

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option: Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)

Thème

Optimisation de l'accès au spectre à base de SMA réactif (essais particulaire)

Réalisé par :

- Melle. Hadijila nour el Houda
- Melle. Hecham Hanane

Présenté le 24 Juin 2015 devant le jury composé de MM.

- Mr. BENAÏSSA Mohamed (Président)
- Mr. HADJILA Fethallah (Encadreur)
- Mr. BENMOUNA Youcef (Examineur)
- Mr. BELHOUCINE Amin (Examineur)

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Dieu tout puissant clément et miséricordieux de nos avoir soigné et aidé pour réaliser ce travail.

*Nous tenons avant tout, à remercier notre encadreur Monsieur **HADJILA FETHALLAH**, Maître de conférence à l'université de Tlemcen, pour son encadrement et ses conseils et son aide constant qu'il nous ont apportés tout au long de ce travail. Ainsi que pour les remarques constructives qu'il a su nous donner lors de rédaction de ce mémoire.*

Nous adressons notre plus sincères remerciement à l'ensemble des membres de jury qui ont accepté d'examiner et l'évaluer ce travail.

Monsieur, Benaïssa Mohamed pour nous avoir fait le grand honneur de présider le jury de cette mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à messieurs :Benmouna Youcef et Belhoucine Amine qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance

Aussi, nous tenons nos vifs remerciements à tous les enseignants de département d'informatique qui, par leur enseignement, ont contribué à notre formation durant toutes nos études à l'université de Tlemcen.

Finalement, il nous reste à mentionner le plaisir à nos familles qui nous ont, et à tous les amis et les collègues pour leur encouragement et leur aide, ainsi que toutes les personnes qui nous ont apporté un soutien moral de loin ou de près tout au long de nos études particulièrement Mr. Boudaoud Mohammed

EL Amin.

Dédicaces

Avant tout, je remercie le dieu, qui m'a aidé et m'a donné la patience pour accomplir ce travail.

A mes très chers parents, ma mère pour ses encouragements et ses Prières tout au long de mes études, mon père pour tous ce qu'il avait fait pour avoir ce résultat. Et A chaque membre de ma petite famille, Mes frères: Fouad et Alaa.

Je remercie de fond du cœur mes Chers amis et surtout mon binôme HANANE et mon intime RADIA qui sera en réalité ma sœur, des personnes ayant toujours été là lors des plus importants moments de ma vie, je cite Asma, Soumia et Samira

A Tous mes collègues de la promotion 2015 de RSD, et tous mes amis de l'université de Tlemcen, et plus particulièrement ceux qui ont toujours été présents pour m'encourager à poursuivre ce travail.

A mes cousins, cousines, tantes et oncles qui ont su m'apporter leur aide et leurs encouragements, ainsi que toute ma grande famille.

A Tous ceux qui aiment Houda et ceux qui Houda aime, ils m'excusent par avance de ne pouvoir tous les citer nominativement, tellement ils sont nombreux.

Houda el houda

Je dédie ce modeste travail à :

Premièrement, à la source de ma vie et le plus beau cadeau de mon dieu, mes chers parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour tout son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et soutien permanent venu de toi. Mes sœurs Boucheront, Siham et Fatima Zohra qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérances, de courage et de générosité.

Tous ma famille et mes collègues sans exception, et plus particulièrement à mon binôme Nour el Houda et mes sœurs Soumia, Samira et Imene, mes chers amis Reda et Djamel ceux qui ont toujours été présents pour m'encourager à poursuivre ce travail et, qui m'ont données beaucoup de principes qui sont devenu la base de toute ma vie et qui m'ont appris comment être forte dans la vie, et que mon Dieu est toujours avec ceux qui travail de bon cœur.

Hanane

Résumé

L'allocation du spectre radioélectrique constitue un défi majeur dans les réseaux de télécommunication sans fils. La radio cognitive apparaît comme une solution prometteuse à ce problème. Dans ce contexte, nous proposons l'algorithme PSO (avec la version mono et multi critères), pour améliorer l'utilisation du spectre radio, pour ce faire nous avons adopté trois types de besoins : la minimisation de la consommation d'énergies, la minimisation de taux d'erreurs et la maximisation de débit.

MOTS CLES : Radio cognitive, optimisation essaim particulières, optimisation mono/multi critères accès dynamique au spectre.

