



**HAL**  
open science

## Ordonnancement du trafic dans un réseau maillé sans fil

Anis Ouni, Fabrice Valois

► **To cite this version:**

Anis Ouni, Fabrice Valois. Ordonnancement du trafic dans un réseau maillé sans fil. 12èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), May 2010, Belle Dune, France. inria-00476313

**HAL Id: inria-00476313**

**<https://inria.hal.science/inria-00476313>**

Submitted on 26 Apr 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Ordonnancement du trafic dans un réseau maillé sans fil

Anis Ouni<sup>1</sup> and Fabrice Valois<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, INRIA INSA Lyon, F-6962, France

---

De nombreux travaux ont montré que la capacité des réseaux maillés de type 802.11 était contrainte par la congestion autour des passerelles permettant l'interconnexion à Internet ; elles forment alors les goulots d'étranglement limitant la capacité du réseau, capacité exprimée en terme de trafic écoulé. En particulier, la limitation de ce goulot d'étranglement peut se faire à travers l'utilisation d'un ordonnancement de type TDMA. Dans ce papier, nous étudions l'impact sur la capacité d'un accès au médium TDMA dans le k-voisinage de la passerelle et CSMA/CA au-delà. Deux stratégies sont considérées : la première augmentant le nombre de slots dans la zone TDMA après avoir déterminé son ordonnancement optimal tandis que la seconde vise à augmenter la taille de la région TDMA. En se basant sur un large éventail de simulations, nous montrons que ces deux approches permettent d'accroître les performances du réseau en terme de capacité et de taux de pertes.

**Keywords:** Réseau maillé sans fil, capacité du réseau, performance du réseau, ordonnancement, TDMA, CSMA/CA.

---

## 1 Introduction

Dans ce papier, nous nous intéressons aux réseaux radio maillés constitués d'un ensemble de points d'accès, équipés d'une fonctionnalité de routage, collectant le trafic de clients et l'envoyant vers l'Internet via des nœuds spécifiques appelés passerelles. Plusieurs études ont mis en évidence un comportement critique de ces types de réseaux lors du passage à l'échelle. Dans [1], confirmés par [2, 3], les auteurs mettent en lumière le caractère fortement contraint de la capacité des réseaux radio, ce qui en fait un paramètre essentiel de la qualité de service. Dans les réseaux maillés, du fait de la concentration de trafic vers les passerelles, la capacité disponible à chaque nœud est réduite à  $\frac{1}{n}$ [4]. [5] étend ce résultat en quantifiant la différence de capacité entre un réseau ad hoc et un réseau ad hoc connecté à Internet. Des modélisations en programmation linéaire des réseaux radio maillés ont été développées dans le but de calculer des allocations optimales de ressources et des bornes sur leur capacité. Il apparaît que le facteur majeur dans la valeur de ces bornes est l'existence d'une zone critique, centrée sur les passerelles, et caractérisée par une forte congestion [6, 7]. Ce résultat est confirmé par [8], qui montre l'insensibilité de la capacité à la topologie, au routage et à la disposition des passerelles et souligne qu'elle est contrainte par les goulots d'étranglement autour des passerelles. D'autres travaux ont traité la problématique de l'ordonnancement autour d'un point d'accès. Une étude de problème d'ordonnancement des rounds (RSP : Rounds Scheduling Problem) a été mise en œuvre dans [9], dans le but de déterminer le nombre minimal de rounds <sup>†</sup>. [10] étudie le problème de pondération des rounds <sup>‡</sup> (RWP : Round Weighting Problem), dans le cas d'une topologie en grille où une passerelle est située au centre ou au coin de la grille. Le but est de déterminer le poids optimal d'un round en fonction de la quantité de trafic total du réseau.

Dans cet article, nous étudions l'ordonnancement de trafic autour de la passerelle grâce à l'utilisation d'un accès au médium TDMA dans le k-voisinage de la passerelle et CSMA/CA [11] au-delà. Nous nous intéressons à deux approches : la première vise à augmenter le nombre de slots dans la zone TDMA après avoir déterminé son ordonnancement optimal. La deuxième vise à augmenter la taille de la région TDMA. À l'aide d'intensives campagnes de simulation, nous montrons que ces deux approches permettent d'accroître les performances du réseau.

---

<sup>†</sup>. Un round est un ensemble des liens qui ne s'interfèrent pas entre eux

<sup>‡</sup>. Donner un poids à un round : définir la durée d'activation des liens appartenant à ce round.

