



## **RAPPORT FINAL**

"Evaluation du niveau des champs  
électromagnétiques produits par les Réseaux  
locaux radioélectriques RLAN ou WLAN  
(WiFi)"

Décembre 2003

## Avertissement

L'Autorité a fait réaliser par l'Ecole Supérieure d'Electricité (Supélec) une étude, sur les niveaux des champs électromagnétiques produits par les réseaux radioélectriques (RLAN), qui avait pour objectifs :

- d'élaborer, et de valider à partir de mesures in situ, un modèle simple à mettre en oeuvre permettant d'évaluer a priori la conformité d'une installation aux conditions de la réglementation applicable à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (décret 2002-575) ;
- de mesurer [in situ] les niveaux de champs dans des configurations types représentatives de l'utilisation de RLAN ;
- de déduire, en complément de la modélisation, quelques recommandations simples d'installation et d'utilisation destinées à réduire toute exposition inutile du public aux champs électromagnétiques en permettant cependant un fonctionnement normal de l'application radioélectrique.

Dans un souci de transparence et d'information ouverte, elle a décidé de rendre publique cette étude.

La méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont de la seule responsabilité de SUPELEC et n'engagent pas l'Autorité.

Les recommandations d'utilisation et d'installation des RLAN n'ont aucune valeur réglementaire et sont simplement destinées, dans une approche « d'évitement prudent », telle que définie par l'OMS notamment dans une note de mars 2000 <sup>1</sup>, à permettre aux personnes qui le souhaitent de réduire toute exposition inutile aux champs électromagnétiques produits par les RLAN qu'ils utilisent.

Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant à faire part de leurs commentaires à l'Autorité.

---

<sup>1</sup> Champs électromagnétiques et santé publique, Politiques de précaution ; [http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts\\_press/EMF-Precaution\\_Fr.htm](http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/EMF-Precaution_Fr.htm)



## RAPPORT FINAL

Contrat : ART 2003		Date : 2 Décembre 2003
<h3>"Evaluation du niveau des champs électromagnétiques produits par les RLAN "</h3>		
<p><b>Résumé :</b> Ce rapport présente les résultats des travaux du contrat cité ci-dessus et fait le point sur la méthodologie utilisée pour caractériser les niveaux des champs électromagnétiques produits par les équipements de réseaux locaux radioélectriques.</p>		
<p><b>Mots clés</b> IEEE802.11, WiFi, RLAN, DAS, niveaux de référence, restriction de base</p>		
<p><b>Contributeurs Supélec :</b> Service Électromagnétisme : V. Monebhurrun Service Radioélectricité et Électronique : T. Letertre</p>		
Rédacteurs : T.Letertre V.Monebhurrun	Approuvé par le Chef du Service Radioélectricité :	OBSERVATIONS*:

## Table des matières

Table des matières .....	4
Résumé de l'étude .....	6
Les principaux résultats .....	7
Recommandations d'usage des équipements RLAN : .....	8
Étude détaillée .....	10
1. Introduction .....	10
2. Problématique de l'étude .....	11
3. Calculs et simulation des niveaux de champs électromagnétiques .....	12
3.1. Simulation du champ produit par une carte WiFi type PCMCIA .....	13
3.2. Simulation du champ produit par plusieurs points d'accès .....	13
4. Campagne de mesures de champ sur sites (à Supélec) .....	15
4.1. Conditions de réalisation des mesures in situ .....	15
4.2. Mesures réalisées dans l'amphithéâtre .....	15
4.3. Mesures réalisées dans la cafétéria .....	18
4.4. Mesures réalisées dans la bibliothèque .....	20
4.5. Mesures réalisées dans la zone de bureaux .....	21
4.6. Traitement relatif aux salles de cours .....	22
5. Synthèse .....	24
5.1. Résultats des mesures .....	24
5.2. Simulations .....	24
5.3. Recommandations pour l'utilisation d'équipements WiFi .....	27
5.3.1. Equipement WiFi .....	27
5.3.2. Cartes PCMCIA .....	27
5.3.3. Points d'accès .....	27
Annexe n°1 .....	29
Définitions .....	29
1. Bandes de fréquences .....	29
2. Service de radiocommunication .....	29
3. Normes, réseaux WLAN .....	29
Annexe n°2 .....	33
Rappels sur la norme IEEE 802.11b (WiFi) .....	33
Annexe n°3 .....	36
Définition du protocole de mesure .....	36
1. Mesure de la puissance totale rayonnée en chambre réverbérante .....	36
2. Mesures de champs électriques .....	38
Annexe n°4 .....	41
Liste des matériels RLANs .....	41
1. Adaptateurs PC .....	41
2. Bornes/Point d'Accès .....	41
Annexe n°5 .....	43
Modes d'essais et tests préliminaires .....	43
1. Influence de la polarisation de l'onde .....	44
2. Cycles d'activité WiFi .....	45
3. Directivité de l'antenne .....	46
4. Autre appareil pour la mesure de champ .....	47
Annexe n°6 .....	49
Mesures de puissance totale rayonnée et de champ EM en laboratoire .....	49

1. Méthodologie et définition des configurations.....	49
2. Mesure de la puissance totale rayonnée en chambre réverbérante.....	49
3. Mesure du champ créé par un équipement WiFi (cartes PCMCIA) .....	51
4. Mesure du champ créé par un point d'accès.....	54
Annexe n°7.....	55
Mesure du DAS.....	55
Références bibliographiques .....	57

## Résumé de l'étude

Les différents rapports nationaux sur l'exposition du public aux champs électromagnétiques préconisent d'évaluer, dès leur apparition, les nouvelles technologies d'équipements radioélectriques.

Un développement important a été constaté ces derniers mois dans l'utilisation des réseaux locaux radioélectriques (RLAN), dans leur application première de réseau indépendant ou privé, mais également et surtout dans l'application -nouvelle- de raccordement, sans fil et à haut débit, avec les réseaux ouverts au public.

Ceci a rendu nécessaire une évaluation des champs électromagnétiques générés par les matériels RLAN principalement à la norme WIFI, afin de les situer par rapport aux limites du décret correspondant de mai 2002.

A la demande de l'Autorité de Régulation des Télécommunications, l'École Supérieure d'Électricité (Supélec) a réalisé, au cours du dernier trimestre 2003, une étude relative à l'évaluation des niveaux des champs électromagnétiques dans un environnement de réseaux locaux radioélectriques (**Radio Local Area Network / Wireless LAN**) à 2,4 GHz. L'étude avait pour objet de dresser un état des champs électromagnétiques produits à proximité, tant par les points d'accès que par les équipements terminaux mobiles divers que l'on trouve dans le commerce

Cette étude ne saurait être considérée comme exhaustive, elle prend toutefois en compte les puissances maximales autorisées par la réglementation radioélectrique définie dans les décisions correspondantes de l'ART pour les bandes de fréquences considérées. Ces décisions, n° 03-908 et 03-909 modifiant les décisions 02-1008 et 02-1009 pour la bande de fréquence à 2,4 GHz, prévoient notamment :

- à l'intérieur des bâtiments : une puissance (PIRE\*) maximale de 100 mW sur toute la bande de fréquences 2400-2483,5 MHz,
- à l'extérieur des bâtiments : une puissance (PIRE\*) maximale de 100 mW sur la partie 2400-2454 MHz et avec une puissance (PIRE\*) maximale de 10 mW sur la partie 2454-2483 MHz.

\* : **P**uissance **I**sotrope **R**ayonnée **E**quivalente

L'étude a consisté en des simulations basées sur une formule simple de propagation du champ 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 tels que : amphithéâtre, bibliothèque, bureaux, cafétéria, salle de cours... Ces pièces sont suffisamment grandes et les objets s'y trouvant (tables, chaises, etc.) assez éloignés de l'antenne pour que l'approximation de l'espace libre puisse être appliquée (rappelons que la longueur d'onde à la fréquence 2,4 GHz est de 12,5 cm). En effet, dans la région proche de l'antenne (quelques longueurs d'ondes) la contribution des champs résultants des multiples réflexions contribuent peu à la source principale.

Les simulations ont été réalisées grâce à un programme sous le logiciel 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). 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 (simulation) donnent donc toujours une valeur limite maximisée qui ne pourra, dans un cas réel (mesure), jamais être atteinte (pire cas).

Les simulations ont été complétées par des mesures in situ sur les mêmes lieux qui ont permis par comparaison de valider les écarts entre les valeurs calculées et celles mesurées en prenant en compte également l'incertitude/précision sur les mesures

Pour d'autres environnements que ceux examinés lors de la présente étude on pourra donc se contenter de simulations plutôt que de faire une campagne de mesure à l'aide d'appareils difficilement transportables et très coûteux.

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.

### **Les principaux résultats :**

- 1) Dans tous les cas, mesurés ou simulés, couverts par l'étude, les niveaux du décret 2002-575 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, au delà de 20 cm, les niveaux se situent à environ 6 V/m soit 10 % de la valeur limite du décret.
- 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 :

seule compte l'exposition de l'utilisateur au champ généré par son propre équipement radio.

Dans certains cas particuliers, liés tant à la configuration des matériels qu'à une utilisation a priori non recommandée de ces derniers, les distances réelles d'exposition peuvent se trouver être inférieures à celles qui ont été retenues dans la présente étude pour la réalisation des mesures de champ électrique. Dans ces conditions -équipement WiFi intégré à la carte mère d'un ordinateur portable posé directement sur les genoux ou application prolongée de la main sur une carte PCMCIA WiFi notamment- il n'a pas été possible de caractériser le niveau de champ électromagnétique qui pourra localement être plus important que ceux mentionnés précédemment. Ces cas particuliers devraient faire l'objet d'études complémentaires spécifiques afin de vérifier le respect des valeurs limites de débit d'absorption spécifique.

### **Conseils d'usage des équipements RLAN :**

Ces conseils se basent sur les informations que les constructeurs doivent fournir dans la notice d'utilisation des matériels conformément à la directive 1999/5/CE (R&TTE). Bien qu'il n'y ait aucun risque avéré lié à une exposition aux champs électromagnétiques conforme aux dispositions du décret, elles permettront aux personnes qui le désirent de limiter toute exposition inutile, tout en assurant une utilisation optimale des applications de RLAN. Ces conseils sont proposés par Supélec et n'ont aucune valeur réglementaire.

- 1) Les informations fournies par le constructeur doivent être prises en compte lors de l'installation ou de l'utilisation d'un réseau RLAN (points d'accès et équipements terminaux mobiles).
  - Il convient de respecter les consignes relatives à l'installation et à la bonne utilisation des matériels que les constructeurs fournissent dans la notice d'utilisation.
  - Lorsque l'antenne d'un équipement est amovible et peut être remplacée par une autre, il convient de tenir compte du type ou des caractéristiques de l'antenne à utiliser mentionnés par le constructeur dans la notice d'utilisation afin de ne pas dépasser la PIRE (100 mW) définie dans la réglementation radioélectrique.
- 2) Au moment de l'installation des points d'accès RLAN, il est important de sélectionner pour chaque point d'accès l'endroit le plus approprié pour couvrir la zone choisie, c'est-à-dire choisir l'emplacement qui procure à tous les utilisateurs potentiels une connexion qui correspond à la qualité de service désirée en limitant toute exposition inutile.
  - Il est conseillé de ne pas installer plus de points d'accès qu'il n'en faut : un point d'accès est adapté pour une vingtaine de personnes.
  - Trois points d'accès suffisent par zone de couverture (capacité surfacique maximale : 33 Mbit/s), en utilisant des canaux appropriés, par exemple: (1/6/11, 2/7/12, 3/8/13, 5/10).
  - Il est conseillé de positionner les points d'accès, de préférence, en hauteur (plus haut que la hauteur de la tête : 2,10m par exemple), pour limiter l'exposition des personnes et pour augmenter la couverture,
- 3) Recommandations relatives à l'utilisation



- Il est conseillé d'éviter d'approcher des objets métalliques près d'une antenne notamment d'une carte PCMCIA car les ondes électromagnétiques se réfléchissent et se réfractent comme les ondes lumineuses, ce qui peut perturber la liaison et pourrait induire localement une concentration du champ électromagnétique.
- Il est conseillé d'éviter de toucher de façon prolongée une antenne notamment dans le cas d'une carte PCMCIA avec une partie du corps (la main par exemple) car cela ne favorise pas la propagation des ondes (réduction des performances) et cela soumet la partie du corps à une exposition, inutile, plus importante pendant la durée de l'application.

# Étude détaillée

## 1. Introduction

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.

En effet, la publication du décret du 3 mai 2002 [4] relatif à l'exposition du public aux champs électromagnétiques vient appuyer la nécessité de conduire des études dans le domaine des champs électromagnétiques produits par ces équipements.

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	Bande de 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 Multiple Access / Collision Avoidance)
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)

## 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 [5], 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  $\lambda$  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, il faudrait entre autres définir le fantôme (fantôme plan [10]), 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 [4] :

2-300 GHz => valeur de E (V/m) maximum = 61 V/m.

### 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 :

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot \text{PIRE}}}{D}$$

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  $Z_0 = 120 \pi = 377 \Omega \Rightarrow Z_0/4\pi = 30$ .

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 <sup>(*)</sup>	5,5	17,32
0,125 <sup>(**)</sup>	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 : Valeur du champ pour deux valeurs de PIRE

(\*) : pour information car hors du domaine d'application du modèle

(\*\*) : limite inférieure de validité du modèle

Une modélisation basée sur la formule précédente a été réalisée afin de comparer et de vérifier la pertinence des mesures de champs sur site (voir le paragraphe 4). Quelques exemples de simulations sont présentés dans les sous-sections suivantes.

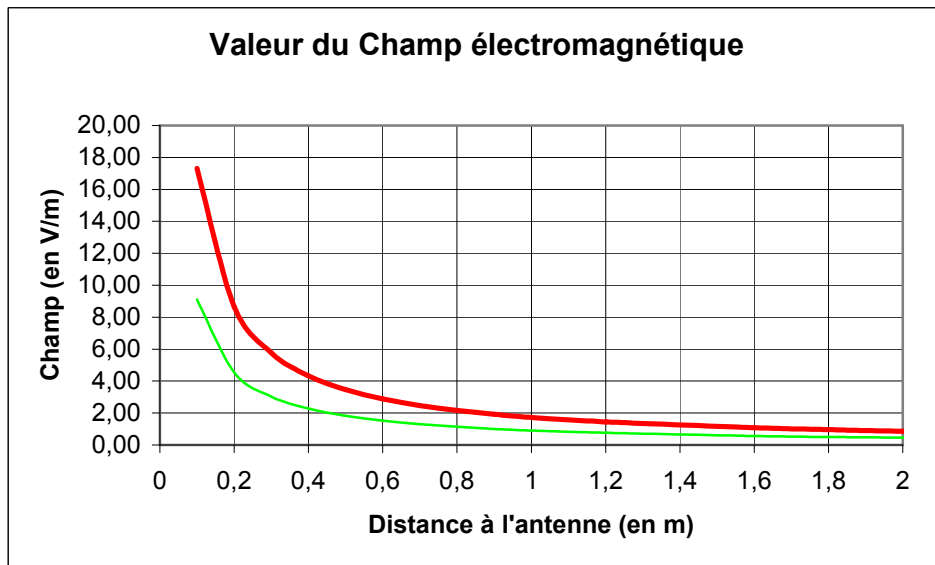


Figure 1 : Exemple de comparaison entre le champ électrique (extrapolé à partir des mesures) émis par une carte PCMCIA type (en vert) et la limite résultant d'une simulation avec une PIRE = 100mW (en rouge)

### 3.1. Simulation du champ produit par une carte WiFi type PCMCIA

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. 2).

