



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. Mira de Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de Master

en

Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Thème

*L'analyse de l'efficacité énergétique
dans un réseau sans fil par la
théorie des jeux.*

présenté par :

Rouha Mounia & Yaiche Mebarka

devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me}	LEKADIR O.	M.C.B	U. A/Mira Béjaïa.
Promotrice	M ^{me}	DJOUADI F.	M.A.B	U. A/Mira Béjaïa.
Co-Promoteur	M ^r	RADJEF M.S.	Professeur	U. A/Mira Béjaïa.
Examinatrice	M ^{elle}	BOUCHAMA K.	M.A.B	U. A/Mira Béjaïa.
Examinatrice	M ^{me}	KENDI S.	M.A.B	U. A/Mira Béjaïa.

Béjaïa, juin 2013.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement *M^{me}* F. DJOUADI et *M^r* M.S. RADJEF qui nous ont permis de bénéficier de leur encadrement. Les conseils qu'ils nous ont prodigué, la patience, la confiance qu'ils nous ont témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous tenons également à remercier *M^{me}* O. LEKADIR d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous remercions également *M^{elle}* K. BOUCHAMA et *M^{me}* S. KENDI d'avoir accepté de faire part du jury et consacré leurs temps à la lecture et à la correction de ce projet.

Nous n'oublions pas *M^r* Azni pour son aide et sa disponibilité, nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.



Je dédie ce modeste travail :

À ceux que je n'est de plus cher, ceux que mon avenir n'est que leur oeuvre,
Ceux qui ont deux vies ; leur vie et celle de leurs enfants et qui ont un amour pur qui ne
vieillit pas :

Ma très chère mère et le plus idéal père au monde qui est le mien, que Dieu les garde
pour moi.

À mes très chers frères : Abdenour et Abdelmoumen.

À mes très chères sœurs : Zahia, Nacera et Lamia.

À mes adorables neveux : Nadjib et Zizou.

À mes charmantes nièces : Cylia et la petite princesse Ania.

À la mémoire de mes grands parents.

À tout mes amis.

À toute la promotion R.O 2013.

À ma binôme : Mounia.

Et à tout ceux qui veulent réussir et combattent pour le faire.

Mebarka(Faiza)

Je dédie ce modeste travail :

À ceux que je n'est de plus cher : Ma raison d'être, ma mère et au plus idéal père au
monde qui est le mien.

À mes grands parents

À mon très cher frère "Fatsah"

À mes très chères sœurs " Lydia. Milissa"

À mes oncles " Saou, Karim, Rachid, Djamel, Ayach, Hmanou" et leurs femmes

À mes tantes "Sakina, Menana, Samia"

À tous mes cousins.

À toute mes cousines.

À tout les membres de famille ROUHA

À tous mes amis.

À toute la promotion R.O 2013.

Et à ma binôme : Mebarka.

À tout ceux qui veulent réussir et combattent pour le faire.

Mounia

Table des matières

Table des matières	3
Table des figures	4
Introduction	6
Introduction générale	7
1 Généralités sur les réseaux de télécommunication sans fil	9
1.1 Les réseaux de télécommunication sans fil	10
1.2 Architecture des réseaux sans fil	10
1.2.1 Les réseaux avec infrastructure	11
1.2.2 Les réseaux sans infrastructure	11
1.3 Caractéristiques et contraintes des réseaux sans fil	12
1.3.1 Une topologie dynamique	12
1.3.2 Bande passante limitée	12
1.3.3 Contrainte d'énergie	12
1.3.4 Sécurité limitée	12
1.3.5 Débit faible	12
1.3.6 Les interférences	12
1.4 Technologies et techniques de transmission dans les réseaux sans fil	13
1.4.1 Les médias de transmission	13
1.4.2 Les techniques de transmission	13
1.5 Consommation d'énergie dans les réseaux de télécommunication sans fil	15
2 Notions élémentaires de la théorie des jeux	17
2.1 Définition d'un jeu	18
2.1.1 Joueurs	18
2.1.2 Les stratégies	18
2.1.3 Fonction d'utilité (fonction gain)	18
2.2 Représentation des jeux	19
2.2.1 Jeux sous forme stratégique	19
2.2.2 Jeux sous forme extensive	19
2.3 Classification des jeux	20
2.3.1 Selon l'ordre	20
2.3.2 Selon les relations entre les joueurs	21

2.3.3	Selon les gains des joueurs	21
2.3.4	Selon l'information	21
2.4	Jeux finis et jeux infinis	22
2.5	Les jeux symétriques	22
2.6	Jeu Répété	22
2.6.1	Stratégie dans un jeu répété	22
2.7	Jeux à plusieurs étapes	23
2.8	Concepts de solution	23
2.8.1	Équilibres de Nash	23
2.8.2	Equilibre de Nash d'un jeu répété	24
2.8.3	Equilibre parfait	24
2.8.4	Équilibre de Pareto	25
2.9	Application de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication sans fil	25
2.9.1	Pourquoi la théorie des jeux	25
2.9.2	Modélisation des réseaux sans fil sous forme de jeux	25
3	Le problème d'efficacité énergétique dans les réseaux sans fil	28
3.1	Jeu du contrôle de puissance	29
3.1.1	Jeu du contrôle de puissance en un coup	29
3.1.2	Modèle du jeu répété	31
3.2	Position du problème	33
3.3	Modélisation du problème	34
3.3.1	La fonction $u_i^{s_i}$:	36
3.3.2	Le modèle du jeu	41
3.4	Résolution de problème d'efficacité énergétique dans les réseaux sans fil	41
3.4.1	Algorithme de résolution de problème d'efficacité énergétique dans les réseaux de télécommunication sans fil	43
4	Résultats numériques et interprétations	46
4.1	Interprétation des résultats	46
4.2	Calcul du γ^*	46
4.3	Etude de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique	48
4.3.1	Cas d'égalité des distances et différentes valeurs de N	48
4.3.2	Cas des distances différentes et différentes valeurs de N	52
	Conclusion générale	65
	Bibliographie	1

Table des figures

1.1	Un réseau sans fil.	10
1.2	La décomposition des réseaux sans fil.	10
1.3	Les réseaux avec infrastructure.	11
1.4	Les réseaux sans infrastructure.	11
1.5	Accès centralisé suivant la méthode FDMA	14
1.6	Accès centralisé suivant la méthode TDMA.	14
1.7	Accès centralisé suivant la méthode CDMA.	15
2.1	Exemple d'un jeu sous forme extensive	20
2.2	Similitude entre la théorie des jeux et les réseaux sans fil.	26
3.1	N mobiles transmettent vers un point de concentration commun.	33
3.2	Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état A.	37
3.3	Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état F et transmet avec une puissance P_i^{min}	39
3.4	Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état F et transmet avec une puissance P_i^{max}	39
4.1	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2.	48
4.2	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3.	49
4.3	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=5.	49
4.4	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=8.	50
4.5	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3.	51
4.6	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2.	52
4.7	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour N=2.	53
4.8	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2.	53
4.9	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2.	54

4.10	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=5$	54
4.11	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique pour le premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=5$	55
4.12	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=5$	55
4.13	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=5$	56
4.14	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$	57
4.15	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=8$	58
4.16	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$	58
4.17	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=8$	59
4.18	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$	60
4.19	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=2$	61
4.20	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$	61
4.21	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=2$	62
4.22	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=3$	63
4.23	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=3$	63
4.24	Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=3$	63
4.25	Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=3$	64

Introduction générale

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calcul portables poussent aujourd'hui les chercheurs à faire des efforts afin de réaliser le but des réseaux : " L'accès à l'information n'importe où et n'importe quand".

Les réseaux sans fil offrent une grande flexibilité ainsi qu'une rapidité et facilité de mise en place. Ils sont d'un grand apport lors des catastrophes naturelles, des incendies, où il sera indisponible de disposer rapidement d'un réseau pour organiser les secteurs et les opérations de sauvetage [14]. On trouve dans la pratique deux catégories de réseaux d'équipements mobiles : les réseaux avec infrastructures et les réseaux sans infrastructures [14]. Dans la première catégorie, le modèle de la communication utilisé est généralement le modèle cellulaire. Dans ce type de réseaux, on trouve des stations de base, qui assurent les communications entre les équipements. La seconde catégorie est constituée des réseaux AD-HOC, ces derniers sont des réseaux sans infrastructure et les mobiles communiquent directement entre eux.

Plusieurs difficultés sont rencontrées dans les réseaux sans fil telles que le problème de routage, la contrainte d'énergie, la bande de fréquence limitée et la sécurité. La théorie des jeux a permis d'apporter des réponses convaincantes à ces problèmes.

La théorie des jeux est une discipline mathématique qui étudie les interactions des décideurs indépendants qui essaient d'accomplir leurs propres objectifs. Elle fut fondée par Von Neumann et Morgenstern en 1944 lors de la parution de leur ouvrage " theory of game and economic behavior "; bien sur il y eu des précurseurs, parmi les principaux, il faut citer Cournot et Edgeworth. Toutefois, c'est depuis la publication du livre de Von Neumann et Morgenstern que la théorie des jeux est véritablement considérée comme une nouvelle discipline. Ces deux auteurs ont proposé une solution dans le cas particulier d'un jeu où le gain d'un joueur correspond exactement à la perte subie par l'autre joueur (jeu à somme nulle ou duel). En 1951 Nash a montré comment les idées développées par Cournot en 1883 pouvaient servir de base pour construire une théorie de l'équilibre non coopératif pour les jeux à somme variable qui généralise la solution proposée par Von Neumann et Morgenstern. Ce concept a eu des applications dans différents domaines tel que l'économie, la biologie, la sociologie et aujourd'hui, elle est appliquée aux réseaux de télécommunication sans fil.

Le récent regain d'intérêt dans l'application des outils de la théorie des jeux pour les communications est dû au développement des communications sans fil. Dans ce contexte, les multiples dispositifs, émetteurs et récepteurs, partagent le même environnement de communication, ainsi les mêmes ressources (telles que les bandes de fréquences, les inter-

valles de temps (slots),...). Toutefois, au cours de la dernière décennie, la consommation d'énergie est devenue un enjeu de plus en plus important dans les réseaux sans fil dont les terminaux mobiles offrent des fonctionnalités de plus en plus complexes et fonctionnent à des vitesses de transmission plus élevées pendant une longue durée. En outre, dans les réseaux sans fil où le changement de batteries des dispositifs est très peu pratique ou, dans certains cas, voir impossible, la consommation d'énergie devient un enjeu crucial. Tel que chaque terminal mobile adopte des stratégies basées sur le niveau d'énergie de sa batterie dans le but de maximiser son débit de transmission (nombre de paquets envoyés par succès) lors d'une interaction avec d'autres mobiles.

C'est pourquoi le problème d'optimisation d'une fonction d'efficacité énergétique est abordée. Cette métrique de performance traduit le nombre moyen de bits qui peuvent être transmis d'une manière fiable à travers le canal par unité d'énergie consommée.

Dans la littérature, le problème d'efficacité énergétique a été modélisé sous forme d'un jeu non coopératif à un seul coup puis sous forme d'un jeu répété. La résolution de ce jeu consiste à trouver l'équilibre de Nash à chaque étape permettant à chaque mobile de choisir une puissance de transmission optimale qui maximise sa fonction d'efficacité énergétique. Dans le cadre de ce mémoire, le problème d'efficacité énergétique sera modélisé sous forme d'un jeu statique à plusieurs étapes tel que le nombre de joueurs et l'ensemble des stratégies seront mis à jour à chaque étape du jeu.

Ce mémoire est réparti en quatre chapitres, dont le premier et le deuxième sont consacrés à la présentation de certains éléments de la théorie des jeux et des généralités sur les réseaux de télécommunication sans fil qui nous seront utiles dans les chapitres qui suivent. Le troisième chapitre est consacré à la modélisation du problème d'efficacité énergétique sous forme d'un jeu statique non coopératif à N joueurs. On fini par présenter un algorithme pour la résolution du problème posé dans le chapitre trois. Les résultats obtenues par l'implémentation de cet algorithme sont interprétés dans le chapitre quatre.

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux de télécommunication sans fil

Introduction

L'évolution récente des moyens de la communication sans fil a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs portables qui ont des caractéristiques particulières et accèdent à un réseau à travers une interface de communication sans fil. Les réseaux sans fil offrent une grande flexibilité ainsi qu'une rapidité et facilité de mise en place [14].

Dans ce chapitre, nous définissons les réseaux de télécommunication sans fil en général, ensuite nous présentons les deux catégories des réseaux mobiles (les réseaux sans infrastructure et les réseaux avec infrastructure). Par la suite nous citons quelques caractéristiques et contraintes des réseaux sans fil ainsi que les technologies et techniques de transmission dans ces réseaux et on termine ce chapitre par des définitions des facteurs intervenants dans la consommation d'énergie dans ces derniers.

1.1 Les réseaux de télécommunication sans fil

Un réseau sans fil est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur portable, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité".



FIGURE 1.1 – Un réseau sans fil.

1.2 Architecture des réseaux sans fil

Les réseaux mobiles peuvent être répartis en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

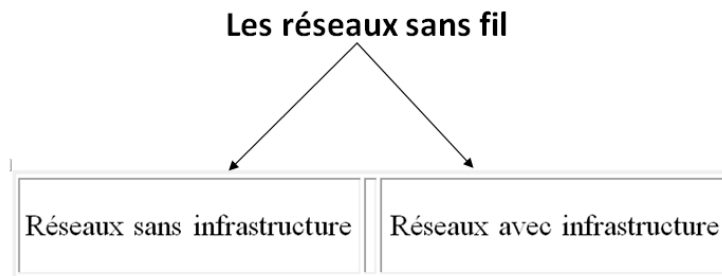


FIGURE 1.2 – La décomposition des réseaux sans fil.

1.2.1 Les réseaux avec infrastructure

L'infrastructure de ces réseaux est composée de sites fixes interconnectés entre eux à travers un réseaux de communication filaire. Certains sites fixes, appelés station de base, gèrent la communication avec les unités mobiles présentées dans une zone géographique limitée, appelée cellule. Une unité mobile ne peut être à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement attachée.

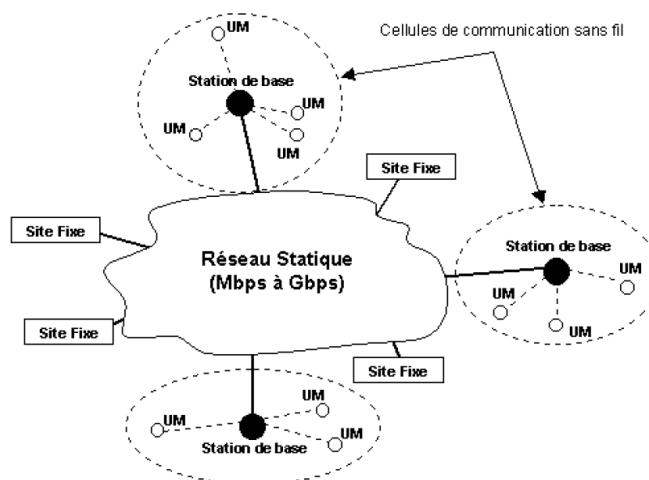


FIGURE 1.3 – Les réseaux avec infrastructure.

1.2.2 Les réseaux sans infrastructure

Le mode sans infrastructure représente un ensemble de stations sans fil qui communiquent directement entre elles sans avoir recours à un point d'accès ou à une connexion à un réseau filaire. Chaque station peut établir une communication avec n'importe quelle autre station dans la cellule que l'on appelle cellule indépendante.

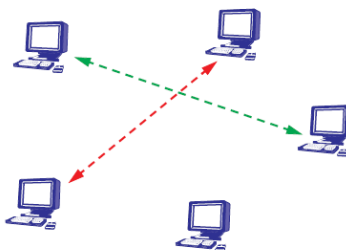


FIGURE 1.4 – Les réseaux sans infrastructure.

1.3 Caractéristiques et contraintes des réseaux sans fil

Les réseaux de télécommunication sans fil présentent des avantages non négligeables. Outre que la mobilité qui est l'avantage principal, le prix peut être également un autre atout, puisqu'un peu d'électronique peut compenser un câblage manquant. Ces réseaux peuvent être facilement installés dans les endroits difficiles à cabler, ce qui élimine une bonne part du travail et du coût généralement liés à l'installation et réduit d'autant le temps nécessaire à la mise en route.

Cependant, ces réseaux imposent de nombreuses contraintes [4].

1.3.1 Une topologie dynamique

Les unités mobiles de réseaux se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent la topologie de réseau peut changer, à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire.

1.3.2 Bande passante limitée

Une des caractéristiques des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé.

1.3.3 Contrainte d'énergie

Les équipements mobiles de batteries limitées, dans certains cas très limitées, et par conséquent d'une durée de traitement réduite. Sachant qu'une partie de l'énergie est déjà consommée par la fonctionnalité du routage. Cela limite les services et les applications supportées par chaque nœud du réseau.

1.3.4 Sécurité limitée

La transmission sans fil entre les nœuds du réseau est assurée par les ondes électromagnétiques dans l'air, c'est donc un média de communication ouvert. Il peut être très facilement surveillé, capturé et analysé ce qui compromet la sécurité du réseau.

1.3.5 Débit faible

Les réseaux sans fil sont moins fiables que les réseaux filaires à cause de la bande passante limitée et les contraintes physiques.

1.3.6 Les interférences

Les liens radio ne sont pas isolés. Deux transmissions simultanées sur une même fréquence ou utilisant des fréquences proches peuvent s'interférer.

1.4 Technologies et techniques de transmission dans les réseaux sans fil

Des différentes techniques de transmission peuvent être utilisées dans les réseaux sans fil.

1.4.1 Les médias de transmission

Deux types de médias peuvent être utilisés pour communiquer dans les réseaux sans fil surtout dans ceux qui sont sans infrastructure [9].

A) Infrarouge

Les systèmes infrarouges sont simples et peu coûteux. Ce médium convient aux réseaux à faible portée. Les émetteurs et récepteurs à infrarouge sont capables de fournir des débits très élevés à des coûts relativement faibles. De plus, les bandes passantes disponibles sont très larges. Les infrarouges pénètrent à travers le verre, mais pas à travers les murs, donc les communications se font dans la même pièce, ce qui facilite la sécurité.

B) Radiofréquence

Le principe est d'émettre des ondes électromagnétiques qui constituent la porteuse du signal à transmettre. Le spectre radio est découpé en bandes de fréquence divisées en canaux. Ces ondes traversent des obstacles contrairement aux infrarouges. Cependant, plusieurs contraintes peuvent intervenir :

- Les brouillages dus aux interférences : les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou, utilisant des fréquences proches peuvent interférer.
- Les brouillages dus au bruit ambiant (que nous distinguons des interférences), provenant d'émission d'autres systèmes par exemple.
- Les erreurs de transmission : les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.
- Impossibilité de détecter les collisions au cours d'une transmission. Pour détecter une collision, une station doit être capable de transmettre et d'écouter en même temps. Or, dans les systèmes radios, il ne peut y avoir transmission et écoute simultanées.
- La consommation d'énergie : qui dit sans fil, dit aussi mobilité, et donc autonomie. Pour maximiser la durée de vie des batteries, il faut économiser autant que possible les transmissions inutiles.

