

Jeux d'allocation de puissance pour les canaux à interférence à relais

Elena Veronica BELMEGA, Brice DJEUMOU et Samson LASAULCE

Laboratoire des Signaux et Systèmes (CNRS, Supélec, Université Paris-Sud 11)
Supélec, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex, France
{belmega,djeumou,lasaulce}@lss.supelec.fr

Résumé – Dans cet article nous étudions l'interaction entre deux terminaux cognitifs qui communiquent avec leurs récepteurs respectifs sur $Q \geq 2$ bandes de fréquence orthogonales. Nous supposons que sur chaque bande il y a un nœud relais disponible pour améliorer les performances des transmissions. Ce système peut être modélisé par plusieurs canaux à interférence à relais (CIR) en parallèle. Le problème de l'allocation de puissance des deux utilisateurs entre les bandes disponibles est modélisé en utilisant la théorie des jeux non-coopératifs. Pour différents protocoles de relayage (amplifier-et-transférer, décoder-et-transférer et estimer-et-transférer) nous montrons l'existence d'un état stable du système tel qu'aucun utilisateur ne peut pas améliorer son débit de transmission en déviant unilatéralement de cet état (équilibre de Nash). L'efficacité du système à l'équilibre, la position optimale du relais qui maximise le débit somme du système et aussi la gestion de l'interférence multi-utilisateurs sont évalués par simulation.

Abstract – In this paper, we study the interaction between two cognitive terminals communicating with their respective receivers in $Q \geq 2$ orthogonal frequency bands. In each band, we assume the presence of a relaying node that can be used by the transmitters to improve the performance of their transmissions. The system can be modeled by several parallel interference relay channels (IRC). The power allocation problem is studied using non-cooperative game theory. Assuming different relaying protocols (amplify-and-forward, decode-and-forward, estimate-and-forward) we prove the existence of a stable state such that no user can improve its transmission rate by unilaterally deviating from this state (Nash equilibrium). The system efficiency at the equilibrium, the optimal relay location that maximizes the system sum-rate and the multi-user interference management will be evaluated through numerical simulations.

1 Introduction

Le problème de la congestion du spectre radio-électrique est devenu crucial au cours de la décennie passée, ce qui explique le soutien apporté par les acteurs majeurs, tel que la FCC (Federal Communications Commission) aux technologies telle que la radio cognitive [1]. Les terminaux cognitifs sont supposés capables de détecter et de réutiliser d'une manière efficace et opportuniste le spectre non-utilisé par d'autres systèmes. Dans ce cadre, l'objectif de cet article est de comprendre comment deux terminaux cognitifs interagissent lorsqu'ils allouent leur puissance entre plusieurs bandes de fréquence orthogonales sur lesquelles on peut trouver des nœuds relais. Ce scénario est modélisé par un ensemble de canaux à interférence (à relais) [2] en parallèle. Le paradigme naturel pour étudier deux émetteurs cognitifs, indépendants et égoïstes est la théorie des jeux non-coopératifs. Chaque émetteur est supposé être un preneur de décision rationnel et égoïste qui choisit sa stratégie, *i.e.* l'allocation de puissance qui maximise son propre débit de transmission. Dans [3] les auteurs ont étudié un problème similaire : l'allocation de puissance qui maximise les débits des terminaux pour le canal à interférence sélectif en fréquence. Aussi dans [4] les auteurs ont considéré le problème dual de l'allocation de puissance qui minimise la consommation de puissances qui

permet d'assurer un débit minimal entre les différentes paires de terminaux. Mais ici, nous allons considérer que sur chaque bande un nœud relais supplémentaire est disponible afin d'améliorer la qualité de transmission du système. Dans [5] les auteurs ont aussi considéré le problème d'allocation de puissance pour le canal à interférence à relais, mais le système étudié est fondamentalement différent. Les auteurs ont considéré une seule bande de fréquence et un relais dédié à chacun des deux émetteurs. Les récepteurs sont considérés très éloignés des sources et les liens directs sources-destinataires sont négligées. Le canal est modélisé par deux canaux à interférence (CI) [9] en série et les deux relais utilisent le protocole décoder-et-transférer. Les joueurs, à savoir les paires émetteur-relais-récepteur, décident la façon avec laquelle ils allouent leur puissance totale entre l'émetteur et le relais respectifs. Dans cet article, nous prenons en considération les liens sources-destinataires et le relais qui se trouve sur chacune des bandes disponibles peut être utilisé par les deux émetteurs. Les émetteurs décident de leur propre politique d'allocation de puissance entre les bandes et non pas celles des relais qui constituent des nœuds communs. Nous allons étudier plusieurs protocoles de relayage (amplifier-et-transférer, décoder-et-transférer et estimer-et-transférer) et nous allons prouver l'existence d'un équilibre de Nash pour tous ces protocoles. Les performances du système à l'équilibre

et la gestion de l'interférence seront évaluées numériquement.

