Modélisation empirique de la capacité du canal 802.11 ab/g en environnement résidentiel

H. Sizun, V. Guillet, S. Durieux
Orange-Labs
RESA/NET
6 Avenue des Usines
BP 382
90 007 BELFORT CEDEX 9
{valery.guillet,sabine.durieux}@orange-ftgroup.com
herve.sizun@wanadoo.fr

Résumé :

La connaissance du canal de transmission permet d'appréhender le placement optimal des bornes WIFI et de déterminer les débits et la portée espérés. Dans cette communication, nous présentons une modélisation de la capacité du canal de transmission (débits utiles) en fonction de l'intensité du champ radioélectrique en environnement résidentiel pour différents services (Voix, Données, Vidéo en mode UDP) en contexte 802.11 ab/g.

Mots clés : WIFI, capacité, débits

Abstract :

The knowledge of the transmission channel allows to apprehend the optimal location of WIFI access points and to determine hoped throughputs. After describing the experimental set-up, the studied environment and the realized measurements, we present models of transmission channel capacity vs field strength and distance in home environment for different services (voice, data, video) en 802.11 ab/g context.

Key words: WIFI, capacity, throughputs

1 Introduction

Nous présentons ci-après à titre d'exemple des mesures de champ radioélectrique et de débits utiles en environnement résidentiel. De telles mesures permettent d'appréhender le placement optimal des bornes WIFI et de déterminer les débits et portées espérés pour différentes applications de transfert d'information (voie, données, vidéo) dans de tels environnements [1].

2 Dispositif expérimental

Bâti autour d'une architecture Serveur/Client, le dispositif expérimental permet de mesurer le champ et le débit entre une borne d'émission (AP) pilotée par ordinateur (le serveur) et le micro-ordinateur de mesure (le client):

Le serveur génère à l'aide d'IPERF [2] sur la ligne descendante un trafic fonction de l'application souhaitée:

VOIX : 200 octets par paquet,

DATA: 550 octets par paquet,

VIDEO: 1350 octets par paquet.

Le client (micro-ordinateur de mesure) enregistre le niveau du champ et le débit pour chacune des applications citées ci-dessus (voix, data, vidéo) sur chacune des fréquences programmées au niveau du serveur:

2.4 GHz (WIFI 802.11 b/g)

5.2 GHz (WIFI 802.11 a)

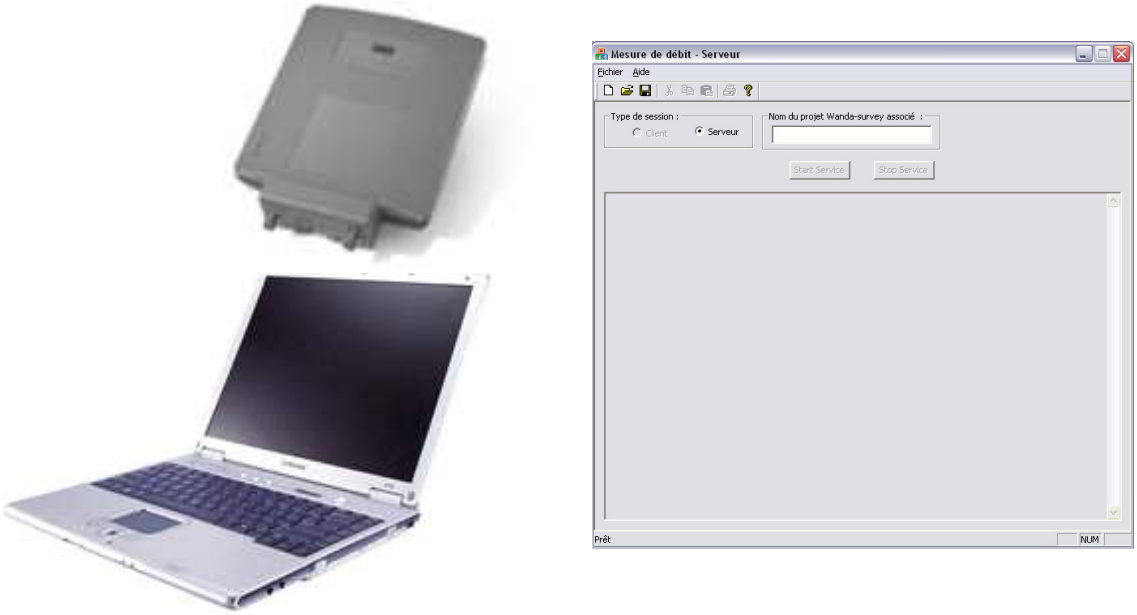
La borne d'émission délivre une puissance (PIRE) de 20 dBm (100 mW) à 2,4 GHz (WIFI 802.11 b/g) et une puissance de 23 dBm (200 mW) à 5 GHz (WIFI 802.11 a)

Nous donnons, à titre d'illustration, les résultats observés sur le site "Berlioz" pour un trafic de type voix, données ou vidéo sur la voie descendante entre une borne située en différentes positions fixes du pavillon (étage, rez-de-chaussée) et un terminal client mobile situé en différentes position du pavillon (sous-sol, rez-de-chaussée, étage).