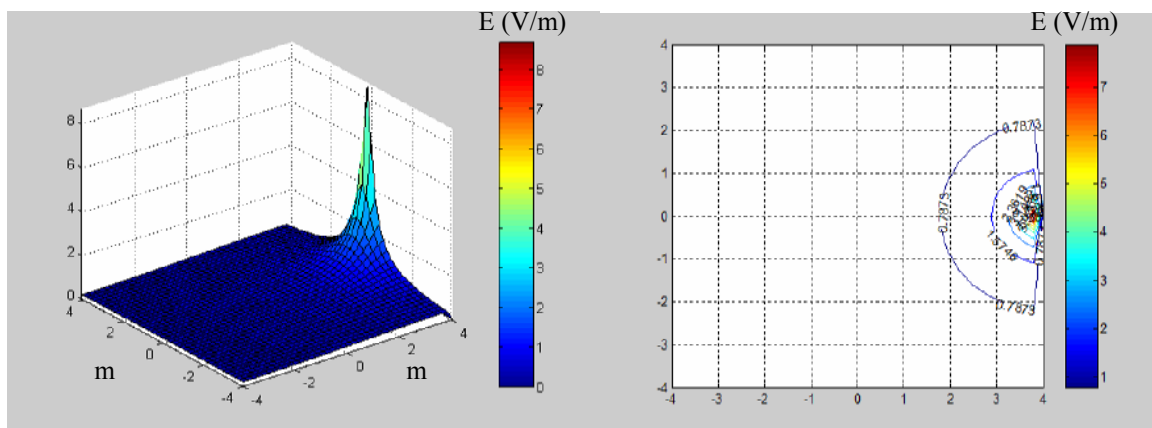


Figure : 2 Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ (en volt/mètre, les axes sont gradués en m)

### 3.2. Simulation du champ produit par plusieurs points d'accès

Les figures 3 et 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.

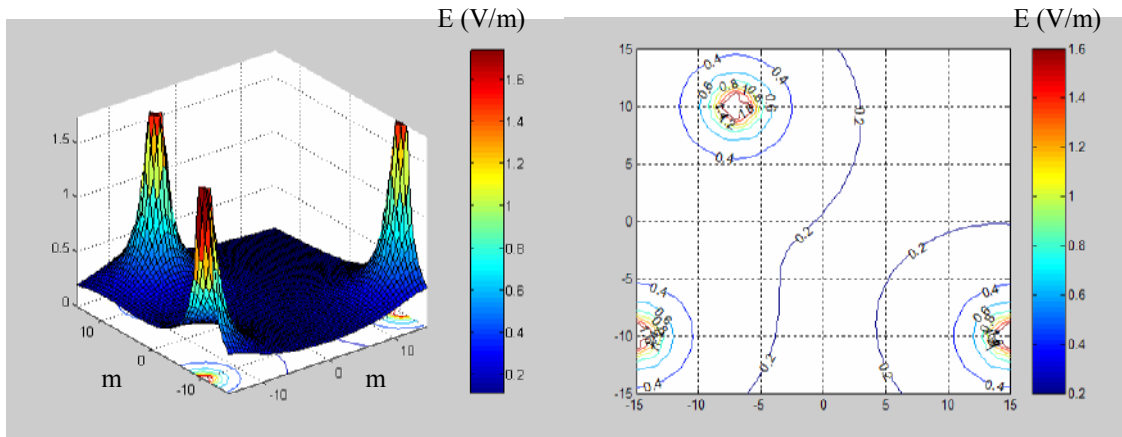


Figure 3 : Résultats de simulation obtenus : graphique 3d et courbe de niveaux de champ (les axes sont gradués en m)

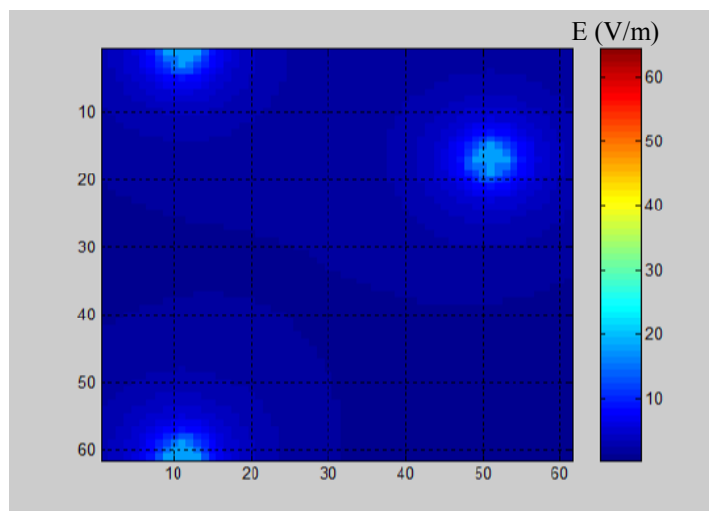


Figure 4 : Autre représentation du niveau de champ

## 4. Campagne de mesures de champ sur sites (à Supélec)

### 4.1. Conditions de réalisation des mesures in situ

Les résultats obtenus et présentés dans ce rapport, ont été réalisés en respectant le protocole défini en annexe 3 à ce document.

Les valeurs de champ retenues sont des valeurs maximales (sauf indications particulières), mesurées dans la configuration "pire cas" (la plus défavorable).

La valeur du champ moyen n'est pas très significative et dépend fortement du cycle d'activité de l'équipement, du débit de la liaison, du nombre d'utilisateurs ainsi que du mode de fonctionnement du RLAN (infrastructure ou ad hoc). Celle-ci fluctue entre 1/2 et 1/20 de la valeur maximale, la valeur 1/20 correspondant à l'envoi, en permanence, par un point d'accès, des signaux balises "Beacon" (une impulsion de 200  $\mu$ s toutes les 100ms).

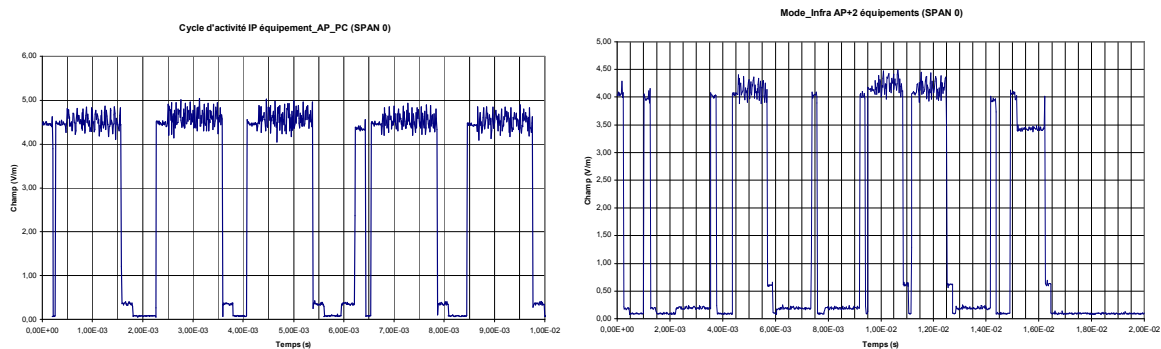


Figure 5 : Deux exemples de cycles d'activité différents

Les mesures ont été réalisées dans les conditions suivantes :

- Analyseur de spectre en mode de balayage temporel à la fréquence du canal dit SPAN 0 (avec un filtre de résolution RBW de 5MHz, une atténuation d'entrée de 0dB, et un maintien de l'enveloppe des maxima de niveau, fonction Max Hold),
- Antenne biconique ARC couvrant la bande de fréquence WiFi,
- Mode d'utilisation des cartes 802.11b : mode infrastructure sur les canaux 1, 6 ou 11,
- Utilisation du logiciel IPTraffic pour le contrôle du débit sur le canal ; débit moyen obtenu : 2,4 Mbit/s avec une liaison à 11Mbit/s,
- Incertitude estimée sur la mesure de niveau : +/-1dB.

### 4.2. Mesures réalisées dans l'amphithéâtre

#### 4.2.1. Mesures in situ

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, considérée comme optimale, indiquée à la figure 6. Dans ces conditions, à un instant donné, 60 à 90 utilisateurs pourront se connecter au réseau dans de bonnes conditions.



Photo 1 : Amphithéâtre de 500 places.

Les mesures ont été réalisées selon le protocole défini en annexe 3, une borne étant active à un instant donné (l'analyseur de spectre en mode SPAN 0 est accordé sur une fréquence bien précise). 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.



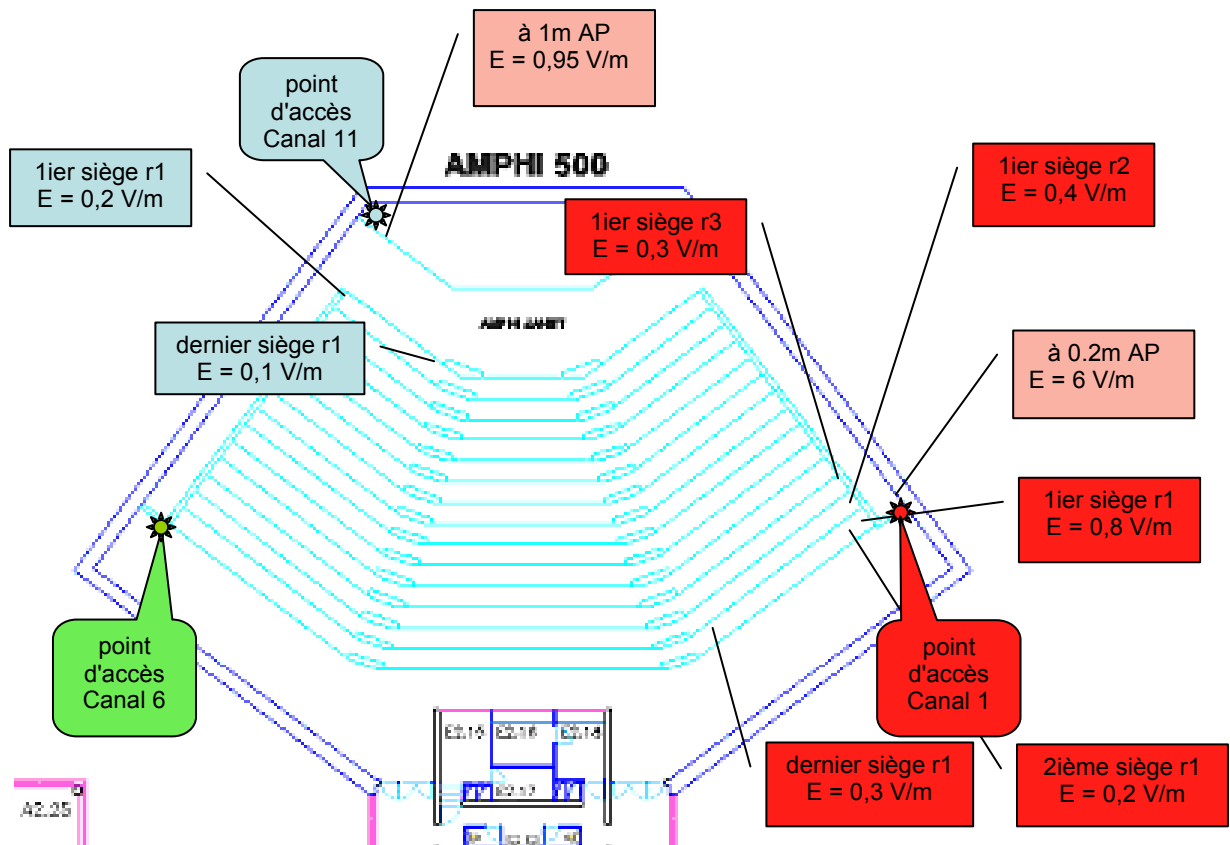


Figure 6 : Cartographie des résultats de mesures in situ obtenus (AP : point d'accès)

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

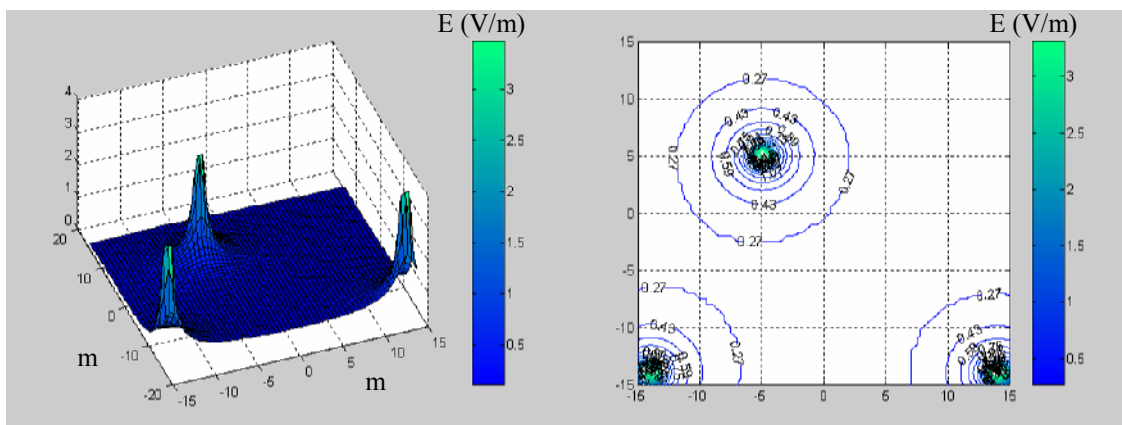


Figure 7a : Simulation d'une zone de 900m<sup>2</sup> équipée de 3 AP (P = 100mW).

La comparaison avec la figure 7 (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.

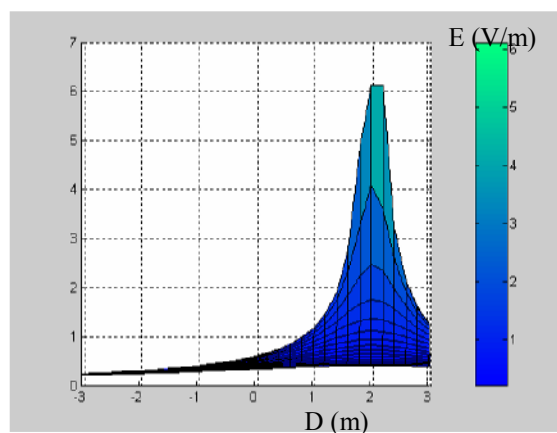


Figure 7b : Résultat de simulation représentant la vue en coupe du champ électrique produit par un AP ( $P = 100\text{mW}$ ).  $E_{\text{calculé}}(1\text{m}) = 1.02\text{V/m}$  à comparer avec  $E_{\text{mesuré}}(1\text{m}) = 0.95\text{V/m}$ .

#### 4.3. Mesures réalisées dans la cafétéria

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



Photo 2 : Différents points de vue de la cafétéria.

