

UNIVERSITÉ PARIS-SUD

ECOLE DOCTORALE : STITS
LABORATOIRE DES SIGNAUX ET SYSTÈMES

DISCIPLINE : PHYSIQUE

THÈSE DE DOCTORAT

Soutenue le 20/06/2014 par

Vineeth Satheeskumar Varma**Optimisation de l'efficacité énergétique
des réseaux de communication**

Directeur de thèse :	Samson Lasaulce	Prof. (CNRS/LSS)
Co-directeurs de thèse :	Salah Eddine Elayoubi	Senior Researcher (Orange Labs)
	Merouane Debbah	Prof. (Supélec)
Composition du jury :		
Président du jury :	Rachid Elazouzi	Prof. (Uni. of Avignon)
Rapporteurs :	Aris Moustakas	Asst. Prof. (NCU of Athens)
	Tijani Chahed	Prof. (Telecom SudParis)
Examineurs :	Marceau Coupechoux	Asst. Prof (Telecom ParisTech)
	Luca Sanguinetti	Asst. Prof (Uni. of Pisa)
Invités : (.....)

Chapitre 1

La Introduction

1.1 La Motivation

Au cours des deux dernières décennies, la conception de terminaux de communication efficace de l'énergie est devenue une question importante. Cela ne surprend pas pour les terminaux qui doivent être autonome en matière d'énergie est concerné, tels que les téléphones cellulaires, les ordinateurs portables débranchés, les capteurs sans fil, et les robots mobiles. Plus surprenant, la consommation d'énergie est également devenu un enjeu crucial pour l'infrastructure fixe des réseaux sans fil. Par exemple, la consommation d'énergie globale de Vodafone pour la période 2007-2008 était d'environ 3000 GWh [1], ce qui correspond à l'émission de 1,45 million de tonnes de CO₂ et représente un coût monétaire de quelques centaines de millions d'euros. L'industrie de l'information et de la communication de la technologie représente actuellement 2 % des émissions de carbone dans le monde entier. Avec une augmentation exponentielle de l'information et de la circulation de la communication, l'empreinte carbone globale devrait doubler au cours des 10 prochaines années. Bien que les approches supplémentaires pour réduire la consommation d'énergie sont essentiels, ils finiront par ne parviennent pas à suivre le rythme, ce qui nécessite d'importants progrès dans l'efficacité énergétique du secteur de la communication. Ce contexte explique, en partie, pourquoi des concepts tels que “ communications vertes ” ont émergé comme on le voit à partir de [?, 3] et [4]. Utiliser de grandes antennes multiples, les espaces blancs, sortie virtuelle de Multiple Input Multiple Output (MIMO), et de petites cellules avec mode sommeil sont envisagées pour certains des moyens de réduire la consommation d'énergie de manière drastique.

La conception de réseaux sans fil vert [5, 6] est devenu de plus en plus important pour les réseaux sans fil modernes, en particulier, de gérer les coûts d'exploitation. Un défi pour moderne (au-delà de la 4G et 5G) réseaux cellulaires est non seulement de répondre à l'explosion des taux de données, mais

aussi de gérer la consommation d'énergie de réseau. Le concept de réseaux à petites cellules apparaît comme une bonne solution de candidat à soulever un tel défi. Comme les petits réseaux cellulaires seront distribués dans une large mesure et soumis à des interférences haute inter-cellulaire, la conception des systèmes de gestion d'interférence économes en énergie distribués apparaît comme un besoin naturel. Pour être en mesure de concevoir des réseaux verts, trouver une mesure appropriée de l'efficacité énergétique est cruciale. Dans [8], l'EE de la communication entre un émetteur et un récepteur est défini comme étant le rapport entre le débit de données net à la puissance rayonnée ; la quantité correspondante est une mesure du nombre moyen de bits reçus avec succès par joule consommé à l'émetteur. Tout récemment, il ya eu un regain d'intérêt pour cette mesure de performance. Il ya plusieurs raisons pour cela, et seulement quelques-uns sont fournis. Tout d'abord, l'EE tel que défini dans [8], traduit mathématiquement d'une manière simple le compromis entre l'avantage d'augmenter la puissance d'émission en termes de débit de données, et le coût induit en termes d'énergie ou d'interférences consommée générée. Deuxièmement, comme motivé dans [9], il existe des applications dans lesquelles le retard admissible est pas fortement contraint. Par conséquent, le débit de données est une mesure moins importante que l'énergie nécessaire pour transmettre l'information et EE apparaît naturellement comme une métrique à optimiser.

Sur [11] les auteurs de combler le fossé entre le travail de pionnier par Verdú sur la capacité par unité de coût pour les canaux statiques et la définition plus pragmatique de l'efficacité énergétique proposé par [8] pour entrée unique Single Input Single Output (SISO). En effet, dans [11], l'efficacité énergétique est défini comme le rapport de la probabilité que l'information mutuelle canal est supérieure à un seuil donné de la puissance d'émission utilisée. En supposant une information parfaite Channel State Information at the receiver (CSIR) et la connaissance de la distribution des canaux à l'émetteur, la matrice de pré-codage est alors optimisée pour plusieurs cas particuliers. Alors que [11] fournit des indications intéressantes sur la façon de répartir et contrôler la puissance à l'émetteur, une question cruciale reste sans réponse ; dans quelle mesure les conclusions de [11] tenir dans les scénarios les plus pratiques telles que celles impliquant imparfait CSI ? Répondre à cette question était l'une des motivations pour les travaux résumés dans le chapitre 2. Le principal objectif de la thèse était d'établir un cadre d'étude des communications efficace énergétiquement en définissant et en justifiant de nouvelles mesures d'efficacité énergétique pour divers systèmes sans fils. En général, le rendement énergétique est défini comme le rapport entre le débit total et la puissance totale consommée par l'émetteur. Cette définition implique que, lorsqu'une re-transmission est autorisée (dans le cas d'une erreur sur les paquets), la maximisation de l'efficacité énergétique peut conduire directement à minimiser l'énergie dépensée lors de la transmission d'une unité d'information.