Les équipements utilisés pour les mesures sont des AP CISCO AP1232 (802.11 ab/g) et des cartes WIFI CISCO AIR-CB21AG-E-K9 (802.11 ab/g). Les mesures peuvent être réalisées à l'aide d'outils tels que WANDA-Survey™ développé à France Télécom R&D associé à l'outil IPERF™ pour la mesure des débits. Les mesures ont été effectuées en environnement non brouillé et fournissent donc des valeurs optimales du débit.

La figure 1 donne une représentation schématique du dispositif de mesure:

- Emetteur



- Récepteur

Figure 1: Représentation schématique du dispositif de mesure

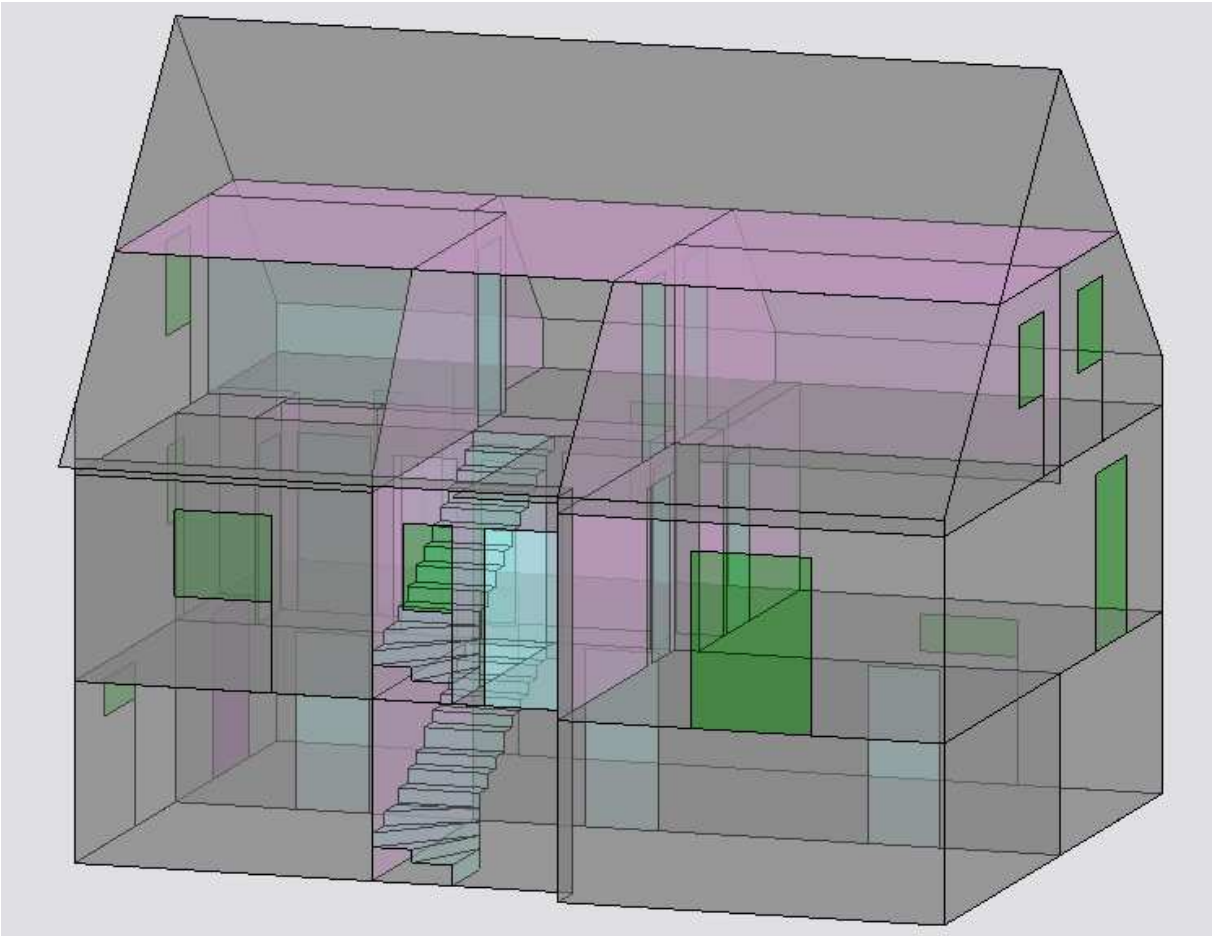
3 Le pavillon "Berlioz"

Le pavillon "Berlioz", environnement où ont été effectuées les mesures présentées ci-dessous (mesure de champ, mesures de débits) est une maison individuelle (figure 2.1) répartie sur 3 niveaux:

- le sous-sol comprenant un garage, une buanderie et une pièce servant d'entrepôt,

- le rez-de-chaussée comprenant la cuisine, le salon, la salle à manger, une chambre, une salle de bain et les sanitaires (figure 2-2),

- l'étage comprenant 3 chambres, un palier et une salle d'eau (figure 2-2).