1.4.2 Les techniques de transmission

Les techniques d'accès au médium permettent à plusieurs utilisateurs de partager les ressources. Divers techniques d'accès au médium sont utilisées dans les réseaux sans fil [9]. Ces techniques sont classées en deux grandes familles, l'accès centralisé où le réseau dispose d'une ou plusieurs stations de base qui gèrent l'allocation des canaux et l'accès distribué où le réseau ne dispose pas de stations qui gèrent l'accès au canal.

1. Accès centralisé

- FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Le spectre est divisé en canaux. Chaque canal fréquentiel est affecté à un seul utilisateur à la fois. La méthode d'affectation est alors basée sur une règle de type : premier arrivé, premier servi (FIFO).

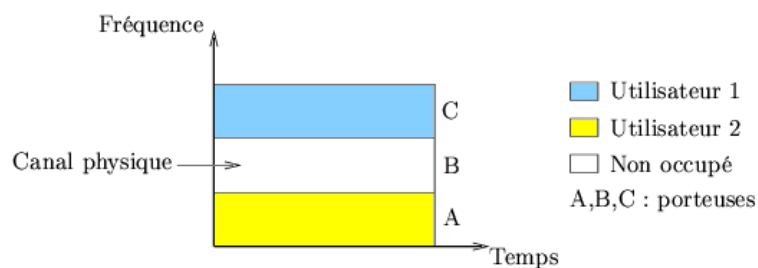


FIGURE 1.5 – Accès centralisé suivant la méthode FDMA

- TDMA (Time Division Multiple Access)

En TDMA, les canaux sont multiplexés sous la forme d'intervalles de temps de telle manière que chaque utilisateur accède à toute la bande passante allouée pour le système de transmission durant un intervalle de temps.

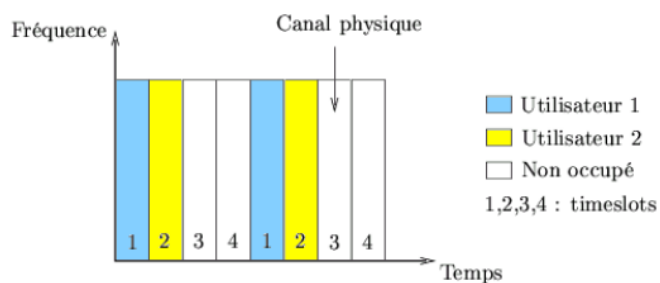


FIGURE 1.6 – Accès centralisé suivant la méthode TDMA.

- CDMA (Code Division Multiple Access)

En CDMA, chaque utilisateur émet sur une large bande au moyen d'un code pseudo-aléatoire personnel. Ainsi, tous les utilisateurs utilisent simultanément la même bande de fréquences. Ceci permet d'avoir une bonne immunité au bruit, d'utiliser la diversité de fréquences et le cryptage (Codage et décodage de l'information).

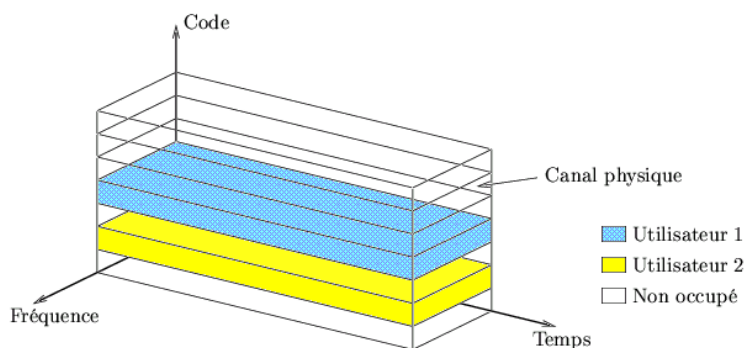


FIGURE 1.7 – Accès centralisé suivant la méthode CDMA.

2. Accès distribué

En 1970, le protocole ALOHA est proposé comme le premier protocole de gestion d'accès au canal pour les réseaux sans fil sans infrastructure. L'idée du protocole ALOHA est simple ; un nœud accède au canal quand il a des données à transmettre. Si plusieurs nœuds accèdent au canal en même temps, les trames de données rentrent en collision ce qui engendre des retransmissions. Après une collision, les nœuds attendent un temps aléatoire avant de réessayer de transmettre à nouveau.

1.5 Consommation d'énergie dans les réseaux de télécommunication sans fil

Les nœuds des réseaux sans fil fonctionnent grâce à des batteries. La consommation d'énergie a un impact direct sur la durée de vie des réseaux de télécommunication sans fil, il existe plusieurs facteurs intervenants dans la consommation de cette énergie : Dans cette section, nous allons analyser les principales causes de consommation d'énergie [10].

La retransmission

La transmission simultanée des données provenant de plusieurs nœuds peut produire des collisions et ainsi une perte de l'information transmise. La retransmission des paquets perdus peut engendrer une perte significative de l'énergie.

L'écoute active

L'écoute active du canal pour une éventuelle réception de paquet qui ne sera pas reçu peut engendrer une perte importante de la capacité des nœuds en énergie.

La surécoute

Le phénomène de surécoute (overhearing) se produit quand un nœud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés. La surécoute conduit à une perte d'énergie additionnelle à cause de l'implication des autres nœuds dans la réception des données.

La surcharge

Plusieurs protocoles fonctionnent par échange de messages de contrôle (overhead) pour assurer différentes fonctionnalités : signalisation, connectivité, établissement de plan d'accès et évitement de collisions. Tous ces messages nécessitent une énergie additionnelle.

La surémission

Le phénomène de surémission (overemitting) se produit quand un nœud envoie les données à un destinataire qui n'est pas prêt à les recevoir. En effet, les messages envoyés sont considérés inutiles et consomment une énergie additionnelle.

La taille des paquets

La taille des messages échangés dans le réseau a un effet sur la consommation d'énergie des nœuds émetteurs et récepteurs. Ainsi, la taille des paquets ne doit être ni trop grande ni trop petite. En effet, si elle est petite, le nombre de paquets de contrôle générés augmente l'overhead. Dans le cas contraire, une grande puissance de transmission est nécessaire pour des paquets de grande taille.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux sans fil qui offrent une grande flexibilité ainsi qu'une rapidité et facilité de mise en place, ces réseaux occupent une place chaque jour plus grande en termes de recherche, d'investissements, de revenus, etc. Les réseaux sans fil sont l'objet de plusieurs recherches, notamment la gestion de la consommation d'énergie qui est une contrainte principale dans la communication sans fil.

Chapitre 2

Notions élémentaires de la théorie des jeux

Introduction

La théorie des jeux est un champ des mathématiques qui a pour objet d'établir et d'étudier les principes et les règles mathématiques pouvant intervenir dans l'analyse des différents types de comportement et des issues possibles lors d'une interaction stratégique entre plusieurs preneurs de décisions (appelés agents en informatique et joueurs en théorie des jeux).

En effet, dans la vie de tous les jours, des preneurs de décisions ont à faire un choix parmi plusieurs actions possibles. Dans un grand nombre de problèmes décisionnels, au moins les deux aspects suivants sont présents :

- il y a au moins deux preneurs de décision,
- il y a une interaction entre les décisions dans le sens où l'issue finale pour un des preneurs de décision dépend non seulement de l'action qu'il a à choisir, mais aussi des actions que les autres décideurs ont choisies.

Un des buts de la théorie des jeux est d'abord de créer des modèles mathématiques de base. Ces modèles essaient de synthétiser tous les éléments essentiels pour décrire l'interaction, puis d'introduire des concepts de solution pour décrire les issues possibles d'un jeu, et enfin, d'appliquer ces outils pour mieux comprendre les phénomènes sociaux.

L'objectif de ce chapitre est de donner les éléments de base de la théorie des jeux, en commençant par définir les jeux et leurs caractéristiques, ainsi que leurs concepts de solutions.

2.1 Définition d'un jeu

Un 'jeu' est une situation où des joueurs sont conduits à faire des choix stratégiques parmi un certain nombre d'actions possibles, dans un cadre défini à l'avance qui seront les règles du jeu. Le résultat de ces choix constituent une issue du jeu, à laquelle est associée un gain (ou paiement), positif ou négatif, pour chacun des participants.

2.1.1 Joueurs

Un joueur peut être une personne, un groupe de personnes, une société, etc. Si dans un jeu, il y'a N joueurs ($N \geq 2$) qui participent au jeu, on notera par $I = \{1, 2, \dots, N\}$ l'ensemble de ces joueurs.

2.1.2 Les stratégies

On distingue deux types de stratégies : les stratégies pures et les stratégies mixtes.

1. Stratégies pures :

Une stratégie pure est la spécification d'une action pour un joueur à chaque fois qu'il est susceptible de jouer. On note par S_i l'ensemble des stratégies pures du joueur "i", $i \in I$ et par $s_k \in S_i$ la stratégie k du joueur "i", $k = \overline{1, n_i}$, tel que n_i le nombre de stratégie du joueur "i", ie $|S_i| = n_i$

2. Stratégie mixte :

Considérons un jeu fini, c-à-d un jeu où les ensembles de stratégies pures des joueurs $i \in I$ contiennent un nombre fini de stratégies $|S_i| = n_i < \infty$. Une stratégie mixte du joueur "i" est une distribution de probabilités α définie sur l'ensemble des stratégies pures du joueur i. On notera par

$$\Delta_i = \{\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n_i}) \in \mathbb{R}^{n_i}, \sum_{k=1}^{n_i} \alpha_k = 1, \alpha_k \in [0, 1], \forall k = \overline{1, n_i}\} \quad (2.1)$$

l'ensemble des stratégies mixtes du joueur $i \in I$, où α_k est la probabilité que le joueur "i" joue sa stratégie pure $s_k \in S_i$.

2.1.3 Fonction d'utilité (fonction gain)

C'est une fonction attribuée à chaque joueur, elle est utilisée pour définir les préférences des joueurs. La fonction d'utilité est plus élevée pour un choix de décision donné si le joueur préfère cette décision par rapport à une autre.

Pour tout $i \in I = \{1, \dots, N\}$, on associe une fonction U_i définie sur l'ensemble $S = \prod_{k=1}^N S_k$ des issues possibles du jeu :

$$U_i : S = \prod_{k=1}^N S_k \longrightarrow \mathbb{R};$$

$$s \in S \mapsto U_i(s).$$

Où : $s = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ est une issue du jeu.

2.2 Représentation des jeux

Les jeux peuvent être représentés sous deux formes : les jeux sous forme stratégique et les jeux sous forme extensive [12].

2.2.1 Jeux sous forme stratégique

Un jeu sous forme normale (ou bien stratégique) s'écrit de la manière suivante :

$$\langle I, \{S_i\}_{i \in I}, \{U_i\}_{i \in I} \rangle, \quad (2.2)$$

où :

I : l'ensemble des joueurs, $I = \{1, \dots, N\}$.

S_i : l'ensemble des stratégies du joueur i , $i \in I$.

U_i : la fonction d'utilité de joueur i , tel que pour chaque joueur "i", on définit une fonction d'utilité : $U_i : \prod_{j=1}^N S_j \longrightarrow \mathbb{R}$, qui à chaque issue du jeu associe le gain du joueur i [11].

2.2.2 Jeux sous forme extensive

Un jeu sous forme extensive est défini par :

- Un ensemble $I = \{1, \dots, N\}$ de joueurs.
- Un arbre fini composé d'un ensemble de nœuds et d'un ensemble de branches représentant les alternatives à chaque coup.
- Une fonction de nommage qui indique à chaque nœud quel est le joueur qui doit jouer.
- Une fonction de gains qui associe à chaque nœud terminal un vecteur dont les composantes représentent les gains de chacun des joueurs.
- Une partition des nœuds en un ensemble d'information représentant les croyances des joueurs [11].

Exemple 2.2.1.

Considérons un jeu fini, simultané, à deux joueurs (Joueur 1 et Joueur 2) et à somme non nulle, où chaque joueur a à choisir entre trois actions possibles (Pierre, Ciseau, Feuille) en respectant un certain nombre de règles du jeu :

1. La pierre casse les ciseaux.
2. Les ciseaux coupent la feuille
3. La feuille cache la pierre.

Les gains de chacun des deux joueurs seront définis de la manière suivante :

- Si les deux joueurs ont choisi la même action, ils auront tous les deux un gain nul.
- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Pierre et son adversaire a choisi l'action Ciseau, il aura un gain de 5 et son adversaire aura gain de 0.

- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Ciseau et son adversaire a choisi l'action Pierre, il aura un gain de 0 et son adversaire aura gain de 5.
- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Ciseau et son adversaire a choisi l'action Feuille, il aura un gain de 5 et son adversaire aura gain de 0.
- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Feuille et son adversaire a choisi l'action Ciseau, il aura un gain de 0 et son adversaire aura gain de 5.
- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Feuille et son adversaire a choisi l'action Pierre, il aura un gain de 5 et son adversaire aura gain de 0 et vice versa.
- Si l'un des deux joueurs a choisi l'action Pierre et son adversaire a choisi l'action Feuille, il aura un gain de 0 et son adversaire aura gain de 5.

La figure (2.1) illustre la forme extensive du jeu considéré :

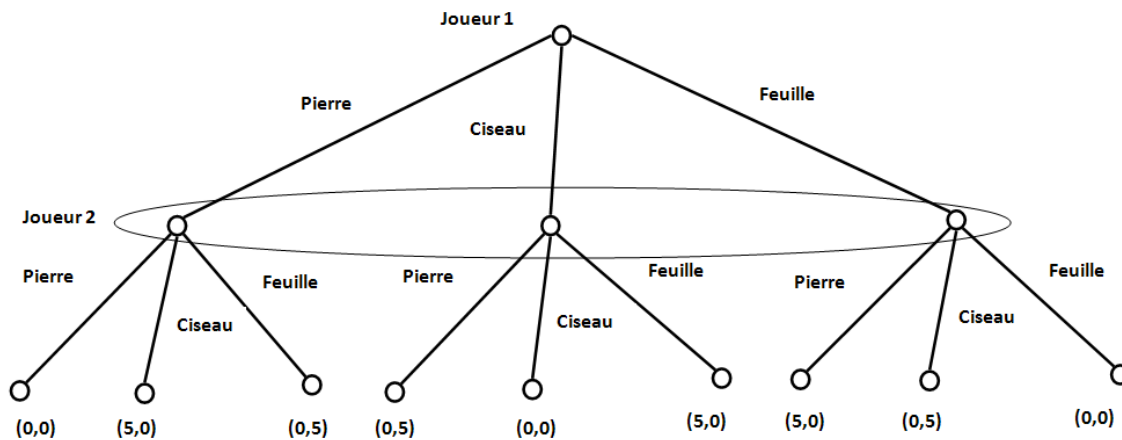


FIGURE 2.1 – Exemple d'un jeu sous forme extensive

2.3 Classification des jeux

Il existe plusieurs classifications possibles des jeux. Nous allons définir quelques catégories :

2.3.1 Selon l'ordre

A) Jeux statiques

Un jeu est dit statique lorsque les joueurs choisissent simultanément leurs actions, et reçoivent ensuite leurs gains respectifs [12]. La représentation adéquate est la forme normale.

B) Jeux séquentiels

Un jeu séquentiel est un jeu dont les joueurs interviennent les uns après les autres, la représentation la plus adéquate est la forme extensive [6].

2.3.2 Selon les relations entre les joueurs

Une caractéristique fondamentale des jeux est que le gain obtenu par un joueur dépend de ses choix, mais aussi des choix effectués par les autres joueurs.

Il convient alors de distinguer deux grandes familles de jeux : les jeux coopératifs et les jeux non coopératifs

A) Jeux coopératifs

Un jeu est dit coopératif lorsque les joueurs peuvent communiquer librement entre eux et passer des accords (par exemple sous forme d'un contrat). Ils forment alors une coalition et recherchent l'intérêt général de la coalition suivi d'un partage des gains entre tous les joueurs [12].

B) Jeux non coopératifs

Dans ce type de jeux, chaque joueur essaye de maximiser sa fonction d'utilité en tenant compte de la stratégie des autres, il n'est donc pas possible de former des coalitions [12].

2.3.3 Selon les gains des joueurs

Les jeux non coopératifs se divisent en deux grandes familles : les jeux à somme nulle, et ceux à somme non nulle.

A) Jeux à somme nulle

Les jeux à somme nulle à deux joueurs sont tous les jeux où la somme algébrique des gains des joueurs est nulle pour chaque issue du jeu, ce que gagne l'un est nécessairement perdu par un autre.

B) Jeux à somme non nulle

Un jeu est dit à somme non nulle, si au moins pour une situation du jeu la somme des gains des joueurs n'est pas nulle.

2.3.4 Selon l'information

A) Jeux à information parfaite

On dit qu'un jeu est à information parfaite si chaque joueur est parfaitement informé des actions passées des autres joueurs [16].

B) Jeux à information imparfaite

On dit qu'un jeu est à information imparfaite lorsqu'un joueur atteint un point de décision où il ne connaît pas toutes les actions des autres joueurs qui l'ont précédés [16].

C) Jeux à information complète

Un jeu est dit à information complète si tous les joueurs connaissent parfaitement la structure du jeu [15], c'est-à-dire : l'ensemble des joueurs, les préférences des joueurs, les règles du jeu et le type d'information de chaque joueur et l'histoire du jeu.

D) Jeux à information incomplète

Un jeu est dit à information incomplète si au moins un des joueurs ne connaît pas parfaitement la structure du jeu [15].

2.4 Jeux finis et jeux infinis

On dit qu'un jeu est fini si l'ensemble des stratégies de chaque joueur est fini, autrement dit :

$$\forall i \in I, |S_i| < \infty.$$

Ainsi, un jeu est dit infini s'il existe un $i \in I$ tel que l'ensemble S_i est infini.

2.5 Les jeux symétriques

Un jeu est dit symétrique, si tous les joueurs possèdent les mêmes ensembles de stratégies, et la même fonction d'utilité.

2.6 Jeu Répété

Un jeu répété consiste en la répétition d'un nombre fini ou infini d'un jeu sous forme normale (ordinaire) (2.3), appelé jeu constituant, où les joueurs choisissent simultanément leurs stratégies [17].

$$\langle I, \{S_i\}_{i \in I}, \{U_i\}_{i \in I}, \delta \rangle, \quad (2.3)$$

où :

I : l'ensemble des joueurs, $I = \{1, \dots, N\}$.

S_i : l'ensemble des stratégies du joueur i , $i \in I$.