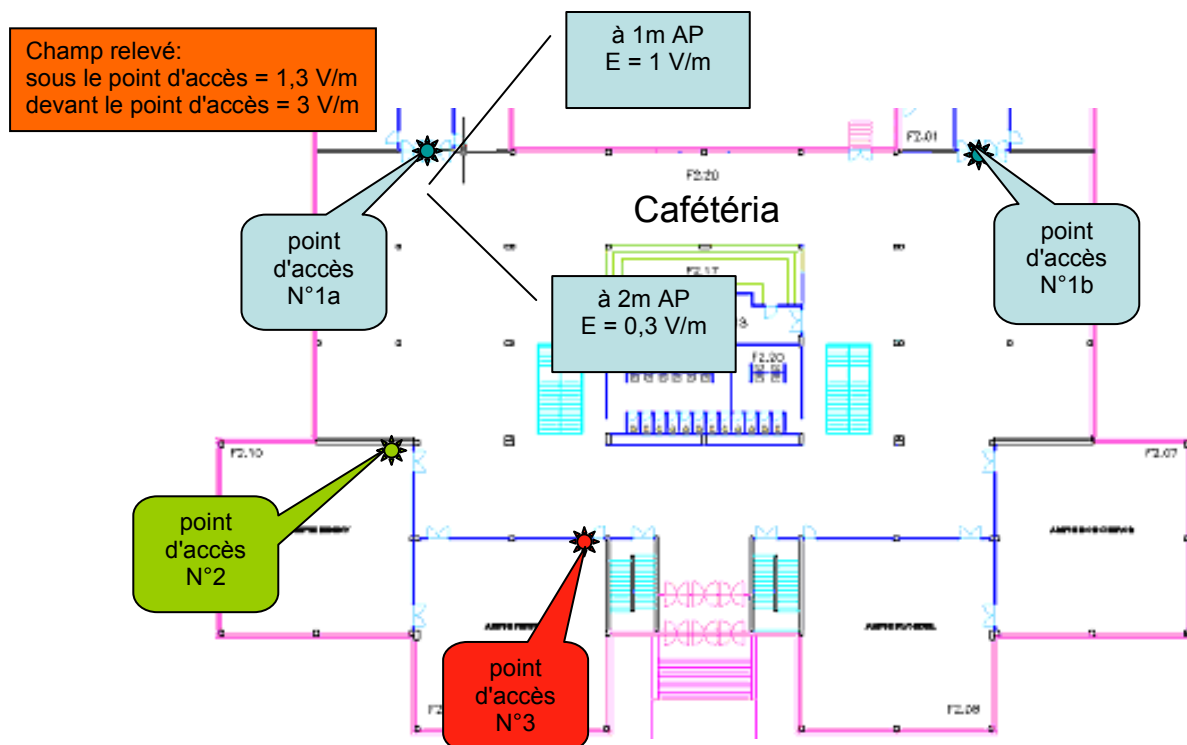


Figure 8 : Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus (AP : point d'accès)

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.

#### **4.4. 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.

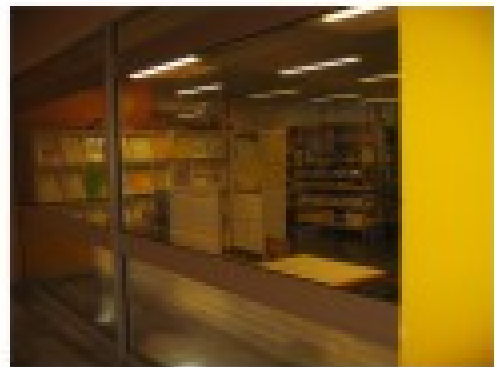


Photo 3 : Quelques vues de la bibliothèque.

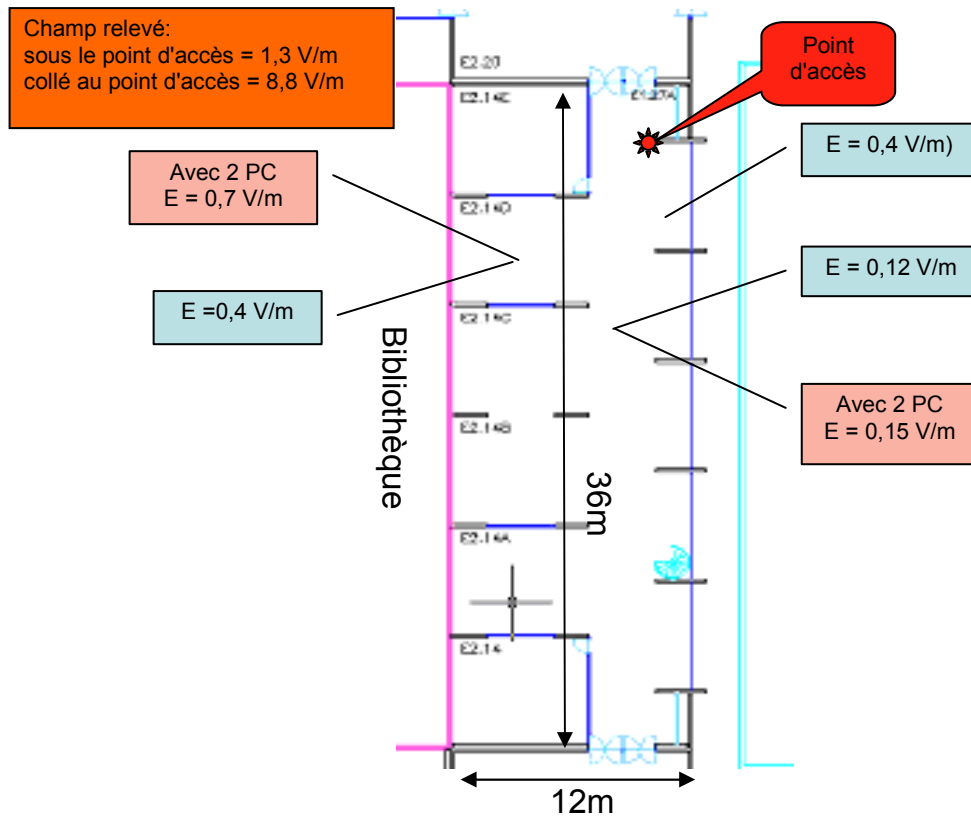


Figure 9 : Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus

#### 4.5. 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.



Photo 4 : La zone de bureaux.

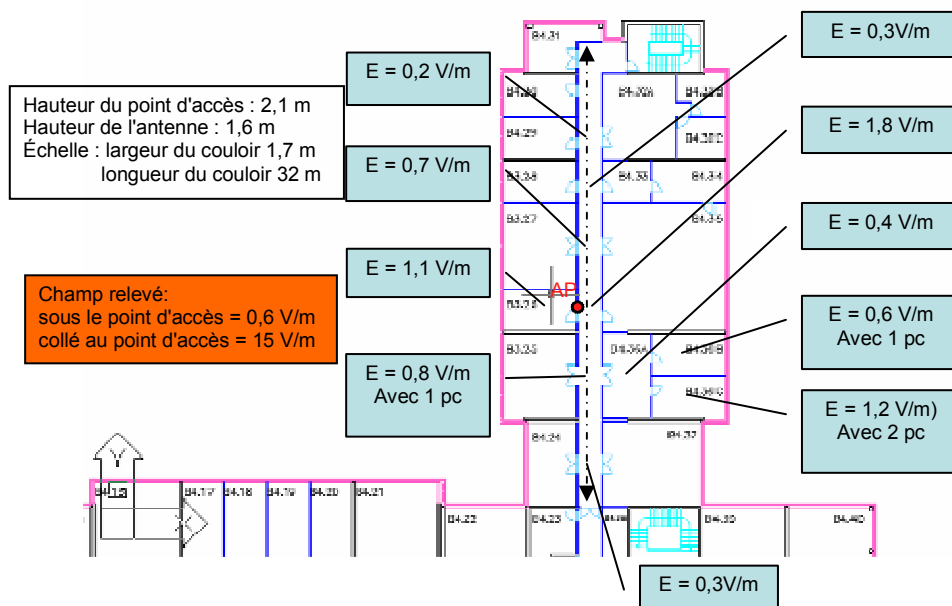


Figure 10 : Cartographie des résultats de mesure in situ obtenus

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

#### 4.6. 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.

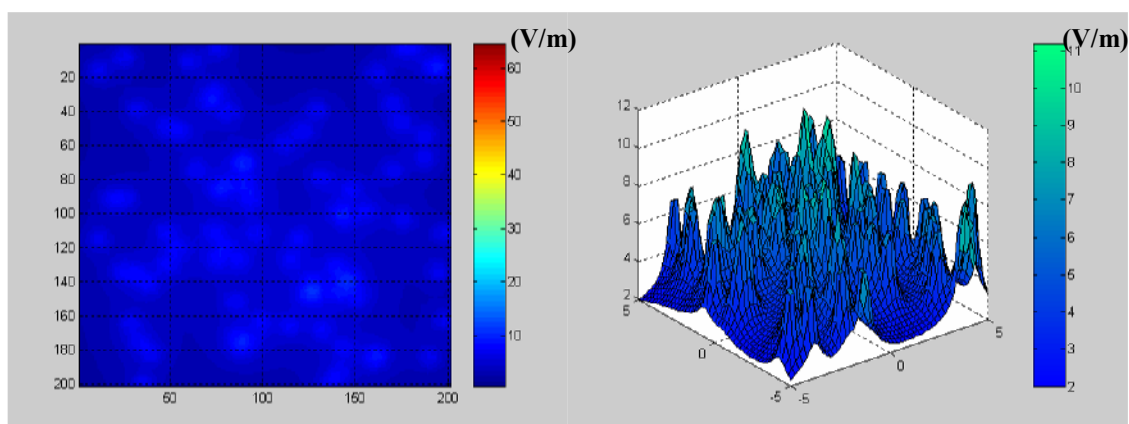


Figure 11 : Simulation d'une salle de cours (100m<sup>2</sup>, 80 équipements (P = 50mW) et 1 Point d'accès (P = 100mW)).

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.

## 5. Synthèse

### 5.1. 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 :  $\sim 6$  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.

### 5.2. 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).



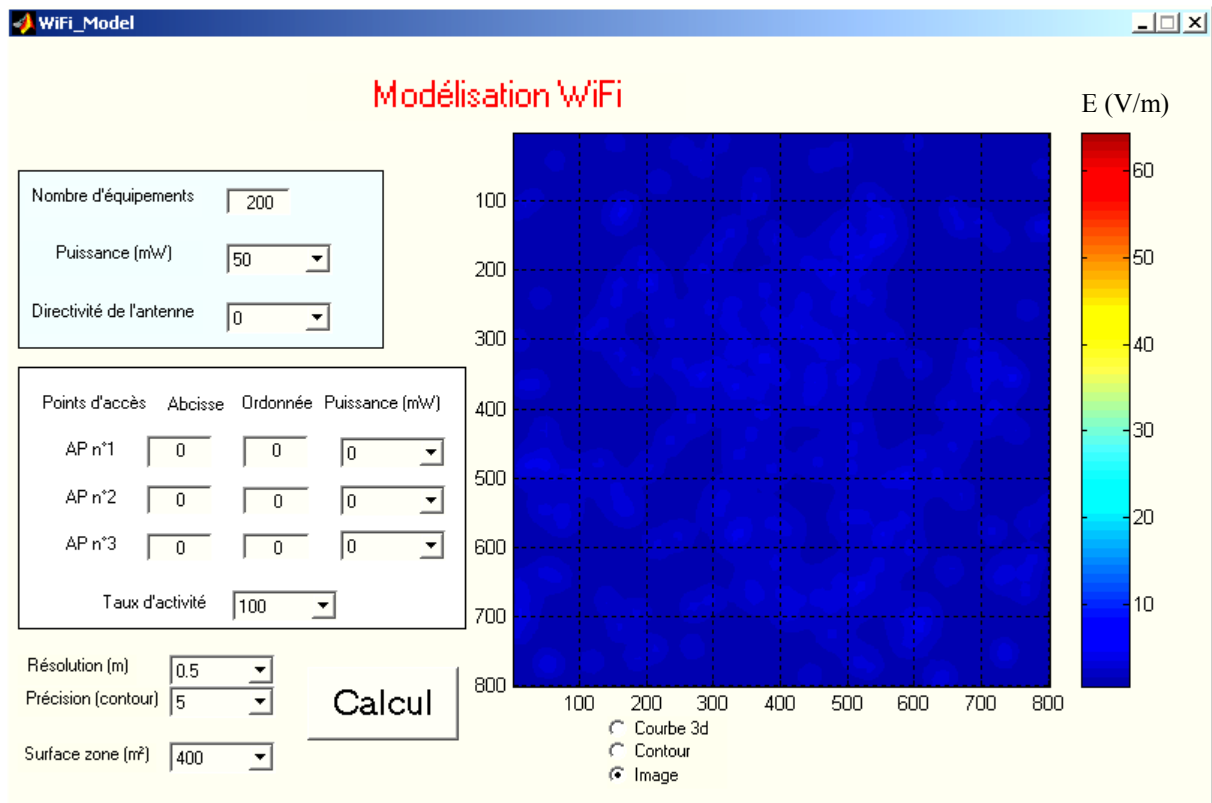


Figure 12 : Interface du simulateur

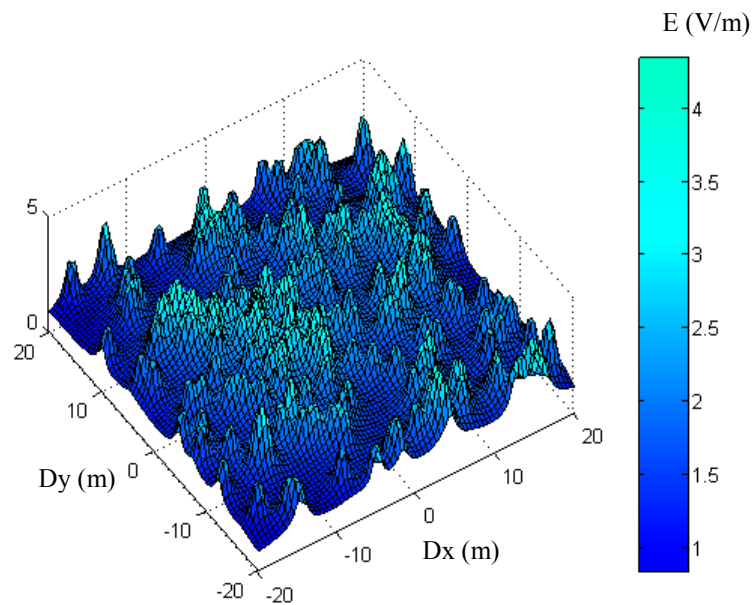


Figure 13 : Visualisation du champ électrique dans une zone de 400m<sup>2</sup> pour 200 équipements d'une puissance de 50 mW ( $E_{\min} = 1\text{V/m}$  et  $E_{\max} = 4,5\text{V/m}$ )

Le simulateur utilise la formule décrite en annexe n°5, les résultats peuvent être affichés sous différentes formes de graphiques en couleur avec, sur le côté droit, une échelle directement graduée en V/m.

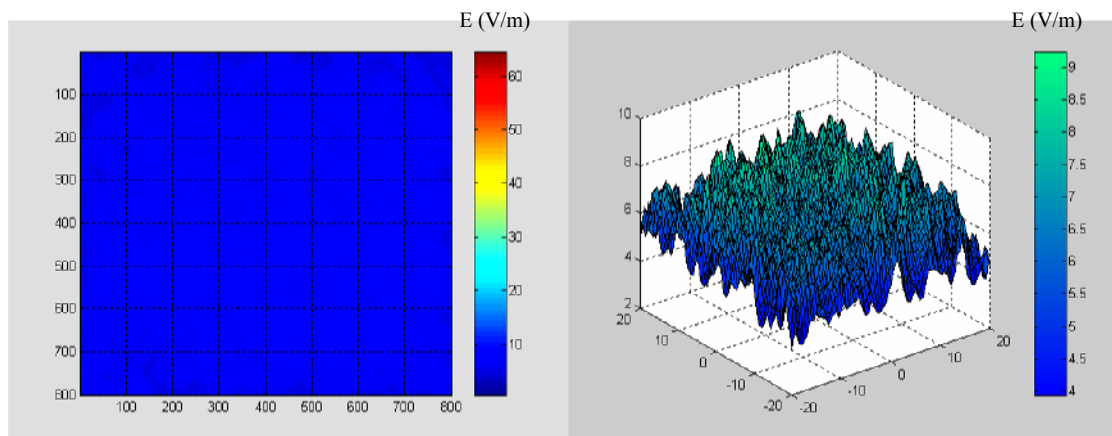


Figure 14 : Visualisation du niveau de champ dans une zone de 1600m<sup>2</sup> contenant 2000 équipements WiFi en fonctionnement (P=50mW, résolution=0,5m).