2 Modèle du système

Le système étudié est composé de deux nœuds source \mathcal{S}_1 , \mathcal{S}_2 , chacun d'entre eux transmettant son message à son destinataire \mathcal{D}_1 ou \mathcal{D}_2 sur plusieurs bandes de fréquence (notées (q) , pour $q \in \mathcal{Q} \triangleq \{1, \dots, Q\}$) de largeur unitaire. Nous supposons qu'un nœud relais $\mathcal{R}^{(q)}$ est disponible sur chacune des bandes de fréquence. Les signaux envoyés par \mathcal{S}_1 et \mathcal{S}_2 dans les CIR, notés $X_1^{(q)}$, $X_2^{(q)}$, pour tout $q \in \mathcal{Q}$ sont supposés indépendants et satisfont les contraintes de puissance,

$$\forall i \in \{1, 2\}, \sum_{q=1}^Q \mathbb{E}|X_i^{(q)}|^2 \leq P_i. \text{ La fraction de puissance uti-}$$

lisée pour la transmission sur la bande (q) est notée $\theta_i^{(q)}$ tel

$$\text{que } \mathbb{E}|X_i^{(q)}|^2 = \theta_i^{(q)} P_i \text{ et } \sum_{q=1}^Q \theta_i^{(q)} = 1. \text{ Les signaux reçus dans}$$

chaque bande (q) et les débits de transmission correspondants, notés $R_i^{(q)}$, $i \in \{1, 2\}$, $q \in \mathcal{Q}$, dépendent du protocole utilisé au niveau du relais. Par la suite nous allons étudier trois types de protocole : amplifier-et-transférer (AT), décoder-et-transférer (DT) et estimer-et-transférer (ET) en supposant que les Q relais utilisent le même protocole de relayage.

2.1 Cas du protocole amplifier-et-transférer

Dans ce paragraphe nous supposons que les nœuds relais fonctionnent en duplex total et implantent le protocole AT scalaire avec un retard nul. La puissance de transmission des relais est supposée limitée, $\mathbb{E}|X_r^{(q)}|^2 \leq P_r^{(q)}$. Les signaux reçus sur la bande (q) s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} Y_r^{(q)} &= h_{1r}^{(q)} X_1^{(q)} + h_{2r}^{(q)} X_2^{(q)} + Z_r^{(q)} \\ Y_1^{(q)} &= a_r^{(q)} h_{r1}^{(q)} Y_r^{(q)} + h_{11}^{(q)} X_1^{(q)} + h_{21}^{(q)} X_2^{(q)} + Z_1^{(q)} \\ Y_2^{(q)} &= a_r^{(q)} h_{r2}^{(q)} Y_r^{(q)} + h_{22}^{(q)} X_2^{(q)} + h_{12}^{(q)} X_1^{(q)} + Z_2^{(q)} \end{cases}$$

où $h_{ij}^{(q)}$ pour tout $i, j \in \{1, 2, r\}$, désignent les gains de canaux entre \mathcal{S}_i , \mathcal{D}_j et le nœud relais sur la bande (q) . Nous supposons que seulement les effets de propagation à grande l'échelle sont pris en compte et que les gains des canaux sont fixes sur la durée des transmissions. $Z_i^{(q)}$, $Z_r^{(q)}$ sont des bruits gaussiens centrés de variances $N_i^{(q)}$, $N_r^{(q)}$. Le paramètre $a_r^{(q)}$ représente le coefficient d'amplification du relais $\mathcal{R}^{(q)}$. En choisissant $a_r^{(q)} =$

$$\sqrt{\frac{P_r^{(q)}}{|h_{1r}^{(q)}|^2 P_1 \theta_1^{(q)} + |h_{2r}^{(q)}|^2 P_2 \theta_2^{(q)} + N_r^{(q)}}}, \text{ le relais utilise toute sa puissance disponible en respectant la contrainte de puissance. Les débits de transmission sur la bande } (q) \text{ sont } R_i^{(q)} = C(\eta_i^{(q)})$$