U_i : la fonction d'utilité de joueur i , tel que pour chaque joueur "i", on définit une fonction

d'utilité : $U_i : \prod_{j=1}^N S_j \rightarrow \mathbb{R}$, tel que à chaque issue du jeu associe un gain au joueur i .

Dans un jeu répété, les conditions du jeu ne se modifient pas au cours du temps.

2.6.1 Stratégie dans un jeu répété

Nous considérons le jeu répété dans lequel les joueurs font face à chaque période au jeu constituant défini précédemment. La répétition de ce jeu permet aux joueurs de conditionner leurs choix présents et futurs sur les choix passés. Cette interdépendance temporelle peut conduire à des solutions plus coopératives ou plus agressives que celles observées dans le jeu constituant [17].

Nous définissons $s_i(t)$ comme l'action du joueur i à l'instant t .

$s(t) = (s_1(t), \dots, s_i(t), \dots, s_N(t)) \in S$ est alors le profil d'actions sélectionnés par les N joueurs à la date t et $h_t = (s(0), s(1), \dots, s(t-1))$ l'histoire du jeu à cette même date. L'histoire du jeu correspond à l'ensemble des actions que les joueurs ont choisi entre la période initiale 0 et la période $t-1$. Nous avons $h_t \in S^t$ où $S^t = \prod_{t=0}^t S_i$.

Dans un jeu répété, le profil d'actions sélectionné par les joueurs à chaque période crée un nouveau sous-jeu qui est entièrement défini par l'histoire à cette date.

Définition 2.6.1. [17]

Dans un jeu répété, une stratégie pour le joueur i consiste en une séquence de règles de décision, une par période. Cette stratégie est notée $\sigma_i = (\sigma_{i(0)}, \sigma_{i(1)}, \sigma_{i(2)}, \dots, \sigma_{i(t)})$ où $\sigma_{i(t)}$ est la règle de décision du joueur i à la période t .

La règle de décisions $\sigma_{i(t)}$ est une application de S^t vers S_i qui spécifie pour chaque histoire possible du jeu h_t une action ou une conduite à tenir à la date t . Si $\Sigma_{i(t)}$ est l'ensemble des règles de décision du joueur i à la date t , l'ensemble des stratégies du joueur i dans le jeu répété est alors $\Sigma_i = \Sigma_{i(1)} \times \Sigma_{i(2)} \times \dots$. Nous notons $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N)$ le profil de stratégies du jeu répété et $\sigma_t = (\sigma_{1(t)}, \dots, \sigma_{i(t)}, \dots, \sigma_{N(t)})$ le profil des règles de décisions à la période t . On a $\sigma \in \Sigma$ où Σ est le produit cartésien des ensembles de stratégies noté $\Sigma = \prod_{i=1}^N \Sigma_i$.

2.7 Jeux à plusieurs étapes

Un jeu à plusieurs étapes est un jeu non coopératif, statique qui se déroule en plusieurs étapes, tel que à chaque étape du jeu, on a le nombre de joueurs et les ensembles des stratégies associés au joueurs changent, ainsi le nombre de joueurs va diminuer au cours de ces étapes et ce jeu s'arrêtera quand il n'y est plus de joueurs pour jouer ($N < 2$).

La forme normale de ce jeu est donnée par :

$$\langle I^t, \{S_i^t\}_{i \in I}, \{U_i^t\}_{i \in I} \rangle. \quad (2.4)$$

où :

I^t : l'ensemble des joueurs à l'étape t .

S_i^t : l'ensemble des stratégies d'un joueur i , $i \in I^t$ à l'étape t .

U_i^t : la fonction d'utilité d'un joueur i , $i \in I^t$ à l'étape t .

2.8 Concepts de solution

2.8.1 Équilibres de Nash

L'équilibre de Nash, introduit par John Nash en 1950, est un concept fondamental en théorie des jeux. Il décrit une issue du jeu dans laquelle aucun joueur ne souhaite modifier

sa stratégie étant donnée la stratégie de chacun de ses rivaux.

Équilibre de Nash en stratégies pures

Définition 2.8.1.

Une situation $s^* = \{s_1^*, s_2^*, \dots, s_N^*\} \in S$ est un équilibre de Nash en stratégies pures du jeu (2.2) si :

$$U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(s_i, s_{-i}^*), \forall s_i \in S_i, \forall i \in I \quad (2.5)$$

Où :

$$s_{-i} = (s_1, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_N)$$

En d'autres termes, un équilibre de Nash est une issue du jeu où aucun joueur n'a intérêt à dévier unilatéralement [12].

Équilibre de Nash en stratégies mixtes

Définition 2.8.2.

Un équilibre de Nash en stratégies mixtes pour le jeu (2.2) est un ensemble de stratégies mixtes α^* tel que :

$$U_i(\alpha_i^*, \alpha_{-i}^*) \geq U_i(\alpha_i, \alpha_{-i}^*), \forall \alpha_i \in \Delta_i, \forall i \in I \quad (2.6)$$

Où $\Delta_i = \{\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_{n_i}) \in \mathbb{R}^{n_i}, \alpha_j \geq 0, \forall j = \overline{1, n_i}, \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j = 1\}$.

Théorème 2.8.1.

Tout jeu fini sous forme stratégique admet un équilibre de Nash en stratégies mixtes [12].

2.8.2 Equilibre de Nash d'un jeu répété

Définition 2.8.3. [17]

Soit $\Gamma^\infty < I, \Sigma, U, \delta >$ est le jeu infiniment répété du jeu ordinaire avec $\delta > 0$ est le facteur d'actualisation, Σ est l'ensemble de stratégies et $U = (U_1, \dots, U_i, \dots, U_N)$ le vecteur de gains.

Dans le jeu $\Gamma^\infty < I, \Sigma, U, \delta >$, le profil de stratégies σ est un équilibre de Nash si et seulement si pour tout $i \in I$ et tout $\sigma'_i \in \Sigma_i$ on a :

$$U_i(\sigma_i, \sigma_{-i}) \geq U_i(\sigma'_i, \sigma_{-i})$$

2.8.3 Equilibre parfait

Définition 2.8.4. [17]

le profil de stratégies σ est un équilibre parfait dans le jeu répété $\Gamma^\infty < I, \Sigma, U, \delta >$ si et seulement si :

i) σ est un équilibre de Nash sur l'ensemble du jeu Γ :

$$U_i(\sigma_i, \sigma_{-i}) \geq U_i(\sigma'_i, \sigma_{-i}), \text{ pour tout } i \in I \text{ et tout } \sigma'_i \in \Sigma_i.$$

ii) σ^{h_t} est un équilibre de Nash pour tout t et toute histoire h_t :

$$U_i(\sigma^{h_t}) \geq U_i(\sigma_i^{h_t}, \sigma_{-i}^{h_t}), \text{ pour tout } i \in I, \text{ tout } t=1,2,\dots,h_t \text{ et } \sigma_i^{h_t} \in \Sigma_i^{h_t}.$$

2.8.4 Équilibre de Pareto

Un optimum de Pareto est un état dans lequel on ne peut pas améliorer le gain d'un individu sans détériorer celui d'un autre [21]. Une situation $s^* \in S$ est appelée équilibre de Pareto dans le jeu (2.2) s'il n'existe pas une autre stratégie $s \in S$, $s \neq s^*$ telle que :

$$U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \leq U_i(s_i, s_{-i}), \forall i \in I \quad (2.7)$$

Et pour au moins un $i_0 \in I$ on ait :

$$U_{i_0}(s_{i_0}^*, s_{-i_0}^*) < U_{i_0}(s_{i_0}, s_{-i_0}) \quad (2.8)$$

2.9 Application de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication sans fil

2.9.1 Pourquoi la théorie des jeux

La théorie des jeux développe des outils mathématiques nécessaires pour l'étude des interactions des agents autonomes. A ce niveau, il devrait être clair comment la théorie des jeux peut être utile pour l'analyse des réseaux sans fil.

Dans un réseau sans fil, chaque mobile (nœud) doit prendre des décisions. Ces nœuds, qui sont des agents autonomes, prennent des décisions sur la puissance de transmission, l'expédition de paquets, le partage des ressources, etc. Afin de réaliser un objectif commun qui est le bien être du système dans son ensemble dans certains cas. Dans d'autres cas, les nœuds peuvent se comporter d'une manière égoïste et donc cherchent à maximiser leurs propres intérêts (le débit de transmission, la fonction d'efficacité énergétique, etc).

2.9.2 Modélisation des réseaux sans fil sous forme de jeux

Dans un jeu, les joueurs sont des preneurs de décisions indépendants, dont les profils dépendent des actions des autres joueurs. Les nœuds dans un réseau sans fil sont caractérisés par le même dispositif. Cette similitude entre les composants de la théorie des jeux et les éléments d'un réseau sans fil est illustré dans la figure (2.2)

Nous allons énumérer quelques travaux dont les auteurs ont utilisé la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication sans fil comme outil de modélisation.

- Le contrôle de puissance dans les réseaux sans fil, qui est le choix optimal de la puissance de transmission par un terminal mobile influe sur l'efficacité énergétique qui est le nombre de bits d'information transmis par succès par unité d'énergie consommée, Farhad Meshkati, Andrea J. Goldsmith, H. Vincent Poor et Stuart C.Schwartz dans [18] ont modélisé le problème d'efficacité énergétique sous forme d'un jeu non coopératif ou

Les éléments du jeu	Les éléments du réseau
Joueurs	Nœuds dans le réseau
Stratégies	Action liée à la fonctionnalité à étudier (La puissance de transmission, l'accès au médium, expédition des paquets, ...)
Fonction d'utilité	Les performances du réseau (Le débit, l'efficacité énergétique,...)

FIGURE 2.2 – Similitude entre la théorie des jeux et les réseaux sans fil.

chaque terminal mobile choisit une puissance de transmission (le contrôle de puissance) afin de maximiser son efficacité énergétique.

Chaque terminal mobile décide quelle sera la puissance de transmission à choisir afin de maximiser son efficacité énergétique .

-Dans [16], un modèle de la théorie des jeux pour l'étude du problème de contrôle de puissance des multi-porteuses CDMA a été proposé. Ce problème est modélisé par un jeu non coopératif dans lequel chaque utilisateur décide avec quelle puissance il va transmettre afin de maximiser sa propre fonction utilité. Dans ce problème la fonction d'utilité mesure le nombre de bits fiables transmis par tous les porteuses par Joule d'énergie consommée. L'équilibre de Nash a été proposé pour résoudre ce problème.

- La hiérarchie dans les réseaux sans fil qui peuvent être modélisés par un canal à accès multiple et dont l'efficacité énergétique est le principal indice de performance est étudié dans [2]. Dans ces réseaux les utilisateurs sont libres de choisir leur stratégie de contrôle de puissance égoïstement afin de maximiser leur efficacité énergétique. Plus précisément, la hiérarchie est considérée dans [2] de deux manières différentes :

1. une formulation du jeu de Stackelberg où un utilisateur est le leader tandis que les autres utilisateurs sont supposés être en mesure de réagir aux décisions du leader.
2. une formulation du jeu de Stackelberg où aucun utilisateur n'est apte à être le leader parmi les utilisateurs, les auteurs introduisent la hiérarchie en supposant l'annulation des interférences successives au niveau du récepteur

Dans les deux cas, l'existence et l'unicité d'un équilibre de Nash sont étudiées dans [2].

- Le problème de l'allocation des ressources non coopératif dans un réseau multi-point à multi-point cellulaire CDMA est considéré dans [5]. Plusieurs fonctions d'utilité sont prises en considération afin de les maximiser, parmi elles le SINR (le rapport "signal sur interférence plus bruit) reçu et l'efficacité énergétique qui représente le nombre de bits transmis avec succès pour chaque unité d'énergie utilisée pour la transmission. La théorie des jeux potentiels, des jeux non-coopératifs qui admettent des équilibres de Nash dans les

réseaux cellulaires multi-point à multi-point a été utilisée.

- Dans [3] l'auteur s'est intéressé à l'application de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication sans fil afin d'atteindre deux objectifs : maximiser le nombre de paquets transmis avec succès et prolonger la durée de vie des utilisateurs sous des contraintes de consommation d'énergie et de la connaissance de l'état de charge de la batterie de chaque mobile. L'auteur a étudié l'existence d'un équilibre évolutionnerement stable pour résoudre ce problème.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des éléments de base de la théorie des jeux, qu'on va utilisé pour la modélisation du problème de l'efficacité énergétique dans les réseaux de télécommunication sans fil en prenant en compte l'état de charge de la batterie de chaque mobile.

Chapitre 3

Le problème d'efficacité énergétique dans les réseaux sans fil

Introduction

Dans les réseaux sans fil, les mobiles partagent la même bande de fréquence limitée. Cette bande de fréquence est divisée en canaux physiques, et chaque canal est affecté à une seule communication. Lorsque deux mobiles envoient simultanément sur un même canal, un phénomène d'interférence se produit et les paquets envoyés seront perdus.

Dans ces réseaux, chaque mobile (nœud) adopte des stratégies basées sur le niveau d'énergie de sa batterie dans le but de maximiser son débit de transmission (nombre de paquets envoyés avec succès), lors d'une interaction avec d'autres mobiles.

Chaque mobile se trouve devant le dilemme : utiliser une forte puissance de transmission pour augmenter sa chance d'un envoi avec succès, mais dépensant une quantité d'énergie plus importante, ou bien utiliser une puissance faible, et donc avec une faible quantité d'énergie, mais réduisant ses chances de succès de sa transmission.

Dans ce chapitre, on va modéliser le problème d'efficacité énergétique dans les réseaux sans fil sous forme d'un jeu à plusieurs étapes, puis on va proposer un algorithme afin de résoudre ce problème.

3.1 Jeu du contrôle de puissance

L'allocation optimale de puissance de transmission où le contrôle de puissance dans un canal à accès multiple est, en général, calculée de manière centralisée par le récepteur (station de base ou point d'accès au réseau) et transmise comme un message de contrôle à tous les utilisateurs du réseau. Dans un réseau cellulaire cette solution est réaliste lorsque la station de base est dotée d'une grande capacité de calcul. Cependant, dans le cas des réseaux auto-configurables (par exemple : les réseaux AD-HOC), il est possible de trouver des récepteurs avec des fortes limitations de calcul et donc, incapables de résoudre un problème d'allocation optimale de puissance. Pour dépasser cette contrainte, un réseau décentralisé est considéré dans [8]. Dans cette section, nous allons voir comment les terminaux peuvent utiliser le contexte d'un jeu pour répondre au problème de contrôle de puissance de transmission dans les réseaux de télécommunication sans fil considéré dans [8], mais avant de le faire, un jeu à un coup s'impose.

3.1.1 Jeu du contrôle de puissance en un coup

Le modèle de jeu non-coopératif à une seule étape (dit jeu statique) avec information complète a été introduit par l'auteur dans [8].

Le jeu statique du contrôle de puissance est un triplet $G = \langle I, \{A_i\}_{i \in I}, \{u_i\}_{i \in I} \rangle$

où :

I : un ensemble de mobiles, $I = \{1, \dots, N\}$.

A_i : l'ensemble des stratégies ou actions d'un mobile i , $i \in I$, $A_i = [P_i^{min}, P_i^{max}]$, P_i^{min} est la puissance minimale de transmission du mobile i , et P_i^{max} est la puissance maximale de transmission du mobile i .

u_i : la fonction d'utilité d'un mobile i .

Les fonctions d'utilité u_1, \dots, u_N des différents mobiles sont définies par l'équation suivante :

$$u_i(a_i, a_{-i}) = R_i \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, \quad [bits/J]; \quad (3.1)$$

où :

a_i : la puissance de transmission d'un signal d'un mobile i , $a_i \in A_i = [P_i^{min}, P_i^{max}]$

R_i : est le nombre total espéré de paquets transmis avec succès (débit) pour le mobile i .

f : est la fonction d'efficacité qui représente le taux de réussite. f est croissante; $f : R^+ \rightarrow [0, 1]$ est sigmoïdale (i.e. elle est strictement concave sur un intervalle $]0, \alpha[$ puis strictement convexe sur $]\alpha, +\infty[$ [20]).

Pour chaque utilisateur i le rapport "signal sur interférence plus bruit" noté γ_i est donné par :

$$\gamma_i = \frac{a_i |h_i|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \neq i} a_j |h_j|^2}; \quad i \in I. \quad (3.2)$$

telle que :

σ^2 : est le bruit d'interférence d'un signal.

h_i : est la distance entre l'émetteur i et le récepteur.

La stratégie du mobile i consiste à choisir, pour chaque paquet émis, le niveau de puissance d'émission a_i afin de maximiser sa fonction d'utilité donné par l'équation (3.1)

Le concept de solution le plus pertinent en théorie des jeux est celui de l'équilibre de Nash [23]. La continuité de chaque fonction d'utilité u_i en $a = (a_1, \dots, a_N)$ et la quasi-concavité de u_i en a_i sur des ensembles compacts et convexes assure, par le théorème de Debreu-Fan-Glicksberg (voir par exemple [7]), l'existence d'un équilibre de Nash en stratégie pure pour le jeu en un coup.

Les stratégies d'équilibre sont mutuellement optimales, c'est-à-dire qu'aucune déviation unilatérale n'est profitable. Pour chaque émetteur i l'utilité maximale se produit à un niveau de puissance pour lequel la dérivée partielle de u_i par rapport à a_i est égal à zéro :

$$\frac{\delta u_i}{\delta a_i} = 0. \quad (3.3)$$

On remarque dans l'équation (3.1) que pour dériver l'équation (3.3) par rapport à a_i on a besoin de connaître la dérivée de γ_i par rapport à a_i .

La formule générale de rapport signal sur interférence plus bruit γ_i est donné par :

$$\gamma_i = \frac{a_i |h_i|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \neq i} a_j |h_j|^2}. \quad (3.4)$$

On dérive γ_i par rapport à a_i on aura :

$$\frac{\delta \gamma_i}{\delta a_i} = \frac{\gamma_i}{a_i}. \quad (3.5)$$

En se référant aux équations (3.1) et (3.5), nous pouvons exprimer la dérivée de la fonction d'utilité par rapport à a_i qui est donné par l'équation (3.6).

$$\frac{\delta u_i}{\delta a_i} = \frac{R_i}{a_i^2} \left(\gamma_i \frac{\delta f(\gamma_i)}{\delta \gamma_i} - f(\gamma_i) \right). \quad (3.6)$$

On aura donc :

$$\frac{\delta u_i}{\delta a_i} = 0 \Rightarrow \gamma_i \frac{\delta f(\gamma_i)}{\delta \gamma_i} - f(\gamma_i) = 0. \quad (3.7)$$

Théorème 3.1.1. (Goodman, Mandayam [8])

Le vecteur des puissances à l'équilibre de Nash, noté $a^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_N^*)$, correspond à l'unique solution du système d'équation suivant :

$$\left(\frac{\delta u_i(a)}{\delta a_i} = 0 \right)_{i \in I} \Leftrightarrow \gamma_i = \gamma^*, \quad i \in \{1, \dots, N\}; \quad (3.8)$$

avec γ^* est l'unique solution de l'équation

$$x f'(x) - f(x) = 0, \quad \forall i \in I. \quad (3.9)$$

Pour chaque joueur $i \in \{1, \dots, N\}$, nous caractérisons la puissance et l'utilité d'équilibre grâce aux formules suivantes :

$$a_i^* = \frac{\sigma^2}{|h_i|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*}, \quad \forall i \in I; \quad (3.10)$$

$$u_i^* = \frac{|h_i|^2}{\sigma^2} \frac{f(\gamma^*)(1 - (N-1))\gamma^*}{\gamma^*}, \quad \forall i \in I. \quad (3.11)$$

D'après le Théorème (3.1.1), le rapport "signal sur interference plus bruit" γ_i optimal pour l'émetteur $i \in I$ est égal à la solution de l'équation suivante :

$$xf'(x) - f(x) = 0, \quad \forall i \in I. \quad (3.12)$$

Cette solution est indépendante de l'indice $i \in I$ des joueurs puisque la fonction f est sigmoïdale est commune aux joueurs [19].

