

Allocation Dynamique de Ressource dans les Systèmes ULB sous Contrainte de Qualité de Service

Elias Najjar, Ayman Khalil, Matthieu Crussière et Jean-François H  lard
Institut d'électronique et de Télécommunications de Rennes (IETR)
INSA, 20 Avenue des Buttes de Co  smes, 35043 Rennes, France.

Contact : Elias.Najjar@insa-rennes.fr

Résumé

La technologie Ultra Large Bande (ULB) est utilisée pour les communications sans fil WPAN (Wireless Personal Area Network). Dans cet article, nous proposons deux solutions pour l'allocation dynamique de ressource dans les systèmes ULB à haut débit en assurant la notion de qualité de service (QoS). La première présente un algorithme pour le partage, entre trois utilisateurs, des 3 sous-bandes d'un même groupe dans la solution multi-bande (MB-OFDM) soutenue par l'Alliance WiMedia. La seconde solution présente une méthode de partage, toujours entre 3 utilisateurs, d'une bande de fréquence égale à la somme des trois sous-bandes adoptées dans le cas de MB-OFDM mais en tenant compte de la QoS et que la somme des sous-porteuses allouées pour un utilisateur soit la même que dans le cas de MB-OFDM. En étudiant les performances des deux solutions proposées, nous déduisons qu'ils répondent bien aux contraintes demandées mais avec un comportement diff  rent qui dépend des critères de QoS.

Abstract

The Ultra-Wideband (UWB) technology is used in Wireless Personal Area Network (WPAN). In this paper, we propose two solutions for a dynamic resource allocation in the high data rates UWB systems under quality of service (QoS) constraints. The first method presents a solution for the coexistence of three users sharing the three sub-bands in the multi-band (MB-OFDM) solution supported by the WiMedia Alliance. The second solution presents a sharing method, between the three users also, of a frequency band that is equal to the sum of the three sub-bands in the MB-OFDM case but taking into account the QoS and ensuring that the sum of sub-carriers allocated by a user is the same as in the MB-OFDM case. By studying the two algorithms performances, we deduce that they respond both to the required constraints with a behaviour depending on the QoS criteria.

Mots-clés : ULB, allocation de ressource, QoS, MB-OFDM.

Keywords : UWB, resource allocation, QoS, MB-OFDM.

1. Introduction

L'ULB est une nouvelle technologie    fort potentiel pour les futurs réseaux personnels WPAN    très haut débit et faible portée. Cette technique de transmission radio consiste à utiliser des signaux occupant sur une large bande de fréquences, typiquement de l'ordre de 500 MHz à plusieurs GHz [1].

En février 2002, la FCC (*Federal Communications Commission*) a alloué un spectre s'étalant de 3.1 à 10.6 GHz pour l'utilisation sans licence des dispositifs ULB aux Etats-Unis. De même, la FCC a imposé une densité spectrale de puissance limitée à -41.3dBm/MHz aux systèmes ULB afin d'éviter les interférences les autres systèmes à bande étroite présents dans la même bande de fréquence.

Par ailleurs, le groupe de standardisation IEEE 802.15.3a a développé une couche physique alternative pour les WPAN pour les communications à très haut débit (> 100 Mbit/s). Dans ce contexte, une solution multi-bande basée sur une modulation OFDM à bandes multiples (MB-OFDM) a été soutenue par l'alliance WiMedia [2].

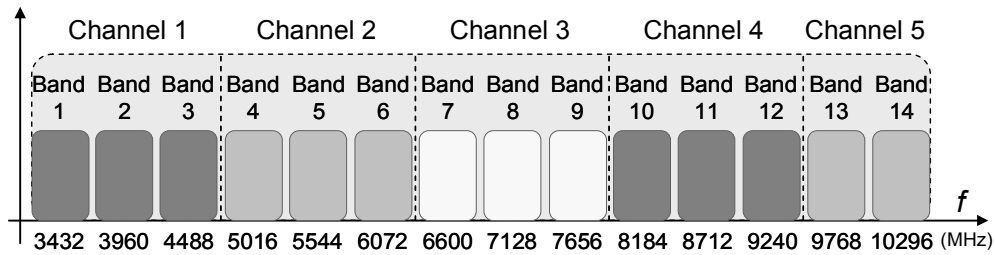


FIG. 1 – Spectre ULB dans le système MB-OFDM.

