



HAL
open science

Etat de l'art sur les techniques d'Accès Dynamique au Spectre dans les Réseaux de Radio Cognitive

Badr Benmammar

► **To cite this version:**

Badr Benmammar. Etat de l'art sur les techniques d'Accès Dynamique au Spectre dans les Réseaux de Radio Cognitive . Doctorat. Algérie. 2018. cel-01721711

HAL Id: cel-01721711

<https://hal.science/cel-01721711>

Submitted on 2 Mar 2018

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.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Etat de l'art sur les techniques d'Accès Dynamique au Spectre dans les Réseaux de Radio Cognitive

Présenté par :
- Mr. Badr BENMAMMAR

Présentation

- **Maître de conférences classe A en Informatique**

- Département d'informatique

- Faculté des Sciences

- Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

- **Chef de l'équipe de recherche : RST-OA** au Laboratoire de Télécommunications de Tlemcen (LTT)

- **Domaines de recherche :**

- **Réseaux de radio cognitive.**

- Ordonnancement et équilibrage de charge dans les systèmes distribués.

- Green Networking.

- Internet of Things.

- Cloud Computing.



Plan

- ☒ Introduction
- ☒ Radio cognitive
- ☒ Accès Dynamique au Spectre
- ☒ Décision multicritères
- ☒ Nos travaux
- ☒ Conclusion et perspectives

Introduction

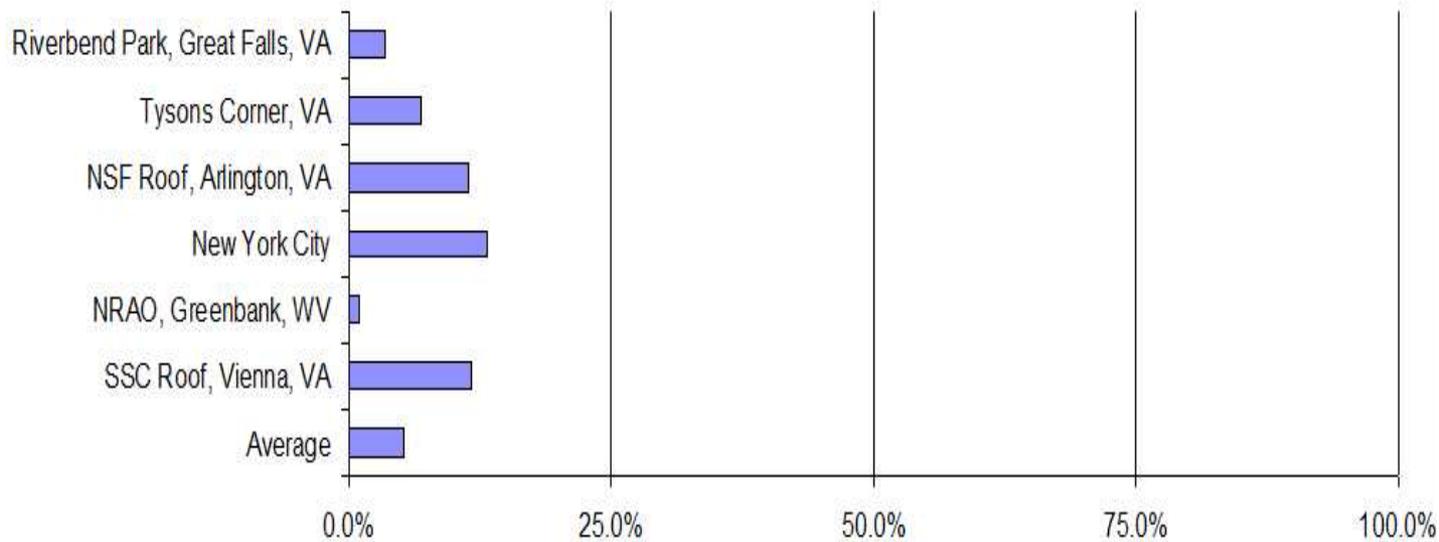
- La demande des utilisateurs des technologies sans fil **augmente de jour en jour.**



Différentes bandes de spectre pour différents services

Introduction

- **Gaspillage du spectre.**



Occupation du spectre mesurée sur six emplacements

Modèle classique de gestion du spectre

- Licence pour une grande région.
- Utilisation statique du spectre.
- Accès interdit pour les utilisateurs qui ne possèdent pas de licence.

Modèle classique de gestion du spectre

- Licence pour une grande région.

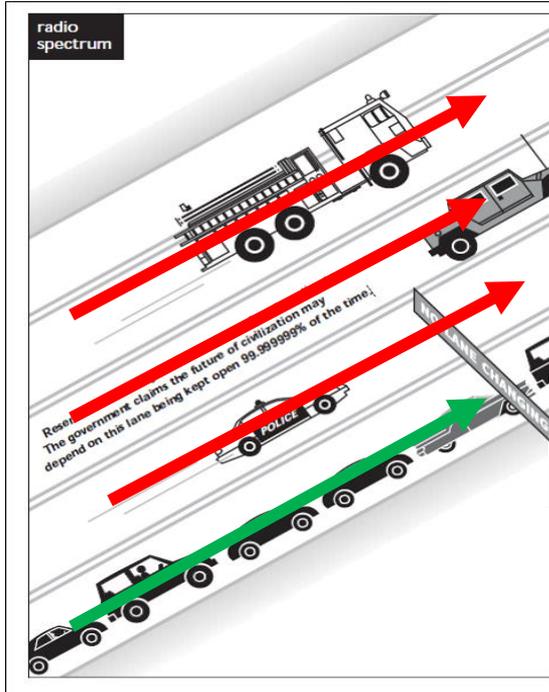
**Comment régler le problème
de la pénurie des fréquences radio ?**

- Utilisation statique du spectre.

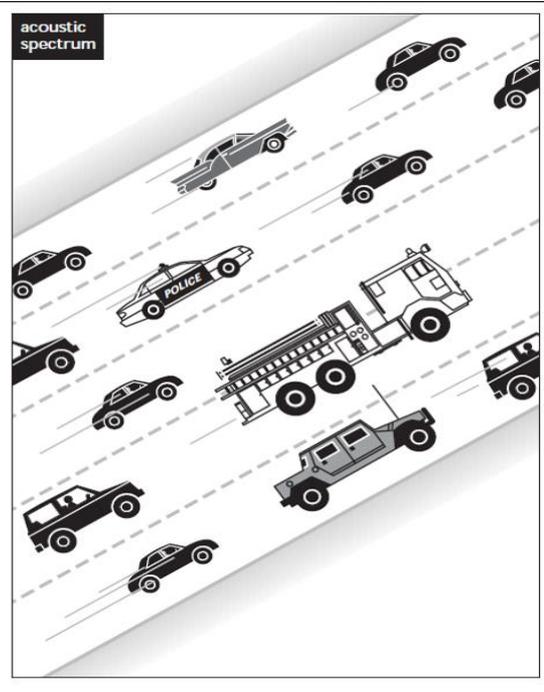
- Accès interdit pour les utilisateurs qui ne possèdent pas de licence.

Solution

- Toute ces contraintes ont montrées qu'il est temps de **changer la politique de gestion du spectre**, les différents pays ont été obligés de rechercher une nouvelle manière d'utiliser le spectre, ainsi est venu l'idée de **la gestion dynamique du spectre**.

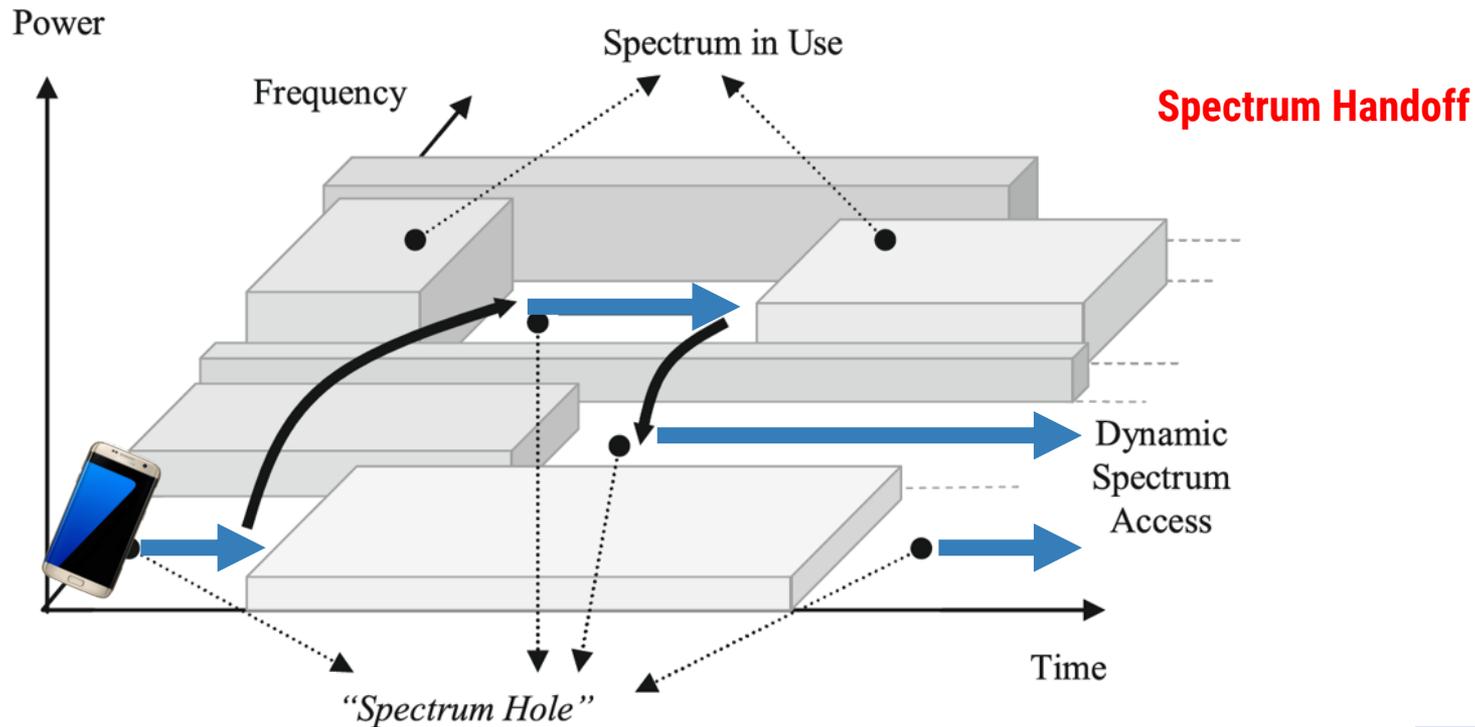


Modèle classique de gestion du spectre



Modèle d'accès dynamique

Accès dynamique au spectre



Le concept de trous dans le spectre

Radio logicielle restreinte (Software Defined Radio "SDR")

- La radio logicielle restreinte est **un système de communication radio** qui peut modifier dynamiquement certaines de ses caractéristiques de façon **logiciel** :
 - Fréquences.
 - Modulation.
 - Puissance.
- En utilisant **le même matériel**.

- L'idée de la RC a été présentée officiellement par **Joseph Mitola III** à un séminaire à KTH, l'Institut royal de technologie, en 1998, publié plus tard dans un article de Mitola et Maguire en 1999.

J. Mitola and G. Maguire, "Cognitive radio: Making software radios more personal", **IEEE Personal Communications**, Page(s): 13-18, August 1999.