La puissance qui maximise la fonction d'utilité pour chaque émetteur i est donnée par l'équation (3.13) [23] :

$$a_i^* = \frac{\sigma^2}{|h_i|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*}, \quad \forall i \in I. \quad (3.13)$$

où γ^* est l'unique solution de l'équation (3.12).

L'utilité à l'équilibre est donnée par l'équation (3.14) [23] :

$$u_i^* = \frac{|h_i|^2}{\sigma^2} \frac{f(\gamma^*)(1 - (N-1))\gamma^*}{\gamma^*}, \quad \forall i \in I. \quad (3.14)$$

3.1.2 Modèle du jeu répété

Le modèle du jeu répété est donné dans [22]. Dans cet article, ils ont proposé d'améliorer l'efficacité énergétique en tenant compte du fait que l'interaction entre joueurs se fait généralement sur plusieurs coups. Ils ont proposé une stratégie d'équilibre parfaite en sous jeu, où les terminaux contrôlent eux-mêmes leur puissances de transmission dans le but de maximiser l'efficacité énergétique de leurs communications (bits par seconde transmis sans erreur, par unité d'énergie consommée).

La durée de l'interaction est dévisée en intervalles de transmission qui sont appelés les étapes du jeu répété. A chaque étape, il existe une probabilité non nulle qu'un joueur arrête sa transmission ou qu'un nouveau joueur commence à transmettre. Cependant les puissances des joueurs à l'équilibre dépendent du nombre de joueurs N . Cette variation du nombre de joueur étant aléatoire, à chaque étape le jeu s'arrête avec une probabilité γ , la probabilité que le jeu s'arrête à l'étape t sera donc $\gamma(1 - \gamma)^{t-1}$. L'histoire du jeu jusqu'à l'étape t est définie comme la suite des vecteurs de puissances $P^S = (P_1^S, \dots, P_N^S)$ jouées aux étapes précédentes : $h^t = \{(P^1, \dots, P^{t-1})\} \in H^t$ où H^t est l'ensemble des histoires jusqu'à l'étape t . Une stratégie pure pour le joueur i est une suite de fonctions $(\tau_i^t)_{i \geq 1}$ avec $\forall t, \tau^t : H^t \mapsto [0, P_i^{max}]$, P_i^{max} étant la puissance maximale d'émission du joueur i . Pour chaque joueur et chaque étape, on a donc : $\tau_i^t(h^t) = p_i^t$ et une suite de paiements d'étapes

(u^1, \dots, u^t, \dots) . L'espérance des paiements du joueur i dans le jeu répété, avec à chaque étape la probabilité d'arrêt λ est donnée comme suit :

$$\nu_i(\tau) = \sum_{t \geq 1} \gamma(1 - \gamma)^{t-1} u_i(P^t). \quad (3.15)$$

Une stratégie τ du jeu répété est un équilibre si $\forall \tau'_i, i \in N; \nu_i(\tau) \geq \nu_i(\tau'_i, \tau_{-i})$ et une stratégie τ du jeu répété est un équilibre parfait en sous-jeu si après toutes les histoires h possibles, la stratégie $\tau(h)$ est toujours une stratégie d'équilibre.

La maximisation de l'utilité du joueur i sous la contrainte :

$$p_i | h_i |^2 = p_j | h_j |^2, \quad (3.16)$$

revient à résoudre l'équation :

$$\frac{du_i(p)}{dP_i} = 0 \text{ s.c } p_i | h_i |^2 = p_j | h_j |^2, \forall i, j \in \{1, \dots, N\} \Leftrightarrow \gamma_i = \tilde{\gamma};$$

avec $\tilde{\gamma}$ solution de l'équation : $x(1 - x)f'(x) - f(x) = 0$.

Sachant que la fonction $x(1 - x)f'(x) - f(x)$ est strictement positive sur $]0, \tilde{\gamma}[$ puis strictement négative sur $]\tilde{\gamma}, +\infty[$, donc elle possède une unique solution, puisque cette équation est indépendante du joueur i et du fait que les contraintes (3.16) soient vérifiées, alors la solution du problème de maximisation de la fonction d'utilité du joueur i est aussi solution du problème de maximisation de la fonction d'utilité des autres joueurs.

Les deux équations sont compatibles et nous permettent d'obtenir une même formulation pour des puissances qui vérifient le système d'équations $\gamma_i = \tilde{\gamma}, \forall i \in \{1, \dots, N\}$.

Pour chaque joueur $i \in \{1, \dots, N\}$ la puissance et l'utilité équitable et optimale est donné par :

$$\tilde{p}_i = \frac{\sigma^2}{|h_i|^2} \frac{\tilde{\gamma}}{1 - (N-1)\tilde{\gamma}} \quad ; \quad \tilde{u}_i = \frac{|h_i|^2}{\sigma^2} \frac{f(\tilde{\gamma})(1 - (N-1)\tilde{\gamma})}{\tilde{\gamma}}; \quad \forall i \in I.$$

Déroulement du jeu

Le jeu répété considéré se déroule de la manière suivante. Une station de base envoie à tous les joueurs une probabilité d'arrêt ainsi que le nombre de joueurs. Le jeu débute et à chaque étape, les joueurs apprennent le gain de leur propre canal et la variance du bruit, ensuite les joueurs choisissent simultanément une puissance de transmission. Dans cet article, ils ont montré que pour jouer l'optimum équitable, les joueurs n'ont besoin de connaître que le gain de leur propre canal, le bruit et le nombre de joueurs, et ils ont montré que les joueurs ont une meilleure utilité à l'optimum équitable qu'à l'équilibre de Nash i.e $\forall i \in N, u_i(\tilde{p}) > u_i(p^*)$, ils ont démontré aussi que la probabilité d'arrêt du jeu doit vérifier l'inégalité (3.17)

$$\lambda < \frac{\eta_i^{\min} \left[\frac{1-\tilde{\gamma}}{\tilde{\gamma}} f(\tilde{\gamma}) - \frac{1-\gamma^*}{\gamma^*} f(\gamma^*) \right]}{\eta_i^{\max} \left[\frac{f(\gamma^*)}{\gamma^*} - \frac{1-\tilde{\gamma}}{\tilde{\gamma}} f(\tilde{\gamma}) \right] + \eta_i^{\min} \left[\frac{1-\tilde{\gamma}}{\tilde{\gamma}} f(\tilde{\gamma}) - \frac{1-\gamma^*}{\gamma^*} f(\gamma^*) \right]}; \quad (3.17)$$

tel que : $\eta_i^{min} = \min|h_i|^2$ et $\eta_i^{max} = \max|h_i|^2$

Si l'inégalité (3.17) est vérifiée alors la stratégie d'équilibre parfait en sous-jeu du jeu répété est donnée par :

$$\tilde{\tau}_i = \begin{cases} \tilde{p}_i, & \text{tant que les autres joueurs jouent } p_{-i}; \\ p_i^*, & \text{sinon.} \end{cases}$$

Si tous les joueurs suivent cette stratégie, alors les utilités atteintes sont optimales et équitables. De plus si l'un des joueurs dévie, il ne pourra jamais profiter de sa déviation.

En se basant sur les travaux [8] et [3] on s'intéresse à la modélisation du problème d'efficacité énergétique dans les réseaux de télécommunication sans fil par la théorie des jeux en prenant en compte l'état de charge de la batterie de mobile.

3.2 Position du problème

On considère un réseau de télécommunication sans fil dans lequel N mobiles transmettent vers un point de concentration commun (voir la figure (3.1)) (une antenne, par exemple : une station de base cellulaire, un point d'accès).



FIGURE 3.1 – N mobiles transmettent vers un point de concentration commun.

On suppose que l'ensemble de mobiles qu'on note I, émettent tous sur la même fréquence et partageant la même bande passante veulent transmettre des paquets, ces utilisateurs sont égoïstes dans le sens où chaque mobile cherche à optimiser son propre objectif (maximisation de son débit de transmission). Lors de l'envoi des paquets

certains mobiles utilisent le même temps de slot, cela engendre des conflits entre ces mobiles lors de la transmission des paquets.

On suppose que chaque mobile a pour objectif de transmettre le plus grand nombre de paquets avec succès en gérant d'une manière rationnelle ses puissances de transmission et l'utilisation de l'énergie de sa batterie. En effet, si un mobile transmet un paquet avec une forte puissance, alors il augmente ses chances de le faire avec succès, mais il dépenserait plus d'énergie. D'autre part, s'il transmet le paquet avec une faible puissance et s'il interfère avec un autre mobile transmettant en même temps avec lui avec une puissance plus forte, alors il échouerait dans sa tentative de transmission de son paquet. Ceci le conduirait à refaire une autre tentative, donc une seconde perte d'énergie.

3.3 Modélisation du problème

On considère un environnement constitué de N mobiles qui partagent la même bande passante, chacun d'eux choisit la puissance de transmission qui lui procure une utilité maximale (efficacité énergétique maximale) mais en prenant en compte l'état d'énergie de sa batterie.

On notera $I = \{1, \dots, N\}$, l'ensemble des mobiles.

Au moment de transmettre un message, l'utilisateur i utilise une bande passante et un slot, le long duquel ce mobile effectue sa transmission. La longueur du canal de transmission entre le mobile i et le point d'accès (ou station de base) est notée h_i (on suppose que les h_i $i \in I$, sont connues). Un mobile transmet ses données avec une puissance $a_i \in [P_i^{min}, P_i^{max}]$, où P_i^{min} est la puissance minimale et P_i^{max} la puissance maximale de transmission pour $i \in I$.

Ainsi, lors de la transmission d'un message, un mobile (émetteur) doit choisir une décision a_i qui désigne la puissance de transmission de l'utilisateur $i \in I$ avec :

$$a_i \in [P_i^{min}, P_i^{max}]$$

L'ensemble des actions d'un mobile $i \in I$ est représenté par :

$$\mathcal{A}_i = [P_i^{min}, P_i^{max}] \quad i \in I.$$

On notera (a_i, a_{-i}) une issue où le i -ème mobile utilise sa stratégie $a_i \in \mathcal{A}_i$ et les autres mobiles $I \setminus \{i\}$ utilisent leurs stratégies $a_{-i} = (a_j, j \in I \setminus \{i\}) \in A_{-i} \equiv \prod_{j=1, j \neq i}^N A_j$.

L'ensemble de toutes les issues est

$$\mathcal{A} = \prod_{i=1}^N \mathcal{A}_i.$$

Un mobile i tente ses transmissions durant des séquences $\{t_n^i\}$, tel que t_n^i représente le $n^{\text{ème}}$ slot du $i^{\text{ème}}$ mobile. A chaque tentative de transmission, un mobile doit prendre une

décision : avec quelle puissance doit-il transmettre tenant compte de l'état de l'énergie de sa batterie et de la puissance de transmission des mobiles qui transmettent au même temps que lui durant le même slot ? Pour simplifier, on suppose que l'état de l'énergie d'une batterie d'un mobile peut prendre trois valeurs possibles $\{F, A, E\}$.

On note :

S : l'ensemble des états possibles d'un mobile, tel que $S = \{F, A, E\}$ où :

- F : batterie chargée (Full).
- A : batterie presque déchargée (Almost empty).
- E : batterie déchargée (Empty).
- s_i : l'état du mobile i , $s_i \in S$.
- p : la probabilité pour qu'un mobile soit le seul à transmettre durant un slot donné.
- $Q_{s_i}(a_i)$: la probabilité qu'un mobile i qui est à l'état d'énergie $s_i \in \{E, F, A\}$ reste dans cet état lorsqu'il transmet avec une puissance $a_i \in A_i$.

Pour chaque slot t chaque mobile a pour objectif de transmettre le plus grand nombre de paquets avec succès en gérant d'une manière rationnelle les puissances de transmission et l'utilisation de l'énergie de sa batterie.

Chaque mobile voudrait transmettre avec une puissance qui lui engendre le plus grand débit possible, cela revient à maximiser sa fonction efficacité énergétique.

Le taux de transmission d'informations (en bits par seconde) de mobile $i \in I$ est noté R_i . On note par $f(\gamma_i)$ la fonction d'efficacité qui représente le taux de transmission de paquets réussie de l'utilisateur $i \in I$. A un instant donné, le rapport du "signal de transmission sur interference plus le bruit" sera noté $SINR_i = \gamma_i$ pour le mobile $i \in I$, tel que :

$$\gamma_i = \frac{a_i |h_i|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \neq i} a_j |h_j|^2} \quad (3.18)$$

où :

- σ^2 : est la variance du bruit d'interférence d'un signal (c'est un bruit blanc Gaussien qui suit une loi Normale $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$).
- h_i : la distance entre l'émetteur i et le récepteur.
- $f(\gamma_i)$: la fonction d'efficacité qui représente le taux de réussite.

où la fonction $f(\cdot)$ est supposée sigmoïdale et identique pour tous les utilisateurs.

On a un jeu non coopératif statique à N joueurs sous forme normale dans lequel chaque émetteur (ou joueur) choisit sa puissance de transmission afin de maximiser sa propre fonction d'utilité (sa fonction d'efficacité énergétique). On note par u_i la fonction

d'utilité du joueur i ($i \in I$) :

Cette fonction est définie comme suit :

$$u_i(\cdot) : \mathcal{A} \longrightarrow \mathbb{R}$$

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_N) \mapsto u_i(a) = \frac{R_i(s_i)f(\gamma_i)}{a_i}$$

$R_i(s_i)$: est le nombre total espéré de paquets transmis avec succès pour le mobile i lorsque il se trouve dans l'état d'énergie s_i .

Chaque joueur décide qu'elle sera la stratégie $a_i \in A$ à choisir tenant compte de l'état de l'énergie de sa batterie s_i , $s_i \in S$ afin de maximiser sa fonction d'utilité u_i . Sa fonction de meilleur réponse sera la solution de :

$$\max_{a_i \in A_i} u_i^{s_i}(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i} R_i(s_i) \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.19)$$

Définition 3.3.1 (Jeu de contrôle de puissance à plusieurs étapes).

Un jeu statique non coopératif statique à N joueurs sous forme normale à plusieurs étapes est défini par

$$G = \langle I^t, \{\mathcal{A}_i\}_{i \in I}^t, \{u_i^{s_i}\}_{i \in I} \rangle. \quad (3.20)$$

où

- $I^t = \{1, \dots, N^t\}$: représente l'ensemble des mobiles (joueurs) dans le réseau au slot t .
- N^t : le nombre de mobiles au slot t .
- $\{\mathcal{A}_i\}_{i \in I}$: représente l'ensemble des actions possibles du $i^{\text{ème}}$ mobile au slot t .
- $\{u_i\}_{i \in I}^{s_i}$: représente la fonction d'utilité du $i^{\text{ème}}$ mobile lorsqu'il se trouve à l'état d'énergie $s_i \in S$. Elle est définie

$$u_i^{s_i}(\cdot) : \mathcal{A} \longrightarrow \mathbb{R}$$

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_N) \mapsto u_i^{s_i}(a) = \frac{R_i(s_i)f(\gamma_i)}{a_i}.$$

3.3.1 La fonction $u_i^{s_i}$:

On définit la fonction explicite u_i pour chaque état s_i , $s_i \in \{E, F, A\}$.

État E

Rappelons qu'un mobile dont l'état initial est E signifie que sa batterie est déchargée et n'a plus d'énergie pour transmettre des messages. Par conséquent, son débit de transmission (le nombre de paquets transmis avec succès) est nul, ce qui donne.

$$R_i(E) = 0.$$

La fonction d'utilité d'un mobile i qui se trouve dans l'état E est donnée par :

$$\text{puisque } R_i(E) = 0 \quad \Rightarrow \quad u_i^E(a_i, a_{-i}) = R_i(E) \frac{f(\gamma_i)}{a_i} = 0. \quad (3.21)$$

État A.

Un mobile dont l'état initial est A (batterie presque déchargée) ne peut transmettre qu'avec une basse puissance $a_i = P_i^{min}$. Soit $R_i(A)$ le débit total espéré d'un mobile i entamant la compétition avec un état A, qui se calcule de la manière suivante :

Pour le premier slot, le mobile peut transmettre :

- Soit 1 paquet, s'il est seul à transmettre pendant ce slot ;
- Soit aucun paquet, dans le cas contraire.

A partir de deuxième slot, après la première transmission deux cas peuvent apparaître :

- 1^{er} cas : Le mobile reste à l'état A avec une probabilité égale à Q_A , et dans ce cas, le nombre total (son débit) espéré de paquets transmis avec succès restera le même, c-à-d $R_i(A)$.
- 2^{ème} cas : L'état du mobile, qui était A, se dégrade après la première transmission pour passer à l'état E avec une probabilité $1 - Q_A$. Alors, le nombre total (débit) de paquets transmis à partir de cet état sera $R_i(E)$.

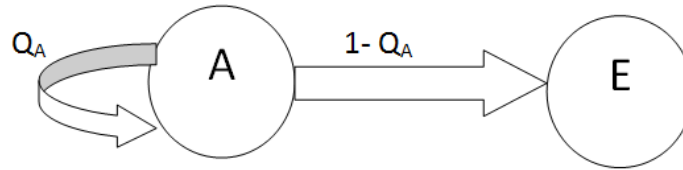


FIGURE 3.2 – Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état A.