1.2 La définition de base de la mesure de l'efficacité énergétique

Dans l'approche proposée, l'objectif poursuivi est de maximiser le nombre de bits d'information transmis avec succès par Joule consommée à l'émetteur. Ceci est différent de l'approche la plus classique qui consiste à minimiser la puissance d'émission sous une contrainte de taux de transmission : [13] représente parfaitement cette littérature. Dans les œuvres ci et connexes, l'efficacité est pas la principale motivation. [14] fournit une bonne motivation quant à la façon de l'efficacité énergétique peut être plus pertinent que de minimiser la puissance sous une contrainte de taux. En effet, dans un système de communication sans contraintes de retard, les contraintes de vitesse sont généralement sans importance que l'énergie de façon est utilisée pour transmettre les paquets (sporadiques) est d'un intérêt primordial. Au contraire, l'approche discutée dans ce manuscrit suit les travaux originaux sur l'efficacité énergétique qui comprend [15, 8, 17, 18]. L'état actuel de la technique indique que, depuis [11], il n'y a pas eu de travaux où le cas MIMO est traitée par l'exploitation de la distribution cumulative de l'information mutuelle canal (ie, la probabilité d'interruption) au numérateur de la performance métrique. Comme expliqué ci-dessous, l'analyse va beaucoup plus loin que [11] par des effets tels que les effets d'erreurs d'estimation de canal compte. Plusieurs travaux traitent de la question de la répartition de puissance pour minimiser la probabilité d'interruption [21] sous imparfait informations d'état de canal.

Dans [8], EE est définie comme le rapport entre le débit de transmission de données net moyen et de la puissance consommée pour l'envoi d'un paquet donné. Lorsque la puissance rayonnée est considéré comme le coût de transmission, ce ratio est égal à seulement $\frac{Rf(\gamma_i(\underline{p}))}{p_i}$ où la quantité R est le débit de données brut constant (déterminé par le codage et les schémas de modulation) sur l'interface radio, \underline{p} est le vecteur des niveaux de puissance et γ_i le SINR de l'utilisateur i . Chaque paquet transmis sur le canal est reçu sans erreur avec une probabilité qui dépend de la qualité de la liaison de communication, l'interférence, et de transmettre des niveaux de puissance. Le taux de réussite de bloc ou paquet correspondant (également appelée fonction de l'efficacité) est précisément la fonction $f(\gamma_i(\underline{p}))$ ci-dessus. La fonction $f : [0, +\infty) \rightarrow [0, 1]$ est une sigmoïde¹ ou fonction en forme de S vérifiant $f(0) = 0$ et $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1$ (voir [23] pour plus de détails). Parmi les exemples courants de f sont $f(x) = (1 - e^{-x})^M$, $f(x) = e^{-\frac{c}{x}}$ [11], où $M \geq 1$ est la longueur du paquet et $c > 0$ est une constante liée à l'efficacité spectrale. L'efficacité énergétique est particulièrement pertinent quand paquet re-transmission est autorisée. Quand il n'y a pas de re-transmission,

1. Une fonction sigmoïde est une fonction qui est d'abord convexe pour $\gamma \in [0, \gamma_+]$ et finalement concave pour $\gamma \in [\gamma_+, \infty)$.

l'énergie² Consommée pour envoyer V de bits lors de la transmission au niveau de la puissance p_i est $p_i \frac{V}{R}$. Minimiser les quantités d'énergie à minimiser p_i en l'absence de retransmissions. Toutefois, lorsque la retransmission est autorisée (en utilisant par exemple une demande de répétition automatique -ARQ- protocole, qui est utilisé à la couche physique indépendamment de l'architecture à la couche supérieure), la durée moyenne d'envoyer un paquet est égal $\frac{V}{Rf(\gamma_i(p))}$ et l'énergie consommée devient $p_i \frac{V}{Rf(\gamma_i(p))}$. De toute évidence, ce qui minimise l'énergie revient à maximiser EE. Cela signifie que, au moins en présence de retransmissions, l'approche classique qui consiste à minimiser p_i (sous réserve de certaines contraintes de qualité de service) induit une perte en termes de minimiser la consommation d'énergie. Pour être précis, ce qui minimise la puissance soumise à une contrainte de QoS ne pas réduire l'énergie consommée par le système lorsque le système a un certain nombre de données à transférer. Ceci sera illustré par des résultats numériques dans ce manuscrit.

Bien sûr, lorsque le système considéré a juste un seul émetteur, de l'efficacité énergétique peut être facilement défini comme le rapport de son taux moyen de données de consommation d'énergie. Toutefois, dans un système multi-agents, il existe plusieurs façons de définir l'efficacité énergétique et le meilleur choix est pas si straight-forward ou claire. Par exemple, dans une petite grappe de cellules avec deux stations de base desservant deux utilisateurs, l'efficacité énergétique peut être définie de deux façons. Comme soit la somme des rendements énergétiques individuelles de chaque station de base ou que la somme du débit total dans le réseau, divisé par la puissance totale. Le deuxième choix conduira certainement à une minimisation de l'énergie totale dépensée par le système mais peut conduire à une stratégie optimale qui est partielle à un agent. Dans l'exemple de la petite cellule, la solution pourrait consister à ne servir à l'utilisateur plus loin des stations de base. Dans les systèmes distribués, chaque agent soit optimise leur efficacité énergétique individuels ou, si possible, la somme. Lorsque les utilisateurs mobiles d'optimiser leur efficacité énergétique en accordant la puissance montante de transmission, l'hypothèse la plus naturelle est qu'ils maximisent leur efficacité énergétique comme indiqué dans [8].

1.3 La structure du manuscrit et publications

En comparaison à la littérature existante, les principales contributions du manuscrit peuvent être résumées comme suit :

- Un des scénarios sous enquête porte sur le cas d'un seul utilisateur MIMO efficacité énergétique à la fois avec et sans CSI imparfait disponible à l'émetteur.

