



**HAL**  
open science

## Négotiations à base d'Enchères dans les Réseaux Radio Cognitive

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Francine Krief, Fethi Tarik Bendimerad

► **To cite this version:**

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Francine Krief, Fethi Tarik Bendimerad. Négotiations à base d'Enchères dans les Réseaux Radio Cognitive. NOTERE (Nouvelles Technologies de la Répartition)/CFIP (Colloque francophone sur l'ingénierie des protocoles) 2012, Oct 2012, Montauray - ANGLET, France. hal-00735967

**HAL Id: hal-00735967**

**<https://inria.hal.science/hal-00735967>**

Submitted on 27 Sep 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Négotiations à base d'Enchères dans les Réseaux Radio Cognitive

Asma Amraoui<sup>1</sup>, Badr Benmammar<sup>1</sup>, Francine Krief<sup>2</sup>, Fethi Tarik Bendimerad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LTT Laboratoire de Télécommunications Tlemcen, UABT, Algérie

<sup>2</sup>LaBRI Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique, Talence, France  
{amraoui.asma, badr.benmammar, fibendimerad}@gmail.com, krief@labri.fr

**Résumé**—La croissance explosive des services sans fil ces dernières années illustre la demande croissante des communications, ainsi le spectre devient plus encombré. Nous savons que l'allocation du spectre statique est un problème majeur dans les réseaux sans fil. Généralement, ces allocations conduisent à une utilisation inefficace du spectre. Pour résoudre le problème de l'encombrement, les réseaux radio cognitive utilisent l'accès dynamique au spectre. Dans ce papier, nous utilisons une technique basée sur la théorie des enchères qui est connue par sa simplicité dans le but de faciliter l'allocation des ressources rares.

**Mots-clé :** *radio cognitive; systèmes multi agents; théorie des enchères; accès dynamique au spectre*

## I. INTRODUCTION

La Radio Cognitive (RC) est une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur/récepteur est capable de détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en cours d'utilisation et ceux qui ne le sont pas, et peut se déplacer vers les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs.

Le principe de la RC nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un utilisateur dit secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il trouve libres, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire (SU pour Secondary User) devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire (PU pour Primary User) aura montré des velléités de connexion.

Les réseaux RC doivent pouvoir coexister pour rendre les systèmes de la RC pratiques, ce qui peut générer des interférences aux autres utilisateurs. Afin de traiter ce problème, l'idée de la coopération entre les utilisateurs pour détecter et partager le spectre sans causer d'interférences est mise en place [1].

La résolution coopérative de problèmes prend une place prépondérante dans les recherches en IAD<sup>1</sup> (Intelligence

Artificielle Distribuée). Un domaine de recherche relativement complexe, dérivé de l'IAD, est celui des Systèmes Multi Agents (SMA). La thématique SMA se focalise sur l'étude des comportements collectifs et sur la répartition de l'intelligence sur des agents plus ou moins autonomes, capables de s'organiser et d'interagir pour résoudre des problèmes.

On peut considérer la coopération comme une attitude adoptée par les agents qui décident de travailler ensemble. Dans le cas de la RC, avant de faire la coopération il faut passer par une autre étape « la négociation », car il y a plusieurs utilisateurs qui veulent satisfaire leur besoins. La négociation joue un rôle fondamental dans les activités de coopération en permettant aux personnes de résoudre des conflits qui pourraient mettre en péril des comportements coopératifs.

Dans ce papier, nous commençons par donner un aperçu sur les SMA pour ensuite parler de leur utilisation dans la RC, nous allons ensuite établir un état de l'art sur l'utilisation des enchères dans les réseaux RC, nous donnons ensuite la topologie du réseau que nous utilisons ainsi que les méthodes de négociation que nous avons utilisées pour nos simulations.

## II. AGENT

Le concept d'agent est utilisé dans plusieurs disciplines, ce qui fait que peu de compromis existent lorsqu'il s'agit de définir le terme « agent ». Toutefois, une des définitions les plus connues et qui est considérée comme l'une des premières est celle de [2]:

« Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi agent, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents. »

---

<sup>1</sup> A la différence de l'Intelligence Artificielle (IA) qui modélise le comportement intelligent d'un seul agent, l'IAD s'intéresse à des

---

comportements intelligents qui résultent de l'activité coopérative de plusieurs agents.

### III. SYSTEMES MULTI AGENTS

#### A. Définition

Les SMA sont particulièrement adaptés pour proposer des solutions réactives et robustes à des problèmes complexes pour lesquels il n'existe pas de contrôle centralisé [3] [4]. En effet, un SMA est un regroupement d'agents où chaque agent possède une ou plusieurs compétences élémentaires. Le but est de faire travailler ensemble les agents pour résoudre un problème ou effectuer une tâche spécifique. En quelque sorte, on distribue l'intelligence, chaque agent autonome n'ayant qu'une vision locale du problème ou une tâche élémentaire d'un travail à effectuer.