Ainsi, le nombre total espéré (débit) de paquets transmis avec succès à partir de l'état initial est l'espérance mathématique de tous les événements précédemment décrits et qui se traduisent par la relation :

$$R_i(A) = p.1 + (1 - p).0 + Q_A R_i(A) + (1 - Q_A) R_i(E) = p + Q_A R_i(A) + (1 - Q_A) R_i(E).$$

Sachant que $R_i(E) = 0$ et p est la probabilité qu'un mobile soit le seul à transmettre durant un slot donné, on déduit :

$$R_i(A) = \frac{p}{1 - Q_A}. \tag{3.22}$$

La fonction d'utilité d'un mobile i qui se trouve dans l'état A est donnée par :

$$u_i^A(a_i, a_{-i}) = R_i(A) \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, \text{ avec } R_i(A) = \frac{p}{1 - Q_A}. \tag{3.23}$$

En remplaçant $R_i(A)$ par sa valeur dans l'équation (3.23), la formule de la fonction d'utilité devient

$$u_i^A(a_i, a_{-i}) = \frac{p}{1 - Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i}; \tag{3.24}$$

et sa fonction de meilleure réponse sera la solution de :

$$\max_{a_i \in A_i} u_i^A(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i} R_i(A) \frac{f(\gamma_i)}{a_i} = \max_{a_i \in A_i} \frac{p}{1 - Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i} \quad (3.25)$$

État F.

Un mobile à l'état F est un mobile avec une batterie pleine. Il peut transmettre avec une forte puissance P_i^{max} avec une probabilité β ou avec une faible puissance P_i^{min} avec une probabilité $1 - \beta$. Notons par $Y(v, a, \alpha)$ l'opérateur de la programmation dynamique qui désigne le nombre de paquet transmis avec succès par un mobile partant à partir d'un état initial F, qui agit de la manière suivante [3] :

- Il choisit l'action a pendant le premier slot ;
- Si au début de deuxième slot, son état reste F, alors dorénavant, on notera par v le débit des paquets transmis avec succès ;
- À tout instant où le mobile tente une transmission avec une puissance P_i^{max} , la probabilité qu'un autre mobile transmet en même temps que lui avec une puissance P_i^{max} est α .

Par la suite, le paramètre α sera omis pour le cas, où $a = P_i^{min}$ puisque la dépendance en fonction de α n'apparaît que pour l'action $a = P_i^{max}$, on notera :

$$Y(v, a, \alpha) = Y(v, a).$$

Calculons le nombre total espéré de paquets transmis avec succès (gain total espéré).

• Supposons que le mobile choisit, à l'état initial, de transmettre un paquet avec une puissance faible P_i^{min} , alors :

- S'il est le seul à transmettre, il réussira à transmettre avec succès son paquet ;
- A partir du deuxième slot, après la transmission avec une puissance $a = P_i^{min}$ durant le premier slot, deux cas peuvent avoir lieu :
 - ✓ Soit le mobile reste à l'état F avec une probabilité $Q_F(P_i^{min})$, alors son gain espéré sera v ;
 - ✓ Soit le mobile passe de l'état F à l'état A après le premier slot avec une probabilité $(1 - Q_F(P_i^{min}))$ et son gain espéré à partir de cet état sera $R_i(A)$.

Ainsi, le nombre espéré de paquets transmis avec succès pour un mobile partant de l'état initial F avec une stratégie P_i^{min} et prenant en compte le paramètre α sera :

$$\begin{aligned} Y(v, P_i^{min}, \alpha) &= Y(v, P_i^{min}) = p \cdot 1 + Q_F(P_i^{min})v + (1 - Q_F(P_i^{min}))R_i(A) \\ Y(v, P_i^{min}) &= p + Q_F(P_i^{min})v + p \frac{1 - Q_F(P_i^{min})}{1 - Q_A} \end{aligned} \quad (3.26)$$

• Supposons maintenant qu'un mobile, se trouvant à l'état initial F, choisit de transmettre avec la puissance forte P_i^{max} . Alors :

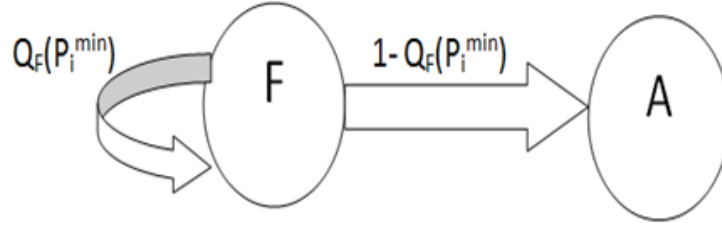


FIGURE 3.3 – Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état F et transmet avec une puissance P_i^{min} .

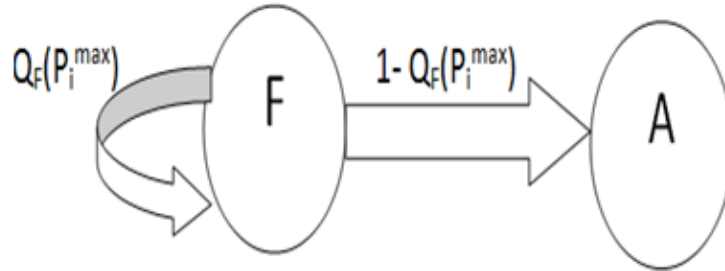


FIGURE 3.4 – Transitions possibles lorsque le mobile est à l'état F et transmet avec une puissance P_i^{max} .

- Durant le premier slot, il transmet avec succès un paquet, s'il est le seul à transmettre, ou bien s'il est le seul à transmettre avec la puissance P_i^{max}
 - Au début du second slot, après la transmission avec une puissance P_i^{max} durant le premier slot, deux cas peuvent avoir lieu :
 - ✓ Soit le mobile reste à l'état F avec une probabilité $Q_F(P_i^{max})$, alors son gain sera v ;
 - ✓ Soit le mobile passe de l'état F à l'état A avec une probabilité $1 - Q_F(P_i^{max})$ et son gain espéré sera $R_i(A)$ à compter de cet état.
- Ainsi, on aura :

$$Y(v, P_i^{max}, \alpha) = \alpha(p + Q_F(P_i^{max})v + (1 - Q_F(P_i^{max}))R_i(A)) + (1 - \alpha)(1 + Q_F(P_i^{max})v + (1 - Q_F(P_i^{max}))R_i(A)).$$

$$Y(v, P_i^{max}, \alpha) = \alpha p + (1 - \alpha) + Q_F(P_i^{max})v + p \frac{1 - Q_F(P_i^{max})}{1 - Q_A}. \quad (3.27)$$

Ainsi le nombre total espéré de paquets transmis avec succès $v = R_i(F)$ d'un mobile à l'état F est une solution de l'équation

$$v = \beta Y(v, P_i^{max}, \alpha) + (1 - \beta)Y(v, P_i^{min}). \quad (3.28)$$

En remplaçant $Y(v, P_i^{max}, \alpha)$ et $Y(v, P_i^{min})$ dans on obtient

$$v = \beta(\alpha p + (1 - \alpha) + Q_F(P_i^{max})v + p \frac{1 - Q_F(P_i^{max})}{1 - Q_A}) + (1 - \beta)(p + Q_F(P_i^{min})v + p \frac{1 - Q_F(P_i^{min})}{1 - Q_A});$$

ce qui donne

$$v(1 - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min}) - \beta Q_F(P_i^{max})) = \frac{p}{1 - Q_A} [(1 - Q_F(P_i^{min})) + \beta(1 - Q_F(P_i^{max})) - \beta(1 - Q_F(P_i^{min}))] + p(1 - \beta) + \beta(\alpha(p - 1) + 1);$$

$$v(1 - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min}) - \beta Q_F(P_i^{max})) = \frac{p}{1 - Q_A} (1 - \beta Q_F(P_i^{max})) - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min}) + (p + \beta(1 - \alpha)(1 - p)); \quad (3.29)$$

d'où

$$v = \frac{p}{1 - Q_A} + \frac{p + \beta(1 - \alpha)(1 - p)}{1 - \beta Q_F(P_i^{max}) - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min})}.$$

Ainsi,

$$R_i(F) = R_i(A) + \frac{p + \beta(1 - \alpha)(1 - p)}{1 - \beta Q_F(P_i^{max}) - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min})}. \quad (3.30)$$

✓ Si $\beta = 1$ (politique agressive), alors

$$R_i(F) = R_i(A) + \frac{1 - \alpha(1 - p)}{1 - Q_F(P_i^{max})}. \quad (3.31)$$

✓ Si $\beta = 0$, alors

$$R_i(F) = R_i(A) + \frac{p}{1 - Q_F(P_i^{min})}. \quad (3.32)$$

La fonction d'utilité d'un mobile i qui se trouve dans l'état F est donnée par :

$$u_i^F(a_i, a_{-i}) = R_i(F) \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.33)$$

En remplaçant $R_i(F)$ par sa valeur dans l'équation (3.17), la formule de la fonction d'utilité devient

$$u_i^F(a_i, a_{-i}) = [R_i(A) + \frac{p + \beta(1 - \alpha)(1 - p)}{1 - \beta Q_F(P_i^{max}) - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min})}] \frac{f(\gamma_i)}{a_i}; \quad (3.34)$$

et sa stratégie de meilleure réponse sera la solution de :

$$\max_{a_i \in A_i} u_i^F(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i} [R_i(A) + \frac{p + \beta(1 - \alpha)(1 - p)}{1 - \beta Q_F(P_i^{max}) - (1 - \beta)Q_F(P_i^{min})}] \frac{f(\gamma_i)}{a_i} \quad (3.35)$$

3.3.2 Le modèle du jeu

Le modèle du jeu pour le problème d'efficacité énergétique dans les réseaux de télécommunication sans fil écrit sous sa forme normale est le suivant :

$$\langle I^t, \{A_i^t\}_{i \in I}, \{u_i^{s_i}\}_{i \in I} \rangle . \quad (3.36)$$

avec

- I^t : un ensemble de mobiles (ensemble des joueurs) du $t^{\text{ème}}$ slot, $I = \{1, \dots, N^t\}$.
- A_i^t : l'ensemble des stratégies d'un mobile i , $i \in I$ au $t^{\text{ème}}$ slot, $A_i^t = [P_i^{\min}, P_i^{\max}]$
- $u_i^{s_i}$: la fonction d'utilité d'un mobile i lorsqu'il se trouve dans l'état d'énergie $s_i \in S$. tel que

$$u_i^{s_i}(a_i, a_{-i}) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, & \text{Si } s_i = A; \\ (R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{\max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{\min})}) * \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

Remarque 3.3.1. Les stratégies a_{-i} ne figurent pas explicitement dans l'équation de la fonction d'utilité, mais les bruits γ_i (SINR) sont en fonction des a_{-i} .

-La stratégie de meilleur réponse d'un mobile i qui se trouve dans l'état A sera la solution de l'équation (3.37) :

$$\max_{a_i \in A_i^t} u_i^A(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i^t} R_i(A) \frac{f(\gamma_i)}{a_i} = \max_{a_i \in A_i^t} \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.37)$$

-La stratégie de meilleur réponse d'un mobile i qui se trouve dans l'état F donnée par l'équation (3.38) :

$$\max_{a_i \in A_i^t} u_i^F(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i^t} [R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{\max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{\min})}] \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.38)$$

3.4 Résolution de problème d'efficacité énergétique dans les réseaux sans fil

On considère un réseau sans fil dans lequel N mobiles transmettent vers un point de concentration commun, ces mobiles émettent tous sur la même fréquence et partageant la même bande passante. Chaque terminal mobile veut maximiser sa fonction d'utilité (transmettre le plus grand nombre de paquets avec succès) d'une manière rationnelle en se basant sur l'état d'énergie de sa batterie.

Résoudre ce problème revient à résoudre le jeu statique suivant :

$$\langle I^t, \{A_i^t\}_{i \in I}, \{u_i^{s_i}\}_{i \in I} \rangle . \quad (3.39)$$

Pour le premier slot $t = 1$ chaque joueur i a sa puissance maximale P_i^{max} , sa puissance minimale P_i^{min} et son état d'énergie de sa batterie $s_i \in S$. chacun des joueurs va transmettre avec une puissance $a_i \in A_i = [P_i^{min}, P_i^{max}]$ et son choix de puissance de transmission dépend de l'état d'énergie de sa batterie. Dans ce slot résoudre le jeu revient à trouver les puissances utilisées à l'équilibre. Donc on résout le jeu de contrôle de la puissance suivant :

$$\langle I, \{A_i\}_{i \in I}, \{u_i\}_{i \in I} \rangle. \quad (3.40)$$

Remarque 3.4.1. *Il est important de remarquer que les joueurs n'ont pas besoin d'une connaissance de l'état du jeu pour jouer la stratégie d'équilibre. Nous pouvons donc prédire le comportement non coopératif des joueurs dès qu'il connaissent le bruit σ^2 et le gain de leurs propre canal (la distance entre le mobile et le récepteur $|h_i|^2$).*

Théorème 3.4.1. (Goodman, Mandayam, [8])

Le vecteur des puissances à l'équilibre de Nash, noté $a^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_N^*)$, correspond à l'unique solution du système d'équation suivant :

$$\left(\frac{\delta u_i(a)}{\delta a_i} = 0 \right)_{i \in I} \Leftrightarrow \gamma_i = \gamma^*, \quad i \in \{1, \dots, N\}; \quad (3.41)$$

avec γ^* est l'unique solution de l'équation

$$x f'(x) - f(x) = 0, \quad \forall i \in I. \quad (3.42)$$

Pour chaque joueur $i \in \{1, \dots, N\}$ nous caractérisons la puissance et l'utilité d'équilibre grâce aux les formules suivantes :

$$a_i^* = \frac{\sigma^2}{|h_1|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*}; \quad (3.43)$$

$$u_i^{*s_i}(a_i^*, a_{-i}^*) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = A; \\ \left(R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max}) - (1-\beta)Q_F(P_i^{min})} \right) * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

En se basant sur le théorème (3.4.1), le vecteur des puissances a l'équilibre de Nash, noté $a^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_N^*)$, correspond à l'unique solution du système d'équation suivant :

$$\left(\frac{\delta u_i(a)}{\delta a_i} = 0 \right)_{i \in I} \Leftrightarrow \gamma_i = \gamma^*, \quad i \in \{1, \dots, N\}; \quad (3.44)$$

avec γ^* est l'unique solution de l'équation

$$x f'(x) - f(x) = 0, \quad \forall i \in I. \quad (3.45)$$

L'équilibre de ce jeu est donné par (3.46)

$$(a_1^*, \dots, a_N^*) = \left(\frac{\sigma^2}{|h_1|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*}, \dots, \frac{\sigma^2}{|h_N|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*} \right); \quad (3.46)$$

et le gain du i-ème joueur à l'équilibre sera

$$u_i^{*s_i}(a_i^*, a_{-i}^*) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = A; \\ \left(R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{min})} \right) * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

A chaque slot on aura un jeu de contrôle de puissance jusqu'à ce que le nombre de joueurs qui veulent transmettre soit égale à un tel que, chaque joueur veut maximiser le nombre de paquets transmis avec succès. Le nombre de joueurs et l'ensemble des stratégies de ces joueurs à un slot donné t dépend du nombre de joueurs et de l'ensemble des stratégies des joueurs au slot t-1 et la puissance maximale de joueur i dans le slot t dépend de l'état d'énergie de sa batterie dans ce slot.

3.4.1 Algorithme de résolution de problème d'efficacité énergétique dans les réseaux de télécommunication sans fil

Étape 1 : Initialisation

✓ Initialiser le nombre de mobiles (joueurs) qui partagent la même bande passante, et pour chaque mobile i initialiser la puissance minimale P_i^{min} , la puissance maximale P_i^{max} et l'état d'énergie de sa batterie.

Étape 2 : Déroulement

1. Résoudre le jeu de problème d'efficacité énergétique (3.47) à l'état initial t=1.

$$\langle I, \{A_i\}_{i \in I}, \{u_i\}_{i \in I} \rangle. \quad (3.47)$$

✓ À l'équilibre, la puissance de transmission optimale et le gain optimal du i-ème mobile sera :

$$a_i^* = \frac{\sigma^2}{|h_i|^2} \frac{\gamma^*}{1 - (N-1)\gamma^*} \forall i \in I. \quad (3.48)$$

$$u_i^{*s_i}(a_i^*, a_{-i}^*) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = A; \\ \left(R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{min})} \right) * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

2. Mettre à jour l'état de charge de la batterie de chaque mobile i après sa transmission avec une puissance a_i^* .
3. Mettre à jour la puissance maximale (P_i^{max}) de chaque joueur i, donc mettre à jour l'ensemble des stratégie (A_i) et le niveau de charge de la batterie (E_i) de chaque mobile.

Répéter

1. Résoudre le jeu statique (3.49) pour chaque slot t :

$$\langle I^t, \{A_i^t\}_{i \in I}, \{u_i^{s_i}\}_{i \in I} \rangle. \quad (3.49)$$

2. Tester l'état de charge de la batterie de chaque mobile :

✓ Chaque mobile a pour objectif de maximiser sa fonction d'utilité qui est en fonction de l'état de charge de sa batterie

$$u_i^{s_i}(a_i, a_{-i}) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, & \text{Si } s_i = A; \\ (R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{min})}) * \frac{f(\gamma_i)}{a_i}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

✓ La puissance de transmission optimale pour le mobile i sera la solution de l'équation (3.50) dans le cas où l'état de charge de sa batterie est A et solution de l'équation (3.51) si l'état de charge de sa batterie est F.

– Cas 1 : $s_i = A$

$$\max_{a_i \in A_i} u_i^A(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i} R_i(A) \frac{f(\gamma_i)}{a_i} = \max_{a_i \in A_i} \frac{p}{1-Q_A} \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.50)$$

– Cas 2 : $s_i = F$

$$\max_{a_i \in A_i} u_i^F(a_i, a_{-i}) = \max_{a_i \in A_i} [R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{min})}] \frac{f(\gamma_i)}{a_i}. \quad (3.51)$$

– Cas 3 : $s_i = E$

$$u_i^E(a_i, a_{-i}) = 0. \quad (3.52)$$

✓ La puissance de transmission optimale pour le i -ème joueur est donné par (3.53)

$$a_i^* = \frac{\sigma^2}{|h_i|^2} \frac{\gamma^*}{1-(N-1)\gamma^*} \quad \forall i \in I. \quad (3.53)$$

✓ Le gain du i -ème mobile à l'équilibre sera

$$u_i^{*s_i}(a_i^*, a_{-i}^*) = \begin{cases} 0, & \text{Si } s_i = E; \\ \frac{p}{1-Q_A} * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = A; \\ (R_i(A) + \frac{p+\beta(1-\alpha)(1-p)}{1-\beta Q_F(P_i^{max})-(1-\beta)Q_F(P_i^{min})}) * \frac{f(\gamma^*)}{a_i^*}, & \text{Si } s_i = F. \end{cases}$$

3. Incrémenter le nombre de mobiles qui ont leurs batteries déchargées après la transmission dans ce slot.

4. Mettre à jour le nombre de mobiles.

5. Mettre à jour l'état de batterie de chaque mobile i après sa transmission avec une puissance a_i .

$$E_i(t) = E_i(t-1) - t * a_i^*.$$

6. Mettre à jour la puissance maximale de chaque mobile i , donc mettre à jour l'ensemble des stratégies de chaque mobile.

7. Aller à 1.

jusqu'à ce que le nombre de mobiles qui veulent transmettre soit égale à un.