Radio cognitive (RC)

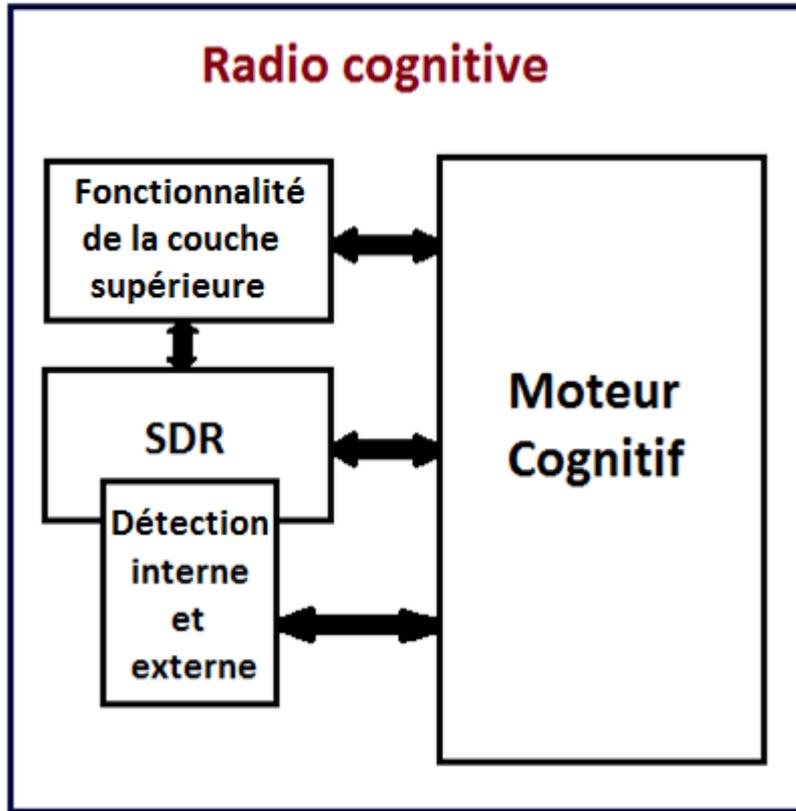
- La RC est **une radio sans fil intelligente** qui **s'adapte automatiquement** avec son environnement et les besoins de l'utilisateur en ajustant ses paramètres (**fréquence, modulation, puissance, bande passante**) pour une meilleure utilisation des canaux de communication dans son voisinage.

- La RC comprend un émetteur/récepteur capable de **détecter intelligemment les canaux** de communication **libres** et ceux qui ne le sont pas, et peut **se déplacer** dans les canaux non utilisés (libres).

Principe de fonctionnement

- **Utilisateurs primaires (PU):** dits utilisateurs licenciés, disposent **d'une licence** qui leur permet d'opérer à n'importe quel moment sur des bandes spectrales qui leurs sont réservées.
- **Utilisateurs secondaires (SU):** ne possèdent pas de licence mais peuvent accéder à des bandes de fréquence non utilisées par les utilisateurs primaires à n'importe quel moment et les cèdent une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire en aura besoin.
- Les SU accèdent au spectre de façon **opportuniste** sans gêner les utilisateurs primaires.

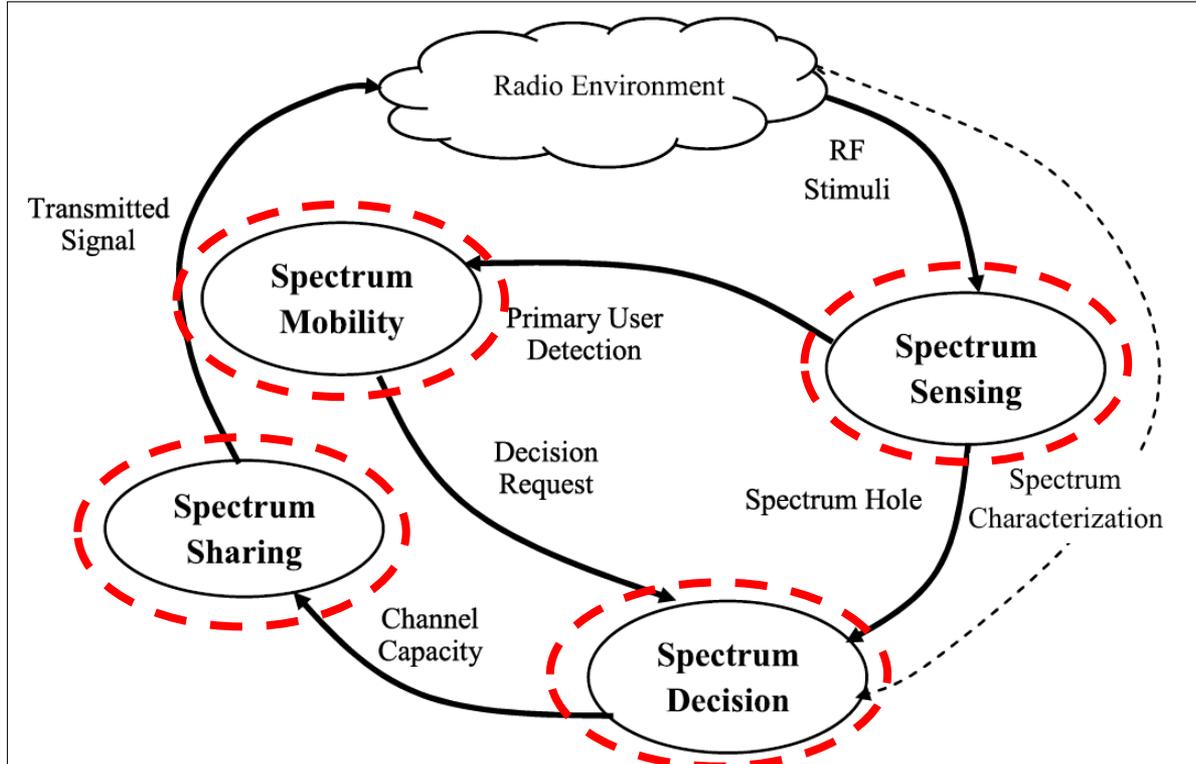
Relation entre la RC et la SDR



La SDR est une technologie essentielle pour la RC c'est à dire que la RC doit être mise en œuvre autour de la radio logicielle.

Le moteur cognitif représente la partie chargée de l'**optimisation** du module **radio logicielle restreinte** en se basant sur quelques paramètres d'entrée tels que les informations issues de la perception sensorielle ou de l'apprentissage de l'environnement radio, du contexte utilisateur, et de l'état du réseau .

Le cycle cognitif

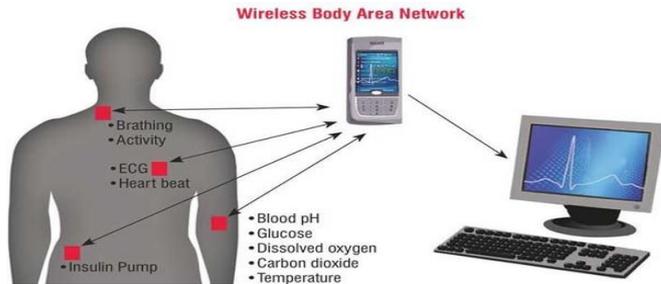


Applications de la RC

Wireless Cellular Networks



Public Safety Networks



Smart Grid

Wireless Medical Networks

La RC et la 5G

Mavromoustakis, Constandinos X., et al. "An energy-aware scheme for efficient spectrum utilization in a 5G mobile cognitive radio network architecture." **Telecommunication Systems** 59.1 (2015): 63-75.

IF = 1.542.

Mavromoustakis, Constandinos X., et al. "Joint energy and delay-aware scheme for 5G mobile cognitive radio networks." **Global Communications Conference (GLOBECOM)**, 2014 IEEE. IEEE, 2014.

Zhang, Zhenjiang, et al. "Cognitive radio spectrum sensing framework based on multi-agent architecture for 5G networks." **IEEE Wireless Communications** 22.6 (2015): 34-39.

IF = 8.972.

Hong, Xuemin, et al. "Cognitive radio in 5G: a perspective on energy-spectral efficiency trade-off." **IEEE Communications Magazine** 52.7 (2014): 46-53.

IF = 10.435.

Danneberg, Martin, et al. "Experimental testbed for 5G cognitive radio access in 4G LTE cellular systems." **Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM)**, 2014 IEEE 8th. IEEE, 2014.

Problématique

Comment profiter au maximum des différents spectres disponibles ?

Problématique

Comment profiter au maximum des différents spectres disponibles ?

- **Techniques classiques :**

- **Les enchères**

- La théorie des jeux

- Les chaînes de Markov

- **Les systèmes multi agents**

- **Intelligences artificielles :**

- Les réseaux de neurones

- La logique floue

- **Les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation**

**Techniques d'accès
dynamique au spectre**

Les enchères

- Les enchères s'appuient sur le concept **de vente et d'achat** des biens ou de services.
- La visée majeure de l'usage de ces enchères dans les RRC (réseaux de RC) est l'apport d'une motivation aux utilisateurs secondaires de manière à optimiser pleinement l'utilisation du spectre.

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



Les types d'enchères

- **Enchère ascendante (anglaise)** : Elle est certainement la plus populaire et la plus commune à tous. 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 stratégie dominante de l'agent acheteur est donc de proposer une somme la plus petite possible qui soit supérieur à celle enregistrée jusqu'à ce que la surenchère atteigne la valeur maximale qu'il peut offrir.

- **Enchère descendante (hollandaise)** : L'initiateur commence par proposer un prix et, par des tours successifs, diminue ce prix jusqu'au moment où un des participants achète l'objet au prix proposé.



Les types d'enchères

- **Enchère à enveloppe scellée (au premier prix)** : L'initiateur commence l'enchère et chaque participant soumet une offre sous enveloppe ou électroniquement, dans **un tour unique**, sans savoir les offres des autres. Le participant qui a fait la plus grande offre gagne l'objet et paye le montant de son offre. C'est un processus « statique » puisqu'il ne comporte qu'un tour. Ici on ne peut donc parler de stratégie dominante, puisque l'acheteur n'a pas de vision des mises des autres agents.

- **Enchère de Vickery (enveloppe scellée au second prix)** : Ici, aucun agent n'a connaissance de la mise des autres agents. Lorsque l'agent remporte l'enchère (en ayant proposé la somme la plus élevée), il **remporte le produit mais au prix de la seconde mise**, c'est à dire celle se trouvant juste au-dessous de la mise gagnante. Elle est moins répandue dans les enchères entre humains à cause du fait que l'initiateur peut mentir sur le deuxième prix le plus élevé et faire payer le gagnant plus que ce prix.



La théorie des jeux

• La Théorie des jeux peut être définie comme **un cadre mathématique** qui se compose **de modèles et de techniques** utilisés pour **analyser le comportement itératif** des individus préoccupés par leur propre bénéfice.

• **Dans la RC :**

- PU → **maximiser** son gain.
- SU → **minimiser** ses dépenses.

		J_2		
		Pierre	Ciseaux	Papier
J_1	Pierre	(0,0)	(1,-1)	(-1,1)
	Ciseaux	(-1,1)	(0,0)	(1,-1)
	Papier	(1,-1)	(-1,1)	(0,0)

La théorie des jeux

- **Jeux coopératifs**: tous les joueurs sont préoccupés par **les gains globaux** et ils ne sont pas très inquiets de leur gain personnel.

Certains travaux [1][2] utilisent la théorie des jeux coopératifs pour **réduire la puissance de transmission des utilisateurs secondaires** afin d'éviter de générer des interférences avec les transmissions des utilisateurs primaires.

[1] Yang, C., Li, J., and Tian, Z. “Optimal power control for cognitive radio networks under coupled interference constraints: A cooperative game-theoretic perspective”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, pp. 1696-1706. 2010.

[2] Zhang, J., and Zhang, Q. “Stackelberg game for utility-based cooperative cognitive radio networks”. Proceedings of ACM MOBIHOC, pp. 23-32. 2009.

La théorie des jeux

- **Jeux compétitifs**: chaque utilisateur est principalement préoccupé par son **gain personnel** et donc toutes ses décisions sont prises de manière compétitive et égoïste.