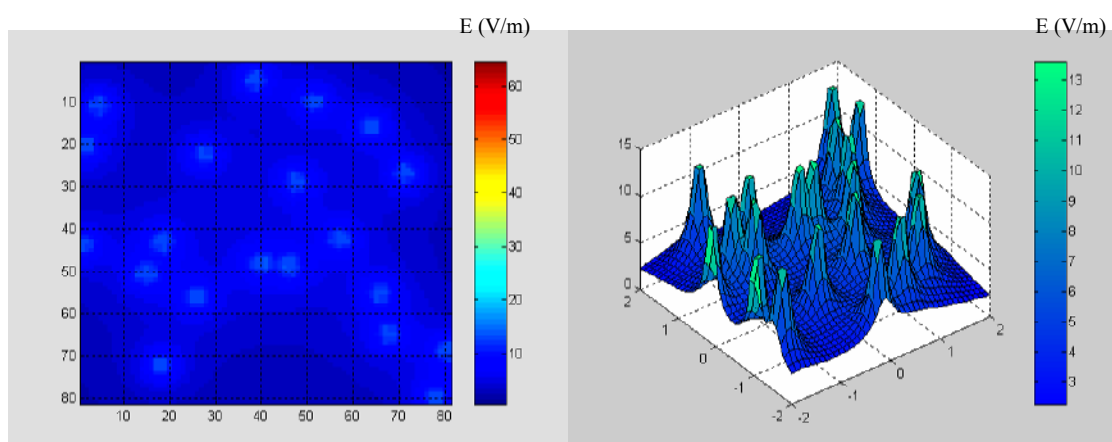


Figure 15 : Visualisation du niveau de champ dans une zone de 16m<sup>2</sup> contenant 20 équipements WiFi en fonctionnement (P=50mW, résolution=0,1m).

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).

Ces résultats ont contribué à l'élaboration d'un modèle simplifié pour des réseaux WiFi et à des recommandations afin de réduire l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques lors de l'installation de tels réseaux locaux sans fil. Le modèle simplifié que l'on propose, utilise la formule donnant la valeur du champ électrique crête à une distance D d'un équipement :

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot \text{PIRE}}}{D}$$

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  $Z_0 = 120 \pi := 377 \text{ ohm} \Rightarrow Z_0/4 \pi = 30$

La formule peut éventuellement être ajustée pour tenir compte du taux d'activité moyen d'un équipement WiFi et du gain de l'antenne pour le choix de la valeur de PIRE (voir annexe n°5).

Lorsque plusieurs équipements participent à la création du champ électrique, le champ électrique résultant est la somme quadratique des différents champs :

$$E_{res} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$$

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>.

### **5.3. Recommandations pour l'utilisation d'équipements WiFi**

#### **5.3.1. Equipement WiFi**

- Le constructeur doit donner dans sa notice, des indications sur la bonne utilisation de son matériel conformément à la directive Européenne 1999/5/CE (RTTE).
- Lorsque l'antenne de l'équipement WiFi est amovible (possibilité constatée sur certains points d'accès) et peut être remplacée par une autre, le constructeur doit mentionner clairement le type ou les caractéristiques de l'antenne à utiliser afin de ne pas dépasser la PIRE (100 mW) définie dans la réglementation, ceci conformément à la directive Européenne 1999/5/CE (RTTE).

Ces informations doivent être prises en compte lors de l'installation ou de l'utilisation d'un réseau RLAN.

#### **5.3.2. Cartes PCMCIA**

- Il est conseillé d'éviter d'approcher d'objets métalliques près de l'antenne, les ondes électromagnétiques se réfléchissent et se réfractent comme les ondes lumineuses,
- Il est conseillé d'éviter de toucher de façon prolongée l'antenne de la carte avec une partie du corps (la main par exemple), cela ne favorise pas la propagation des ondes (réduction des performances) et cela soumet la partie du corps à une exposition plus importante,

#### **5.3.3. Points d'accès**

- Il est conseillé de ne pas installer plus de points d'accès qu'il n'en faut (un point d'accès pour une vingtaine de personnes). Il faut optimiser la qualité de service offerte aux utilisateurs (débits utiles et couverture de la zone),
- Trois points d'accès suffisent par zone de couverture (capacité surfacique maximale : 33 Mbit/s),
- Utilisation d'un plan de fréquence approprié (1/6/11, 2/7/12, 3/8/13, 5/10) :

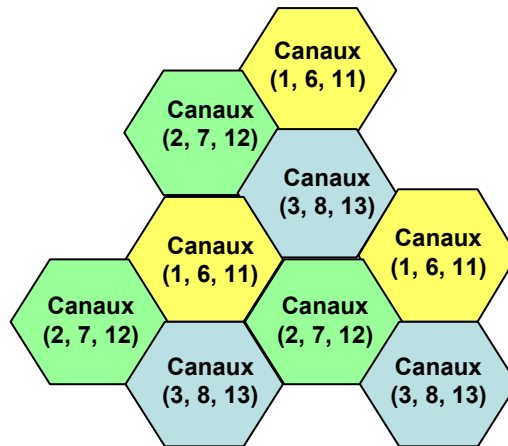


Figure 16 : Exemple de répartition des canaux qui minimise les risques d'interférences

- Il est conseillé de positionner les points d'accès, de préférence, en hauteur (plus haut que la hauteur de la tête : 2,10m par exemple), pour limiter l'exposition des personnes et pour augmenter le rayon de couverture,

- Il est conseillé de sélectionner l'endroit le plus approprié pour couvrir la zone choisie, c'est-à-dire choisir l'emplacement qui procure à tous les utilisateurs potentiels une connexion qui correspond à la qualité de service désirée tout en minimisant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

# Annexe n°1

## Définitions

### 1. Bandes de fréquences

Une bande de fréquences est une partie continue du spectre radioélectrique limitée par deux valeurs exprimées en kilohertz (kHz), mégahertz (MHz) ou gigahertz (GHz).

Les bandes de fréquences figurant dans le Tableau national de répartition des bandes de fréquences [2] sont en général celles prévues par le Règlement des Radiocommunications (RR) de l'UIT, il peut cependant être décidé au plan national de regrouper ou de réduire certaines de ces bandes.

### 2. Service de radiocommunication

Le Règlement des Radiocommunications définit le service de radiocommunication comme un service impliquant la transmission, l'émission ou la réception d'ondes radioélectriques à des fins spécifiques de télécommunication. Les services figurant pour une bande de fréquences donnée dans le Tableau national de répartition des bandes de fréquences sont en général ceux prévus dans le RR.

**WLAN :** (Wireless Local Area Network), en français "réseaux locaux sans fils" (terminologie de la normalisation du monde Internet, par exemple de l'IEEE qui élabore la norme 802.11), il s'agit de la version sans fil des réseaux informatiques locaux. Les termes RLAN et WLAN sont parfois employés l'un pour l'autre, l'un (RLAN) trouve son origine dans les télécommunications et est réservé aux bandes de fréquences 2,4 GHz et 5 GHz, l'autre (WLAN) est un terme plus général qui est utilisé par les acteurs de l'Internet pour tous les réseaux sans fil.

**PAN :** Personal Area Network (réseaux personnels par exemple à la norme de type Bluetooth ou Home RF).

### 3. Normes, réseaux WLAN

**IEEE 802.11 :** norme américaine relative à la bande 2,4 GHz (débit théorique maximal de 1 à 2 Mb/s). La norme 802.11 dite "Ethernet sans fil" date de 1993 (début des travaux de normalisation) et utilise la bande de fréquence de 2,4 à 2,4835 GHz communément appelée "Industrial, Scientific, Medical" (ISM) elle peut utiliser trois types différents de support physiques : l'infra-rouge, l'étalement de spectre par saut de fréquence et l'étalement de spectre par séquence directe.

**IEEE 802.11b :** évolution de la norme américaine 802.11 relative à la bande 2,4 GHz (débit théorique de 11 Mb/s). D'une portée théorique est de l'ordre de 100 m. On peut utiliser simultanément 3 canaux de 22 MHz sans problèmes d'interférences avec chacun un débit de 11 Mbps soit un débit total de 33 Mbps, soit une capacité spatiale d'environ 1 kbit/s/m<sup>2</sup>.

**IEEE 802.11a :** norme américaine relative à la bande 5 GHz (débit de 54 Mb/s). La norme 802.11a utilisera une partie de la bande de fréquence 5 GHz U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure), sa portée pratique sera de l'ordre quelques mètres, la modulation utilisée est l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation). On pourra utiliser

simultanément jusqu'à 12 systèmes sans problèmes d'interférences avec chacun un débit de 54 Mbps soit un débit total de 648 Mbps.

**IEEE 802.11g** : norme américaine relative à la bande 2,4 GHz, évolution de la 802.11b avec un débit plus élevé (débit de 54 Mb/s), utilisant le même type de modulation que 802.11a.

**ETSI Hiperlan 2** : norme européenne relative à la bande 5 GHz, elle utilise aussi la modulation OFDM avec un débit maximum de 54 Mbit/s. La notion de QOS (Quality Of Service) est mieux prise en compte car Hiperlan 2 est orientée connexion (utilisation du mode "circuit" au lieu du mode "paquet" des normes IEEE).

De nouvelles normes sont en préparation : 802.11h évolution de la 802.11a avec l'introduction de qualité de service, 802.11i avec une sécurité améliorée, ... .

**Bluetooth (IEEE 802.15.1)** : Le standard Bluetooth utilise aussi la bande de fréquence ISM de 2,4 à 2,4835 GHz, sa portée est de l'ordre de 10 m (réseau Personal Area Network). Des études ont montré que l'on pouvait faire cohabiter jusqu'à 10 transmissions simultanées de 1 Mbps chacune soit un débit total de 10 Mbps

**Antenne associée à la borne** : antenne nécessaire pour émettre (et recevoir) les signaux radio à partir de la borne vers les terminaux. Cette antenne est caractérisée par des paramètres tels que :

- son gain : il mesure l'amplification du signal,
- son secteur angulaire : il mesure la zone d'émission du signal ; le secteur angulaire peut varier de 0° dans le cas des antennes directives permettant de relier deux points (liaison point à point), à 360° dans le cas des antennes omnidirectionnelles qui permettent d'émettre un signal radio dans une cellule circulaire (liaisons point multipoint).

L'antenne associée à une borne est généralement amovible.

**Antenne associée au terminal** : antenne nécessaire pour recevoir (et émettre) et amplifier les signaux radio sur un terminal. Cette antenne est intégrée en général au portable lui-même si celui-ci n'est pas trop éloigné de l'antenne d'émission ; elle peut aussi être amovible et installée sur le toit d'un bâtiment par exemple pour améliorer la réception du signal.

**Borne RLAN (ou points d'accès, "Access Point")** : installation qui permet à un utilisateur de se connecter par une liaison radio en 2,4 GHz ou en 5 GHz à un réseau haut débit par exemple à un réseau Ethernet ou un accès ADSL.

**Adaptateur WLAN** : carte 802.11b/g/a insérée dans l'ordinateur portable ou le PDA. Elle gère la liaison avec la borne RLAN.

**RLAN** : Radio Local Area Network (terminologie de la normalisation des télécommunications), traduit en français par Réseaux locaux radioélectriques

**WiFi** : Label d'un consortium industriel américain la « Wi-Fi alliance » anciennement WECA ("Wireless Ethernet Compatibility Alliance"). Ce label atteste la conformité des produits (incluant les protocoles de communications) au standard 802.11b.

**Infrastructure des réseaux :** Il existe deux modes d'utilisation des réseaux sans fil :

Le mode Ad Hoc (dit point à point), le réseau fonctionne de façon complètement distribuée (**Independent Basic Service Set** : ensemble des équipements à portée radio les uns des autres).

Le mode Infrastructure, un point d'accès fédère les stations sans fil dans sa zone d'influence et assure la gestion de la ressource radio (**Basic Service Set** : ensemble des équipements à portée radio du point d'accès).

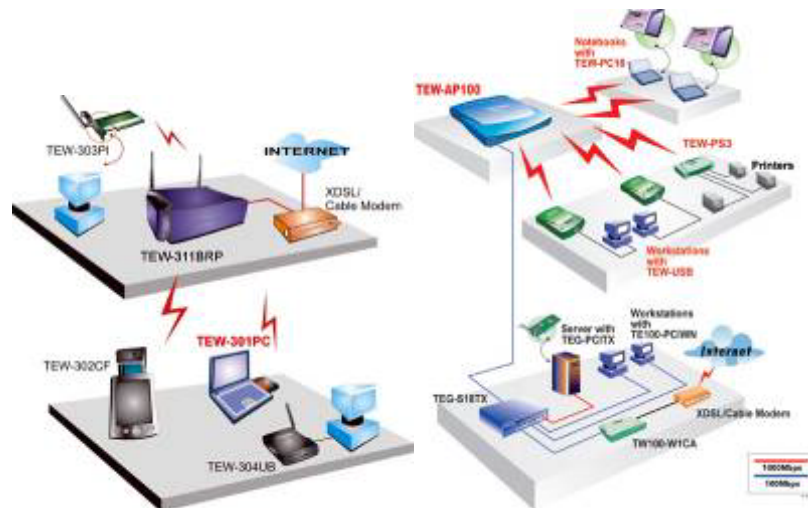


Figure 17 : Exemple de réseau en mode ad hoc et en mode infrastructure

#### 4. Champs électromagnétiques

Un **Champ Electromagnétique** est l'association d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H qui varient dans le temps et se propagent dans l'espace. Ces champs sont susceptibles de déplacer des charges électriques. Les champs électromagnétiques sont caractérisés par plusieurs propriétés physiques dont les principales sont leur fréquence ou leur longueur d'onde, leur intensité et leur puissance.

**PIRE** : **P**uissance **I**sotrope **R**ayonnée **É**quivalente, produit de la puissance délivrée à l'antenne par le gain isotrope de cette antenne, puissance maximum de rayonnement du point d'émission en sortie d'antenne

Dans le cas d'un équipement doté d'une antenne amovible, l'antenne associée à l'équipement doit être telle que la limite réglementaire de PIRE est respectée.

La **Densité Surfique de Puissance (DSP)** est une grandeur appropriée utilisée pour des hyperfréquences lorsque la profondeur de pénétration dans le corps est faible. Il s'agit du quotient de la puissance rayonnée incidente perpendiculaire à une surface par l'aire de cette surface. Elle est exprimée en Watts par m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>).

Le **Débit d'Absorption Spécifique (DAS)** [ou "Specific Absorption Rate (**SAR**)", en anglais] de l'énergie moyenné sur l'ensemble du corps (DAS corps entier) ou sur une partie quelconque du corps (DAS local) est défini comme le débit avec lequel l'énergie est absorbée par unité de masse du tissu du corps ; il est exprimé en watts par kilogramme (W/kg).

Les **Restrictions de Base** reposent sur des effets avérés et des considérations biologiques du rayonnement électromagnétique [4]. Ces valeurs limites en matière de champs

électromagnétiques ont été fixées par l'ICNIRP sous l'égide de l'OMS. Elles dépendent de la fréquence du champ électromagnétique. Dans la gamme de fréquences 10 MHz-10 GHz, elles sont définies par le **Débit d'Absorption Spécifique**. Par exemple, les restrictions de base pour les fréquences correspondant à WiFi sont de 0,08 W/ kg pour l'ensemble du corps, 2 W/kg pour la tête et le tronc, et 4 W/kg pour les membres.

