

# Réduction de la consommation d'énergie des réseaux cellulaires hétérogènes

Anis Ouni, Hervé Rivano, Fabrice Valois

► **To cite this version:**

Anis Ouni, Hervé Rivano, Fabrice Valois. Réduction de la consommation d'énergie des réseaux cellulaires hétérogènes. Nisse, Nicolas and Rousseau, Franck and Busnel, Yann. 15èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel), May 2013, Pornic, France. pp.1-4, 2013. <hal-00818483>

**HAL Id: hal-00818483**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00818483>**

Submitted on 27 Apr 2013

**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.

# Réduction de la consommation d'énergie des réseaux cellulaires hétérogènes

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

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

---

La réduction de la consommation énergétique constitue un défi majeur pour les réseaux cellulaires de nouvelle génération. Ce papier propose deux algorithmes d'ordonnement et de gestion d'endormissement de réseau *LTE-Advanced* de type relais. Ces algorithmes permettent, d'abord, l'affectation de ressources aux noeuds relais et, ensuite, la gestion de leurs activités selon leurs états (transmission, réception ou endormissement) afin de réduire la consommation énergétique. Nos résultats montrent une réduction de la consommation énergétique importante.

**Keywords:** Réseau cellulaire LTE-Advanced, consommation d'énergie, ordonnancement, endormissement.

---

## 1 Introduction

Les réseaux cellulaires doivent absorber une croissance très forte du trafic généré par les terminaux mobiles de nouvelle génération. En particulier, une solution communément envisagée consiste à renforcer le réseau avec des petites stations de base relais. Cependant, cette évolution s'accompagne d'une augmentation insoutenable de la consommation énergétique : environ 80% de la consommation énergétique est dans les stations de base, et la majeure partie est indépendante de la charge. Les opérateurs et équipementiers s'intéressent donc à réduire la consommation d'énergie des stations.

Dans cet objectif, plusieurs travaux se sont focalisés sur l'énergie à économiser lorsque le réseau est peu chargé et que des stations peuvent être mises en veille. La plupart de ces travaux exploitent l'évolution du trafic dans la journée : lorsque la charge est faible pendant une durée suffisante (en particulier pendant la nuit), certaines stations sont éteintes et leurs clients pris en charge par celles qui restent en fonction [1, 2]. Différentes techniques sont mises en œuvre pour garantir que le service soit néanmoins satisfaisant, en particulier en s'inspirant des algorithmes de contrôle de topologie des réseaux de capteurs [3].

Dans cet article, nous nous intéressons au contraire à la consommation énergétique des stations de bases et relais LTE-Advanced lorsque le réseau est chargé. Nous exploitons les capacités d'endormissement partiel et rapide des équipements pour économiser de l'énergie au cours d'une trame.

Dans [4], des outils d'optimisation des réseaux radio maillés ont été développés. Les configurations optimales du réseau (en termes d'allocation de ressources, puissance de transmission, routage, etc.) maximisent le débit des stations ou minimisent la consommation d'énergie globale. Ces outils calculent le nombre optimal de ressources à allouer aux stations mais ne traitent pas le problème d'ordonnement : quelle ressource à quel nœud. Dans ce travail, nous partons de ces solutions pour calculer des ordonnancements permettant la mise en veille partielle des stations. La première contribution de ce travail est une heuristique calculant l'ordonnement des nœuds et leur mise en veille partielle selon deux stratégies différentes. La deuxième contribution est de quantifier le gain énergétique de ces stratégies dans des scénarios réalistes.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Hypothèse

Nous considérons un réseau cellulaire hétérogène, *LTE-Advanced Relay*, composé d'une macro station de base et plusieurs relais. La macro, notée eNB (evolved Node-B), couvre une grande surface. Elle utilise une antenne tri-sectorielle qui permet de transmettre à quelques centaines de mètres voir plusieurs kilomètres.

Les relais, notés RN (*Relay Node*), permettent d'étendre la couverture de la macro ou de renforcer le débit dans les zones où se concentrent de nombreux utilisateurs. Ces nœuds utilisent une antenne omnidirectionnelle pour couvrir quelques dizaines de mètres. Selon la qualité du lien radio, un terminal mobile (noté, UE : *User Equipment*) peut se connecter soit au RN soit au eNB. Le RN relaie le trafic utilisateur vers le eNB par un lien radio. Dans ce travail, nous nous focalisons sur le scénario *type-1 Relay* de 3GGP [5]. Chaque eNB gère trois cellules adjacentes dans chacune desquelles un nombre de RN sont déployés.