2. Ici, l'énergie à l'étude est l'énergie associée au signal rayonné.

- efficacité énergétique d'un système MIMO virtuel formé dans un groupe de petites cellules et certains utilisateurs.
- L'efficacité énergétique d'un système inter-couches, soit en tenant compte de la nature sporadique de l'arrivée de paquets de données : la définition de la mesure appropriée et ses propriétés.
- Les deux solutions centralisées et décentralisées pour la plupart des scénarios ci-dessus.
- La définition de l'efficacité énergétique et l'optimisation attendue compte tenu de la nature dynamique des utilisateurs connectés à un réseau.
- Procédé d'échange CSI par le codage de niveau de puissance.
- Dans tous les cas ci-dessus, au lieu de considérer la puissance rayonnée seulement pour le coût de la transmission, la puissance totale consommée par l'émetteur est prise en compte.

Le manuscrit est donc structuré comme suit. Chapitre. II est une étude de l'efficacité énergétique des systèmes MIMO. Ce chapitre est basé autour de trois publications (publications sont indexées par **J**. Pour les publications de revues, **C**. Pour des actes de conférences, **B**. Pour des chapitres de livres et **P**. pour les brevets) qui sont fournis dans l'annexe, à savoir :

C.1 V.S Varma, S. Lasaulce, M. Debbah and S.E. Elayoubi, "Impact of Mobility on Wireless Green Networks", European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2011.

J.1 V.S Varma, S. Lasaulce, M. Debbah and S.E. Elayoubi, "An Energy Efficient Framework for the Analysis of MIMO Slow Fading Channels", IEEE Trans. Signal Proc., Vol 61, 10, pp : 2647-2659.

C.2 V.S Varma, S.E. Elayoubi, M. Debbah and S. Lasaulce, "On the Energy Efficiency of Virtual MIMO Systems", IEEE Int. Symposium on personal, indoor and mobile communications (PIMRC 2013).

Le travail sur ce chapitre a également donné lieu à des brevets intéressants qui ont été soumis à l'approbation :

P.1 V.S. Varma, S.E. Elayoubi, M. Debbah and S. Lasaulce, "Virtual MIMO optimal antenna selection and sleep mode implementation", No : 200113-FR (filed).

P.2 V.S. Varma, S.E. Elayoubi and M. Debbah, "An efficient scheme for beam-forming in home base stations", No : 200313-FR (filed).

Chapitre 3 traite de l'impact du processus de file d'attente souvent ignoré de paquets, qui sont présents avant que la couche physique dans les systèmes de communication typiques, sur l'efficacité énergétique. Ce chapitre est basé sur les publications suivantes :

C.3 V.S Varma, S. Lasaulce, Y. Hayel, S. Eddine Elayoubi and Merouane Debbah, "Cross-Layer Design for Green Power Control", IEEE Int. Conference on Communications (ICC 2012).

J.2 Vineeth S Varma, Samson Lasaulce, Yezekael Hayel, Salah Eddine Elayoubi and Merouane Debbah, "A Cross-Layer Approach for Energy-

Efficient Distributed Power Control”, IEEE Trans. on Vehicular Tech. (revised)

Les autres contributions qui ne seront pas abordés dans ce manuscrit, mais qui ont été obtenus et publiés sont les suivants :

C.4 V.S Varma, S.E. Elayoubi, S. Lasaulce and M. Debbah, ”A Flow Level Perspective on Base Station Power Allocation in Green Networks”, ACM International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (VALUETOOLS 2012, Best student paper award).

C.5 M. Mhiri, V.S Varma, M.L. Truest, S. Lasaulce and A. Samet, ”On the benefits of repeated game models for green cross-layer power control in small cell”, BlackSeaComm 2013

P.3 S. Lasaulce, V.S. Varma and R. Visoz, ”Coding information through power levels”, Ref No : 200288FR01-PJ. (filed)

P.4 V.S. Varma, S. Lasaulce and S.E. Elayoubi, ”Sleep mode for network resources assisted by information from transportation system traffic detectors”, 200047FR0-DM. (filed)

B.1 V.S. Varma, E.V. Belmega, S. Lasaulce and M. Debbah, ” Energy Efficient Communications in MIMO Wireless Channels : Information Theoretical Limits”, CRC Press book on green communications, 2012.

C.6 F. Meriaux, V.S Varma, S. Lasaulce, ”Mean Field Energy Games in Wireless Networks”, IEEE Asilomar 2012. (invited paper)

C.7 V.S Varma, S. Lasaulce, M. Debbah and S.E. Elayoubi, ”Green Power Control for large MIMO systems”, Colloque Gretsisi 2013.

C.8 B. Perabathini, M. Debbah, M. Kountouris and A. Conte, ”Physical Limits of point-to-point communication systems”, IEEE WiOpt 2014 - PhysCommNet Workshop. (invited paper)

P.5 ”Scheme for broadcasting and receiving accompanying data for TV or radio services”, V.S. Varma and S.E. Elayoubi. Ref No : 1H518040/655.SF. (filed)

Chapitre 2

L'analyse de l'efficacité énergétique des systèmes MIMO

L'objectif principal de ce chapitre est l'étude de l'EE pour seul utilisateur à pointer les systèmes MIMO. Notez que les résultats de cette recherche peuvent également être étendus directement aux systèmes multi-utilisateurs où OFDMA est utilisé pour l'accès multiple.

2.1 CSITR imparfait disponibles

Que l'efficacité énergétique est donné par $\eta_T(P, \mathbf{Q}, \hat{\mathbf{H}})$ où P est la puissance totale de transmission utilisé, \mathbf{Q} est la répartition de puissance et \mathbf{H} le canal estimé. Nous concluons que l'optimisation de l'efficacité énergétique pour ce type de problème est double. La première partie est dans l'allocation de puissance. Heureusement, cela est un problème bien documenté et il donne un " remplissage d'eau " type de solution [?] 2008. Si $\mathbf{Q}_{WF}(P)$ indique la répartition du pouvoir après le remplissage d'eau avec un budget de puissance P , alors nous avons le résultat suivant :

Theorem 2.1.1 *The energy-efficiency function $\eta_T(P, \mathbf{Q}_{WF}(P), \hat{\mathbf{H}})$ is quasi-concave with respect to P and has a unique maximum.*

D'autres détails et la preuve sont présentés dans le manuscrit.

Notez que dans ce modèle, on suppose que la CSI à l'émetteur est exactement identique à CSI au récepteur. Pour cette raison, considérer le mécanisme de rétroaction soit parfait et prendre un temps constant. Bien que dans la pratique, le temps de réaction joue un rôle dans la détermination de l'efficacité et de la puissance optimale, dans le modèle est une constante.