Dans la littérature existante, nous avons constaté que les concepts théoriques du jeu ont été largement utilisés pour des **attributions de fréquences dans les réseaux RC** [3] [4] [5], où lorsque les utilisateurs primaires et secondaires participent à un jeu, ils ont un comportement rationnel pour choisir les stratégies qui maximisent leurs propres gains.

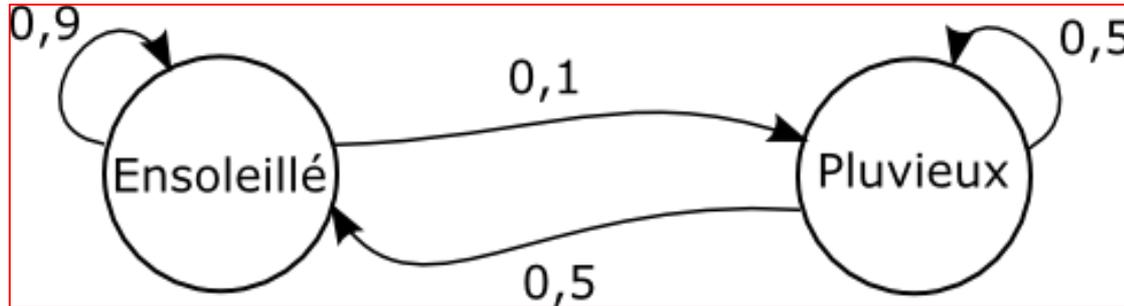
[3] Niyato, D., and Hossain, E. “Competitive pricing for spectrum sharing in cognitive radio networks: dynamic game, inefficiency of Nash equilibrium, and collusion”. IEEE Transactions on Selected Areas in Communications, vol. 308, pp. 192-202. 2008.

[4] Wang, B., Wu, Y., and Liu, K. J. R. “Game theory for cognitive radio networks: An overview”. Elsevier Computer Networks, vol. 54, pp. 2537–2561. 2010.

[5] Yi Tan, Sengupta, S., and Subbalakshmi, K. P. “Competitive spectrum trading in dynamic spectrum access markets: A price war”. Proceedings of IEEE GLOBECOM, pp. 1-5. 2010.

Les chaînes de Markov

- Les approches de la théorie des jeux ne modélisent pas **les interactions entre les utilisateurs secondaires** et primaires pour l'accès au spectre.
- Cette modélisation peut être réalisée en utilisant efficacement les chaînes de Markov.



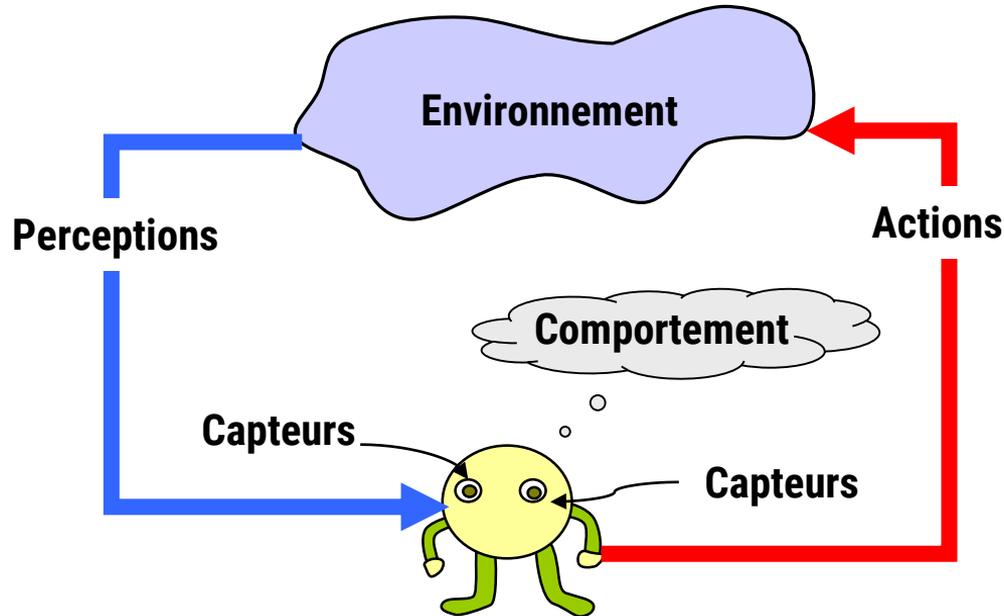
- **Dans la RC :**
 - Prédire l'état du spectre : **occupé ou libre.**

Historique sur les méthodes de programmation

Langage Machine	Chaque famille de CPU possède son propre jeu d'instructions
Assembleur	Langage bas niveau
Programmation Procédurale	Sous programmes: Procédures, fonctions (Basic, Pascal, C, Fortran,..)
Programmation Orientée Objet	Objet = Etat+ Comportement + Identité Concepts fondamentaux : Objet, classe, héritage, polymorphisme, encapsulation (C++, JAVA, C#, ..)
Programmation Orientée Objet Distribués	Objets distribués sur plusieurs machines Middlewares : (Java RMI, CORBA, ...)
Programmation Orientée Composants	Objets distribués, réutilisables, configurables, Interchangeables, évolutifs, mobiles : Conteneur (EJB)
Programmation Orientée Services	Composant disponibles à d'autres applications distantes hétérogènes via des protocoles (http) : les services Web transportant des données: XML, JSON => SOAP et REST
Programmation Orientée Agents	Service + Intelligence + Apprentissage +...

Définition d'agent

- Un agent peut être un processus, un robot, un être humain, etc..., la notion d'agent est utilisée dans beaucoup de domaines: **sociologie, biologie, psychologie cognitive, psychologie sociale, informatique**.
- Un Agent en informatique est une entité **réelle ou abstraite** qui fonctionne continuellement et de manière autonome dans un environnement où d'autres processus se déroulent et d'autres agents existent pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.



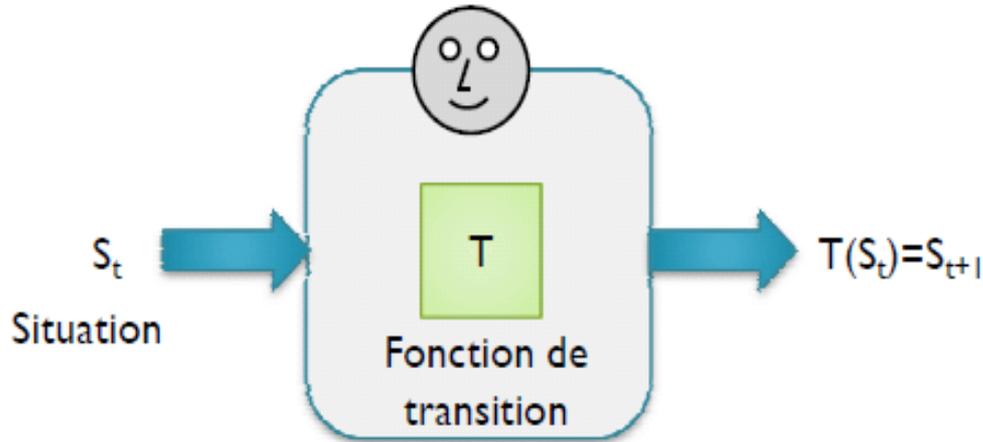
Propriétés d'un Agent

- **Quelques propriétés d'un agent intelligent :**

- **Autonome** : agir sans l'intervention directe d'un humain (ou d'un autre agent) en contrôlant ses actions et son état interne.
- **Proactif** : capable d'avoir un comportement dirigé par ses buts ou sa fonction d'utilité, et **prendre des initiatives** au moment approprié.
- **Flexible** : capable de répondre à temps.
- **Social** : capable d'interagir avec les autres agents (artificiels ou humains).

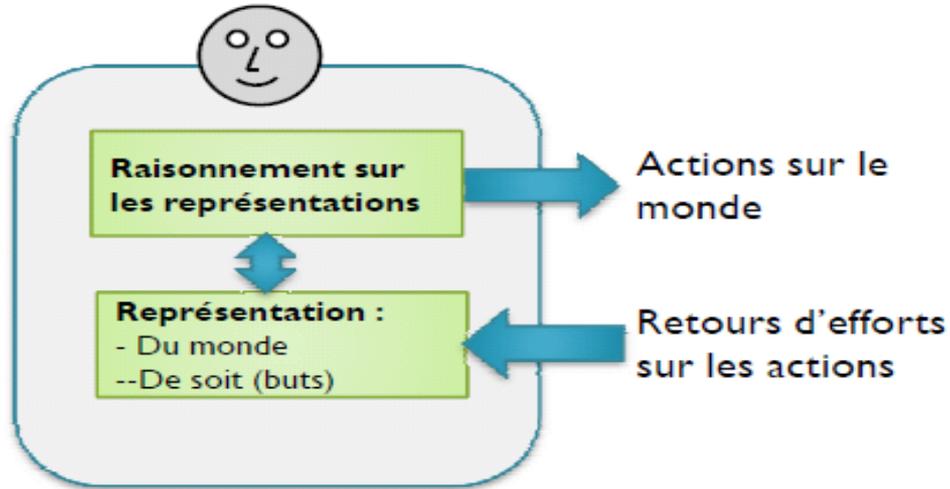
Types d'agents

- **Agents réactifs** : sans intelligence (sans anticipation, sans planification) qui réagissent par stimulus-réponse à l'état courant de l'environnement.



Types d'agents

- **Agents cognitifs** : chaque agent est spécialisé dans un domaine et sait communiquer avec les autres. Ils possèdent des buts et des plans explicites leur permettant de les accomplir.

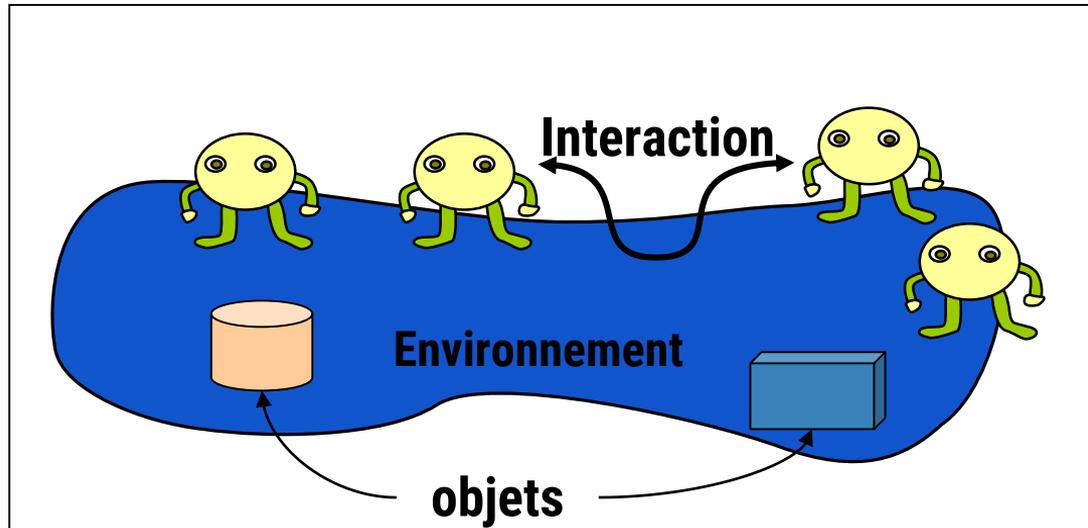


Agent cognitif vs agent réactif

Caractéristiques	Agent cognitif	Agent réactif
Capacité de raisonnement	Elevé	Faible
Représentation explicite de l'environnement	Oui	Non
Nombre d'agents	Grand	Petit
Structure	Complexe	Stimulus/Action
Temps de réponse	Lent	Rapide

Système multi-agents (SMA)

- Un SMA comporte plusieurs agents qui interagissent entre eux dans un environnement commun.
- S'il y a moins de trois agents, on parle plutôt d'interaction homme/machine, ou machine/machine que de systèmes multi-agents.