Ferber [2] définit un SMA de la manière suivante :

« Un système Multi Agent est un système composé des éléments suivants :

- Un environnement est un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets situés dans l'espace, ils sont passifs, ils peuvent être perçus, détruits, créés et modifiés par les agents.
- Un ensemble d'agents qui sont les entités actives du système.
- Un ensemble de relations qui unissent les objets entre eux.
- Un ensemble d'opérations permettant aux agents de percevoir, de détruire, de créer, de transformer et de manipuler les objets.
- Un ensemble d'opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification (les lois de l'univers).»

#### B. Quand et Pourquoi opter pour les SMA ?

Les SMA sont utilisés en général lorsque le problème est trop complexe pour être résolu par un seul système à cause de quelques limitations logicielles ou matérielles. En particulier, si les composantes entretiennent des relations multiples entre elles. Les SMA représentent un excellent outil pour assurer un contrôle autonome dans un système largement distribué et dont les caractéristiques sont très dynamiques.

Pour qu'un SMA soit efficace, il faut que plusieurs agents travaillent en même temps, ce qui réduit le temps de résolution vu la vitesse utilisée qui est due principalement au parallélisme.

Quand on a besoin d'un système qui doit s'adapter dynamiquement lorsqu'on ajoute ou on retire de nouvelles composantes et que ces dernières doivent s'adapter facilement quand l'environnement subit des modifications, les SMA sont sûrement la solution idéale pour ce genre de scénarios. Il ne faut pas oublier que l'un des plus importants avantages des SMA est leur modularité qui permet de rendre la

programmation plus simple, c'est-à-dire que l'ajout de nouveaux agents à un SMA ne pose aucun problème ce qui explique leur extensibilité.

L'intérêt de la solution à base d'agents réside dans l'absence totale d'entité centrale régissant le fonctionnement des agents, ce qui garantit une grande résistance et une grande fiabilité (car si un agent tombe en panne, le système continue de fonctionner).

#### C. Interactions entre agents

Une des principales propriétés de l'agent dans un SMA est celle d'interagir avec les autres agents. Ces interactions sont généralement définies comme toute forme d'action exécutée au sein du système d'agents et qui a pour effet de modifier le comportement d'un autre agent.

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions s'expriment ainsi à partir d'une série d'actions dont les conséquences exercent en retour une influence sur le comportement futur des agents [2].

L'interaction peut être décomposée en trois phases non nécessairement séquentielles :

- La réception d'information ou la perception d'un changement ;
- Le raisonnement sur les autres agents à partir des informations acquises ;
- Une émission de messages ou plusieurs actions (plan d'actions) modifiant l'environnement.

Les types courants d'interaction incluent la **coopération** (travailler ensemble à la résolution d'un but commun) ; la **coordination** (organiser la résolution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées) ; et la **négociation** (parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées).

### IV. SMA ET RADIO COGNITIVE

#### A. SMA et allocation du spectre

La RC offre une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre. Pour gérer intelligemment les ressources radio, des algorithmes de négociation et de coopération issus du domaine multi agents sont à exploiter afin d'assurer une répartition plus efficace du spectre.

Dans la communauté de RC, on parle souvent de coopération entre SU et de négociation entre PU et SU. Dans un premier temps nous allons étudier le deuxième concept (la négociation) en supposant que les nœuds RC sont fixes.

Ferber a pu faire une typologie des situations d'interactions à travers les principales composantes de l'interaction (buts, ressources, compétences) dans [2]. Les interactions des agents d'un SMA sont motivées par l'interdépendance des agents selon ces trois dimensions : leurs buts peuvent être compatibles ou non ; les agents peuvent désirer des ressources que les autres possèdent ; un agent X peut disposer d'une capacité nécessaire à un agent Y pour l'accomplissement d'un des plans d'action de Y. La Table.1 récapitule les différentes situations possibles.

TABLE I. CLASSIFICATION DES SITUATIONS D'INTERACTION

Buts	Ressources	Compétences	Types de situation	Remarque
Compatibles	Suffisantes	Suffisantes	Indépendance	indifférence
Compatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Collaboration simple	coopération
<b>Compatibles</b>	<b>Insuffisantes</b>	<b>Suffisantes</b>	<b>Encombrement</b>	
Compatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Collaboration coordonnée	
Incompatibles	Suffisantes	Suffisantes	Compétition individuelle pure	antagonisme
Incompatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Compétition collective pure	
Incompatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Conflits individuels pour des ressources	
Incompatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Conflits collectifs pour des ressources	

D'après [2], les buts sont incompatibles si la satisfaction de l'un entraîne l'insatisfaction de l'autre.

Dans le cas de la RC, les SU cherchent à satisfaire leur application en cherchant un canal libre et les PU ont la possibilité de partager leur spectre aussi. Donc, on peut dire que les buts sont compatibles car il n'y a aucune contradiction entre les buts des PU et des SU.