Abstract

As the demand of radio spectrum increases and the global spectrum remains underutilized, the research community must build new alternatives for facing this issue. The Cognitive radio appears as a promising solution to this problem, since it provides several model and algorithms for dynamic spectrum access. In this work, we propose a Particle Swarm Optimization algorithm that tunes the operating parameters of the radio, in order to improve the spectrum utilization. More specifically we adopt three objectives function: the energy consumption, the bit error rate and the throughput.

KEYWORDS: Cognitive Radio, Particle Swarm Optimization, mono/multi objectives optimization, dynamic access spectrum.

الملخص

الطلب على الطيف الراديوي يمر بزيادة ملحوظة و هو يشكل أحد التحديات الرئيسية في شبكة الاتصالات اللاسلكية , لحل هذه المشكلة نقتراح في هذا العمل مقارنة تعتمد على تحسين سرب الجسيمات (أحادي /متعدد الأهداف) الهادفة لتحسين ثلاثة أنواع من المتطلبات (تخفيض استهلاك الطاقة, تخفيض درجة الأخطاء و زيادة في شدة التدفق).
الكلمات المفتاحية: الراديوية الإدراكية, تحسين سرب الجسيمات , أحادي /متعدد الأهداف الأمثل, استغلال الطيف بطريقة ديناميكية.

Table de matières

Introduction générale	1
Chapitre I : La radio cognitive	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Radio Logicielle (Software Radio).....	3
I.2.1 Radio logicielle restreinte (SDR).....	3
I.3 La Radio Cognitive.....	4
I.3.1 Historique.....	4
I.3.2 Définitions.....	5
I.3.3 Relation entre Radio Cognitive et Radio Logicielle Restreinte.....	6
I.3.4 Architecteur de La Radio Cognitive.....	7
I.3.5 Cycle de cognition Orientation.....	8
I.3.6 Les Fonctions de la Radio Cognitive.....	9
I.4 Réseau à Radio Cognitive(RRC).....	12
I.4.2 La gestion spectrale.....	14
I.5 Accès dynamique au spectre.....	15
I.5.1 Accès au spectre en utilisant les enchères.....	15
I.5.2 Accès au spectre en utilisant la Théorie des jeux.....	16
I.5.3 Accès au spectre en utilisant les chaînes de Markov.....	17
I.5.4 Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents (SMA).....	17
I.5.5 Accès au spectre en utilisant les méta-heuristiques.....	19
I.6 Domaines d'application de la Radio Cognitive.....	20
I.7 Conclusion.....	20
Chapitre II : Conception et implémentation de prototype	21
II.1 Introduction.....	21
II.2 L'algorithme PSO (Particule Swarm Optimisation).....	21
II.2.1 Organigrammes PSO standard.....	22

II .3 La fonction objective (Fitness Function).....	23
II .4 Les modes de transmissions.....	26
II .5 Espace de Conception.....	27
II .5 .1 Représentation de l’environnement (atténuation)	27
II .5 .2 Structure d’une particule.....	27
II .5 .3 Codage.....	28
II .5 .4 Population initiale.....	30
II .5 .5 Organigrammes PSO discret (mono critère).....	30
II .5 .6 Organigrammes PSO discret (multi critères).....	32
II .6 Présentation de l’application.....	34
II .7Expérimentation et discussions	38
II .7.1 Etude du taux d’optimalité.....	38
II .7.2 convergence de la fonction objective.....	39
II .8 Conclusion.....	42
Conclusion générale	43
Références bibliographiques.....	44
Liste des figures.....	47
Liste des tableaux	48
Liste des abréviations.....	49

Introduction générale

Introduction Générale

1. Contexte

Les réseaux sans fil prennent de l'importance au fil des ans, et l'amélioration rapide des systèmes et services de radiocommunication est devenue un élément clé dans notre société moderne. Ce développement intensifie les risques des interférences et provoque le problème de la pénurie de spectre. En effet, la plupart du spectre qui représente le support physique de la transmission sans fil, a déjà été alloué aux systèmes existants, ainsi que le spectre radioélectrique est de plus en plus encombré.