Pourquoi un SMA ?

- Le problème est trop complexe mais décomposable et parfois pour gagner du temps (paralléliser le problème).
- Le problème proposé n'a pas de solution générale ou qu'elle est trop coûteuse en CPU.
- A des fins de modélisation et pour avoir une certaine robustesse.

Applications des SMA

- Les bases de données et les bases de connaissances distribuées.
- Les systèmes pour la compréhension du langage naturel.
- Les protocoles de communication et les réseaux de télécommunications.
- La programmation orientée agents.
- La robotique cognitive.
- Les applications distribuées comme le web.

Interaction entre agents

- **La négociation** est un processus de communication d'un groupe d'agents permettant d'atteindre un accord mutuellement accepté.
 - **Négociation compétitive:** les agents **d'intérêts différents** tentent un choix de groupe sur des alternatives bien définies.
 - **Négociation coopérative:** les agents ont **un but commun**.
- **La coopération** les agents travaillent en groupe et s'affèrent à la résolution d'une difficulté commune.
- **La coordination** est une question de taille pour les SMA. Elle est centrale car sans elle, un important problème est à prévoir. Le groupe d'agents se verra dégénérer et sombrer dans le chaos. Un groupe d'individus qui ne jouit d'aucune règle.

Plates-formes de développement de SMA

- Les environnements de développement ou les plates-formes multi-agent sont nécessaires pour renforcer le succès de la technologie multi-agent.
- Les plates-formes multi-agent permettent aux développeurs de concevoir et réaliser leurs applications sans perdre de temps à réaliser des fonctions de base pour la création et l'interaction entre agents et éliminent, dans la plupart des cas, la nécessité d'être familier avec les différents concepts théoriques des systèmes multi-agent.
- **Quelques plates-formes : JADE, ZEUS, et MADKIT** pour les agents cognitifs, et **SWARM** pour les agents réactifs.



Zeus Agent Toolkit



Swarm Agent

Plates-formes de développement de SMA

- **JADE (Java Agent Development Framework)** [6] est une plate-forme multi-agent développée en **Java** par CSELT (Groupe de recherche de Gruppo Telecom, Italie) qui a comme but la construction des systèmes multi-agent.
- **ZEUS** [7] est une plate-forme multi-agent conçue et réalisée par British Telecom (Agent Research Programme of BT Intelligent Research Laboratory) pour développer des applications collaboratives. ZEUS est écrit dans le langage **Java**.

[6] Bellifemine, Fabio, Agostino Poggi, and Giovanni Rimassa. "JADE-A FIPA-compliant agent framework." Proceedings of PAAM. Vol. 99. No. 97-108. 1999.

[7] Nwana, Hyacinth S., et al. "ZEUS: a toolkit for building distributed multiagent systems." Applied Artificial Intelligence 13.1-2 (1999): 129-185.

Plates-formes de développement de SMA

- **MADKIT (Multi-Agent Development Kit)** [8] est une plate-forme développée par le Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM) de l'Université Montpellier II. Elle est écrite avec le langage **Java**.
- **SWARM** [9] est une plate-forme multi-agent avec agents réactifs. L'inspiration du modèle d'agent utilisé vient de la vie artificielle. SWARM est l'outil privilégié de la communauté américaine et des chercheurs en vie artificielle. Elle est écrite avec **Objective-C et Java**.

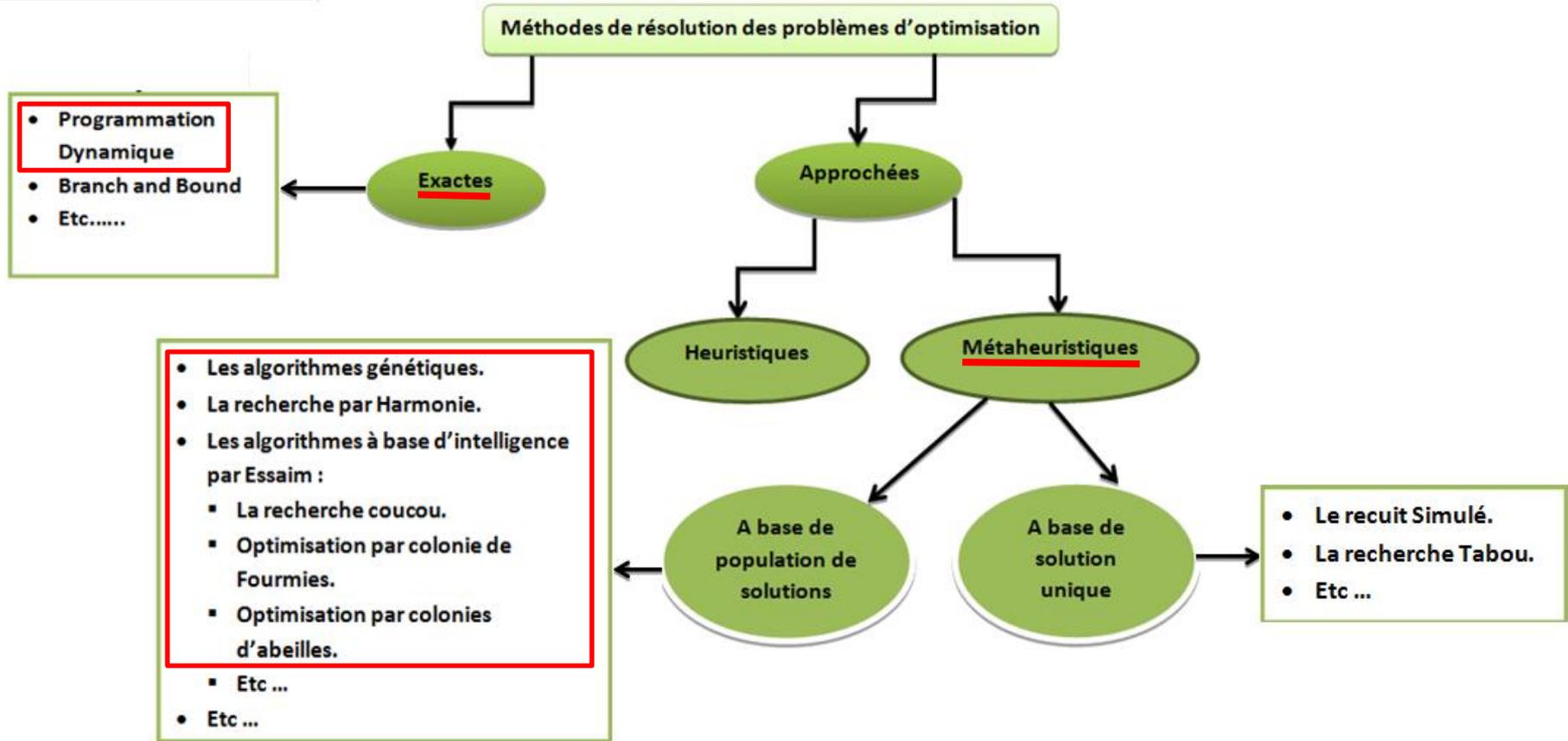
[8] Gutknecht, Olivier, and Jacques Ferber. "The MadKit agent platform architecture." Workshop on Infrastructure for Scalable Multi-Agent Systems at the International Conference on Autonomous Agents. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.

[9] Minar, Nelson, et al. "The swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations." (1996): 96-06.

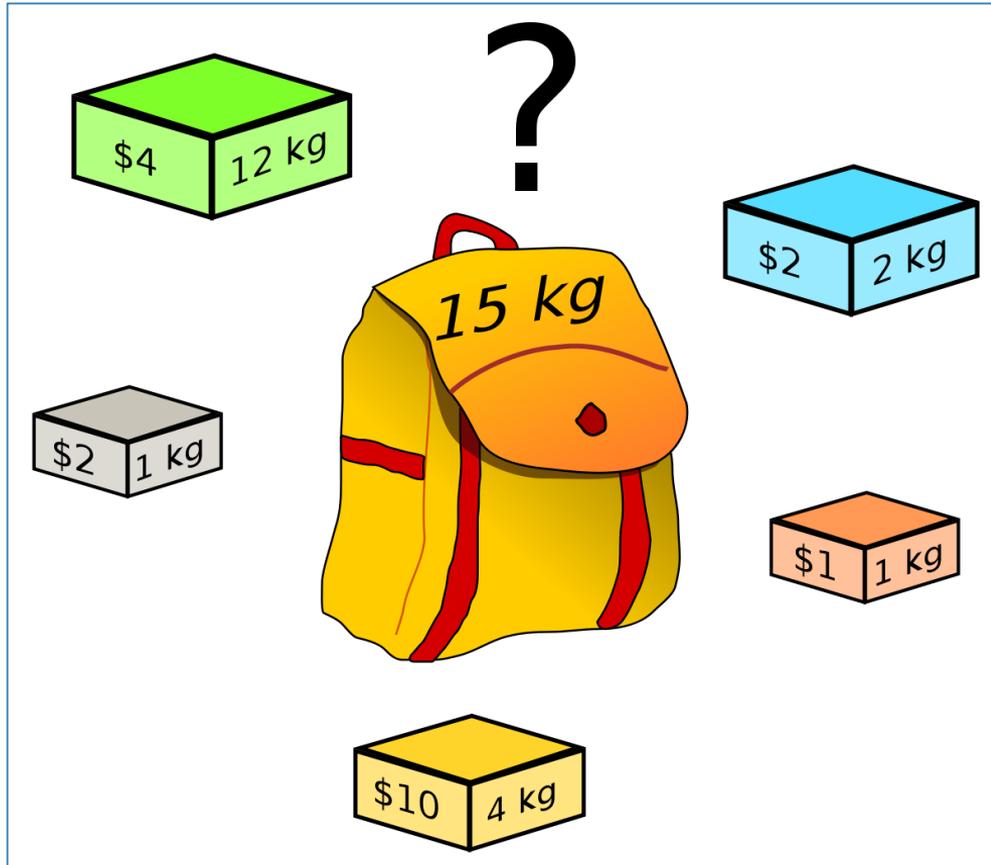
Les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation

- Plusieurs problèmes peuvent être formulés sous forme d'un **problème d'optimisation combinatoire** : il s'agit, en général, de **maximiser** (problème de maximisation) ou de **minimiser** (problème de minimisation) une **fonction objectif** sous certaines contraintes.
- Proposer des méthodes (ou approches) de résolution pour ce type de problèmes revient à considérer deux points majeurs :
 - La qualité de la solution.
 - Le temps d'exécution.
- En général, la qualité de la solution est elle aussi fonction du temps.

Les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation



Programmation dynamique : exemple



Quels sont les objets à mettre dans le sac afin de maximiser le gain ?

Programmation dynamique : code

Function COUT (W, C, m)

Begin

```
n = C.length
```

```
for j = 0 to m do
```

```
    T[0][j] = 0
```

```
end for
```

```
for i = 1 to n do
```

```
    for j=1 to m do
```

```
        if (j >= W[i-1])
```

```
            T[i][j] = max(T[i-1][j], T[i-1][j-W[i-1]] + C[i-1])
```

```
        else
```

```
            T[i][j] = T[i-1][j]
```

```
        end if
```

```
    end for
```

```
end for
```

```
return T[n][m] // coût total : gain
```

End

Heuristiques vs Méta-heuristiques

- Heuristique: du grec heuristo, signifie "Je trouve".
- **Une heuristique** est un algorithme approché, simple et rapide qui permet de résoudre **un problème donné** avec un minimum d'informations, mais **ne garantit pas l'exactitude de la solution**.
- **Une méta-heuristique** est un algorithme plus **complet et complexe** qu'une simple heuristique puisqu'elle est adaptée à **un grand nombre de problèmes différents** sans changements majeurs dans l'algorithme, elle permet aussi d'obtenir une solution de très bonne qualité.
- **L'inconvénient est d'avoir plusieurs paramètres à régler**.
- Les méta-heuristiques sont souvent inspirées des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particulaires).

