



**HAL**  
open science

## Optimisation du nombre de retransmissions dans un réseau à bande ultra étroite basé sur R-FTDMA

Minh Tien Do, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce

► **To cite this version:**

Minh Tien Do, Claire Goursaud, Jean-Marie Gorce. Optimisation du nombre de retransmissions dans un réseau à bande ultra étroite basé sur R-FTDMA. ALGOTEL 2015 - 17èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, Jun 2015, Beaune, France. hal-01148425

**HAL Id: hal-01148425**

**<https://hal.science/hal-01148425v1>**

Submitted on 4 May 2015

**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.

# Optimisation du nombre de retransmissions dans un réseau à bande ultra étroite basé sur R-FTDMA

Minh-Tien Do<sup>1,2</sup>, Claire Goursaud<sup>1</sup> et Jean-Marie Gorce<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CITI-Lab, Insa Lyon, 20 Avenue Albert Einstein, F-69621, Villeurbanne cedex, France

<sup>2</sup> SIGFOX-SA, Bâtiment E-volution, 425 rue Jean Rostand, Labège, F-31670, France

---

La technologie ultra bande étroite (UNB) est très prometteuse pour les réseaux de capteurs sans fil à faible débit. Déjà déployée dans le réseau SigFox, elle permet le transfert d'informations bas débit pour une faible consommation d'énergie, une très longue portée et un faible coût. L'accès au canal se fait intrinsèquement (à cause de la précision actuelle des oscillateurs) par accès multiple par répartition aléatoire de fréquence et de temps (R-FTDMA). Le caractère aléatoire en temps et en fréquence de R-FTDMA conduit potentiellement à des interférences. Ces collisions entre paquets est un facteur limitant dans les performances du système. Par conséquent, nous proposons dans ce papier d'analyser un mécanisme de retransmission pour ce type de réseau. En considérant la probabilité de coupure, nous évaluons les protocoles d'accès, et montrons qu'il existe un nombre de retransmissions optimal.

**Keywords:** Réseau de capteurs, UNB transmission, Random-FDMA schéma, mécanisme de retransmission

---

## 1 Introduction

La technologie de transmission basée sur une couche PHY à bande ultra étroite (UNB) a déjà été déployée dans le réseau Sigfox [1] et a démontré sa grande efficacité pour les communications point-à-point. Elle consiste à transmettre des données en utilisant une largeur de bande très petite (environ 200Hz). L'intérêt est que le niveau de bruit thermique subi est alors fortement réduit. Elle est ainsi parfaitement adaptée aux réseaux de capteurs sans fil à faible débit, car elle est capable de servir, sur une large couverture, un grand nombre d'utilisateurs demandant du bas débit (par exemple, pour une surveillance de la température, compteurs électriques, etc.). L'accès multiple par répartition aléatoire de fréquence (Random-FDMA) inhérent à ce réseau UNB a déjà été étudié dans [2]. Cette technique d'accès permet de supprimer le surcoût lié à un réseau organisé, mais conduit à des interférences qui limitent les performances [3].

Par conséquent, afin d'améliorer la fiabilité de transmission dans ce type de réseau, le mécanisme de retransmission [4] peut être réutilisé. Dans cet article, nous étudions les performances du système en considérant l'accès aléatoire en fréquence mais aussi en temps (i.e., accès multiple par répartition aléatoire de fréquence et de temps (R-FTDMA)). En outre, les performances du système avec retransmission sont analysées. Les résultats sont obtenus par la simulation sous Matlab.

## 2 R-FTDMA : présentation et proposition

### 2.1 Principes du Random-FTDMA

Dans un système R-FTDMA, la spécificité principale est le caractère aléatoire en temps et en fréquence. La Figure 1 représente un exemple d'occupation en temps et en fréquence du canal pour 4 utilisateurs actifs. Le caractère aléatoire en fréquence a un impact sur la position de la porteuse de chaque utilisateur actif dans la bande totale. Le choix de la porteuse est réalisé sans connaissance