Lorsqu'on parle de ressources, on veut dire le nombre de canaux disponibles (parties libres du spectre).

Dans les scénarios que nous allons traiter, nous supposons que les SU ont des compétences suffisantes, ce qui veut dire que chaque agent peut faire la détection tout seul (pas besoin des autres agents).

En se basant sur la classification des situations d'interaction (Table I), nous avons modélisé les cas de figure qui risquent de se rencontrer dans le contexte de la RC à travers un arbre binaire, illustré dans la figure 1 :

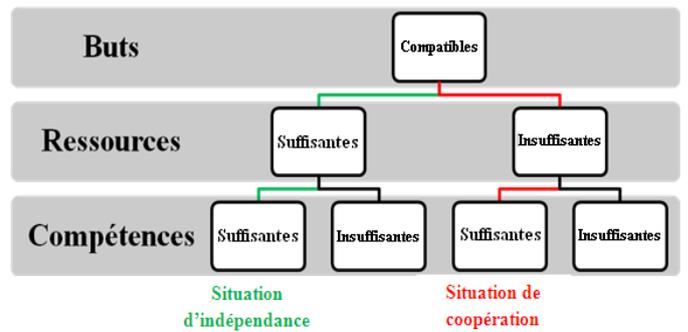


Figure 1. Arbre binaire modélisant les interactions entre les agents dans le cas de la RC

Dans la situation d'indépendance, il n'y a aucun problème à résoudre vis-à-vis de l'interaction des agents. C'est pour cela que nous nous intéressons particulièrement à la situation de coopération. L'objectif des recherches effectuées dans le domaine de la coopération et de la négociation entre agents est l'atteinte d'un état global du SMA en favorisant la synergie des agents. Ainsi l'objectif peut être d'atteindre un état meilleur, d'améliorer un résultat global tout en satisfaisant au maximum l'ensemble des résultats locaux.

Lorsque les ressources utilisées par les agents sont limitées et que ces derniers sont dans une situation d'encombrement, on utilise la plupart du temps :

- **La loi du plus fort** (définir un ordre de priorité en fonction de la force de l'agent), mais dans le cas de la RC, les SU ont tous le même but et veulent tous satisfaire leur besoin en spectre. Donc définir des priorités dans ce cas, revient à privilégier des types d'applications.
- **Les techniques de négociation**, c'est-à-dire que des compromis vont être établis entre les agents. En effet, il est intéressant d'utiliser cette méthode car la mise en place de ces mécanismes permettrait d'aboutir à l'acceptation par un agent de coopérer avec d'autres agents. Dans le cas de la RC, il faut seulement vérifier si le PU est prêt à coopérer ou non.

Par la suite, nous allons utiliser cette méthode (la négociation) pour résoudre le problème de l'encombrement entre les SU.

## B. Protocoles de négociation

Un protocole de négociation est l'ensemble de règles qui dirigent l'interaction. Ceci inclut les types de participants permis, les états de la négociation, les événements qui font passer d'un état à un autre et les actions valides et acceptables de la part des participants. Dans la littérature, il existe plusieurs techniques d'accès au spectre [1] et plusieurs

protocoles de négociation; le tableau Table II résume les protocoles les plus importants :

TABLE II. PROTOCOLES DE NÉGOCIATION

Protocole de négociation	Description
Contract Net	Les agents coordonnent leurs activités grâce à l'établissement de contrats pour atteindre des buts spécifiques.
Théorie des enchères	Le terme « enchère » désigne toute technique de vente établissant une concurrence, qui a pour objectif de déterminer le futur possesseur de l'article en jeu, par des offres successives.
Négociation heuristique	Les agents doivent fournir des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent, ces réactions peuvent prendre la forme d'une critique ou d'une contre-proposition (proposition refusée ou modifiée).
Négociation par argumentation	Un agent peut essayer de persuader un autre agent de répondre favorablement à sa proposition en cherchant des arguments qui identifient de nouvelles occasions, créent de nouvelles occasions ou modifient les critères d'évaluation.

### C. Choix du protocole

Pour résoudre le problème de l'encombrement causé par le manque de ressources, et bien modéliser la négociation, il faut choisir un protocole parmi ceux cités plus haut. Nous avons opté pour un protocole basé sur la théorie des enchères car nous pensons que c'est une approche ingénieuse pour l'allocation de ressources à un ensemble d'agents. Il convient de savoir que l'allocation est un problème difficile dans la mesure où les ressources sont limitées par rapport au nombre de demandes.

Vu qu'une enchère restreint les variables de négociation à un nombre réduit de paramètres essentiellement le prix, ceci facilite la tâche des programmeurs.

Finalement, une enchère aboutit à une solution mutuellement acceptable à la fois pour le vendeur et les acheteurs (dans notre cas le PU et les SU), les forces du marché étant le seul arbitre du dénouement de la négociation. L'objet des négociations dans notre scénario est le nombre de canaux disponibles chez les PU.

