/s.

- ✓ 802.11 a : propose 8 canaux dans la bande des 5 GHz. Cette proposition permet d'atteindre un débit bande de base de 54 Mbits/s sur une portée d'une vingtaine de mètres environ.
- ✓ 802.11 b : propose une amélioration de la norme initiale en introduisant la modulation CCK3 dans la bande des 2,4 GHz. Deux nouveaux débits sont alors disponibles : 5,5 Mbits/s et 11 Mbits/s sur une portée de quelques dizaines de mètres environ. Ratifiée en septembre 1999, 802.11b est l'amendement de 802.11 qui a donné sa popularité au Wifi. Bien que 802.11b soit encore largement utilisé, il est maintenant supplanté par 802.11g.
- ✓ 802.11 c : propose une modification de la norme 802.1d existante pour les réseaux filaires afin de la transposer à 802.11. Elle permet une normalisation de l'interconnexion de niveau 2 (pont) entre un réseau filaire et un réseau Wifi.
- ✓ 802.11 d : propose un protocole d'échange d'informations sur les fréquences et les puissances d'émission en vue d'une utilisation dans chaque région du monde, quel que soit le pays d'origine du matériel.
- ✓ 802.11 e : propose des outils de Qualité de Service. Les travaux spécifiques de ce groupe de travail seront détaillés et cette norme sera étudiée plus loin dans le chapitre 3.
- ✓ 802.11 f : est une recommandation qui propose une extension pour la communication entre points d'accès compatibles 802.11 par le protocole IAPP en introduisant des capacités de changement de cellules et d'équilibrage des charges (Load-Balancing).
- ✓ 802.11 g : constitue une amélioration directe de 802.11b en proposant un débit bande de base de 54 Mbits/s sur la bande des 2,4 GHz. Ce gain en débit est réalisé en reprenant le concept de l'étalement de spectre par OFDM utilisé dans 802.11a. Toutefois, 802.11g garde une compatibilité avec 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b.
- ✓ 802.11 h : propose des améliorations pour pallier au futur problème de la sur utilisation des fréquences dédiées à 802.11. Ce groupe de travail propose d'une part une possibilité de sélection dynamique de fréquence appelée DFS, qui permet de choisir le canal le moins perturbé, et d'autre part le contrôle de puissance TP pour Transmit Power Control, qui permet à l'émetteur de réduire sa puissance d'émission au minimum nécessaire.
- ✓ 802.11 i : met en place les mécanismes afin de garantir la sécurité. Cette norme définit des techniques de chiffrement telles que l'AES.
- ✓ 802.11 n : son but est d'étendre le standard 802.11 pour atteindre un débit de 540 Mbit/s tout en assurant une rétrocompatibilité avec les trois précédents amendements (a, b et g). Sa portée est

d'une centaine de mètre. il utilise les deux bandes 2.4 et 5GHz.

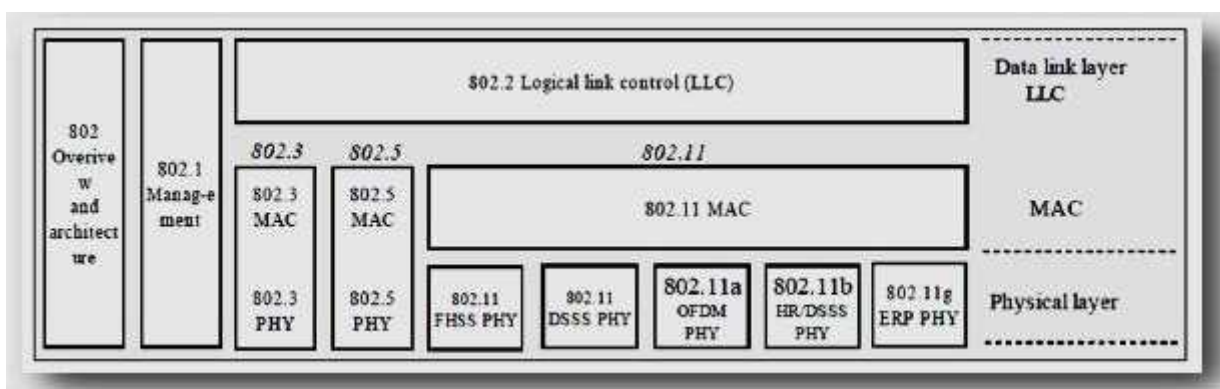
- ✓ 802.11 x : sécurisation de divers médias y compris le lien sans fil par le biais de mécanismes d'authentification fort et de serveur RADIUS avec une distribution dynamique des clés.[6]

### I.2.5 Le standard IEEE 802.11 :

- Totale compatibilité avec les anciens produits et les produits actuels qui composent les réseaux LAN. C'est-à-dire que le passage du WLAN au LAN et vice-versa devra être transparent à l'utilisateur.
- Une sécurité acceptable pour le passage de l'information dans l'air. (WEP). Cette technologie très intéressante pourra prendre la relève des LAN au sein des entreprises, mais seulement le principal problème vient de la qualité de transmission, puisque le problème de capacité tend de plus en plus à être réduit, par l'augmentation des débits de transmission. Ce problème vient du fait que le canal de transport du WLAN n'est autre que l'air et il va être étudié d'une manière détaillée dans le chapitre suivant. [16], [19]

### I.II.3.1 La famille IEEE 802 et les standards 802.11:

Le 802.11 est issu de la famille 802, qui est une série de spécifications pour les réseaux locaux. La figure montre la relation entre les différents composants de la famille 802 et leurs emplacements dans le modèle OSI :



**Figure I.2 :** la famille IEEE 802.11

Comme les spécifications 802, le standards IEEE 802.11 couvre les deux couches inférieures du modèle OSI : la couche liaison et la couche physique. La couche MAC définit un ensemble de règles permettant d'accéder au médium et d'envoyer des données, les détails de la réception et de la

transmission, sont traités au niveau de la couche physique. [7]

Actuellement au sein du 802.11 plusieurs groupes de travail ont été créés afin d'améliorer ou de proposer des nouveaux mécanismes régissant divers aspects.

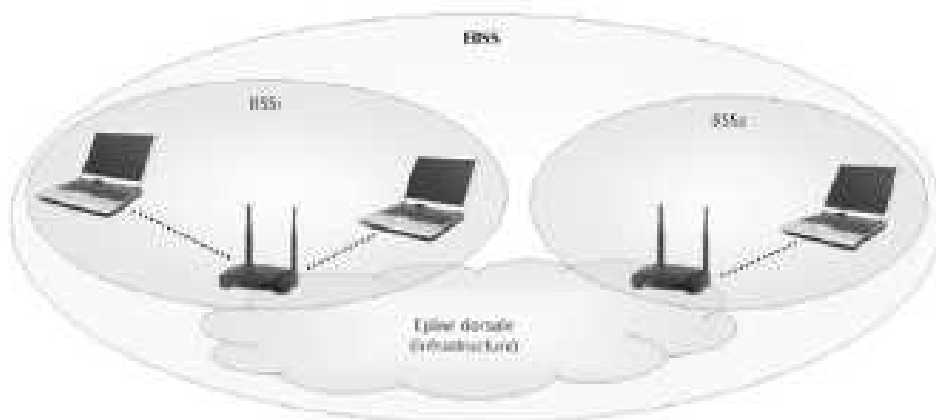
Des révisions donc ont été apportées à la norme originale (avec un débit de 1 ou 2 Mbps) afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11 physiques à savoir les normes 802.11a, 802.11b, 802.11g) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité.

### I.2.3.2 Topologies:

Le réseau sans fil utilisant la norme 802.11 peut être déployé de deux manières différentes : Avec infrastructure ou sans infrastructure (mode Ad Hoc).

#### I.2.3.1 Réseau WLAN Ad Hoc :

Un réseau Ad Hoc ou encore IBSS (Independent Basic Service Set) est un ensemble de stations possédant une carte WLAN sans la présence d'un AP. Contrairement au réseau à infrastructure, les stations dans un réseau Ad Hoc communiquent directement entre elles. [8]

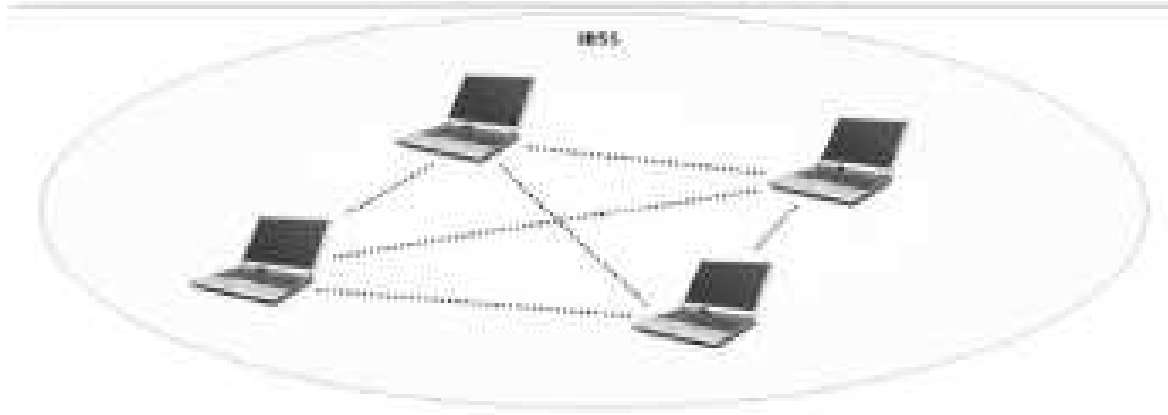


**Figure I.3:** Réseau WLAN Ad Hoc

#### I.2.3.2 Réseaux WLAN avec Infrastructure :

Le réseau à infrastructure comprend des points d'accès ou Access Point qui gèrent l'ensemble des communications dans une même zone géographique sous la forme de cellule. Ce mode de gestion géographique ressemble un peu au modèle GSM ou UMTS. D'ailleurs il fonctionne de façon presque similaire, car les stations munies de carte WLAN peuvent se déplacer dans la zone de couverture de l'AP et effectuer un roaming entre les différents AP si la topologie le permet (chevauchement des cellules).

Il faut remarquer que chaque AP possède une connexion LAN, ou un autre type de connexion lui assurant la connexion avec le réseau fixe. Le réseau est alors formé de plusieurs BSS qui forment ensemble un unique EBSS. [9]



**Figure I.4 :** Réseau WLAN avec infrastructure

## **I.2.4 L'HiperLAN :**

### **I.4.2.1 Présentation de L'HiperLAN :**

High Performance Local Area Network type 1 (HiperLAN 1) est un standard de l'European Technical Standard Institute (ETSI). Il décrit le fonctionnement d'équipements travaillant dans la bande 5.15-5.30 GHz et permettant d'atteindre un débit de 23.5 Mbit/s sur une distance d'environ 50 mètres. L'architecture est totalement décentralisée, il n'y a pas de notion de point d'accès mais les nœuds HiperLAN 1 peuvent cependant avoir des rôles de passerelles. L'HiperLAN 2 est très différent dans son architecture de l'HiperLAN 1, est basé sur une centralisation poussée. Les points d'accès sont d'ailleurs indifféremment appelés Acces Point (AP) ou Central Controller (CC) sont généralement reliés entre eux par une infrastructure filaire ou non filaire, les mobiles s'attachent ensuite à ces point d'accès pour accéder aux ressources du réseau.

### **I.4.2. Le principe de fonctionnement de la norme HiperLAN :**

Les fonctionnalités de l'Hiper LAN 1 sont organisées en trois phases (Figure I.5):

- a) La phase de priorité : cette phase est divisée en  $n_{qc}$  slots, au début d'un nouveau cycle de transmission, tous les nœuds qui veulent accéder au canal vont envoyer burst de signalement, l'idée

est d'écouter le canal tant que notre priorité nous interdit d'émettre notre propre burst de signalement.

- b) La phase d'élimination : il se peut que plusieurs nœuds veuillent émettre en même temps des paquets de priorités identiques. Il faut donc le départager ; pour cela chaque nœud va poursuivre l'envoi de son burst de signalement pendant un nombre aléatoire de slots. Ce sera celui qui a tiré le plus grand nombre qui l'emportera.
- c) La phase d'écoute : si toutes fois il reste plusieurs nœuds en lice alors l'élimination va se terminer dans la troisième phase. Un nombre aléatoire de slots est choisi. C'est celui qui aura tiré le plus petit qui pourra transmettre. Un mécanisme de routage multi-sauts est implanté. Les nœuds envoient des paquets hello qui leurs permettent de connaître leur voisinage. Ces informations de voisinage sont propagées dans tout le réseau et permettent ainsi à un nœud d'en reconstruire la topologie.

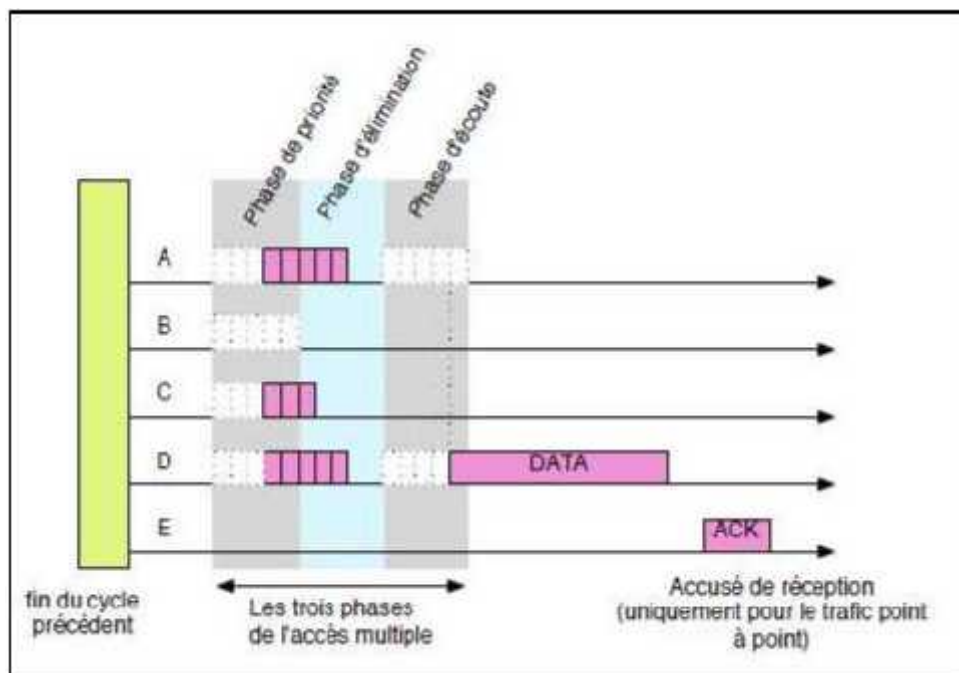
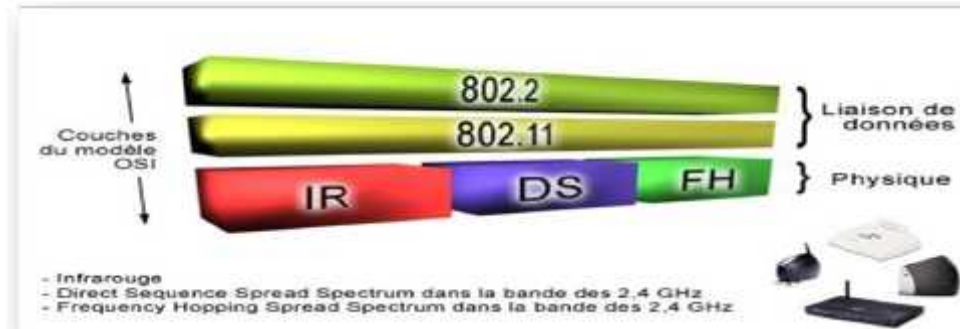


Figure I.5 : L'accès au canal de la norme HiperLAN1.

### I.2.5. Architecture de la norme IEEE 802.11:

La norme IEEE 802.11 définit les deux premières couches (basses) du modèle OSI, à savoir la couche physique et la couche liaison de données. Elle introduit des modifications sur la couche basse du niveau lien (donc niveau MAC) et sur le niveau physique avec le support de plusieurs méthodes d'accès radio (donc la définition de plusieurs couches physiques). [10]

Il est à noter que la nouvelle couche MAC est commune à toutes les couches physiques. La figure 1.6 illustre l'architecture en couches de la norme IEEE 802.11 :



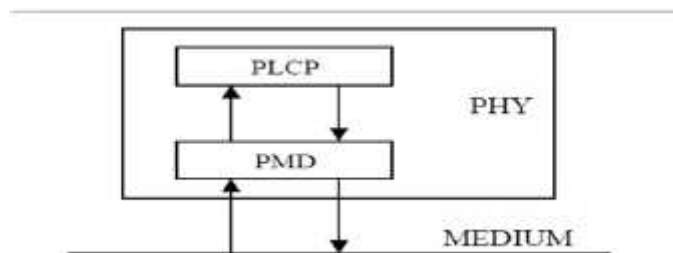
**Figure 1.6** l'architecture en couches de la norme IEEE 802.11.

La couche physique définit la modulation des ondes radioélectriques 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. [20]

### I.2.5.1 La couche physique :

La norme IEEE 802.11 définit deux sous-couches physiques :

- PMD (Physical Media Dependant) : gère l'encodage des données et la modulation.
- PLCP (Physical Layer Convergence Procedure): s'occupe de l'écoute du support et est directement reliée à la couche MAC pour lui signifier que le support de transmission est libre.



**Figure I.7** : Les deux sous couches physique du standard 802.11

Le standard 802.11 d'origine a défini trois couches physiques de base, FHSS, DSSS, IR, auxquelles ont été rajoutées trois nouvelles couches physiques Wifi (avec deux variantes au sein de la solution 802.11b) et Wi-Fi5 (802.11a/g). la figure suivante illustre ça :

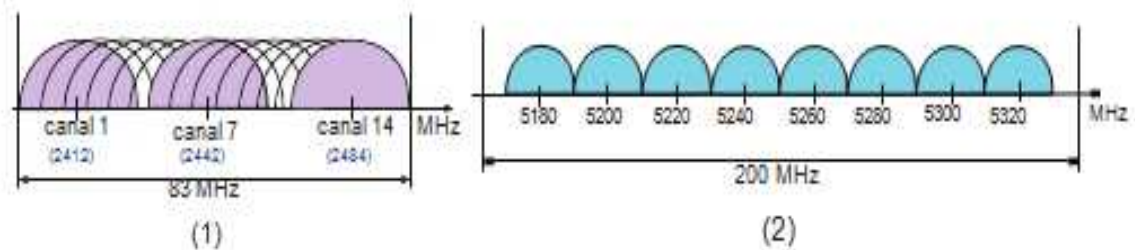


**Figure I.8 :** Les couches physiques du standard 802.11

Selon l'extension de la norme employée, ce n'est pas le même type de couche physique qui est utilisé. ne architecture de couche physique définit :

- le format des trames transmises sur le canal,
- la technique de transmission,
- le type de modulation utilisé.

Six architectures de couche physique ont été définies à l'heure actuelle : FHSS, DSSS, IR, HR-DSSS, OFDM-2.4GHz et OFDM-5GHz. Les deux premières versions du standard 802.11 (1997 et 1999) définissent les trois couches physiques dénommées FHSS, DSSS et IR. La technologie IR (Infra Red), travaillant avec des ondes infrarouges, a été très peu mise en œuvre. C'est pourquoi nous ne la détaillerons pas ici. Les couches FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) et DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ont été proposées pour la bande de fréquence des 900 MHz et la bande de fréquence des 2.4 GHz. Actuellement, seule la bande à 2.4GHz est utilisée pour ces deux architectures. Ces deux couches physiques proposent des débits d'émission de 1 Mbits/s et 2 Mbits/s.