En décembre 2005, la solution multi-bande OFDM a été adoptée en tant que norme par l'ECMA-368 qui a normalisé la solution WiMedia pour les systèmes ULB haut débit [3].

Actuellement, l'accès aux ressources dans un contexte multi-utilisateur est toujours un problème ouvert dans les systèmes ULB. Deux mécanismes sont proposés par le standard ECMA-368 : le PCA (*Prioritized Contention Access*) et le DRP (*Distribution Reservation Protocol*). Le premier est basé sur un principe d'accès par contention qui s'apparente à l'approche CSMA/CA mais pour laquelle les temps d'attente (*back-off slots*) de chaque utilisateur sont directement liés au type d'application. L'inconvénient de ce type de mécanisme est la possibilité de collision et de congestion. Le DRP résout, quant à lui, le problème de collision mais ne se base cependant sur aucun principe de différenciation de service. Finalement, aucun de ces deux mécanismes n'intègre de façon efficace la notion de QoS dans un contexte multi-utilisateur.

Dans la littérature, la plupart des études proposées pour l'allocation de ressource dans les systèmes OFDM sont basées sur deux approches d'optimisation : Margin Adaptive (MA) et Rate Adaptive (RA) [4,5]. Cependant, ces deux méthodes d'optimisation ne prennent pas en compte la notion de QoS. Dans ce travail, nous nous intéressons à intégrer la QoS dans la méthode RA.

Plus précisément, l'objectif de cet article est de proposer une méthode efficace pour l'allocation des sous-bandes pour les systèmes WiMedia dans un contexte multi-utilisateur en prenant en considération la qualité du canal et la QoS pour chaque utilisateur.

Le reste de cet article est organisé comme suit. Tout d'abord, nous introduisons le modèle du système dans la section 2 avant de formuler le problème dans la section 3 dans laquelle nous développons les deux algorithmes. Dans la section 4, nous présentons les résultats de la simulation des deux algorithmes puis la comparaison de leurs performances. Finalement, la section 5 conclut cet article.

2. Modèle du système

Aujourd'hui, les applications sans fil demandent une bande passante plus large que jamais. La solution WiMedia ULB présente un bon compromis entre performances et coût. Notamment, les spécifications WiMedia prévoient des modes de communication jusqu'à 480Mbit/s basés sur une couche MAC entièrement distribuée, tout en offrant la possibilité de développer des systèmes à bas coût. La norme ECMA 368-369, qui est la seule norme aujourd'hui existante pour les systèmes ULB, spécifie les mécanismes des couches PHY et MAC décrits ci-après.

2.1. Couche PHY

La solution MB-OFDM est basée sur une modulation OFDM et une technique multi-bande qui divise le spectre ULB en 14 sous-bandes de 528 MHz chacune comme illustré sur la figure 1. La plupart des études ont été réalisées sur les trois premières sous-bandes. Le signal OFDM peut être transmis sur chaque sous-bande en utilisant une transformée de Fourier rapide inverse à 128 points. Parmi les 128 sous-porteuses, 100 sont dédiées à la transmission de données. Les constellations utilisées sont la MAQ-4 (Modulation d'Amplitude en Quadrature) pour les bas débits et la DCM (Dual Carrier Modulation) pour les hauts débits. Différents débits, allant de 53.3 à 480 Mbit/s, sont obtenus. La table 1 montre, pour chaque débit, le type de modulation utilisé et la présence d'un étalement de spectre fréquentiel (FDS) et/ou temporel (TDS).

Débit (Mbit/s)	Modulation	Rendement	FDS	TDS
53.3	MAQ-4	1/3	Oui	Oui
80	MAQ-4	1/2	Oui	Oui
110	MAQ-4	11/32	Non	Oui
160	MAQ-4	1/2	Non	Oui
200	MAQ-4	5/8	Non	Oui
320	DCM	1/2	Non	Non
400	DCM	5/8	Non	Non
480	DCM	3/4	Non	Non

TAB. 1 – Différents débits du système WiMedia.

2.2. Couche MAC

La couche MAC est responsable de la manière dont les utilisateurs accèdent au canal radio pour établir des communications entre eux. Elle est basée sur une architecture distribuée, par conséquent, tous les utilisateurs ont les mêmes responsabilités et l'égalité des droits pour l'accès au canal. La coordination entre les utilisateurs se fait par l'échange des données spécifiques appelées beacons.