Il faut savoir que dans un premier temps, nous ne nous intéressons pas aux interactions entre le PU et les SU. Nous nous focalisons sur le PU et les différentes méthodes qu'il peut adopter pour réaliser la négociation pour plus tard réaliser la simulation entre les différents agents dans un SMA.

## V. ENCHERES ET RADIO COGNITIVE

### A. Types d'enchères

Actuellement, il existe plusieurs protocoles d'enchère, seuls les plus fréquemment utilisés sont cités dans la figure 2 qui suit.

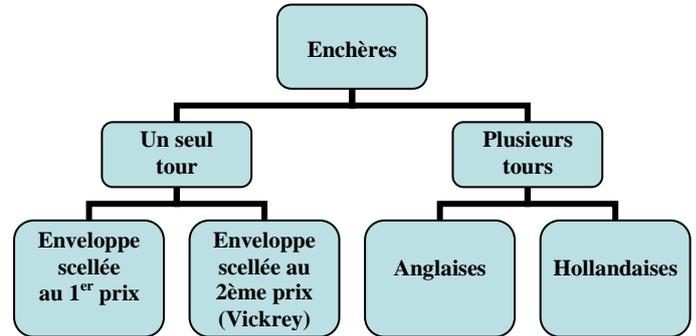


Figure 2 : Organigramme représentant les types d'enchères

### B. Travaux relatifs

En général, une vente aux enchères est constituée de plusieurs intervenants, la Table III décrit la différence entre des enchères classiques et ce qui correspond à chaque intervenant lorsqu'on applique cette méthode pour la négociation dans les réseaux RC.

TABLE III. DIFFERENCE ENTRE DES ENCHERES CLASSIQUE ET DANS LES RESEAUX RC

Enchères classiques	Enchères dans les réseaux RC
Objets à vendre	Canaux libres
Enchérisseurs	Utilisateurs secondaires (SU)
Vendeurs	Utilisateurs primaires (PU)
Commissaire-priseur	Régulateur

Les enchères sont basées sur le concept de vente et d'achat de biens ou de services. Le but principal de l'utilisation des enchères dans les réseaux RC est de fournir une motivation aux SU pour maximiser leur utilisation du spectre. Afin d'utiliser pleinement le spectre, l'allocation dynamique du spectre utilisant les enchères est devenue une approche prometteuse qui permet aux SU de louer des canaux inutilisés par les PU.

En général, les solutions proposées par les différents auteurs qui travaillent sur la théorie des enchères pour l'accès dynamique au spectre se basent sur une architecture avec infrastructure [5].

Dans [6], les auteurs proposent un mécanisme pour un partage efficace et équitable des ressources spectrales où il faut un coordinateur pour gérer le bon fonctionnement. Ils

modélisent l'accès au spectre dans les réseaux RC tels des enchères répétées.

Dans les solutions basées sur les enchères, chaque canal est assigné à un seul réseau, c'est à dire qu'il n'y a pas la notion de SU et de PU dans le même canal. Dans la littérature, deux possibilités s'offrent:

- Soit le régulateur alloue les canaux aux utilisateurs primaires, ces derniers allouent indépendamment les portions inutilisées de leur canal aux SU [7].
- Soit le régulateur alloue le droit d'être SU ou PU dans le canal [8].

La méthode de paiement est souvent un problème majeur lorsqu'on veut appliquer les enchères dans les réseaux de télécommunication, c'est pour cela que certains chercheurs essayent de trouver des solutions adéquates. Par exemple les auteurs de [9] utilisent les enchères à second prix pour résoudre le problème d'allocation du spectre et développent une approche qui introduit la notion d'argent fictif pour le paiement en temps réel. Une autre approche intéressante aussi est proposée dans [10] où les auteurs pensent qu'il n'y a pas de notion d'argent pour réaliser les enchères mais le prix à payer n'est rien d'autre que le temps d'attente.

Cependant, quelques recherches ont été faites par [11] et proposent une approche classique basée sur les enchères, ensuite les auteurs font une extension de leur approche à un scénario qui suppose qu'il y a des bandes libres gratuites. C'est-à-dire que le SU aura le choix entre payer et avoir une bonne QoS ou bien accéder aux canaux gratuitement et risquer de rencontrer des interférences avec les utilisateurs (si plusieurs SU opèrent en même temps sur ses canaux).

Une autre façon d'utiliser les ventes aux enchères est proposée dans [12], où les auteurs ont prouvé que dans certains scénarios le spectre est utilisé efficacement lorsque plusieurs SU gagnent l'accès à un seul canal, c'est ce qui distingue leur méthode des enchères traditionnelles où un seul utilisateur peut gagner.

Dans ces solutions, les comportements des utilisateurs est mensonger, de sorte que le gestionnaire centralisé ne peut pas optimiser la fonction d'utilité globale du réseau [13].

