



**HAL**  
open science

## Optimisation multiobjectif des performances d'un réseau sans fil

Katia Jaffrès-Runser, Mary Schurgot, Cristina Comaniciu, Jean-Marie Gorce

### ► To cite this version:

Katia Jaffrès-Runser, Mary Schurgot, Cristina Comaniciu, Jean-Marie Gorce. Optimisation multiobjectif des performances d'un réseau sans fil. 12èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), 2010, Belle Dune, France. pp.1. <inria-00477342>

**HAL Id: inria-00477342**

**<https://inria.hal.science/inria-00477342v1>**

Submitted on 28 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.



HAL Authorization

# Optimisation multiobjectif des performances d'un réseau sans fil

Katia Jaffrès-Runser<sup>1 2</sup> and Mary Schurgot<sup>2</sup> and Cristina Comaniciu<sup>2</sup>  
and Jean-Marie Gorce<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, INRIA, INSA Lyon, F-69621, France

<sup>2</sup>WNET, ECE Dept., Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey, USA

---

La performance de la transmission dans les réseaux ad hoc se mesure communément selon plusieurs métriques que sont la capacité, le délai ou encore la consommation d'énergie. Néanmoins, il n'existe pas à notre connaissance de modèle théorique d'évaluation des performances qui permette de décrire les compromis optimaux entre plusieurs mesures de performance du réseau. Le but de ces travaux n'est pas de proposer un algorithme de routage mais de façon plus générale, de proposer un modèle d'évaluation des performances du réseau dans un cadre multiobjectif. Ce modèle permettra de mieux comprendre les compromis existants entre plusieurs métriques de qualité de service définies pour le réseau. Dans notre approche, nous définissons un modèle probabiliste de réseau qui capture les interactions dues à la présence des interférences sur le médium radio à différents niveaux de l'empilement protocolaire. La modélisation obtenue se traduit par un problème d'optimisation combinatoire multiobjectif complexe qui peut se résoudre à l'aide d'heuristiques de recherche multiobjectif. Nous présentons ici les premiers résultats obtenus pour un réseau de capteur où les trois critères que sont la robustesse, le délai et l'énergie sont considérés.

**Keywords:** Evaluation de performance, Réseaux sans-fils, Optimisation multiobjectif

---

## 1 Introduction

Les réseaux ad hoc et de capteurs sont souvent déployés dans des environnements difficiles pour lesquels il est nécessaire de mesurer la performance d'une transmission selon plusieurs critères tels que la robustesse, le délai ou encore le niveau de sécurité. Le protocole de routage a pour objectif de garantir la transmission des paquets par le choix des chemins entre la source et le destinataire. Selon l'application choisie, différentes contraintes de conception se voient rajoutées en terme par exemple de délai ou de consommation d'énergie. Ainsi, la validation de tels protocoles passe par l'analyse de plusieurs mesures de performance.

Lors de la conception d'un protocole de routage pour une topologie de réseau donnée, il est intéressant de connaître les bornes que l'on peut atteindre pour plusieurs critères de performance. De telles bornes illustrent les compromis existant entre les mesures de performance considérées. Pour cela, il est nécessaire de définir un cadre pour la modélisation multicritère des performances d'un réseau ad hoc sans fil. La plupart des travaux présentés dans la littérature s'attachent à caractériser les compromis pour un voire deux critères. La métrique la plus étudiée est la capacité [MRM09] [GK00]. Une analyse du compromis capacité-délai a été proposée par Gamal et al. dans [GMPS04]. Une borne serrée hyperbolique pour le compromis énergie-délai a été proposée par Brand et Molisch in [BM08]. À ce que nous savons, il n'existe pas de travaux qui cherchent à déterminer des bornes pour plus de deux critères de performance à la fois.

Dans cet article, nous proposons un nouveau cadre qui permet de modéliser plusieurs critères de performance simultanément pour des réseaux sans-fils. Nous définissons à la fois un modèle probabiliste cross-layer (trans-couches) du réseau sur lequel nous définissons un problème d'optimisation multiobjectif. Les interférences sont prises en compte de façon exactes grâce à une formulation qui modèle les interactions entre les décisions de routage et l'allocation des ressources au niveau physique. De par sa définition probabiliste, les bornes sont valides pour différentes techniques de routage telles que le routage multi-sauts, par diffusion de broadcast ou multi-chemins. Le problème d'optimisation multiobjectif est résolu à l'aide d'une

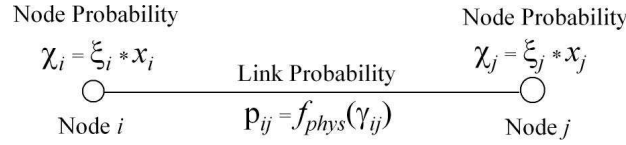


FIGURE 1: Probabilités des nœuds et du lien  $(i, j)$ .

heuristique dénommée PMOTS qui recherche l'ensemble des solutions Pareto-optimales, c'est-à-dire l'ensemble des solutions non-dominées. Cette formulation globale du problème multi-critère de transmission est ici appliquée aux réseaux de capteurs pour lesquels la robustesse, le délai et l'énergie sont considérés.