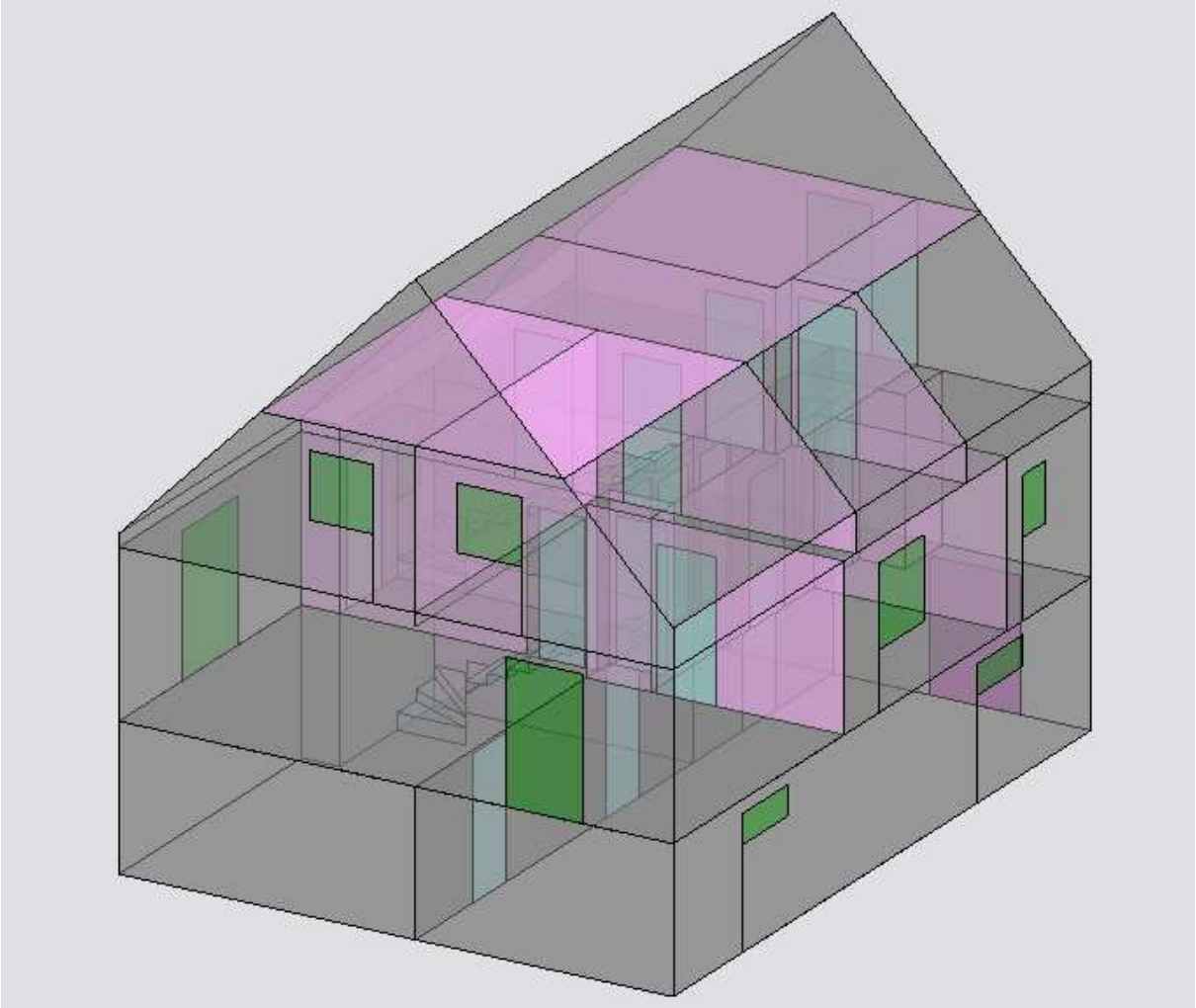


Figure 2-1 : Représentations 3D du pavillon "Berlioz" sous forme de facettes

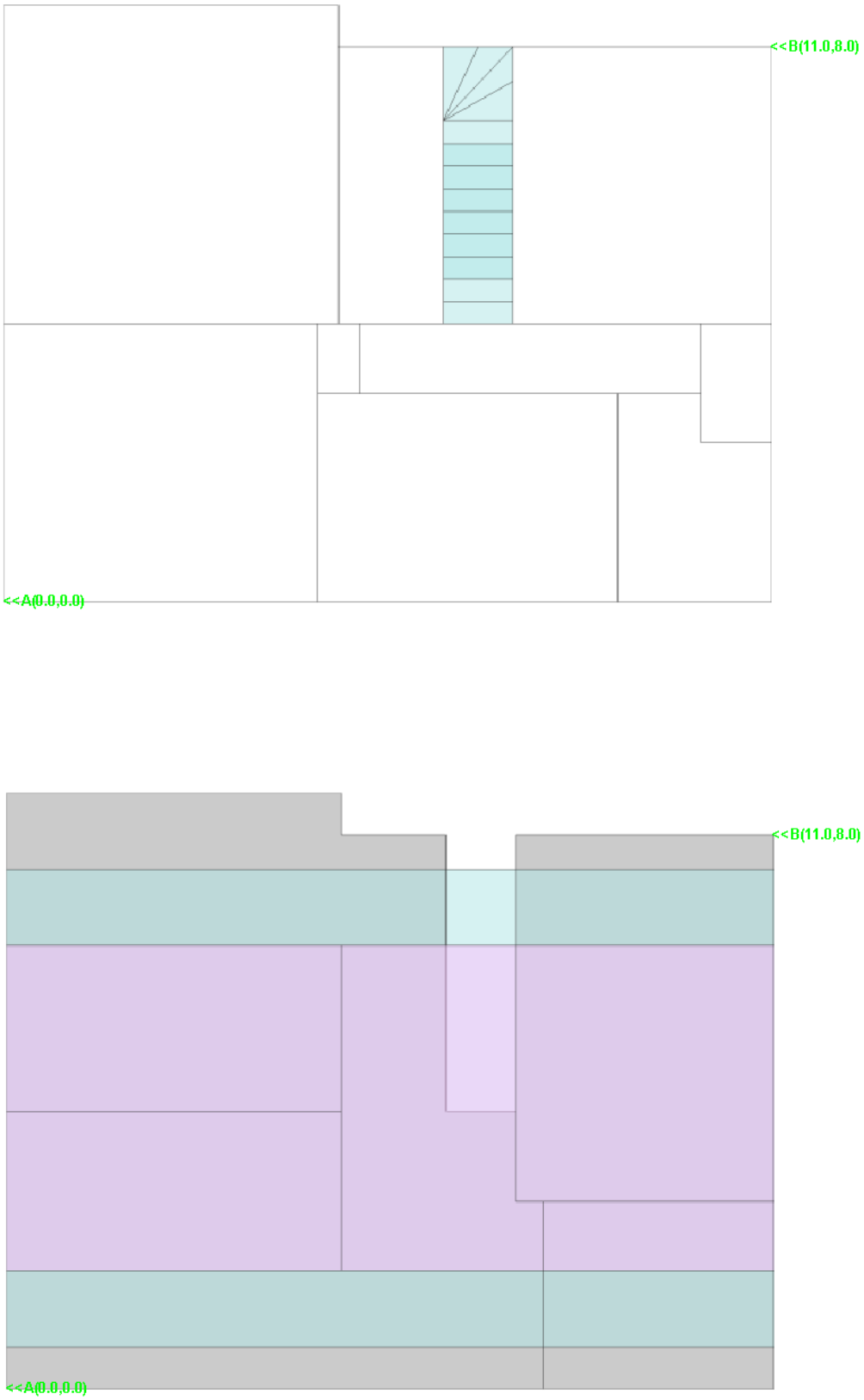


Figure 2-2 : Représentation 2D des différentes pièces du rez-de-chaussée et de l'étage

4 Mesures du champ

La figure 3 donne à titre d'exemple la répartition de la puissance observée (dBm) au rez-de-chaussée du pavillon Berlioz en différentes positions matérialisées par un rectangle de couleur (la couleur est fonction de la puissance reçue). L'AP, matérialisé par une étoile rouge est situé au 1er étage. Le lecteur se reportera à l'échelle des couleurs pour connaître la puissance reçue. On peut constater que plus on s'éloigne de l'émetteur et plus on traverse de cloisons, plus la puissance diminue.