L'évaluation du DAS (et donc la vérification des restrictions de base) nécessite de mettre en œuvre des techniques de mesure relativement sophistiquées (fantôme, liquide équivalent tissu, sonde de mesure, etc.).

Les **Niveaux de Référence** sont dérivés des limites de base de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques permettant une comparaison par rapport aux champs électromagnétiques plus faciles à mesurer en pratique que les restrictions de base. Les grandeurs physiques dérivées sont : intensité de champ électrique E, intensité de champ magnétique H, induction magnétique B, densité de puissance S, courant induit dans les extrémités IL[4].

Les niveaux de référence ont été obtenus à partir des restrictions de base (modélisations mathématiques et extrapolation des études en laboratoire) pour un couplage maximal du champ avec l'individu exposé, donnant ainsi une protection maximale. Le respect des niveaux de référence garantit donc le respect des restrictions de base. Le Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 [4] indique un niveau de référence pour la bande de fréquence utilisée par WiFi de 61 V/m.



## Annexe n°2

### Rappels sur la norme IEEE 802.11b (WiFi)

Nous allons introduire dans cette annexe quelques notions qui seront utiles pour la bonne compréhension des discussions et des choix faits dans la définition du protocole de mesure et celle de la modélisation.

La norme 802.11b est une extension de la norme 802.11 (couche MAC commune, seul le niveau Physique est différent), elle offre des débits disponibles maximum plus élevés de 5,5 Mbit/s et 11Mbit/s, tout en gardant la même bande de fréquence en modulation à étalement de spectre par séquence directe DSSS (**D**irect **S**equene **S**pread **S**pectrum).

Numéro du canal	Fréquence Américaine (FCC) (GHz)	Fréquence Européenne (CEPT) (GHz)	Fréquence JAPON (GHz)
1	2,412	2,412	2,412
2	2,417	2,417	2,417
3	2,422	2,422	2,422
4	2,427	2,427	2,427
5	2,432	2,432	2,432
6	2,437	2,437	2,437
7	2,442	2,442	2,442
8	2,447	2,447	2,447
9	2,452	2,452	2,452
10	2,457	2,457	2,457
11	2,462	2,462	2,462
12	interdit	2,467	2,467
13	interdit	2,472	2,472
14	interdit	Interdit	2,484

Tableau 4 : Fréquences utilisables pour l'étalement de spectre à séquence directe

La couche physique 802.11b utilise les fonctionnalités de celle de 802.11 pour les débits de 1 et 2 Mbit/s et introduit la modulation **CCK** ("**C**omplementary **C**ode **K**eying") pour les débits supérieurs.

Le média -la ressource radio- étant partagé par toutes les stations utilisant un même canal, le mode d'accès à celui-ci se fait par défaut en accès par compétition : **DCF** (**D**istribution **C**oordination **F**unction), un mode d'accès contrôlé étant optionnel : **PCF** (**P**oint **C**oordination **F**unction). La technique d'accès aléatoire utilisée est le **CSMA/CA** (**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess/**C**ollision **A**voidance) des protocoles 802.x (Ethernet) mais pas la détection de collision telle quelle. La procédure utilise un protocole en quatre points :

Le CSMA/CA,

Une technique d'accusé réception (ACK),

La retransmission des trames erronées,

Un système "optionnel" d'échange préalable d'informations permettant de s'assurer de la prise du canal, de sécuriser la transmission et d'éviter les collisions avec les "nœuds cachés" (équipements qui ne sont pas visibles par tous les autres mais de seulement une partie) en utilisant le mécanisme de RTS/CTS.

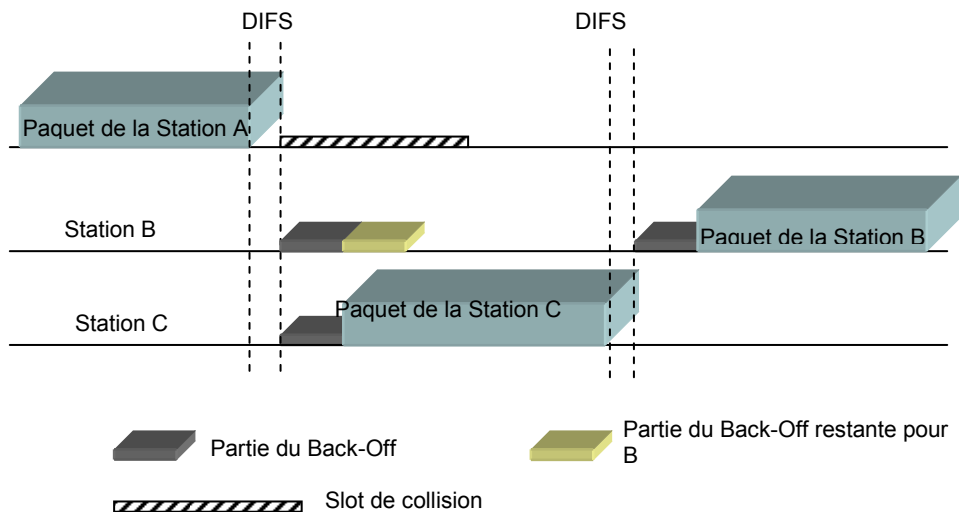


Figure 18 : Le protocole CSMA

Un équipement WiFi (utilisant le protocole CSMA), désirant émettre des données, commence par écouter le canal radio (détection de porteuse) puis si le canal est libre peut envoyer sa trame. Dans le cas contraire (canal occupé) l'équipement se met en attente de la fin de la transmission, attend pendant un temps (DIFS) et tire une durée aléatoire ("Back-Off" = 0-620  $\mu$ s). A la fin de cette période de "back-off", si le canal est libre, il envoie sa trame.

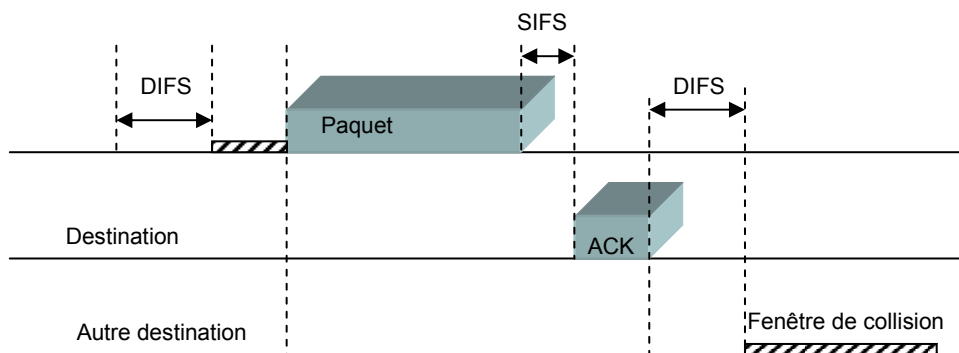


Figure 19 : Le mode avec acquittement

Dans le protocole CSMA, la priorité d'accès à la ressource (canal radio), est gérée par la durée de l'inter trame. La norme 802.11 utilise trois durées d'inter trames différentes :

SIFS (Short Inter Frame Spacing) : inter trame la plus courte (10 $\mu$ s),

DIFS (Distributed Inter Frame Spacing) : inter trame utilisée pour les accès distribués (50 $\mu$ s),

PIFS (Point coordination Inter Frame Spacing) : inter trame utilisée pour les accès contrôlés.

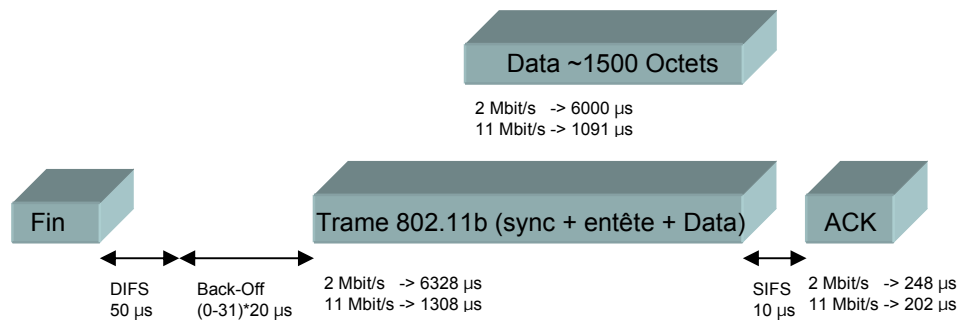


Figure 20 : Un exemple de trame 802.11b

Débit nominal	Capacité maximale	Débit Maximal
1 Mbit/s	0,93	0,93 Mbit/s
2 Mbit/s	0,86	1,72 Mbit/s
5,5 Mbit/s	0,73	4 Mbits
11 Mbit/s	0,58	6,36 Mbits/s

Tableau 5 : Indiquant le débit maximal théorique en tenant compte du rendement du protocole 802.11b

## Annexe n°3

### Définition du protocole de mesure

Le protocole de mesure proposé consiste en deux parties :

a) Une première partie relative à la caractérisation de la puissance totale rayonnée ( $P_e$ ) en **Chambre Réverbérante à Brassage de Modes (CRBM)** décrite ci-après. La connaissance de cette puissance permettra alors d'estimer la PIRE si le gain ( $G_e$ ) de l'antenne est connu.

b) La seconde est dédiée plus spécifiquement aux mesures de champ électrique dans des conditions spécifiées. Cette étape permettra d'une part, de vérifier que les niveaux de référence sont bien respectés ( $<61$  V/m). D'autre part, en appliquant la formule reliant le champ électrique à la PIRE, elle nous permettra d'estimer le gain de l'antenne ( $G_e$ ) et de vérifier que la PIRE est également respectée ( $PIRE = P_e \times G_e < 100$  mW).

Ce protocole ne se préoccupe que de la mesure du champ électromagnétique en champ "lointain" (à partir de 12,5 cm de l'équipement sous test). Cependant, nous donnerons à titre indicatif une première évaluation du DAS faite à partir des équipements (sonde et fantôme) couramment utilisés pour la mesure du DAS des équipements GSM 1800.

#### 1. Mesure de la puissance totale rayonnée en chambre réverbérante

Supélec dispose de deux chambres réverbérantes qui sont utilisées pour mesurer la puissance totale rayonnée par l'équipement sous test. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé la chambre réverbérante de dimensions 0,75 m x 1,85 m x 1 m qui est couramment utilisée pour la mesure de l'efficacité de rayonnement des radiotéléphones dans les bandes 900 MHz et 1800 MHz.

Le principe de fonctionnement d'une chambre réverbérante repose sur la création d'un champ statistiquement uniforme à l'intérieur d'une cavité. Celle-ci supporte un certain nombre de modes résonnants selon ses dimensions et la fréquence de travail. Lorsque la densité de modes est suffisamment élevée, le champ à l'intérieur de la cavité peut être considéré comme uniforme. Il suffit alors de mesurer ce champ pour en déduire la puissance émise par l'équipement sous test. En pratique, l'uniformité du champ est assurée par brassage mécanique ou électronique des modes résonnants. La chambre qui a été utilisée pour cette étude comporte trois brasseurs qui assurent des mouvements horizontaux, verticaux et de rotations. Elle est également équipée de trois antennes de réception qui permettent d'effectuer en plus un brassage de polarisation. Une quatrième antenne monopole sert à établir la communication avec l'appareil sous test.

L'avantage de cette chambre est qu'elle est relativement compacte mais on ne pourra placer à l'intérieur de cette chambre qu'un seul équipement à la fois. Elle est aujourd'hui commercialisée par la société Bluetest ([www.bluetest.se](http://www.bluetest.se)). Elle sera utilisée pour caractériser la puissance rayonnée par les équipements IEEE802.11 par une méthode dite de substitution. L'étude a conduit à caractériser ainsi tous les équipements dont la liste est donnée en annexe n°4 afin de valider (ou d'obtenir lorsqu'elle n'était pas donnée par le constructeur) la puissance d'émission des équipements.



Photo 5 : Chambre réverbérante Bluetest

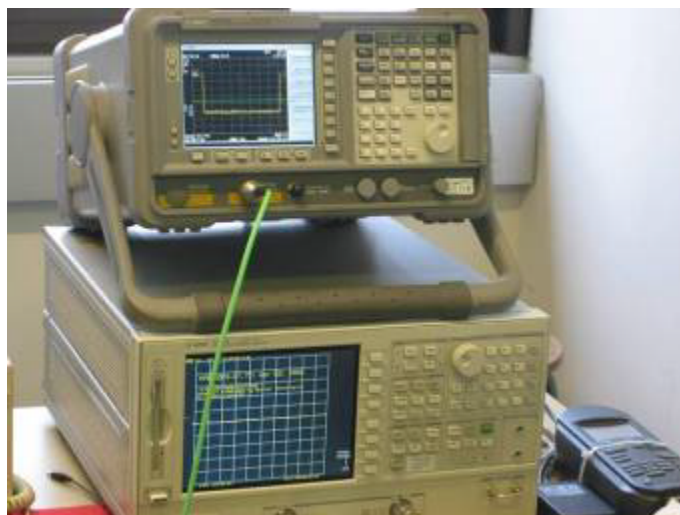


Photo 6 : Analyseur de spectre utilisé pour la mesure de la puissance totale rayonnée et analyseur de réseaux servant à la calibration de la chambre.

La procédure de mesure avec la chambre réverbérante est la suivante :

L'appareil sous test (typiquement un ordinateur portable muni d'une carte ou un point d'accès IEEE802.11a/b/g) a été placé à l'intérieur de la chambre. Un deuxième ordinateur (de pilotage) muni lui aussi d'une carte IEEE802.11 de même type a été utilisé pour piloter l'ensemble du système (analyseur de spectre, communication avec l'appareil sous test et le pilotage de la chambre). A chaque position des brasseurs, l'appareil sous test est appelé à émettre des paquets vers l'ordinateur de pilotage pendant quelques secondes (par exemple, copie d'un fichier). Seule la mesure de la puissance maximale émise durant cette période est conservée.

Les mesures ainsi effectuées ont été analysées pour permettre l'évaluation de la puissance totale rayonnée par l'équipement sous test.

Les données, fournies par les constructeurs de la chambre réverbérante, relatives à l'estimation des incertitudes de cette dernière (pour applications GSM et DCS) sont fournies dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs ont pris en compte des inter-comparaisons avec des mesures de radiotéléphones en chambre anéchoïque, également menées par le constructeur de la chambre réverbérante, dans ces gammes de fréquences.

Des développements spécifiques ont été menés dans le cadre de cette étude pour adapter cette chambre à des mesures WiFi. L'estimation de l'incertitude de mesure à 2,4 GHz est basée sur l'analyse effectuée par le constructeur de la chambre à 900 MHz et 1800 MHz. La densité de modes augmentant en fonction de la fréquence, ceci devrait logiquement entraîner une meilleure estimation à haute fréquence (comparer "chamber statistics" à 900 MHz et à 1800 MHz). En revanche, lorsque la fréquence augmente l'incertitude de l'analyseur de spectre augmente également (comparer "power meter level"). Ainsi, l'ordre de grandeur de l'incertitude de mesure à 2,4 GHz peut être estimé à 1 dB.

	GSM 900 MHz band	GSM 1800 MHz band
Error sources	Expanded ( $2\sigma$ ) or maximum uncertainty	Expanded ( $2\sigma$ ) or maximum uncertainty
1. Chamber statistics, ref level	0.55 dB	0.18 dB
2. Chamber statistics, test level	0.55 dB	0.18 dB
3. Power meter level	0.2 dB	0.5 dB
4. Network analyzer	0.1 dB	0.1 dB
5. Chassis of phone	0.3 dB	0.3 dB
6. Phone position	0.4 dB	0.2 dB
7. Phantom type	-	-
8. Permittivity & conductivity	-	-
<b>Total expanded uncertainty (RMS sum of above values)</b>	<b>0.95 dB</b>	<b>0.67 dB</b>
Maximum error in measured TCP values compared with anechoic chamber	1.00 <sup>1</sup> dB	1.56 <sup>1</sup> dB
Maximum error in measured radiation efficiency compared with anechoic chamber	1.43 <sup>1</sup> dB	1.54 <sup>1</sup> dB

<sup>1</sup>Note that these maximum errors are due to uncertainties in the results of both chambers; the reverberation chamber and the anechoic chamber.