Les ressources radio, en LTE-Advanced, se présentent sous la forme d'une grille temps-fréquence : dans le domaine temporel, le temps est divisé en trames radio consécutives de 10 ms. Chaque trame radio est répartie en dix sous-trames de 1 ms<sup>†</sup>. Dans le domaine fréquentielle, la plus petite unité de ressource fréquentielle pouvant être allouée est appelée PRB (Physical Resource Block). Un nœud dans le réseau peut utiliser certain nombre de blocs de ressources. Afin de réduire la consommation d'énergie, il est intéressant de passer les RNs en mode d'endormissement totale (consommation presque nulle). Néanmoins, le temps de réveil d'une station de base peut prendre 10-20 seconds, alors qu'un endormissement partiel, qui consiste à éteindre une partie de composantes, consomme seulement 10Watt et peut se réveiller dans 30µs [6]. Ceci nous motive de développer des heuristiques qui gèrent l'ordonnancement et l'endormissement partiel des RNs durant les sous-trames dans lesquelles ils sont inactif.

## 2.2 Modèle énergétique

Dans ce travail, nous utilisons le modèle de consommation d'énergie proposé dans le projet EARTH [7]. Lorsque l'interface de la couche radio d'un nœud ne fonctionne pas, nous supposons que le nœud consomme une quantité de puissance fixe  $P_0$ , nous appelons cette état *inactif*. Une fois la couche radio devient actif, si le nœud est en mode de transmission alors il consomme  $(P_0 + \Delta_p * P_{out})$ , avec  $\Delta_p$  est un facteur multiplicateur qui modélise, en particulier, l'augmentation de la consommation de l'amplificateur en fonction de la puissance de transmission,  $P_{out}$  est la puissance de transmission totale sur la bande de fréquences  $BW : \sum_{k \in BW} P_i(k)$ <sup>‡</sup>. Autre le mode de transmission, nous supposons qu'un nœud consomme une puissance différente s'il est en mode de réception, noté  $P_r$ . Le valeur de  $P_r$  est estimé en se basant sur les mesures de consommation énergétique de chaque composante de station de base fait dans [7]. Dans un état d'endormissement partiel, un RN consomme  $D < P_0$ . Nous supposons que la somme de durées pour passer vers le mode d'endormissement partiel et pour se réveiller est égale à  $\Delta t$ , et pendant laquelle un RN consomme en moyenne  $P_0$ . De ce fait, un RN passe en mode d'endormissement partiel, seulement, s'il n'est pas actif pendant une durée supérieure à  $\Delta t$ . La Figure 1 illustre la consommation de puissance de chaque état.

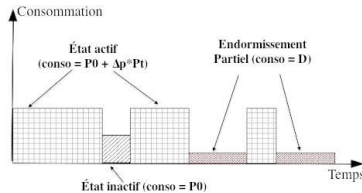


FIGURE 1: Puissance consommée pour chaque état.

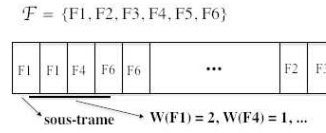


FIGURE 2: Exemple d'ordonnancement.

## 2.3 Algorithme d'ordonnancement et endormissement

Soit  $F$ , appelé *ensemble compatible*, l'ensemble des communications entre les nœuds qui peuvent partager les mêmes sous-trame de durée  $W(F)$ . L'ensemble de toute les ensembles compatibles est noté  $\mathcal{F}$ . Nous rappelons que  $\mathcal{F}$  et  $W(F \in \mathcal{F})$  sont calculés par les outils d'optimisation [4]. Le problème d'ordonnancement consiste à allouer à chaque ensemble compatible,  $F \in \mathcal{F}$ , les bonnes  $W(F)$  sous-trame. La Figure 2 illustre un exemple d'ordonnancement simple.

