



# Thèse

présentée devant

l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rennes

pour obtenir le grade de

**Docteur de l'INSA de Rennes**

Spécialité : Electronique et Télécommunications

# Optimisation cross-layer pour des futures générations de réseaux Wi-Fi

par

**Getachew REDIETEAB**

Soutenance prévue le 05 octobre 2012 devant le jury composé de :

## Rapporteurs

Jean-Marie Gorce	Professeur d'Université, INSA de Lyon
Christophe Le Martret	Expert Thales HDR, THALES Communications & Security

## Examineurs

Michel Terré	Professeur d'Université, CNAM Paris
Erik Ström	Professeur d'Université, CHALMERS University Göteborg
Philippe Chambelin	Docteur-ingénieur, TECHNICOLOR Rennes
Laurent Cariou	Docteur-ingénieur, ORANGE LABS Rennes (co-encadrant)
Philippe Christin	Ingénieur, ORANGE LABS Rennes (co-encadrant)
Jean-François Héland	Professeur d'Université, INSA de Rennes (directeur de thèse)

Université Européenne de Bretagne  
Ecole doctorale MATISSE



# Résumé Etendu

Les normes IEEE 802.11, également connues sous l'appellation commerciale Wi-Fi, sont devenues une référence en termes de réseaux locaux sans fil. Depuis la première spécification (1997) jusqu'à la norme IEEE 802.11ac (en cours de normalisation), une augmentation en débit conséquente a été obtenue avec chaque nouvelle génération. Les attentes, en termes de débit, de portée, de fiabilité et de consommation énergétique, pour les prochaines générations sont encore plus élevées. Il y a donc un réel défi technologique à relever. Une approche cross-layer (ou inter-couche) permettant d'optimiser conjointement la couche physique (PHY) et la couche d'accès au canal (MAC, pour Medium Access Control) pourrait donc offrir des pistes d'amélioration intéressantes. C'est le thème que l'on propose d'aborder dans cette thèse. D'ailleurs, les normes IEEE 802.11ac et IEEE 802.11ah intègrent déjà certaines techniques relevant d'une telle d'optimisation.

Durant cette thèse, nous avons étudié des techniques d'optimisation cross-layer principalement dans le cadre de la norme IEEE 802.11ac. Une nouvelle technique d'agrégation pour transmissions multicanaux, où la couche MAC tient compte de la couche PHY et inversement, a été proposée. Elle permet d'améliorer les performances en cas de collisions. Lors de l'évaluation des performances de cette solution, nous avons mis en évidence que certaines fonctionnalités (ou phénomènes) impliquent autant la couche PHY que la couche MAC. Une évaluation réaliste de telles fonctionnalités (ou phénomènes) requiert donc une modélisation fine des mécanismes de ces deux couches. Un simulateur cross-layer conforme à la norme IEEE 802.11ac a donc été développé. C'est le premier simulateur, à notre connaissance, modélisant finement les techniques PHY et MAC de cette norme.

La technique phare de l'IEEE 802.11ac, la transmission multi-antennaire vers plusieurs utilisateurs (MU-MIMO pour Multiple-User Multiple-Input, Multiple-Output), implique la couche PHY et la couche MAC. Nous avons donc utilisé le simulateur développé pour évaluer les performances 'réelles' de solutions MU-MIMO (c'est-à-dire tenant compte des couches PHY+MAC, et non juste de la PHY ou de la MAC) pour les comparer à celles de solutions SU-MIMO (Single-User MIMO). L'impact de la périodicité du sondage canal sur le MU-MIMO a aussi été particulièrement étudié.

Enfin, une nouvelle structure de trame d'acquiescement ultra-courte (niveau PHY) permettant d'améliorer les débits des échanges inter-machine IEEE 802.11ah a été proposée. En conclusion, les différents principes d'optimisation cross-layer étudiés et modélisés par le simulateur PHY+MAC dans le cadre de la norme IEEE 802.11ac peuvent être appliqués aux différentes générations des futurs systèmes Wi-Fi.

# Abstract

IEEE's 802.11 standard, commonly known as wireless fidelity (Wi-Fi), has become de facto the reference in wireless local access networks. From the initial 1997 specification to the undergoing IEEE 802.11ac standardization, a leap in throughput has been observed with every new generation. The expectations for next generations on issues like throughput, range, reliability, and power consumption are even higher. This is quite a challenge considering all the work already done. Cross-layer optimization of physical (PHY) and medium access control (MAC) layers can be an interesting exploration path for further enhancement. IEEE 802.11ac and IEEE 802.11ah have already started using this type of optimization.

During this thesis we have studied cross-layer optimization techniques, with a focus on the IEEE 802.11ac standard. A new multichannel aggregation scheme involving cross-knowledge between PHY and MAC layers has been proposed to improve performance in collision-prone environments. While testing this solution, we have shown that some functionalities or phenomena directly involved PHY and MAC layers. An accurate modeling of both PHY and MAC mechanisms is thus needed to have a realistic characterization of such functionalities and phenomena. A cross-layer simulator, compliant with IEEE 802.11n/ac specifications, has thus been implemented. To the best of our knowledge, this is the first simulator incorporating detailed PHY and MAC functionalities for the IEEE 802.11ac standard.

The multiple-user multiple-input, multiple-output (MU-MIMO) technique, which is one of the main innovations of the IEEE 802.11ac, needs both PHY and MAC layer considerations. We have thus used the implemented cross-layer simulator to evaluate the performance of MU-MIMO and compared it with the single-user MIMO (SU-MIMO). The aim of these studies was to evaluate the 'real' gains of MU-MIMO solutions (accounting for PHY+MAC) over SU-MIMO solutions, and not the generally accepted ones (accounting for MAC only or PHY only). The impact of the channel sounding interval has particularly been studied.

Finally, we have proposed an ultra short PHY layer version of acknowledgment frames for overhead reduction in machine to machine IEEE 802.11ah communications. Thus, the different cross-layer optimization principles, which have been studied and modeled through the PHY+MAC simulator for IEEE 802.11ac systems, can be applied to future generations of Wi-Fi systems.