



STAGE MASTER RECHERCHE



RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE

Allocation de ressources dans les systèmes 5G

Domain: Networking and Internet Architecture

Author:
Malo MANINI

Encadrants :
Cédric GUEGUEN
Rodolphe LEGOUABLE
Laboratoire Network Interfaces
b<>com

Abstract: Cet état de l'art traite des différents algorithmes d'allocation de ressource dans les systèmes sans-fils. Nous traiterons les algorithmes classiques actuellement utilisés et nous soulignerons leurs problèmes de performances. Dans un second temps nous parlerons des algorithmes dit opportunistes qui émergent dans les nouvelles technologie comme la 5G, ces derniers tiennent compte de nombreux paramètres tel que les conditions radios. Ce qui leurs permet d'améliorer les performances sur différents points : équité ,économie d'énergie, coopération.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Spécificité des transmissions sans fils	2
3	État de l'art	3
3.1	Algorithmes classiques : RR, RA, MaxminFair	3
3.1.1	RR	3
3.1.2	RA	4
3.1.3	MaxMinFair	4
3.2	Maximisation du débit : MaxSNR	4
3.3	Maximisation du débit, respect de l'équité : PF	4
3.4	Maximisation du débit, respect de l'équité et différenciation de services : WFO . . .	5
3.5	Optimisation de l'énergie : OEA	6
3.6	Augmentation de la zone de couverture : CEI	6
4	Axe de recherche du stage	7
5	Conclusion	8

1 Introduction

Ce stage se déroule dans une équipe b<>com qui se focalise sur les réseaux sans fils 5G. Leur but est d'améliorer les performances des transmissions sans fils. Le nombre d'utilisateurs ne cesse de croître, ils utilisent des applications de plus en plus gourmandes, reposant sur des équipements de plus en plus variés. Par conséquent un problème d'optimisation d'allocation des ressources radio se pose. Nous nous placerons dans le cas où nous avons une cellule et plusieurs utilisateurs ou mobiles (figure 1).



FIGURE 1 – Une cellule multi-utilisateurs

La cellule a un nombre donné d'Unité de Ressource (UR) qu'elle distribue aux mobiles dans sa zone de couverture en fonction de l'algorithme choisi. Pour les différentes unités de ressources disponibles au temps t , les mobiles ont un certain $m_{k,n}$ qui est variable. Ce $m_{k,n}$ correspond au nombre maximum de données qu'est capable de transmettre la cellule pour l'utilisateur k sur la sous-porteuse n , on obtient n sous-porteuse lorsque l'on divise la plage fréquentielle n fois. Les $M_{k,n}$ sont des valeurs qui varient beaucoup et étant donné qu'ils correspondent à la quantité d'information qui peut être transmise sur une UR pour un mobile k , ils ont un impact très important sur la capacité totale du système. Le choix d'un bon algorithme est donc crucial

Dans les réseaux moderne la qualité de service est également une grande préoccupation. Maintenir un certain niveau d'équité dans un réseau est important pour pouvoir satisfaire les utilisateurs. On verra que tous les algorithmes ne sont pas équivalents sur ce point. Le nombre grandissant d'appareils pose aussi le problème de l'environnement, en effet les infrastructures téléphoniques par exemples sont des infrastructures très consommatrices en énergie. On verra qu'il est possible d'allier performance et économie d'énergie, protégeant ainsi la planète, mais également l'autonomie des smartphones tout en maintenant la meilleure qualité de service possible. Une autre spécificité des réseaux sans-fils est la zone de couverture de celui-ci. Un mobile peut par exemple être en dehors de cette zone de couverture, n'ayant ainsi pas accès au service, il existe des méthodes pour étendre cette zone sans avoir recours à la mise en place de nouvelles antennes.

On verra en partie II les spécificités des réseaux sans fils, en partie III l'état de l'art des algo-

rythmes d'allocation de ressource, en partie IV les axes de recherches choisis pour le stage et en V la conclusion.