avec

$$\eta_i^{(q)} = \frac{|a_r^{(q)} h_{ir}^{(q)} h_{ri}^{(q)} + h_{ii}^{(q)}|^2 P_i \theta_i^{(q)}}{|a_r^{(q)} h_{jr}^{(q)} h_{ri}^{(q)} + h_{ji}^{(q)}|^2 P_j \theta_j^{(q)} + (a_r^{(q)})^2 |h_{ri}^{(q)}|^2 N_r^{(q)} + N_i^{(q)}}, \forall i \in \{1, 2\},$$

$j = -i^1$ et $C(\cdot)$ est la fonction capacité définie par $C(x) =$

¹L'index $-i$ est la notation utilisée en théorie des jeux pour désigner les autres utilisateurs sauf i . Si $i = 1$ alors $-i = 2$ et si $i = 2$ alors $-i = 1$.

$$\log_2(1 + x).$$

2.2 Cas du protocole décoder-et-transférer

Nous supposons maintenant que les nœuds relais implantent le protocole DT introduit par [6]. Les signaux reçus en bande de base s'écrivent :

$$\begin{cases} Y_r^{(q)} &= h_{1r}^{(q)} X_1^{(q)} + h_{2r}^{(q)} X_2^{(q)} + Z_r^{(q)} \\ Y_1^{(q)} &= h_{11}^{(q)} X_1^{(q)} + h_{r1}^{(q)} X_r^{(q)} + h_{21}^{(q)} X_2^{(q)} + h_{r1}^{(q)} X_r^{(q)} + Z_1^{(q)} \\ Y_2^{(q)} &= h_{22}^{(q)} X_2^{(q)} + h_{r2}^{(q)} X_r^{(q)} + h_{12}^{(q)} X_1^{(q)} + h_{r2}^{(q)} X_r^{(q)} + Z_2^{(q)} \end{cases}$$

où $X_{r1}^{(q)} \sim \mathcal{N}(0, \nu^{(q)} P_r^{(q)})$, $X_{r2}^{(q)} \sim \mathcal{N}(0, (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)})$

sont des signaux qui implantent un codage par superposition réalisé au niveau du relais $\mathcal{R}^{(q)}$. Le paramètre $\nu^{(q)} \in [0, 1]$ représente le partage de puissance du relais entre ces deux mots de code. Nous supposons que chaque récepteur considère le message destiné à l'autre utilisateur comme du bruit additif. Aussi, dans l'étape de décodage au niveau du relais, le signal de l'autre utilisateur est traité comme du bruit additif. En conséquence, les débits atteignables sur la bande (q) sont $R_i^{(q)} = \min \{R_{i,1}^{(q)}, R_{i,2}^{(q)}\}$ avec

$$\begin{cases} R_{i,1}^{(q)} &= C\left(\frac{|h_{ir}^{(q)}|^2 (1 - \tau_i^{(q)}) \theta_i^{(q)} P_i}{|h_{jr}^{(q)}|^2 (1 - \tau_j^{(q)}) \theta_j^{(q)} P_j + N_r^{(q)}}\right) \\ R_{i,2}^{(q)} &= C\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \end{cases}$$

où $M_1 = |h_{ii}^{(q)}|^2 \theta_i^{(q)} P_i + |h_{ri}^{(q)}|^2 \nu P_r + 2\text{Re}(h_{ii}^{(q)} h_{ri}^{(q)*}) \sqrt{\tau_i^{(q)} \theta_i^{(q)} P_i \nu^{(q)} P_r}$,

$M_2 = |h_{ji}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j + |h_{ri}^{(q)}|^2 (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)}$