D'après une étude réalisée par la Fédéral Communications Commission (FCC) [FCC, 2008], on montre que certaines bandes de fréquences sont partiellement occupées dans des emplacements particuliers et à des moments particuliers. Et c'est pour toutes ces raisons les chercheurs ont proposé un nouveau paradigme qui est la radio cognitive (RC). La RC permet de mieux exploiter le spectre existant en tirant profit des canaux libres et inutilisés de manière dynamique et opportuniste. Cette technologie facilite l'augmentation du nombre des utilisateurs et assure la répartition efficace ressources disponibles.

Le concept de radio cognitive est en réalité une interaction entre la technologie sans fil et l'intelligence artificielle. En effet, la capacité de radio cognitive intégrée à un terminal lui offre la possibilité d'interagir avec son environnement radio afin de s'y adapter, de détecter les fréquences libres et les utiliser contribuant ainsi à une meilleure efficacité spectrale.

2. Problématique

L'évolution technologique de ces dernières décennies a engendré une forte demande et une croissance considérable de nouveaux services de télécommunications utilisant la ressource rare que constitue le spectre radioélectrique. En effet, plusieurs études récentes ont révélé l'utilisation sous-optimale des bandes radio en insistant sur le fait que certaines deviennent surchargées tandis que d'autres bandes de fréquences restent largement sous-exploitées, c'est là que la radio logiciel intervient, qui permet de se reconfigurer de manière à s'adapter soit en termes de fréquence, de débit, ou bien de type de modulation utilisée.

3. Contribution

Afin de résoudre le problème d'encombrement qui est mentionnée ci-dessus, nous proposons dans le cadre de notre travail une solution qui apporte la flexibilité et permet de résoudre des problèmes de la gestion dynamique du spectre, en utilisant les méta-heuristiques d'optimisation par essaim de particule.

Notre contribution consiste à utiliser les méta-heuristiques qui sont des techniques d'accès dynamique au spectre pour résoudre le problème d'optimisation, nous implémentons dans notre application une nouvelle approche d'optimisation de fonction, basée sur l'optimisation d'essaim de particules mono critère ou multi critères, finalement nous comparons ces deux approches de PSO en termes d'optimalité.

4. Plan de travail

Ce manuscrit contient deux chapitres qui se répartissent de la sorte :

Dans le premier chapitre : nous introduisons le contexte général de notre travail ; nous apportons le concept de radio logiciel et de SDR, celle-ci donnant une naissance de radio cognitive, de plus nous présentons en détails les grandes lignes de la RC : l'architecture, les fonctions et les différentes phases de cycle de cognition .Par la suite, nous exposons les différentes techniques de gestion dynamique au spectre. Concernant notre sujet, nous nous focalisons sur les méta-heuristiques à population.

Dans le deuxième chapitre : nous consacrons d'abord à étudier la méta-heuristique d'optimisation par essaim de particules pour résoudre le problème d'optimisation. Ensuite, nous présentons notre application avec les différentes fonctionnalités, en implémentant les deux versions mono et multi critères, à la fin de ce chapitre, nous établissons une étude comparative entre les 2 approches, et nous discutons nos résultats expérimentaux.

Enfin, nous terminons ce rapport par une conclusion générale afin de donner des perspectives et clôturer notre travail.

Chapitre I :

La Radio Cognitive

I.1 Introduction

L'évolution continue des télécommunications sans fil entraîne une forte demande en termes de ressources spectrales. En plus, elle crée un besoin en croissance de spectres radios. Selon plusieurs études, la majorité des bandes de spectres ont été allouées, mais sont peu utilisées. Ces considérations ont motivé la communauté à développer une nouvelle technologie appelée radio cognitive qui permet de répondre aux besoins liés à la gestion de l'environnement de terminal radio en termes de fiabilité et qualité de service.

La radio cognitive est un paradigme de communication émergent, qui offre une gestion dynamique du spectre pour pallier au problème de l'insuffisance spectrale. Elle a été considérée comme une technologie clé, qui permet un accès opportuniste au spectre.

Nous allons présenter dans ce chapitre, la radio cognitive dans ses différents aspects : principes, fonctions et architecture ainsi que les différentes techniques d'accès dynamique au spectre.