**Figure I.9 :** Répartition des canaux (1) dans la bande ISM, (2) dans la bande 5GHz

### I.2.5.1.a La couche FHSS :

Cette couche est basée sur une technique de transmission dite à saut de fréquences (Frequency Hopping). La bande de fréquences est divisée en une série de canaux de 1 MHz de large. Ainsi, en France, la bande des 2.4 GHz étant comprise entre 2.402 GHz et 2.483 GHz, 79 canaux sont définis (cf. Tab. 1.1). Au cours d'une même transmission, l'émetteur change régulièrement de canal selon une séquence pseudo aléatoire connue du récepteur. Cette séquence répartit uniformément le signal sur toute la bande de fréquences et diminue la probabilité d'interférence avec d'autres signaux émis. Chaque point d'accès possède sa propre séquence configurée manuellement par l'installateur. La couche FHSS transmet la trame binaire par modulation de fréquence (GFSK - Gaussian Frequency Shift Keying). Cette modulation fait varier la fréquence de la porteuse  $F_c$  de plus ou moins  $f_d$  pour représenter les symboles à transmettre. Ainsi, pour obtenir un débit de 1Mbits/s, deux fréquences sont utilisées :

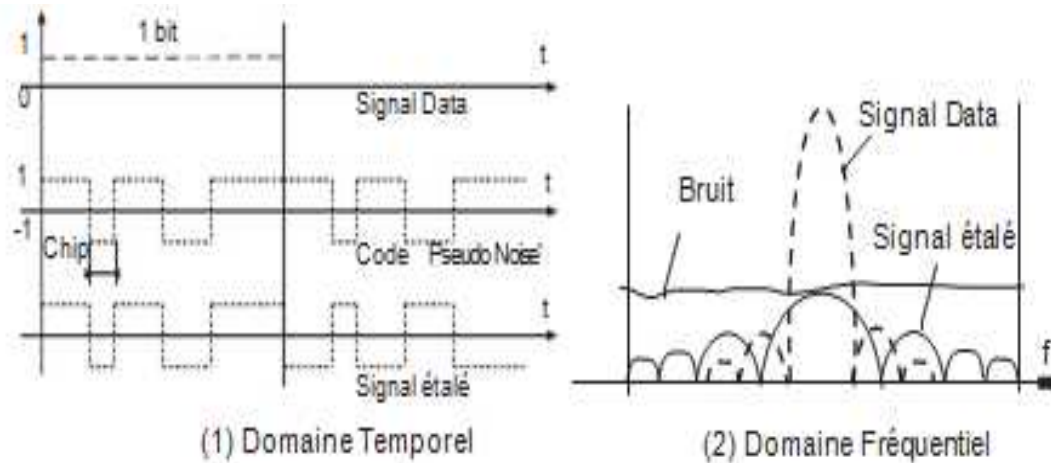
- $F_c + f_d$  pour transmettre un bit à 1
- $F_c - f_d$  pour transmettre un bit à 0.

Pour doubler le débit, 4 fréquences sont définies pour transmettre des symboles composés de deux bits (00, 01, 11 et 10).[11]

### I.2.5.b La couche DSSS

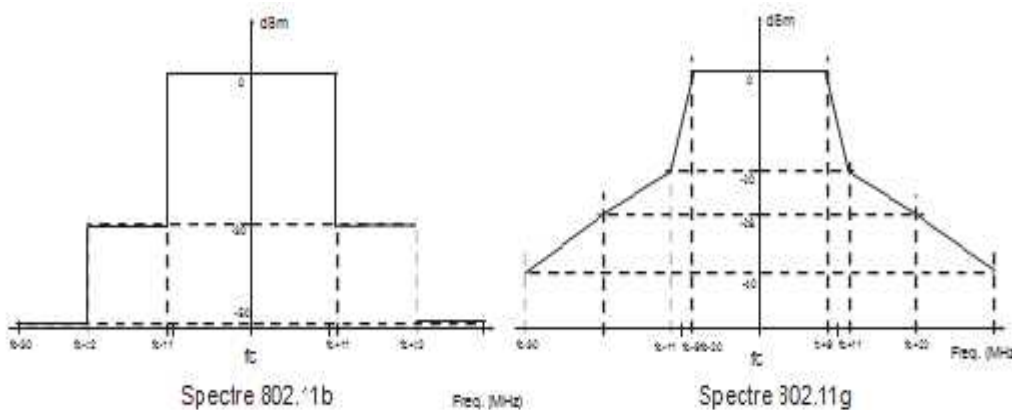
La couche DSSS répartit le signal à transmettre sur toute la largeur du canal à l'aide de la technique Direct Sequence Spread Spectrum. Le canal radio est plus large qu'en FHSS. Il vaut 22 MHz. Cette technique d'étalement de spectre est une technique issue des technologies de transmission radar. Elle permet de répartir la densité spectrale de puissance du signal émis à bande étroite sur une bande de fréquences plus large.

Le signal est étalé sur la bande à 22 MHz en l'additionnant à un code dit 'pseudo-noise'. Ce code est composé d'une séquence de bits +1 et -1 au débit plus important. Cette addition dans le domaine spectral d'étaler le signal sur toute la bande de fréquences comme présenté dans la figure 1.2-(2). Le code utilisé par tous les points d'accès est le code de Barker.



**Figure. I.10 :** Étalement du signal DSSS : (1) Addition binaire du code et du signal  
(2) D'étalement spectral

Pour que les points d'accès n'interfèrent pas entre eux, chaque AP se voit attribuer un canal de communication. Après étalement, le canal radio occupe une bande spectrale 22 MHz. Or, d'après le tableau 1.1, 14 canaux sont définis sur la bande de fréquences ISM. Comme le présente la figure 1.10, les canaux se recouvrent. En observant la forme du spectre du signal 802.11b après étalement et modulation représenté sur la figure 1.11, on observe que le rapport signal sur interférences entre deux canaux adjacents espacés de 5 MHz est quasi nul. C'est en utilisant deux canaux espacés d'au moins 22 MHz que l'on arrivera à obtenir jusqu'à 30 dB de rapport signal sur interférences.



**Figure I.11:** Gabarit des spectres après étalement et modulation des signaux 802.11b et 802.11g

De ce fait, l'attribution des canaux aux points d'accès présents dans un bâtiment devient délicate car l'utilisation de deux canaux adjacents pour deux AP qui couvrent la même zone crée des interférences importantes. Ainsi, si l'on souhaite travailler avec des canaux totalement disjoints, on ne possède que 3 fréquences à répartir sur le jeu de points d'accès déployés. Ce problème d'allocation de fréquences (FAP : Frequency Assignment Problem) est un problème souvent traité dans la littérature [14] car il survient également dans les réseaux cellulaires. La couche DSSS transmet la trame étalée sur une porteuse à l'aide d'une modulation de phase. Chaque bit 0 ou 1 est alors représenté par une variation de la phase de la porteuse. Pour transmettre à 1Mbits/s, la modulation est une modulation binaire (DBPSK : Differentiate Binary Phase Shift Keying) où chaque bit correspond à une phase de la porteuse. Pour transmettre à 2Mbits/s, quatre phases sont utilisées pour transmettre à 1Mbits/s des symboles de deux bits (DQPSK : Differentiate Quadrature Phase Shift Keying).[12]

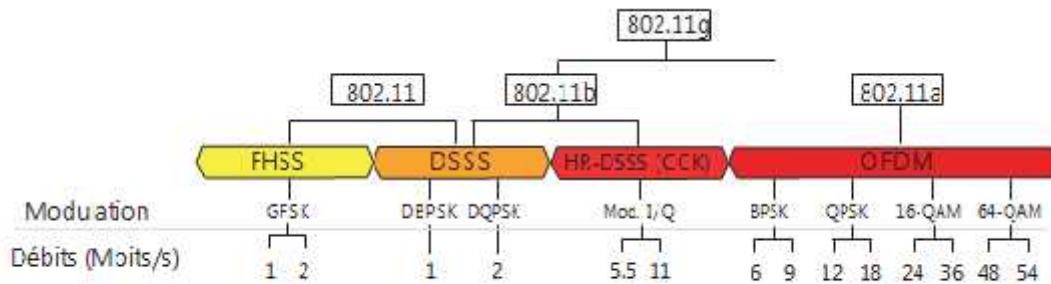
### I.2.5.3 La couche HR-DSSS :

L'extension 802.11b modifie la couche DSSS pour proposer des débits supplémentaires de 5.5 Mbits/s et 11 Mbits/s. Pour les débits de 1Mbits/s et 2Mbits/s, la séquence d'étalement est la même que celle définie pour DSSS (séquence de Barker). Par contre, pour atteindre les débits supérieurs, la technique CCK (Complementary Code Keying) est utilisée. Cette technique utilise une architecture composée d'un code d'étalement de 8 chips et associée à une modulation I/Q. Les chips sont émises à une vitesse d'un million de chips à la seconde. Chaque symbole transmis est représenté par un code CCK particulier. La technique de création des codes produit des codes d'étalement quasi-orthogonaux, ce qui diminue les effets néfastes du multi-trajet et des interférences.

### I.2.5.4 La couche OFDM :

Une autre augmentation de débit a été obtenue en définissant dans 802.11a une nouvelle couche physique basée sur la technique de transmission OFDM dans la bande de fréquences des 5GHz. Avec cette couche physique, il est possible d'obtenir des vitesses de transmission allant jusqu'à 54 Mbits/s. Au vu du succès commercial des équipements travaillant dans la bande des 2.4 GHz, la même architecture de couche physique basée sur la technique de transmission OFDM a été définie dans la bande 2.4GHz [25]. OFDM divise un signal série haut débit en plusieurs sous signaux à débit plus faible et les transmet simultanément sur 48 fréquences porteuses.

Le fait d'envoyer des symboles plus longs est un moyen de lutter contre le phénomène de chemins multiples. En effet, plus la distance de propagation d'une onde est importante, plus il y a de chance qu'elle se réfléchisse ou qu'elle diffracte sur des obstacles. Au niveau du récepteur, les différents chemins créés par le trajet de l'onde émise vont arriver avec des retards de phase différents puisque la distance parcourue n'est pas la même. Il en résulte un étalement temporel du canal qui rend la démodulation du signal plus complexe.



**Figure I.12 :** Récapitulatif de l'architecture des couches physiques IEEE 802.11

L'approche traditionnelle qui tend à diminuer la taille des bits transmis pour augmenter le débit s'avère être particulièrement affectée par le phénomène des trajets multiples. En effet, si la durée des symboles transmis est inférieure à la durée d'étalement temporel du canal, il ne sera pas possible de comprendre un message où plusieurs symboles arrivés à des moments différents se chevauchent au niveau du récepteur. Or, les technologies WLAN sont implantées dans des bâtiments où la densité des obstacles favorise l'apparition de multi-trajet. OFDM permet de palier à ce problème en émettant en parallèle des signaux plus longs en durée sur plusieurs porteuses. L'agrégation de plusieurs canaux lents permet de transmettre plus robustement des signaux sur un canal sensible aux trajets multiples. Différentes techniques de modulation de phase (BPSK, QPSK, QAM...) sont définies en fonction du débit d'émission voulu. La figure 1.4 présente les types de modulation utilisés pour chaque débit.

Les douze canaux fréquentiels de la bande 5 GHz, présentés dans la figure 1.1, ne se recouvrent pas et l'ensemble des canaux est exploitable pour l'allocation des fréquences aux points d'accès. Par contre, l'extension 802.11g exploite les mêmes techniques (OFDM et modulations associées) mais dans la bande de fréquences 2.4 GHz. Si l'on observe la forme du spectre obtenu après étalement et modulation du signal 802.11g de la figure 1.3, on se rend compte que l'on est confronté au même problème de recouvrement spectral qu'en 802.11b, ce qui interdit d'allouer deux canaux adjacents à deux AP voisins. De plus, si l'on compare le spectre 802.11g et le spectre 802.11b, on se rend compte que le recouvrement entre deux canaux espacés de plus de 22 MHz (4 canaux) est plus important en 802.11g que celui observé en 802.11b.

Il en résulte que les performances d'un réseau planifié en 802.11g dépendent encore plus d'une allocation optimale des canaux et de la minimisation du recouvrement entre les zones de services des AP qu'un réseau en 802.11b.

### I.2.6 Rapidité de modulation et qualité du signal :

Pour connaître la vitesse de transmission et la taille d'un paquet reçu par la couche physique, le débit de transmission de l'entête contenant ces informations est fixé à 1Mbits/s pour FHSS, DSSS et HR-DSSS et 6Mbits/s pour OFDM. Ainsi, lors de la réception d'un paquet, il est possible par la lecture de l'entête d'adapter la couche physique à la rapidité de modulation qui a permis d'encoder le paquet. Le choix de la vitesse de transmission est régi par la technique de modulation employée par le fabricant. Ainsi, pour que l'on puisse comprendre tous les symboles transmis, il faut un rapport signal sur interférences (SIR) supérieur à un seuil donné et un niveau de puissance reçue supérieur à une valeur limite. Par exemple, la carte Lucent Orinoco© PCMCIA Silver/Gold basée sur la norme 802.11b change de débit d'émission avec les seuils de rapport SIR et de puissance reçue présentés dans le tableau 1.1.

	1 Mbits/s	2 Mbits/s	5.5 Mbits/s	11 Mbits/s
Seuils puissance reçue	-94 dBm	-91 dBm	-87 dBm	-82 dBm
Seuils SIR	4 dB	7 dB	11 dB	16 dB

**Tableau 1.1** Puissance et SIR pour la carte IEEE 802.11b

### 1.2.7 La couche MAC 802.11

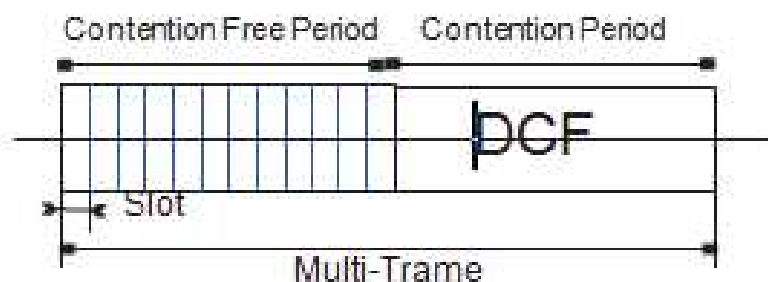
Cette couche met en place le protocole d'accès au canal. La couche MAC de IEEE 802.11 propose deux modes d'accès au canal :

- Distributed Coordination Function (DCF) : Un mode d'accès au canal dit à compétition qui propose un accès équitable au canal radio dont la gestion est réalisée de façon totalement distribuée entre les nœuds du réseau. Ce mode peut aussi bien être utilisé en mode ad-hoc qu'en mode infrastructure.

- Le (PCF Point Coordination Fonction ) est un mode d'accès au canal dans lequel les stations de base ont la charge de la gestion de l'accès au canal dans leur zone de couverture pour les mobiles qui leur sont rattachés. Ce protocole appartient à la famille des protocoles dits à réservation. Il ne peut être utilisé pour des réseaux Ad-Hoc multi-sauts puisqu'il n'y a pas de nœud fixe qui puisse prendre en charge la coordination du réseau. Ces deux modes d'accès sont décrits brièvement dans les deux paragraphes suivants.

### 1.28 Le mode PCF :

PCF(le mode d'accès sans contention), est un mode d'accès complémentaire au DCF. Il est utilisé pour implémenter des services temps réel, comme la transmission de voix ou de vidéo. Ce système met en oeuvre un accès contrôlé au médium à l'aide d'un système de réservation. Un point d'accès fonctionnant en mode PCF est une station qui dispose de la fonction de coordination. La fonction de coordination utilise une structure temporelle de super-trame présentée dans la figure 1.13.



**Figure I.13:** Structure temporelle de la super-trame PCF

Cette super-trame permet de régir le partage du temps d'accès au canal de communication entre les deux périodes suivantes :

La période sans contention (CFP : Contention Free Period) : Dans cet intervalle de temps, l'accès au médium est réglé par un multiplexage temporel du canal pour les communications gérées par la fonction de coordination. la période de contention (CP : Contention Period) : C'est dans cet intervalle de temps que les stations demandent à la fonction de coordination de pouvoir émettre dans la période CFP. L'accès au médium radio dans cette période se réalise alors en mode DCF. Il faut souligner que le mode PCF est une option de 802.11 et que peu de réseaux l'utilisent. En effet, même en mode infrastructure, l'accès en mode DCF permet d'obtenir un débit de transmission bien meilleur que le mode PCF.

### I.3 Les avantages et les inconvénients des réseaux sans fil :

Voici les principaux avantages et inconvénients à déployer un réseau sans fil :

#### I.3.1 Les avantages du réseau sans fil :

- Financier : Le réseau sans fil permet d'éviter l'obligation d'un câblage coûteux qui peut se révéler rapidement obsolète ou inutile en cas de déménagements de locaux
- Facilité et flexibilité : Dans le contexte d'un réseau temporaire, pour des formations, des expositions ou autre chantiers, pour couvrir des zones difficiles d'accès aux câbles, et relier des bâtiments distants.
- Mobilité : Par exemple, tous les participants d'une réunion sont automatiquement interconnectés sans avoir besoin de perdre du temps en début de réunion pour relier chaque personne.

#### I.3.2 Les inconvénients du réseau sans fil :

- Qualité et continuité du signal : Ces notions ne sont pas garanties du fait des problèmes pouvant venir des interférences du matériel et de l'environnement.
- Problèmes de sécurité : Les données échangées sont transmises par voie aérienne et couvrent de grandes distances dans le cadre d'une liaison hertzienne donc il est possible en théorie de récupérer ses données même si celles-ci sont cryptées et confidentielles. [12]

### I.4 Conclusion :

Des services à la fois performante et économique via des terminaux adaptés, fiables et relativement peu coûteux Ces dernières années, les réseaux sans fil ont connues un essor considérable et ceci revient aux multiples avantages qu'elles offrent (mobilité, fiabilité, etc.) mais grâce à l'extrême d'usage libre que le wifi offre aux utilisateurs « nomades » en assurant une continuité (PC portable, PDA, téléphone mobile,...),le Wifi est arrivée à surpassé ses autres concurrents. Donc le WIFI est devenu un moyen dominant permettant de fournir une architecture de réseaux locaux sans fils (RLAN), ce dernier est développer dans le chapitre qui ce suit.

# **CHAPITRE II**

## **II.1 Introduction**

Les réseaux locaux (LAN) sont en général des réseaux d'entreprise exploités, par exemple, dans un groupe de locaux ou sur un campus de superficie réduite. Les LAN ont été conçus au départ dans le cadre de l'interconnexion d'ordinateurs ou d'applications de partage de ressources informatiques. A l'inverse des réseaux à commutation de circuits, les LAN sont particulièrement bien adaptés lorsqu'il s'agit d'assurer avec efficacité l'écoulement du trafic très irrégulier typique des systèmes informatiques.

Un grand nombre de contraintes inhérentes aux LAN à câbles - coût, maintenance, installation - ne sont plus un problème dès lors que l'on fait intervenir avec discernement les techniques radioélectriques modernes. Par exemple, des Architectures à microcellules hertziennes combinées à des techniques de modulation très adaptables permettent d'envisager des réseaux locaux hertziens (RLAN) dans lesquels les cellules sont reliées au réseau soit par l'intermédiaire de liaisons par câbles soit par d'autres moyens radioélectriques.

### **II.1.1 Zone De Couverture**

La zone de couverture d'un réseau WIFI varie selon l'environnement dans lequel ce dernier est placé. Dans un milieu fermé, tel que l'intérieur d'un bâtiment, les murs, les meubles, cage d'ascenseurs, porte où même personne sont autant d'obstacle à la transmission des ondes.