### C. Topologie du réseau proposé

Il faut savoir aussi qu'une bonne partie des chercheurs modélisent la vente aux enchères comme étant un réseau avec infrastructure, autrement dit un régulateur est nécessaire pour diriger la vente.

Dans la littérature, la plupart des inconvénients et des problèmes liés aux enchères sont en rapport avec le régulateur (initiateur), ce dernier peut avoir un comportement mensonger, il peut aussi utiliser de faux participants pour faire augmenter l'évaluation de l'objet.

Pour éviter ce genre de problèmes, nous proposons d'utiliser dans ce papier une architecture de réseau sans infrastructure ou ce que l'on appelle généralement « un réseau ad hoc », car ce type de réseau se distingue des autres formes de réseaux par sa capacité à s'organiser de manière autonome sans infrastructure fixe. Un réseau ad hoc n'est constitué que d'un nombre variable d'entités qui communiquent entre elles de façon directe.

En d'autres termes, la communication se fera directement entre les PU et les SU. La figure 3 illustre la topologie du réseau que nous utilisons :

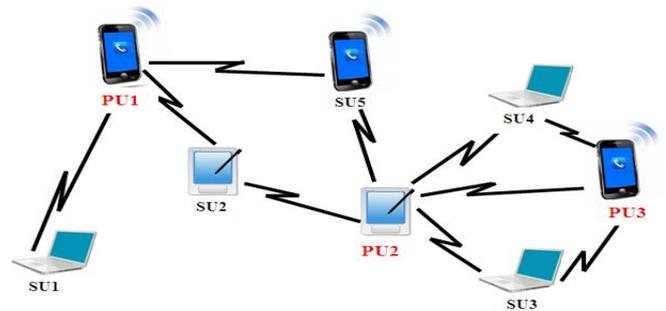


Figure 3 : Topologie du réseau (mode ad hoc)

### D. Scénario

Dans un premier temps, nous avons porté notre attention sur un type particulier de négociation « un à plusieurs » c'est-à-dire qu'il y a un seul PU qui partage son spectre et plusieurs SU qui ont besoin de bandes libres pour assurer la qualité de leur application. La figure 4 illustre le scénario qui sera traité dans la suite de ce papier.

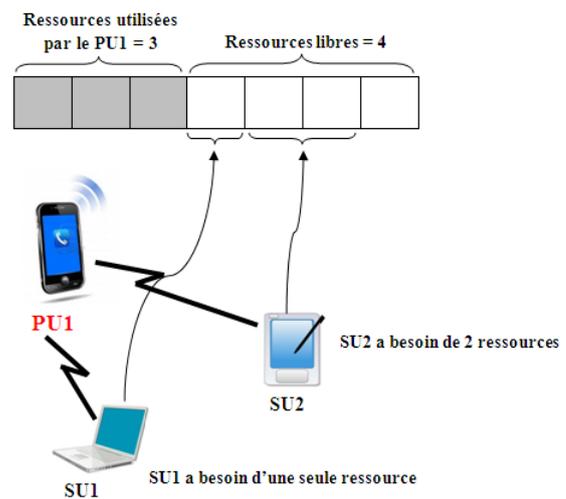


Figure 4 : Scénario proposé

### E. Algorithmes proposés

Pour être plus précis, nous avons choisi deux types d'enchères : un s'effectuant en un seul tour tel que les

enchères à enveloppes scellées (au premier prix) et un autre s'effectuant en plusieurs tours tel que les enchères anglaises.

Pour résoudre le problème de l'allocation du spectre, nous proposons d'utiliser la programmation dynamique qui est une technique algorithmique pour optimiser des sommes de fonctions monotones croissantes sous contrainte. Cette technique s'applique à des problèmes d'optimisation dont la fonction objectif se décrit comme « la somme de fonctions monotones croissantes des ressources ». Dans notre cas, l'algorithme proposé attribue les canaux aux utilisateurs les plus offrants.

Dans ce qui suit, nous allons noter :

- nb : le nombre de SU.
- m : le nombre de canaux libres coté PU.
- W : tableau de taille n, W[i] est le nombre de canaux demandés par SU<sub>i</sub>.
- C : tableau de taille n, C[i] représente le prix proposé pour W[i] par SU<sub>i</sub>.

La fonction monotone croissante à optimiser est :

$$\text{Max} \sum_{i=0}^{nb-1} C[i]$$

La contrainte est :  $\sum_{i=0}^{nb-1} W[i] \leq m$

On a ensuite proposé et implémenté les deux algorithmes suivants coté PU.