I.2 Radio Logicielle (Software Radio)

Le concept de radio logicielle, paru en 1991, grâce aux travaux de Joseph Mitola, et ce dans le but de définir une classe de radiocommunication configurable utilisant des techniques de traitement numérique du signal sur des circuits numériques programmables. Une dématérialisation complète de l'interface radio, permet l'assurance d'une grande flexibilité, surtout lorsque l'environnement change [Mitola, 2000].

L'interface radio généralement réalisées en matériel peut être programmée et configurée dynamiquement, telle que la fréquence porteuse, bande passante de signal, modulation et l'accès au réseau sont réalisées sous forme logicielle, pour répondre aux besoins croissants de performance et l'interopérabilité entre les systèmes hétérogènes.

I.2.1 Radio logicielle restreinte (SDR)

La radio logicielle restreinte est un système radiocommunication qui caractérise une technologie qui permet de résoudre le problème de la gestion dynamique de spectre tout en assurant la flexibilité.

Ces équipements SDR peuvent fonctionner dans les réseaux sans fil hétérogène peuvent s'adapter automatiquement aux nouvelles modulations, c'est-à-dire, ils peuvent s'adapter à n'importe quelle bande de fréquences qui permet de transmettre et de recevoir les signaux de n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel.

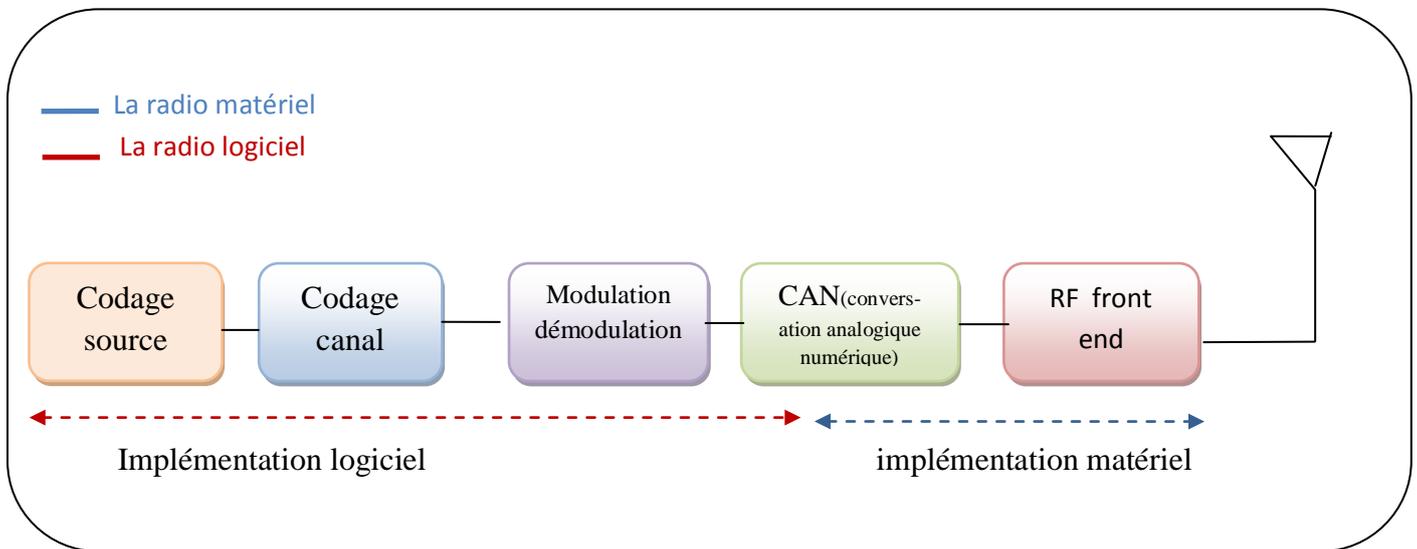


Figure I-1 : Evolution de la radio matérielle à la radio logicielle

I.3 La Radio Cognitive

I.3.1 Historique

Le concept « la radio cognitive » a été inventé par Joseph Mitola en 1999-2000, dans un certain nombre de publications par exemple [Mitola et al., 1999], et dans sa thèse de doctorat [Mitola, 2000].

Depuis, la définition apportée par la Federal Communication Commission (FCC) au sujet de la radio cognitive en 2003, puis déclarée nombreuses études dans la littérature ont mis l'accent sur ce point de vue étroit, où de nombreuses techniques d'accès aux ressources de la radio adaptative ont été proposées, pour atteindre une telle agilité de fréquence.