Dans ce travail, nous proposons une heuristique qui permet de calculer un ordonnancement des RNs et leur

<sup>†</sup>. Une sous-trame constitue un TTI (Transmission Time Interval) qui est la durée minimale à allouer à un nœud/utilisateur.

<sup>‡</sup>.  $P_i(k)$  est la puissance de transmission sur la fréquence  $k$ .

endormissement partiel selon deux stratégies différentes en se basant sur le temps d'activation des nœuds. La première stratégie, nommée LAFS (*the Least Active, the First Served*), commence par ordonner les RNs les moins actifs afin de réduire le nombre de changement d'états et donc réduire le coût total de réveil. La deuxième stratégie, nommée MAFS (*the Most Active, the First Served*), commence par ordonner les nœuds les plus actifs afin de garantir que ces nœuds peuvent passer en mode endormissement partiel. L'algorithme 1 présente les grands lignes de LAFS. Dans la phase d'ordonnancement (lignes 1 – 14), LAFS commence par allouer les premiers sous-trame aux ensembles compatibles qui contient les nœuds les moins actifs afin d'avoir une durée d'endormissement partiel le plus grande possible. Dans la phase d'endormissement (lignes 15 – 20), chaque RN passe en état d'endormissement partiel dans chaque ensemble successive de sous-trame de durée supérieure à un seuil. MAFS est très similaire à LAFS, la différence est que MAFS commence par ordonner les nœuds les plus actifs.

---

#### Algorithm 1 LAFS

---

**Require:**  $RNs$  : noeuds relais,  $\mathcal{F}$  : configurations,  $W[F]$  : durée d'activation de  $F \in \mathcal{F}$

```

1: while ( $RNs \neq \emptyset$ ) do
2:   for  $u \in RNs$  do
3:      $active\_time[u] \leftarrow \sum_{F \in \mathcal{F}, u \in F} W(F)$  /* Calculer le temps d'activation total de  $u$  */
4:   end for
5:    $u' \leftarrow \{u \in RNs, active\_time[u] = \min_{v \in RNs} (active\_time[v])\}$  /* Sélectionner le RN le moins actif */
6:   for ( $F \in \mathcal{F} : u' \in F$ ) do
7:     for ( $w \in F$ ) do
8:       Affecter " $W(F)$  slots" au nœud  $w$ 
9:       Enregistrer le temps de début et fin d'activité de RN  $w$ 
10:    end for
11:     $\mathcal{F} \leftarrow \mathcal{F} \setminus \{F\}$ 
12:  end for
13:   $RNs \leftarrow \{RN_s\} \setminus \{u'\}$ 
14: end while
15: for ( $u \in RNs$ ) do
16:   Calculer la durée des périodes des états inactifs de RN  $u$ 
17:   if ( $Idle\_time[i] > Seuil$ ) then
18:     Enregistrer le temps de début et fin de sommeil
19:   end if
20: end for

```

---

### 3 Étude de performance

Les outils d'optimisation présentées dans [4], sont implémentés sous AMPL/CPLEX. Nous considérons une cellule macro avec une station eNB tri-sectorielle. Dans chaque secteur dix RNs sont déployés et 80 utilisateurs sont uniformément repartis sur toute la cellule. Les paramètres de consommation de chaque type de nœud (eNB, RN et UE) sont présentés dans [7]. Les paramètres de simulations se basent sur le scénario type-1 de *3GPP LTE-Advanced case 3*, mode TDD. Nous supposons que chaque utilisateur veut transmettre et télécharger, respectivement, un fichier de 1Mb et 2Mb.

**Apport de l'endormissement partiel** La figure 3 illustre le gain énergétique dû à l'endormissement partiel des RNs en fonction du seuil  $\Delta t$ . Dans le but de quantifier les performances de deux approches LAFS et MAFS, nous ajoutons deux autres courbes : la première représente une borne maximale de gain énergétique obtenu si la durée d'endormissement partiel, pour tous les RNs, est égal à (temps inactif total -  $\Delta t$ ), qui n'est pas faisable vu qu'il y a toujours des RNs qui changent beaucoup d'états et donc il y a des ruptures sur la période inactif. La deuxième est le résultat d'un ordonnancement aléatoire des nœuds dans lequel l'affectation des sous-trame est fait d'une manière arbitraire. La figure 3(a) montre que LAFS et MAFS offrent une conservation d'énergie entre 6% et 30% si le seuil  $\Delta t$  ne dépasse pas 20 sous-trame (20ms). Elle montre

aussi que LAFS conserve plus d'énergie que MAFS si le seuil  $\Delta t$  est important. Ceci est expliqué par le fait que, dans ce cas, les nœuds les plus actifs ne peuvent pas passer en mode d'endormissement partiel. Ainsi, commencer par ordonner les nœuds les moins actifs, permet d'avoir une durée d'endormissement partiel la plus grande possible ce qui résulte une conservation d'énergie plus importante.