La section 2 présente le modèle probabiliste cross-layer pour un réseau sans fil et définit le routage comme un problème d'optimisation multiobjectif. Les résultats relatifs à une première application aux réseaux de capteurs sont donnés dans la section 3. La section 4 conclut l'article.

## 2 Modèle probabiliste "cross-layer"

Le modèle repose sur un réseau probabiliste caractérisé par deux probabilités illustrées par la figure 1 :

- La probabilité du nœud ( $\chi_i$ ) représente la probabilité que le nœud  $i$  retransmette un paquet reçu au niveau routage. Elle a deux composantes ( $\chi_i = \xi_i \cdot x_i$ ). La première  $\xi_i$  est déterminée par l'impact de l'environnement du nœud et des autres protocoles implantés (e.g. taux d'erreur des nœuds, risques de sécurité, ...), la seconde  $x_i$  correspond à la décision de routage à proprement parler.
- La probabilité du lien ( $p_{ij}$ ) représente la disponibilité du lien, i.e., la probabilité d'une transmission avec succès sur le lien  $(i, j)$ . Cette probabilité dépend des décisions de tous les nœuds du réseau et des paramètres des autres protocoles utilisés au niveau de la couche MAC ou physique.

A la fois la probabilité des nœuds et la probabilité du lien sont fortement dépendants l'un de l'autre de par la nature du médium radio. Ainsi, si le taux d'activité de chaque nœud sur le canal radio est fixé, on peut en déduire la distribution des interférences. On peut alors dériver la probabilité des liens comme une fonction de la distribution des rapports signal à bruit (SINR). Une fois que les probabilités des liens et des nœuds sont connues, on peut définir plusieurs métriques de performance pour différents modes de transmission.

**Modèle** On considère un réseau aléatoire de nœuds uniformément distribués sur le plan. La communication entre deux nœuds du réseau est réalisée selon un chemin potentiellement multi-sauts en mode semi-duplex. La bande passante est décomposée en  $R$  ressources radio (time slots ou fréquences). Cet article présente les résultats pour un flux unique mais le modèle peut être étendu pour prendre en compte des flots multiples de par la modélisation des interférences utilisée. La source transmet un trafic constant dans un des  $R$  time slots. Un relais ne possède pas de file d'attente et peut retransmettre plusieurs fois le même paquet. Si plusieurs paquets sont reçus dans la même trame, le nœud ne peut retransmettre que la proportion de paquets que sa probabilité  $x_i$  permet. Le nombre de sauts maximum  $H_M$  un paquet peut transiter dans le réseau (similaire à un TTL) est fixé.

**La probabilité d'un lien** La probabilité du lien  $(i, j)$  dans le time slot  $r$ ,  $p_{ij}(r)$ , est définie comme la probabilité d'un paquet envoyé par  $i$  d'arriver en  $j$  en utilisant la ressource  $r$  connaissant la distribution statistique du taux d'erreur paquet (PER) du lien  $(i, k)$ . Une définition complète de  $p_{ij}(r)$  est donnée dans [JRSCG10].

**Le taux de transmission**  $\tau_i(r)$  détermine l'activité du nœud  $i$  dans la ressource  $r$  et est définie par la proportion du temps le nœud  $i$  transmet sur la ressource  $r$ . Cette valeur est liée à la probabilité du nœud  $\chi_i$  et à la distribution du trafic dans le réseau.

Connaissant les valeurs de  $p_{ij}(r)$  pour chaque ressource  $r$ , une probabilité globale du lien  $p_{ij}$  est définie comme la probabilité que le message arrive en  $j$  en utilisant une des ressources  $r$ . Elle est définie par

$$p_{ij} = \sum_{r=1; \tau_i(r) \neq 0}^R p_{ij}(r) \frac{\tau_i(r)}{\sum_r \tau_i(r)} \quad (1)$$

avec  $\tau_i(r)/\sum_r \tau_i(r)$  la probabilité pour un paquet d'être envoyé avec la ressource  $r$ .

**La probabilité d'un nœud**  $\chi_i = \xi_i \cdot x_i$  est la probabilité d'un nœud  $i$  de retransmettre un message reçu. Dans la suite, nous considérons  $\xi_i = 1$  et  $x_i$  devient la variable principale du problème. Pour  $x_i = 1$ , chaque paquet reçu par  $i$  est retransmis. Pour  $x_i < 1$  le nœud  $i$  jette des paquets avec probabilité  $1 - x_i$ . Les valeurs de  $x_i > 1$  sont considérées comme invalides dans le modèle.