2.2 Avec CSIR imparfait et ne CSIT

Que l'EE pour ce cas est donné par $\eta_R(P)$ est parfaite quand CSIR est disponible et par $\eta_R(P, t)$ lorsque CSIR imparfaite et de la formation pour le temps t est disponible. Comme indiqué dans l'introduction, lors d'une nouvelle transmission est possible, en maximisant l'efficacité énergétique est préféré au pouvoir minimisation. Pour le cas sans re-transmission, la puissance minimisation avec une qualité de contrainte de service peut être choisi comme indiqué. Cela peut conduire à des résultats intéressants sur le choix du nombre d'antennes d'émission dans un système MIMO lorsque sous imparfait CSIR. Le problème avec les retransmissions, a déjà été bien analysé dans [11] est parfaite quand CSI est disponible au niveau du récepteur. Ainsi, dans cette section considérer le cas lorsque imparfait CSI est disponible et est obtenue par la formation de canal. Dans [11], $\eta_R(P)$ dans le cadre parfait CSIR, a été conjecturé être quasi-concave pour MIMO général, et se sont avérées quasi-concave pour les cas particuliers :

- (a) $M \geq 1, N = 1$;
- (b) $M \rightarrow +\infty, N < +\infty, \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{N}{M} = 0$;
- (c) $M < +\infty, N \rightarrow +\infty, \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{M}{N} = 0$;
- (d) $M \rightarrow +\infty, N \rightarrow +\infty, \lim_{M \rightarrow +\infty, N \rightarrow +\infty} \frac{M}{N} = \ell < +\infty$;
- (e) $\sigma^2 \rightarrow 0$;
- (f) $\sigma^2 \rightarrow +\infty$;

Dans la proposition suivante, une condition suffisante pour assurer que $\eta_R(P, t)$ est quasi-concave WRT P est donnée.

Proposition 2.2.1 (Optimization of $\eta_R(P, t)$ w.r.t P) *If $\eta_R(P)$ with perfect CSIR is quasi-concave w.r.t P , then $\eta_R(P, t)$ is a quasi-concave function with respect to P , and has a unique maximum P^* .*

Cette proposition est démontrée dans le manuscrit.

Quasi-concavité est une propriété attrayante pour l'efficacité énergétique comme des fonctions quasi-concave peuvent être facilement optimisées numériquement. De plus, cette propriété peut également être utilisé dans des scénarios multi-utilisateurs pour l'optimisation et pour prouver l'existence d'un équilibre de Nash dans les jeux de commande de puissance à haut rendement énergétique [8].

Proposition 2.2.2 (Maximization of $\eta(P^*(t), t)$ w.r.t t) *The energy-efficiency function $\eta_R(P^*(t), t)$ is a strictly concave function with respect to t for any $P^*(t)$ satisfying $\frac{\partial \eta_R}{\partial P}(P^*, t) = 0$ and $\frac{\partial^2 \eta_R}{\partial P^2}(P^*, t) < 0$, i.e., at the maximum of η_R w.r.t. P .*

La preuve de cette proposition est fourni dans le manuscrit. La proposition assure que l'efficacité énergétique peut être maximisée par rapport la puissance d'émission et le temps de formation conjointement, à condition $\eta_R(P, t)$ est quasi-concave WRT P pour tout t . A noter que la fonction de l'efficacité énergétique se révèle être concave seulement quand il a déjà été optimisé wrt P . Le problème d'optimisation étudié ici est essentiellement, un problème de joint-optimisation, et sa montre qu'une fois que $\eta(P, t)$ est maximisée par rapport P pour tout t , puis, $\eta(P^*(t), t)$ est concave par rapport à t .

2.3 Les résultats numériques et les interprétations

Plusieurs simulations qui prennent en charge les conjectures proposées ainsi que délargir les résultats d'analyse sont présentés ici. Toutes les simulations sont effectuées en utilisant des simulations de Monte-Carlo, car il n'y a pas d'expression disponibles pour l'arrêt d'un système MIMO général. Les paramètres utilisés sont détaillées dans le manuscrit principal.

La quasi-concavité de la fonction par rapport à l'efficacité énergétique de la puissance d'émission est représentée sur la Figure 2.1. Cette figure montre que pour un taux cible plus élevée, une plus longue formation donne une meilleure efficacité énergétique.

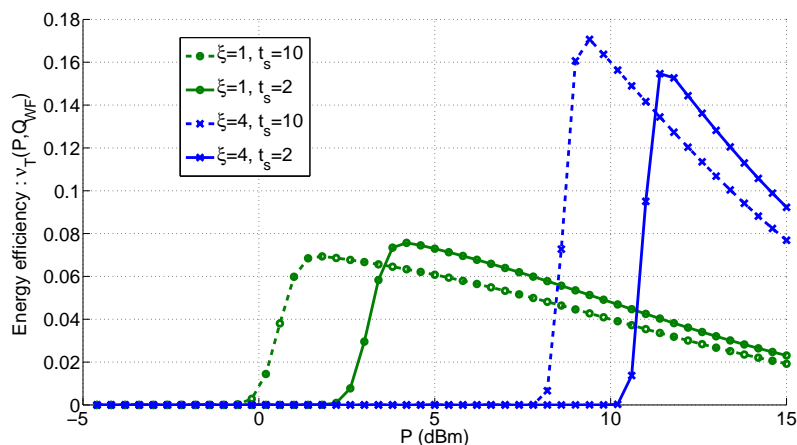


FIGURE 2.1 – CSIT : Energy efficiency (η_T) in bits/J v.s transmit power (P) in dBm for a MIMO system with imperfect CSITR, $M = N = 2$, $R_0 = 1$ bps, $T_s = 100$, $\frac{b}{a} = 10$ mW for certain values of ξ and t_s .