Solution unique vs Population de solutions

- **Les méta-heuristiques à base de solution unique :**

Cette sorte de méta-heuristiques lance la recherche avec une solution initiale, et essaye au fur et à mesure d'améliorer sa qualité au cours de la procédure de recherche tout en choisissant une nouvelle solution dans son voisinage, ils sont appelés aussi les **méthodes de recherche locale** ou **méthodes de trajectoire** car ils construisent une trajectoire dans l'espace des solutions tout en se redirigeons vers des solutions optimales.

- **Les méta-heuristiques à base de population de solutions :**

Ce type de méta-heuristiques débute la recherche avec un ensemble de solutions dites **population**, elle essaye pas à pas durant les itérations du processus de recherche d'améliorer leurs qualités afin d'aboutir à des solutions de meilleure performance. Ils sont parfois nommés **des méthodes évolutives** parce qu'elles font évoluer une population d'individus selon des règles bien précises, l'intérêt de cette forme de méta-heuristiques est d'utiliser la population comme facteur de diversité pour augmenter la possibilité d'apparition de bonnes solutions en terme de qualité.

Cuckoo search : inspiration

- Cuckoo sont des oiseaux fascinants, non seulement à cause des beaux sons qu'ils peuvent faire, mais aussi à cause de leur **stratégie de reproduction agressive**.
- Certaines espèces pondent leurs œufs dans des nids communautaires, mais ils peuvent retirer les œufs des autres pour augmenter la probabilité d'éclosion de leurs œufs.
- Un certain nombre d'espèces engage le parasitisme obligatoire en posant leurs œufs dans les nids d'autres oiseaux d'accueil (souvent d'autres espèces).
- Certains oiseaux hôtes peuvent engager un conflit direct avec les cuckoos intrus.
- Si un oiseau hôte découvre que les œufs ne sont pas sa propriété, il va soit jeter ces œufs exotiques loin ou tout simplement abandonner son nid et construit un nouveau nid ailleurs.



Cuckoo search : règles

- Pour plus de simplicité dans la description de la recherche des nids, trois règles sont utilisées :
 - Chaque Cuckoo pond un œuf à la fois, et les déverse dans un nid choisi au hasard.
 - Les meilleurs nids de haute qualité des œufs (solutions) seront reportés aux prochaines générations.
 - Le nombre de nids disponibles d'accueil est fixe, et un hôte peut découvrir un œuf étrangé avec une probabilité $p_a \in [0, 1]$.

Par souci de simplicité, cette dernière hypothèse peut être approchée par une fraction p_a (ex. 10%) des n nids étant remplacés par de nouveaux nids (avec de nouvelles solutions aléatoires à de nouveaux emplacements).



Cuckoo search : code

Tant que ($t < \text{NbrMaxGénération}$) ou (critère d'arrêt) faire

Créer un cuckoo (nommé i) aléatoirement par Levy Flight

Evaluer sa qualité/fitness F_i

Choisir un nid parmi n (nommé j) aléatoirement

Si ($F_i > F_j$) alors

Remplacer j par la nouvelle solution

Fin Si

Abandonner une fraction (pa) des pires nids et

Construire des nouveaux à de nouveaux emplacements à travers Levy Flight

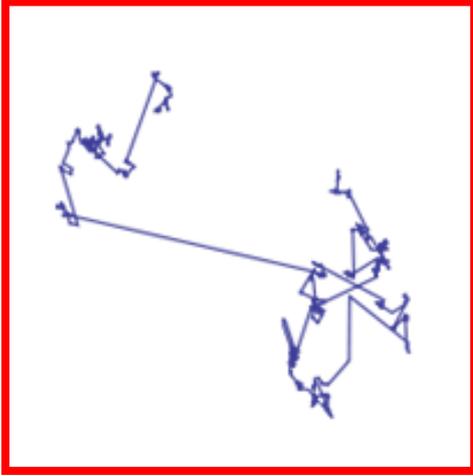
Garder les meilleures solutions (ou nids avec des solutions de qualité)

Classer les solutions et trouver le meilleur

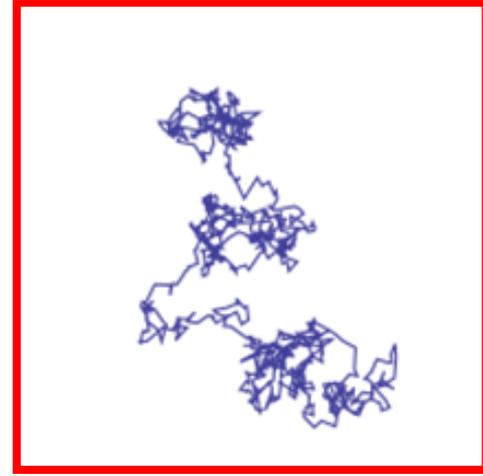


Fin tant que

Levy flight vs Mouvement brownien



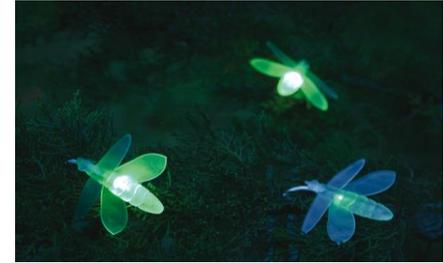
Le Lévy flight, nommé d'après le mathématicien français Paul Lévy, est **une marche aléatoire** dans laquelle les étapes sont définies en fonction **des longueurs des pas**, qui ont une certaine distribution de probabilité, avec les directions des étapes étant isotrope (présente les mêmes caractéristiques physiques dans toutes les directions) et aléatoire.



Le mouvement brownien a été observé par le botaniste **Robert Brown** en 1827, dont le nom a été retenu pour nommer le phénomène. Le mouvement brownien est le nom du phénomène correspondant au **mouvement aléatoire** de particules dans un fluide. Brown observait alors des **grains de pollen** au microscope.

Firefly : inspiration

- Les lucioles (en anglais FireFly) sont capables de produire de la lumière à l'intérieur de leur corps grâce à des organes spéciaux situés très près de la surface de la peau. Cette production de lumière est due à un type de réaction chimique appelée bioluminescence.
- L'algorithme tire son inspiration de comportement clignotant des lucioles. Les trois règles utilisées sont :
 - Toutes les lucioles sont unisexes de telles sortes que seront attirées vers d'autres indépendamment de leurs sexes.
 - L'attractivité des lucioles est directement proportionnelle à la luminosité entre eux, et est diminué une fois la distance entre deux lucioles augmente. Ainsi, pour tous les deux lucioles clignotantes quelconques, le moins lumineux sera attiré et se déplace donc vers le plus lumineux.
 - La luminosité de la lumière clignotante peut être considérée comme une fonction objective qui devra être optimisé.



Firefly : code

Fonction objectif $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Générer la population initiale de lucioles x_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

L'intensité lumineuse I_i de x_i est déterminée par $f(x_i)$

Définir le coefficient d'absorption de la lumière γ

Tant que ($t < \text{MaxGeneration}$)

Pour $i = 1$ jusqu'à n (n tt les lucioles)

Pour $j = 1$ jusqu'à n (n tt les lucioles) (boucle interne)

Si ($I_i < I_j$), déplacer la luciole i vers j ; **fin si**

 Varier l'attractivité par la distance r via **exp[- γr]**

 Evaluer les nouvelles solutions et mettre à jour l'intensité de la lumière

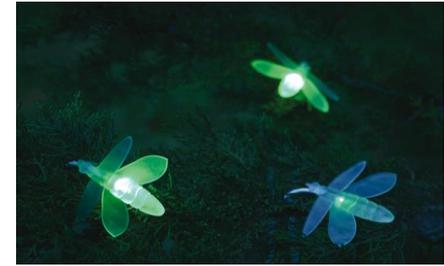
Fin pour

Fin pour

 Classer les lucioles et trouver la meilleure solution actuelle

Fin tant que

 Extraction de la solution.



Décision multicritères

- On présente souvent la décision comme le fait d'un individu isolé exerçant librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions.
- **L'aide à la décision multicritère** : constitue une branche d'étude majeure de **la recherche opérationnelle** [10] [11]. Il s'agit de méthodes et de calculs permettant de choisir la meilleure solution ou la solution optimale parmi tout un ensemble de solutions.

	Solutions →	X		Y		Z	
		Note sur 4	Note pondérée	Note sur 4	Note pondérée	Note sur 4	Note pondérée
Exemples de critères →	Coefficients de pondération						
Rapidité	0,5	2	1	2	1		
Efficacité	3	1	3	3	9		
Facilité de mise en place	0,5	4	2	3	1,5		
Coût	1	4	4	3	3		
Total	$5 \times 4 = 20$		10		14,5		
							Exemples de pondérations

- Le choix d'un site d'aménagement et décision d'investissement.
- Le choix de l'utilisation d'une technologie ou d'un système d'information.
- Le choix d'un candidat pour un poste.
- La sélection de fournisseurs.

[10] Roy, Bernard. "Decision science or decision-aid science?." *European journal of operational research* 66.2 (1993): 184-203.

[11] Saaty, Thomas L. *Décider face à la complexité: une approche analytique multicritère d'aide à la décision*. Vol. 7. Esf Editeur, 1984.

Méthodes multicritères

- **WSM (Weighted Sum Method)** : également appelée la somme pondérée, cette méthode est la plus simple des méthodes multicritère. C'est aussi la méthode la plus utilisée dans la vie quotidienne [12].
 - Elle requiert que les critères soient quantitatifs, qu'ils aient tous la même unité et qu'ils s'étendent sur une même échelle ou gamme de valeurs ou qu'ils soient tous normalisés.
- **WPM (Weighted Product Method)** : cette méthode évite certains défauts de la somme pondérée [13] et s'en différencie principalement par les deux points suivants :
 - Les critères (qui doivent être quantitatifs) peuvent avoir des gammes de valeurs sur des échelles différentes les unes des autres.
 - Chaque critère à sa propre échelle qui lui est adaptée. Ainsi, on conserve une certaine homogénéité de la prise en compte de tous les critères.

[12] Zadeh, Lofti. "Optimality and non-scalar-valued performance criteria." IEEE transactions on Automatic Control 8.1 (1963): 59-60.

[13] A. Schärliig, *Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Université de Lausanne, 1985.