Le temps est divisé en supertrames, de telle sorte que chaque supertrame est composée de deux parties respectivement appelées *beacon period* (BP) et *data period* (DP). La BP est utilisée pour la gestion et le contrôle des informations échangées entre les utilisateurs. Durant la DP, les utilisateurs peuvent envoyer ou recevoir des données en utilisant le PCA ou le DRP. Notons qu'il n'y a pas de contrôle centralisé dans le protocole WiMedia MAC, donc chaque utilisateur peut créer sa propre BP qui dépend du nombre d'utilisateurs à portée.

Dans notre travail, comme nous nous intéressons à la différenciation de service et à la notion de QoS, nous allons établir un nouveau mécanisme basé sur le principe du DRP et qui sera également capable d'apporter un niveau de différenciation entre les utilisateurs existants.

3. Présentation des algorithmes

Dans ce paragraphe, nous proposons deux algorithmes pour l'allocation de ressource des 3 premières sous-bandes du premier groupe de la solution MB-OFDM. L'idée du premier est de trouver la meilleure combinaison qui permet d'allouer à chaque utilisateur la sous-bande la plus appropriée au regard de la QoS. D'autre part dans le second, nous considérons les 3 sous-bandes comme une seule bande de fréquences sur laquelle on effectue une allocation efficace des sous-porteuses sous contrainte que chaque utilisateur occupe une somme de sous-porteuses équivalente à celle d'une sous-bande du premier algorithme. Cette dernière condition est imposée afin de pouvoir effectuer des comparaisons équitables entre les deux algorithmes.

3.1. Algorithme 1

Tout d'abord, afin de répondre aux conditions de QoS, les utilisateurs sont triés suivant deux classes : hard-QoS (utilisateurs temps-réel : voix, vidéo, ...), qui sont les utilisateurs de haute priorité, et soft-QoS (utilisateurs non temps-réel : protocole de transfert de fichiers (ftp), ...). Puis, nous définissons un poids qui différencie les utilisateurs suivant une classification de service en assurant la notion de la QoS à ceux les plus prioritaires et en fournissant en même temps un certain niveau d'équité aux différents utilisateurs. Enfin, nous calculons le rapport signal à bruit (RSB) pour chaque utilisateur dans les 3 sous-bandes. Outre sa faible complexité, cet algorithme présente un avantage essentiel lié à la prise en compte conjointe des caractéristiques des deux couches PHY et MAC. En fait, la couche physique est responsable de fournir la qualité de canal en exploitant le RSB et la couche MAC prend en charge la classification des utilisateurs suivant la nature de leur service (hard-QoS ou soft-QoS). Donc, l'idée générale est d'allouer les sous-bandes de façon adaptative, définies pour les applications WiMedia ULB, pour les utilisateurs demandant l'accès au médium, en prenant en considération la qualité de canal et la QoS [6].

Pour les besoins de l'algorithme, on définit le poids P_k de l'utilisateur k comme suit :

$$\begin{aligned}
& - \text{ Si } N_{hard} \leq N_{soft}, P_k \text{ est tel que: } \begin{cases} \sum_{k=1}^{K=3} P_k = 1 \\ P_{hard} = \frac{\overline{R_{hard}}}{\overline{R_{soft}}} \times \frac{N_{hard}}{N_{soft}} \times P_{soft} \end{cases} \\
& - \text{ Si } N_{hard} > N_{soft}, P_k \text{ est tel que: } \begin{cases} \sum_{k=1}^{K=3} P_k = 1 \\ P_{hard} = \frac{\overline{R_{hard}}}{\overline{R_{soft}}} \times P_{soft} \end{cases}
\end{aligned} \tag{1}$$

où N_{hard} et N_{soft} sont respectivement le nombre des utilisateurs hard-QoS et soft-QoS, $\overline{R_{hard}}$ et $\overline{R_{soft}}$ sont respectivement les débits moyens des utilisateurs hard-QoS et soft-QoS. Notons que le rapport $\overline{R_{hard}} / \overline{R_{soft}}$ est toujours supérieur à 1 ce qui favorise les applications temps-réel.