Dans la figure 2.2, l'EE qui utilise la allocation optimisé est comparée à la répartition uniforme de la puissance. Dans les deux cas, le temps de formation et la puissance d'émission est optimisé et l'intrigue de l'efficacité

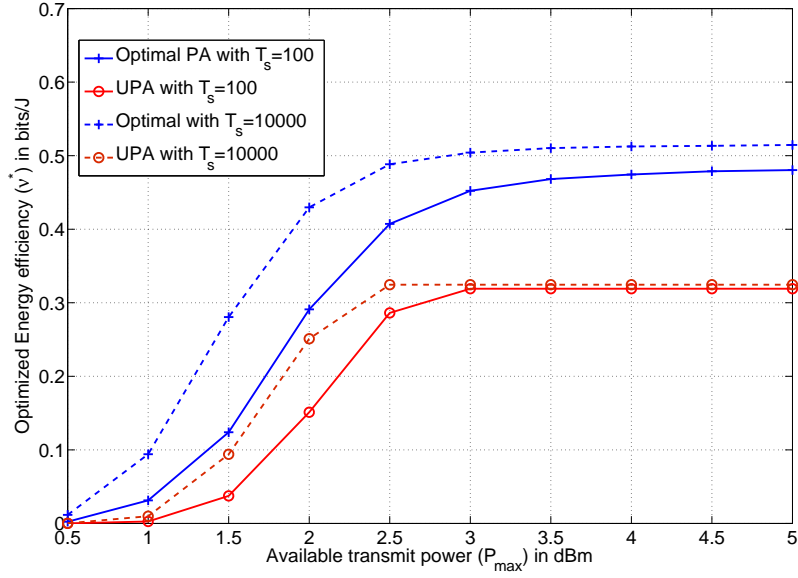


FIGURE 2.2 – Optimal energy-efficiency ($\eta_R(P^*)$) in bits/J v.s available transmit power ($\sup(P)$) for a MIMO system with imperfect CSITR, $M = N = 2$, $R_0 = 1$ bps, $R = 1$ bps and $\frac{b}{a} = 1$ mW.

énergétique optimisée vs P_{\max} . Notez que le PA optimisé donne toujours une meilleure performance par rapport à l'UPA et à faible puissance, l'UPA a presque zéro efficacité optimale tandis que le PA donne une efficacité limitée. Le gain observé peut être considéré comme la principale justification de l'utilisation de l'allocation de puissance non uniforme et l'envoi des informations d'état de canal à l'émetteur. Toutefois, lorsque la longueur de bloc est petit, des résultats imparfaits CSIT à un gain plus petit vu de l'écart relativement grand entre $T_s = 100$ et $T_s = 10000$ par rapport à la taille de l'écart de l'UPA.

Chapitre 3

Une approche cross-layer à l'efficacité énergétique

3.1 L'analyse

Dans ce chapitre, comme décrit dans l'introduction, le cas pratique d'arrivées de paquets aléatoires sur la file d'attente de la couche de paquets sont comptabilisés lors de la formulation de la métrique de l'efficacité énergétique. Cela conduit à un ensemble très intéressant de problèmes et de questions sur les propriétés de cette «nouvelle» métrique. L'une des principales questions auxquelles une réponse est : "Est-ce que le travail dans [8] détient vrai même avec cette mesure plus pratique à l'étude?". Si oui, quel type d'algorithme ou procédé peut être utilisé pour le contrôle d'énergie décentralisée? Le modèle de système est décrit dans le manuscrit. Nous définissons l'EE comme $\eta_{i,X}$ comme mesure d'EE pour le joueur i en utilisant le protocole de transmission X (comme le taux d'arrivée constant (CAR) / taux d'arrivée adapté (AAR) des paquets) . Nous envisageons le cas d'un canal d'interférence où tous les joueurs transmettent à la même bande de fréquence et de temps.

La fonction EE $\eta_{i,X}$ possède une propriété très intéressante en ce qui concerne sa dépendance envers p_i . Ceci est ce que la prochaine états de proposition.

Proposition 3.1.1 *For all $i \in \mathcal{N}$, the EE function $\eta_{i,CAR}(\underline{p})$ is quasi-concave w.r.t. p_i and has a unique maximum point denoted by $\bar{p}_i^*(\underline{p}_{-i})$.*

Le preuve et de plus amples détails peuvent être trouvés dans le manuscrit. On peut aussi tenir compte des contraintes de qualité de service possible à la perte de paquets et obtenir le même résultat.

3.2 Analyse d'équilibre et distribué algorithme de commande de puissance

Comme il est supposé que l'émetteur i , $i \in \mathcal{N}$, ne peut contrôler la variable p_i de la N - fonction variable $\eta_{i,X}(p)$ et est supposée tenir compte de l'efficacité énergétique de sa propre communication, le problème de commande de puissance est naturellement distribué en fonction de la décision. Le but ultime de cette section est de proposer un algorithme de commande de puissance qui est distribué à la fois en termes de la décision et de l'information (seul individu commentaires SINR est nécessaire d'adapter le niveau de puissance). Bien que l'algorithme lui-même est directement inspiré d'œuvres existantes, son analyse de la convergence ne suit pas d'une adaptation directe des résultats existants.

Dans le manuscrit, nous définissons un jeu non coopératif pour les deux cas de la CAR et AAR avec la contrainte de QoS. Nos résultats sont détaillés dans le manuscrit montrer aussi que ces deux jeux ont un équilibre de Nash unique. Ce résultat est très utile, car elle nous aide à concevoir un meilleur algorithme de réponse distribuée qui est toujours garanti à converger. L'algorithme est prévu dans le manuscrit.

La propriété de la proposition précédente est également suffisante pour garantir la convergence de certains algorithmes d'optimisation distribués importants. Bien que cette propriété est disponible pour le scénario étudié dans [8] et de nombreux ouvrages, on voit ici que, bien que la qualité de service proposées approche orientée cross-layer nous plus complexe et les services publics plus généraux conduit, cette propriété est toujours valable .

Cela signifie que pour ces algorithmes, non seulement la convergence assurée, mais le point de convergence est également unique. Ceci est très utile pour caractériser la performance d'un algorithme de commande de puissance distribué mis en oeuvre, l'algorithme le plus dynamique de réponse. L'algorithme est complètement distribué dans le sens que la mise à jour de son alimentation, un DM_i seulement besoin de connaître le SINR correspondant à son niveau de puissance choisi, à savoir, la meilleure réponse peut être calculée en connaissant seulement son SINR pour un certain p_i . Ceci est généralement réalisé en utilisant un mécanisme de contre-réaction et ne nécessite pas une entité centrale qui fournit la connaissance des conditions de canal et les niveaux de puissance choisis par les autres DM (decision maker).