$+ 2\text{Re}(h_{ji}^{(q)} h_{ri}^{(q)*}) \sqrt{\tau_j^{(q)} \theta_j^{(q)} P_j (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)} + N_i^{(q)}}$ et $\nu^{(q)}, \tau_1^{(q)}, \tau_2^{(q)} \in [0, 1], i \in \{1, 2\}$. Dans la stratégie de codage pour obtenir ces débits, le degré de coopération [6] entre le nœud source et le relais est défini par $\tau_i^{(q)} = \frac{E[X_i^{(q)} X_{ri}^{(q)*}]}{\sqrt{E[|X_i^{(q)}|^2] E[|X_{ri}^{(q)}|^2]}}$. Nous pou-

rons réécrire $X_i^{(q)}$ comme $X_i^{(q)} = X_{i0}^{(q)} + \frac{\tau_i^{(q)} P_i}{\nu^{(q)} P_r^{(q)}} X_{ri}^{(q)}$ où les signaux en variable aléatoire $X_{i0}^{(q)}$ et $X_{ri}^{(q)}$ sont indépendants $X_{i0}^{(q)} \sim \mathcal{N}(0, (1 - \tau_i^{(q)}) P_i)$ et $\nu_1^{(q)} = \nu^{(q)}$ et $\nu_2^{(q)} = 1 - \nu^{(q)}$; le premier terme $X_{i0}^{(q)}$ représente le message grossier et le deuxième terme le message fin. Ces paramètres peuvent être considérés comme étant des degrés de liberté supplémentaires que chaque source peut optimiser. Dans ce travail on va les considérer comme étant fixes.

2.3 Cas du protocole estimer-et-transférer

Dans ce paragraphe nous supposons que les nœuds relais utilisent le protocole ET [6]. Sur la bande (q) , le relais compresse son observation avec deux résolutions qui correspondent à chaque nœud destinataire. Les deux signaux ainsi obtenus, $X_{r1}^{(q)} \sim \mathcal{N}(0, \nu^{(q)} P_r^{(q)})$, $X_{r2}^{(q)} \sim \mathcal{N}(0, (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)})$ sont superposées et envoyés aux destinataires. Les signaux en bande de base peuvent s'écrire d'une manière similaire au paragraphe précédent. En supposant que chaque récepteur considère le message destiné à l'autre utilisateur comme du bruit, les débits de

transmission sont donnés par $R_i^{(q)} = C \left(\frac{M_3}{M_4} \right)$ avec

$$\begin{aligned} M_3 &= \left(|h_{j_r}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j + N_r^{(q)} + N_{wz,i}^{(q)} \right) |h_{i_i}^{(q)}|^2 \theta_i^{(q)} P_i \\ &+ \left(|h_{j_i}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j + |h_{r_i}^{(q)}|^2 (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)} + N_i^{(q)} \right) |h_{i_r}^{(q)}|^2 \theta_i^{(q)} P_i, \\ M_4 &= \left(N_r^{(q)} + N_{wz,i}^{(q)} \right) \left(|h_{j_i}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j + |h_{r_i}^{(q)}|^2 (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)} + N_i^{(q)} \right) \\ &+ |h_{j_r}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j^{(q)} \left(|h_{r_i}^{(q)}|^2 (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)} + N_i^{(q)} \right), \\ N_{wz,i}^{(q)} &= \frac{\left(|h_{i_i}^{(q)}|^2 \theta_i^{(q)} P_i + |h_{j_i}^{(q)}|^2 \theta_j^{(q)} P_j + |h_{r_i}^{(q)}|^2 (1 - \nu^{(q)}) P_r^{(q)} + N_i^{(q)} \right) A^{(q)} - |A_i^{(q)}|^2}{|h_{r_i}^{(q)}|^2 \nu^{(q)} P_r^{(q)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{et } \nu^{(q)} &\in [0, 1], A^{(q)} = |h_{1r}^{(q)}|^2 \theta_1^{(q)} P_1 + |h_{2r}^{(q)}|^2 \theta_2^{(q)} P_2 + N_r^{(b)}, A_1^{(q)} = \\ &h_{11}^{(q)} h_{1r}^{(q)*} \theta_1^{(q)} P_1 + h_{21}^{(q)} h_{2r}^{(q)*} \theta_2^{(q)} P_2 \text{ et} \\ A_2^{(q)} &= h_{12}^{(q)} h_{1r}^{(q)*} \theta_1^{(q)} P_1 + h_{22}^{(q)} h_{2r}^{(q)*} \theta_2^{(q)} P_2. \end{aligned}$$