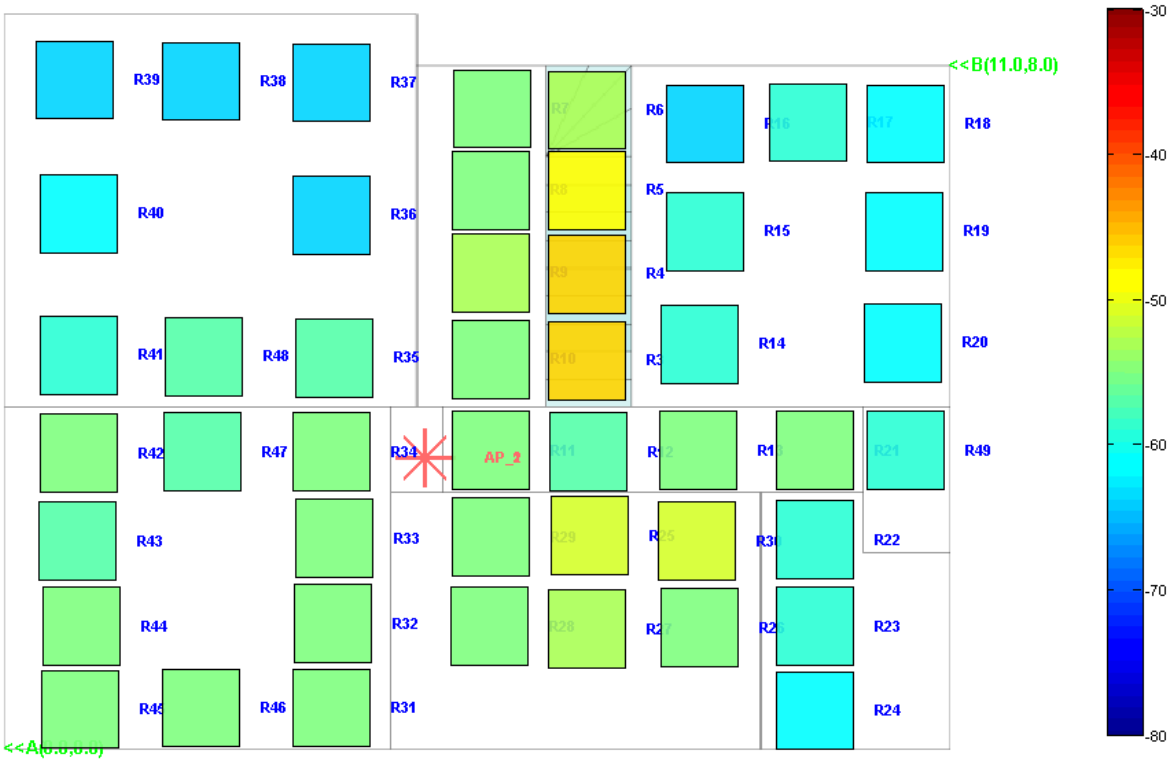


Figure 3: Répartition de la puissance à la fréquence 2.4 GHz (WIFI 802.11 b/g) au rez-de-chaussée, l'AP étant située à l'étage (site Berlioz).

5 Mesures des débits utiles et modélisation

La figure 4 donne un exemple des débits mesurés en contexte VIDEO (Mbits/s) en fonction de la puissance.

Chacun des cercles bleus définit un point de mesure : débit moyen (Mbits/s) mesuré en fonction de la puissance reçue (dBm). L'ensemble des mesures se répartissent sur les trois niveaux du pavillon (étage, rez-de-chaussée, sous-sol).

La courbe verte définit l'évolution médiane du débit en fonction du champ. Elle est modélisée par l'équation suivante :

D=29.24(1-exp(-(C+78.6)/13.66))

où :

C est le niveau de champ reçu au niveau du récepteur.

Les courbes rouges définissent l'intervalle de confiance à 90% : 90% des mesures sont comprises entre ces deux courbes.

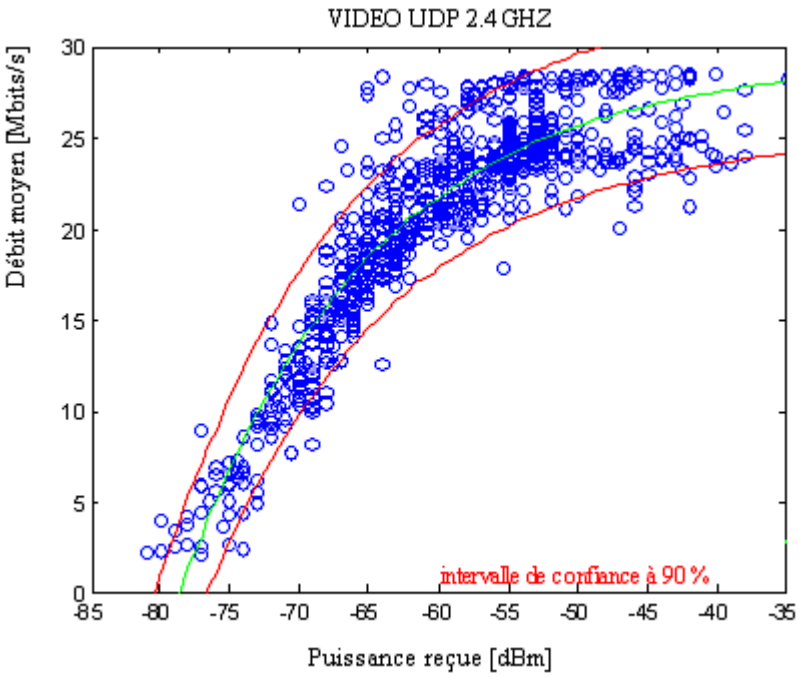


Figure 4: Evolution des débits moyens en fonction de la puissance moyenne reçue à 2.4 GHz (site Berlioz)

La figure 5 donne un exemple de l'évolution du débit en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Chacun des cercles bleus définit un point de mesure : débit moyen (Mbits/s) mesuré en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur (m).). L'ensemble des mesures se répartissent sur les trois niveaux du pavillon (étage, rez-de-chaussée, sous-sol).

La courbe verte définit l'évolution médiane du débit en fonction du champ. Elle est définie par l'équation suivante :

$$D=26.15(1-\exp((d-8.75)/2.55))$$

où :

d est la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Les courbes rouges définissent l'intervalle de confiance à 90% : 90% des mesures sont comprises entre ces deux courbes.

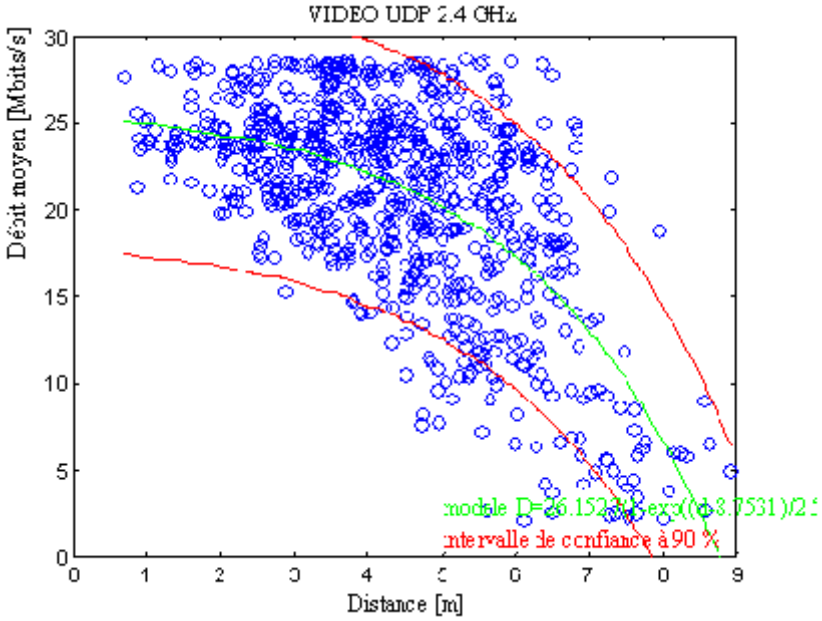


Figure 5 : Evolution des débits en fonction de la distance à 2.4 GHz (site Berlioz)