3.3 Numerical results

Tous les paramètres utilisés pour les simulations sont détaillées dans le manuscrit. Figure. 3.1 représente les gains en dB en termes de puissance rayonnée qui est apporté par l'approche cross-layer proposé (après

convergence de la commande de puissance distribué algorithme proposé) par rapport la méthode classique dans laquelle il est (implicitement) suppose que les paquets arrivent constamment. Le gain est représenté en fonction du taux d'arrivée des paquets. Ces gains ne sont pas en termes d'énergie consommée par l'ensemble du dispositif de transmission, mais ils signifient que les émetteurs utilisent beaucoup moins d'énergie rayonnée et donc créent beaucoup moins d'interférences, tout en atteignant les mêmes QoS.

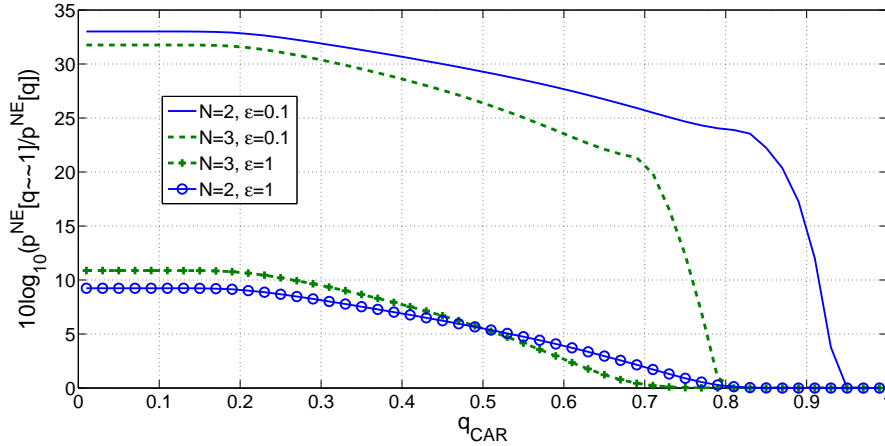


FIGURE 3.1 – CAR : $10 \log_{10} \left(\frac{p_1^{\text{NE}}[q \rightarrow 1]}{p_1^{\text{NE}}[q]} \right)$ against q , i.e., the ratio of equilibrium power levels in the cross-layer case to the case where the buffer is ignored and arrival rate is one.

Comme expliqué dans l'introduction, maximiser l'efficacité énergétique et la minimisation de l'énergie sont en fait équivalents dans les systèmes de communication où retransmissions sont autorisés. Exploiter cette interprétation ici d'aller plus loin que de simplement évaluer les gains en termes de EE comme cela se fait classiquement en Fig. 3.2. En effet, le gain en termes d'énergie ou de la puissance totale moyenne apportée par l'approche proposée cross-layer sur le plus proche état de la solution de l'art qui est donné dans [24] est évaluée (celui-ci est obtenue en supposant paquet constante arrivée quel que soit le taux réel est).

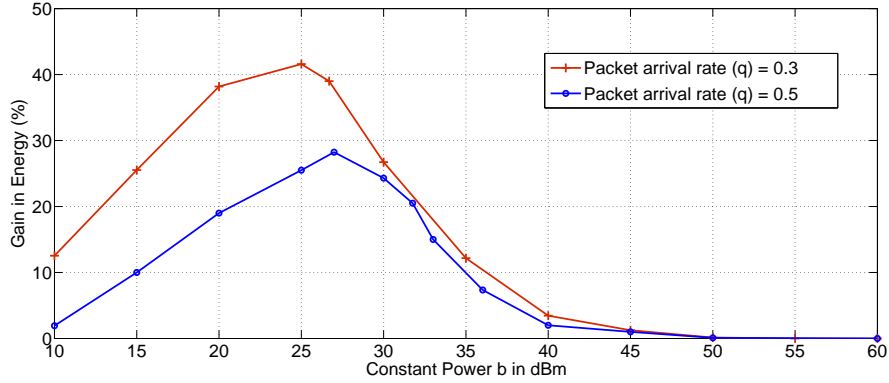


FIGURE 3.2 – CAR : Plotting the energy consumed against b with $q = 0.6$ and $q = 0.3$. Compare the performance of the proposed algorithm against using the best-response dynamics algorithm from [24] where the presence of the queue is ignored.

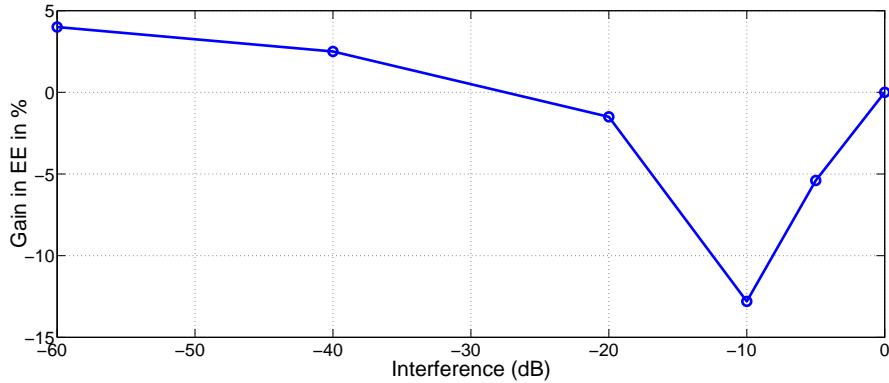


FIGURE 3.3 – AAR : Plot of percentage gain in EE v.s $g_{i,j}, i \neq j$ (keeping $g_{i,i} = 1$), where the gain is calculated by comparing the EE achieved using the proposed AAR algorithm to the EE at the NE achieved by using the algorithm ignoring the packet level.