Méthodes multicritères

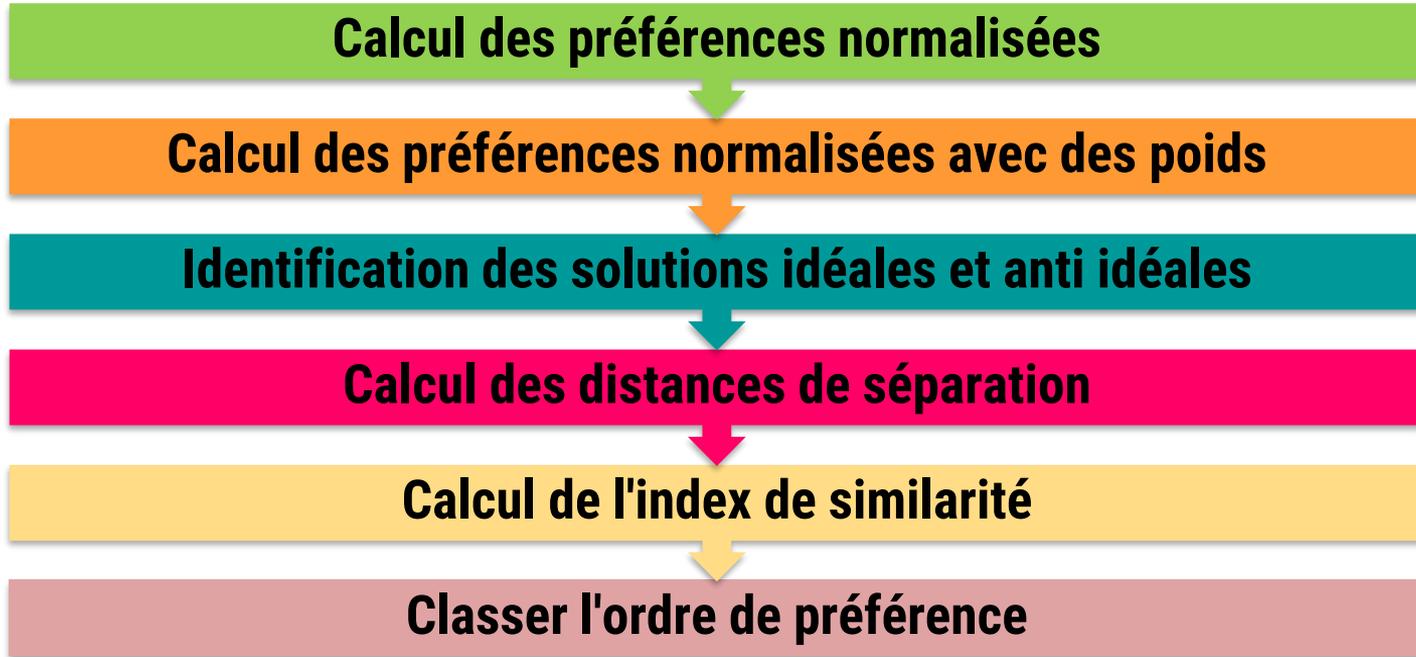
- **AHP (Analytic Hierarchy Process)** [14] a été proposée afin de modéliser les processus de prise de décisions subjectives basées sur des critères multiples dans un système hiérarchique. Cette méthode est très pratique pour déterminer les poids relatifs à des critères.
- **ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité)** est une famille de méthodes d'analyse multicritères développée en Europe. La méthode ELECTRE I a été élaborée par Bernard Roy en 1968, avec l'aide de P. BERTIER. Il a ensuite développé la méthode ELECTRE II (B. Roy, P. Bertier 1971) [15], comme réponse aux méthodes de prise de décision existantes.
- **TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)** a été introduite par Yoon et Hwang en 1981 [16]. L'idée principale de cette méthode est de choisir:
 - La plus petite distance à l'action « idéale ».
 - La plus grande distance à l'action « anti-idéale ».

[14] Wind, Yoram, and Thomas L. Saaty. "Marketing applications of the analytic hierarchy process." *Management science* 26.7 (1980): 641-658.

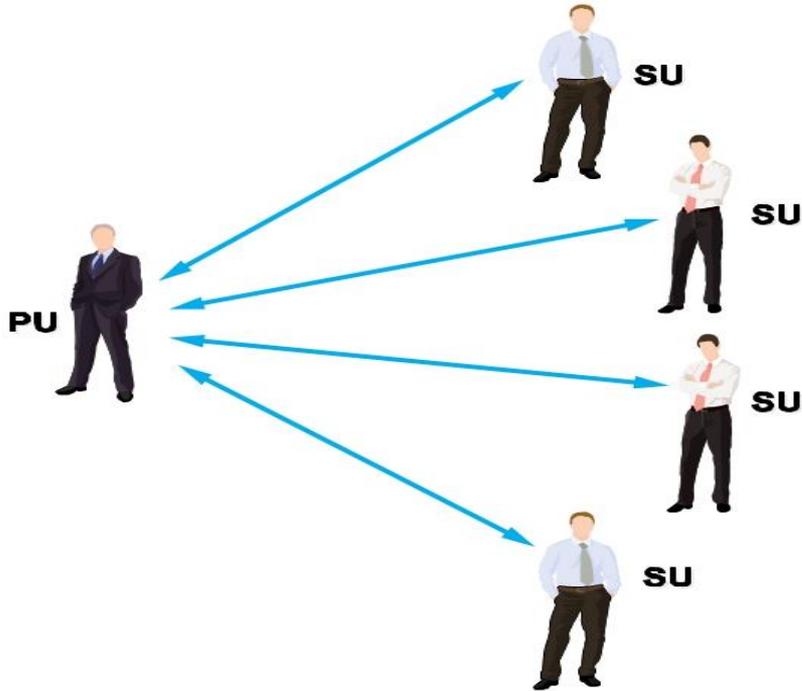
[15] B. Roy et P. Bertier, *La méthode Electre II, une méthode de classement en présence de critères multiples*, Sema, Direction scientifique note de travail n° 142, Paris, 1971.

[16] Yoon, K., and C. L. Hwang. "TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)–a multiple attribute decision making, w: Multiple attribute decision making–methods and applications, a state-of-the-at survey." (1981): 128-140.

Etapes de TOPSIS

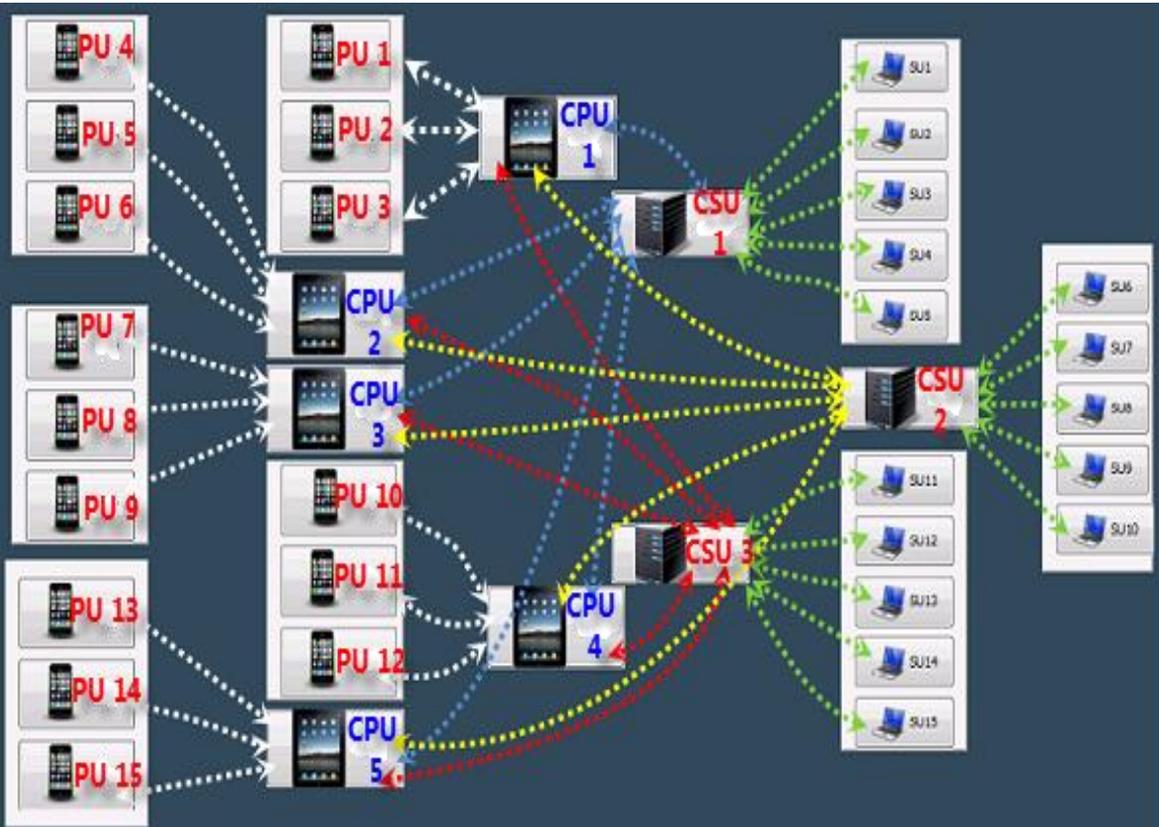


Scénario d'application



- Améliorer le temps de traitement coté utilisateur primaire
- Maximiser le coût pour l'utilisateur primaire
- Satisfaire le maximum d'utilisateurs secondaires
- Passage à l'échelle

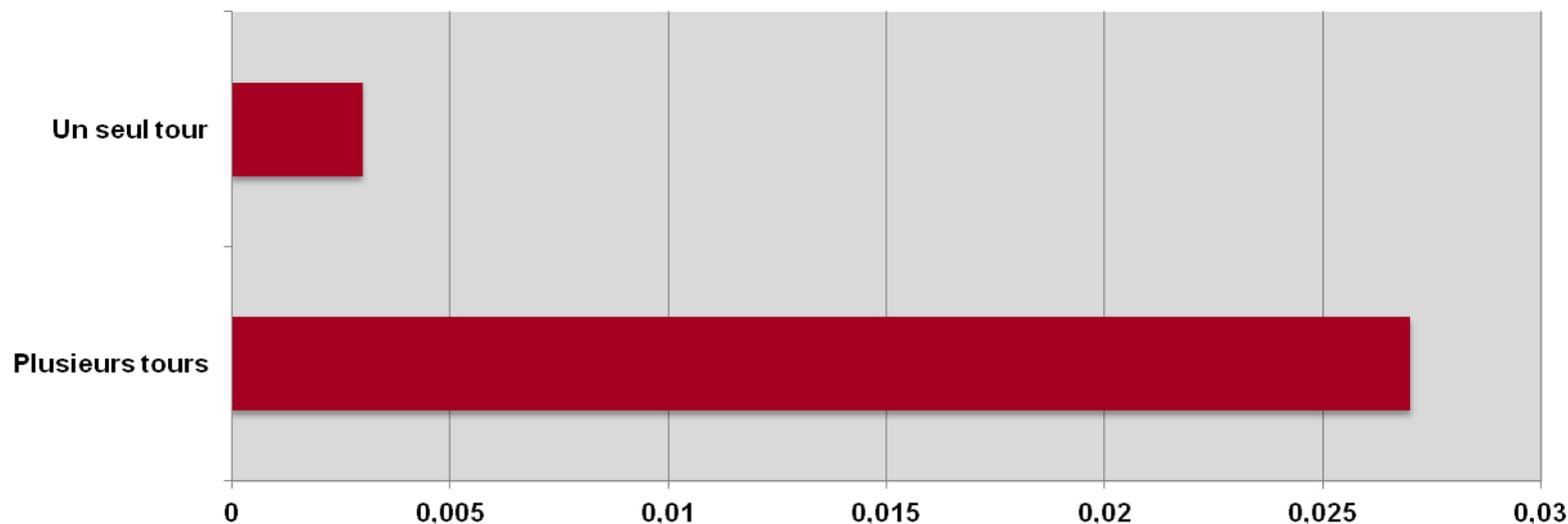
Scénario d'application



- Les enchères
- Les systèmes multi agents (JADE)
- **Décision multicritères (TOPSIS)** : le prix unitaire, le temps d'allocation et le nombre de canaux libres.
- Les méthodes de résolution (programmation dynamique et méta-heuristiques).