6 Influence de l'environnement proche

La figure 6 montre l'évolution des débits en fonction du champ radioélectrique observé à 2.4 GHz sur le site "Berlioz", l'AP étant placé à l'étage. Les observations ont été réalisées sur trois niveaux

différents (étage, rez-de-chaussée, sous sol) et dans deux configurations de portes différentes (portes ouvertes et portes fermées). On note les points suivants:

les champs radioélectriques décroissent en fonction du niveau d'étage sur lequel on se place (augmentation de la distance émetteur-récepteur, traversée de cloison, plancher ou dalle)

Les débits décroissent lorsque les champs diminuent. L'évolution des débits en fonction de la valeur du champ est variable selon le niveau d'étage. La décroissance est de plus en plus forte au fur et à mesure que le nombre de dalle (ou plancher augmente)

La configuration "porte ouverte" et "porte fermée" n'a réellement une influence que lorsque l'AP et le récepteur se trouvent au même niveau où on observe une baisse des débits de l'ordre de 750 Kbits/s lorsque les portes sont fermées. Il n'y a pas de différence lorsqu'on se trouve sur les niveaux inférieurs. Il en résulte que le signal se propage plus particulièrement par transmission dans le plan émetteur-récepteur, réflexion, diffraction et diffusion.

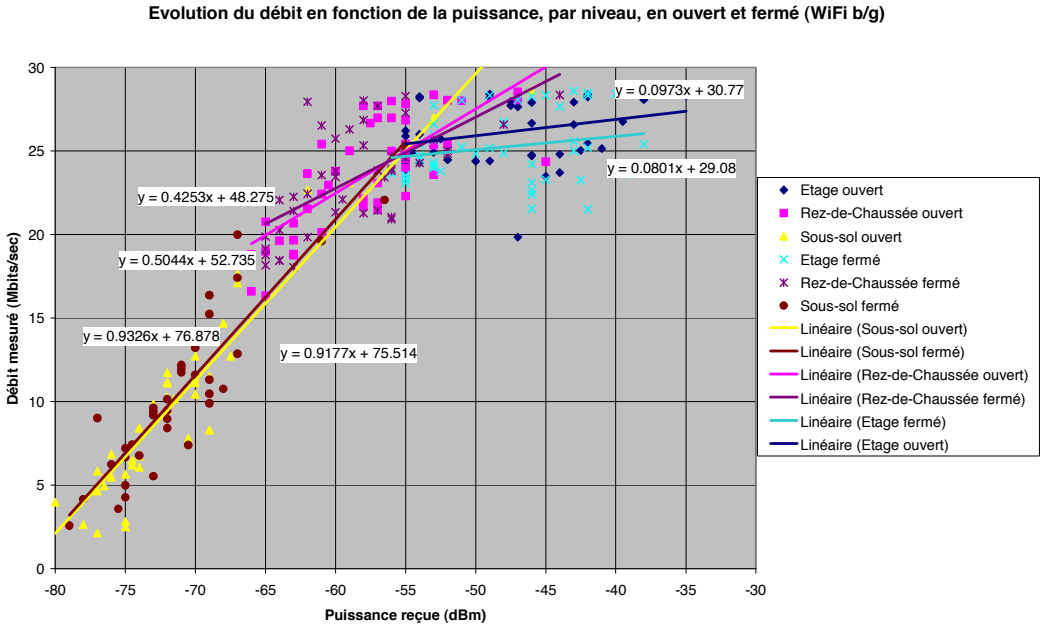


Figure 6 : Evolution du débit en fonction de la puissance, par niveau, pour différentes configurations de l'environnement (portes ouvertes et portes fermées)

7 Influence de la hauteur de l'antenne

Le tableau 1 ci-dessous donne les valeurs moyennes des puissances et des débits ainsi que leur écart-type au rez-de-chaussée pour quatre hauteurs différentes d'AP (0,60, 1,00, 1,40 et 1.80m). En WIFI 802.11a les mesures de débits n'ont pas pu être réalisées aux autres niveaux, les puissances mesurées n'étant pas suffisantes pour déclencher les mesures de débit Une moyenne sur les différentes hauteurs d'AP est également mentionnée.