3 Les jeux d'allocation de puissance

L'objectif est de trouver la façon avec laquelle chaque émetteur va allouer sa puissance entre les Q canaux CIR en parallèle, sachant que les émetteurs sont capables de s'observer l'un l'autre et de réagir en conséquence. Cette interaction correspond à un jeu non-coopératif sous forme stratégique caractérisé par : les *joueurs*, les deux nœuds source ; la *stratégie* du joueur i , le choix du vecteur de fractions θ_i dans l'ensemble de stratégies

$$\mathcal{A}_i = \left\{ \theta_i = (\theta_i^{(1)}, \dots, \theta_i^{(Q)}) \in [0, 1]^Q \left| \sum_{q=1}^Q \theta_i^{(q)} \leq 1 \right. \right\};$$

la fonction d'utilité de joueur $i \in \{1, 2\}$ donnée par son débit de transmission atteignable au sens du Shannon, $u_i(\theta_i, \theta_{-i}) = \sum_{q=1}^Q R_i^{(q)}(\theta_i, \theta_{-i})$, où $R_i^{(q)}$ sont les débits de transmission définis dans le paragraphe précédent qui dépendent du protocole de relayage. Une caractéristique souhaitée des réseaux distribués est l'existence d'un équilibre de Nash. L'équilibre de Nash (EN) [7] représente un état du système (profil de stratégies) duquel les utilisateurs n'ont aucun intérêt à dévier unilatéralement.

Definition 3.1 *Le profil de stratégies $(\tilde{\theta}_1, \tilde{\theta}_2)$ est un EN pur si $\forall i \in \{1, 2\}, \forall \theta'_i \in \mathcal{A}_i, u_i(\tilde{\theta}_i, \tilde{\theta}_{-i}) \geq u_i(\theta'_i, \tilde{\theta}_{-i})$.*

Un résultat important de notre travail est que nous avons prouvé que l'équilibre de Nash existe toujours quelque soit la classe de protocoles de relayage considérée (AT, DT, ET).

Theorem 3.2 *Dans le jeu d'allocation de puissance décrit ci-dessus et en supposant que les relais utilisent un des protocoles considérés (AT, DT ou ET), il existe au moins un équilibre de Nash.*

À cause du manque de place, nous allons décrire en quelques lignes la preuve de ce théorème en exploitant les résultats de [8]. Du premier théorème de [8] nous avons que, si pour tout joueur ($i \in \{1, 2\}$) 1) l'ensemble des stratégies, \mathcal{A}_i est convexe et compact, 2) sa fonction d'utilité $u_i(\theta_i, \theta_{-i})$ est continue par rapport au profil de stratégies (θ_i, θ_{-i}) , 3) sa fonction d'utilité est concave par rapport à sa stratégie θ_i , alors l'existence d'au moins un équilibre de Nash en stratégies pures est garantie. Pour toutes les protocoles considérés (AT, DT ou ET), il est facile de vérifier que les conditions 1) et 2) sont vérifiées. Prouver que la condition 3) est aussi vérifiée est plus difficile surtout dans le cas du protocole AT. Dériver directement l'utilité u_i par rapport à $\theta_i^{(q)}$ mène à une expression inexploitable.

Mais en utilisant un changement de variable approprié, il est possible de prouver que la dérivée seconde est négative.

4 Simulations

Pour des raisons de simplicité, nous supposons que $Q = 2$ et que dans la deuxième bande de fréquence il n'y a pas de relais disponible, ce qui veut dire que le système est composé par un canal à interférence à relais en parallèle avec un canal à interférence [9]. Nous avons proposé un algorithme itératif et séquentiel basé sur les meilleures réponses qui permet avec une connaissance réduite en termes de paramètres du système, de converger vers un EN. À chaque étape un des utilisateurs met à jour son allocation de puissance sachant la stratégie de son concurrent à l'étape antérieure. Cet algorithme converge toujours vers un équilibre, qui dépend du point initial. Nous supposons le modèle de l'affaiblissement à grande échelle et pour une configuration spatiale des $\mathcal{S}_i, \mathcal{D}_i$ donnée, les distances relatives entre les nœuds sont $d_{11} = 6, 52\text{m}, d_{12} = 8, 32\text{m}, d_{21} = 6, 64\text{m}, d_{22} = 6, 73\text{m}$. En ce qui concerne le relais, nous supposons qu'il se trouve dans une zone $[-L, L]^2$, avec $L = 10\text{m}$ autour des autres nœuds. Les gains des canaux vont dépendre des distances et des coefficients d'affaiblissement lent $\gamma^{(1)} \geq 2$ et $\gamma^{(2)} \geq 2$. Aussi nous supposons que $N_i^{(1)} = N_i^{(2)} = N_i, i \in \{1, 2\}, N_r^{(1)} = N_r, P_r^{(1)} = P_r, a_r^{(1)} = a_r, \nu^{(1)} = \nu$.