Le taux de transmission  $\tau_i(r)$  est une fonction de  $x_i$  et du trafic entrant dans  $i$ , qui est lui-même une conséquence de l'activité des autres nœuds du réseau. De ce fait, calculer la valeur des  $\tau_i(r)$  sachant la valeur des  $x_i$  est impossible. Par contre, l'approche inverse où les variables  $x$  sont exprimées comme une fonction des  $\tau_i(r)$  est possible. Dans ce cas,  $x_i$  est donné par l'équation de conservation des flux :

$$x_i = \frac{\sum_r \tau_i(r)}{\sum_{k \neq \{i, D\}} \sum_r p_{ki}(r) \cdot \tau_k(r) \cdot v_{ki}} \quad (2)$$

où  $\sum_r \tau_i(r)$  représente le flux d'information sortant de  $i$  et  $\sum_{k \neq \{i, D\}} \sum_r p_{ki}(r) \cdot \tau_k(r) \cdot v_{ki}$  le flux entrant. La variable binaire  $v_{ki}$  introduit la contrainte du nombre de saut sur un lien  $(k, i)$ .

Par conséquence, l'utilisation de cette approche réciproque conduit à l'utilisation des taux de transmission comme variables du problème d'optimisation multiobjectif (MO). Ainsi une solution du problème d'optimisation MO est défini par l'ensemble des taux de transmission  $\tau_i(r) \in [0, 1]$  de chaque nœud  $i$  pour chaque ressource  $r$ . Les variables  $\tau_i(r)$  prennent leurs valeurs dans un ensemble discret  $\Gamma$  de taille  $T = |\Gamma|$ . La taille de cet ensemble de solutions est de l'ordre de  $O(T^N)$  et présente donc une combinatoire très élevée. Le but de ce problème d'optimisation est d'obtenir l'ensemble des stratégies de routage Pareto-optimales. Un ensemble de Pareto est composé de toutes les solutions non-dominées du problème. Nous proposons de le résoudre avec une métaheuristique MO dénommée PMOTS détaillée dans [JRSCG10] basée sur une recherche tabou parallèle.

**Première application aux réseaux de capteurs** Trois critères de performance que sont la robustesse, le délai et l'énergie de transmission ont été définis avec notre modèle [JRSCG10]. La robustesse  $f_R$  est définie comme la probabilité que le message arrive avec succès en au plus  $H_M$  sauts. Le délai  $f_D$  est défini par le nombre moyen de relais nécessaires pour arriver à  $D$ . Par conséquent,  $f_D = 0$  pour une transmission directe entre  $S$  et  $D$ . Le critère d'énergie  $f_E$  est donné par l'énergie de retransmission nécessaire au réseau pour transmettre un paquet de  $S$  à  $D$ . L'énergie en transmission et en réception est prise en compte.

### 3 Premiers résultats

Le réseau est composé de  $N = 333$  nœuds uniformément distribués avec une densité  $\rho = 0.004$ . Nous avons  $R = 2$  time slots. Il est possible de restreindre la dimension de l'espace de recherche en fixant le nombre maximum de nœuds qui peuvent retransmettre un paquet dans une solution. Ce sous-problème est désigné par le terme de problème  $M$ -relais. Nous présentons sur la figure 2 les résultats relatifs aux problèmes 1- et 2-relais. Pour le problème 1-relais,  $\tau_i(r)$  appartient à l'ensemble  $\Gamma = \{0, 0.05, \dots, 0.95, 1.0\}$ ,  $T = 21$ . L'ensemble Pareto-optimal a été obtenu à l'aide d'une recherche exhaustive. Pour le problème 2-relais, nous avons  $\tau_i(r) \in \Gamma = \{0, 0.1, \dots, 0.9, 1.0\}$ ,  $T = 11$ . Pour ce sous-problème, la résolution n'est possible qu'avec PMOTS. Les résultats présentés sont obtenus après 10 jours et 4h de calcul.