2 Spécificité des transmissions sans fils

Dans l'histoire des transmissions, les réseaux étaient d'abord uniquement filaires. Ces réseaux subissent des atténuations, comme la distance entre deux points où la puissance du signal se voit diminuer en fonction de celle-ci. Mais ces atténuations sont plutôt statiques, on peut donc prévoir la qualité des transmissions en avance. En revanche lorsque l'on se place dans le contexte des communications sans-fils, un certain nombre de phénomènes physiques dynamiques peuvent venir perturber les transmissions, amenant une grande variabilité dans la qualité de ces dernières. On distingue trois types de perturbation [2] :

Le path loss : qui correspond à une atténuation du signal en fonction de la distance parcouru par celui-ci. Comme dans le filaire plus on s'éloigne de la source émettrice, plus le signal faiblit.

Le shadowing : qui intervient lorsque qu'un objet se met sur le trajet de transmission, le signal se dissipe à travers cet obstacle, réduisant ainsi la force du signal.

Le multi-path fading (figure 2) : il intervient. Lorsque l'antenne émet son signal, celui-ci se subdivise en sous-signaux qui ricochent sur l'environnement qu'ils rencontrent pour rejoindre le récepteur/. Empruntant des chemins plus ou moins long, ils vont donc être plus ou moins déphasés à l'arrivée. Si le déphasage est important ils se recombinaient de manière destructive ayant un impact négatif sur le signal. À l'inverse le multi-path fading peut se recombinaient de manière constructive et ainsi avoir un impact positif sur la qualité du signal. C'est la raison principale pour laquelle il est intéressant de faire de l'allocation de ressource opportuniste. En raison de déphasement pour chaque sous-porteuse, celle-ci n'ont pas la même qualité de signal. C'est le même cas pour les utilisateurs, c'est pourquoi on spécifie le k et n du $M_{k,n}$.

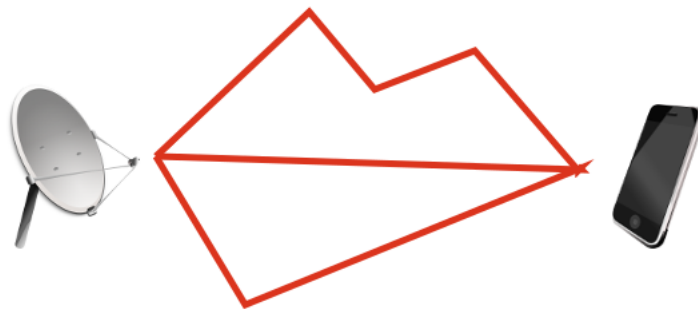


FIGURE 2 – Déphasement du signal

On peut voir ici ces différentes atténuations qui affectent la qualité du signal (figure 3). Même si la distance et un trajet encombré d'obstacles ont un impact très important sur les performances, le multi-path fading du fait de sa grande variabilité peut avoir des conséquences non négligeables, on verra par la suite comment s'en servir pour améliorer les performances du système.