En milieu extérieur, le premier facteur limitant est la puissance du signal émis. Plus ce dernier est faible, plus la zone de couverture est restreinte. Le deuxième facteur de limitation est la qualité du signal radio, qui diminue chaque fois que le signal rencontre des obstacles ou des interférences dans le réseau.

Un autre facteur limitant cette zone est le débit du réseau. Un réseau ayant un débit de 11Mb/s à une zone de couverture plus petite qu'un réseau dont le débit est de 1, 2 ou 5Mb/s. Plus le débit est important, plus la zone de couverture est restreinte.

### III 1.1.1 En milieu intérieur :

Si, compte tenu de la réglementation en vigueur, la mise en place du réseau WIFI se fait surtout en milieu intérieur, il n'en reste pas moins que ce milieu est loin d'être favorable à l'implantation de tel réseau. En effet, la zone de couverture d'un réseau WIFI en milieu fermé dépend, comme expliqué précédemment, de l'endroit dans lequel on se trouve, de l'architecture du bâtiment, de la composition des murs, des équipements utilisant la même bande, ainsi que la puissance du signal.

Vitesse (en Mbit/s)	Portée à l'intérieur (en mètre)
11	15
5.5	20
2	25
1	30

**Tableau II-1** : Portée d'un réseau Wi-Fi 802.11b a l'intérieur d'un bâtiment [13]

### II.1.1.2 En milieu extérieur

Comme le montre le Tableau II-2, la portée d'un réseau WIFI est bien supérieure en milieu extérieur des bâtiments. Ce la vient de fait qu'il y a moins d'obstacles et que l'air favorise la transmission des ondes radio.

Vitesse (en Mbit/s)	Portée à l'extérieur (en mètre)
11	50
5.5	100
2	150
1	200

**Tableau II-2** : Portée d'un réseau Wi-Fi 802.11b a l'extérieur [33]

Le Tableau II-3 présente les matières existantes dans les différents milieux définis sur le tableau ci-dessus, et qui nous montre dans l'ordre décroissant, le degré d'affaiblissement des ondes radio par rapport à chaque obstacle [18].

Matériaux	Affaiblissement	Exemples
Air	Aucun	Espace ouvert, cour inférieure
Bois	Faible	Porte, plancher, cloison
Plastique		Faible cloison
Verre		Vitres non teintées
Verre teinté	Moyen	Vitres teintées
Eau		Aquarium....
Briques		Murs
Plâtre		Cloisons
Céramique	Elevé	Carrelage
Papier		Rouleaux
Béton		Murs porteurs, étages, piliers
Verre Blindé		Vitres pare-balles
Métal		Béton armé, miroirs, armoire métallique...

**Tableau II-3 :** Atténuation du signal causée par différents matériaux

## II .2.2 les Interférences

Le support de transmission de WI-FI est la bande ISM. Cette bande sans licence peut être soumise à des interférences.

### II .2.2 1 Les Interférences Entraînent :

- une diminution de la portée des connexions sans fil entre les appareils ;
- une diminution du débit de données sur un réseau Wi-Fi ;
- des déconnexions intermittentes ou permanentes ;
- des problèmes de détection durant la phase de connexion au point d'accès. [14]

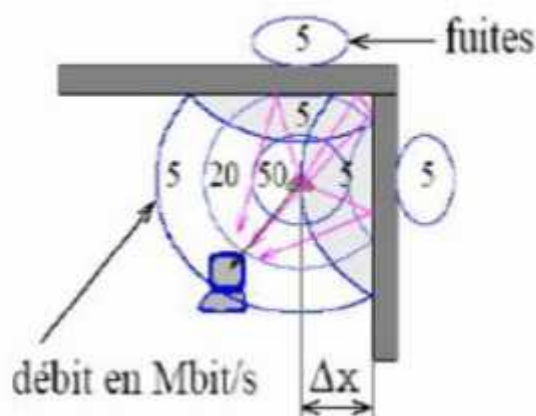
### II .2.2.2 Sources d'interférence :

- Fours à micro-ondes : l'utilisation d'un four à micro-ondes à proximité de votre ordinateur, borne d'accès Wi-Fi peut provoquer des interférences.
- Perte RF de service direct par satellite (DSS) : le câble coaxial et les connecteurs fournis avec certains types de paraboles satellite peuvent provoquer des interférences.
- Certains équipements électriques tels que les lignes haute tension, les voies de chemin de fer électrifiées et les centrales électriques.
- Téléphones 2,4 GHz: l'utilisation d'un téléphone sans fil qui fonctionne sur cette plage peut provoquer des interférences avec les réseaux ou périphériques sans fil.

Émetteurs vidéo (émetteurs/récepteurs) fonctionnant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz.

- Haut-parleurs sans fil fonctionnant sur la bande de fréquences des 2,4 ou des 5 GHz.
- Certains moniteurs externes et écrans LCD : certains écrans peuvent émettre des interférences harmoniques, en particulier sur la bande de fréquences des 2,4 GHz, entre les canaux 11 et 14.
- Tout autre appareil sans fil fonctionnant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz (fours à micro-ondes, caméras, interphones pour bébés, appareils sans fil des voisins, etc.).

#### INTERFERENCES



La Figure 3.1 : Exemple d'interférence entre deux obstacles.

D'après la Figure 3.1 on voit que plus la distance à un obstacle est grande plus ou moins la transparence est petite, et plus l'interférence est grande plus la zone de diffraction est grande et difforme [15].

### II.2.3 Combattre Les Interférences

Contrairement aux réseaux filaires, les réseaux sans fil ou bien RLAN requièrent des précautions supplémentaires pour assurer la meilleure propagation possible des ondes. Le WIFI est une technologie basée sur des spécifications qui englobent divers protocoles spécialisés dans les communications et le transport des données par l'air. Des technologies de transfert comme DSSS ou FHSS sont là pour corriger certains problèmes d'interférences, mais elles ne vous dispensent pas de prendre quelques précautions.

L'accès au réseau sans fil se fait par le protocole CSMA quand une interface du réseau veut émettre, elle écoute le support de transmission et si celui-ci est libre, alors elle émet. Les interférences diffusées sur les canaux écoutés provoquent une attente de la part de l'interface qui veut émettre, ce qui ralentit le réseau même si l'indicateur de débit est au maximum. Il vous est donc fortement conseillé de réduire, voire d'éliminer, toutes les sources possibles d'interférences. En premier lieu les appareils Bluetooth qui opèrent dans la bande de fréquence de 2,4 GHz ainsi que les fours à micro-ondes. Assurez-vous que votre téléphone sans fil résidentiel ne squatte pas les fréquences utilisées. Les obstacles sont également une source d'interférences et d'affaiblissement du signal. Il ne s'agit pas seulement d'obstacles visibles tels que les murs -surtout ceux en béton et les arbres qui affaiblissent le signal, mais aussi d'obstacles non visibles tout aussi perturbateurs, le champ magnétique d'une télévision par exemple [16].

### II.3 Processus De Dimensionnement Et D'un Réseau Wifi

A partir des caractéristiques des points d'accès, antennes et le nombre d'utilisateurs, en ajoutant les différentes estimations des obstacles et des différents services offerts, le processus de dimensionnement d'un réseau WIFI peut déterminer les résultats suivants :

- Le rayon des cellules ;
- Le débit offert dans le réseau ;
- Nombre de points d'accès;
- Les Canaux radio à affecter;

- Le nombre de Switchs.

la distribution des abonnés dans un réseau WIFI varie d'une zone à une autre, le nombre de point d'accès dans une cellule WIFI varie d'une cellule à une autre en fonction de la bande passante qu'il faut offrir aux abonnés selon les services demandés.

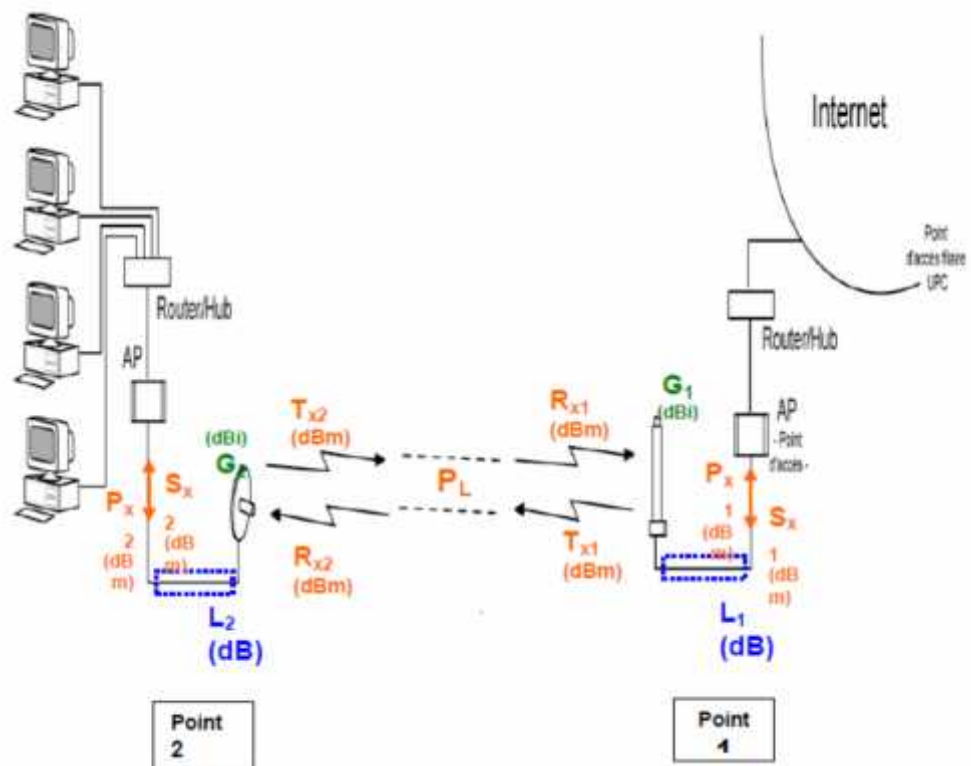
Le processus de dimensionnement d'un réseau WIFI se réalise en plusieurs étapes :

### II.3.1 Prédiction De Couverture

#### II.3.1.1 Théorie de portée radio

Les ondes radio sont transportées dans l'air et subissent des pertes en intensité importantes le long de leur trajet. La connaissance des caractéristiques de la paire d'appareils WIFI utilisés pour la liaison vont permettre de calculer la distance théorique de ce lien, en espace

libre sans obstacle. C'est-à-dire les éléments utiles sont la puissance du signal émis et la sensibilité du récepteur.



**Figure 3.2 :** Connexions d'un réseau sans fil WIFI entre deux points d'accès

**a) Puissance émise**

La puissance du signal émis est appelée Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) elle est notée Tx sur le schéma. Elle dépend de la chaîne appareil-câble-antenne. L'appareil émetteur (le point d'accès AP) émet le signal avec une certaine puissance notée Px, le câble reliant l'appareil à l'antenne engendre une perte de puissance notée L, et l'antenne fournit elle aussi une puissance supplémentaire notée G.

En exprimant ces puissances en décibel (dB), la PIRE s'obtient par simple addition :

$$PIRE = \text{Puissance AP} + \text{Pertes câble} + \text{Puissance antenne} \dots\dots (II-1)$$

$$\text{Soit : } Tx = Px + L + G \dots\dots\dots (II-2)$$

Le décibel est une unité exprimant un rapport, autrement dit un gain pour des puissances le Calcul est le suivant :

$$dB = 10 * \log (P1 / P2) \dots\dots\dots (II-3)$$

Pour l'appareil émetteur, il s'agit de décibel par rapport au milli Watt (dbm) : dans la formule précédente, p2=1mw, et P1 est la puissance d'émission en Watt de l'appareil.

Pour l'antenne, il s'agit de décibel par rapport à un isotrope dBi. L'isotrope est une antenne théorique parfaite qui émet de façon homogène dans toutes les directions. Le dBi est donc le gain de l'antenne par rapport à un isotrope qui émet la même quantité d'énergie.

Les pertes câbles sont exprimées en déciBel par mètre (dB/m), donc les pertes totales dues à ses câbles sont calculées ainsi.

$$\text{Pertes câble} = \text{longueur câble} * \text{perte par mètre} \dots\dots\dots (II-4)$$

**b) Sensibilité de réception :**

Pour que le signal reçu soit intelligible pour le récepteur, il faut que celui-ci ait une sensibilité suffisante. Là encore, c'est l'ensemble appareil-câble-antenne qu'il faut prendre en compte la sensibilité effective Rx est une addition de la sensibilité de l'appareil Sx (une autre caractéristique avec la puissance) et du gain de l'antenne G, auquel on retranche les pertes câble. Le gain de l'antenne et les pertes câble sont ceux utilisés dans les calculs de puissance précédents.

$$SX = RX - L - G \dots\dots\dots (II-5)$$

La puissance effective du signal reçue doit être supérieure à la sensibilité de l'ensemble, faute de quoi le signal ne pourra pas être utilisé.

c) *Affaiblissement maximum tolérable (PL)*

➤ *Cas de l'espace libre*

La différence entre la puissance de l'émetteur et la sensibilité du récepteur donne l'affaiblissement maximum qu'on peut tolérer.

Comme il y a 2 points qui sont à la fois émetteur et récepteur, on fait ce calcul pour les 2 cas, et on prend le plus petit des deux. En prend une marge de 10 dB (cela équivaut à un facteur 10), qu'on retranche de l'affaiblissement maximum tolérable, et on obtient l'affaiblissement en ligne PL.

➤ *Formule de Friis*

Pour calculer la distance correspondante à cet affaiblissement, on utilise la forme suivante de la formule de Friis :

$$D = 10 ((-40,4 + PL) / 20) \dots\dots\dots ( II-6)$$

➤ *Cas d'un environnement de propagation autre que l'espace :*

En réalité il faut prendre en consécration les propriétés de milieux de propagation car ils représentent des obstacles pour la transmission radio en introduisant des affaiblissements supplémentaires. Parmi ces obstacles on peut citer : Les murs de briques à simple ou à double cloison, Les vitres en verres, Pertes dues au corps humain, les rideaux d'arbres, l'eau, l'humidité.

Pour déterminer l'affaiblissement dû à chaque obstacle se trouvant dans le milieu de propagation, nous estimons le nombre en unité, pour l'obstacle consterné, que l'onde radio le traverse au cours de sa propagation [18].

Alors pour un obstacle donné, l'affaiblissement qui le produit est donné par :

$$pl\_obstacle\_i = \_i * pli \dots\dots\dots ( II-7)$$

➤  $\_i$  : nombre entier de l'obstacle i que l'onde le traverse au court de son propagation ;

➤  $pli$  : Affaiblissement produit par une unité de l'obstacle i ;

➤  $pl\_obstacle\_i$  : Affaiblissement total produit par l'obstacle i.

On peut déterminer alors les pertes totales de telle sorte qu'on prend en considération toutes ces pertes supplémentaires. On trouve alors :

$$pl\_tolérable = pl\_tolérable\_espace\_libre - \sum_i pl\_obstacle\_i \dots\dots\dots (II-8)$$

- Pl tolérable : Affaiblissement tolérable dans le milieu de propagation ;
- Pl tolérable \_ espace \_ libre : Affaiblissement tolérable dans l'espace libre ;
- Pl\_ obstacle \_i : Affaiblissement total introduit par l'élément i.

Nous obtenons l'expression suivante qui exprime la distance entre l'émetteur et le récepteur en fonction de l'affaiblissement qu'on peut le tolérer [18] :

$$d = 10^{(-40.4 pl\_tolérable / 20)} \dots\dots\dots (II-9)$$

### II.3.1.2 Bilan de la liaison

Il est conseillé de prendre en compte, lors de calcul de la distance qui correspond à un affaiblissement tolérable, les seuils de réceptions qui correspondent à un débit maximum Offert.

C'est pour cela, dans ce qui suit on considère que la distance d correspond bien à la distance calculée à un débit max. D'autres éléments interviennent dans la propagation des ondes sur des distances importantes, notamment lorsque l'espace n'est pas totalement dégagé.

- La diffraction des ondes ;
- La polarisation ;
- Les réflexions d'ondes et l'étalement dans le temps.

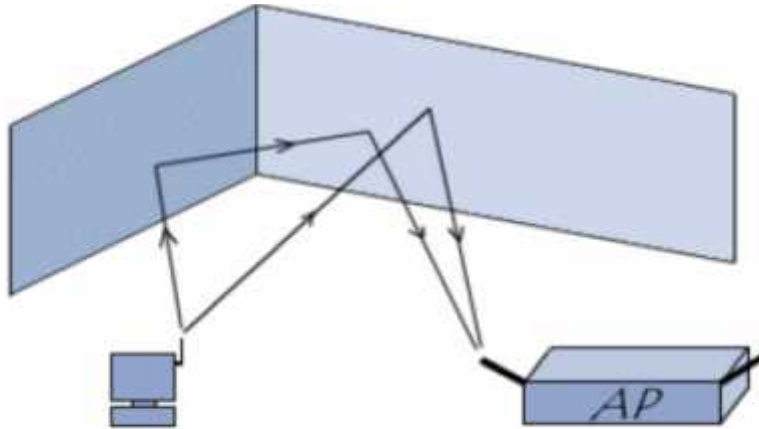
La diffraction permet à une partie de l'énergie d'une onde de passer outre un obstacle, plus la fréquence est haute plus la perte d'énergie va néanmoins être grande.

		Point 1 <i>réf : AP Trendnet TEW 21</i>	Point 2 <i>réf : Cisco PCI 352</i>	Unités	
Point d'accès	<b>P<sub>x</sub></b> puissance d'émission	13	14,77	DBm	
		19,95	29,99	mW	
	<b>S<sub>x</sub> min</b> - 11Mbps seuil de réception	-79	-85	DBm	
		12.59	3.16	picoW (10 <sup>-12</sup> W)	
	<b>S<sub>x</sub> max</b> - 1Mbps seuil de réception	-89	-94	dBm	
1.26		0.40	picoW (10 <sup>-12</sup> W)		
Antenne câble	<b>-L</b> pertes câble	-3	-1	dB	
	<b>G</b> gain d'antenne	7	6	dB	
<b>T<sub>xi</sub></b> =P <sub>xi</sub> +L <sub>i</sub> +G <sub>i</sub>	<b>T<sub>x</sub></b> puissance émise effective	17	19,77	dBm	
		50,12	94,84	mW	
<b>R<sub>xi</sub></b> =S <sub>xi</sub> -L <sub>i</sub> -G <sub>i</sub>	<b>R<sub>x</sub> min</b> sensibilité effective max	-83	-90	dBm	
		5,01	1,00	picoW (10 <sup>-12</sup> W)	
	<b>R<sub>x</sub> max</b> sensibilité effective max	-93	-99	dBm	
		0,50	0,13	picoW (10 <sup>-12</sup> W)	
Table	<b>P<sub>L1</sub></b> =-T <sub>x2</sub> +R <sub>x1</sub> <b>P<sub>L2</sub></b> =-T <sub>x1</sub> +R <sub>x2</sub>	<b>-P<sub>L</sub> min</b> affaiblissement en ligne max possible	-102,77	-107	dB
		<b>-P<sub>L</sub> max</b> affaiblissement en ligne max possible	-112,77	-116,00	
	<b>Marge</b>		10		
	<b>P<sub>L</sub></b> =max (P <sub>L1</sub> ,P <sub>L2</sub> ) +marge	<b>-P<sub>L</sub> min</b> affaiblissement en ligne déterminant	-92,77		
<b>-P<sub>L</sub> max</b> affaiblissement en ligne déterminant		-102,77			
<b>Dist</b> =10 <sup>(-40,4-P<sub>L</sub>)/20</sup> Formule de Friis	Distance min 11Mbps	0,415		Km	

Tableau II.4 bilan de liaison entre deux points d'accès[17]

La différence de temps de propagation (appelées délai de propagation) entre deux signaux ayant emprunté des chemins différents peut provoquer des interférences au niveau du récepteur car les données reçues se chevauchent .