La position optimale du relais (AT). Nous considérons le protocole AT et nous étudions la position optimale du relais qui maximise le débit somme du système. La figure Fig. 1 représente le débit somme en fonction de la position du relais $(x_{\mathcal{R}}, y_{\mathcal{R}}) \in [-L, L]^2$ pour le scénario : $P_1 = 20 \text{ dBm}, P_2 = 17 \text{ dBm}, P_r = 22 \text{ dBm}, N_1 = 10 \text{ dBm}, N_2 = 9 \text{ dBm}, N_r = 7 \text{ dBm}, \gamma^{(1)} = 2, 5$ and $\gamma^{(2)} = 2$. Nous observons deux points d'optimum local qui correspondent aux points qui maximisent les débits de chacun des utilisateurs. Beaucoup des simulations ont confirmé que la position du relais qui maximise le débit de l'un des utilisateurs à l'équilibre de Nash, se trouve sur le segment entre l'émetteur et le récepteur respectif. Ceci peut être expliqué par le fait que à l'équilibre, les utilisateurs égoïstes se coordonnent de façon à gérer l'interférence créée dans le CIR. Cette conclusion se confirme sur la Fig. 2. Nous observons que les régions dans lesquelles les joueurs utilisent le CIR à l'équilibre ne se superposent presque pas. Ceci veut dire que l'utilisateur connecté sur le CIR voit peu ou pas d'interférence et donc le canal est simplement un canal à relais. Pour le canal à relais nous pouvons prouver analytiquement que la position optimale du relais se trouve sur le segment entre la source et le récepteur.

La politique d'allocation optimale de puissance au niveau du relais (DT vs. ET). Nous considérons par la suite le problème d'allocation de puissance pour les protocoles DT et ET. Pour le protocole DT nous fixons les coefficients de coopération $\tau_1 = 0$ and $\tau_2 = 0$. La figure Fig. 3 représente le débit somme du système à l'équilibre en fonction de la politique d'allocation de puissance du relais $\nu \in [0, 1]$ pour le scénario : $x_{\mathcal{R}} = 0 \text{ m}, y_{\mathcal{R}} = 0 \text{ m}, P_1 = 22 \text{ dBm}, P_2 = 17 \text{ dBm}, P_r = 23 \text{ dBm},$

$N_1 = 7$ dBm, $N_2 = 9$ dBm, $N_r = 0$ dBm, $\gamma^{(1)} = 2,5$ and $\gamma^{(2)} = 2$. Nous observons que la politique optimale est $\nu^* = 1$ pour les deux protocoles. Ceci signifie que le relais alloue toute sa puissance au meilleur récepteur \mathcal{D}_1 . Dans ce cas le relais se trouve près des sources et peut décoder les deux messages correctement. Ce qui explique pour quoi DT obtient des meilleures performances par rapport à ET.

5 Conclusions

Le comportement égoïste de terminaux cognitifs qui communiquent à travers plusieurs canaux à interférence à relais résulte, à l'équilibre de Nash, en une gestion décentralisée et saine de l'interférence. Les différentes paramètres des relais (la position spatiale ou la politique d'allocation de puissance au niveau des relais (pour DT ou ET)) peuvent être adaptés afin d'optimiser certains critères de performance (e.g. le débit somme du système).

Références

- [1] "Report of the Spectrum Efficiency Working Group", *Federal Communications Commission*, Nov. 2002.
- [2] O. Sahin and E. Erkip, "On Achievable Rates for Interference Relay Channel with Interference cancellation", *Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers*, pp. 805–809, Nov. 2007.
- [3] W. Yu, G. Ginis, and J. M. Cioffi, "Distributed multiuser power control for digital subscribers lines", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, no. 5, pp. 1105–1115, Jun. 2002.
- [4] J.-S. Pang, G. Scutari, F. Facchinei, C. Wang, "Distributed power allocation with rate constraints in Gaussian parallel interference channels", *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp. 3471–3489, Aug. 2008.
- [5] Y. Shi, J. H. Wang, W. L. Huang, and K. Ben Letaif, "Power allocation in Gaussian interference relay channels via game theory", *IEEE Globecom Telecom. Conference, New Orleans, LO, USA*, pp. 1–5, 30 Nov.–4 Dec. 2008.
- [6] T. M. Cover and A. El Gamal, "Capacity theorems for the relay channel", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 25, no. 5, pp. 572–584, 1979.
- [7] J. F. Nash, "Equilibrium points in n-points games", *Proc. of the N.A.S.*, vol. 36, no. 1, pp. 48–49, Jan. 1950.
- [8] J. Rosen, "Existence and uniqueness of equilibrium points for concave n-person games", *Eco.*, vol. 33, pp. 520–534, 1965.
- [9] A. B. Carleial, "Interference channels", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 24, no. 1, pp. 60–70, Jan. 1978.