D'autre part, le rapport signal à bruit (RSB) de l'utilisateur k dans la sous-bande b est égal à la moyenne des sommes des RSB de cet utilisateur sur toutes les sous-porteuses appartenant à cette sous-bande b , d'où :

$$\overline{RSB_{k,b}} = \frac{\sum_{n \in b} RSB_{k,n}}{N/3} \tag{2}$$

où n est le numéro de la sous-porteuse appartenant à la sous-bande correspondante et N est le nombre totale des sous-porteuses.

Par conséquent, on définit la fonction d'allocation qui combine les paramètres relatifs aux deux couches PHY et MAC :

$$A_{k,b} = \overline{RSB_{k,b}} \times P_k \tag{3}$$

D'où l'algorithme proposé :

Algorithme 1

```

1  début
2    pour sous-bande  $b$  allant de 1 à 3
3      pour utilisateur  $k$  appartenant à  $\Omega$ 
4        Calculer  $A_{k,b}$ 
5      fin pour
6    Trouver l'utilisateur  $k^*$  tel que :  $k^* = \arg \max_{k \in \Omega} A_{k,b}$ 
7    Allouer la sous-bande  $b$  à l'utilisateur  $k^*$  :  $b \leftarrow k^*$ 
8     $\Omega = \Omega - \{k^*\}$ 
9  fin pour
10 fin

```

avec Ω l'ensemble des utilisateurs.

Donc, pour chaque sous-bande b , l'utilisateur ayant la plus grande fonction d'allocation sur b se verra allouer cette sous-bande.

3.2. Algorithme 2

Dans cet algorithme, nous considérons la bande de fréquences, appartenant au premier groupe, qui s'étale

entre 3.1 et 4.684 GHz. Le but est de maximiser le débit total du système sous contrainte de QoS. Dans ce cas, les sous-porteuses allouées pour un utilisateur ne sont plus nécessairement adjacentes mais nous imposons que chaque utilisateur obtienne finalement 128 sous-porteuses.

On définit $R_k(n)$ le nombre maximal de bits par seconde à transmettre, pour la sous-porteuse n de l'utilisateur k , on a :

$$R_k(n) = \frac{B}{N} \log_2 \left(1 + p_{k,n} \frac{|h_{k,n}|^2}{N_0 \frac{B}{N}} \right) \quad (4)$$

où B est la bande passante, N le nombre total de sous-porteuses qui est égal à 3×128 , $p_{k,n}$ et $h_{k,n}$ sont respectivement la puissance attribuée et le gain du canal pour la sous-porteuse n de l'utilisateur k et N_0 la densité de puissance de bruit blanc gaussien additif.

De même, on définit C_k l'ensemble des sous-porteuses de l'utilisateur k .

Dans l'algorithme proposé, une première allocation est tout d'abord effectuée en attribuant chaque sous-porteuse n à l'utilisateur ayant le plus grand $R_k(n)$ indépendamment de la QoS. Après cette étape, toutes les sous-porteuses des 3 premières sous-bandes sont allouées. Pour tenir compte de la contrainte sur le nombre des sous-porteuses allouées pour un utilisateur, une réallocation est alors gérée de façon à obtenir le même nombre de sous-porteuses occupées par chacun. Cette réallocation est effectuée tout en cherchant à maximiser le débit total du système [7].

Cela conduit au développement de l'algorithme suivant :

Algorithme 2

Entrées : $p_{k,n}$, $h_{k,n}$

Sortie : C_k

11 Début

// Première Allocation

12 **pour** chaque sous-porteuse n allant de 1 à N

13 trouvez l'utilisateur k^* tel que : $k^* = \arg \max_{1 \leq k \leq 3} R_k(n)$

14 $C_{k^*} \leftarrow C_{k^*} \cup \{n\}$

15 **fin pour**

// La Réallocation

16 **pour** k allant de 1 à 3

17 **tant que** $\text{Card}(C_k) > 128$ **faire**

18 $l^* \leftarrow \arg \min_{l \neq k; \text{Card}(C_l) < 128} \min_{n \in C_k, \text{Card}(C_l) < 128} R_l(n) - R_k(n)$