BERLIOZ (AP au rez-de-chaussée) : WiFi 802.11 a (5 GHz)					
		Puissance (dBm)		Débits (Mbits/s)	
Hauteur AP (m)	Niveau	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
0,60	Rez-de-chaussée	-57,29	5,96	16,30	6,01
1,00	Rez-de-chaussée	-54,74	6,40	18,60	5,79
1,40	Rez-de-chaussée	-55,03	5,79	18,00	4,78
1,80	Rez-de-chaussée	-55,36	6,16	18,70	6,28
MOYENNE	Rez-de-chaussée	**-55,61**	6,08	**17,90**	5,72

Tableau 1 : Valeurs moyennes des puissances et des débits ainsi que leur écart-type au rez-de-chaussée pour quatre hauteurs différentes d'AP (0,60, 1,00, 1,40 et 1.80m) en WIFI 802.11a

Le débit moyen augmente de 16,3 Mbits/s à 18,70 Mbits/s lorsque la hauteur de l'AP s'élève de 0,60 m à 1,80 m. Le débit moyen au rez-de-chaussée (niveau de l'emplacement de l'AP) est égal à 17,9 Mbits/s.

Il apparaît clairement que la hauteur de l'AP influe sur le débit même lorsque la réception s'effectue sur le même étage que celui de l'émission : plus la hauteur de l'AP est élevée (absence de masquage du trajet direct) ou l'AP est au niveau du récepteur (diagramme de rayonnement de l'antenne émettrice plus favorable), meilleurs sont le débit et le champ.

8 Comparaisons

Les figures ci-dessous (figure 7-9) présentent l'évolution des débits moyens observés en fonction du champ radioélectrique d'une part et de la distance d'autre part pour différentes applications (voix, données, vidéo).

L'examen des différentes courbes permet de déduire les résultats ci-dessous.

On observe une dépendance des débits aux champs radioélectriques.

Les débits du WIFI 802.11 b/g sont plus élevés que ceux du WIFI 802.11 a pour les valeurs faibles et moyennes du champ. Les débits maximum sont par contre supérieurs pour le WIFI 802.11 a et le WIFI 802.11 b/g.

La décroissance des débits est plus rapide à 5 GHz. Ceci est probablement dû à l'absence des modulations de repli du 802.11 b plus robustes que l'OFDM du 802.11a.

Les seuils de sensibilité sont plus élevés pour les paquets courts: 6 dB pour la voix par rapport à la VIDEO, conforme à la tendance théorique : le taux d'erreur paquet est plus faible si le nombre de bits utiles par paquet est plus faible pour un même rapport signal à bruit.

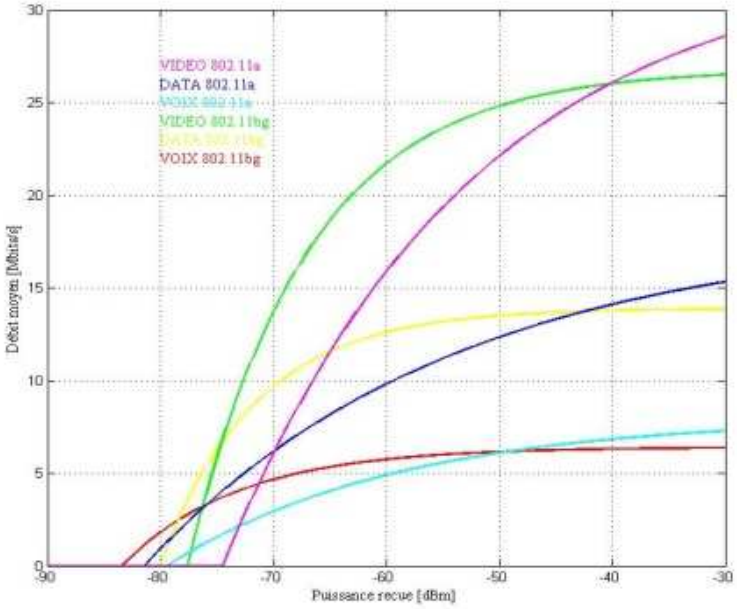


Figure 7 : Récapitulatif des évolutions des débits moyens observés en fonction de la puissance mesurée.

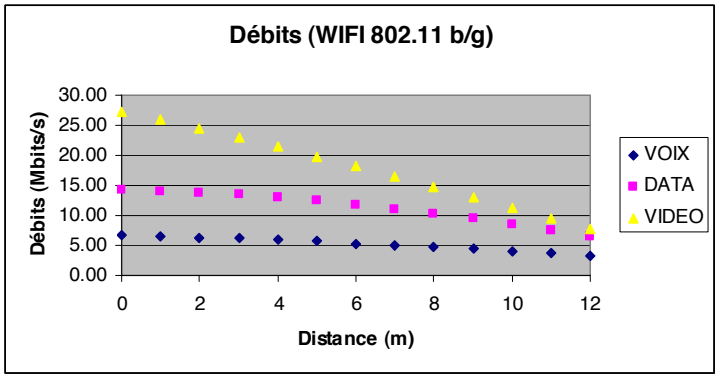


Figure 8 : Evolution des débits en fonction de la distance à 2.4 GHz (WIFI 802.11 b/g) sur le site Berlioz