## 2. Mesures de champs électriques

Les mesures sont effectuées dans des configurations déterminées à l'aide d'une antenne de référence, d'un câble étalonné et d'un analyseur de spectre, à différentes distances antenne de mesure/ équipement sous test.

## 2.1. Détails de la procédure

Au début les essais ont été effectués sur trois canaux de la bande 2,4 GHz et ont ensuite été réduits à un seul canal dans la mesure où les résultats ont montré des différences négligeables entre les valeurs des champs mesurés pour chacun des canaux.

## 2.2. Appareillage de mesure

Type	Constructeur	Modèle	N° Série
Antenne biconique	ARCS	80-2500 MHz	SN3109/02
Câble	ARCS		K21202
Analyseur de spectre	Agilent	E4407B	SER MY41440608

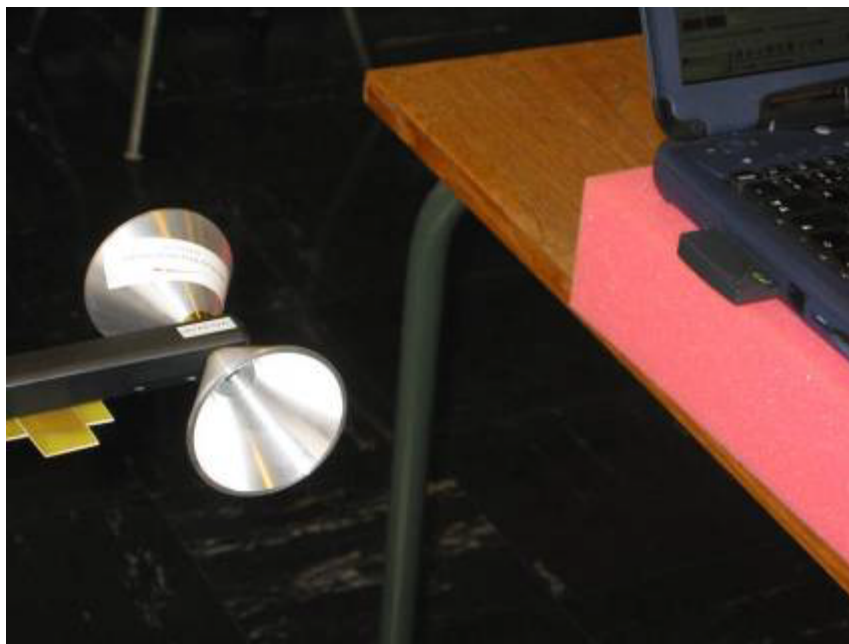


Photo 7 : Antenne biconique de référence



Photo 8 : Analyseur de spectre Agilent E4407b en mode Fréquentiel et Temporel (SPAN 0)



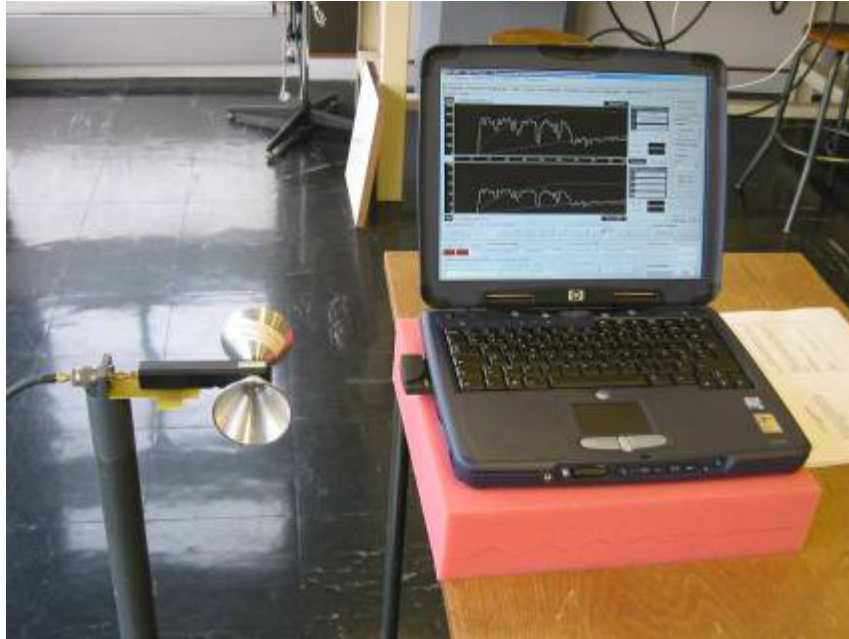


Photo 9 : PC pilotant la carte sous test

Cet ensemble est piloté par un ordinateur PC relié à l'appareil de mesure par un bus GPIB.



Photo 10 : Autre matériel WiFi communicant avec l'équipement sous test.

### 2.3. Paramétrage de l'analyseur de spectre

Résolution du filtre d'analyse ("ResBW") = 5 MHz,

Filtrage vidéo ("VBW") = 3 MHz (remarque : la valeur est limitée par l'appareil de mesure et est inférieure à "ResBW"),

Bande d'intégration de la puissance ("IntBW") = 22 MHz (largeur de la bande de fréquence occupée par un équipement WiFi),

Fenêtre de balayage des fréquences ("SPAN") = 50 MHz,

Nombre de points de mesure = 401 à 1024 (suivant la précision désirée),

Période de balayage ("Sweep Time") = 4 ms et jusqu'à 100ms en mode "SPAN 0",

Fréquences centrales = 2412 MHz (Canal 1), 2437 MHz (Canal 6) et 2462 MHz (Canal 11).



## Annexe n°4

### Liste des matériels RLANS

La liste, ci-dessous, représente les matériels disponibles (liste non exhaustive) pour les études à Supélec.

#### 1. Adaptateurs PC

PCMCIA :	A		(802.11b)
	3COM		(802.11b/g/a)
	TrendNet	TEW PC-16	(802.11b)
	B		(802.11b)
	Connectland	C	
	D-Link		(802.11b)
	D-Link	DWL G 650	(802.11b/g)
	HP		(802.11b)
	E		(802.11b)
	NetGear	HA 501	(802.11a)
	D		(802.11b/g)
USB :	F		(802.11b)
PCI :	D-Link		(802.11b)
Carte mère	HP	LAN express PCI	(802.11b)

#### 2. Bornes/Point d'Accès

J		(802.11b)	
Samsung			(802.11b)
HP	WL 520		(802.11b)
I			(802.11b/g)
NetGear	HE 102		(802.11a)
G			(802.11b)
H			(802.11b/g)



Photo 12 : Aperçu du matériel WiFi disponible pour l'étude.

## Annexe n°5

### Modes d'essais et tests préliminaires

Le premier mode consiste à se fixer un canal particulier et de mesurer les valeurs de crête du champ électrique à une distance déterminée et pendant une période de temps fixée ("Sweep time"), l'analyseur de spectre étant configuré en récepteur accordé ("SPAN 0").

Le second mode consiste à évaluer une valeur pondérée du champ électrique liée à la présence des paquets de données transmis par l'équipement à travers le mode spécifique de l'analyseur de spectre appelé "Channel Power" : intégration de la puissance dans une bande de fréquence déterminée ("IntBW"). En toute rigueur, il faudrait effectuer chacune de ces dernières mesures pendant des périodes de 6 minutes (comme prescrit dans la recommandation UE 1999/519/EC & ICNIRP) [5].

Pour valider le protocole, nous avons réalisé des tests préalables sur une carte représentative, PCMCIA B (voir caractéristiques ci-dessous). Pour maîtriser l'émission de la carte, nous avons utilisé le logiciel IP Traffic (voir copie d'écran) de la société ZTI qui permet de contrôler le flux de données (de type IP ou UDP) envoyées à la carte, en court-circuitant les couches du système d'exploitation et donc d'assurer un débit utile le plus constant possible.



Photo 13 : Fenêtre de contrôle du débit (IpTraffic) pendant toute la durée de la mesure.

## 1. Influence de la polarisation de l'onde

La courbe ci-dessous a été obtenue en ne conservant que les valeurs maximales (crêtes) des mesures sur l'analyseur de spectre (=> courbe des maxima) : on retrouve bien la forme caractéristique d'un spectre IEEE802.11/WiFi.

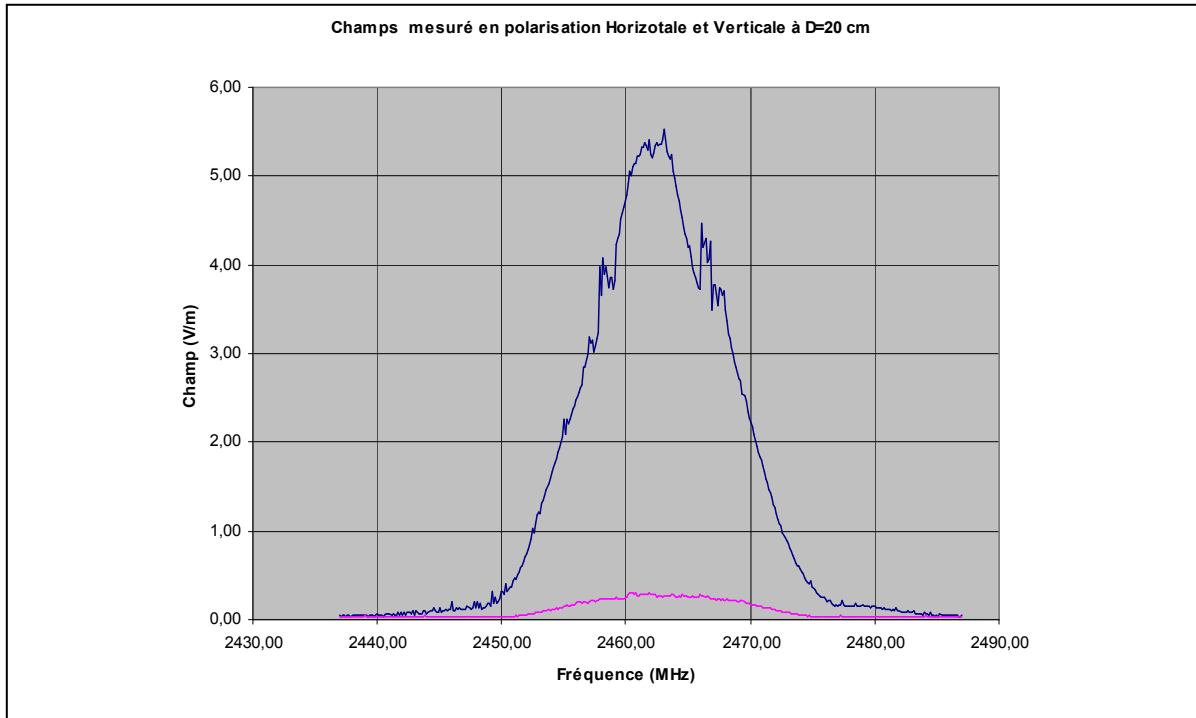


Figure 22 : La courbe foncée représente le champ polarisé horizontalement, la plus claire le champ polarisé verticalement

L'antenne de l'équipement sous test étant placée horizontalement, la courbe ci-dessus montre bien une grande différence entre les deux composantes orthogonales (horizontale et verticale) du champ. Le calcul de la valeur du champ total  $E_t$  sera très proche de la valeur du champ en polarisation horizontale :

$$E_t = \sqrt{E_v^2 + E_h^2}, \text{ la valeur du champ max : } E_t \text{Max} = \sqrt{0.3^2 + 5.5^2} \approx 5.51 \text{ V/m}$$

au lieu des 3 V/m estimée (à 20cm) si l'antenne avait été

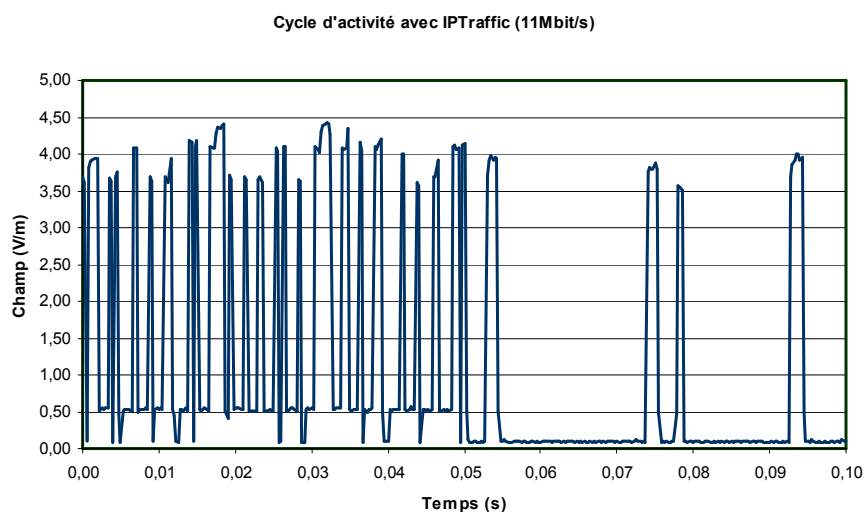
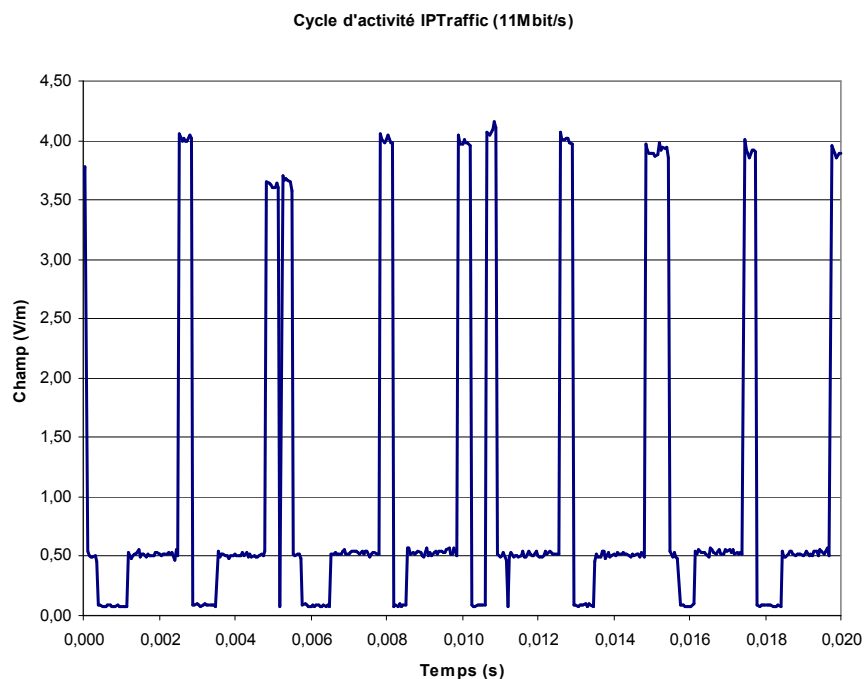
omnidirectionnelle.

La polarisation du champ électromagnétique étant assez forte, on placera toujours l'antenne de réception dans la direction privilégiée. Dans le cas où plusieurs sources (de polarisation différentes) seraient actives, on tiendra compte des contributions des champs dans les différentes directions.