Pour remédier à ce problème certains points d'accès embarquent deux récepteurs possédant chacun une antenne. Ainsi, si grâce à l'utilisation simultanée de deux récepteurs, le point d'accès est capable de distinguer deux signaux provenant de la même station.



**Figure 3.3 : La différence des temps de propagation entre les signaux. [18]**

**b) Calcul de la bande passante totale**

Avant de calculer la bande passante total, on va introduire la notion de taux de simultanéité qui est définit par le rapport du nombre d’abonnés qui pénètrent simultanément dans le réseau et le nombre total des abonnés présent dans le réseau. Vu que la densité d’abonnés varie d’une cellule à une autre, on calcule la bande passante pour chaque cellule de réseau. En se basant sur le nombre d’abonnés dans une cellule bien déterminée de réseau et les services qu’elle doit offrir aux abonnés, il est possible de calculer la bande passante totale dans la cellule selon l’équation :

$$B = \sum n_j \tau_j c_j \dots \dots \dots II.10$$

B : bande passante utile dans une cellule ;

- n j : nombre d’abonnés servis par le service j ;
- c j : bande passante par abonnés pour le service j ;
- τ j : taux de simultanéité pour la catégorie d’abonnés servis par le service

**II.3.2 Dimensionnement D’un Réseau Wifi**

**II.3.2.1 Dimensionnement Des Cellules Wifi**

Lors de ce paragraphe, nous allons présenter les différentes étapes de dimensionnement d’une cellule WIFI. On montrera comment calculer le rayon et le nombre des cellules dans la zone à couvrir en partant de la théorie de calcul radio.

**II.3.2.2 Rayon et surface des cellules :**

Etant donné les caractéristiques des équipements WIFI et par la théorie radio, nous déterminons la distance qui correspond à un affaiblissement qu’on peut tolérer entre deux antennes jouant le rôle d’un émetteur /récepteur .Dans cette étude, cette distance correspond à la distance maximal qui peut exister entre un point d’accès et un terminal WIFI.

Le rayon de la cellule WIFI est déterminé par la relation précédente de la distance entre l’émetteur et le récepteur en fonction de l’affaiblissement qu’on peut le tolérer c qui implique que :

$$R = 10^{(-40.4pl_{tolérable} / 20)} \dots\dots\dots II-10$$

**II. 3.2.3 Nombre de cellules dans la zone à couvrir :**

Etant donné la surface de la zone à couvrir et le rayon d’une cellule de réseau, le nombre total de cellules sera déterminé par :

$$Nbre\ de\ cellules = surface / \pi * R^2 \dots\dots\dots II-11$$

**II.3.3 Dimensionnement Des Équipements :**

**II.3.3.1 Nombre de point d’accès par cellule :**

Vu la limite des canaux et afin d’éviter des interférences inter-canaux pour des raisons de proximité sur la bande ISM, il est suggéré d’affecter qu’un seul point d’accès AP extérieurs à tous les 500 mètres [18].

Théoriquement le nombre de point d’accès de chaque cellule est déterminé par la fonction suivante :

$$Nbre\ point\ d'accès\ n_{AP} = \frac{Bande\ passante\ dans\ la\ cellule}{Bande\ passante\ offerte\ par\ un\ point\ d'accès} \dots\dots\dots II.12$$

Nombre d'accès point Et le nombre total de point d’accès dans notre réseau sera :

$$n_{AP\ total} = n_{AP} * Nbre\ de\ cellules \dots\dots\dots II.13$$

### III.3.3.2 Nombre des switches :

Les switches sont utilisés pour concentrer le trafic émanant des points d'accès vers le réseau de transport. Ces derniers doivent être dimensionnés d'une manière flexible pour garantir les performances du réseau .

Le nombre de Switchs nécessaire dépend du nombre de point d'accès et il sera déterminé selon le modèle suivant :

$$Nbre\_Switchs = n\_AP / Nbre\_ports\ switch \dots\dots\dots (II.14)$$

## II.4 Caractéristiques des RLAN :

Un certain nombre de technologies sont applicables aux RLAN, et le choix en l'occurrence dépend des impératifs de la Configuration considérée: architecture du système, bandes de fréquences, débit de transmission, taux d'erreur, sécurité,

### II.4.1 Modulation, codage et diversité :

Pour les applications de RLAN, les équipements de radiocommunication doivent offrir d'excellentes performances à un faible coût. La plupart des services de données assurés sur ce type de réseau imposent le maintien de taux d'erreur binaires très faibles, , surtout lorsque les services offerts sur le RLAN font concurrence (ou sont raccordés) à des systèmes à fibres ou des systèmes à câbles, qui actuellement offrent des taux d'erreur inférieurs .Le taux d'erreur peut être amélioré au moyen de techniques de diversité (espace, temps, fréquence.

Toutefois, dans la spécification de tels systèmes, il y a lieu de prêter une grande attention au compromis entre coût et qualité de fonctionnement. Les systèmes de signalisation tolérants en matière de bruit de phase et d'erreur de fréquence sont en général les plus indiqués, puisqu'ils permettent d'utiliser des oscillateurs et des synthétiseurs de fréquence peu onéreux.

Les applications actuelles imposent certains débits de données au niveau de l'interface de service, notamment en ce qui concerne la connectivité RNIS (réseau numérique avec intégration des services). Mais la prise en compte des applications existantes ne doit pas limiter l'évolution des normes applicables aux RLAN, les nouvelles applications en projet pouvant en l'occurrence déboucher sur de nouveaux domaines d'utilisation.

### II.4.3 Topologie des RLAN

On peut considérer au moins deux types de topologie de RLAN:

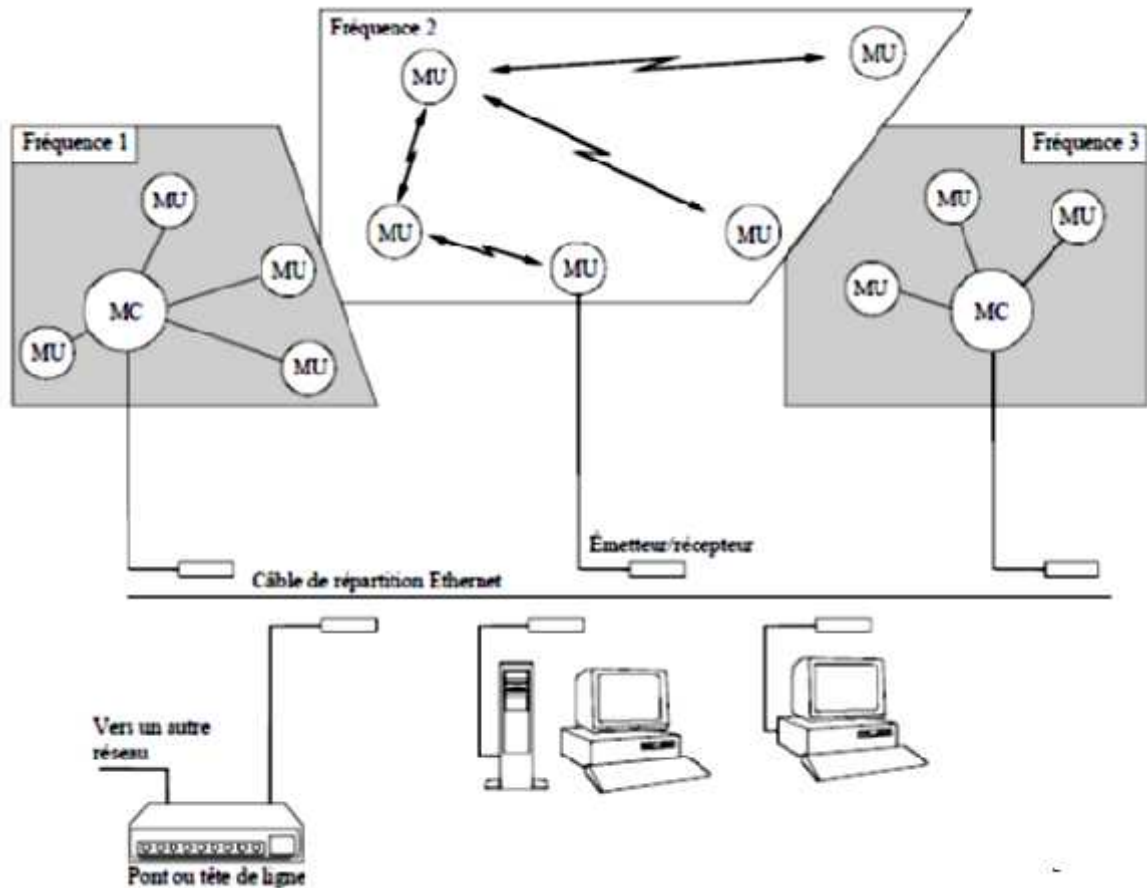
- *réseau à commande centralisée,*
- *réseau à commande décentralisée.*

Ces deux types de réseaux sont illustrés à la Fig2.5, et Fig 2.6 tandis que des systèmes utilisant différentes configurations sont présentés dans la Fig. 2.7 et Fig 2.8

### II.4.4 Types des réseau RLAN

Il se compose de modules de commande (MC) et de modules d'utilisateur (MU). Les limites du réseau sont définies par les zones de couverture (appelées microcellules) des différents MC. La zone couverte par une microcellule dépend du nombre et du type des obstructions entre le MC considéré et les MU associés – elle est typiquement comprise entre 450 et 5 000 m<sup>2</sup>. Les MU ne communiquent pas directement entre eux dans les systèmes décrits jusqu'ici, bien que rien ne s'oppose à ce que le MC attribue un circuit radioélectrique à un certain nombre de MU pour assurer une intercommunication directe, dans le cas par exemple d'une transmission point-multipoint limitée dans le temps. Le MC gère le flux d'informations entre MU, et entre MU et toute interface de réseau extérieure. Les MU sont en général placés sur les bureaux ou montés sur les cloisons, et raccordés aux équipements terminaux des utilisateurs finals. Un seul MU peut gérer plusieurs équipements de LAN (postes de travail sur ordinateur personnel, etc.).

Lorsque le nombre d'équipements de LAN requis est suffisamment important ou lorsque des microcellules multiples sont nécessaires pour des raisons d'exploitation, ces éléments peuvent être interconnectés par une liaison de communication.[19]

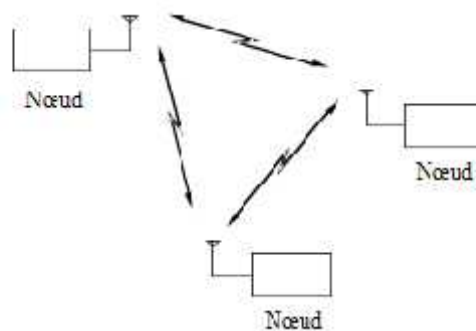


La Fig. 3.4 la configuration de réseau à microcellules.

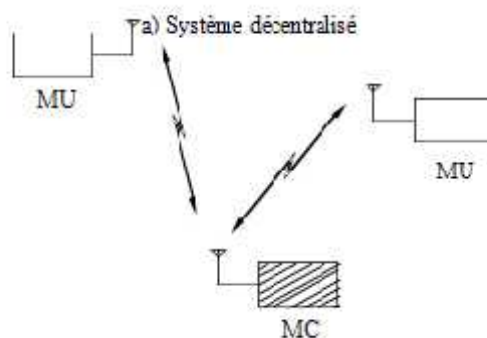
Dans le cas d'un système AMRT non adaptatif, chaque microcellule du réseau doit exploiter une fréquence propre à moins que les MC ne soient séparés par des distances de réutilisation adéquates. En l'occurrence, la distance dépend de la puissance rayonnée, du nombre et du type d'obstructions de la méthode de modulation et de la qualité de Fonctionnement requise.

On constate qu'un RLAN à commande centralisée repose nécessairement sur une infrastructure de MC, de telle sorte que deux MU qui sont à portée radioélectrique l'un de l'autre ne peuvent constituer un réseau que si l'un et l'autre peuvent accéder à un MC. Il en découle que la planification du réseau est nécessairement individuelle et qu'elle fait appel à deux catégories de modules, à savoir les MC et les MU.

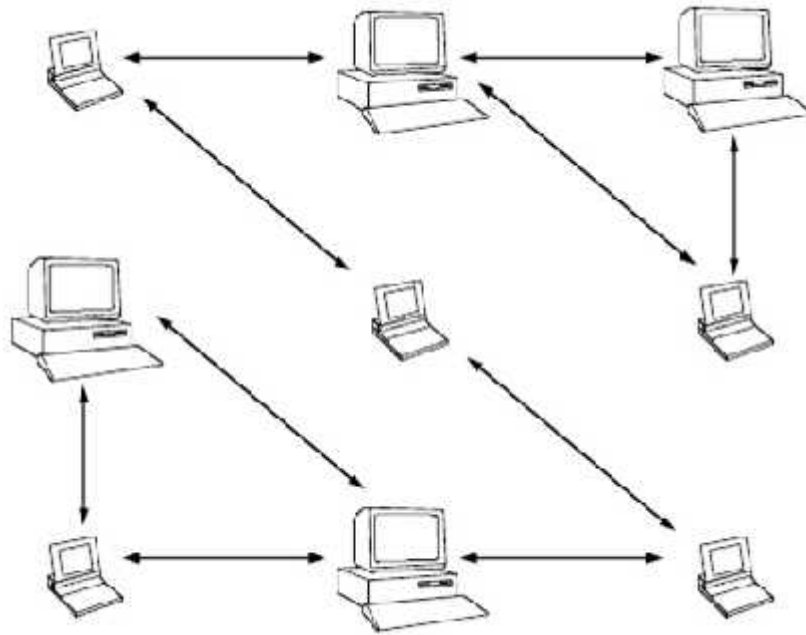
Les RLAN à commande non centralisée offrent une autre solution. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de prévoir des MC spécialisés, ce qui donne les avantages suivants: fiabilité, planification individuelle du réseau non nécessaire, souplesse de configuration des réseaux logiques. Les utilisateurs communiquent directement entre eux dans leur zone, à l'aide d'un protocole de communication répartie. La communication peut être assurée avec plusieurs autres noeuds simultanément et dans certains cas, l'utilisation simultanée d'un certain nombre de canaux est également possible. Les réseaux peuvent être constitués au coup par coup lorsque des utilisateurs sont à portée radioélectrique l'un de l'autre et sont disposés à collaborer. Les noeuds peuvent se déplacer librement dans le réseau ou entre réseaux. Certains noeuds peuvent être dotés d'équipements complémentaires autorisant un interfonctionnement avec d'autres réseaux filaires ou hertziens, ou offrant cette possibilité au reste du réseau hertzien.



**Figure 3.5** configuration RLAN décentralisé



**Figure 3.6** configuration RLAN décentralisé



**Figure 3.7** configuration RLAN décentralisé

#### **II.4.5 Raccordement à un LAN filaire ou à un réseau public pour données (RPD) :**

Les RLAN peuvent être raccordés à des LAN filaires conformes aux normes internationales ou à tout autre réseau, au niveau de limites de service bien définies dans la pile du protocole OSI. A chaque couche du modèle, le choix des protocoles d'interface doit être effectué avec soin si l'on veut obtenir la compatibilité requise. Les unités radioélectriques individuelles peuvent aussi être utilisées comme ponts ou comme routeurs, ou avoir d'autres fonctions.

Il est également possible de raccorder un RLAN à un RPD, mais cette question appelle un complément d'étude.

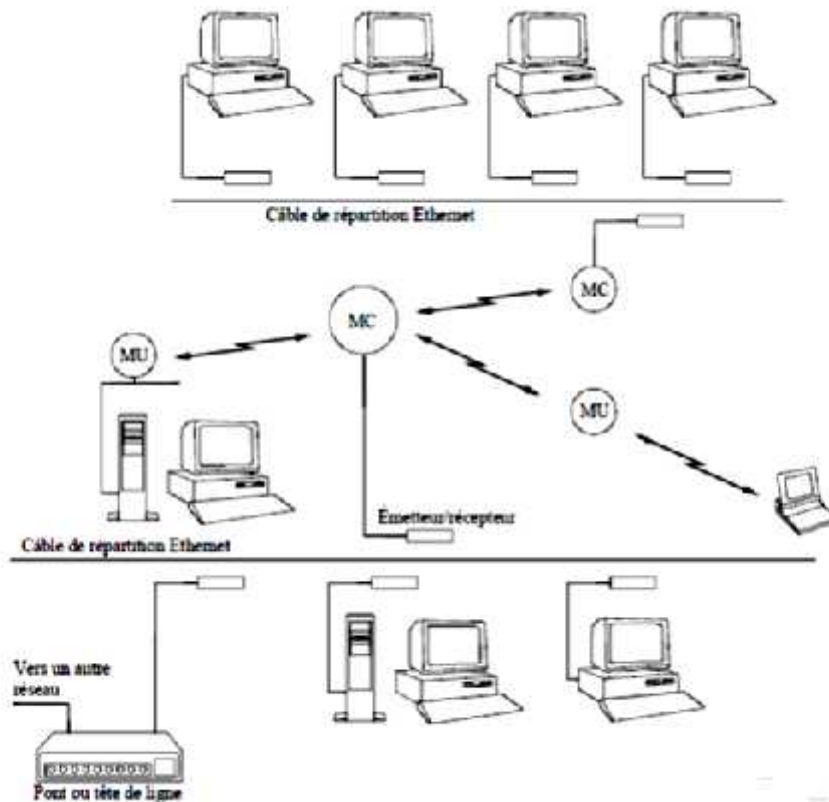


Figure 3.8 exemple de RLAN centralisé[19]

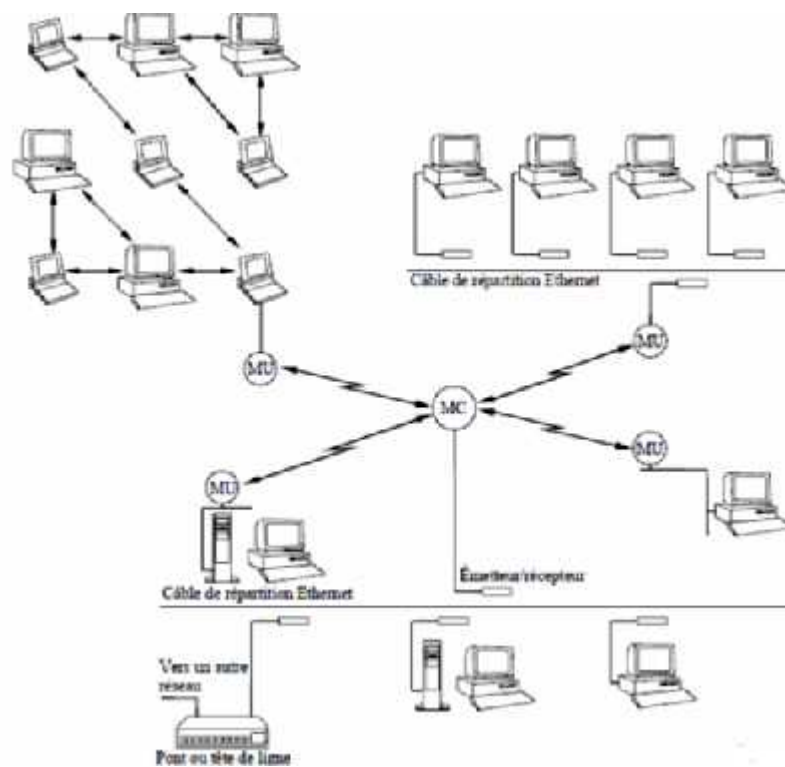


Figure 3.9 exemple de RLAN comportant une microcellule à gestion centralisée et raccordé à un réseau sans nœud central

#### II.4.6 Niveau de qualité de fonctionnement

Le niveau de qualité de fonctionnement d'un RLAN est défini, pour l'essentiel, en fonction du projet du client. Toutefois, certaines indications utiles pour les concepteurs peuvent être trouvées dans la Norme IEEE 802.11, qui spécifie, dans la demande d'autorisation de projet, un objectif de moins de  $4 \times 10^{-5}/512$  octets pour ce qui est de la caractéristique de perte de paquets d'un système jusqu'à 2 Mbit/s, ainsi qu'un temps d'interruption de moins de 0,1%.