## 2 Méthodologie expérimentale

### 2.1 Hypothèses et environnement du travail

Nous considérons un réseau radio maillé synchrone mono-canal, organisé sous la forme d'une grille constituée de 121 nœuds (11x11) où une passerelle est située au centre pour écouler tous les trafics du réseau vers Internet. Les demandes dans le réseau sont réparties uniformément entre les points d'accès : à chaque période, un routeur (points d'accès) injecte dans le réseau une quantité du trafic qui correspond au trafic agrégé de ses clients. Ce trafic est routé jusqu'à la passerelle par des chemins multi-saut. La couche physique utilisée dans les simulations tient compte du phénomène d'évanouissement en espace libre. Nous considérons un modèle d'interférence géométrique limité à deux sauts.

### 2.2 Démarche et approches proposées

Afin de restreindre le problème de goulot d'étranglement autour de la passerelle, nous proposons une architecture de communication où les nœuds situés dans le  $k$ -voisinage de la passerelle fonctionnent en TDMA (nœuds TDMA), et CSMA/CA au-delà (nœuds CSMA). De plus, nous proposons deux stratégies d'augmentation de la capacité : la première cherche à augmenter le nombre de slots alloué à la région TDMA après avoir déterminé un ordonnancement optimal ; la seconde propose d'augmenter la taille du  $k$ -voisinage utilisant TDMA.

### 2.3 Ordonnancement optimal

En considérant un réseau synchrone, nous cherchons à avoir un ordonnancement optimal en se basant sur le problème du "round weighting" où chaque sous-ensemble de liens non interférants (round) doit être activé pendant une durée de temps bien déterminée. L'objectif étant de minimiser le nombre global d'activation des rounds : cela se traduit par un ordonnancement des communications qui nous garantit d'écouler  $p(v)$  paquets par chaque nœud  $v$  dans le réseau pendant un minimum de durée possible (période  $T$ ). En minimisant l'amplitude de la période, le trafic de chaque nœud est ainsi transporté à un débit maximal  $p(v)/T$ . Afin de respecter les contraintes d'interférences, les liens pouvant être activés ensemble doivent être deux à deux sans interférence. Pour ce faire, les communications doivent être ordonnancées dans le temps. Une période est découpée en intervalles et chaque intervalle est ensuite alloué à un round. La définition des rounds et la détermination des poids optimaux sont issus des travaux de [7].

### 2.4 Métriques à calculer

Afin d'évaluer les performances du réseau nous nous intéressons aux métriques suivantes :

**Capacité du réseau** : c'est la quantité des trafics envoyés par tous les nœuds du réseau et écoulé vers Internet à travers la passerelle pendant la durée de simulation. Une capacité plus importante du réseau permet d'offrir une meilleure qualité de service à un plus grand nombre d'utilisateurs.

**Capacité du flux** : c'est la somme de tous les trafics émis par un nœud et reçu par la passerelle pendant la durée simulation. Cette métrique permet d'étudier le problème du partage équitable de la bande passante entre les nœuds.

**Taux de perte par nœud** : c'est la proportion de paquets perdus sur le nombre de paquets effectivement émis. Cela permet de déterminer la région du réseau possédant le taux de perte le plus important.

Dans cet article, la capacité de flux et le taux de pertes sont présentés par niveau<sup>§</sup>. L'ensemble des résultats est issu de campagnes de simulations avec un intervalle de confiance de 95%.

## 3 Étude des performances

**Augmentation de la région TDMA** : Nous étudions l'impact de l'augmentation de la zone TDMA sur les performances du réseau. Nous commençons par un scénario où tous les nœuds du réseau n'utilisent que le CSMA/CA, et nous passons par la suite à d'autres scénarios en augmentant progressivement la zone TDMA d'un niveau. Nous calculons, à chaque fois, un ordonnancement optimal permettant d'écouler le

---

§. C'est l'ensemble des nœuds qui sont à la même distance de la passerelle en nombre de sauts.

trafic émis par la zone TDMA pendant une durée minimale de temps comme décrit dans [7].