19 $n^* \leftarrow \min_{n \in C_k, \text{Card}(C_l) < 128} R_{l^*}(n) - R_k(n)$

20 $C_{l^*} \leftarrow C_{l^*} \cup \{n^*\}$

21 $C_k \leftarrow C_k - \{n^*\}$

22 **fin tant que**

23 **fin pour**

24 **fin**

4. Simulation

Le type de canal utilisé dans cette étude est celui adopté par le comité du 802.15.3a pour l'évaluation des propositions de la couche physique ULB. Ce modèle est une version modifiée de celui de Saleh-Valenzuela pour les canaux en indoor, répondant aux propriétés des canaux ULB [8]. Quatre modèles de canaux différents (CM1 à CM4) sont définis pour la modélisation de systèmes ULB en fonction de la distance et du délai moyen pour s'adapter au type de liaison (Line-Of-Sight ou Non-Line-Of-Sight).

Nous présentons dans cette partie quelques résultats de simulation pour comparer les performances des deux algorithmes. Dans ces résultats, les trois utilisateurs sont classés du plus au moins prioritaire ($U_1 > U_2 > U_3$) avec des débits cibles égaux à 480, 320 et 160 Mbit/s respectivement. Les comparaisons sont effectuées en termes de capacité de canal finalement obtenues par utilisateur, mais également en référence à un indice de satisfaction défini dans la suite. A noter que les résultats sont obtenus sur 100 réalisations du canal CM1.

A partir de (4), on obtient que la capacité de l'utilisateur k s'écrit :

$$R_k = \frac{B}{N} \sum_{n \in C_k} \log_2 \left(1 + p_{k,n} \frac{|h_{k,n}|^2}{N_0 \frac{B}{N}} \right) \quad (5)$$

où C_k est l'ensemble des sous-porteuses n finalement allouées à l'utilisateur k .

Nous définissons un indice de satisfaction de k par :

$$S(k) = \frac{R_k}{R_{cible}(k)} \times \frac{\sum_{n \in C_k} |h_{k,n}|^2}{\sum_{n \in \Omega_k} |h_{k,n}|^2} \quad (6)$$

où $R_{cible}(k)$ est le débit cible de k et Ω_k est l'ensemble des 128 sous-porteuses ayant les plus grands gains de canal pour l'utilisateur k parmi toutes les sous-porteuses n .

L'indice de satisfaction normalisé sera :

$$\Delta S(k) = \frac{S(k)}{S(K)} \quad (7)$$

Dans la figure 2, nous représentons l'indice de satisfaction normalisé des 3 utilisateurs U_1 , U_2 et U_3 . Nous remarquons que l'indice de satisfaction est inversement proportionnel au débit cible, et comme le canal est quasiment invariant, alors plus ce débit diminue, plus l'indice de satisfaction augmente.

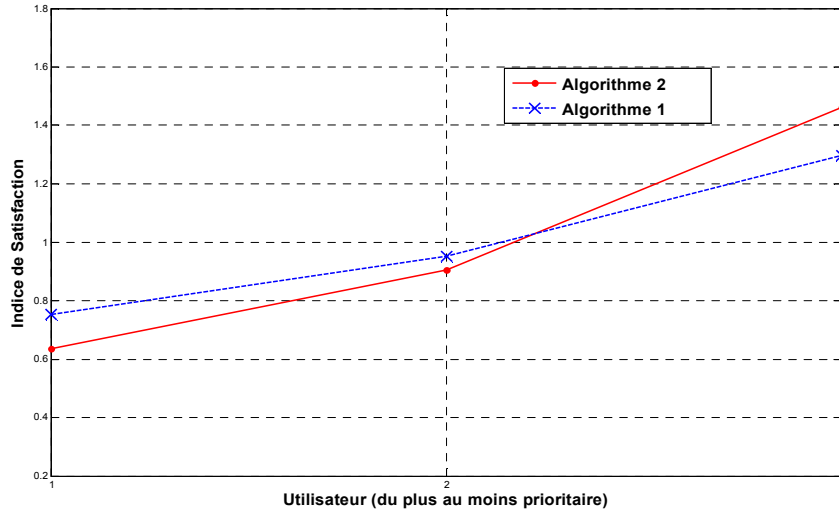


FIG. 2 – Indice de satisfaction.