1) *Pour les enchères à enveloppes scellées (au premier prix)*

L'initiateur commence l'enchère et chaque participant soumet une offre sous enveloppe ou électroniquement, à un tour unique, sans connaître les offres des autres. Le participant qui a fait la plus grande offre gagne l'objet et paye le montant de son offre. La figure 5 montre l'algorithme que nous avons proposé pour résoudre ce type d'enchères.

```
function COUT(W, C, m)
  n ← C.length
  for j = 0 to m do
    tab[0][j] ← 0
  end for
  for i = 1 to nb do
    for j = 0 to m do
      if j ≤ W[i-1] then
        tab[i][j] ← tab[i-1][j]
      else
        tab[i][j] ← max(tab[i-1][j], C[i-1] + tab[i-1][j - W[i-1]])
      end if
    end for
  end for
  return tab[nb][m]
end function
```

Figure 5 Algorithme pour les enchères à enveloppes scellées au premier prix

2) *Pour les enchères anglaises*

L'initiateur commence l'enchère, d'habitude par l'annonce d'un prix de réservation (le prix minimal pour lequel il est d'accord pour vendre l'objet). Chaque participant annonce publiquement son offre, en plusieurs tours successifs. Quand aucun participant ne veut plus augmenter son offre, l'enchère s'arrête et le participant ayant fait la plus grande offre gagne l'objet au prix de son offre. La figure 6 montre l'algorithme que nous avons utilisé pour résoudre ce type d'enchères.

```
function ANGLAISE
  for i = 0 to nb - 1 do
    max_su[i] ← random * 1000
    if max_su[i] > max then
      max ← max_su[i]
    end if
    C[i] ← random * 100
    C[i] = C[i] / W[i]
    bool[i] ← 1
  end for
  while nb_bool ≠ 0 do
    for i = 0 to nb - 1 do
      if bool[i] = 0 then
        continue
      end if
      if C[i] > max_su[i] then
        if bool[i] = 1 then
          C[i] ← max_su[i]
          bool[i] = 0
        end if
        nb_bool ← nb_bool - 1
      end if
      if C[i] > max1 then
        max1 ← C[i]
      end if
    end for
    prix_pu ← max1
    for i = 0 to nb - 1 do
      if bool[i] ≠ 0 then
        C[i] ← random * 100
      end if
    end for
  end while
  return prix_pu
end function
```

Figure 6 Algorithmes pour les enchères anglaises

3) *Comparaison entre les deux types d'enchères*

Nous avons implémenté les deux algorithmes sur le PU et ensuite comparé les résultats obtenus sachant que nous avons testé les deux algorithmes en supposant qu'il y a 10 SU au même endroit.

a) Comparaison en termes de temps d'exécution

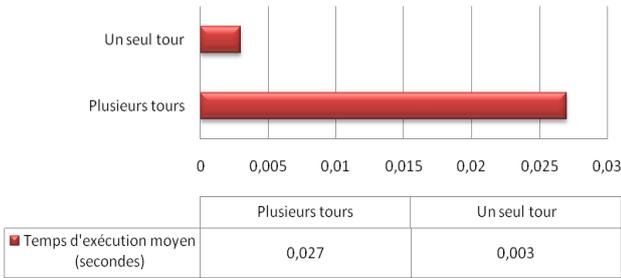


Figure 7 : Comparaison entre les deux algorithmes en termes de temps

La figure 7 montre que le temps d'exécution moyen des enchères à plusieurs tours est très grand par rapport à celles qui se font à un seul tour.

b) Comparaison en termes d'efficacité

Dans notre cas, quand on parle d'efficacité, on parle de nombre de SU satisfaits. Pour cela, nous avons comparé les deux algorithmes et nous remarquons que les résultats obtenus sont identiques.

La figure 8 montre l'impact des enchères sur le nombre de SU satisfaits. On voit très bien que quelque soit le nombre de canaux disponibles chez le PU, le nombre de SU satisfaits reste le même avec les deux méthodes (courbe bleue et rouge).

Nous avons comparé aussi l'utilisation des enchères avec le cas simple où le PU satisfait la première demande reçue en fonction de ses canaux libres. On remarque que le nombre de SU satisfaits est toujours supérieur par rapport à celui obtenu sans les enchères.

Le jeu de données que nous avons utilisé est : nb=5, C = {10, 20, 40, 120, 260} et W = {7, 5, 3, 2, 1}.

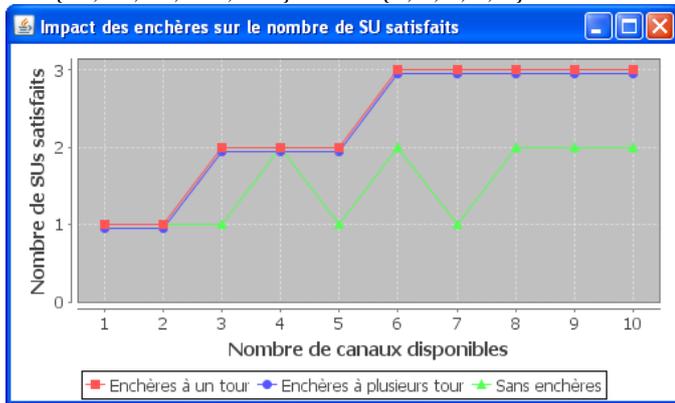


Figure 8 : Impact des enchères sur le nombre de SU satisfaits

Pour connaître le nombre de SU qui peut être satisfait dans une période donnée de temps (1min=60s), nous avons fait une comparaison entre l'utilisation des deux algorithmes précédents (enchères à 1 tour, enchères à n tours) avec la

méthode FIFO (First In First Out) qui consiste à satisfaire la première demande reçue par le PU.