Comparaison entre les deux types d'enchères

- En termes de temps d'exécution :



■ Temps d'exécution moyen

Plusieurs tours

0,027

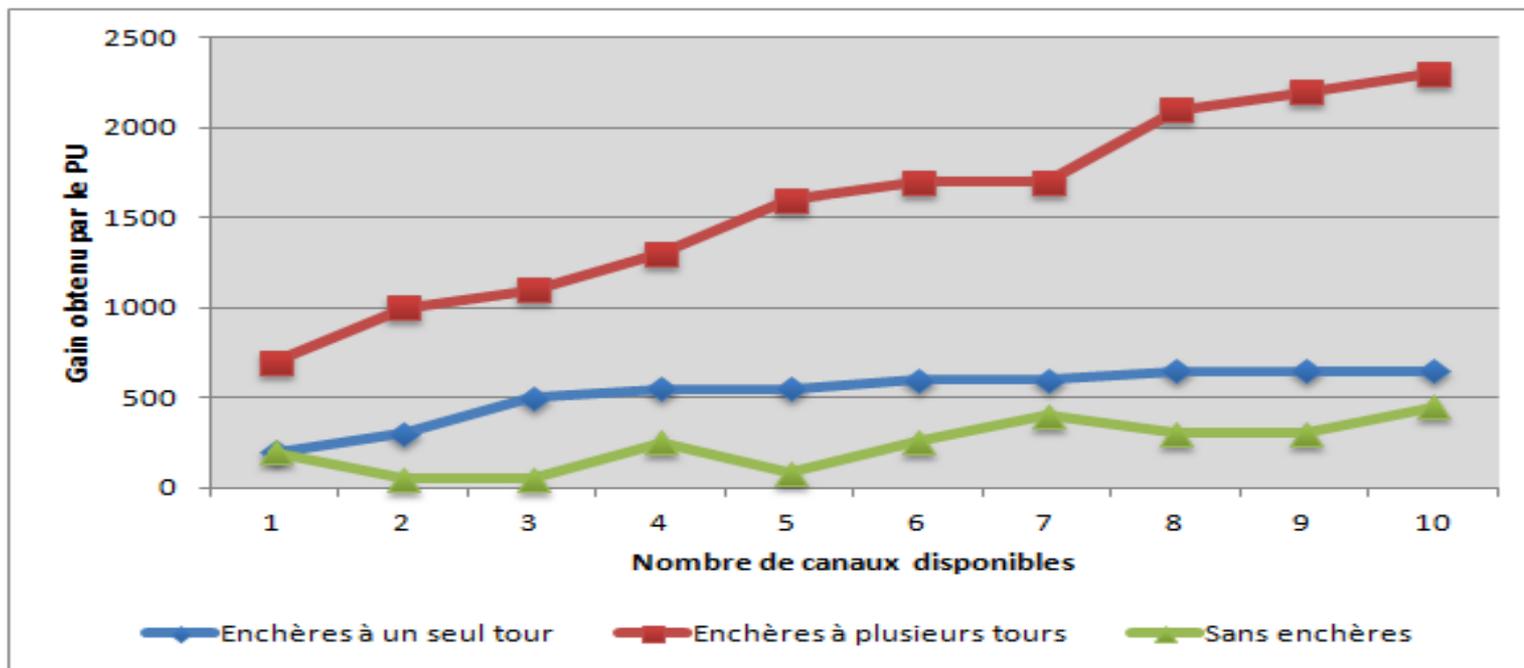
Un seul tour

0,003

■ Temps d'exécution moyen

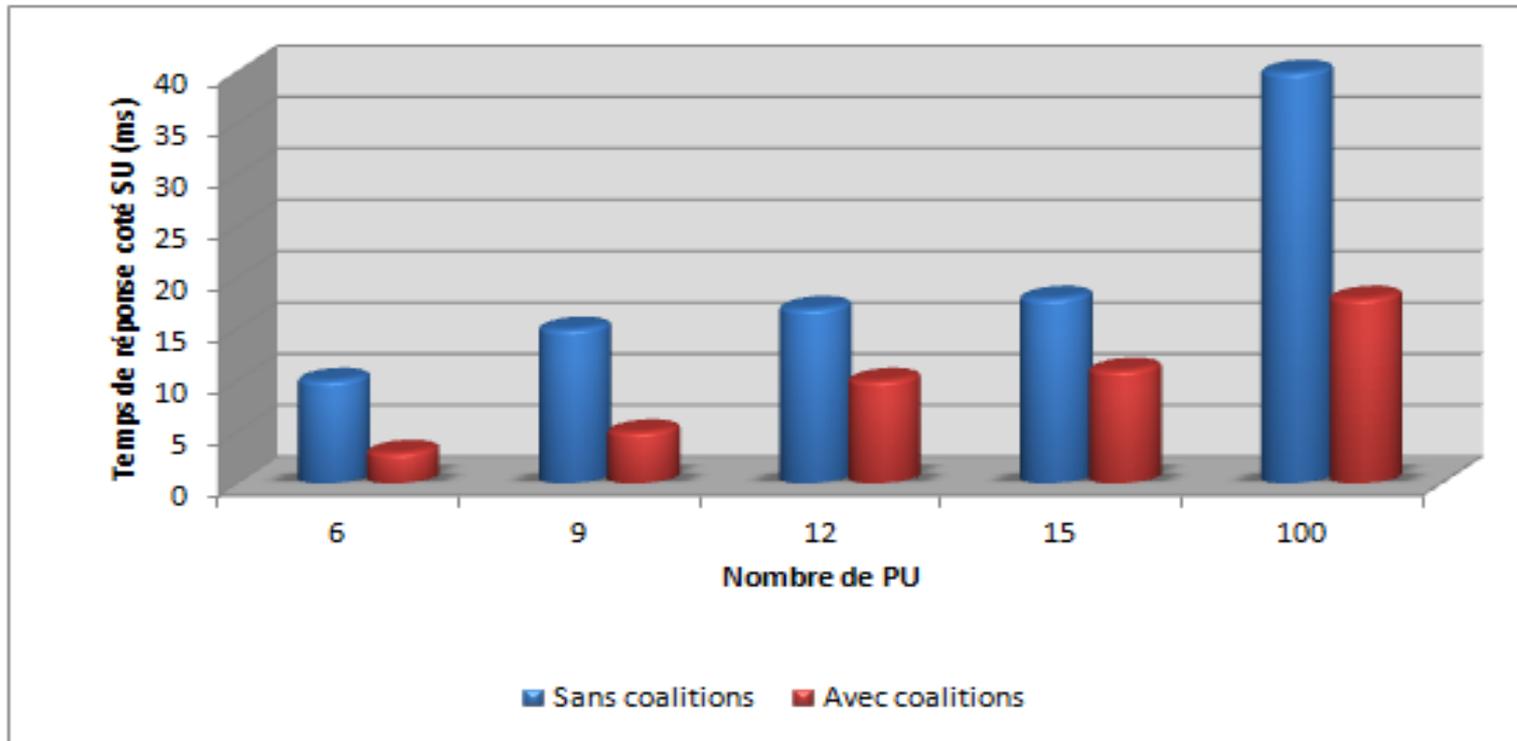
Comparaison entre les deux types d'enchères

- En termes de gain du PU :



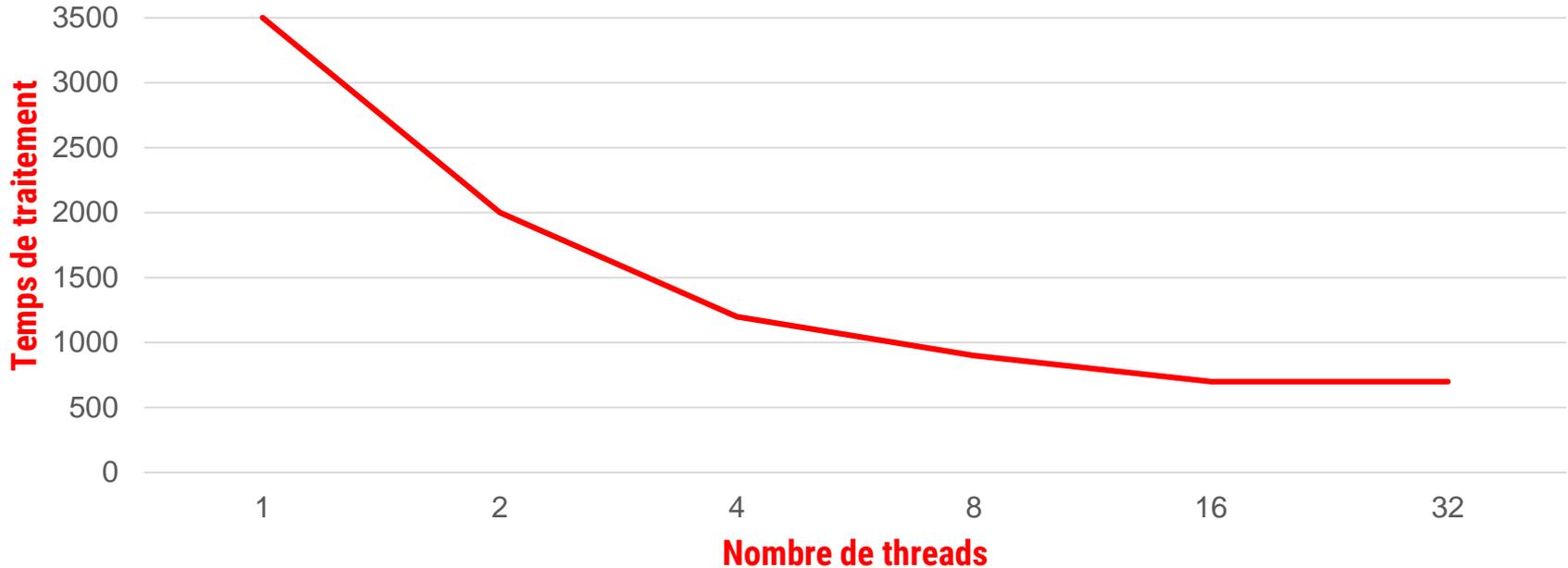
Négociation basée sur la décision multicritère

- Impact de l'implémentation des coalitions sur le temps de réponse coté SU :