Chaque itération de cet algorithme est un jeu de contrôle de puissance tel que pour chaque itération on a le nombre de joueurs et l'ensemble des stratégies des joueurs dépend du nombre de joueurs et de l'ensemble des stratégies des joueurs (mobiles) de l'itération précédente.

À chaque itération chaque joueur cherche à maximiser son utilité tenant compte de l'état d'énergie de sa batterie d'une manière rationnelle. À chaque fois le joueur transmis avec une puissance a_i l'état de sa batterie va diminuer. A chaque tentative de transmission, un mobile doit prendre une décision : avec quelle puissance doit-il transmettre tenant compte de l'état de l'énergie de sa batterie. Donc à chaque itération de cet algorithme on cherche un équilibre de Nash d'un jeu de contrôle de puissance.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a modélisé le problème d'efficacité énergétique sous forme d'un jeu à plusieurs étapes. On a utilisé un algorithme pour la recherche de l'équilibre de Nash à chaque étape du jeu sachant que pour chaque étape les paramètres du jeu changent (le nombre de joueur, l'ensemble des stratégies de chaque joueur et le niveau de charge de la batterie).

Chapitre 4

Résultats numériques et interprétations

4.1 Interprétation des résultats

Dans le but de confirmer les résultats théoriques obtenus dans le chapitre précédent, nous avons opté à des programmes de simulation sous l'environnement MATLAB.

Dans ce chapitre, nous exposons les différents résultats obtenus par cette simulation. Nous allons étudier la variation de la puissance de transmission et la variation de la fonction d'efficacité énergétique au cours du temps en faisant varier à chaque fois le nombre de mobiles, les distances entre les mobiles et la station de base h_i et l'état de charge de la batterie de chaque mobile du réseau.

Considérons le système suivant :

- On considère un réseau de N mobiles.
- La probabilité qu'un mobile à l'état A, garde son niveau de d'énergie après la transmission avec un niveau bas de puissance P_i^{min} est $Q_A = 0.5$.
- La probabilité qu'un mobile reste à l'état F après la transmission avec une puissance maximale P_i^{max} est $Q_F(P_i^{max}) = 0.7$.
- La probabilité qu'un mobile soit le seul à transmettre durant un slot donné $p=1/N$, tel que N est le nombre de mobiles.
- La probabilité qu'un mobile qui est à l'état F transmet avec une puissance maximale P_i^{max} est β tel que $\beta = 0.5$.
- La probabilité qu'un mobile reste à l'état F après la transmission avec une puissance minimale P_i^{min} est $Q(P_i^{min}) = 0.9$.
- La distance entre un mobile et la station de base est h_i .
- L'état de charge de la batterie d'un mobile "i" est $m(i)$.

4.2 Calcul du γ^*

Avant de procéder au calcul des puissances optimales de transmission, on aura besoin de calculer le rapport "signal sur interférence plus le bruit optimal γ^* (voir théorème (3.4.1)) solution de l'équation suivante :

$$xf'(x) - f(x) = 0 \quad (4.1)$$

On posons $f(x)=\log(1+x)$, l'équation (4.1) sera équivalente à :

$$(x/(1+x)) - \log(1+x) = 0 \quad (4.2)$$

Posons $Z(x) = (x/(1+x)) - \log(1+x)$, la fonction $z(x)$ est définie et continue sur $[0, 0.1049]$ et non linéaire, cependant pour résoudre l'équation $Z(x) = 0$, on fait appel à des méthodes approchées comme la méthode du point fixe, qui se base sur l'équivalence suivante :

$$Z(x) = 0 \iff G(x) = x \text{ tel que } G(x) = (1+x) * \log(1+x), x \in [0, 0.1049]$$

Algorithme du point fixe

Début

- Définir la fonction $Z(x)$ dans notre cas, $Z(x) = (x/(1+x)) - \log(1+x)$.
- Définir la fonction $G(x)$ dans notre cas, $G(x) = (1+x) * \log(1+x)$.
- Introduire les bornes de l'intervalle d'étude :
 $a = 0$.
 $b = 0.1049$.
- Introduire la précision voulue ϵ .
- Introduire la solution initiale x_0 .
- Si $Z(a) * Z(b) > 0$ alors
 La fonction $Z(x)$ n'admet pas de solution.
 -Sinon
 $x_1 = G(x_0)$.
 -Tant que $|x_1 - x_0| > \epsilon$
 $x_0 = x_1$.
 $x_1 = G(x_0)$.
 fin tant que.
 fin si.
- Afficher la valeur de la solution x_1 .

Fin.

L'implementation de cet algorithme sous MATLAB nous donne une valeur de 0.1048 pour x_1 , donc $x_1 = \gamma^* = 0.1048$.

4.3 Etude de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique

Afin d'étudier la variation de la puissance de transmission et de l'efficacité énergétique, on considère en premier lieu, N mobiles ayant tous au début du jeu une batterie chargée (11.1 Watt), puis le cas où les N mobiles ayant des charges différentes, en faisant varier les distances, divers cas peuvent se présenter :

4.3.1 Cas d'égalité des distances et différentes valeurs de N

1) L'état de charge de la batterie est le même pour tous les mobiles

On considère un nombre N de mobiles ($N=2$, $N=5$, $N=8$) de même type (ordinateurs portables) ayant tous au début du jeu une batterie chargée (11.1 Watt) et qui ont la même distance par rapport à la station de base qui est de 0.1 km.

– Pour $N=2$:

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$ est donnée par la figure (4.1).

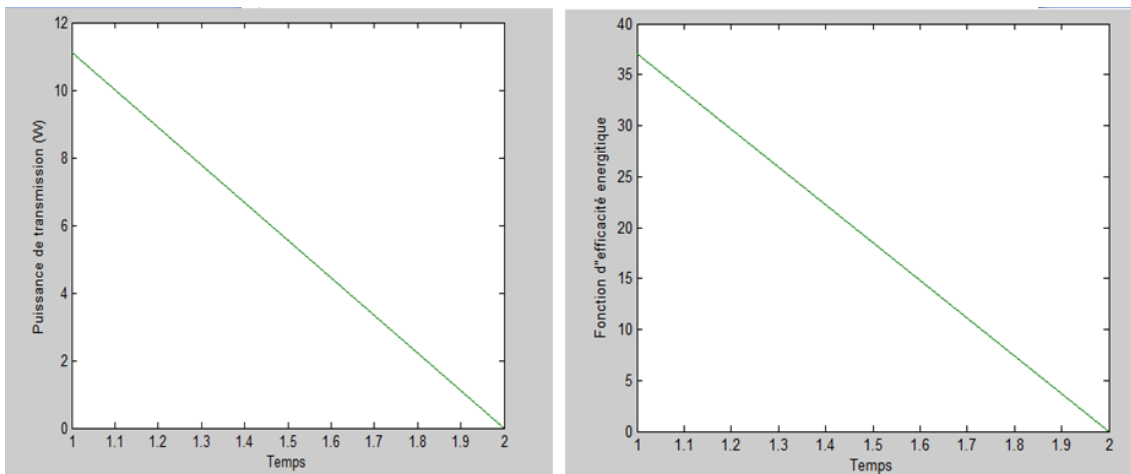


FIGURE 4.1 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$.

D'après la figure (4.1), la puissance de transmission des deux mobiles est la même (11.1 Watt), durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot. Les deux mobiles ont une utilité de 37.0374 (bits/j), durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot.

– **Pour N=3 :**

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3 est donnée par la figure (4.2).

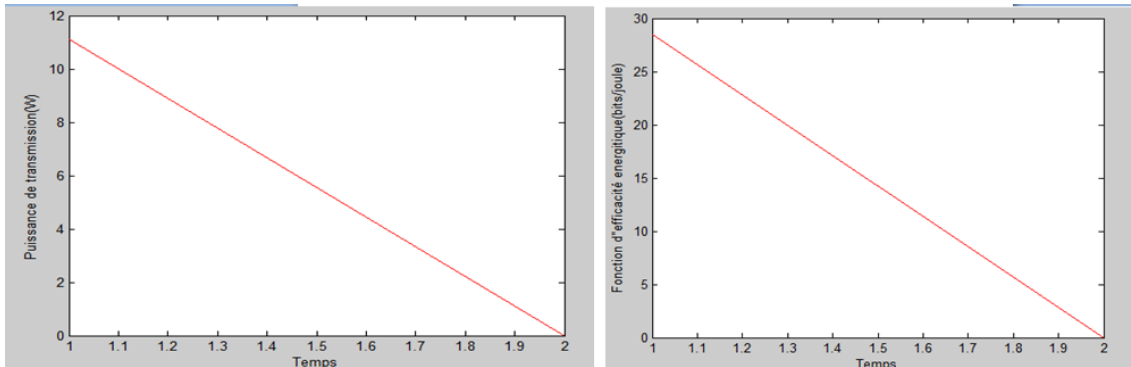


FIGURE 4.2 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3.

D'après la figure (4.2), la puissance de transmission des trois mobiles est la même (11.1 Watt) durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot. Les trois mobiles ont une utilité de 28.4328 (bits/j), durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot.

– **Pour N=5 :**

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=5 est donnée par la figure (4.3).

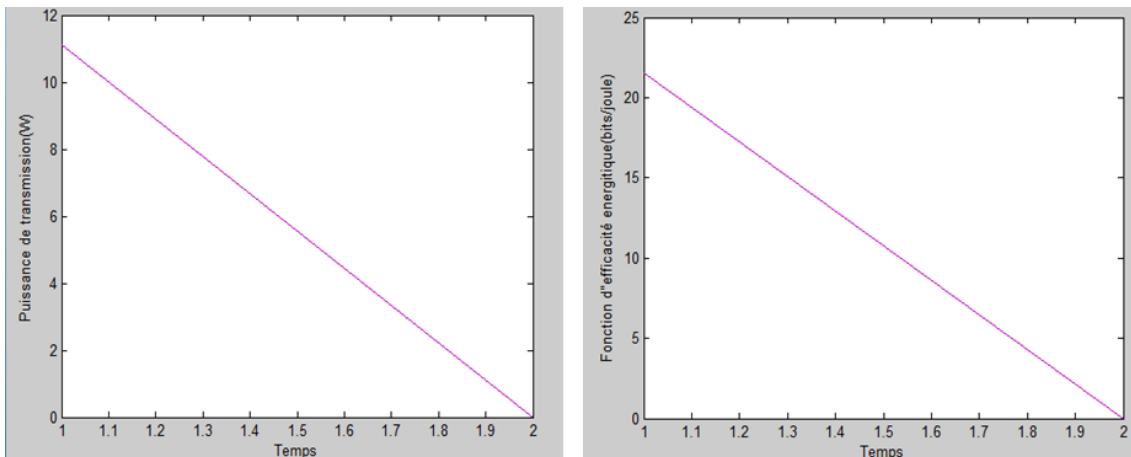


FIGURE 4.3 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=5.

D'après la figure (4.3), la puissance de transmission des cinq mobiles est la même (11.1 Watt) durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot. Les cinq mobiles ont une utilité de 21.5490 (bits/j), durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot.

– Pour $N=8$:

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$ est donnée par la figure (4.4).

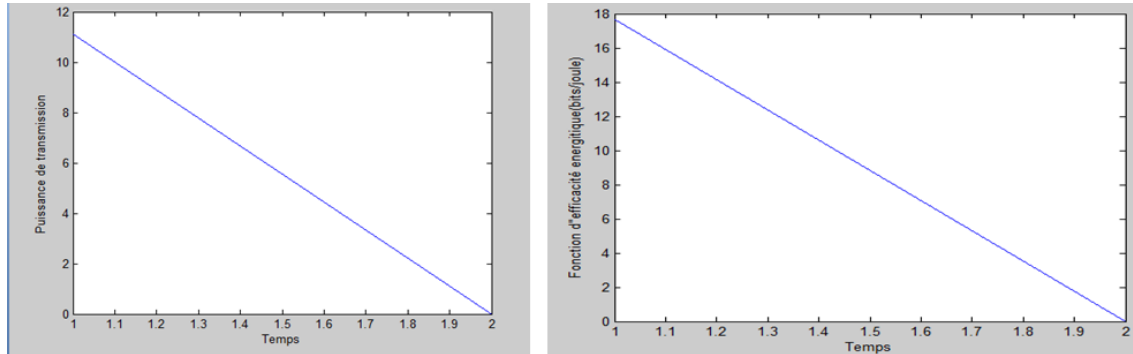


FIGURE 4.4 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$.

D'après la figure (4.4), la puissance de transmission des huit mobiles est la même (11.1 Watt) durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot. Les huit mobiles ont une utilité de 17.6769 (bits/j), durant le premier slot, ensuite elle s'annule à partir du deuxième slot.

Interprétation des résultats sur la puissance de transmission

La puissance de transmission optimale est la même pour tous les mobiles pour les quatre différentes valeurs de N ($N=2$, $N=3$, $N=5$, $N=8$) car la distance entre chaque mobile et la station de base est la même durant le premier slot, chaque mobile transmet avec sa puissance maximale, ainsi le jeu s'arrêtera à partir du deuxième slot car tous les mobiles ont épuisé toute leurs charges.

Interprétation des résultats sur la fonction d'efficacité énergétique

La fonction d'efficacité énergétique est la même pour tous les mobiles car leurs puissances de transmission sont égales, du fait qu'ils s'éloignent tous de la même distance par rapport à la station de base.

Nombre de Mobiles (N)	Efficacité énergétique u_i
$N=2$	37.0374
$N=3$	28.4328
$N=5$	21.5490
$N=8$	17.6769

Lorsque le nombre de mobiles augmente, la fonction d'efficacité énergétique de chaque mobile diminue même s'il garde la même distance par rapport à la station de base ce qui est du à l'interférence qui augmente en fonction de nombre de mobiles voir le tableau

ci-dessus.

2) L'état de charge de la batterie est différent

On considère un nombre N de mobiles ($N=3$) qui ont la même distance par rapport à la station de base qui est de 0.4 km, mais avec des niveaux de charge de batterie $m(i)$ différents.

- pour $N=3$, $m(1) = 10$, $m(2) = 8$, $m(3) = 4$.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=3$ est donnée par la figure (4.5).

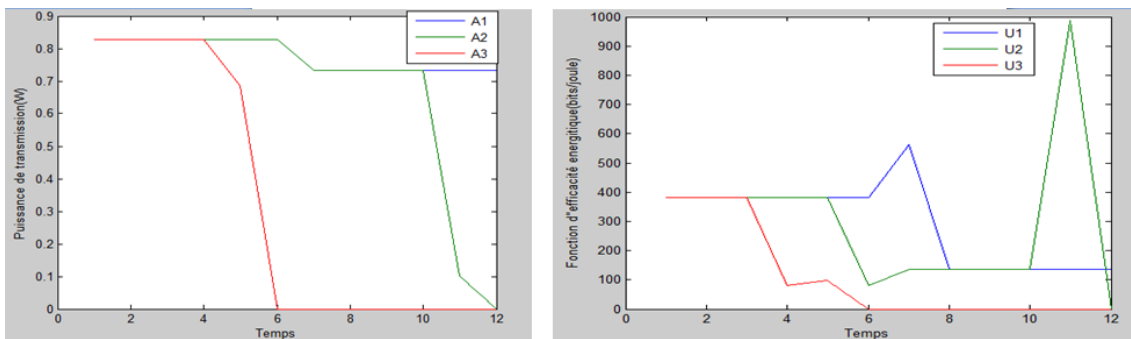


FIGURE 4.5 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=3$.

D'après la figure (4.5), la puissance de transmission des trois mobiles est la même (0.8287 Watt) durant le premier slot, ensuite elle diffère d'un mobile à un autre, le premier mobile qui quittera le jeu est le troisième, le jeu s'arrêtera au 12^{ème} slot.

Les trois mobiles ont une même utilité (385.660 bits/j) durant le premier slot, ensuite elle diffère d'un mobile à un autre.

Interprétation des résultats sur la puissance de transmission

Dans le premier slot, l'égalité des puissances de transmission pour tous les mobiles est due à l'égalité des distances qui les séparent de la station de base. La différence entre les puissances de transmission de ces mobiles à partir du deuxième slot est due à la différence entre les états de charge de leurs batteries, ainsi le mobile ayant la petite valeur de charge de batterie quittera le jeu en premier.

Interprétation des résultats sur la fonction d'efficacité énergétique

L'égalité des fonctions d'efficacité énergétique pour tous les mobiles dans le premier slot, est due à l'égalité des puissances de transmission de ces derniers. À partir du deuxième slot, la différence entre les fonctions d'efficacité énergétique pour ces mobiles est due à la différence entre des puissances de transmission de ces derniers, ce qui est engendré par la différences entre les états de charge des batteries de ces mobiles.

4.3.2 Cas des distances différentes et différentes valeurs de N

1) L'état de charge de la batterie est le même pour tout les mobiles

On considère un nombre N de mobiles (N=2, N=5, N=8) qui ont des distances différentes par rapport à la station de base.

– Pour N=2

Cas 1 : $h_1 = 0.3 \text{ km}$, $h_2 = 0.4 \text{ km}$.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2 dans ce cas est donnée par la figure (4.6).

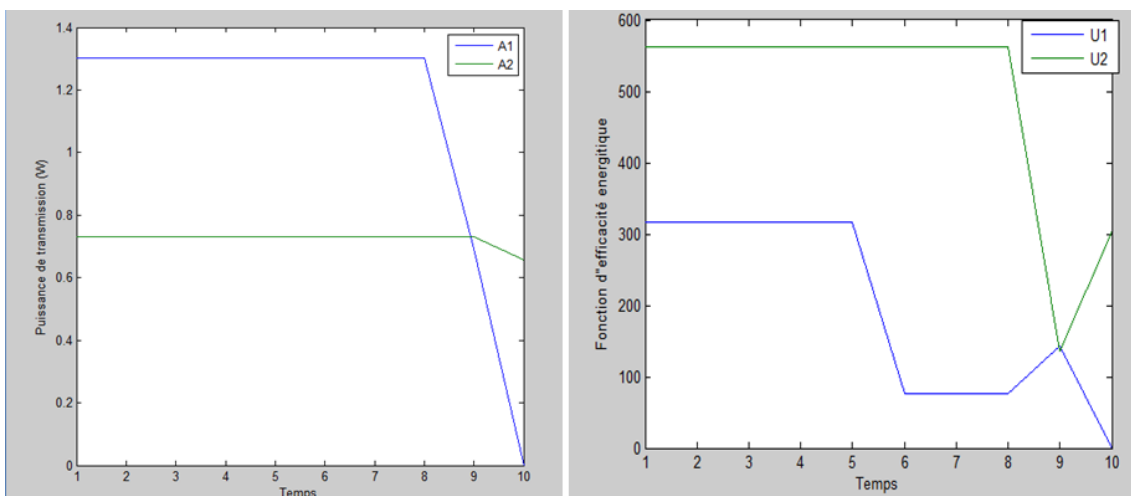


FIGURE 4.6 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour N=2.