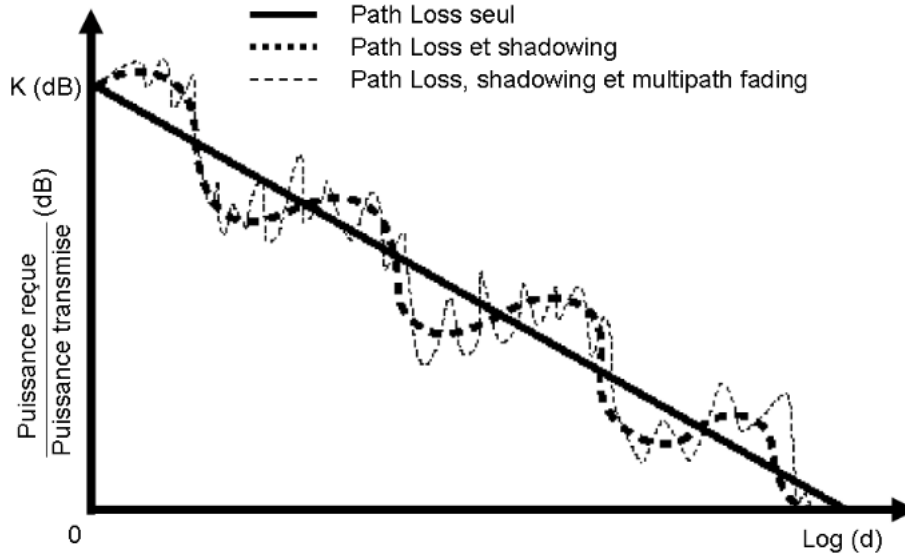


FIGURE 3 – Atténuation des réseaux sans fils [2]

3 État de l'art

Une antenne a un certain nombre d'unité de ressource qu'elle peut attribuer à chaque interval de temps aux mobiles qui se trouvent dans sa zone de couverture. Pour attribuer ses ressources elle fait appel à un algorithme d'allocation de ressource. On en distingue deux types, les algorithmes classiques et les algorithmes opportunistes.

3.1 Algorithmes classiques : RR, RA, MaxminFair

Avec l'arrivée des réseaux sans-fils, les premiers algorithmes utilisés pour attribuer les unités de ressources étaient inspirés tout naturellement du monde des réseaux filaire, ces algorithmes dit classiques ne prennent pas en compte les conditions radios ou $m_{k,n}$ de chaque utilisateur. Ces algorithmes sont pour la plupart plus simple à mettre en œuvre et peuvent parfois encore être utilisés aujourd'hui. Nous verrons ici trois exemples d'algorithmes classiques.

3.1.1 RR

Le Round Robin [6], est un algorithme qui attribue de manière séquentielle les unités de ressources aux utilisateurs. Il va attribuer u unités au mobile n , puis u unités au mobile $n + 1$, jusqu'à ce qu'il ait atteint le dernier mobile où il recommence le cycle avec le premier mobile jusqu'à épuisement des UR. C'est un algorithme qui est équitable dans le sens où il attribue le même nombre d'UR à chaque mobile, seulement comme on l'a vu les mobiles ont chacun des $m_{k,n}$ différents, ils ne pourront donc pas transmettre le même nombre d'information par UR, c'est d'autant plus vrai pour les mobiles qui sont loin de la source qui auront un $m_{k,n}$ moyen plus faible que ceux qui sont proches et ne pourront donc pas communiquer autant d'informations.

3.1.2 RA

Sur le même principe que RR, l'algorithme Random Access [3], ou RA, attribue des ressources aléatoirement aux mobiles. On aura donc globalement des mobiles qui auront le même nombre d'UR. On retrouve ici le même sens de l'équité que pour RR, où les mobiles loin de la source sont pénalisés.

3.1.3 MaxMinFair

Ici l'algorithme MaxMinFair [7] attribue de manière itérative les UR disponibles aux utilisateurs en fonctions de leurs besoins. C'est-à-dire que t'en qu'ils n'ont pas entièrement envoyé leurs données on continue de leurs attribuer des UR, et cela de manière équivalente aux autres. Si par exemple nous avons 3 mobiles qui veulent transmettre des informations, au premier tour on donne la possibilité de transmettre la même quantité d'information i à chaque mobile, au second tour le mobile 1 a fini de transmettre, on donne la possibilité d'envoyer i informations aux deux autres mobiles et comme cela jusqu'à ce que les mobiles aient complètement transmis leurs informations ou qu'il n'y ait plus d'UR disponible. On atteint ici un nouveau niveau d'équité supérieur au deux précédents algorithmes puisque les mobiles ont pu tous transmettre la même quantité d'information.