Dans un RLAN, les interruptions de service sont souvent dues à des effets d'occultation d'origine artificielle. Le déplacement des personnes dans une pièce peut être une cause essentielle d'occultation. En particulier, dans un système à hautes fréquences, l'occultation du trajet en visibilité directe provoque une brutale et importante baisse de la puissance reçue. En conséquence, pour respecter les valeurs précitées, il est nécessaire de chercher à connaître la fréquence d'apparition de ces phénomènes d'occultation dans un environnement physique donné.

Il conviendrait d'étudier plus avant la définition du «temps d'interruption du service» dans le cas d'un RLAN. Dans le cas d'un réseau public représenté par le trajet hypothétique de référence défini dans la Recommandation UIT-T G.826, le temps d'interruption du service est en général exprimé en secondes sévèrement erronées (SSE). Toutefois, une interprétation différente de ce temps d'interruption du service sera peut-être nécessaire dans le cas de signaux intermittents transmis par paquets. Autre facteur à considérer, la qualité de service, que les théoriciens devraient définir en fonction des besoins des utilisateurs des LAN.

Dans le cas de signaux MTA, les objectifs de qualité de fonctionnement définis sur la base des paramètres de transfert de cellules sont étudiés dans le cadre des activités de la Commission d'études 13 de la normalisation des télécommunications.

#### II.4.7 Tolérance au brouillage

La possibilité d'un partage des fréquences entre systèmes fixes et RLAN, s'agissant par exemple de noeuds sans attache et de structures dynamiques, est une question importante qui appelle un grand nombre d'études complémentaires. Il s'agira notamment d'étudier les brouillages dans un réseau ou entre réseaux (dans un RLAN et entre RLAN) ainsi qu'entre systèmes (entre RLAN, systèmes fixes et autres services radioélectriques à titre primaire). Lorsque les fréquences attribuées au RLAN ne sont pas partagées avec d'autres systèmes ou services, le problème du brouillage peut être ramené aux configurations de la première catégorie. On trouvera dans l'Appendice 2 des exemples spécifiques de calculs de brouillage entre cellules et entre systèmes.

Autre considération, dans le cas d'un RLAN exploité dans une bande attribuée aux appareils ISM, la question est posée en termes du brouillage cumulatif maximal, occasionné par les appareils ISM, admissible par le RLAN.

Une administration envisage actuellement d'appliquer un protocole de partage des bandes entre RLAN, protocole qui n'impose qu'un minimum de paramètres techniques. Chaque fabricant ou fournisseur de services pourrait constituer des RLAN sur des bases techniques différentes dans la mesure où le protocole serait respecté.[19]

## II.5 Les avantages des RLAN

L'un des avantages des RLAN – que n'offrent pas les LAN par câbles – est que les utilisateurs sont tout à fait indépendants et en principe libres de se connecter au réseau ou de se déconnecter ou encore de se déplacer dans le réseau et entre réseaux.

Ces moyens de communication libres ou encore «sans attache» permettent notamment d'envisager l'établissement de liaisons privées, sur place, non couvertes par les traditionnelles définitions des communications fixes ou mobiles. Les utilisateurs sans attache ne sont donc pas liés à un imposant ordinateur personnel de bureau. Ils peuvent emporter avec eux leur petit ordinateur personnel ou agenda électronique, dans tous les coins et recoins de l'organisation, et même à l'extérieur, tout en conservant la possibilité de se raccorder aux autres systèmes du réseau local et de les exploiter. A l'avenir, ces systèmes de communication sans attache pourraient bien être à l'origine d'une remise en question de ces deux notions bien établies que sont les communications fixes et les communications mobiles.

Citons, à titre d'exemple, certaines caractéristiques générales que l'on peut trouver dans un RLAN:

- compatibilité avec les réseaux locaux câblés au niveau des débits de données, des protocoles, des normes et des caractéristiques de fonctionnement;
- compatibilité avec les applications portables (petits équipements de faible puissance) et, au besoin, capacité de Transfert d'un réseau à l'autre;
- compatibilité avec les débits de communication extrêmement élevés typiques des liaisons établis entre ordinateurs;
- possibilité d'envisager des applications dans lesquelles le temps de transport des données est critique (par exemple, communications vocales et vidéo, notamment vidéoconférences).

En fonction de l'application, on devra prévoir une très large gamme de débits de données (jusqu'à plus de 100 Mbit/s).

Les RLAN peuvent être utilisés à l'intérieur ou à l'extérieur, ou en combinaison, mais les problèmes de brouillage peuvent différer d'une configuration à l'autre. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de confiner l'utilisation à l'intérieur des bâtiments afin de respecter les critères locaux de partage des fréquences.

Dans les applications internes des RLAN, il faut tenir compte de certaines conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments (qui ne sont pas toujours bien connues). Le fonctionnement des liaisons radioélectriques dépend de certains facteurs tels que la dimension des bâtiments et les matériaux de construction utilisés, ... effet des bâtiments adjacents (par les fenêtres), répartition des meubles de bureau par rapport aux trajets radioélectriques, enfin variations dynamiques de la géométrie des trajets. D'autres études seront nécessaires pour mieux caractériser les conditions de propagation applicables aux RLAN.

## II.6 Conclusion

Le présent chapitre avait donc pour objet d'évoquer brièvement quelques questions de propagation radioélectrique qui se posent dans le cas des RLAN.

Les conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments, en particulier, n'ont été que récemment caractérisées de façon suffisamment détaillée, tout spécialement aux fréquences supérieures à 2 GHz. En conséquence, dans certains systèmes, on observe une tendance à prévoir trop largement la puissance d'émission, tendance qui explique en partie le problème de plus en plus sérieux que posent les brouillages. Certaines interfaces radioélectriques envisageables pour les nouveaux systèmes fonctionneront dans de meilleures conditions d'efficacité dans des systèmes de commande de puissance centralisés ou répartis.

# **CHAPITRE III**

### III.1 Introduction

L'étude a consisté en des simulations basées sur une formule simple de propagation du signal électromagnétique en espace libre et qui est valable à des distances supérieures à environ une longueur d'onde de l'antenne. Le champ électrique varie alors en fonction de l'inverse de la distance par rapport à l'antenne. Cette formule a permis par ailleurs la mise au point d'un outil simple mais suffisant permettant de simuler des environnements qui seront couramment utilisés par des RLAN..

#### III.1.2 Problématique de l'étude

La diffusion très rapide des réseaux locaux radioélectriques et les dispositions du décret du 3 Mai 2002 [4] relatif à l'exposition du public aux émissions radioélectriques ont mis en évidence le besoin de clarifier la situation de ces équipements vis à vis de l'évaluation du niveau des champs électromagnétiques produits par ces équipements à grande diffusion.

Dans ce contexte, il a paru opportun de caractériser les champs électromagnétiques produits par les technologies RLAN dans différentes configurations d'usage.

Compte tenu de la structure des équipements de réseaux locaux radio et des conditions du décret, l'évaluation des champs électromagnétiques produits par rapport aux niveaux de référence du décret a paru être initialement la démarche la plus pertinente.

En se référant au protocole de mesure in situ de l'ANFR [20], nous avons prévu d'évaluer le champ électrique à partir de la région du champ proche rayonnant, à savoir à une distance au moins égale à la longueur d'onde dans l'air soit environ 12,5 cm.

Nota : Pour des distances inférieures à cette valeur, qui se sont présentées en pratique lors de la réalisation des mesures, il faudrait, en toute rigueur, mesurer le champ électrique et le champ magnétique. Le champ magnétique étant difficile à mesurer dans cette bande de fréquence, il faudrait alors plutôt mesurer le DAS (débit d'absorption spécifique) et vérifier la restriction de base du décret (0,08 W/kg pour l'ensemble du corps, 2 W/kg pour le tronc et la tête, 4 W/kg pour les membres).

Or, le protocole de mesure du DAS pour des équipements autres que les téléphones portables, n'est pas encore défini. Pour l'élaboration d'un protocole de mesure adapté aux RLAN, le liquide équivalent tissus (CENELEC 2,4 GHz) et des configurations de mesure avec des équipements WiFi (distance de l'équipement par rapport au fantôme). L'élaboration et la mise en oeuvre d'un tel protocole dépassent le cadre de cette étude.

Compte tenu de ces difficultés, les mesures du champ électromagnétique ont été effectuées systématiquement hors de la zone du champ proche réactif. et nous ne nous sommes intéressés qu'aux valeurs du champ par rapport au niveau de référence pour la gamme de fréquences à 2,4 GHz [[20]] :

### **III.1.1 l'objectif de l'étude :**

L'étude avait pour objectif de caractériser les champs électromagnétiques produits par les réseaux locaux radioélectriques (WLAN) et en particulier la technologie WiFi (IEEE 802.11b /802.11g) qui se développe actuellement de manière intensive.

Les technologies WLAN et associées se caractérisent par un certain nombre de points communs mais aussi par des divergences sur les protocoles, techniques de modulation et techniques d'accès.

Le tableau 1 présente un récapitulatif des technologies disponibles sur le marché. Il a été convenu de ne pas retenir les normes Hiperlan 2, 802.11a ni Home RF en raison de l'absence ou du faible nombre de produits disponibles commercialement sur le marché français lors du déroulement de l'étude qui s'est donc concentrée sur la bande 2,4 GHz.

Norme	Bandede fréquence (MHz)	Débit théorique (Mbit/s)	Couche physique et Contrôle d'accès
IEEE 802.11b	2400-2483,5	11	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), CSMA/CA (Carrier Sense Avoidance)  Multiple Access / Collision
IEEE 802.11a	5150 – 5350	54	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CSMA/CA
IEEE 802.11g	2400-2483,5	54	OFDM, CSMA/CA
Bluetooth	2400-2483,5	1	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum),  TDMA (Time Division Multiplex Access)

**Tableau 3.1** présente un récapitulatif des technologies disponibles sur le marché[21]

### III.3 Calculs et simulation des niveaux de champs électromagnétiques

Un premier calcul théorique, simple, en espace libre permet d'évaluer le champ électromagnétique produit par une émission à 10 mW ou 100 mW de PIRE en fonction de la distance (D).

Ce calcul est fondé sur une formule déduite des équations de rayonnement d'une antenne dont la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) est connue et des conditions de propagation en espace libre (décroissance du champ électrique en 1/D). La composante E du champ électromagnétique est reliée à la PIRE par la formule :

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot PIRE}}{D} \dots \dots \dots \text{III.1}$$

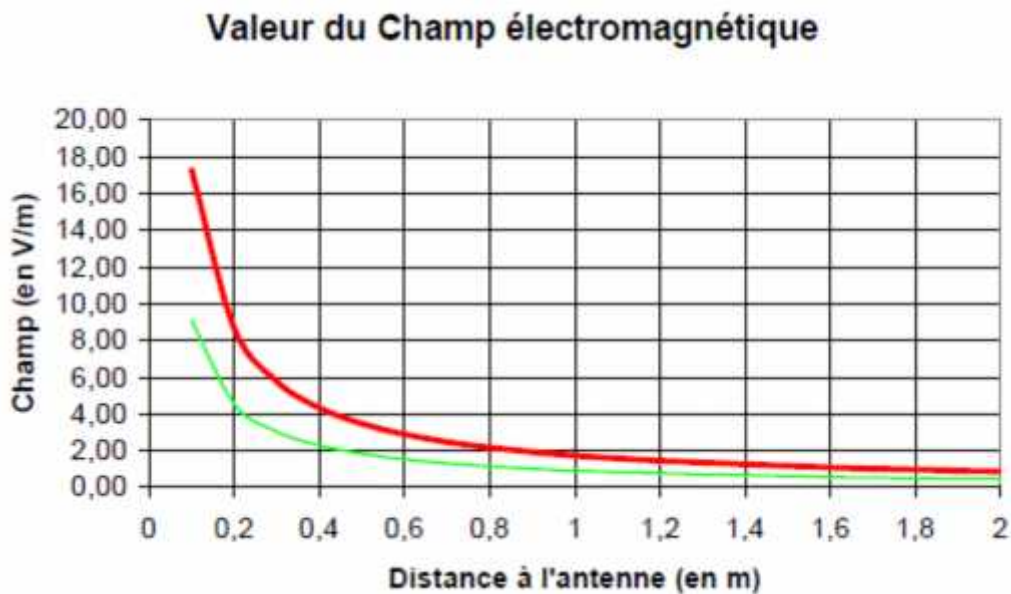
Si : E est exprimé en volts/m, la PIRE est en watts et D, la distance, en mètres (D minimale = 0,125 m), Impédance du vide  $Z_0 = 120 \sqrt{377} \Rightarrow Z_0/4 = 30$ .

Dans ces conditions, le tableau suivant présente les valeurs théoriques du champ que l'on aurait en espace libre pour les deux PIRE indiquées en fonction de la distance à l'antenne.

	Pire=10 mW	Pire=100 mW
Distance	Champ crête E	Champ crête E
(m)	(V/m)	(V/m)
0,1	5,5	17,32
0,125	4,4	13,9
0,2	2,7	8,7
0,3	1,8	5,8
0,4	1,4	4,3
0,5	1,1	3,5
0,6	0,9	2,9
0,7	0,8	2,5
0,8	0,7	2,2
0,9	0,6	1,9
1,0	0,55	1,7
2,0	0,27	0,87
3,0	0,18	0,58
4,0	0,14	0,43
5,0	0,1	0,35
6,0	0,09	0,29
7,0	0,08	0,25
8,0	0,07	0,22
9,0	0,06	0,19
10,0	0,055	0,17

**Tableau 3.2** : Valeur du champ pour deux valeurs de PIRE

Une modélisation basée sur la formule précédente a été réalisée afin de comparer et de vérifier la pertinence des mesures de champs sur site. Quelques exemples de simulations sont présentés dans les sous-sections suivantes.



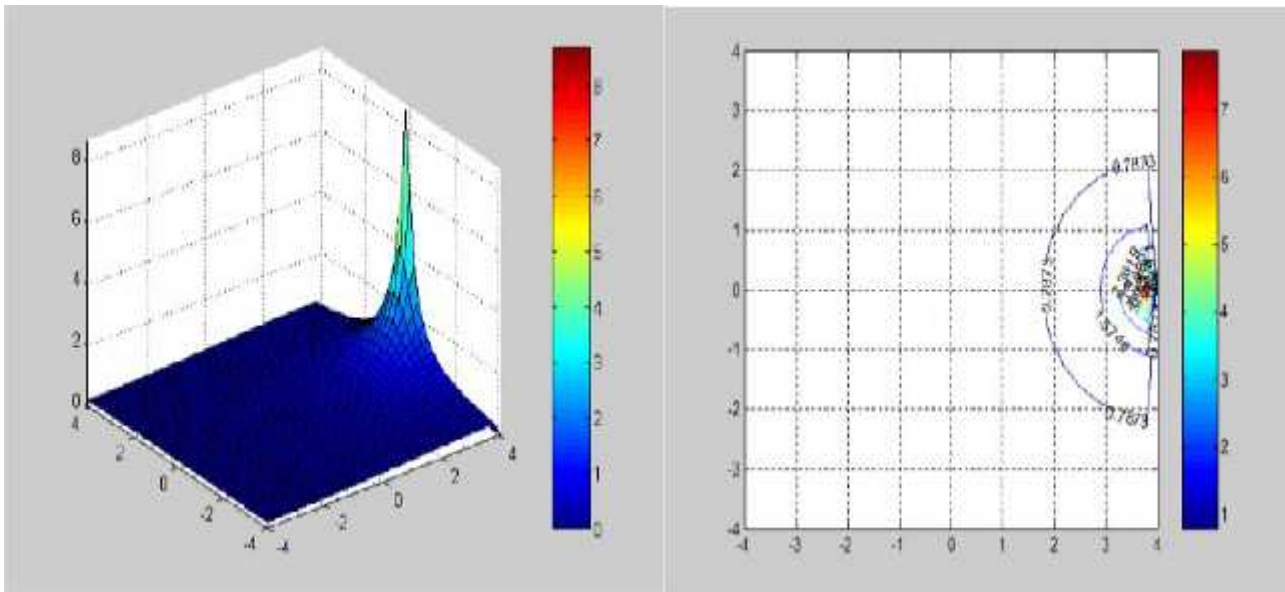
**Figure III.3** Exemple de comparaison entre le champ électrique émis par une carte PCMCIA type (en vert) et la limite résultant d'une simulation avec une pire de 100mw en rouge [3]

### III.3.1 Simulations

Les simulations présentées ci-dessous, ont été réalisées grâce à un programme sous Matlab. Elles représentent l'amplitude maximale du champ électrique généré par un ou des équipements WiFi en fonction de la distance entre l'antenne émettrice et l'antenne de réception (les phénomènes de réflexion n'étant pas pris en compte). Le programme de simulation ne tient pas compte du partage de la ressource radio assurée par le protocole CSMA qui impose aux équipements de n'émettre que les uns après les autres. La simulation considère que tous les équipements émettent en même temps. Le champ électromagnétique résultant est la somme quadratique de tous les champs des différents équipements. Les résultats des calculs donnent donc toujours une valeur maximale limite qui ne pourra, dans un cas réel, jamais être atteinte (pire cas).

### III.3.2. Simulation du champ produit par une carte WiFi

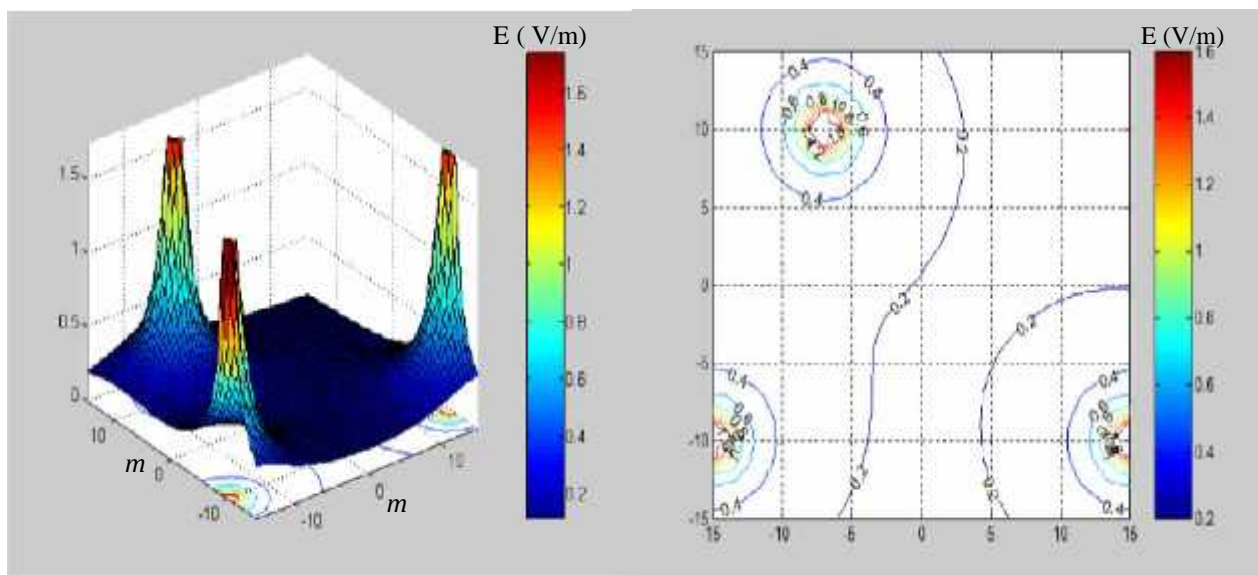
Une première simulation a été conduite en évaluant le champ électrique produit par une carte WiFi de type PCMCIA directive avec une puissance (PIRE) de 50mW (Fig. III.2).