D'après la figure (4.6) on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes, pour le premier mobile la puissance est égal a 1.3008 Watt de premier jusqu'au 8^{me} slot puis elle diminue à 0.6939 Watt au 9^{me} slot et s'annule au 10^{eme} slot. Pour le deuxième mobile la puissance est égal à 0.7317 Watt de premier jusqu'au 9^{eme} slot puis elle diminue à 0.6550 Watt au 10^{eme} slot, ainsi le jeu s'arrêtera au dixième slot.

La valeur de la fonction d'efficacité énergétique varie entre 0 et $316.0567(\text{bits}/j)$ et s'annule au 10^{eme} slot pour le premier joueur et pour le deuxième joueur elle varie entre 136.2130 et 561.8785 (bits/j).

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.7).

mobile	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/J) (t=1)	Durée de vie
1	0.3	1.3008	316.0567	9 slots
2	0.4	0.7317	561.8785	Plus de 10 slots

FIGURE 4.7 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=2$.

Cas 2 : $h_1 = 0.4 \text{ km}$, $h_2 = 0.5 \text{ km}$

On reprend le même nombre de mobiles, mais on faisant augmenter les distances h_i .

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$ dans ce cas est donnée par la figure (4.8).

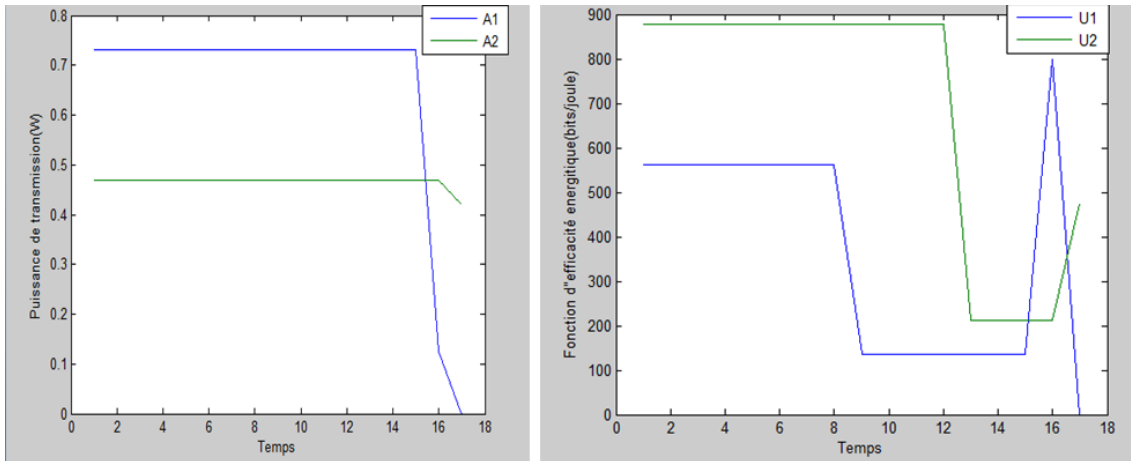


FIGURE 4.8 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$.

D'après la figure (4.8) on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes, pour le premier mobile la puissance est égal a 0.7317 Watt de premier jusqu'au 15^{ème} slot puis elle diminue à 0.1248 Watt au 16^{ème} slot et s'annule au 17^{ème} slot. Pour le deuxième mobile la puissance est égal à 0.4683 Watt de premier jusqu'au 16^{ème} slot puis elle diminue à 0.4192 Watt au 17^{ème} slot, ainsi le jeu s'arrêtera au 17^{ème} slot.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.9).

D'après la figure (4.7) et la figure (4.9) on conclut que plus que la distance entre les deux mobiles et la station de base augmente, les mobiles utilisent des puissances plus petites, la fonction d'efficacité énergétique de chaque mobile aura une valeur plus grande et la durée de vie de chaque mobile augmente.

mobile	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/J) (t=1)	Durée de vie
1	0.4	0.7317	561.8785	16 slots
2	0.5	0.4683	877.9352	Plus de 17 slots

FIGURE 4.9 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$.

– Pour $N=5$

Cas 1 : $h_1 = 0.3$ km, $h_2 = 0.4$ km, $h_3 = 0.1$ km, $h_4 = 0.2$ km, $h_5 = 0.7$ km.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=5$ dans ce cas est donnée par la figure (4.10).

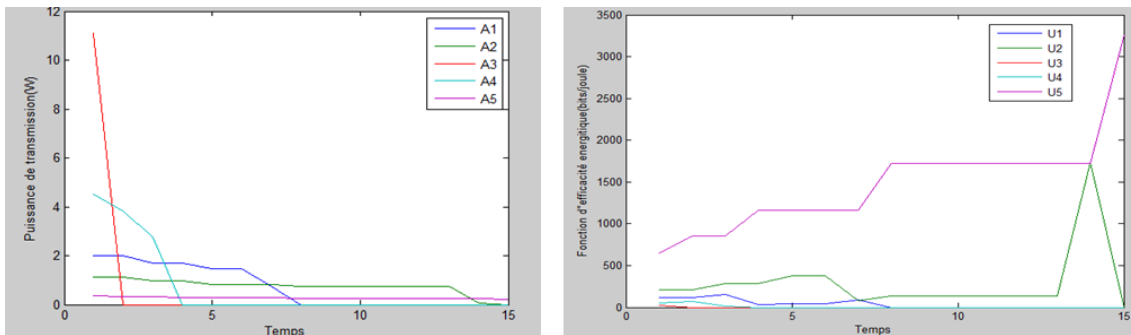


FIGURE 4.10 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=5$.

D'après la figure (4.10) on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot. La valeur de la puissance de transmission varie entre 0 et 11.1 Watt et se diminue au cours du temps, ainsi le jeu s'arrêtera au 15^{ème} slot.

Les fonctions d'efficacités énergétiques des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot, au premier slot, la plus petite valeur de l'efficacité énergétique est celle du troisième mobile et la plus grande est celle du cinquième mobile, situant (resp) à 0.1 km et 0.7 km de la station de base.

La valeur de la fonction d'efficacité énergétique varie entre 0 et $0.6495 * 10^3$ (bits/j) dans le premier slot, et pour chaque mobile sa valeur se varie au cours du temps jusqu'à ce qu'elle s'annule quand le mobile quitte le jeu, ainsi le jeu s'arrêtera au 15^{ème} slot.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile

sont résumés dans la figure (4.11)

mobile	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/j) (t=1)	Durée de vie
1	0.3	2.0049	119.3	7 slots
2	0.4	1.1278	212.1	14 slots
3	0.1	11.100	21.5	1 slot
4	0.2	5.5110	53	3 slots
5	0.7	0.3682	649.5	Plus de 15 slots

FIGURE 4.11 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique pour le premier slot et la durée de vie des mobiles pour N=5.

Cas 2 : $h_1 = 0.5 \text{ km}$, $h_2 = 0.6 \text{ km}$, $h_3 = 0.3 \text{ km}$, $h_4 = 0.4 \text{ km}$, $h_5 = 0.9 \text{ km}$
 On reprend le même nombre de mobiles, mais on faisant augmenter les distances h_i .

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique en fonction du temps pour N=5 dans ce cas est donnée par la figure (4.12).

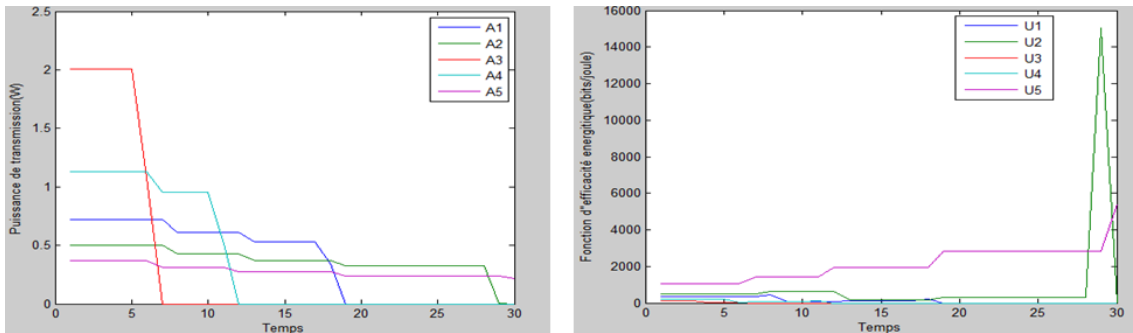


FIGURE 4.12 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique en fonction du temps pour N=5.

D’après la figure (4.12), on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes et ne s’annulent pas dans le même slot. La valeur de la puissance varie entre 0 et 2.0049 Watt et se diminue au cours du temps, ainsi le jeu s’arrêtera au 30^{ème} slot.

Les fonctions d’efficacités énergétiques des mobiles sont différentes et ne s’annulent pas dans le même slot, la plus petite valeur de l’efficacité énergétique est celle du troisième mobile et la plus grande est celle du cinquième mobile, situant (resp) à 0.3 km et 0.9 km de la station de base.

La valeur de la fonction d’efficacité énergétique varie entre 0 et $1.5038 * 10^3(bits/j)$ et pour chaque mobile sa valeur se varie au cours du temps jusqu’à ce qu’elle

s'annule quand le mobile quitte le jeu, ainsi le jeu s'arrêtera au 30^{ème} slot.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.13).

Joueur	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/j) (t=1)	Durée de vie
1	0.5	0.7218	331	18 slots
2	0.6	0.5012	477	29 slots
3	0.3	2.0049	119	6 slots
4	0.4	1.1278	212	11 slots
5	0.9	0.2228	1074	Plus de 30 slots

FIGURE 4.13 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=5$.

D'après les résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique pour chaque mobile donné par la figure (4.11) et la figure (4.13) on conclut que plus que la distance entre les mobiles et la station de base augmente, les mobiles utilisent des puissances plus petites, la fonction d'efficacité énergétique de chaque mobile aura une valeur plus grande et la durée de vie de chaque mobile augmente.

– Pour $N=8$

Cas 1 : $h_1 = 0.6 \text{ km}$, $h_2 = 0.4 \text{ km}$, $h_3 = 0.5 \text{ km}$, $h_4 = 0.4 \text{ km}$, $h_5 = 0.7 \text{ km}$,
 $h_6 = 0.8 \text{ km}$, $h_7 = 0.9 \text{ km}$, $h_8 = 0.4 \text{ km}$

La variation de la puissance de transmission de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$ dans ce cas est donnée par la figure (4.14).

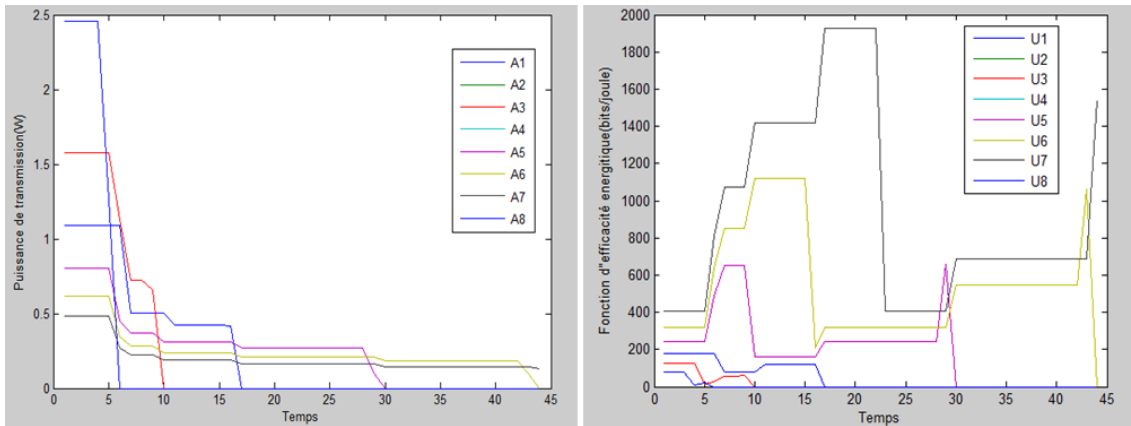


FIGURE 4.14 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$.

D'après la figure (4.14), on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot, sauf pour le deuxième, quatrième, et le huitième mobile.

La valeur de la puissance varie entre 0 et 2.4587 Watt et se diminue au cours du temps, ainsi le jeu s'arrêtera au 44^{ème} slot.

Les fonctions d'efficacités énergétiques des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot, sauf pour le deuxième, quatrième, et le huitième mobile, la plus petite valeur de l'efficacité énergétique est celle du deuxième, quatrième, et le huitième mobile s'éloignant tous de 0.4 km de la station de base et la plus grande est celle du neuvième mobile, situant à 0.9km de la station de base.

La valeur de la fonction d'efficacité énergétique varie entre 0 et $1.9406 \cdot 10^3 \text{ (bits/j)}$ et pour chaque mobile sa valeur se varie au cours du temps jusqu'à ce qu'elle s'annule quand le mobile quitte le jeu, ainsi le jeu s'arrêtera au 44^{ème} slot.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.15).

mobile	$h_i(\text{km})$	$a_i(\text{watt}) (t=1)$	$u_i(\text{bits/J}) (t=1)$	Durée de vie
1	0.6	1.0928	179.6	16 slots
2	0.4	2.4587	79.8	5 slots
3	0.5	1.5736	124.7	9 slots
4	0.4	2.4587	79.8	5 slots
5	0.7	0.8028	244.4	29 slots
6	0.8	0.6147	319.2	43 slots
7	0.9	0.4857	404.0	Plus de 44 slots
8	0.4	1.4587	079.8	5 slots

FIGURE 4.15 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=8$.

Cas 2 : $h_1 = 0.7 \text{ km}$, $h_2 = 0.5 \text{ km}$, $h_3 = 0.6 \text{ km}$, $h_4 = 0.5 \text{ km}$, $h_5 = 0.8 \text{ km}$, $h_6 = 0.9 \text{ km}$, $h_7 = 1 \text{ km}$, $h_8 = 0.5 \text{ km}$

On reprend le même nombre de mobiles, mais on fait augmenter les distances h_i .

La variation de la puissance de transmission de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$ dans ce cas est donnée par la figure (4.16).

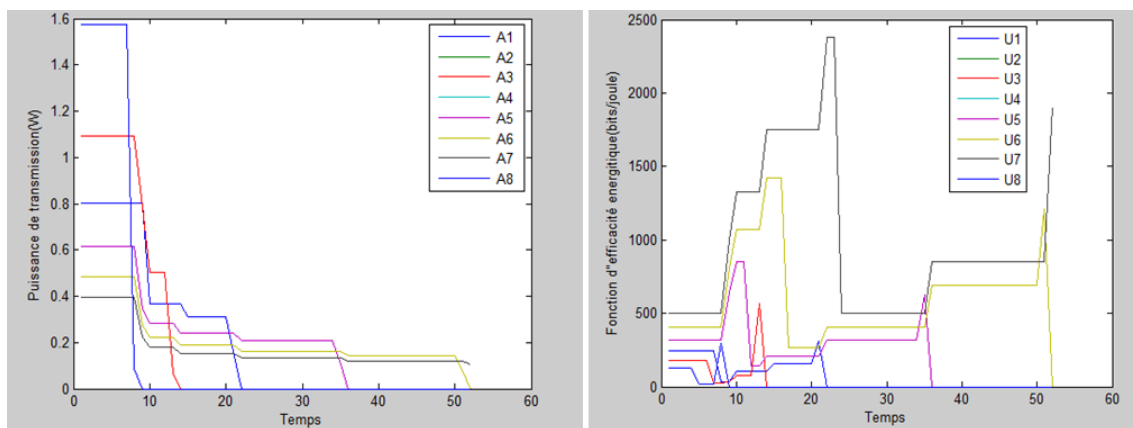


FIGURE 4.16 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=8$.

D'après la figure (4.16), on remarque que les puissances de transmission des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot, sauf pour le deuxième, quatrième, et le huitième mobile.

La valeur de la puissance varie entre 0 et 1.5736 Watt et se diminue au cours du

temps, ainsi le jeu s'arrêtera au 52^{ème} slot.

Les fonctions d'efficacité énergétique des mobiles sont différentes et ne s'annulent pas dans le même slot, sauf pour le deuxième, quatrième, et le huitième mobile, la plus petite valeur de l'efficacité énergétique est celle du deuxième, quatrième, et le huitième mobile s'éloignant tous de 0.5 km de la station de base et la plus grande est celle du septième mobile, situant à 1 km de la station de base.

La valeur de la fonction d'efficacité énergétique varie entre 0 et $2.3803 * 10^3$ (bits/j).

Le jeu s'arrêtera au 52^{ème} slot.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.17)

mobile	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/J) (t=1)	Durée de vie
1	0.7	0.8028	244.4	21 slots
2	0.5	1.5736	124.7	8 slots
3	0.6	1.0928	179.6	13 slots
4	0.5	1.5736	124.7	8 slots
5	0.8	0.6147	319.2	35 slots
6	0.9	0.4857	404.0	51 slots
7	1	0.3934	498.8	Plus de 52 slots
8	0.5	1.5736	124.7	8 slots

FIGURE 4.17 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour N=8.

D'après les résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique pour chaque mobile donné par la figure (4.15) et la figure (4.17) on conclut que plus que la distance entre les mobiles et la station de base augmente, les mobiles utilisent des puissances plus petites, la fonction d'efficacité énergétique de chaque mobile aura une valeur plus grande et la durée de vie de chaque mobile augmente.

Interprétation des résultats sur la puissance de transmission

La différence entre les puissances de transmission est due à la variation des distances entre les mobiles et la station de base, ainsi plus qu'un mobile est proche de la station de base sa puissance de transmission augmente et quittera le jeu en premier, le jeu s'arrêtera quand les batteries de tous les mobiles sont déchargées où le nombre de mobiles égale à un.

Interprétation des résultats sur la fonction d'efficacité énergétique

La fonction d'efficacité énergétique diffère d'un mobile à un autre car leurs puissances de transmission se diffèrent, ce qui est dû à la différence entre les distances qui les séparent de la station de base. La fonction d'efficacité énergétique est une fonction décroissante de la puissance de transmission qui est une fonction décroissante de la

distance qui sépare les mobiles de la station de base.

Dans un jeu, la fonction d'efficacité énergétique s'augmente au cours du temps car le nombre de de mobiles se diminue causant une diminution de l'interférence.

D'après les figures (4.7), (4.9), (4.11), (4.13), (4.17), (4.15), on remarque que plus qu'on augmente le nombre des mobiles, la durée de vie de chacun de ces mobiles sera plus grande, cela prolonge la durée de vie du réseau.

2) L'état de charge de la batterie est différent

On considère un nombre N de mobiles ($N=2$, $N=3$) qui ont des distances différentes par rapport à la station de base et la charge de leur batterie diffère d'un mobile à un autre .

- **Pour $N=2$** , $m(1) = 6$, $m(2) = 9$.

Cas 1 : $h_1 = 0.3 \text{ km}$, $h_2 = 0.4 \text{ km}$.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$ dans ce cas est donnée par la figure (4.18).