3.2 Maximisation du débit : MaxSNR

Les algorithmes classiques atteignent vite leurs limites dans un contexte sans-fils, du fait qu'ils ne prennent pas en compte les atténuations comme le multi-path fading, on peut donc se retrouver avec un mobile qui a une très mauvaise qualité de signal au temps t et à qui on attribue les ressources, alors qu'un autre mobile avait une meilleure qualité de signal à ce même moment et aurait donc pu transmettre plus d'information. L'objectif du MaxSNR [8,9] est de maximiser le débit global du système, pour se faire et contrairement aux algorithmes vus précédemment, il prend en considération les conditions radios. Chaque mobile du système a un $m_{k,n}$ variable, le mobile qui a la meilleure bande passante au temps t , n'est pas forcément celui qui aura la meilleure au temps $t + 1$. Ainsi le MaxSNR attribue les ressources en priorité aux mobiles qui ont le meilleur $m_{k,n}$ et qui donc transmettent le plus grand nombre d'informations par UR. On a donc l'utilisateur u qui reçoit l'unité de ressource si :

$$u = \operatorname{argmax}_k(m_{k,n}).$$

Le débit total du système est maximisé. Autre point important, le MaxSNR fonctionne de mieux en mieux lorsque le nombre de mobile dans le système augmente. En effet, plus ce nombre augmente, plus la diversité des $m_{k,n}$ augmente, le MaxSNR aura plus de $m_{k,n}$ intéressants à choisir. On aura donc un débit global qui augmente avec le nombre d'utilisateur, jusqu'à une asymptote où chaque UR transmet le maximum d'information possible.

3.3 Maximisation du débit, respect de l'équité : PF

Le MaxSNR maximise le débit total du système. Mais ce n'est pas suffisant pour assurer une bonne qualité de service pour tous les utilisateurs, en effet si un mobile a un bien meilleur $m_{k,n}$ que les autres, celui ci sera toujours choisi par rapport aux autres. Les mobiles loin de la source par exemple, ne se verront que très rarement attribuer des UR par rapport aux mobiles proches. Pour pallier à ce problème, le Proportional Fair (PF) [10] propose d'attribuer la ressource au mobile qui

a le meilleur $m_{k,n}$ au temps t , par rapport à sa valeur moyenne, soit l'utilisateur u est celui qui reçoit la ressource :

$$u = \operatorname{argmax}_k \left(\frac{m_{k,n}}{M_{k,n}} \right)$$

où $M_{k,n}$ est la moyenne dans le temps de $m_{k,n}$.

Ainsi un mobile loin a autant de chance de se voir attribuer la ressource que les mobiles proches. En pratique dans un système non congestionné, le PF est aussi efficace que le MaxSNR, puisque lorsqu'il n'y a pas de congestion, tous les mobiles finiront par envoyer leurs informations. Le PF qui utilise le meilleur créneau pour que les mobiles envoient leurs informations, permet donc une meilleure utilisation des UR. On aura donc un meilleur bits/UR qu'avec le MaxSNR. On retrouve ici le même problème que pour RR, le fait d'attribuer un nombre équivalent d'UR aux mobiles ne garantit pas qu'ils pourront communiquer un nombre équivalent d'informations, puisqu'ils n'auront pas le même $m_{k,n}$ moyen. Mais cet algorithme reste beaucoup plus avantageux que RR, puisqu'il prend en compte les conditions radios.

3.4 Maximisation du débit, respect de l'équité et différenciation de services : WFO

Le PF assure un certain niveau d'équité en attribuant un nombre égal d'UR aux mobiles. Seulement cela ne suffit pas pour garantir une bonne qualité d'expérience aux mobiles. En effet certains peuvent avoir besoin d'informations courtes mais avec des contraintes temps réels, le cas des communications téléphoniques par exemple. Alors que d'autre auront besoin de grande quantité d'information, sans contraintes temps réels, comme le téléchargement de fichier. Pour réussir à distinguer les contraintes de ces différentes applications, le concept de PDOR, Packet Delay Outrage Ratio, a été introduit. Le PDOR correspond au taux de paquets d'une application arrivée hors délai. Avec ce PDOR on est donc capable de connaître les mobiles qui ont le plus de difficulté à respecter leurs contraintes de temps (figure 4).