Le même scénario est étudié dans le cas d'un réseau maillé multi-saut. La figure 3(b) montre un gain plus important de l'endormissement partiel vu que plusieurs nœuds (en particulier à l'extrémité) caractérisés par une charge de trafic faible. Dans ce cas, nous enregistrons un gain qui varie entre 10% et 50% si  $\Delta t$  ne dépasse pas 50 sous-trame.

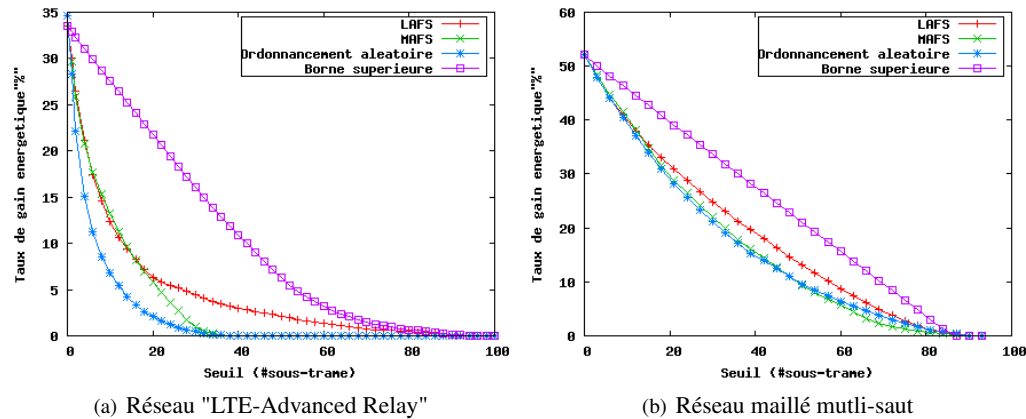


FIGURE 3: Gain énergétique.

## 4 Conclusion

Ce papier s'intéresse à la réduction de la consommation énergétique des réseaux cellulaires de type LTE-Advanced. Nous avons proposé une heuristique calculant un ordonnancement des nœuds et leur mise en veille partielle selon deux stratégies différentes. Nos résultats montrent une conservation énergétique intéressante si le temps de réveil et d'endormissement partiel ne dépasse pas 20ms.

## Références

- [1] Alexandra Bousia, Angelos Antonopoulos, Luis Alonso, and Christos V. Verikoukis. "green" distance-aware base station sleeping algorithm in lte-advanced. In *ICC*, pages 1347–1351. IEEE, 2012.
- [2] Chadi Khirallah and John S. Thompson. Energy efficiency of heterogeneous networks in lte-advanced. *J. Signal Process. Syst.*, 69(1):105–113, October 2012.
- [3] Hervé Rivano, Iulia Tunaru, and Fabrice Valois. WSN-based energy saving strategies applied to LTE access networks. page 36, Lyon, Jun 2012.
- [4] A. Ouni, H. Rivano, and F. Valois. Wireless Mesh Networks : Energy - Capacity Tradeoff and Physical Layer Parameters. In *The 22nd Annual IEEE PIMRC'11*, Toronto, Canada, Sept 2011.
- [5] 3GPP R1-104460. Type-1 relay performance for uplink.
- [6] Pål K. Frenger, Peter Moberg, Jens Malmudin, Ylva Jading, and István Gódor. Reducing energy consumption in lte with cell dtx. In *VTC Spring'11*, pages 1–5, 2011.
- [7] EARTH project deliverable, D2.2. Energy efficiency analysis of the reference systems areas of improvements and target breakdown. *December 2010*, Web site : <https://www.ict-earth.eu/>.