Pour établir cette comparaison, nous avons supposé que le temps d'utilisation de chaque canal est de 10s. En plus du temps d'exécution et du temps d'utilisation, il faut savoir aussi que le temps nécessaire pour exploiter un canal (T. établissement) est de 5secondes en moyenne [14] [15].

$$T. \text{ requis} = T. \text{ exécution} + T. \text{ établissement} + T. \text{ utilisation}$$

Le jeu de données que nous avons utilisé est : m=4, nb=4, C = {44, 94, 151, 97} et W = {3, 2, 1, 3}.

La figure 9 montre qu'en 60s, 3 SU ont été satisfaits avec l'utilisation des deux méthodes d'enchères, cependant en utilisant la méthode FIFO 2 SU seulement ont été satisfaits.

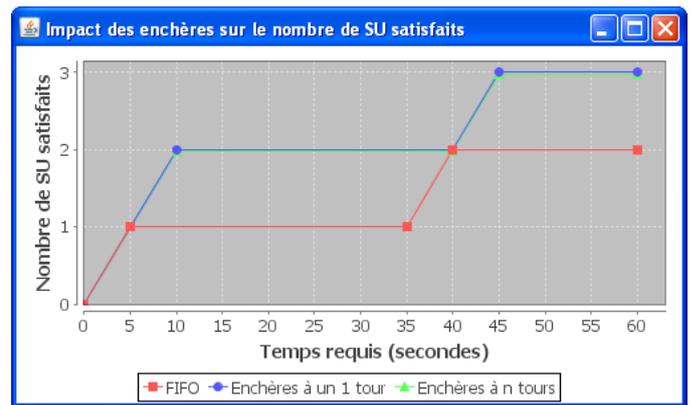


Figure 9 : Impact des enchères sur le nombre de SU satisfaits

La figure 10 montre l'impact des enchères sur les gains obtenus par le PU.

Le jeu de données que nous avons utilisé est: nb=10, C (un tour) = {39, 51, 160, 59, 64, 145, 177, 53, 42, 106}, C (plusieurs tours) = {286, 209, 141, 489, 3, 21, 671, 226, 622, 350} et W = {3, 2, 1, 3, 2, 1, 1, 2, 3, 1}.

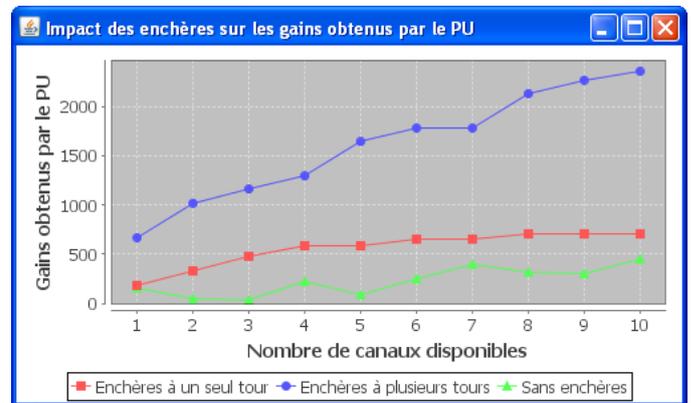


Figure 10 : Impact des enchères sur les gains obtenus :

On remarque que l'utilisation des enchères à plusieurs tours est plus bénéfique pour le PU car ses gains sont beaucoup plus importants par rapport à l'utilisation des enchères à un seul tour ou l'utilisation de la technique FIFO.

#### F. Résultats

Quelque soit le nombre de canaux demandés, le SU propose un prix pour la totalité des canaux demandés et donc c'est toujours celui qui peut offrir le plus qui gagne. C'est ce qui fait que l'efficacité des algorithmes reste la même vu qu'on satisfait le même nombre de SU.

Pour maximiser les gains du PU, il faut utiliser les enchères à plusieurs tours. Si on s'intéresse plutôt au nombre de SU satisfaits, il vaut mieux utiliser les enchères à un seul tour car la procédure est plus rapide.

### VI. CONCLUSION

Dans le cadre de la RC, la négociation est une des solutions les plus simples pour faire face à l'encombrement causé par le manque de ressources disponibles pour les SU. Nous pensons pouvoir élargir notre vision sur la négociation en traitant le cas où il y a plusieurs PU (négociation plusieurs à plusieurs).

Notre approche a prouvé qu'il est préférable d'utiliser des enchères à un seul tour surtout si on cherche à satisfaire des applications qui nécessitent une réponse immédiate, car l'utilisation des enchères à plusieurs tours peut nous faire perdre quelques secondes vu que la procédure est un peu plus longue et plus lente.