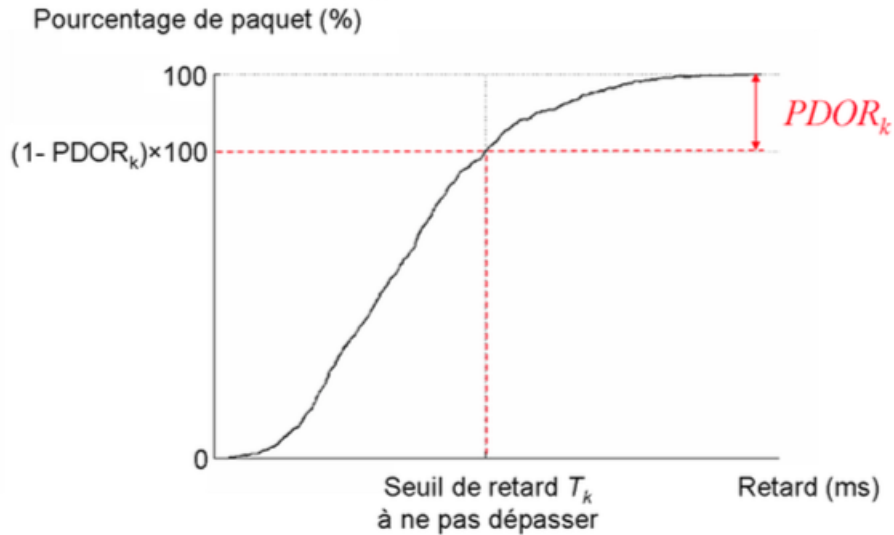


FIGURE 4 – PDOR [2]

L'algorithme Weighted Fair Opportunistic Scheduler [11], ou WFO, prend en compte le PDOR afin d'attribuer les UR aux mobiles. Le mobile u qui reçoit la ressource est celui avec le plus grand PDOR :

$$u = \operatorname{argmax}_k(WFO_{k,n}) \text{ où } WFO_{k,n} \text{ vaut : } WFO_{k,n} = m_{k,n} * f(PDOR_k)$$

En utilisant le PDOR, le WFO peut ainsi faire de la différenciation de service pour les mobiles. On a donc une équité plus forte que pour le PF qui attribue équitablement les UR, mais ne tenait pas compte des réels besoins. Ainsi une communication téléphonique sera plus prioritaire qu'une téléchargement, mais c'est compensé par le fait qu'elle est beaucoup moins de besoin en quantité d'information.

3.5 Optimisation de l'énergie : OEA

Le sujet de l'économie d'énergie est un sujet très important, notamment en réseaux sans fils, où ici l'objectif est principalement d'améliorer l'autonomie des smartphones, puisque l'antenne est une des parties qui consomme le plus. Les antennes ont 3 grands modes de fonctionnement, le mode éveillé, en veille et éteint. Elles consomment beaucoup plus en mode éveillé que veille. L'idée est donc de les laisser en mode veille le plus longtemps possible. Cependant les faire passer d'éveillé à veille est coûteux, on ne peut donc pas passer de l'un à l'autre trop souvent. Dans les algorithmes vus précédemment, le mobile doit rester allumer en permanence, car l'antenne peut lui attribuer des UR à tout moment. L'idée de l'Opportunistic Energy Aware [4], ou OEA, est de permettre aux antennes des mobiles de se mettre en veille. L'algorithme ne réveille les mobiles que si le nombre d'UR par temps d'éveil est suffisamment intéressant. L'OEA permet ainsi de diminuer par deux la consommation d'énergie dans le système, cependant l'algorithme reste opportuniste, il reste donc très efficace par rapport aux algorithmes classiques. Pour calculer le coût de transmission, nous devons d'abord identifier si l'utilisateur est en mode actif $A_k = 1$ ou passif $A_k = 0$, puis le coût pour réveiller l'utilisateur $C1_k$ ou le coût de transmission sur la sous porteuse n Cn_k , on a donc le coût en énergie pour l'utilisateur k à transmettre sur l'unité de ressource :