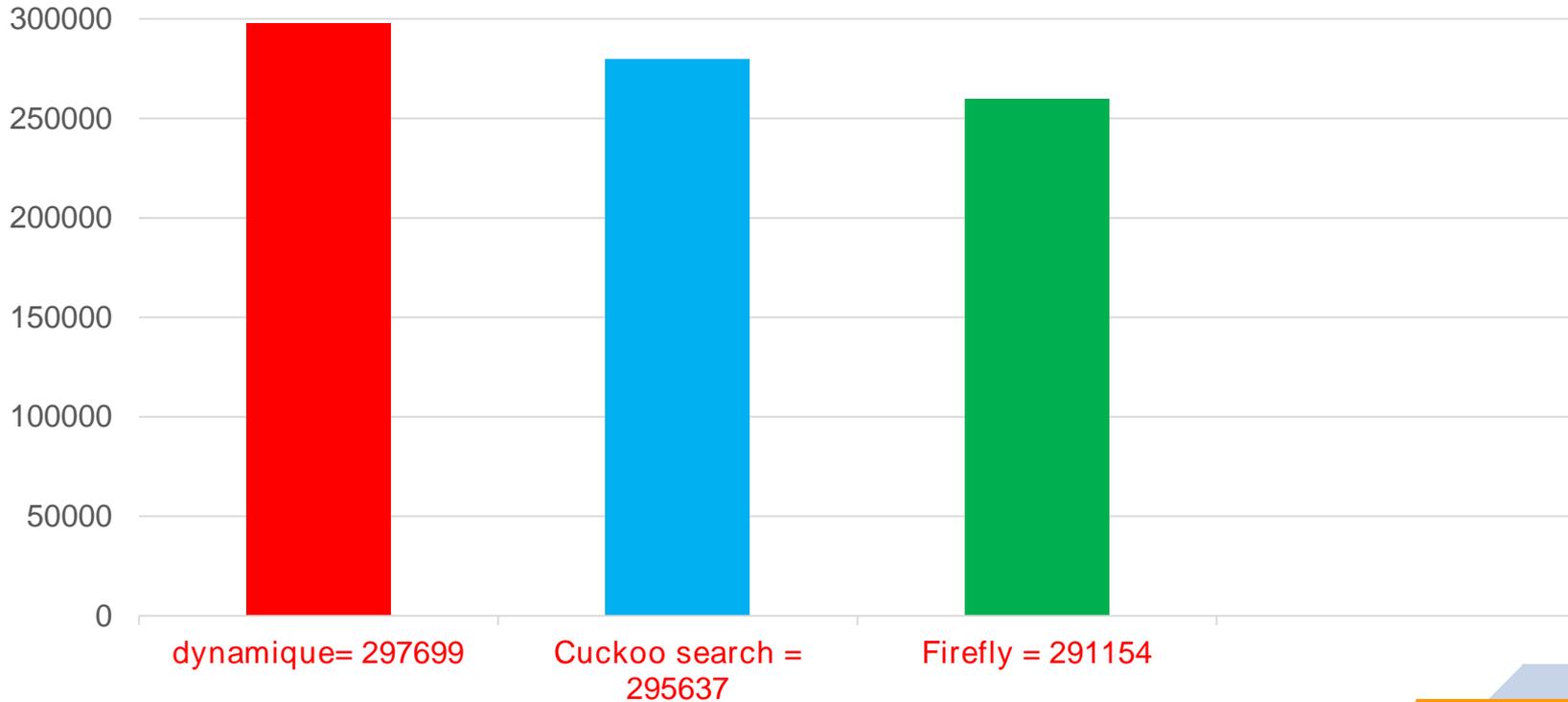
Programmation dynamique parallèle

Temps de traitement par rapport au nombre de threads



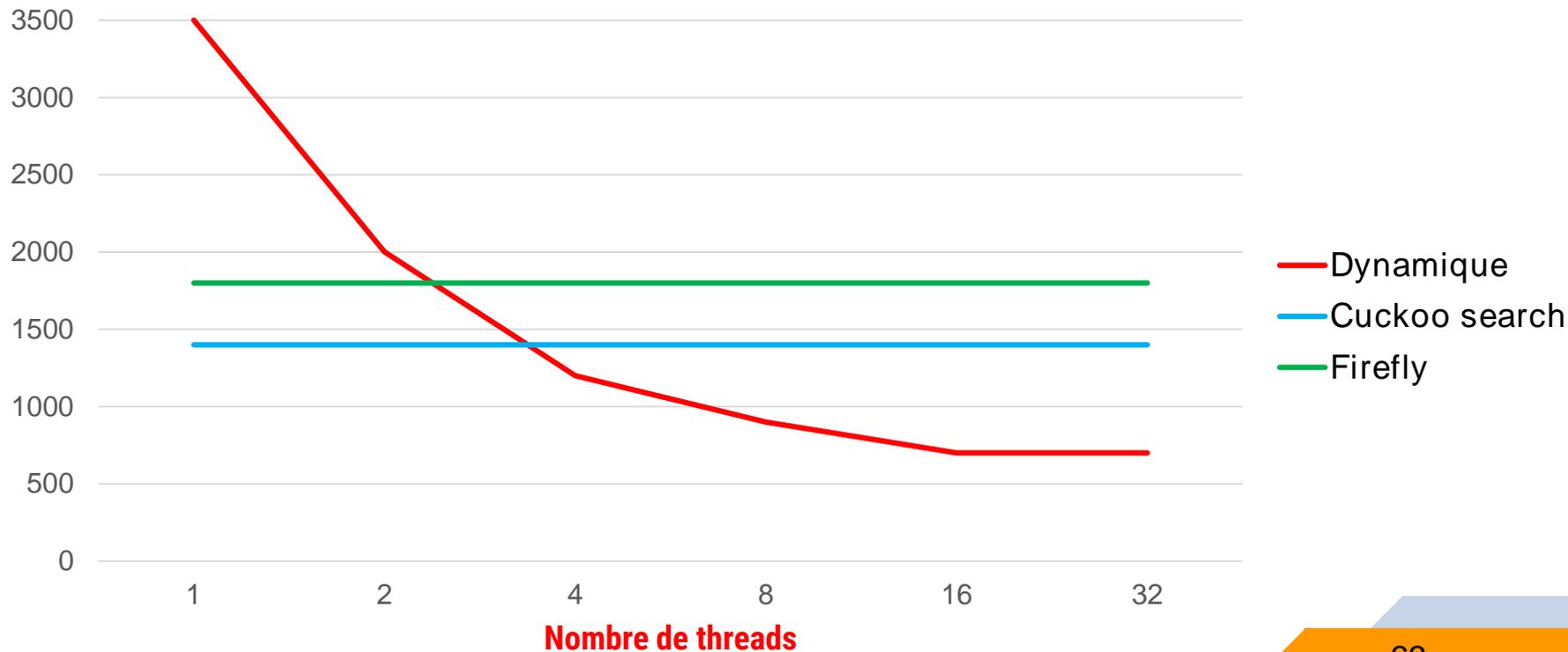
Etude comparative

- En termes de coût :



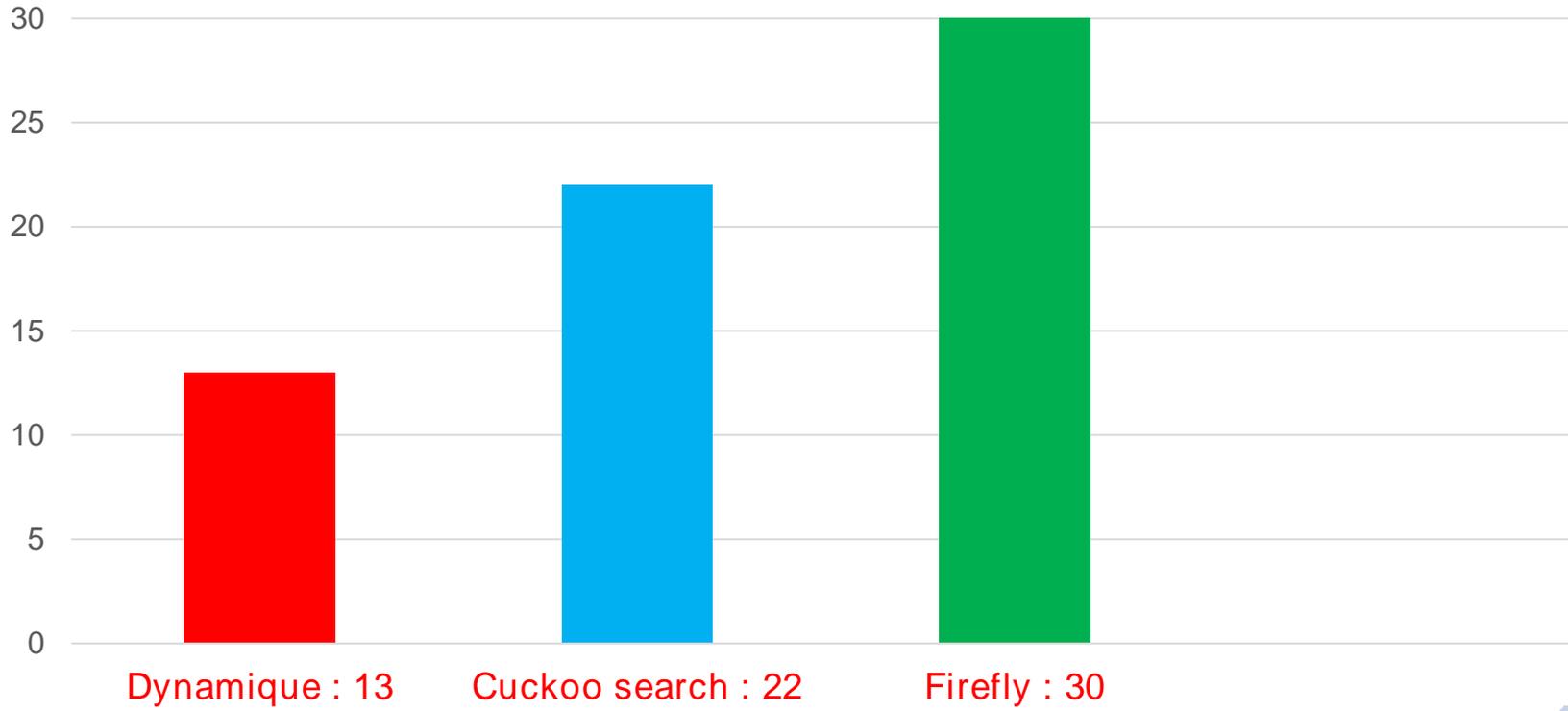
Etude comparative

• En termes de temps de traitement :



Etude comparative

• En termes de nombre de SU satisfaits :



Publications pertinentes

- 1 livre [Répertorié Scopus | Elsevier.](#)

- 1 chapitre de livre [Répertorié Scopus | Elsevier.](#)

- 1 revue [Répertoriée Clarivate Analytics : Impact Factor = 1.584](#) et [publiée par Springer.](#)

- 7 revues [Répertoriées Scopus | Elsevier.](#)

- 8 conférences internationales :

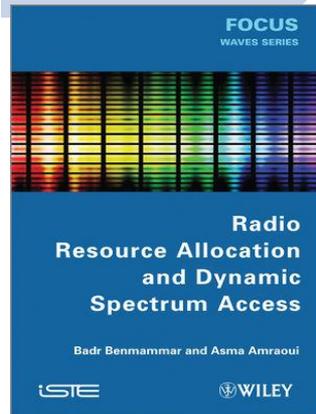
- 5 conférences [Répertoriées IEEE Xplore Digital Library.](#)

- 2 conférences [publiée par Springer.](#)

- 1 conférence [Répertorié Scopus | Elsevier.](#)

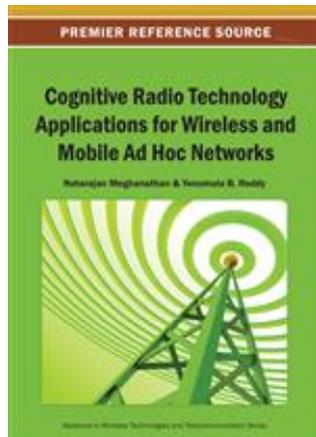
- Liste complète sur : <https://www.univ-tlemcen.dz/~benmammar/>

Livre et chapitre de livre avec comité de lecture et de sélection



B. Benmammam and A. Amraoui. "Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access (FOCUS Series)". (**Book**), [Wiley-ISTE Edition](#). **ISBN-10:** 1848214456, **ISBN-13:** 978-1848214453. First published January 2013 in Great Britain and the United States by ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. (**Nombre de pages: 96**).

[Répertorié Scopus / Elsevier](#) et [ACM Digital Library](#).



A. Amraoui and **B. Benmammam**. "Dynamic Spectrum Access Techniques State of the art" (**Book Chapter**), dans le livre : "Cognitive Radio Technology Applications for Wireless and Mobile Ad hoc Networks", [IGI Global Publishers](#), Hershey, PA, USA, June 2013.

Pages: 31-48. **DOI:** 10.4018/978-1-4666-4221

8, ISBN13: 9781466642218, **ISBN10:** 1466642211, **EISBN13:** 9781466642225.

[Répertorié Scopus / Elsevier](#).

Article de revue et conférence internationale avec comité de lecture et de sélection



[Wireless Networks](#)

August 2017, Volume 23, [Issue 6](#), pp 1849–1861 | [Cite as](#)

 2016 Impact Factor

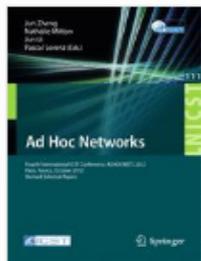
1.584

Diffusing-CRN k-means: an improved k-means clustering algorithm applied in cognitive radio ad hoc networks

Authors

[Authors and affiliations](#)

Badr Benmammar , Mohammed Housseyn Taleb, Francine Krief



[International Conference on Ad Hoc Networks](#)

ADHOCNETS 2012: [Ad Hoc Networks](#) pp 119-134 | [Cite as](#)

Auction-Based Agent Negotiation in Cognitive Radio Ad Hoc Networks

Authors

[Authors and affiliations](#)

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



Conclusion et Perspectives

- ⊠ Internet of Things
- ⊠ Edge Computing
- ⊠ Cloud Computing
- ⊠ Deep learning
- ⊠ Green Networking



Merci!

Des questions?