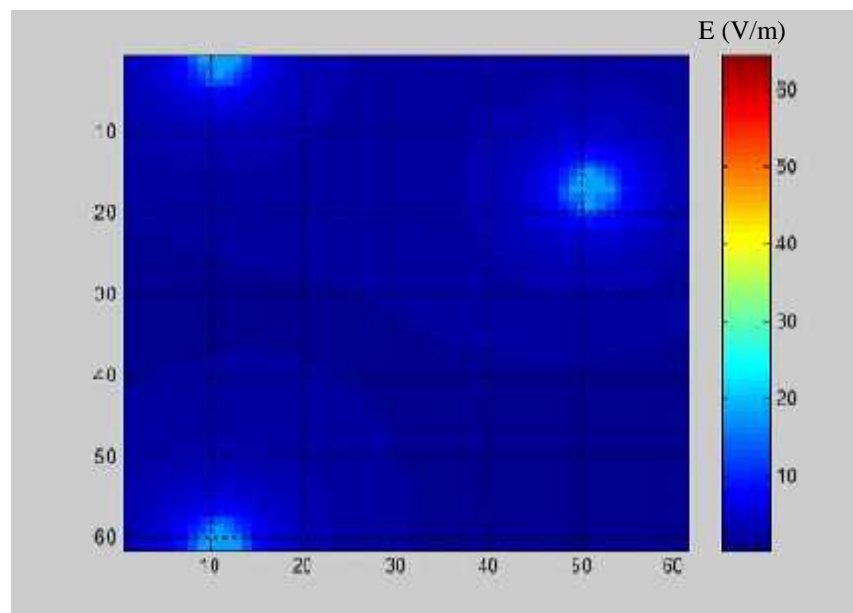
**Figure III.2** Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ (en volt/mètre, les axes sont gradués en m)

### III.3.3 Simulation du champ produit par plusieurs points d'accès :

Les figures 3.3 et 3.4 présentent les résultats de simulation du champ électrique produit par un ensemble de 3 points d'accès d'une puissance (PIRE) de 100mW chacun, dans une zone comparable à un amphithéâtre.



**Figure III.3** : Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ (les axes sont gradués en m)



**Figure III.4 :** Autre représentation du niveau de champ

Les figures III.3 et III.4 présentent les résultats de simulation du champ électrique produit par un ensemble de 3 points d'accès d'une puissance (PIRE) de 100 mW chacun, dans une zone comparable à un amphithéâtre.

### III.3.4 Mesures réalisées dans l'amphithéâtre

A l'origine, l'amphithéâtre (34mx20m) ne dispose que d'un point d'accès pour 500 places. Pour les besoins de l'étude, la couverture complète de l'amphithéâtre a été réalisée par trois points d'accès WiFi. Ceci constitue une valeur optimale pour ne pas avoir de brouillage entre les points d'accès, compte tenu de la surface. Les canaux choisis sont les suivants : 1, 6, 11.

Tout ajout de bornes supplémentaires sur ce site ne pourrait que dégrader les performances du système. Nous avons alors choisi de répartir les points d'accès selon la configuration, Chaque borne couvre bien l'ensemble de l'amphithéâtre en offrant un débit de 11Mbit/s (soit un débit moyen de 2,2Mbit/s mesuré à l'aide du logiciel IPTraffic) sans risque de brouillage. Ceci permet à l'ensemble des utilisateurs de se partager les 33 Mbit/s disponibles. La contribution du champ d'une autre borne est négligeable (non mesurable) devant celui créé par la borne sous test, il est donc inutile de la prendre en compte sans rien changer à la validité des mesures. [22]

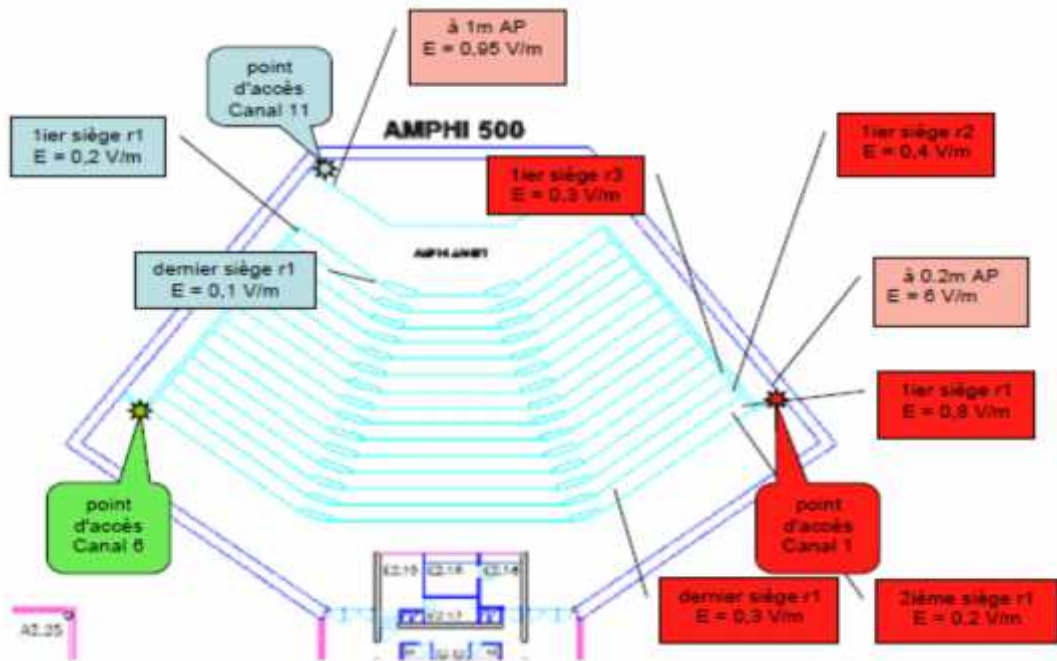


Figure III.5 : Cartographie des résultats de mesures obtenus (AP : point d'accès)

### III.3.5 Comparaison des résultats de mesure avec ceux de la simulation dans l'amphithéâtre

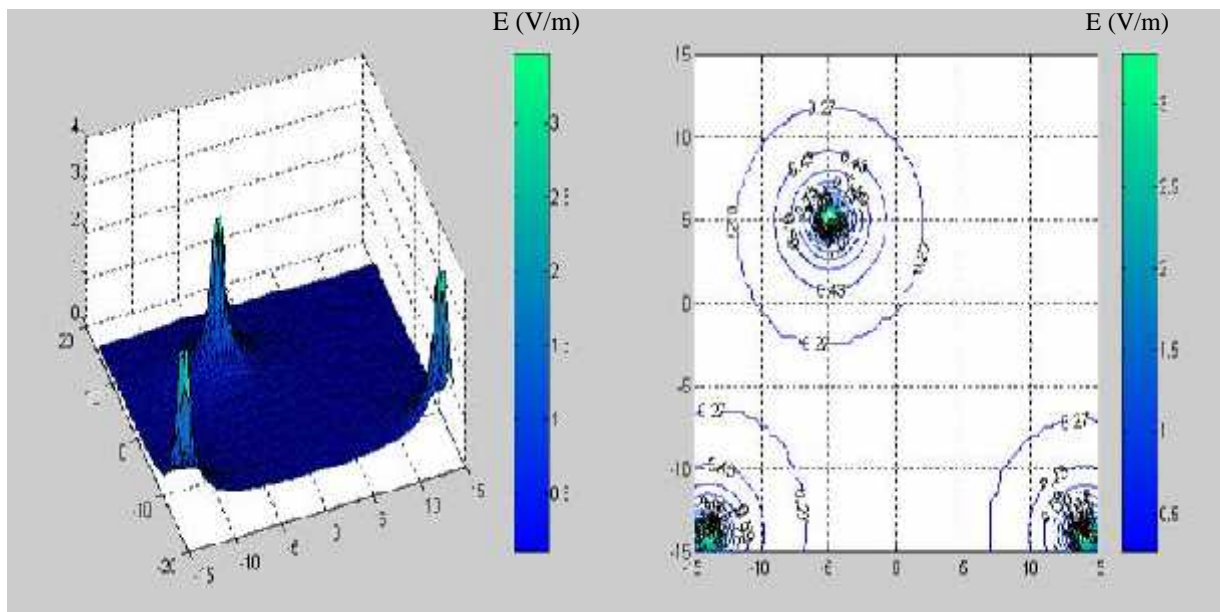
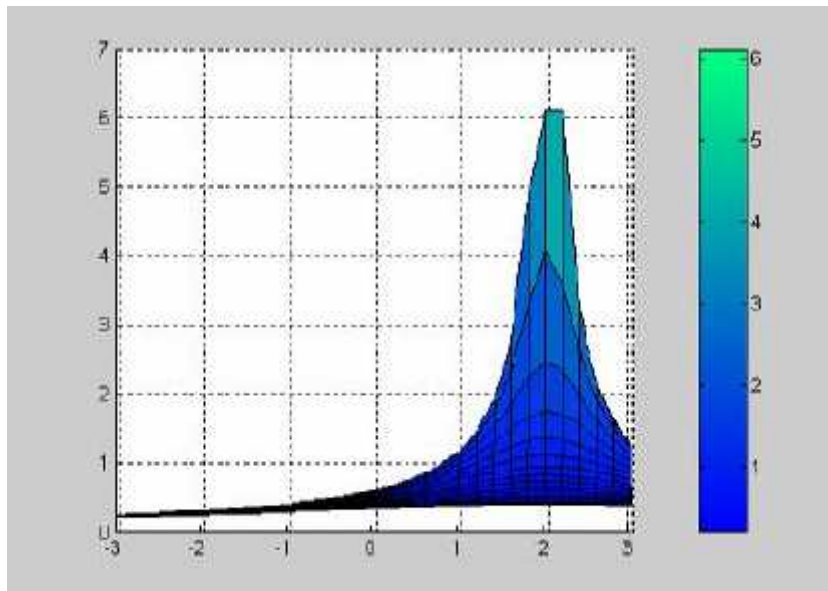


Figure III.6 : Simulation d'une zone de 900m<sup>2</sup> équipée de 3 AP (P = 100mW).

La comparaison avec la figure III.6 (simulation d'un espace équivalent à l'amphithéâtre, équipé de trois bornes WiFi) met en évidence un écart -entre mesure et simulation- en parfait accord avec la définition même de la simulation du « pire cas » pour des équipements à 100 mW de puissance PIRE et compte-tenu des incertitudes de mesure. Ainsi, les mesures montrent que le champ électrique mesuré est toujours [légèrement] inférieur à la valeur théorique obtenue par modélisation .

La comparaison entre les valeurs mesurées et des résultats de simulations n'a pas toujours été réalisée car cela n'apportait aucune information supplémentaire. Les lieux dans laquelle a été menée la campagne de mesures, peuvent en effet être classés en deux catégories :

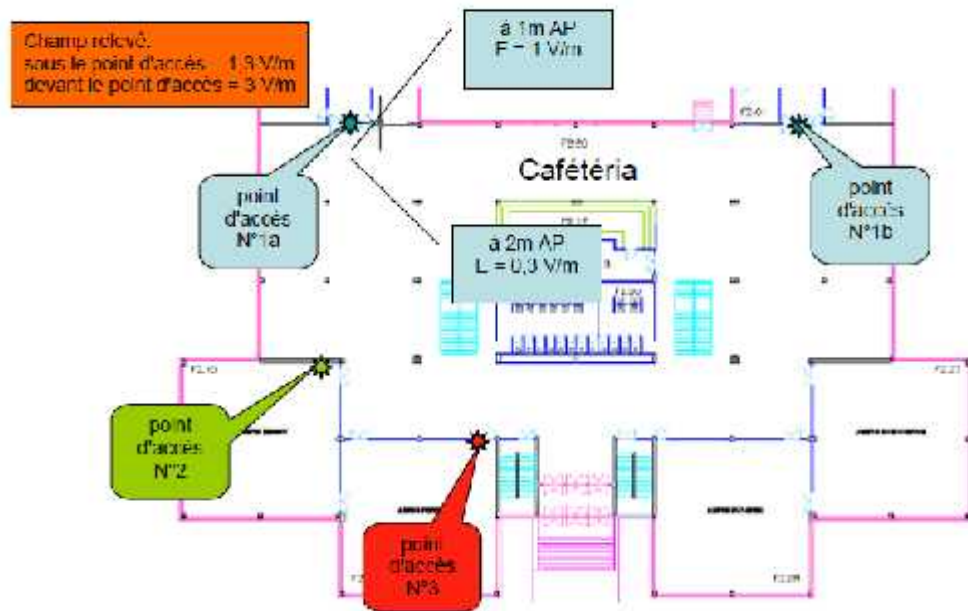
- *Environnements de type a* : des lieux vastes et aérés où la propagation se fait en espace libre (sans obstacle) c'est le cas de l'amphithéâtre, de la cafétéria et de la salle de cours.
- *Environnements de type b* : des lieux plutôt étroits avec des cloisons où la propagation ne se fait plus en espace libre (avec obstacles) c'est le cas de la bibliothèque et de la zone de bureaux.
- *En environnement de type a* : les résultats des simulations sont comparables aux mesures tout en restant plus élevés que ces dernières.
- *En environnement de type b*, les résultats des simulations sont toujours notablement plus élevés que les mesures (sauf en présence d'obstacles métalliques qui pourraient entraîner des effets de guides d'ondes) dans l'hypothèse où l'équipement est correctement utilisé.



**Figure III.7** : Résultat de simulation représentant la vue en coupe du champ électrique produit par un AP ( $P = 100\text{mW}$ ).  $E$  calculé (1m) = 1.02V/m à comparer avec  $E$  mesuré (1m) = 0.95V/m

### III.3.6 Mesures réalisées dans la cafétéria

La cafétéria nécessite 2 points d'accès pour assurer la couverture et la demande en ressources réseau des utilisateurs.

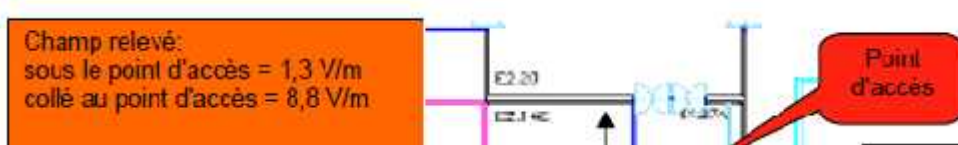


**Figure III.8 :** Cartographie des résultats de mesure obtenus (AP : point d'accès)

Dans la zone de la cafétéria (50m\*25m), nous avons effectué des relevés de champ en plusieurs points régulièrement répartis dans le but de réaliser une cartographie complète de celle-ci, ainsi que des mesures en des endroits très proches des points d'accès.

### III.3.7 Mesures réalisées dans la bibliothèque

La bibliothèque (36m\*12m) nécessite un seul point d'accès pour répondre à la demande de ressource réseau des utilisateurs et assurer une couverture correcte (liaison à 11Mbit/s soit un débit moyen de 2,4Mbit/s mesuré à l'aide du logiciel IPTraffic) en tous points de la bibliothèque.



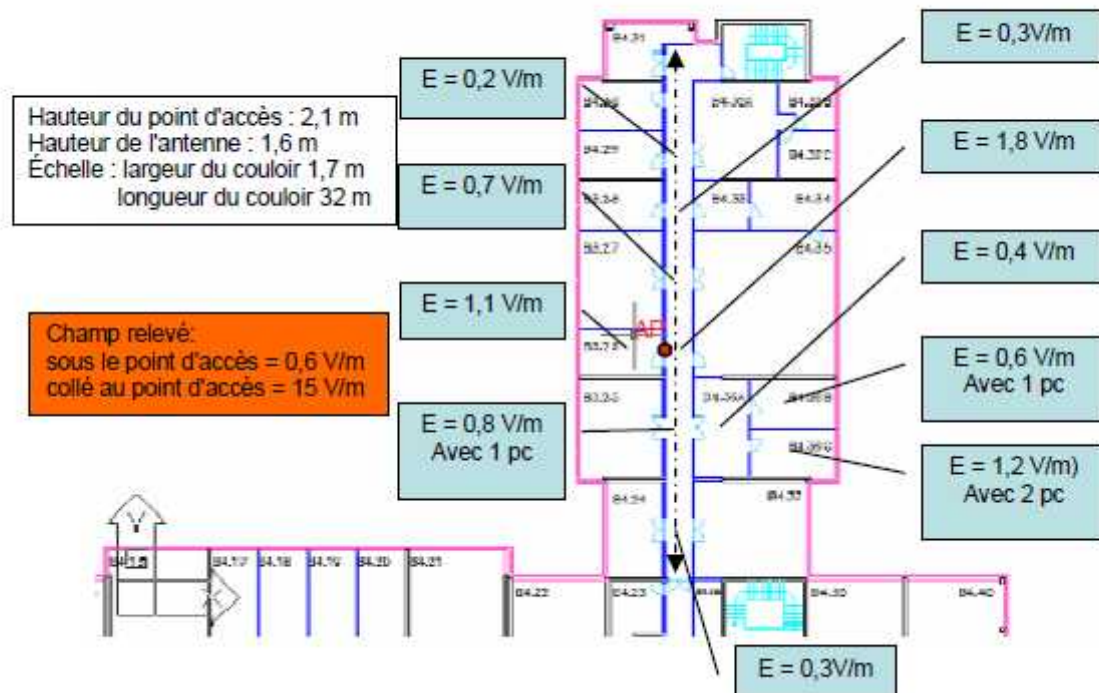
**Figure 3.9 : Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus****III.38. Mesures réalisées dans la zone de bureaux**

**Figure III.9 :** Cartographie des résultats de mesure obtenus dans la bibliothèque

**III.3.8. Mesures réalisées dans la zone de bureaux**

La zone de bureaux qui a été choisie pour réaliser les tests est représentative d'un espace de travail "moyen" existant dans une entreprise. Elle regroupe sur une surface assez petite (pouvant être couverte par une borne) toutes sortes de bureaux (de taille et de forme différentes) et de cloisons (fixes, mobiles, en béton armé ou en particules).

Compte tenu du nombre réduit d'utilisateurs (environ 20) pour la surface de bureaux de la zone, un seul point d'accès suffit pour offrir à chacun, une connexion à 11 Mbit/s soit un débit moyen de 2,4 Mbit/s mesuré à l'aide du logiciel IPTraffic.