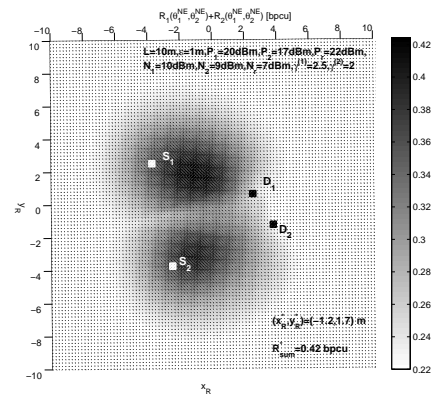


FIG. 1 – Protocole AT. Débit somme en fonction de $(x_{\mathcal{R}}, y_{\mathcal{R}}) \in [-L, L]^2$ pour $L = 10$ m, $\epsilon = 1$ m, $P_1 = 20$ dBm, $P_2 = 17$ dBm, $P_r = 22$ dBm, $N_1 = 10$ dBm, $N_2 = 9$ dBm, $N_r = 7$ dBm, $\gamma^{(1)} = 2.5$ and $\gamma^{(2)} = 2$. La position optimale du relais $(x_{\mathcal{R}}^*, y_{\mathcal{R}}^*) = (-1.2, 1.7)$ se trouve sur le segment entre S_1 et \mathcal{D}_1 .

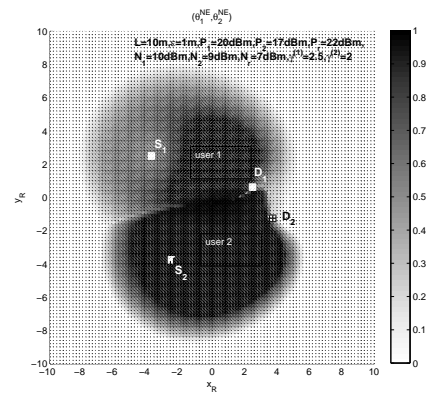


FIG. 2 – Protocole AT. Politiques d'allocation de puissance à l'équilibre de Nash $(\theta_1^{NE}, \theta_2^{NE})$ en fonction de $(x_{\mathcal{R}}, y_{\mathcal{R}}) \in [-L, L]^2$ pour $L = 10$ m, $\epsilon = 1$ m, $P_1 = 20$ dBm, $P_2 = 17$ dBm, $P_r = 22$ dBm, $N_1 = 10$ dBm, $N_2 = 9$ dBm, $N_r = 7$ dBm, $\gamma^{(1)} = 2.5$ et $\gamma^{(2)} = 2$. Les régions où les joueurs utilisent le CIR ne se superposent presque pas.

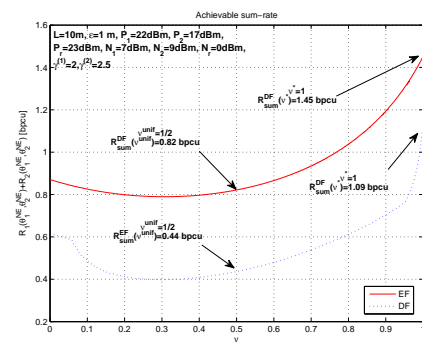


FIG. 3 – Le protocole ET vs. DT. Débit somme à l'équilibre de Nash en fonction de $\nu \in [0, 1]$ pour $L = 10$ m, $\epsilon = 1$ m, $P_1 = 22$ dBm, $P_2 = 17$ dBm, $P_r = 23$ dBm, $N_1 = 7$ dBm, $N_2 = 9$ dBm, $N_r = 0$ dBm, $\gamma^{(1)} = 2.5$ et $\gamma^{(2)} = 2$. La politique optimale d'allocation de puissance du relais $\nu^* = 1$ favorise le meilleur récepteur.