$$ETC_k = A_k * Cn_k + (1 - A_k) * C1_k$$

on peut ensuite attribuer la ressource en fonction du $m_{k,n}$ et de l' ETC_k soit :

$$OEA_{k,n} = \frac{m_{k,n}}{ETC_k}$$

3.6 Augmentation de la zone de couverture : CEI

La zone de couverture d'un réseau sans fils est une contrainte importante, tout utilisateur en dehors de celle-ci ne pourra pas échanger d'information avec l'antenne. L'objectif du Coverage Extension based Incentive scheduling [5], ou CEI, est de permettre aux utilisateurs en dehors de cette zone d'y accéder. L'algorithme basé sur l'incitation permet aux mobiles à l'intérieur de la zone, de coopérer en fonctionnant comme relai entre l'antenne et les mobiles extérieurs (figure 5).

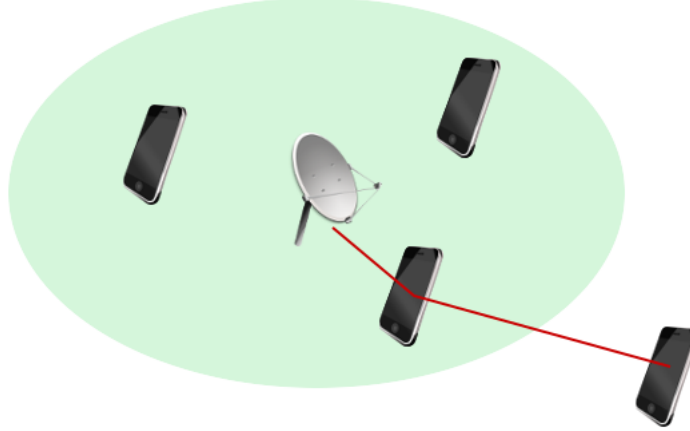


FIGURE 5 – CEI

Seulement pour que ces mobiles est envie de coopérer et donc dédier leur bande passante pour le trafic d'autres mobiles, il faut qu'il soit incité à le faire. De ce fait, ils peuvent choisir leur niveau de coopération et ils sont récompensés en devenant plus prioritaire en fonction de ce niveau de coopération $\frac{R_k}{D_k}$, où R_k est le trafic total qui transite par k et D_k le nombre de données utilisé par k . Il faut également prendre en compte la réelle coopération de k , on ajoute un indice de confiance T_k , ceci afin de bloquer d'éventuel mobile qui chercherait à tricher. On a donc l'algorithme suivant :

$$CEI_{k,n} = m_{k,n} * \frac{R_k}{D_k} * T_k.$$

Ainsi il restera plus avantageux pour un mobile de coopérer, même si sa bande passante est utilisée par d'autres, plutôt que de ne pas coopérer. On augmente ainsi la zone de couverture, sans augmenter la puissance ou le nombre d'antenne.

4 Axe de recherche du stage

Les algorithmes modernes répondent donc à différentes problématiques, comme l'économie d'énergie pour l'OEA et l'augmentation de la zone de couverture pour le CEI. Seulement ces algorithmes sont basés sur le MaxSNR, qui ne fait donc pas de différenciation de service, il serait donc intéressant d'intégrer la notion de PDOR dans ces algorithmes pour ainsi améliorer la qualité de service de chaque utilisateur. Le challenge est de trouver la formule qui reflète le parfait équilibre entre l'aspect différenciation de service et l'économie d'énergie ou la coopération. En utilisant le PDOR avec les algorithmes comme OEA ou CEI, on peut ainsi espérer un gain significatif en qualité de service, tout en maintenant un débit global important et en respectant les contraintes d'économie d'énergie ou de coopération. On pourrait également trouver des solutions pour simplifier l'utilisation du PDOR, le rendant plus applicable. En effet aujourd'hui celui-ci nécessite une implémentation directement sur les mobiles, on pourrait imaginer une solution gérée au niveau de l'antenne. Cela permettrait un système plus standard, pouvant accueillir tout type de mobile.