Les courbes de la figure 2 montrent bien qu'une amélioration de la robustesse n'est obtenue qu'au prix d'une augmentation du délais. Ce compromis s'explique facilement car la robustesse augmente quand un relais participe à la transmission avec une probabilité de retransmission plus élevée, ce qui augmente le délais. De même, ceci implique une augmentation de la consommation d'énergie puisque le relais est plus longtemps actif. Les solutions qui offrent une transmission quasi parfaite ( $f_R > 0.999$ ) sont composées d'un seul relais. Dans [JRSCG10], nous montrons que ces relais optimaux pour la robustesse sont positionnés sur une zone centrée autour du milieu du segment formé par la source  $S$  et la destination  $D$ . L'approximation de l'ensemble des solutions Pareto-optimales du problème 2-relais nous permet déjà de bien observer les compromis existant entre les 3 critères. Compte-tenu des résultats actuels, PMOTS n'a pas encore trouvé de solutions composée de 2 relais qui domine les solutions à 1 relais en terme de robustesse. Ainsi, pour

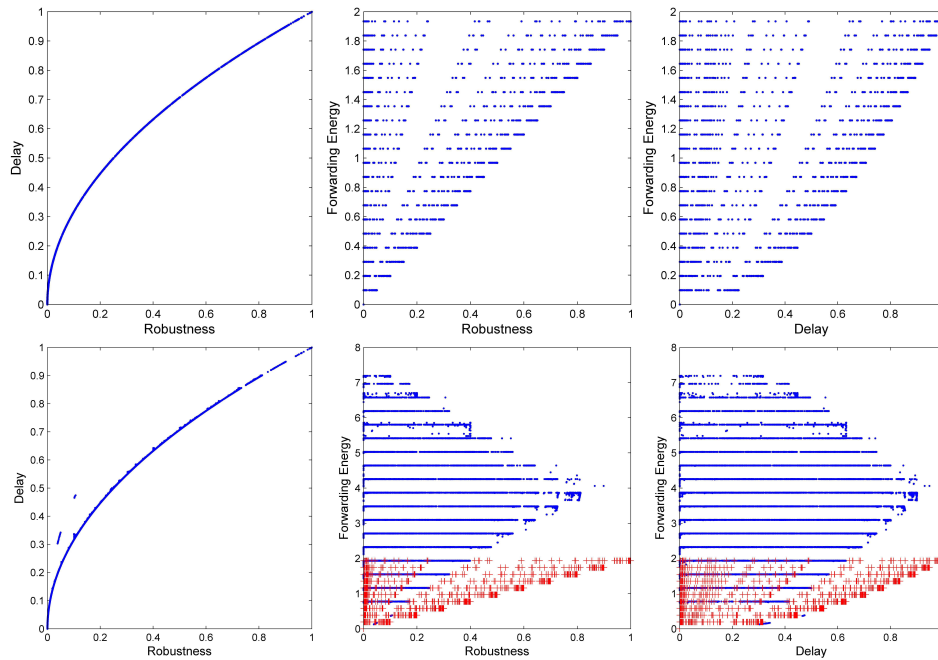


FIGURE 2: Projections de l'ensemble de Pareto de 3855 solutions pour le problème à 1 relais (Haut) et ensemble de Pareto de 56905 solutions pour le problème 2-relais (Bas). Pour le problème 2-relais, les 1894 solutions composées d'un seul relais sont représentées avec des croix rouges.

cette configuration de réseau, on peut a-priori en conclure que le meilleur routage pour le réseau considéré passe par l'utilisation d'un seul relais central.

## 4 Conclusion

Ces travaux présentent les premiers résultats obtenus avec un modèle d'optimisation multiobjectif du routage pour les réseaux sans fil. Le cadre général proposé se base sur une formulation probabiliste du réseau qui modélise finement les interférences et l'effet cross-layer. La transmission dans ce réseau probabiliste est définie à l'aide d'un problème d'optimisation multiobjectif difficile. Les premiers résultats qui donnent des bornes de performance pour un réseau de capteurs déployé aléatoirement sont présentés. Pour pouvoir traiter des environnements plus grands, il est possible d'une part d'améliorer la métaheuristique de recherche des solutions et d'autre part de peut-être simplifier la formulation du problème en passant par une modélisation continue du réseau.

## Références

- [BM08] M. Brand and A.F. Molisch. Delay-energy tradeoffs in wireless ad-hoc networks with partial channel state information. In *IEEE GLOBECOM 2008*, November 2008.
- [GK00] P. Gupta and P.R. Kumar. The capacity of wireless networks. *IEEE Transaction on Information Theory*, 46(2) :388–404, March 2000.
- [GMPS04] A. Gamal, J. Mammen, B. Prabhakar, and D. Shah. Throughput-delay trade-off in wireless networks. In *Proceedings of INFOCOM 2004*, volume 1, pages 464–475, March 2004.
- [JRSCG10] K. Jaffrès-Runser, M.R. Schurgot, C. Comaniciu, and J.-M. Gorce. A multiobjective optimization framework for routing in wireless ad hoc networks, INRIA RR-7180, January 2010.
- [MRM09] V. Mhatre, C. Rosenberg, and R. Mazumdar. On the capacity of ad-hoc networks under random packet losses. *IEEE Transaction on Information Theory*, 55(6) :2494–2498, June 2009.