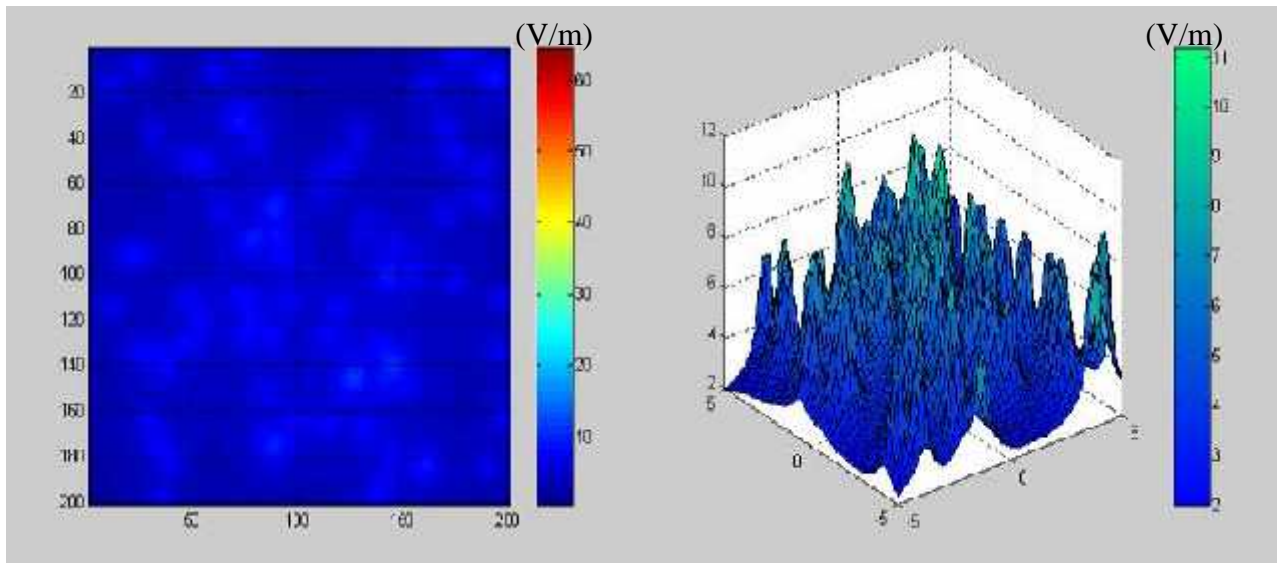


**Figure III.10 :** Cartographie des résultats de mesure obtenus dans la zone des bureaux

Les mesures montrent que l'exposition des personnes au champ électrique est minimale  $< 1 \text{ V/m}$  dès que l'on s'éloigne de 1 m de l'antenne d'émission.[22]

### III.3.9 Traitement relatif aux salles de cours

Les salles de cours (12m x 12 m) étant indisponibles lors de notre expérimentation, il n'a pas été possible de réaliser des mesures in situ. Comme les simulations numériques surestiment les mesures lorsqu'une PIRE de 100 mW est utilisée (voir le para .4.2.2), nous avons réalisé une simulation prenant en compte divers équipements WiFi uniformément répartis ainsi qu'un point d'accès. Le cas pire a été envisagé ici, il correspond à l'installation de 80 équipements terminaux et un point d'accès installés dans une pièce de 100 m<sup>2</sup> utiles.



**Figure III.11 :** Simulation d'une salle de cours (100m<sup>2</sup>, 80 équipements (P = 50mW) et 1 Point d'accès (P = 100mW)

Dans ce contexte extrême, la simulation montre que le champ électrique moyen –surestimé car calculé est de l'ordre de 5V/m et que celui-ci n'augmente sensiblement qu'à proximité immédiate des équipements.

### III.4 Synthèse

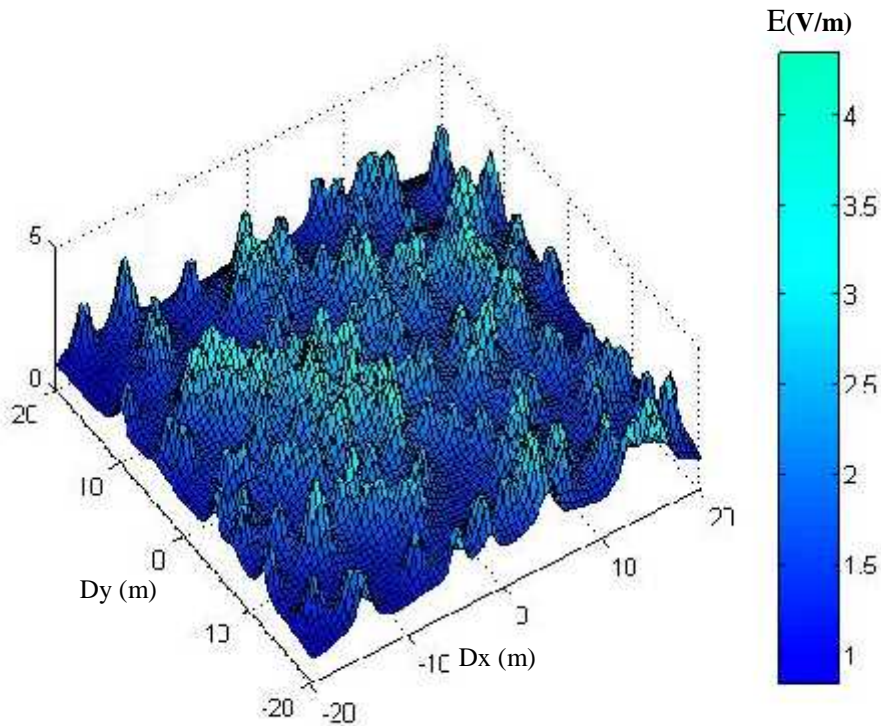
#### III.4.1 Résultats des mesures :

1) Le champ électromagnétique décroît très vite lorsque la distance augmente. La décroissance est proche de celle de la loi de propagation en espace libre (comparaison des simulations et des mesures). Nous pouvons dire qu'au-delà de quelques mètres la contribution d'un équipement WiFi (utilisé dans les conditions nominales prescrites par le constructeur) devient négligeable et il sera très difficile de la distinguer dans le bruit ambiant.

2) Les équipements WiFi testés respectent de manière individuelle la limitation du niveau de référence pour le champ électromagnétique : ~6 V/m (à 20 cm), valeur inférieure au niveau de référence  $E_{ref} = 61$  V/m.

On peut remarquer toutefois que dans certains cas particuliers (par exemple : équipement WiFi intégré à la carte mère, pose de la main sur la carte PCMCIA WiFi, utilisation d'un portable sur ses genoux, ...) l'utilisateur peut être très proche de la source émettrice (<20 cm) et donc être soumis localement à des champs plus importants que ceux mesurés -à 20 cm- lors de la présente étude.

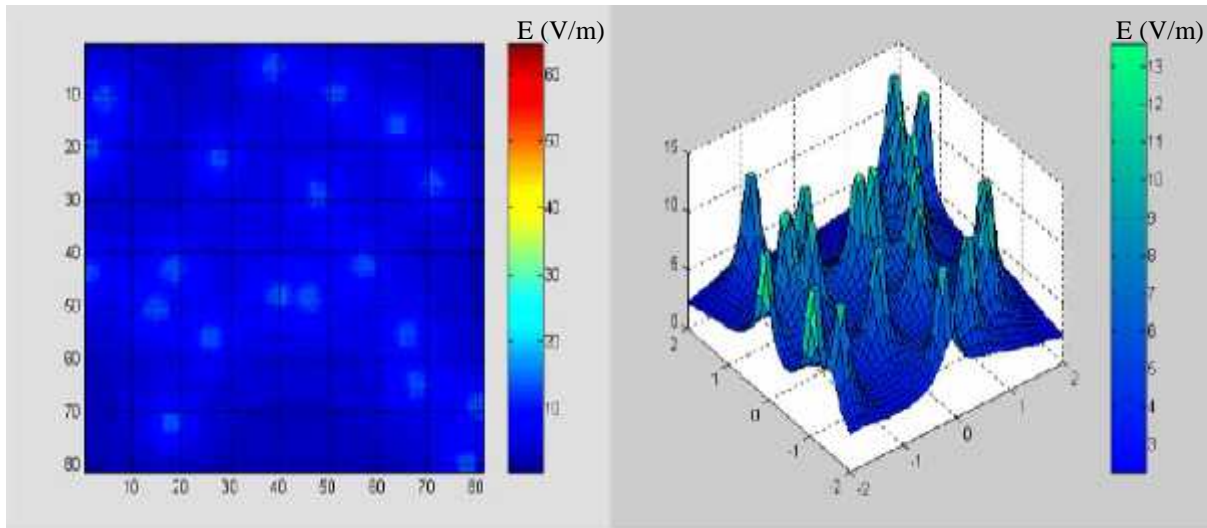
A des distances inférieures à 12,5 cm (région de champ proche), il faudrait mesurer les champs électrique et magnétique pour complètement caractériser le champ électromagnétique. En fait, il s'agirait pour ces distances de plutôt s'intéresser au DAS (restriction de base) qui compléterait alors la caractérisation de l'évaluation du niveau des champs électromagnétiques.



**Figure III.12 :** Visualisation du champ électrique dans une zone de 400m<sup>2</sup> pour 200 équipements d'une puissance de 50 mW ( $E_{\min} = 1\text{V/m}$  et  $E_{\max} = 4,5\text{V/m}$ )



**Figure III.13:** Visualisation du niveau de champ dans une zone de 1600m<sup>2</sup> contenant 2000 équipements WiFi en fonctionnement ( $P=50\text{mW}$ , résolution=0,5m).



**Figure III.14 :** Visualisation du niveau de champ dans une zone de 16m<sup>2</sup> contenant 20 équipements WiFi en fonctionnement (P=50mW, résolution=0,1m).

Les simulations qui ont été réalisées nous donnent une bonne approximation de la valeur maximale du champ électromagnétique réel (compte tenu de l'incertitude sur les mesures réalisées).

Les simulations présentes dans le document ne peuvent pas être exhaustives, pour d'autres exemples plus spécifiques, il suffit d'utiliser le modèle qui a été proposé. Ce qui compte pour le calcul du champ électrique, ce n'est plus la taille de la zone ou bien le nombre d'équipements mais essentiellement la densité d'équipements par m<sup>2</sup>.

### III.5 Les principaux résultats :

1) Dans tous les cas, mesurés ou simulés, sont respectés pour des matériels RLAN utilisés dans des conditions conformes à la réglementation radioélectrique. Dans le pire cas simulé, à savoir pour une distance de 12,5 cm et une puissance PIRE de 100 mW, le niveau du champ est de l'ordre de 23 % de la valeur limite du décret qui est de 61 V/m. Pour une utilisation typique avec une puissance nominale PIRE de 50 mW.

2) La valeur du champ électromagnétique décroît très vite lorsque la distance à l'antenne augmente. La décroissance en environnement intérieur est proche de celle de la loi de propagation en espace libre.

3) Au-delà de quelques mètres la contribution d'un équipement WiFi (utilisé dans les conditions nominales prescrites par le constructeur) devient négligeable et il est très difficile de la distinguer dans le bruit ambiant.

4) La décroissance rapide entraîne qu'en utilisation normale, avec une distance de l'ordre de 1 m entre chaque antenne de portable, il n'y a pas d'effet cumulatif .[23]

### **III.6 Conclusion de la Simulation :**

Les mesures initialement prévues portaient sur l'évaluation du niveau de champ électrique. Les mesures ont donc été effectuées hors du champ proche ; à des distances supérieures à la longueur d'onde soit 12,5 cm à 2,4 GHz. En deçà de cette distance, il faudrait mesurer à la fois les composantes des champs électrique et magnétique pour complètement caractériser le champ électromagnétique. En fait, il s'agirait, pour ces distances, de mesurer le débit d'absorption spécifique (DAS, restriction de base) afin de compléter la caractérisation de l'évaluation du niveau des champs électromagnétiques. Ces dernières mesures n'étaient pas prévues dans le cadre de la présente étude ; elles pourront faire l'objet d'études complémentaires.

L'ensemble des simulations et des mesures réalisées dans le cadre de la présente étude ne sont valables que pour une distance avec l'émetteur radioélectrique (notamment point d'accès ou carte PCMCIA) supérieure à 12,5 cm. Les différents résultats ont permis de déduire quelques ordres de grandeur ainsi que quelques règles simples d'utilisation destinées à réduire autant que possible l'exposition tout en autorisant un fonctionnement normal sur le plan applicatif.

### CONCLUSION GENERALE

Le nombre de réseaux sans fil (WLAN) a augmenté ces dernières années, au point que presque chaque entreprise a une capacité sans fil. En outre, de nombreux foyers disposent maintenant de réseaux sans fil, offrant un accès réseau flexible et facile à chaque membre de la famille. Bien que WLAN apportera de nombreux avantages pour les utilisateurs de ces réseaux, il y a quelques inconvénients que chacun devrait connaître. Les interférences, comme les téléphones sans fil, les moniteurs de bébé et d'autres appareils électroniques fonctionnent à la fréquence de 2,4 GHz qui est utilisée par les réseaux sans fil. Ces appareils électroniques peuvent causer des interférences avec les transmissions du réseau sans fil se trouvant à portée. Les symptômes d'interférence sont les mauvaises performances du réseau et la corruption des fichiers.

**Points d'accès non autorisés** Les réseaux sans fil sont généralement faciles à installer, à encourager certains employés à installer leur propre point d'accès sans fil sans autorisation. Une telle installation peut entraîner une ouverture pour les pirates d'envahir un réseau, surtout si l'employé ne parvient pas à fixer le dispositif. Un employeur doit suivre pour l'installation de points d'accès non autorisés à assurer la sécurité d'un réseau.

L'une des principales questions qui se posent pour les applications WLAN est celle du choix de la bande de fréquences, qui dépend des éléments suivants:

plusieurs techniques nouvelles de fabrication d'équipements radioélectriques compacts à faible coût deviennent plus économiques dans les fréquences supérieures;

la gestion des conditions de propagation, élément essentiel de l'efficacité d'utilisation du spectre, implique l'utilisation de petites antennes directives ayant des diagrammes de rayonnement prévisibles pour les systèmes fixes, ainsi que des systèmes d'attribution des canaux, d'antenne et de gestion de puissance dynamiquement adaptatifs dans le cas des systèmes sans attache.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] *MIMO-OFDM ; Mesures actives en environnements réels et maîtrisés dans un contexte, WiMAX* », Thèse de Doctorat, Université de Limoges, École Doctorale Science – Technologie – Santé, 2009.
- [2] Fabrice LEMAINQUE, « *Tout sur les réseaux sans fils* », édition Dunod, ISBN: 978-2100525690, 246 pages, 2009.
- [3] Emmanuel CONCHON, « *Définition et mise en oeuvre d'une solution émulation de réseaux sans fil* », Thèse de doctorat, École doctorale : Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [4] Michel VONGVILAY, Gabriel NGUYEN NGOC, Grégory WOLOWIEC, « *Le Bluetooth* », Exposé NT Réseaux, 3ème Année Informatique & réseaux, École supérieure d'Ingénieurs Paris-Est Marne-la-Vallée 2005.
- [5] Dominique DHORTAUT, « *Étude du standard IEEE 802.11 dans le cadre des réseaux ad-hoc : de la simulation à l'expérimentation.* », Thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliqués de Lyon, 2003.
- [6] Francine KRIEF, « *Les systèmes embarqués communicants : mobilité, sécurité, autonomie* », Hermes Science Publications, Série réseaux et télécoms, ISBN: 978-2746218734, Lavoisier librairie (Ed.), 2008
- [7] B.GUARET -DUPORT. « Les réseaux sans fil (Wi-Fi) ». Septembre 2004.
- [8] Adrien VAN DEN BOSSCHE ; 2007- « Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles » ; MEMOIRE DE THESE, DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE II, Ecole Doctorale Systèmes.
- [9] Michel Terré ; Mars 2007- «Le Standard 802.11, Couche physique et couche MAC» ; en ligne : <http://stic.cnam.fr/elau/publi/terre/images/WiFi.pdf> .
- [10] IEEE Std 802.16, “*IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*”, October 2004
- [11] Massimo Franceschetti, Jehoshua Bruck, and Leonard J. Schulman. A random walk model of wave propagation. *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, 52(5) :1304\_1317, May 2004.

## Bibliographie

---

- [12] A. Gondran, J. Fondrevelle, O. Baala, and A. Caminada. Modélisation du problème théorique de planification wlan par fonction d'ensembles. In META'06 Métaheuristiques, Hammamet (Tunisia), November 2006.
- [13] K.K. Leung and B.J. Kim. Frequency assignment for multi-cell IEEE 802.11 wireless networks. In VTC'2003, Orlando, Florida, 2003.
- [14] C.P. Lim, J.L. Volakis, K. Sertel, R.W. Kindt, and A. Anastasopoulos. Statistical modeling of site-specific indoor channels in wireless communications.
- [15] In IEEE/ACES International Conference on Wireless Communications and [3] B. GUARET-DUPORT. « Les réseaux sans fil (Wi-Fi) ». Septembre 2004.
- [16] F. DI GALLO. « WiFi l'essentiel qu'il faut savoir »... 2003.
- [17] IEEE Std 802.11b-1999 Part 11 : “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications” [L'ETAT EN TELECOMMUNICATIONS.
- [18] P. Combeau. Simulation efficace et caractérisation du canal radiomobile en environnement réel. Application aux systèmes sans fil. PhD thesis, Université de Poitiers.
- [19] Rec. UIT-R F.1244 1 recommandation UIT-R F.1244\* réseaux locaux hertziens (RLAN) (Question UIT-R 142/9) -1997.
- [20] Oostas C. Constantinous and Ling Chuen Ong. Urban radiowave propagation: A 3-d path-integral wave analysis. IEEE transactions on Antennas and Propagation, 46(2) :211\_217, February 1998.
- [21] 802.11 WiFi et les réseaux sans fil, Paul Mühlethaler éditions Eyrolles 2002.
- [22] Réseaux de mobiles et réseaux sans fil, Al Agha, Pujolle, Vivier éditions Eyrolles 2001.
- [23] "Evaluation du niveau des champs électromagnétiques produits par les Réseaux locaux radioélectriques RLAN ou LAN(WiFi)" [http://www.who.int/docstore/pehemf/publications/facts\\_press/EMF-Precaution\\_Fr.htm](http://www.who.int/docstore/pehemf/publications/facts_press/EMF-Precaution_Fr.htm)

## Types d'encodage

Le Wifi 802.11b permet d'avoir une liaison radio pouvant fournir des débits variables suivant les conditions de transmissions radio. Toutes liaisons radio étant soumises à des perturbations radio électrique il faut obligatoirement mettre en place des mécanismes pouvant permettre la récupération des données altérées. Ce sont des codes correcteurs d'erreurs. On utilise le code dit "a séquence de Barker" et CCK (complementary code keying).

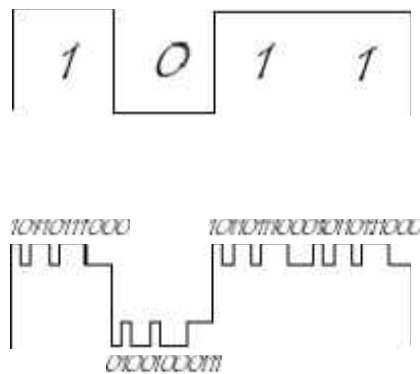
### Le codage CCK (complementary code keying)

L'intérêt du codage CCK réside dans le fait qu'il permet de générer des informations codées dont le codage n'exige pas un grand ajout d'information supplémentaire. Il consiste en un ensemble de 64 mots de 8 bits chacun. Les propriétés mathématiques spécifiques d'un tel ensemble de mots permettent de les distinguer correctement les uns des autres par le récepteur, même en présence de bruit et d'interférences (p. ex. les interférences causées par la réception de multiples réflexions radio dans un bâtiment). Le débit de 5,5 Mbps utilise la technique CCK pour coder 4 bits par mots, tandis que le mode 11 Mbps encode 8 bits par mots. Les deux modes font appel à la technique de modulation QPSK et signalent à 1,375 MSps. C'est de cette manière qu'il est possible d'atteindre ces débits supérieurs. Cela permet d'utiliser pleinement la bande passante et fournir un débit binaire maximum pour un codage QPSK.