Comme illustré dans la figure 2, l'algorithme 1 favorise l'utilisateur le plus prioritaire puisqu'il est basé sur une différenciation de service dû à l'utilisation du poids P_k . Par contre, l'algorithme 2 donne une grande dispersion en termes d'indice de satisfaction du fait qu'il maximise le débit total du système sans prendre en compte les besoins individuels de chaque utilisateur.

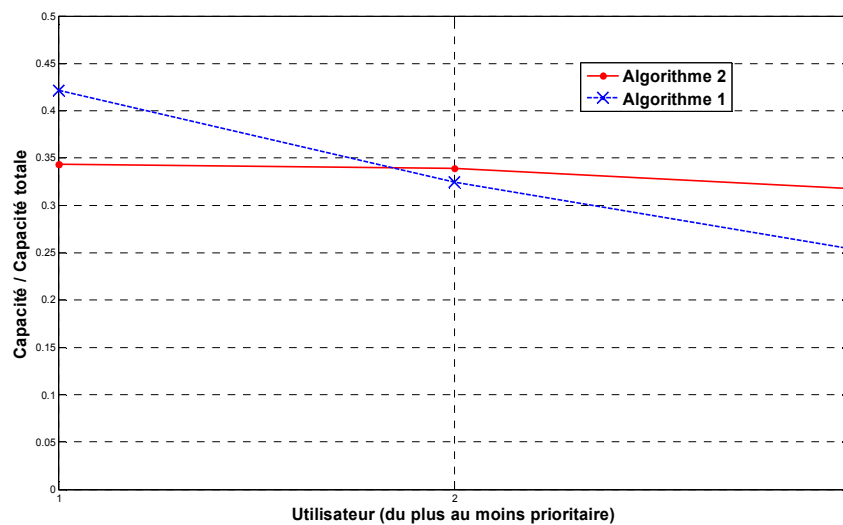


FIG. 3 – Comparaison des capacités par utilisateur.

La figure 3 représente la capacité de chaque utilisateur sur la capacité totale du système. Notons que les utilisateurs sont classés toujours par ordre décroissant suivant la priorité. En comparant les deux courbes obtenues, nous remarquons que l'algorithme 2 assure à tous les utilisateurs un niveau presque similaire en termes de capacité individuelle, donc il peut être qualifié comme équitable au sens de la capacité par utilisateur. L'algorithme 1 assure à l'utilisateur de haute priorité une capacité plus grande que celle d'un autre utilisateur de priorité plus faible en lui donnant la sous-bande la plus favorable ayant les gains de canal les plus grands.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé deux méthodes pour allouer dynamiquement les ressources dans un système ULB sous les exigences de la QoS. La première est basée sur un partage du spectre en sous-bandes tandis que la deuxième s'affranchit de cette contrainte. De même, la première méthode fait intervenir une notion de poids entre utilisateurs directement lié à la QoS, tandis que la deuxième ne prend pas en compte la nature du service mais cherche simplement à maximiser le débit total du système. Nous avons montré que les performances du premier algorithme sont plus efficaces pour les applications temps-réel tandis que dans le second s'impose surtout pour les utilisateurs de faibles priorités. Enfin, chacun de ces deux algorithmes présente ses propres avantages et peut être employé selon le type de l'application et la nature du service.

Bibliographie

1. R. Aiello and A. Batra. *Ultra Wideband Systems: Technologies and Applications*. ELSEVIER 2006.
2. WiMedia Alliance, Inc. Multiband OFDM specification. Release 1.1, Juillet 2005.
3. Standard ECMA-368. High rate ultra-wideband PHY and MAC standard. 2^{ème} édition, Septembre 2007.
4. C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, no. 2, pp. 171-178, Février 2003.
5. W. Rhee and J. M. Cioffi. Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation. *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2000)*.
6. A. Khalil, M. Crussière and J-F. Héland. Dynamic Cross-layer Spectrum Allocation for Multi-band High Rate UWB Systems. *Proc. IEEE International Workshop on Multi-Carrier Systems & Solu-*

tions (MC-SS'09), Allemagne, Mai 2009.

7. D. Kivanc, G. Li and H. Liu. Computationally Efficient Bandwidth Allocation Power Control for OFDMA. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, no. 6, Novembre 2003.
8. Saleh and R. Valenzuela. A statistical model for indoor multipath propagation. *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, vol. 5, no. 2, pp. 128-127, Février 1987.