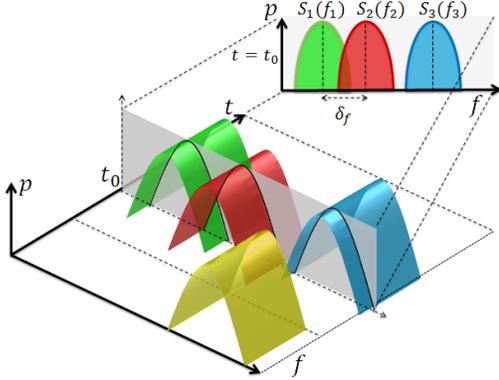
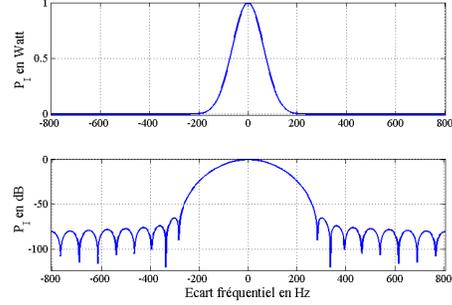


FIGURE 1: Exemple de répartition temporelle et spectrale des utilisateurs.


 FIGURE 2: Comportement de l'interférence  $P_I$  en fonction de l'écart fréquentiel  $\delta_f$ .

de l'occupation du canal, et peut se faire de façon discrète ou continue [2]. Dans le cas discret, comme pour les techniques actuelles, les porteuses sont choisies au hasard dans un sous-ensemble discret et prédéfini de fréquences. Cependant, en raison de la gigue fréquentielle des oscillateurs disponibles actuellement, l'imprécision sur la fréquence porteuse est d'au minimum 400Hz, ce qui est au-delà de la largeur de bande utilisée pour la transmission, rendant cette solution inopérable. En conséquence, nous considérons le schéma d'accès multiple par répartition aléatoire continue de fréquence, où les porteuses peuvent être choisies au hasard dans la bande de fréquences continue. D'autre part, le *caractère aléatoire en temps* a un impact sur l'instant de transmission.

Un des avantages du R-FTDMA est la suppression de la surcharge de trafic nécessaire pour la synchronisation et la gestion du réseau, ce qui est intéressant dans un réseau où les données sont transmises sporadiquement. D'autre part, la contrainte sur la précision de la fréquence est relâchée. Par conséquent, le coût et la complexité des transmetteurs peuvent être réduits.

## 2.2 Interférence dans un réseau R-FTDMA

L'absence de protocole de contrôle dans le domaine temporel et fréquentiel peut conduire à un chevauchement fréquentiel entre deux utilisateurs qui transmettraient simultanément. Pour un interférent unique et un instant donné, le niveau d'interférence induit est obtenu en multipliant la réponse fréquentielle du signal utile et celle de l'interférent [3]. En négligeant l'atténuation des canaux de transmission, les puissances reçues sont identiques. Donc, en cas d'émission simultanée, l'interférence dépend uniquement de l'écart fréquentiel  $\delta_f = |f_1 - f_2|$  entre la porteuse de l'utilisateur souhaité  $f_1$  et celle de l'interférent  $f_2$  :

$$P_I(t) = P(\delta_f, t) \quad (1)$$

Sur la Figure 2, nous pouvons observer que l'interférence est faible si l'écart fréquentiel  $\delta_f$  est assez grand. Ainsi, un interférent unique génère un niveau d'interférence conséquent seulement si  $\delta_f$  est très petit. En particulier, nous avons déterminé que le seuil de taux d'erreur (BER)  $10^{-3}$  (soit le rapport signal à interférence plus bruit (SINR) 6,8 dB) est obtenu pour  $|\delta_f| > 113$  Hz [2].

## 2.3 Mécanisme de retransmission

Nous considérons  $N$  utilisateurs actifs utilisant un schéma R-FTDMA. Chaque utilisateur  $i$ ,  $i \in [1, \dots, N]$  sélectionne aléatoirement une porteuse  $f_i$  et un instant de transmission. Par conséquent, la collision se produit lorsque deux utilisateurs actifs émettent simultanément et que l'écart fréquentiel entre leurs porteuses  $\delta_f$  tombe dans l'intervalle  $[-113; 113]$  Hz.