La figure 1(a) illustre la variation de la capacité du réseau en fonction de la profondeur de la zone TDMA. Soulignons que l'augmentation d'un ou deux niveaux de la zone TDMA entraîne une amélioration remarquable la capacité du réseau, alors qu'à partir du troisième niveau elle a tendance à être constante. Pour améliorer la capacité du réseau il est intéressant de diminuer les interférences sur les nœuds autour de la passerelle qui écoulent tous les trafics du réseau. Puisque le modèle d'interférence est à deux sauts, il faut ordonner au moins les trois niveaux autour de la passerelle.

La figure 1(b) illustre la variation de la capacité moyenne de flux par niveau en fonction de l'augmentation de la zone TDMA. Nous remarquons qu'en augmentant la région d'ordonnancement, le nombre de nœuds qui profitent de la bande passante augmente. De plus, la capacité de flux a tendance à être équitable entre les nœuds TDMA. On voit aussi que seulement les nœuds TDMA qui profitent le maximum de la capacité du réseau. En fait, le nombre de slots alloués prend en compte seulement les nœuds TDMA. A cet effet, il est intéressant d'augmenter le nombre de slots afin de donner plus de chance aux nœuds CSMA pour écouler leurs trafics vers la passerelle.

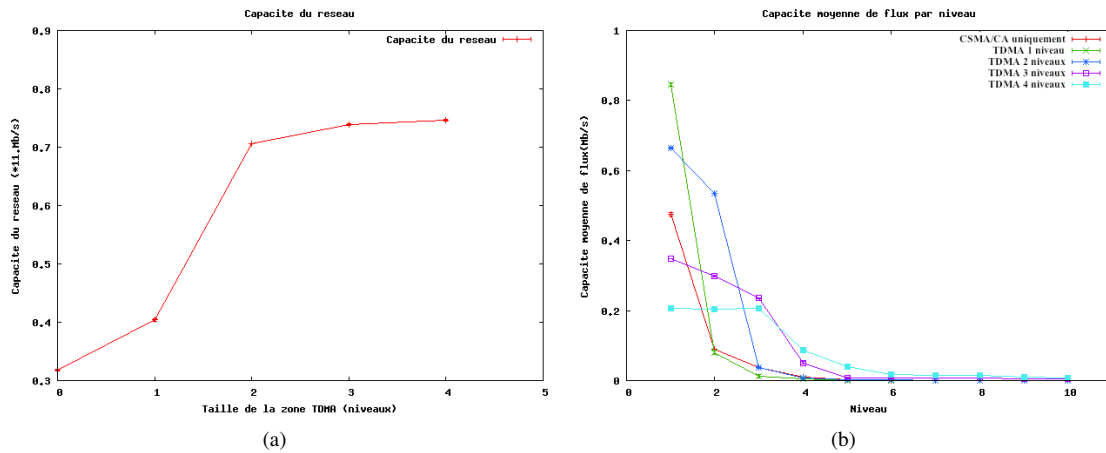


FIGURE 1: Variation de la capacité du réseau (a) et la capacité moyenne de flux par niveau (b) en fonction de l'augmentation de la zone TDMA.

**Augmentation des poids dans la région TDMA :** Dans ce scénario, la région TDMA est fixé à quatre niveaux. Nous augmentons à chaque fois le nombre de slots jusqu'à tendre vers une utilisation optimale de la bande passante sur tout le réseau. La figure 2(a) (respectivement la figure 2(b)) représente, une comparaison entre les capacités de flux ( respectivement les taux de pertes) dans le cas d'un réseau sans ordonnancement (tout CSMA/CA) et un réseau avec un ordonnancement de 4 niveaux autour de la passerelle. On voit également que l'ordonnancement améliore nettement les performances du réseau. La bande passante est partagée par tous les nœuds du réseau ; la capacité de flux pour chaque nœud tend vers une capacité moyenne équitable présenté par la droite horizontale (cas d'un réseau tout TDMA). La capacité du réseau a été augmenté plus que de deux fois (fig 1(a)). Notons que le taux de perte a diminué fortement et que l'essentielle des pertes se fait sur la frontière TDMA/CSMA.

## 4 Conclusion

Nous avons étudié dans cet article l'ordonnancement des trafics autour de la passerelle dans un réseau radio maillé. Nous avons présenté deux approches principales : augmentation du profondeur de la région TDMA et augmentation du nombre de slots après avoir calculé un ordonnancement optimal. Nous avons montré que ces deux approches permettent d'obtenir des performances du réseau plus pertinentes que celle d'un réseau sans ordonnancement. Un travail important doit être mené pour adresser les fortes pertes de paquets sur la frontière TDMA/CSMA, mais aussi la prise en compte de topologies aléatoire.