Figure 3.3 étudie le gain moyen en EE (moyenne sur la disparition de canal) par rapport à celle d'un algorithme de commande de puissance en ignorant le niveau de paquets par rapport à l'ingérence. Voici voir que lorsque l'atteinte est très faible, le NE du système proposé est plus performant que l'algorithme qui ignore le niveau des paquets. Or, comme dans l'interférence, la stratégie dans le cadre du programme AAR serait d'utiliser une très grande puissance comme EE est optimisé individuellement

lorsque l'AAR atteint un taux de paquets supérieur. Il en résulte un NE sous-optimale comme on le voit dans la figure lorsque l'atteinte est dans le $[-25, 0]$ gamme dB. Cet effet indique que l'approche cross-layer peut induire une certaine WRT de perte de performance l'approche classique. Ce résultat négatif mais assez surprenant indique que dans les réseaux distribués, affiner l'aspect de modélisation peut parfois induire une perte de performance ; semblable à d'autres paradoxes connus dans les réseaux distribués, tels que le paradoxe Braess [25].

Chapitre 4

Les conclusions et recherches futures

4.1 Les conclusions

Le chapitre 2 propose un cadre pour étudier le problème de l'efficacité énergétique de pré-codage (qui comprend le problème de la répartition de puissance et de contrôle) sur des canaux MIMO sous imparfait informations d'état de canal et le régime de longueur finie de bloc. Comme dans [8], l'efficacité énergétique est défini comme le rapport entre le taux de réussite du bloc à la puissance d'émission. Mais, contrairement à [8] et la grande majorité des œuvres émanant de lui, un choix empirique pour le taux de réussite est pas supposé, comme la prise de $f(x) = (1 - e^{-x})^L$, où L est la longueur du bloc. Au lieu de cela, le numérateur de la mesure de performance proposé est construit à partir de la notion d'information, et plus précisément de l'information moyenne (resp. D'information mutuelle) dans le cas où la CSIT est disponible (resp. Non disponible). Ce choix, en plus de donner une interprétation plus fondamentale à la métrique introduite dans [8], permet de prendre en compte dans un nombre relativement simples effets de mode de l'intérêt pratique tels que l'erreur d'estimation de canal et longueur de bloc finitude. Aussi bien dans le cas où (imparfait) CSIT est disponible et pas disponible, il est montré que l'utilisation de toute la puissance d'émission disponible est pas optimale. Quand CSIT est disponible, tandis que la détermination du régime optimal d'allocation de puissance est un résultat bien connu (remplissage d'eau), trouver la quantité totale optimale de la puissance, pour être efficace est non-trivial. Fait intéressant, le problème d'optimisation correspondant peut être démontrée quasi-convexe et avoir une solution unique, ce dernier étant caractérisé par une équation qui est facile à résoudre numériquement. Les résultats numériques sont fournies pour maintenir le cadre proposé analytique, à partir de laquelle des observations intéressantes peuvent être faites qui comprennent : longueur

bloc finitude donne naissance à l'existence d'un compromis non négligeable entre l'efficacité spectrale et l'efficacité énergétique ; grâce à la répartition optimale de la puissance apporte un gain important en termes de rendement énergétique que lorsque la chaîne a un grand temps de cohérence suffisamment, ce qui démontre la valeur de la formation de la CSIT et canal. Le cadre proposé est utile pour les ingénieurs, car il permet de mieux comprendre considérables dans la conception de la couche physique des systèmes MIMO sous plusieurs hypothèses sur CSI.

Par rapport aux travaux connexes les plus proches, le travail présenté dans le chapitre 3 possède trois caractéristiques principales : La (possible) l'existence de tampon de paquets de la taille finie est prise en compte ; La puissance totale consommée par l'émetteur est considéré ; La formulation proposée considère la qualité de service. D'ailleurs, même si l'efficacité énergétique métrique de performance dérivé est apparemment plus complexe, il possède toutes les principales propriétés nécessaires pour concevoir des algorithmes distribués efficaces. De façon surprenante, ceci est non seulement vrai lorsque le taux d'arrivée des paquets est constant (protocole CAR), mais aussi quand il est supposé être adaptée en fonction du SINR et de la perte de paquet suivant à travers le protocole AAR. Une des conséquences de ces propriétés est que l'algorithme de commande de puissance distribué itérative proposée converge vers un équilibre de Nash unique du jeu de commande de puissance associé à deux protocoles de transport. Alors que la généralisation de la Croix-couche de contrôle de puissance efficace de l'énergie est soutenue par plusieurs résultats analytiques clés, les résultats numériques appuient fortement l'approche proposée ainsi. L'une des principales observations faites à partir de simulations est qu'un système de commande de puissance distribuée peut fonctionner aussi bien comme une solution centralisée dans certaines situations ; paramètres réalistes dans lesquelles le Programme d'action est proche de celui-ci sont clairement identifiés. En outre, il est clairement expliqué pourquoi maximiser EE revient à minimiser l'énergie dans les systèmes de communication avec les protocoles de retransmission et cette interprétation est exploitée clé pour évaluer le gain en termes d'énergie économisée apporté par l'approche proposée.

4.2 Les problèmes et les possibilités ouvertes pour la recherche future

Le cadre proposé dans le chapitre 2 ouvre certains problèmes de recherche intéressants liés à la transmission MIMO, qui consistent à trouver la matrice optimale pré-codage pour le cas général de iid matrices de canal sous aucun CSIT. Ce problème n'a pas été résolu, même pour le cas des grands systèmes MIMO. Extension de l'approche proposée pour le cas de canaux de Rice avec corrélations spatiales, la lutte contre le cas important de canaux MIMO

multi-utilisateurs et compte tenu du problème de codage pré sont laissés problèmes ouverts économes en énergie distribuée. Le travail sur la multi-utilisateur MIMO décrit dans le chapitre 2 est applicable seulement pour le cas spécifique d'un groupe de petites cellules avec un réseau centralisé et CSIT. Ainsi, de nombreuses extensions de l'ouvrage décrit sont possibles. L'extension la plus pertinente consiste à appliquer le cadre proposé en tenant trafic d'utilisateur du compte et un nombre aléatoire d'utilisateurs. Un autre prolongement naturel du cadre proposé est bien sûr, pour étudier l'effet des différentes classes de la mobilité sur le système MIMO virtuel et d'étudier un réseau distribué.