Nous considérons que chaque paquet (ou message) de durée  $d$  est transmis exactement  $n_r$  fois pendant la durée de vie du paquet  $t_{max}$ , indépendamment du succès des transmissions précédentes

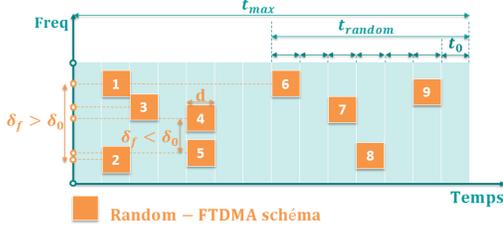


FIGURE 3: Illustration de la retransmission  $n_r = 2$  pour une durée de vie d'un paquet  $t_{max}$

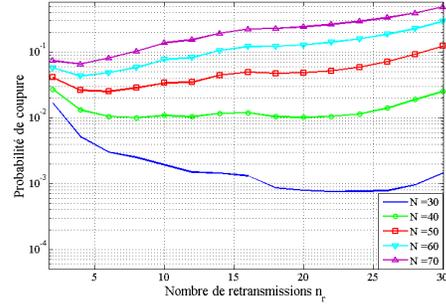


FIGURE 4: OP vs nombre de retransmissions  $n_r$  avec  $BW = 12$  kHz et  $t_{max} = 15$  secs.

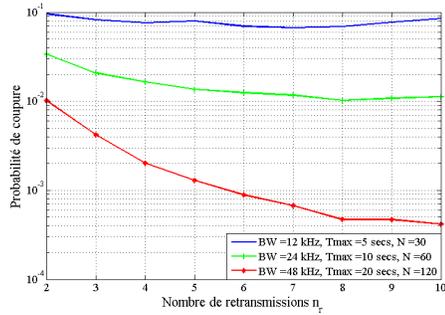


FIGURE 5: OP vs nombre de retransmissions  $n_r$  avec différent  $BW$ ,  $t_{max}$  et  $N$ .

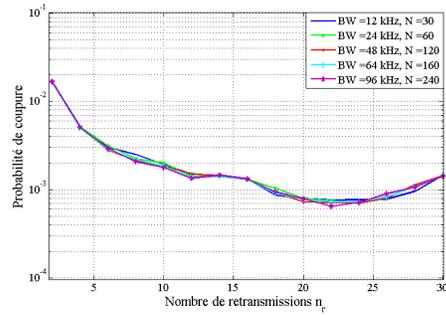


FIGURE 6: OP vs nombre de retransmissions  $n_r$  avec  $\frac{N}{BW} = 0.0025$ ,  $t_{max} = 15$  secs.

(Fig.3). La durée de la fenêtre allouée pour une retransmission est  $t_{random} = \frac{t_{max}}{n_r}$ . Chaque utilisateur choisit aléatoirement un créneau temporel dans cette fenêtre pour retransmettre son paquet. Le paquet est transmis avec succès lorsqu'au moins une des  $n_r$  tentatives a réussi ( $BER < 10^{-3}$ ). Sinon, le paquet est perdu. La probabilité de coupure (OP) se définit comme la probabilité que la  $BER$  dépasse  $10^{-3}$  et correspond à la perte d'un paquet. Le contrôle d'erreur (i.e., détection et correction d'erreurs) n'est pas pris en compte dans notre modèle. De plus, nous nous concentrons sur la couche MAC et ne considérons pas l'efficacité énergétique du réseau dans cette étude.

### 3 Evaluation de performances et résultats

Dans cette section, les performances d'un système utilisant R-FTDMA sont présentées et évaluées en terme de l'OP. L'OP est évaluée en fonction du nombre de retransmissions  $n_r$ , du nombre d'utilisateurs  $N$ , la largeur de bande  $BW$  et de la durée de vie du paquet  $t_{max}$ . Notez que la durée de paquet  $d = 0.5s$  est considérée dans notre étude.

Les Figures 4 et 5 valident le fait que le mécanisme de retransmission est en mesure d'améliorer fortement la probabilité de succès de transmission d'un paquet. En effet, l'augmentation du nombre de retransmissions  $n_r$  permet, dans un premier temps, de réduire l'OP. En revanche, ce mécanisme démultiplie rapidement le nombre de paquets transmis par des utilisateurs dans un intervalle temporel fixé. Ainsi, pour de grandes valeurs de  $n_r$  les ressources deviennent surchargées, et le bénéfice de l'ajout de redondance est neutralisé par l'augmentation du niveau des interférences. En conséquence, on observe qu'il y a un nombre optimal de retransmissions, mais qui dépend des valeurs de  $BW$ ,  $t_{max}$  et  $N$ . Pour caractériser cette dépendance, nous avons tracé le même type de courbes pour des cas particuliers ( $\frac{N}{BW} = cste$  et  $\frac{N}{t_{max}} = cste$ ), sur les Figures 6 et 7.