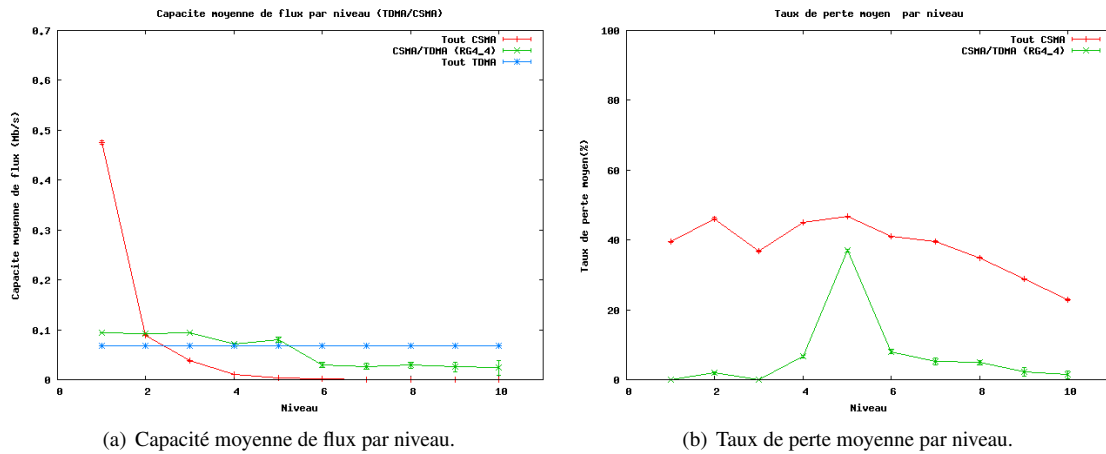


FIGURE 2: Comparaison de performance entre CSMA-TDMA (RG4-4) et CSMA (RG0).

## Références

- [1] P. Gupta and P. R. Kumar. The capacity of wireless networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46 :388–404, March 2000.
- [2] M. Franceschetti, O. Dousse, D. Tse, and P. Tiran. Closing the gap in the capacity of random wireless networks. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, page 438, Chicago, USA, June-July 2004.
- [3] G. Méheut, S. Pérennes, and H. Rivano. Evaluation stochastique et simulation des réseaux radio. *Research report 5989*, 2006, INRIA.
- [4] J. Jun and M. L. Sichitiu. The nominal capacity of wireless mesh networks. *IEEE Wireless Communications*, vol. 10, no 5 :p. 8–14, October 2003.
- [5] H. Rivano, F. Theoleyre, and F. Valois. A framework for the capacity evaluation of multihop wireless networks. *Ad Hoc and Sensor Wireless networks (AHSWN)*, vol. 9, number 3-4, January 2010.
- [6] C. Molle, F. Peix, S. Pérennes, and H. Rivano. Optimal routing and call scheduling in wireless mesh networks with localized information. In *the 4th Symposium on Trustworthy Global Computing (TGC 2008)*, volume 5474 of LNCS :pages 171–185, Barcelona, Spain, November 2008.
- [7] C. Gomes, S. Pérennes, and H. Rivano. Bottleneck analysis for routing and call scheduling in multihop wireless networks. In *4th IEEE Workshop on Broadband Wireless Access (BWA)*, New Orleans, USA, December 2008.
- [8] A. Ouni, H. Rivano, and F. Valois. Capacity of wireless mesh networks : determining elements and insensible characters. In *PlanNet 2010, International Workshop on Planning and Optimization of Wireless Communication Networks (IEEE WCNC2010 Workshop)*, Sydney, Australia, April, 2010.
- [9] J.-C. Bermond and J. Peters. Efficient gathering in radio grids with interference. In *In Septièmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel'05)*, page 103–106, Presqu'île de Giens, May 2005.
- [10] C. Gomes, S. Pérennes, P. Reyes, and H. Rivano. Bandwidth allocation in radio grid networks. In *10èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (Algo Tel'08)*, Saint Malo, may 2008.
- [11] IEEE Std 802.11-2007. Ieee standard for information technology- telecommunications and information exchange between systems- local and metropolitan area networks-specific requirements - part 11 : Wireless lan medium access control and physical layer specifications. *Technical report*, June 2007.