Certains des problèmes laissés ouverts des travaux décrits dans le chapitre 3 comprennent la croix de l'énergie de la couche d'analyse de l'efficacité dans le cas multi-support et aussi le cas de canaux sélectifs en fréquence, ces extensions étant potentiellement liés. Le cas échéant, les récepteurs peuvent être supposés mettre en œuvre l'annulation d'interférence successive. Afin d'obtenir des points d'équilibre plus efficaces (par exemple, dans le sens de la somme-paiement ou un critère d'équité donné), il serait d'un grand intérêt d'exploiter un modèle de jeu plus avancé comme un jeu stochastique ; cette extension est particulièrement pertinente si l'information d'état de file d'attente doit être exploité. Pour aller plus loin dans le sens d'avoir un modèle de réseau sans fil très réaliste, une extension moins trivial, mais très pertinent serait d'analyser le cas d'un certain nombre de variables dans le temps des utilisateurs. Ceci est certainement à la fois un intérêt pratique et théorique. Enfin, le cas de la RCA et de l'AAR émetteurs simultanément actives dans le réseau n'a pas encore été étudié.

Bibliographie

- [1] D. Lister, “An Operator’s View on Green Radio”, Proc. IEEE Internat. Conf. on Commun, Workshops (ICC Workshops ’09), 1st Internat. Workshop on Green Commun. (GreenComm ’09) (Dresden, Ger, 2009).
- [2] J. Palicot, and C. Roland, “On The Use Of Cognitive Radio For Decreasing The Electromagnetic Radiations”, URSI 05, XXVIII General Assembly, New Delhi, India, October 23-29, 2005.
- [3] GreenTouch, “Communications Turns Totally Green”, Press Release, Jan. 11, 2010.
- [4] Mobile VCE, Virtual Centre of Excellence in Mobile and Personal Communications, Core 5 Research Programme, “Green Radio - Sustainable Wireless Networks”, Feb. 2009.
- [5] D. Lister, “An operators view on green radio”, Proc. IEEE Internet. Conf. on Comm. Workshops (ICC Workshops 2009), 1st Int. Workshop on Green Comm. (GreenComm 09) (Dresden, Ger., 2009).
- [6] GreenTouch, “Communications Turns Totally Green”, Press Release, Jan. 11, 2010.
- [7] J. Hoydis, M. Kobayashi, and M. Debbah, “Green small-cell networks”, IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 6, no. 1, Mar. 2011.
- [8] D. J. Goodman, and N. Mandayam, “Power Control for Wireless Data”, IEEE Personal Communications, vol. 7, pp. 48-54, Apr. 2000.
- [9] V. Chandar, A. Tchamkerten, and D. Tse, ”Asynchronous capacity per unit cost.”, Information Theory Proceedings (ISIT), 2010 IEEE International Symposium on. IEEE, 2010.
- [10] E. Telatar, “Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels”, *European Trans. Telecommunications*, Vol. 10 (1999), pp. 585-595.
- [11] E.V. Belmega, and S. Lasaulce, “Energy-efficient pre-coding for multiple-antenna terminals”, IEEE. Trans. on Signal Processing, 59, 1, Jan. 2011.
- [12] S. Verdú, “Spectral efficiency in the wideband regime”, IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. 48, no. 6, pp. 1319-1343, Jun. 2002.

- [13] S. Cui, A. Goldsmith, and A. Bahai, "Energy-efficiency of MIMO and Cooperative MIMO Techniques in Sensor Networks" , IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, No. 6, pp. 1089-1098, Aug. 2004.
- [14] V. Chandar, A. Tchamkerten, and D. Tse, Asynchronous Capacity Per Unit Cost , IEEE Inter. Symposium on Information Theory Proceedings (ISIT), pp. 280-284, June 2010.
- [15] V. Shah, N. B. Mandayam, and D. J. Goodman, "Power control for wireless data based on utility and pricing", IEEE Proc. of the 9th Intl. Symp. Personal, Indoor, Mobile Radio Communications (PIMRC), Boston, MA, pp. 427-1432, Sep. 1998.
- [16] C. U. Saraydar, N. B. Mandayam, and D. J. Goodman, "Efficient power control via pricing in wireless data networks", IEEE Trans. on Communications, vol. 50, No. 2, pp. 291-303, Feb. 2002.
- [17] S. Yatawatta, A.P. Petropulu, and C.J. Graff, "Energy-efficient channel estimation in MIMO systems", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, v.2006 n.2, pp. 317-320, April 2006.
- [18] S. Buzzi, H. V. Poor, and D. Saturnino, "Energy-efficient resource allocation in multiuser MIMO systems : a game-theoretic framework, Proc. of the 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Losanna (Svizzera), August 2008.
- [19] T. Yoo, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Multi-Antenna Downlink Channels with Limited Feedback and User Selection", IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), pp. 1478-1491, Sep. 2007.
- [20] G. Caire, N. Jindal, M. Kobayashi, and N. Ravindran, "Multiuser MIMO achievable rates with downlink training and channel state", IEEE Transactions on Information Theory, 56(6) : 2845-2866, 2010.
- [21] C. C. Gaudes, and E Masgrau, "Bounds on Capacity over Gaussian MIMO Multiaccess Channels with Channel State Information Mismatch," IEEE ICASSP-06, vol. 4, pp. 93-96, May 2006
- [22] D. Love, R. Heath, V. Lau, D. Gesbert, B. Rao, and M. Andrews, "An overview of limited feedback in wireless communication systems", IEEE Journal on Selected Areas Communications, vol 26, pp. 1341-1365, 2008.
- [23] V. Rodriguez, "An Analytical Foundation for Ressource Management in Wireless Communication", IEEE Proc. of Globecom, San Francisco, CA, USA, pp. 898-902, Dec. 2003.
- [24] S. M. Betz, H. V. Poor, "Energy efficient communications in CDMA networks : A game Theoretic analysis considering operating costs", IEEE Trans. on Signal Processing, 56(10-2) : 5181-5190, 2008.
- [25] D. Braess, "Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung." Unternehmensforschung 12.1 (1968) : 258-268.