## 2. Cycles d'activité WiFi

Les deux courbes suivantes montrent l'activité de l'équipement WiFi sous test en fonction du temps (analyseur de spectre en mode "SPAN 0"), on remarque trois niveaux de champs correspondant aux trois états suivants :

- Champ  $\sim 0$  V/m période correspondant aux périodes de "back-off",
- Champ  $\sim 0,5$  V/m correspondant à l'envoi de paquets de données à l'équipement sous test,
- Champ  $\approx 4$  V/m correspondant lui à l'envoi de l'accusé de réception par l'équipement sous test.



### 3. 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  $D = 1$  m et dans la direction privilégiée. On peut alors évaluer la PIRE et définir le gain  $G_e$  de l'antenne.

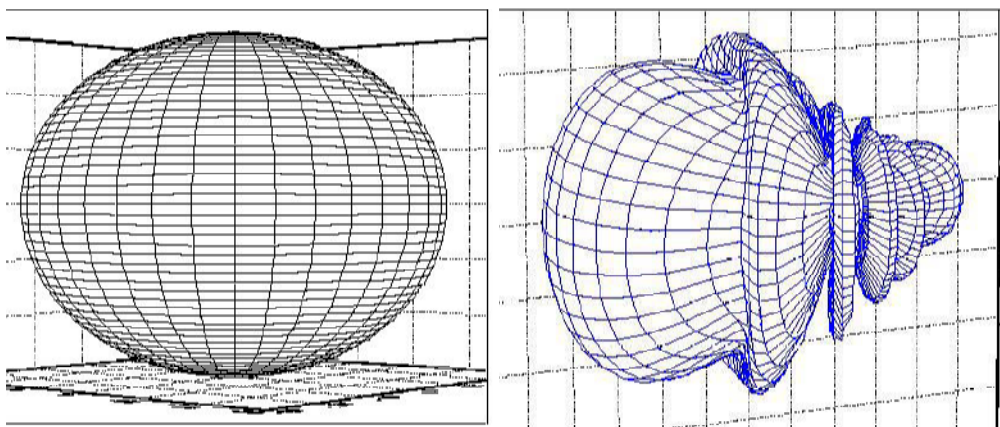


Figure 25 : Diagramme de rayonnement pour une antenne isotrope et pour une antenne "patch"

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

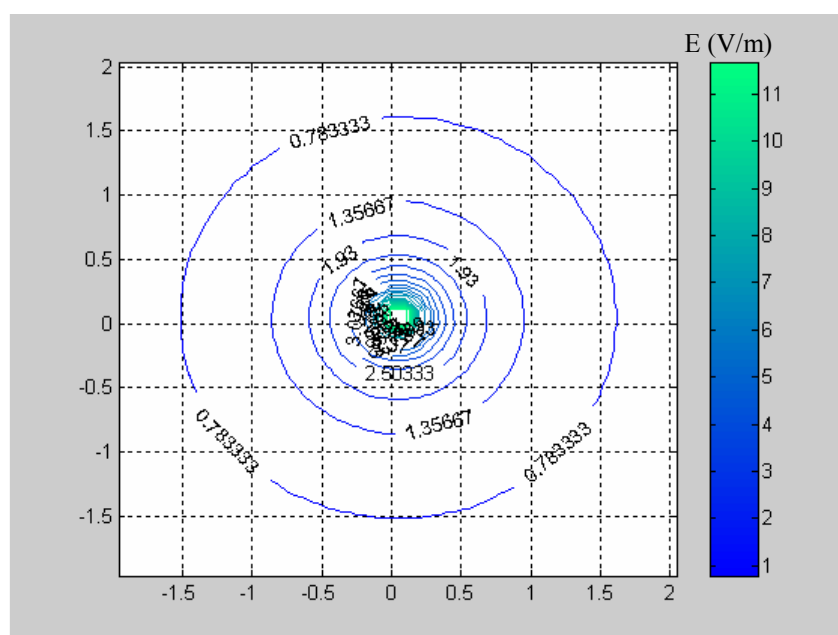


Figure 26 : Tracé représentant les courbes de champs simulées pour la carte B

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  $PIRE_{retenue} = 66,3\text{mW}$  (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  $PIRE_{retenue} = 33,4\text{mW}$  (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.

#### 4. Autre appareil pour la mesure de champ

Des mesures de champ électromagnétique ont aussi été réalisées directement à l'aide d'un appareil portable : "EM Radiation Meter" (Narda) de type EMR 300. Cet appareil mesure le champ électromagnétique dans la bande de fréquence : 100kHz à 3GHz.



Photo 11 : L'EMR 300

Pour valider ces mesures, nous avons, au préalable, comparé les résultats obtenus par la méthode "classique" (Polar H dans l'exemple suivant) avec ceux donnés par l'EMR 300. Après plusieurs tests, les résultats obtenus étant en tous points comparables (aux incertitudes de mesures près) compte tenu des niveaux de puissances/champs mesurés (très faibles  $< 0,1\text{V/m}$ ) dès que les distances augmentent.

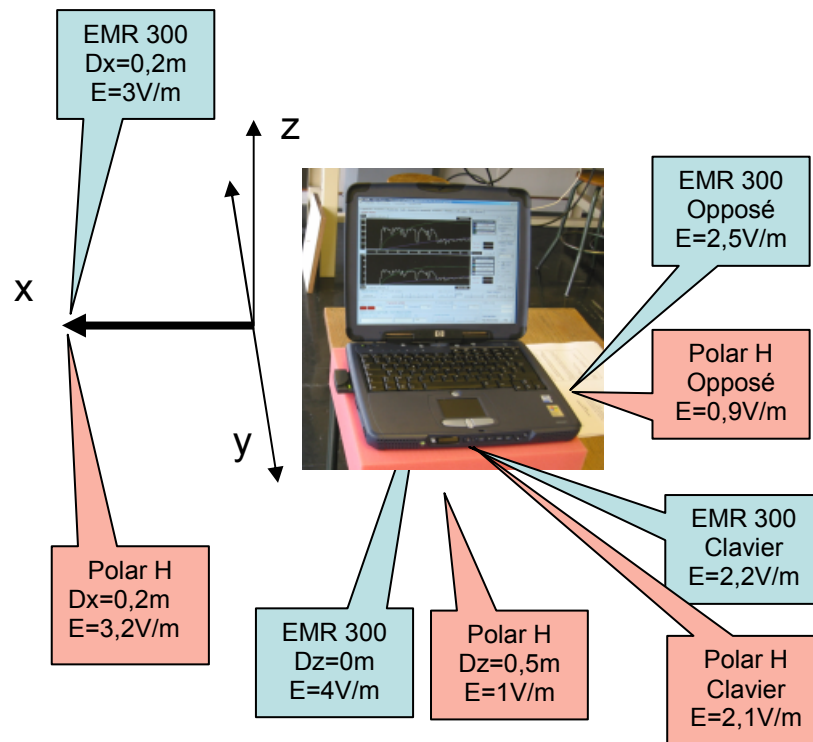


Figure 27 : Comparaison entre les valeurs données par l'EMR 300 et celles obtenues avec l'antenne de référence.



## Annexe n°6

### Mesures de puissance totale rayonnée et de champ EM en laboratoire

#### 1. Méthodologie et définition des configurations

Pour réaliser les mesures nous nous sommes toujours intéressés aux cas extrêmes : le mode "ad hoc" a été utilisé pour les mesures des équipements sous test en laboratoire et le mode "infrastructure" pour les mesures sur site. La valeur du champ électromagnétique indiquée sera la valeur maximale (le cycle d'activité constaté d'un équipement variant très fortement entre 1/2 et 1/20).

La définition des configurations tient compte de la bonne utilisation des équipements WiFi. Le nombre de points d'accès WiFi dépend, bien entendu, du nombre d'utilisateurs potentiels, de la qualité de service que l'on veut offrir mais aussi de la surface de la zone à couvrir. On a donc défini les règles d'usage suivantes :

- a) On offrira une connexion avec un débit minimum de 5,5 Mbit/s à un utilisateur, ce qui aura pour conséquence d'avoir une puissance de réception d'au moins -87 dBm ou bien un champ proche de 1 mV/m,
- b) Le nombre d'utilisateurs par point d'accès ne dépassera pas une vingtaine (le débit étant partagé entre chacun d'eux),
- c) Le nombre maximum de bornes accessibles (actives) en un point donné sera de trois. Le nombre de trois vient du fait qu'un système WiFi utilisant un canal empiète sur les canaux adjacents et peut donc les brouiller, l'usage est donc d'utiliser des canaux distants de cinq canaux (canaux 1, 6, 11 par exemple) en un lieu donné.

#### 2. Mesure de la puissance totale rayonnée en chambre réverbérante

On peut distinguer deux types de mesure selon que l'appareil est une carte ou un point d'accès WiFi :

##### 2.1. Carte PCMCIA WiFi

Celle-ci est insérée sur un ordinateur portable dont la batterie est bien chargée. L'ordinateur est placé à l'intérieur de la chambre réverbérante et il est positionné de telle sorte que l'antenne soit loin des parois réfléchissantes (voir figure ci-dessous). En effet, les caractéristiques de l'antenne émettrice ne doivent pas être modifiées lorsqu'elle se trouve à l'intérieur de la chambre réverbérante. L'ordinateur de pilotage du système établit alors une communication (copie de fichiers de l'ordinateur sous test vers l'ordinateur de pilotage) et la mesure est effectuée en prenant la valeur crête de la puissance ainsi émise.



Photo 14 : Carte PCMCIA et PC dans la chambre Bluetest.

Une des cartes WiFi, notamment la carte B, offre la possibilité de contrôler la puissance d'émission. Elle nous a permis d'évaluer le système de mesure. Les résultats sont donnés dans le tableau 6. On constate un écart maximal de 1 dB entre les données du constructeur et la mesure en chambre réverbérante.

<b>Puissance d'émission carte B</b>	<b>Puissance mesurée</b>
5 mW / 7 dBm	5,2 mW / 7,2 dBm
20 mW / 13 dBm	21,4 mW / 13,3 dBm
30 mW / 14,8 dBm	34,3 mW / 15,8 dBm
50 mW / 17 dBm	51,2 mW / 17 dBm

Tableau 6 : Comparaison entre les puissances affichées par le constructeur et celles mesurées

Le tableau 7 donne les valeurs de la puissance émise des cartes WiFi testées avec la méthode décrite plus haut.

<b>Carte WiFi</b>	<b>Puissance constructeur</b>	<b>Puissance mesurée</b>
A	?	13,8 mW / 11,4 dBm
B	50 mW / 17 dBm	51,2 mW / 17 dBm
C	?	16,2 mW / 12 dBm
D	20 mW / 13 dBm	19,9 mW / 13 dBm
E	?	41,8 mW / 16,2 dBm
F	12 dBm	27,4 mW / 14,3 dBm

Tableau 7 : Comparaison entre les puissances affichées par les constructeurs et celles mesurées

## 2.2. Point d'accès WiFi

Celui-ci est placé à l'intérieur de la chambre réverbérante en étant branché directement sur la prise secteur 220 V (voir figure ci-dessous). A cause du câble d'alimentation du point d'accès, il n'est pas possible d'effectuer un brassage par rotation. Aussi, nous avons mesuré à nouveau quelques cartes WiFi selon le mode décrit plus haut sans brassage par rotation afin de vérifier que les résultats étaient néanmoins corrects dans cette configuration de mesure (tableau 8). Nous avons constaté un écart maximum de 1 dB.

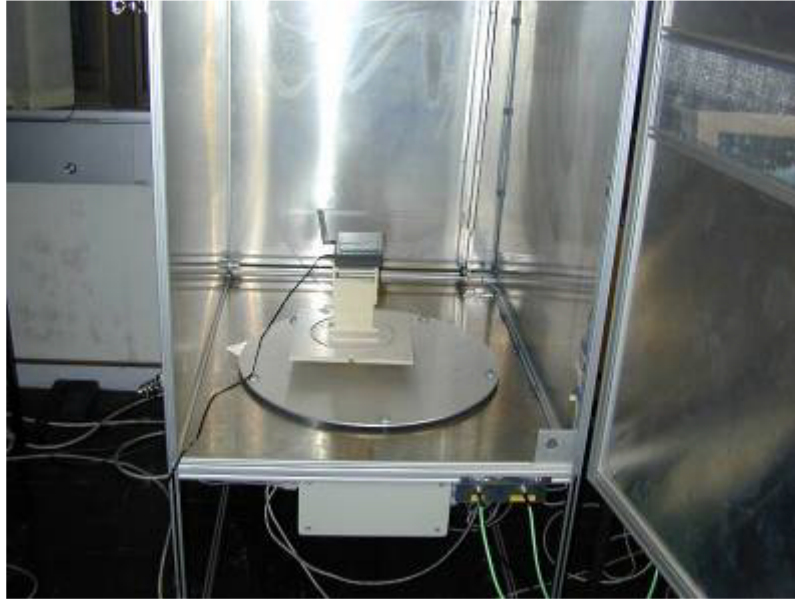


Photo 15 : Point d'accès sous test.

<b>Carte WiFi</b>	<b>Avec brassage par rotation [dB]</b>	<b>Sans brassage par rotation [dB]</b>
A	11,4	11,3
C	12	11,3
E	16,2	17,2
F	14,3	14,3

Tableau 8 :

Le tableau 9 donne les valeurs de la puissance émise des points d'accès WiFi testés avec la méthode décrite précédemment.

<b>Point d'accès WiFi</b>	<b>Puissance constructeur</b>	<b>Puissance mesurée</b>
G	17 dBm	61,1 mW / 17,9 dBm
H	32 mW / 15 dBm	42,9 mW / 16,3 dBm
I	?	89,0 mW / 19,5 dBm
J	?	52,6 mW / 17,2 dBm

Tableau 9 :

### **3. Mesure du champ créé par un équipement WiFi (cartes PCMCIA)**

Les mesures de puissance ont été réalisées dans les conditions suivantes :

- Analyseur de spectre en mode SPAN 0 (RBW 5MHz, atténuation 0dB, Max Hold),
- Antenne biconique,
- Mode d'utilisation 802.11b : mode ad hoc sur le canal 11 (fréquence centrale : 2,462 GHz),
- Utilisation du logiciel IPTraffic pour le contrôle du débit sur le canal; débit moyen obtenu : 4.4 Mbit/s avec une liaison à 11Mbit/s,
- Niveau de bruit ambiant : -58dBm,
- Incertitude estimée sur la mesure de puissance : +/-1dB.

### 3.1. Carte PCMCIA B (PIRE<sub>estimée</sub> : 21,4mW / 13,3dBm)

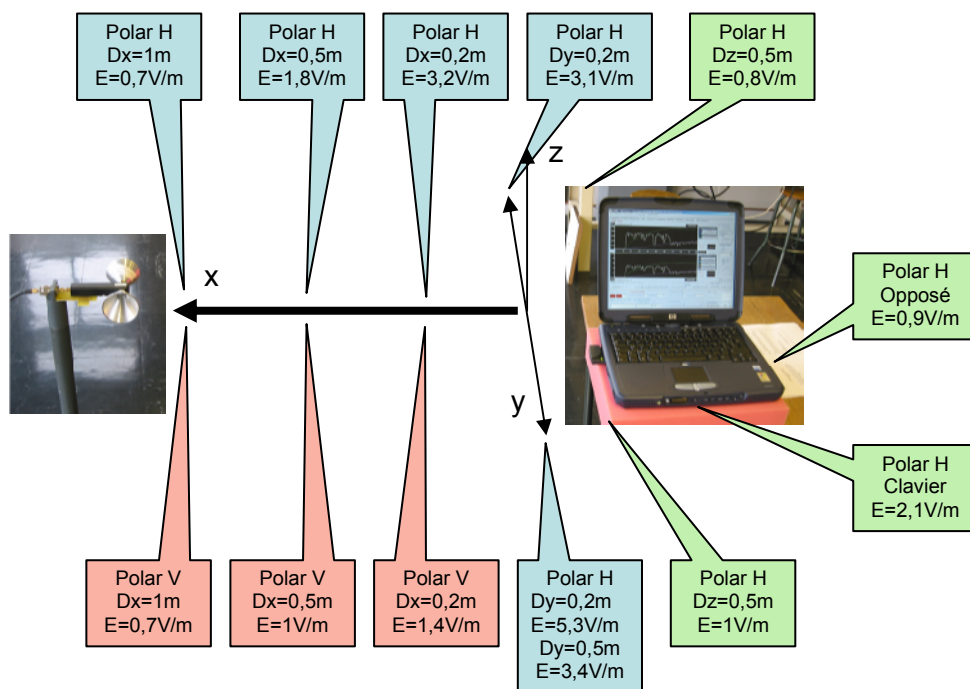


Figure 28 : Résultats pour la carte B.