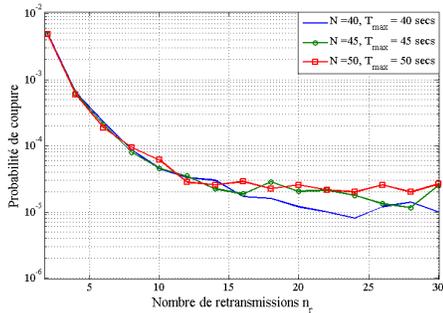


FIGURE 7: OP vs nombre de retransmissions  $n_r$  avec  $BW = 12$  kHz,  $\frac{N}{t_{max}} = 1$ .

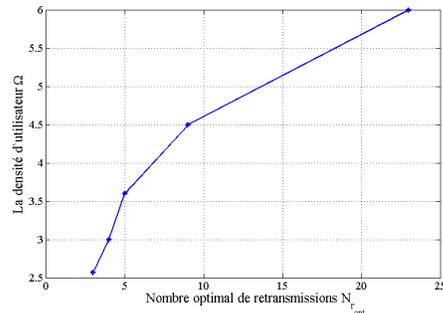


FIGURE 8: Densité d'utilisateurs  $\Omega$  vs nombre optimal de retransmissions  $N_{r_{opt}}$ .

Nous pouvons observer que lorsque les paramètres  $BW$  et  $t_{max}$  évoluent proportionnellement à  $N$ , le comportement de l'OP en fonction du nombre de retransmissions est inchangé. Il est donc possible de simplifier l'étude en réduisant le nombre de paramètres à 2. Mais, par exploitation conjointe des propriétés précédentes, on peut aller plus loin et définir un seul paramètre : la densité d'utilisateurs, définie par le rapport entre le nombre d'utilisateurs et l'espace de ressources disponibles :  $\Omega = \frac{N}{BW \times t_{max}}$ .

L'OP étant convexe, on extrait la valeur du nombre optimal de retransmissions  $N_{r_{opt}}$  pour différentes densités d'utilisateur  $\Omega$  obtenues avec les figures précédentes. On peut noter que les couples  $(N_{r_{opt}}, \Omega)$  obtenus correspondent à des valeurs optimales d'OP différentes. L'évolution de la densité d'utilisateur  $\Omega$  en fonction du nombre optimal de retransmissions est tracée dans la Figure 8. On observe que, idéalement, une grande densité d'utilisateurs exige un grand nombre de retransmissions (même si cela augmente aussi le risque d'interférence). Ce résultat est très intéressant puisqu'il permet de configurer facilement le réseau, en s'appuyant sur un seul paramètre global de densité d'utilisateurs  $\Omega$ .

## 4 Conclusion

Dans cet article, nous avons introduit un nouveau modèle d'accès multiple : Random-FTDMA schéma. Un mécanisme de retransmission est proposé et analysé pour ce type de réseau. En particulier, nous évaluons la performance du système en utilisant en terme de probabilité de coupure. Nous avons montré que l'OP dépend uniquement de la densité d'utilisateurs, et que pour chaque densité, il existe un nombre optimal de retransmissions. Cette étude permet donc d'adapter rapidement le nombre de retransmissions aux caractéristiques du réseau.

## Références

- [1] Sigfox, "Global cellular connectivity for the internet of things," Feb. 2015.
- [2] M.-T. Do, C. Goursaud, and J.-M. Gorce, "On the benefits of random fdma schemes in ultra narrow band networks," in *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt), 2014 12th International Symposium on*, pp. 672–677, May 2014.
- [3] M.-T. Do, C. Goursaud, and J.-M. Gorce, "Interference modelling and analysis of random fdma schemes in ultra narrowband networks," in *The Tenth Advanced International Conference on Telecommunications, AICT 2014*, pp. 132–137, July 2014.
- [4] H. She, Z. Lu, A. Jantsch, D. Zhou, and L.-R. Zheng, "Analytical evaluation of retransmission schemes in wireless sensor networks," in *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pp. 1–5, April 2009.