5 Conclusion

Suite à l'avènement des technologies sans-fils qui ont amené leurs propres contraintes et challenges. Il était primordial de concevoir des algorithmes intelligents qui prennent en compte l'état du réseau. On a pu le voir avec le MaxSNR, qui en voyant le nombre d'utilisateur croître, augmente sont débit total, grâce à la diversité fréquentielle. En revanche le débit total n'est pas le seul objectif, comme on l'a vu avec le PF, WFO, OEA et CEI qui répondent à d'autres problèmes. Il n'y a aujourd'hui pas d'algorithme qui permet de résoudre tous les objectifs mais plusieurs algorithmes pour différents problèmes. Pour tout cet état de l'art nous nous sommes mis dans le contexte où nous n'avions qu'une seule antenne, mais les réseaux modernes comme la 4G et bientôt la 5G, sont des réseaux complexes utilisant plusieurs technologies d'antennes simultanément.

Dans des travaux futurs il serait intéressant de regarder la répartition des utilisateurs sur les différentes technologies, par exemple où devons nous admettre un utilisateur qui est dans la zone de couverture de cellules 3G et 4G ? Il existe aussi de nouvelles innovations qui ouvrent beaucoup de possibilité pour l'allocation de ressource. C'est le cas du Beamforming qui consiste à utiliser des cellules multi-antennes pour localiser spatialement l'utilisateur et permettre aux flux multi chemins de se reconstruire de manière constructive, multi-path fading. D'autres plages de fréquences sont également à l'étude pour les futures générations de communications sans-fils. Les ondes millimétriques en sont un bon exemple. Elles nécessitent d'adapter les algorithmes actuels à leurs contraintes particulières.

Références

- [1] A. Asadi and V. Mancuso *A Survey on Opportunistic Scheduling in Wireless Communications*, IEEE surveys and tutorials on communications, vol. 15, no. 4, 2013.
- [2] Cédric Gueguen, *Allocation de ressources dans les réseaux sans fil à large bande multi-porteuses*, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- [3] G. Mergen and L. Tong, *Random scheduling medium access for wireless ad hoc networks*, Proc. IEEE Int. Conf. on MILCOM, vol. 2, pp. 868 – 872, October 2002.
- [4] Cédric Gueguen, *Opportunistic Energy Aware Scheduler For Wireless Networks*, Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th.
- [5] C. Gueguen, A. Rachedi and M. Guizani *Incentive Scheduler Algorithm for Cooperation and Coverage Extension in Wireless Networks*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, no. 2, Feb. 2013.
- [6] J. Nagle *On packet switches with infinite storage*, IEEE Transactions on Communications, vol. 35, no. 4, no. 4, pp. 435 – 438, April 1987.
- [7] B. Song, Y.-H. Lin, and R. L. Cruz *Weighted max-min fair beamforming, power control, and scheduling for a MISO downlink*, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 7, pp. 464 – 469, February 2008.
- [8] X. Wang and W. Xiang *An OFDM-TDMA/SA MAC protocol with QoS constraints for broadband wireless LANs*, ACM/Springer Wireless Networks, vol. 12, no. 2, no. 2, pp. 159 – 170, 2006.
- [9] R. Knopp and P. Humblet *Information capacity and power control in single-cell multiuser communications*, Proc. IEEE Int. Conf. on Communications (ICC), vol. 1, pp. 331 – 335, June 1995.

- [10] P. Svedman, S. K. Wilson, and B. Ottersten *A QoS-aware proportional fair scheduler for opportunistic OFDM*, Proc. IEEE Int. Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 1, pp. 558 – 562, Sept 2004.
- [11] C. Gueguen and S. Baey *Weighted fair opportunistic scheduling for multimedia QoS support in multiuser OFDM wireless networks*, Proc. IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Sept. 2008.