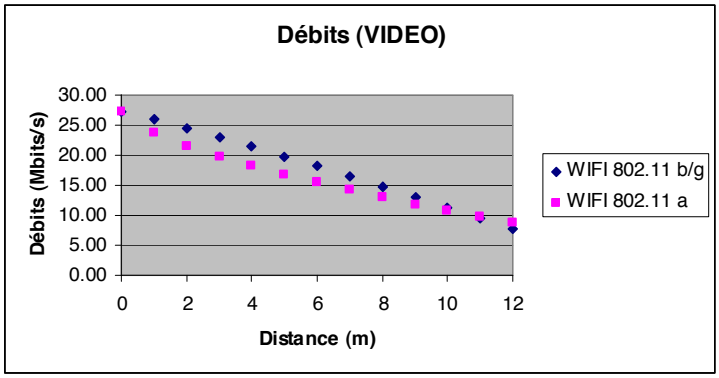


Figure 9 : Evolution des débits en fonction de la distance en mode vidéo à 2.4 GHz (WIFI 802.11b/g et à 5.2 GHz (WIFI 802.11a) sur le site Berlioz

9. Conclusion et règles d'ingénierie

Bâti autour d'une architecture Serveur/Client, des mesures de champ et de débit de transmission en contexte résidentiel entre une borne d'émission (Access Point) et un micro-ordinateur équipé d'une carte WIFI ont été présentées (répartition spatiale du champ, débit en fonction du champ et de la distance Emetteur/Récepteur). L'influence de l'environnement a été mise en évidences. Quelques comparaisons entre les différentes applications ont été mises en évidence en fonction de l'intensité du champ radioélectrique d'une part et de la distance d'autre part.

A l'issue de cette étude, quelques règles et méthodes de déploiement de la radio peuvent être définies : - Il est conseillé de placer la borne au même étage que celui sur lequel sera faite l'utilisation. Dans ce cas, l'atténuation ne tient pas compte du franchissement d'un ou plusieurs étages. L'affaiblissement est alors minimal et le débit est meilleur, - il est conseillé de placer la borne, dans la mesure du possible, suffisamment haut car la hauteur de l'AP influe sur les débits : plus l'AP est haut, plus le signal évite les obstacles (effet de masquage), moins il est atténué et meilleur est le débit, - De façon générale, à configuration similaire et en environnement non brouillé, les débits sont meilleurs en WiFi b/g qu'en WiFi a. De ce fait, le WiFi b/g est recommandé pour les usages nécessitant des débits optimums. Cependant, lorsqu'on se situe au même niveau que l'AP et à courte distance, les débits en WiFi 802.11 a sont légèrement supérieurs à ceux du WIFI 802.11 b/g, le WiFi 802.11 a constitue ainsi une alternative au WiFi b/g, plus particulièrement lorsque celui-ci est brouillé.

De telles mesures trouvent une application dans le déploiement des réseaux WIFI plus particulièrement. Pour de plus amples informations complémentaires, le lecteur pourra se reporter aux nombreuses publications disponibles dans la littérature [3, …, 11].

10. Remerciements

Les auteurs remercient Laurent CARTIER pour le développement et la mise en œuvre des logiciels d'acquisition, de présentation et d'archivage des mesures de champs et de débits et Hervé NOUFELE pour l'aide apportée au traitement des données.

11. Bibliographie

[1] « WI-FI réseaux sans fil 802.11, Technologie Déploiement Sécurité », Collection Ressources Informatiques, Edition ENI, 2006.

[2] IPERF ; http://www.openmaniak.com/fr/iperf.php.

[3] T. Wang, H.H. Refai, "Empirical Network Performance analysis on IEEE 802.11g with Different Protocols and Signal to Noise Ratio Values, IEEE, 0-7803-9019, 09, 2005.

[4] J. De Bruyne, W. Joseph, L. Verloock, L. Martens, « Evaluation of Link Performance of an Indoor 802.11g Network", IEEE, 1-4244-1457, pp. 425, 429, 01, 2008.

[5] M. Boulmalf, H. El-Sayed, A. Soufyane, "Measured Thoughput and SNR of IEEE 802.11g in a Small Enterprise Environment", IEEE, 0-7803-8887, 09, 2005.

[6] N.I. Sarkar, E. Lo, "Indoor Propagation Measurements for Performance evaluation of IEEE 802.11g", IEEE, 978-1-4244-2603, 04, 2008.

[7] E. Tanhhe, W. Joseph, L. Verlook, L. Martens, H. Capoen, K. Van Herwegen, T. Buysschaert, "Range of an IEEE 802.11b/g system in industrial environments based on site survey measurements and propagation models", IEEE 978-1-4244-2042, 01,2008.

[8] A. B. Fadhah, A. Al-Lawati, S. Al-Maskari, A. Touzene, A. Al-Kindi, "Experimental Performance Evaluation of Wireless 802.11b Networks", IEEE, 978-1-4244-2624, 09, 2008.

[9] D. Dobkin, "The Correlation of Data Throughput with Link Loss for commercial WLAN devices", High Frequency Electronics, pp. 22-28, 2003.

[10] Y.J. Lin, H.A. Latchman, R. E. Newman, "A comparative Performance Study of Wireless and power Line Networks", IEEE, 0163-6804, 2003.

[11] A. L. Wijesinha, Y. T. Song, M. Krishnan, V. Mathur, J. Ahn, V. Shyamasundar, "Throughput Measurement for UDP traffic in an IEEE 802.11g WLAN", IEEE, 0-7695-2294, 05, 2005.