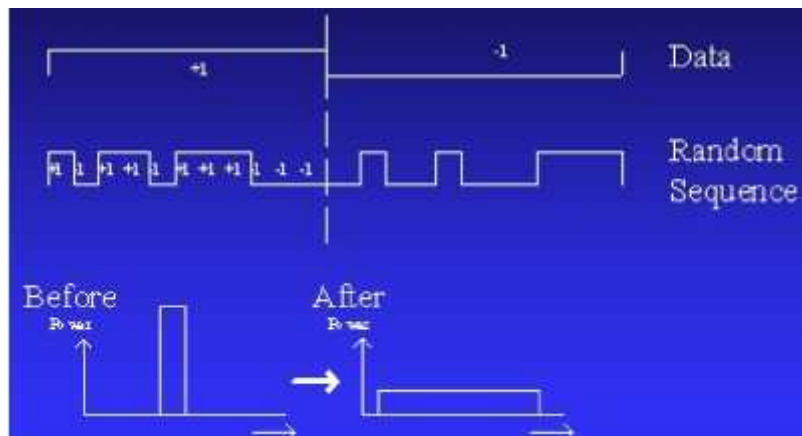
Exemple du code CCK 11 Mb/s : on génère des symboles de 8 signaux DPSK (mot de code de 8 signaux pouvant avoir quatre phases différentes).

### Le codage a séquence Barker

Étalement 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, voire de la correction d'erreurs.



La bande spectrale est élargie dans un rapport égal au nombre de chips. On obtient donc un spectre étalé en modulant le signal avec une séquence ayant une apparence de bruit, en remplacement de chaque bit de message. Le signal étalé (spectral ment) doit apparaître comme du bruit, en particulier pour les autres transmissions éventuelles utilisant le même spectre étalé. Ceci permet aussi de cacher (crypter) le message d'où son utilisation ancienne par les militaires.



En réception on calcule en temps réel la corrélation du signal avec une réplique du code émetteur (la suite pseudo-aléatoire), ce qui permet de régénérer les bits de message selon sa valeur : positive (= 1), négative (= -1) ou nulle (mauvais code).

Plus concrètement :

- Le message a de l'émetteur A, représenté par une suite de +1, -1 traduisant la suite de bits 1 et 0 logiques, est multiplié par une suite pseudo-aléatoire u de +1 et -1 (les "chips") judicieusement choisie, et dont les transitions sont N fois plus fréquentes (11 fois pour l'utilisation d'une séquence Barker). Idem pour un émetteur du message b: message multiplié par une suite pseudo-aléatoire v.
- Les suites produits  $a \times u$  et  $b \times v$  sont ajoutées et transmises.

- A la réception, le destinataire du message a multiplié la suite reçue par la suite  $u$ , idem pour le destinataire du message  $b$ . Si les suites sont bien choisies, sur la durée d'un bit, (donc de  $N$  chips), l'auto corrélation de  $u$  et de  $v$  est égale à  $N$ , tandis que l'inter corrélation a une moyenne nulle.

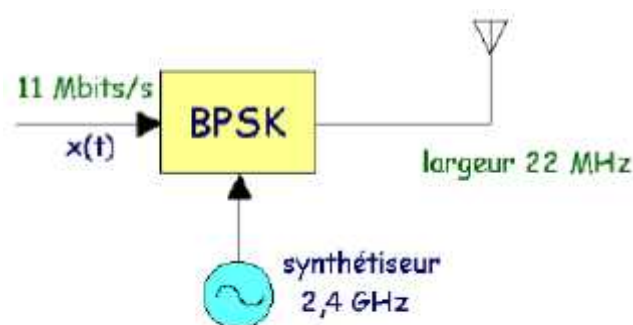
### Techniques de modulations :

La norme WIFI 802.11b impose deux techniques de modulations, la BPSK (Binary Phase Shift Keying) et la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) généralement utiliser lors que le débit dépasse 1Mbits/s. Ces deux techniques utilisent la même méthode à la base. Leurs seul différence réside dans l'augmentation du débit d'information transporter lorsque les conditions de transmissions le permettent.

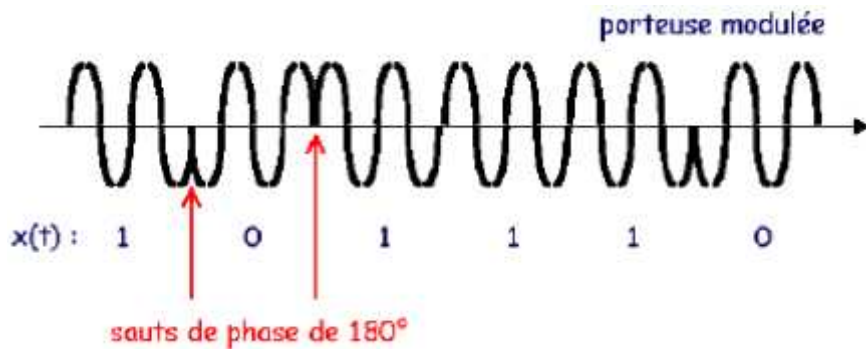
### La BPSK (Binary Phase Shift Keying)

La modulation BPSK est une modulation de phase à 2 états de la fréquence intermédiaire. Ceci permet d'obtenir un signal modulé avec deux états de phases 0 et  $\pi$  (pi). Le changement de phase s'effectue alors au passage à zéro de la fréquence porteuse. Sans la synchronisation préalable du signal, les changements de phase interviendraient de façon aléatoire par rapport au signal porteur avec pour conséquence un élargissement du spectre occupé.

On entre donc un signal dans le modulateur:

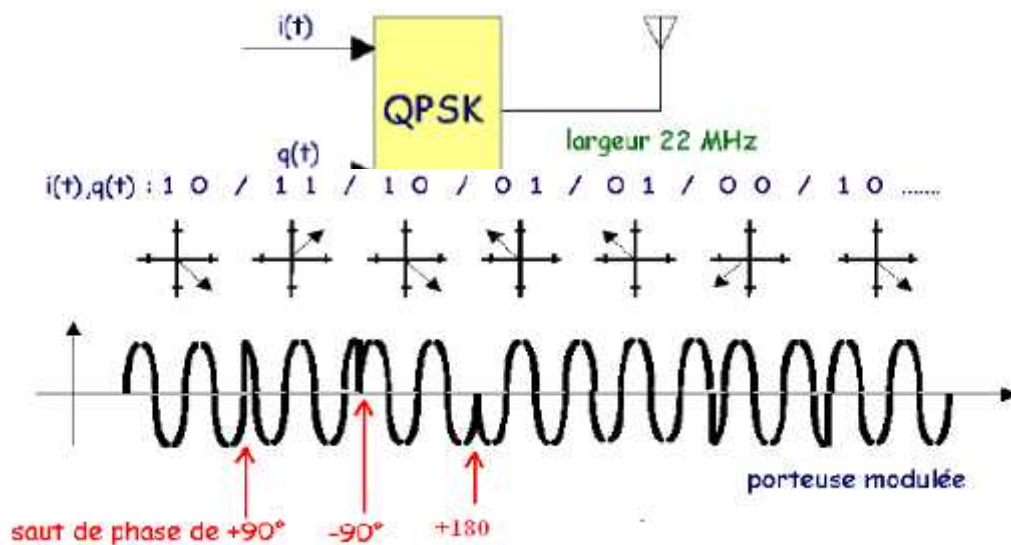


Et comme décrit ci-dessus on obtient des signaux effectuant un déphasages:



On peut ensuite représenter se déphasage sur un diagramme appeler constellation. On appel les positions des points des symboles. Lors de la transmission le déphasage subit des perturbations, ce pourquoi une approximation du positionnement est faite:

**La QPSK (Quadrature Phase Shift Keying):**



Le principe de la QPSK n'est pas énormément différente comparer celle de la BPSK. La principal différence réside dans son utilisation d'une quadrature de phase comportent 4 symbole, donc 4 déphasages différents ,On peut donc avec cette technique transmettre 2 bit par symbole donc 2 bits a la foie.

Bandes de fréquences	Système de modulation et/ou d'accès	Débit de données	Débit de données	Débit de données
403-470 MHz 806-869 MHz 946 MHz	MDF-4	19,2 kbit/s	Equipement d'abonné ARDIS(2)	Zone de service ARDIS
850 MHz (cellulaire)	MDF	14,4 kbit/s 9,6 kbit/s (télécopie)	Communications personnelles par téléphone cellulaire	Zone de service de téléphone cellulaire
902-928 MHz	Sauts de fréquence (MDF)	64-500 kbit/s	Réseaux de campus et réseaux privés,	4 km
	Séquence directe	2 Mbit/s 215 kbit/s à 1,0 Mbit/s	LAN portables LAN Ethernet	250 m 100-1 000 m
	Etalement du spectre AMRC/AMRT	Débit de ligne 1,536 Mbit/s	Réseaux de communication personnelle	450-5 000 m <sup>2</sup>
	Séquence directe avec sélection de canaux de 1,5 MHz	60 kbit/s	Lecture de code-bar	120-210 m
	Séquence directe, code en treillis MDP	5,7 Mbit/s	LAN Ethernet (IEEE 802.3)	80 m
2,4-2,4835 GHz 2,4-2,485 GHz (émetteur-récepteur vers central) 5,745-5,830 GHz (central à émetteur récepteur)	AMRC, séquence directe, sauts de fréquence Séquence directe, code en treillis MDP-16	1 Mbit/s (approximativement) 5,7 Mbit/s	LAN Ethernet (IEEE 802.3)	80 m

### Exemples de caractéristiques de RLAN

	$L_b = 6 \text{ dB}$		$L_b = 20 \text{ dB}$		$L_b = 40 \text{ dB}$	
	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 36^\circ$
$El = 5\text{dBW}$	8.4 km	995 m	995 m	191m	96m	19 m
$El = 1\text{dBW}$	2.4 km	480 m	480 m	96 m	48m	10 m

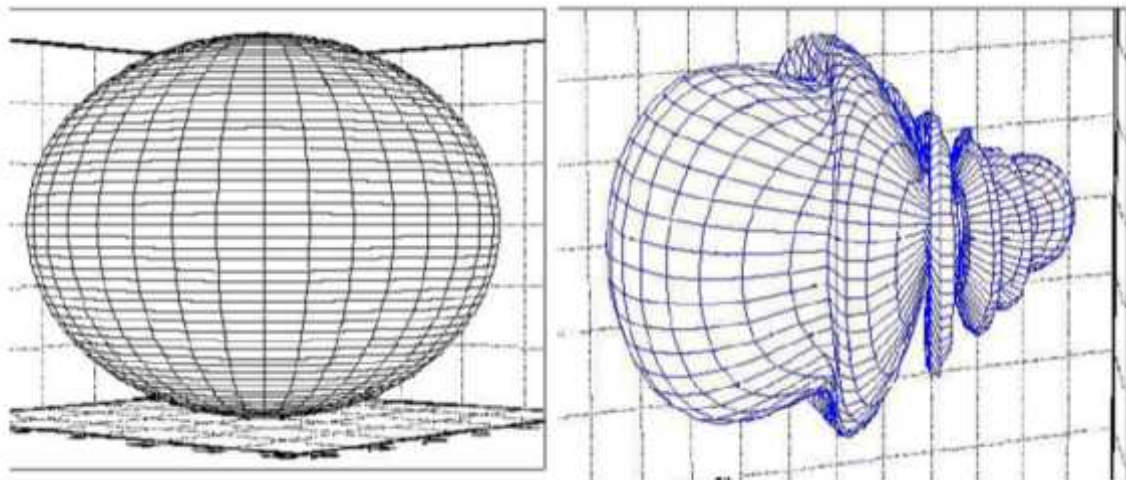
**Distance de coordination entre un RLAN et une station terrienne du SFS  
(Liaison descendante)**

**Directivité de l'antenne :**

Les antennes utilisées dans les équipements WiFi ne sont pas toutes équivalentes, elles peuvent être omnidirectionnelles ou directives suivant la fonction de cet équipement.

Une façon simple pour évaluer ce gain d'antenne est de mesurer les deux paramètres suivants :

- La puissance totale rayonnée ( $P_e$ ),
- Le champ électromagnétique émis par l'équipement à la distance  $D = 1 \text{ m}$  et dans la Direction privilégiée. On peut alors évaluer la PIRE et définir le gain  $G_e$  de l'antenne.

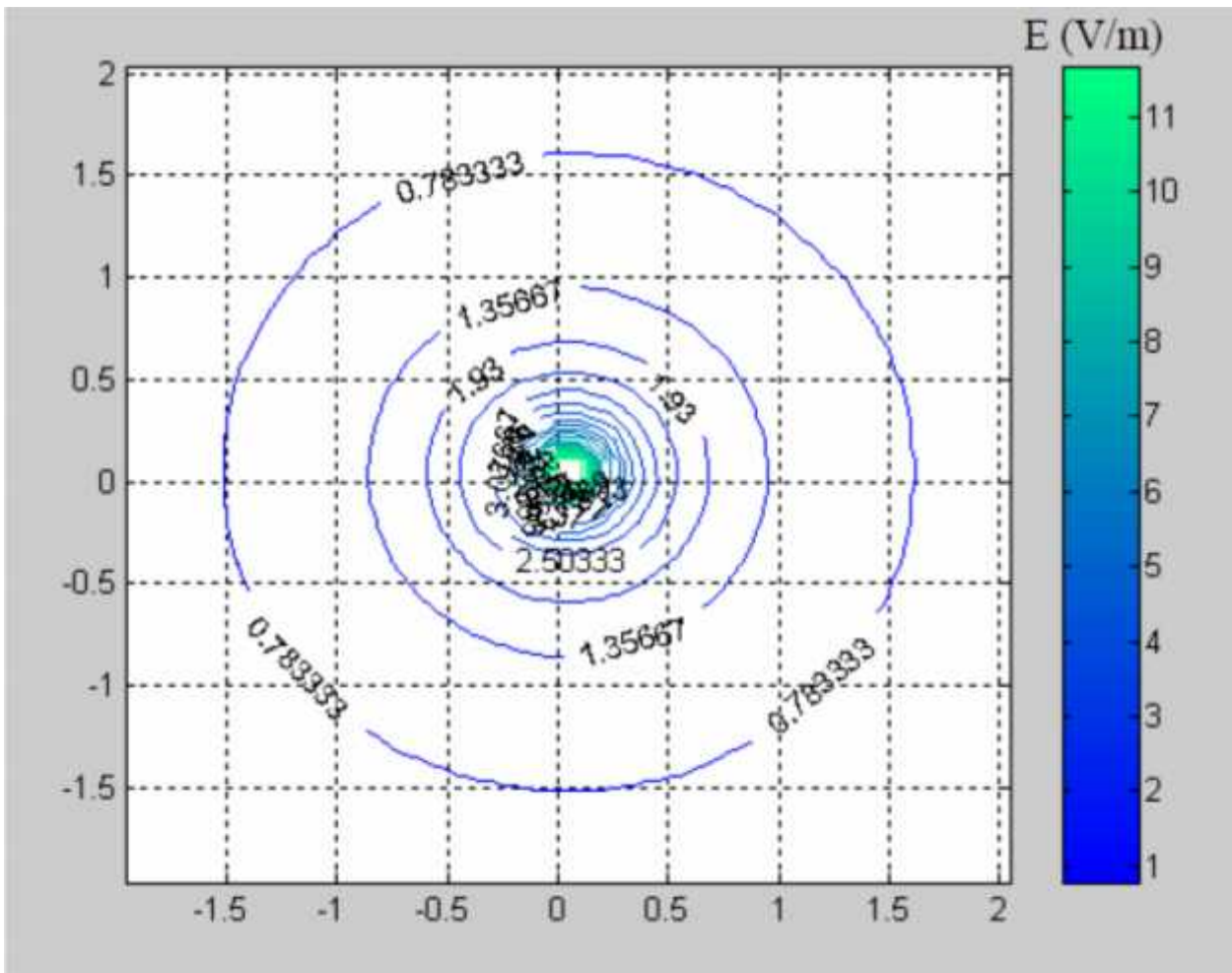


**Diagramme de rayonnement pour une antenne isotrope et pour une antenne  
"patch"**

Dans le contexte de l'étude, la PIRE sera l'élément déterminant car la direction privilégiée ne peut pas être connue à l'avance (par exemple : position/orientation du PC et place de la carte dans celui-ci). Cette valeur sera évaluée en prenant la moyenne/statistique des rapports de  $E_{mes}/E_{es}$  pour différentes distances : équipements WiFi / antenne de mesure. On estime alors le

gain en appliquant  $G_e = (E_m/E_{es})^2$ .

E (V/m)



### les courbes de champs simulées pour la carte PCMCIA

Par exemple :

a) carte PCMCIA E;  $P_e = 27,4\text{mW}$  (14,3dBm)

Champ estimé  $E_{es} = 0,91\text{ V/m}$  à 1m

Champ mesuré  $E_m = 1,4\text{ V/m}$  à 1m

Valeur de la PIREretenue = 66,3mW (l'antenne étant maintenant considérée comme omnidirectionnelle).

Détails de calculs :  $PIRE_{retenue} = P_e * (E_m/E_{es})^2$ ;

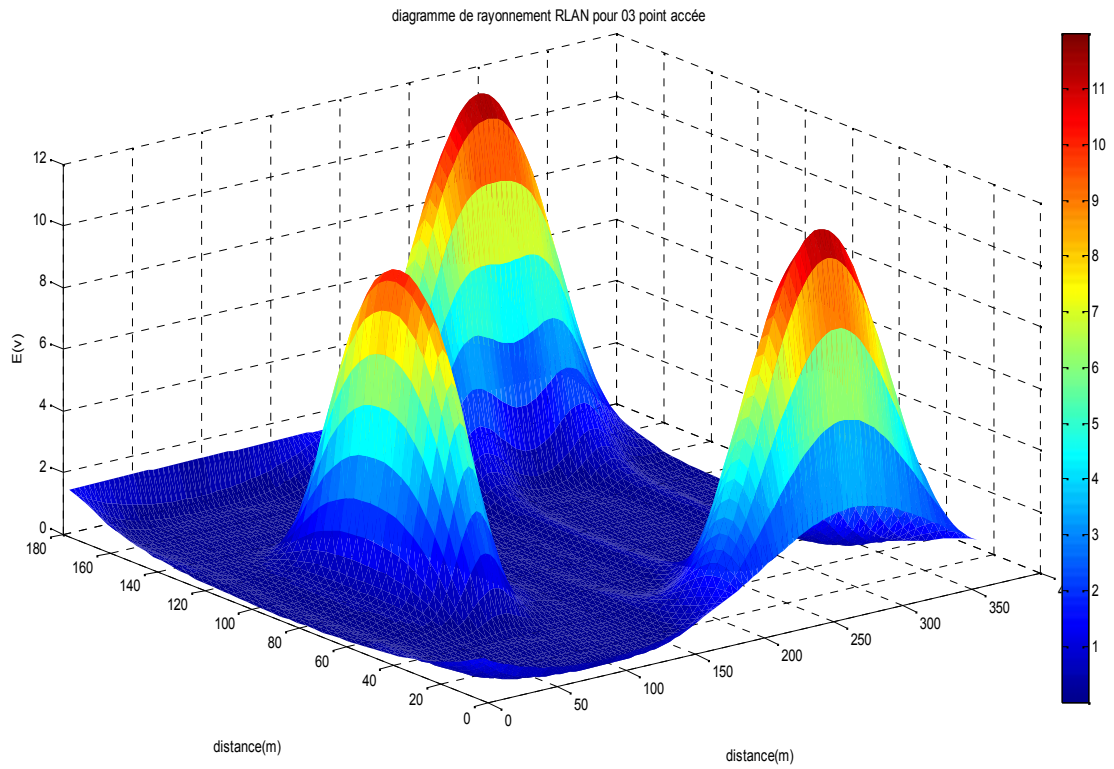
b) carte PCMCIA B;  $P_e = 21,4\text{mW}$  (13,3dBm)

Champ estimé  $E_{es} = 0,8\text{ V/m}$  à 1m

Champ mesuré  $E_m = 1\text{ V/m}$  à 1m

Valeur de la PIREretenue = 33,4mW (l'antenne étant maintenant considérée comme omnidirectionnelle).

Nous voyons bien dans les deux exemples qu'il existe une grande disparité entre les différents équipements et nous devons donc toujours utiliser la valeur maximale lors des simulations.



**Diagramme de rayonnement RLAN 03 point d'accès**