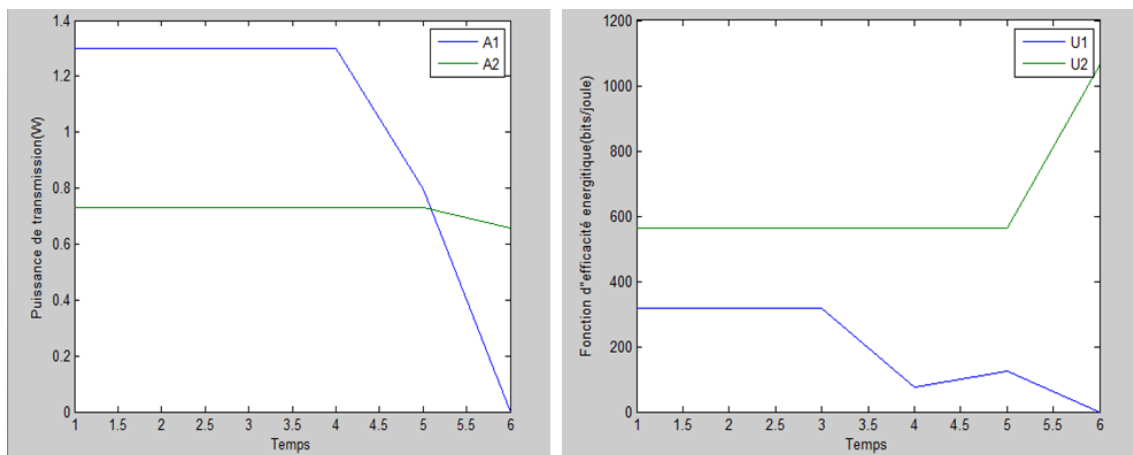


FIGURE 4.18 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.19).

mobile	l'état de charge de la batterie de mobile	h_i (km)	a_i (watt) (t=1)	U_i (bits/J) (t=1)	Durée de vie
1	6	0.3	1.3008	316.1	5 slots
2	9	0.4	0.7317	561.9	Plus de 6 slots

FIGURE 4.19 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=2$.

Cas 2 : $h_1 = 0.5 \text{ km}$, $h_2 = 0.6 \text{ km}$.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$ dans ce cas est donnée par la figure (4.20).

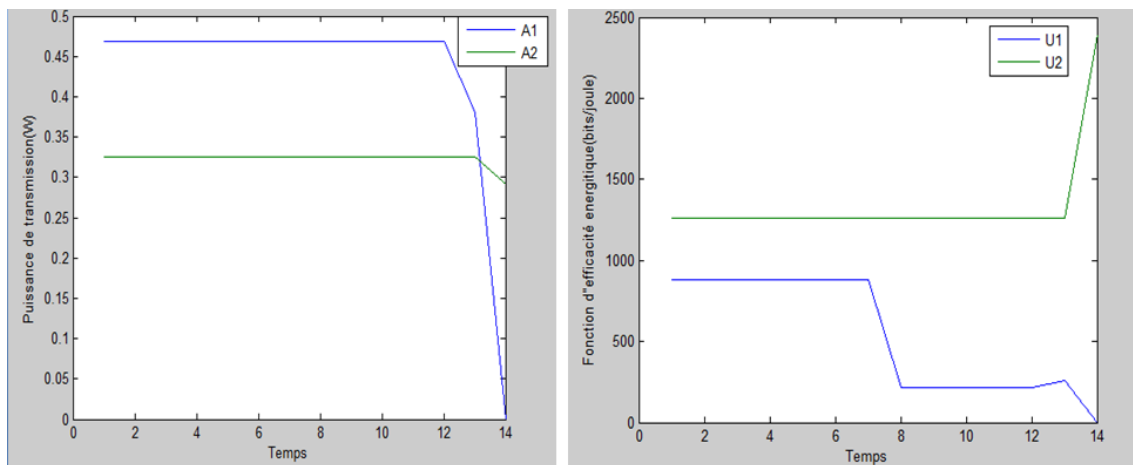


FIGURE 4.20 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=2$.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.21).

mobile	l'état de charge de la batterie de mobile	$h_i(\text{km})$	$a_i(\text{watt}) (t=1)$	$U_i(\text{bits/J}) (t=1)$	Durée de vie
1	6	0.5	0.4683	877.9	13 slots
2	9	0.6	0.3252	1264.2	Plus de 14 slots

FIGURE 4.21 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=2$.

D'après les figures (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), on remarque que pour des charges différentes les puissances de transmission des mobiles sont différentes et plus que la distance entre ces derniers et la station de base augmente la puissance de transmission de chaque mobile diminue et la valeur de la fonction d'efficacité énergétique de chaque mobile augmente.

Interprétation des résultats sur la puissance de transmission

La différence entre les puissances de transmission est dû à la variation des distances entre les mobiles et la station de base, même si les états de charge des batteries des mobiles sont différents, la distance influe toujours sur la puissance de transmission, ainsi plus qu'un mobile est proche de la station de base sa puissance de transmission augmente et quittera le jeu en premier, le jeu s'arrêtera quand les batteries de tous les mobiles sont déchargées où le nombre de mobiles égale à un.

Interprétation des résultats sur la fonction d'efficacité énergétique

Même si les états de charge des batteries des mobiles sont différents, l'augmentation de la distance influe toujours sur la fonction d'efficacité énergétique, cela engendre l'augmentation de cette dernière ainsi que la durée de vie du réseau des mobiles.

- Pour $N=3$, $h_1 = 0.1 \text{ km}$, $h_2 = 0.2 \text{ km}$, $h_3 = 0.3 \text{ km}$.

Cas 1 : $m(1) = 10$, $m(2) = 8$, $m(3) = 4$.

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique en fonction du temps pour $N=3$ est donnée par la figure (4.22).

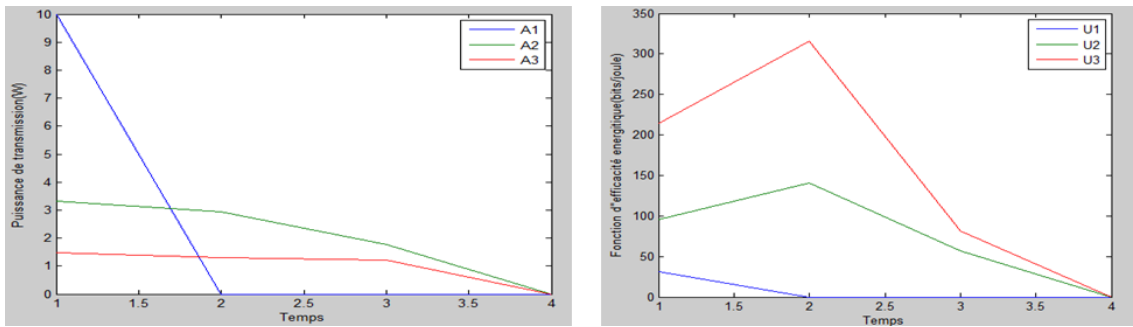


FIGURE 4.22 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.23).

mobile	h_i (km)	Charge(w)(t=1)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/j)(t=1)	Durée de vie
1	0.1	10	10	31.56	1
2	0.2	08	3.3148	95.211	3
3	0.3	04	1.4732	214.225	3

FIGURE 4.23 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour N=3.

D’après les figures (4.22) et (4.23), on remarque que le premier mobile qui a le plus grand état de charge quitte le jeu en premier lieu.

Cas 2 : $m(1) = 10, m(2) = 8, m(3) = 12$

La variation de la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3 est donnée par la figure (4.24).

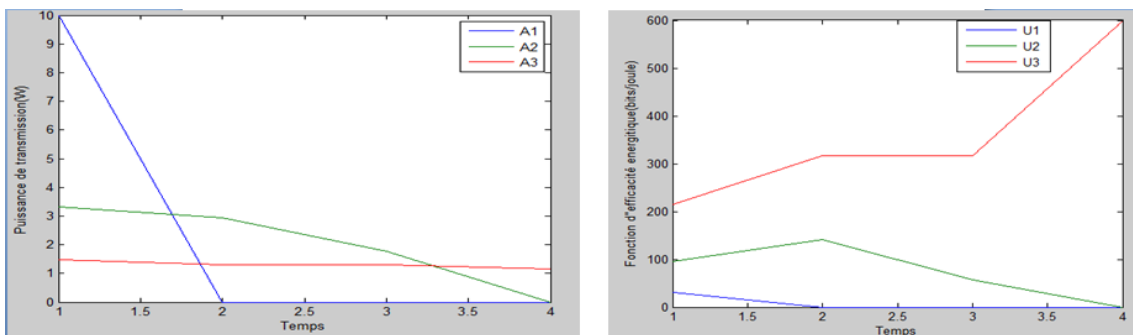


FIGURE 4.24 – Variation de la puissance de transmission et de la fonction d’efficacité énergétique en fonction du temps pour N=3.

Les résultats obtenus pour le premier slot ainsi que la durée de vie de chaque mobile sont résumés dans la figure (4.25).

mobile	h_i (km)	Charge(w)(t=1)	a_i (watt) (t=1)	u_i (bits/j)(t=1)	Durée de vie
1	0.1	10	10	31.56	1
2	0.2	08	3.3148	95.211	3
3	0.3	12	1.4732	214.225	Plus de 4

FIGURE 4.25 – Résultats sur la puissance de transmission et de la fonction d'efficacité énergétique au premier slot et la durée de vie des mobiles pour $N=3$.

D'après les figures (4.22), (4.23), (4.24), (4.25), on remarque qu'en augmentant juste l'état de charge du troisième mobile sa fonction d'efficacité énergétique et sa durée de vie augmentent.

Interprétation des résultats sur la puissance de transmission

Même si les états de charge des batteries des mobiles sont différents, les mobiles les plus proches de la station de base quittent le jeu en premier lieu, donc la distance engendre toujours la même influence sur la puissance de transmission.

Interprétation des résultats sur la fonction d'efficacité énergétique

L'augmentation de l'état de charge de la batterie d'un mobile engendre l'augmentation de sa fonction d'efficacité énergétique, sa durée de vie et prolonge la durée de vie du réseau.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la relation entre la fonction d'efficacité énergétique et la puissance de transmission ainsi que la variation de ces dernières en fonction des nombre de mobiles, la distance qui sépare les mobiles de la station de base et l'état de charge de la batterie de chaque mobile du réseau.

Conclusion générale

Les réseaux de télécommunication sans fil ont suscité l'intérêt des praticiens et des chercheurs. Ils rencontrent cependant deux contraintes majeures qui peuvent entraver leur développement : le problème d'interférence et la contrainte d'énergie.

Le développement rapide des technologies sans fil offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications, ainsi l'association des services mobiles aux communications sans fil est l'une des plus importantes évolutions qu'ait observé le secteur des télécommunications. Les mobiles sont dotés d'une multitude de fonctionnalités qui permettent d'assurer différents types d'applications et de services, cependant la contrainte d'efficacité énergétique constitue un obstacle face à ce fonctionnement.

Dans ce mémoire, nous avons tenté d'analyser le fonctionnement d'un réseau mobile, en prenant en compte les contraintes précédentes, moyennant la théorie des jeux à plusieurs étapes. Notre modèle considère un nombre de mobiles. Chacun des mobiles peut être dans trois états selon l'énergie contenue dans sa batterie : plein, presque déchargé et déchargé. Lors de la transmission d'un paquet, chaque mobile choisit une puissance de transmission optimale à utiliser afin de maximiser sa fonction d'efficacité énergétique.

A chaque étape du jeu, le niveau de charge de la batterie de chaque mobile sera mis à jour, cela a un effet immédiat sur les puissances maximales de transmission des mobiles. Au cours du temps, les mobiles peuvent quitter le jeu quand leurs batteries se déchargent. A la fin du jeu, on aura pour chaque mobile un vecteur de puissance de transmission dont chaque composante lui indiquant la puissance de transmission à choisir au slot t , ainsi que la durée de vie du réseau.

Ainsi, nous avons pu calculer l'équilibre de Nash à chaque étapes du jeu et la valeur de la fonction de l'efficacité énergétique correspondant pour chacun des mobiles. Nous avons montré que le nombre de mobiles dans le réseau ainsi que les distances séparant chaque mobile de sa station de base a un effet direct sur la puissance de transmission à utiliser lors de l'envoi des paquets et aussi sur l'efficacité énergétique du mobile à l'équilibre sous la contrainte du niveau de charge de sa batterie.

Comme perspectives, nous pouvons proposer quelques directions de recherche :

- Considérer un grand nombre de mobiles.

- Introduire l'hypothèse que la distance qui sépare le mobile de la station de base se varie d'une étape à une autre du jeu.
- Prise en compte de l'histoire du jeu à chaque étape (considérer des mobiles qui ont la capacité d'apprentissage au cours du temps).
- Possibilité qu'un ou plusieurs autres mobiles rejoignent le réseau à une étape donnée du jeu.

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude des réseaux de télécommunications sans fil avec les éléments de la théorie des jeux. L'objectif est de fournir une qualité optimale de service en terme d'efficacité énergétique aux utilisateurs (mobiles) du réseau, sous des contraintes de consommation d'énergie, de limitation de la bande de fréquence.

Nous avons proposé un modèle qui prend en charge " la gestion des interférences du signal émis" et "la gestion de la consommation d'énergie", afin d'optimiser l'efficacité énergétique de chaque mobile du réseau. Un algorithme de recherche des puissances de transmission optimale (équilibre de Nash) qui optimise l'efficacité énergétique de chacun des mobile du réseau a été proposé.

Mots clés : Jeux à plusieurs étapes, Équilibre de Nash, Réseaux sans fil, Efficacité énergétique.

Abstract

In this thesis, we are interested in the study of the telecommunication wireless networks using games theory. The purpose is to provide an optimal quality of service in terms of energy efficient to the users (mobiles), under constraints of energy consumption and the limited frequency band.

We have proposed a model that take over " the management of the signal interference" and "the management of the energy consumption", in order to optimize the energy efficient of each mobile of the network. An Algorithm of searching an optimal power transmission (Nash equilibrium) that optimizes the energy efficient of each mobile network has been proposed.

Keywords : Multi-stages games, Nash equilibrium, Wireless network, Energy efficient.

Bibliographie

- [1] M. Achir. *Technologie basse consommation pour les réseaux ad hoc*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, Juillet 2006.
- [2] S. Lasaulce ; Y. Hayel ; R. El Azouzi and M. Debbah. Introducing hierarchy in energy games. *iee trans. on Wireless Comm.*, volume 8 ,no. 7 :3833 – 3843, jul 2009.
- [3] N. Belakbir. Applications de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunications. Master’s thesis, Université Abderhmane.Mira de béjaia, 2011.
- [4] C. Burgod. *Contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc*. PhD thesis, Université de limoges, Octobre 2009.
- [5] S. Buzzi and A. Zappone. Potential games for energy-efficient resource allocation in multipoint-to-multipoint cdma wireless data networks. *Physical Communication*, 2012.
- [6] J. Desquilbet. *Théorie des jeux*. Technical report, université d’artois edition.
- [7] D. Fudenberg and J. Tirole. “*Game Theory*”. MIT Press, 1991.
- [8] D. J. Goodman and N. B. Mandayam. Power control for wireless data. *IEEE Personal Commun*, volume. 7 :pp. 48–54, 2000.
- [9] G. Le Grand. *Qualité de service dans des environnement Internet mobile*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, Juillet 2001.
- [10] M. Ilyas and I. Mahgoub. *Handbook of sensor networks Compact wireless and wired Sensing Systems*. Crc press edition, 2005.
- [11] S. Konieczny. *Introduction à la théorie des jeux*. Technical report, université d’artois edition.
- [12] G. D. Krishnendu. On stackelberg games in a homogeneous product market. *European Economic Review*, volume 48 :pp.549 –562, 2004.

- [13] P. Mohapatra and S. Krishnamurthy. *Ad hoc networks technologies and protocols*. springer edition, 2005.
- [14] P. Muhlethaler. *802.11 et les réseaux sans fil*. Eyrolles edition, 2002.
- [15] Y. Murat. *Introduction à la théorie des jeux*. Dunod edition, 2003.
- [16] T. Pénard. *La théorie des jeux et les outils d'analyse des comportements stratégiques*. Technical repport, 2004.
- [17] Thierry Pénard. *La théorie des jeux répétés : application a la concurrence oligopolistique*. Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne, Département d'Economie, Avril 1998.
- [18] Farhad Meshkati ; Andrea J. Goldsmith ; H. Vincent Poor and Stuart C. Schwartz. A game-theoretic approach to energy-efficient modulation in cdma networks with delay qos constraints. volume 1, 2007.
- [19] S. C. Schwartz F. Meshkati ; H. V. Poor and N. B. Mandayam. "An energy-efficient approach to power control and receiver design in wireless data networks". *IEEE Trans. on Comm.* 2005.
- [20] V. Rodriguez. "An Analytical Foundation for Resource Management in Wireless Communication".*IEEE Proc. of Globecom.* 2003.
- [21] Y. Shohm and K. Leyton-Brown. *Essentials of game theory*. Morgan and claypool edition, 2008.
- [22] J. F. Mertens ; S. Sorin and S. Zamir. "Repeated Games, Part A,B,C". CORE Discussion Papers, 1994.
- [23] M. Le treust. *Théorie de l'information, jeux répétés avec observation imparfaite et réseaux de communication décentralisé*. PhD thesis, L'université de Paris-sud XI, Décembre 2011.
- [24] J. N. Webb. *Game theory decisions, interaction and evolution*. Springer edition, 2007.

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude des réseaux de télécommunications sans fil avec les éléments de la théorie des jeux. L'objectif est de fournir une qualité optimale de service en terme d'efficacité énergétique aux utilisateurs (mobiles) du réseau, sous des contraintes de consommation d'énergie, de limitation de la bande de fréquence.

Nous avons proposé un modèle qui prend en charge " la gestion des interférences du signal émis" et "la gestion de la consommation d'énergie", afin d'optimiser l'efficacité énergétique de chaque mobile du réseau. Un algorithme de recherche des puissances de transmission optimale (équilibre de Nash) qui optimise l'efficacité énergétique de chacun des mobile du réseau a été proposé.

Mots clés : Jeux à plusieurs étapes, Équilibre de Nash, Réseaux sans fil, Efficacité énergétique.

Abstract

In this thesis, we are interested in the study of the telecommunication wireless networks using games theory. The purpose is to provide an optimal quality of service in terms of energy efficient to the users (mobiles), under constraints of energy consumption and the limited frequency band.

We have proposed a model that take over " the management of the signal interference" and "the management of the energy consumption", in order to optimize the energy efficient of each mobile of the network. An Algorithm of searching an optimal power transmission (Nash equilibrium) that optimizes the energy efficient of each mobile network has been proposed.

Keywords : Multi-stages games, Nash equilibrium, Wireless network, Energy efficient.