Notre méthode a prouvé aussi que pour résoudre le problème de l'encombrement du spectre, il vaut mieux utiliser une des techniques d'accès dynamique au spectre au lieu de ne rien utiliser et satisfaire la première demande reçue.

Dans nos futurs travaux, nous pensons pouvoir améliorer la fiabilité du lien sans fil et garantir une bonne qualité de service aux terminaux RC mobiles [16] [17] [18] en intégrant les Systèmes Multi Agents [19] [20].

### REFERENCES

[1] Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad. "Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive". 2<sup>ème</sup> édition de la conférence nationale de l'informatique (JEESI'12), (Avril 2012) - ESI, Oued-Smar (Alger), Algérie.

[2] Ferber, J. (1995). Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. Paris: InterEditions.

[3] Jennings. (1999). Agent-Oriented Software Engineering. MultiAgent System Engineering, 9<sup>th</sup> European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World.

[4] J.C. Casteran, M. P. (2000). Des méthodologies orientées multi-agent. Dans Hermes (Éd.), *Actes des Journées Francophones sur les l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, JFIADMSA'00*, (pp. 191-207).

[5] Hung-Bin Chang, Kwang-Cheng Chen, Neeli R. Prasad, Chih-Wei Su. "Auction Based Spectrum Management of Cognitive Radio Networks.", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, May 2010: 1923 - 1935 .

[6] Zhu Han, Rong Zheng, and H. Vincent Poor. "Repeated Auctions with learning for Spectrum Access in Cognitive Radio Networks." *Allerton Conference on Communication, Control, and Computing 2009*. 2009.

[7] Z. Ji, K.J. Ray Liu. "Belief-Assisted Pricing for Dynamic Spectrum Allocation in Wireless Networks with Selfish Users." *In Proc. of IEEE SECON*. 2006.

[8] Gaurav S. Kasbekar, Saswati Sarkar. "Spectrum Auction Framework for Access allocation in Cognitive Radio Networks." *MobiHoc*. 2009.

[9] Bin Chen, He-Kun Wu, Anh Tuan Hoang and Ying-Chang Liang. "Optimizing the second-price auction algorithm in a Dynamic Cognitive Radio Network." *Communication Systems, 2008. ICCS 2008. 11th IEEE Singapore International Conference on*. 2008.

[10] Guangen Wu, Pinyi Ren, and Chao Zhang. "A waiting-time Auction Based Dynamic Spectrum allocation in cognitive radio networks." *GLOBECOM*. 2011.

[11] Lin Chen, Stefano Iellamo, Marceau Coupechoux, Philippe Godlewski. "An auction Framework for Spectrum Allocation with Interference Constraint in Cognitive Radio Networks." *INFOCOM'10 Proceedings of the 29th conference on Information communications*. 2010.

[12] Yongle, W., Wang, B., Liu, K.J.R., and Clancy, T.C. "Collusion-resistant multi-winner spectrum auction for cognitive radio networks." *Proceedings of IEEE GLOBECOM*. 2008. 1-5.

[13] Mir., U. "Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks". Thèse 2011

[14] S. Busanelli, M. Martalò, G. Ferrari and G. Spigoni, "Vertical Handover between WiFi and UMTS Networks: Experimental Performance Analysis", *International Journal of Energy, Information and Communications* Vol. 2, Issue 1, February 2011.

[15] Z. Daia, R. Fracchia, J. Gosteaub, P. Pellatia and G.Viviera, "Vertical handover criteria and algorithm in IEEE 802.11 and 802.16 hybrid networks", Laboratoire de Motorola Paris.

[16] B. Benmammar, A. Amraoui and W. Baghli. "Performance improvement of wireless link reliability in the context of cognitive radio." *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* 12, no. 1 (January 2012): 15-22.

[17] Asma Amraoui, Fatima zohra Benidris, Badr Benmammar, Francine Krief and Fethi Tarik Bendimerad. "Toward cognitive radio resource management based on multi-agent systems for improvement of real-time application performance." *5th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2012)*. Istanbul, Turkey, 2012.

[18] A. Amraoui, W. Baghli and B. Benmammar, (2012) "Improving video conferencing application quality for a mobile terminal through cognitive radio", *14th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT 2012)*. Chengdu, China, November 9th-11th. to appear.

[19] Z. Jrad, F. Krief and B. Benmammar. "An Intelligent User Interface for the Dynamic Negotiation of QoS". *10th IEEE International Conference on Telecommunications. ICT'2003*. Papeete, Tahiti. February 2003.

[20] B. Benmammar, Z. Jrad and F. Krief. "QoS management in mobile IP networks using a terminal assistant". *Wiley/ACM International Journal of Network Management, Wiley InterScience Edition*, ISSN (printed): 1055-7148, ISSN (electronic): 1099-1190, Volume 19, Issue 1, Date: January/February 2009, Pages: 1-24.