Pe(mW)=	21,40		
Distance(m)	Eth(V/m)	Emes(V/m)	Emes/Eth
0,10	8,01		
0,20	4,01	3,50	0,87
0,50	1,60	2,06	1,29
1,00	0,80	1,00	1,25
		moyenne=	1,14
<b>PIRE<sub>estimée</sub>(mW) =</b>		27,60	

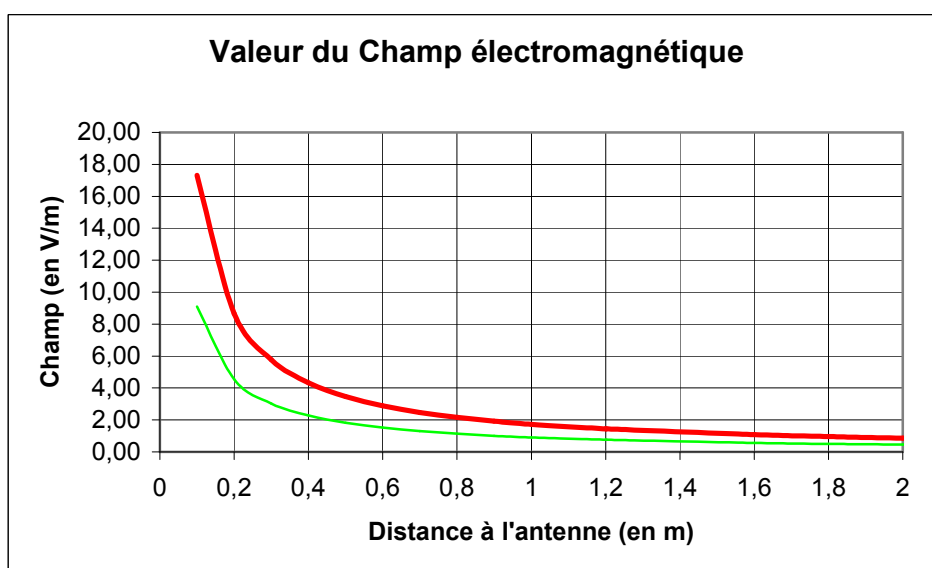


Figure 29 : Comparaison entre le champ émis par la carte (en vert) et la limite calculée avec une PIRE = 100mW (en rouge)

### 3.2. Carte PCMCIA E (PIRE<sub>estimée</sub> : 27,4mW / 14,3dBm)

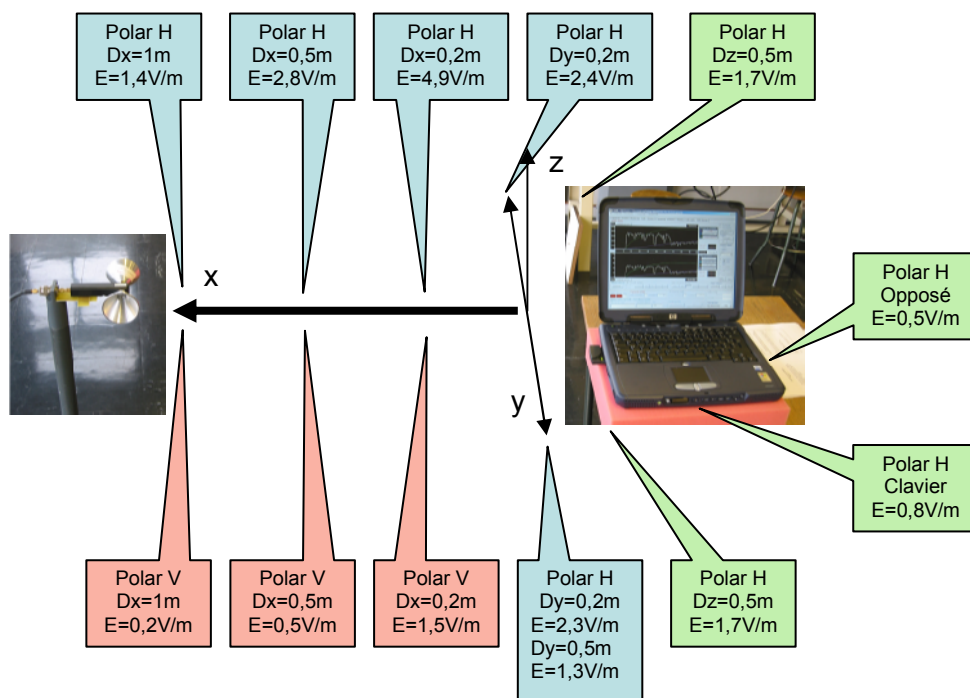


Figure 30 : Résultats pour la carte E.

<b>Pe(mW)=</b>	24,70		
<b>Distance(m)</b>	<b>Eth(V/m)</b>	<b>Emes(V/m)</b>	<b>Emes/Eth</b>
0,10	8,61		
0,20	4,30	5,12	1,19
0,50	1,72	2,85	1,66
1,00	0,86	1,41	1,64
		moyenne=	1,49
<b>PIRE<sub>estimée</sub>(mW)=</b>		55,16	

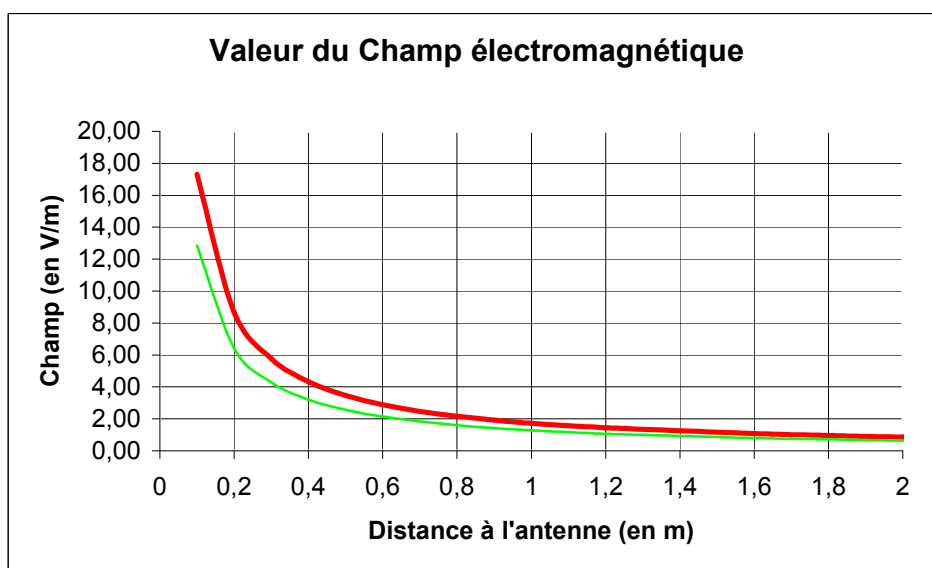


Figure 31 : Comparaison entre le champ émis par la carte (en vert) et la limite calculée avec une PIRE = 100mW (en rouge)

#### 4. Mesure du champ créé par un point d'accès

Le point d'accès testé est la borne J (PIRE : 52,6 mW / 17,2 dBm). Les mesures de champ ont été réalisées directement à l'aide de l'appareil : "EM Radiation Meter" (Wandel & Golterman) de type : EMR 300

Voir la remarque sur l'annexe n°3 A.3.2.4 pour « récupérer » la présentation de l'EMR300

Nous avons réalisé deux séries de mesures : La première, dite "sans liaison" où le point d'accès ne gère aucun équipement mais indique en permanence sa présence (signaux "Beacon"). La deuxième, dite "avec liaison", où le point d'accès gère une liaison en mode infrastructure entre deux PC à 11Mbit/s (2,3Mbit/s mesuré avec le logiciel IPtraffic).

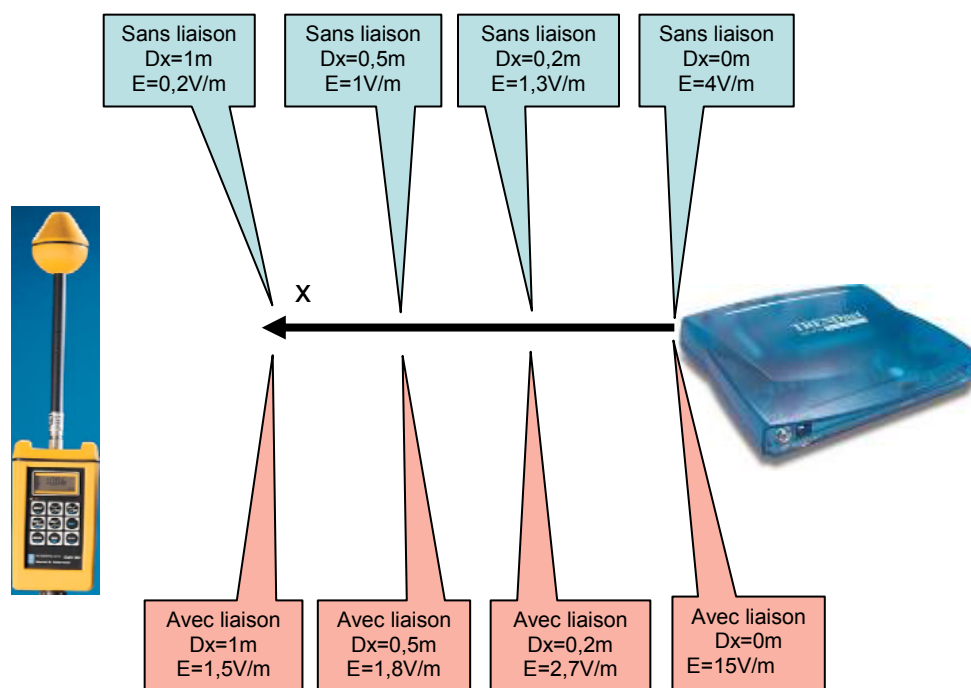


Figure 32 : Mesure du point d'accès.

#### 5. Mesure du DAS (une première approche)

Comme nous l'avons mentionné, il est difficile d'envisager des mesures de DAS dans le cadre de cette étude. La nouvelle norme (prEN50383) pourra être utilisée pour la mesure du DAS des points d'accès (fantôme plan). Néanmoins nous avons essayé de mesurer le DAS d'un point d'accès WiFi en utilisant le matériel déjà existant pour le test des radiotéléphones à 1800 MHz (voir détail de la mesure en annexe n°7).

## Annexe n°7

### Mesure du DAS

Le fantôme SAM recommandé par la norme CENELEC EN-50361 a été utilisé avec du liquide équivalent tissu à 1800 MHz pour la mesure du DAS d'un point d'accès WiFi. En toute rigueur, il faudrait également calibrer la sonde pour la mesure à 2,4 GHz mais nous avons utilisé le calibrage à 1800 MHz.

Deux ordinateurs portables utilisent le point d'accès lors de mesure. Le contrôle du débit est effectué avec le logiciel IPTraffic. Nous nous assurons que le nombre de "bursts" est suffisamment élevé lors de l'acquisition du champ en chaque point de mesure. Nous obtenons ainsi une valeur moyenne du champ électrique correspondant à une valeur moyenne de la puissance émise par le point d'accès. Cette valeur moyenne dépend du débit et elle est typiquement inférieure à un cinquième de la valeur crête. Le point d'accès utilisé lors de la mesure émet une puissance totale de 61,1 mW. Nous avons réalisé deux essais qui nous ont donné comme DAS 0,32 W/kg. et 0,42 W/kg. À comparer avec la restriction de base de 2 W/kg pour la tête et de 4 W/kg pour les membres.

Rappelons que ces valeurs sont données à titre indicatif seulement puisque dans ces conditions le point d'accès n'est pas utilisé dans une position usuelle telle que prévue par le constructeur du matériel.



Photo 16 : Position du point d'accès sous le fantôme et sonde de mesure du DAS plongeant dans le liquide de référence.





Photo 17 : PCs contrôlant l'ensemble de la manipulation.

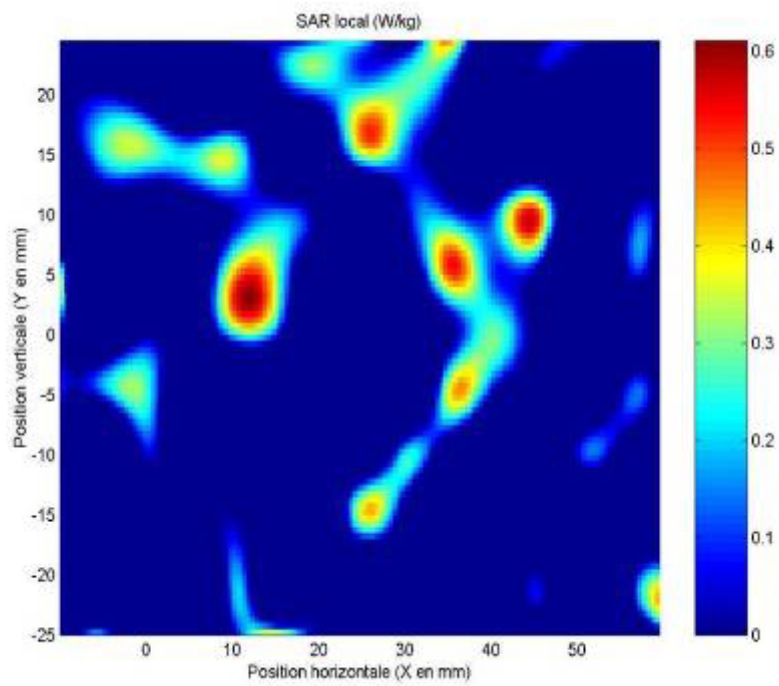


Figure 33 : La cartographie du DAS au niveau de la tête du fantôme (61,1 mW 0,42 W/kg).



## Références bibliographiques

- [1] – UIT-R – Règlement des Radiocommunications.
- [2] – Recommendations de l'ICNIRP - Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics. April 1998, volume 74, number 4:494-522.
- [3] – Recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).
- [4] – Décret no 2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.
- [5] – Protocole de mesure in situ – Document de référence : ANFR/DR - 15.
- [6] – 802.11 WiFi et les réseaux sans fil, Paul Mühlethaler éditions Eyrolles 2002.
- [7] – Réseaux de mobiles et réseaux sans fil, Al Agha, Pujolle, Vivier éditions Eyrolles 2001.
- [8] – Norme CENELEC EN-50361 – Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz - 3 GHz).
- [9] – Rapport “téléphonie mobile et santé” – Office Parlementaire d’Evaluation des choix scientifiques et technologiques, par MM. J-L Lorrain et D. Raoul, sénateurs.
- [10] – Draft CEI 62209 – Evaluation of human exposure to radio frequency fields from handheld and body mounted wireless communication devices in the frequency range of 30 MHz to 6 GHz.