Cependant, le groupe de travail de P1900.1, sous IEEE SCC41, a récemment achevé une norme couvrant la terminologie et des concepts pour les systèmes radio de prochaine génération et la gestion du spectre, englobant CR.

Ces efforts participent à la normalisation de la vue de ce qu'est réellement la (RC).

La figure suivante représente les étapes du développement dans la radio cognitive :

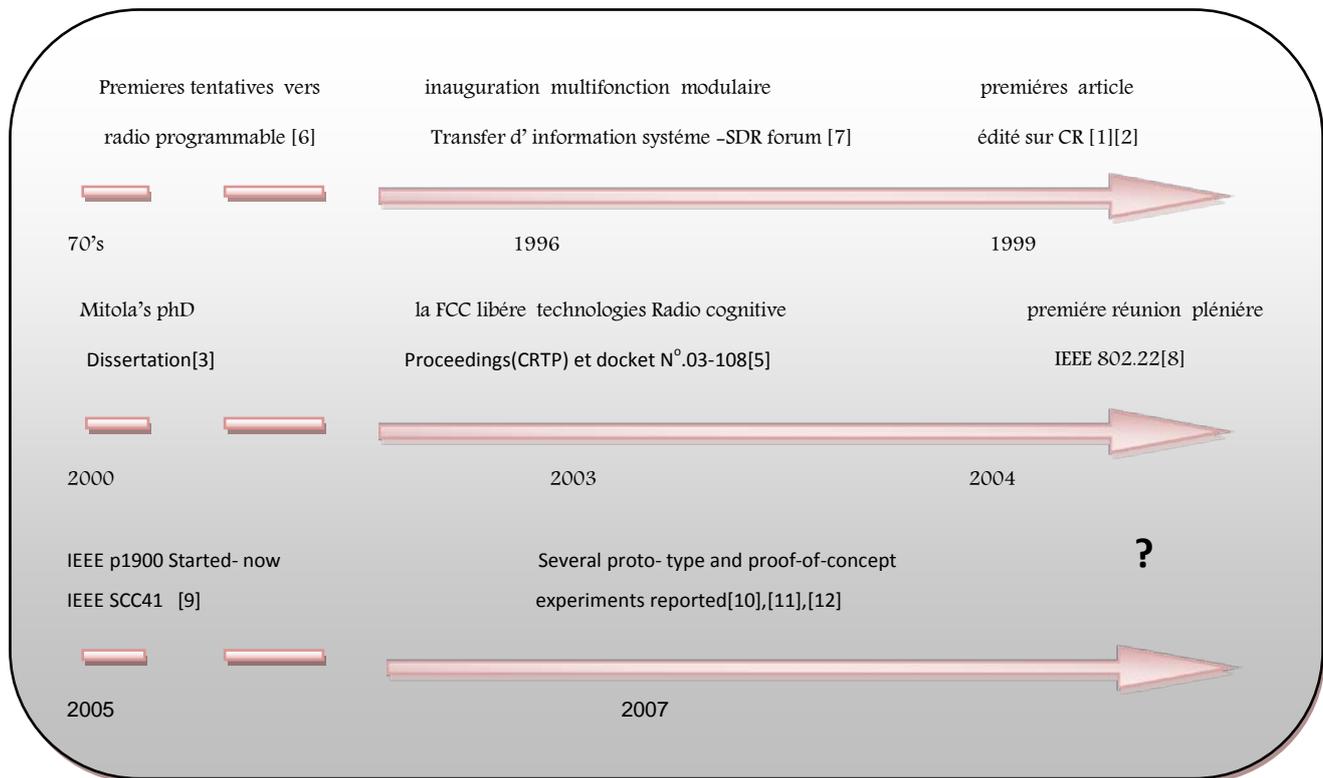


Figure I.2: Étapes développements dans la radio cognitive

I.3.2 Définitions

- FCC a soumis une explication de la radio cognitive comme suit :

«A radio or system that senses its operational electromagnetic environment and can dynamically and autonomously adjust its radio operating parameters to modify system operation, such as maximize throughput, mitigate interference, facilitate interoperability, access secondary markets.»[FCC, 2008].

- Par ailleurs, Simon Haykin parle de la (RC) comme étant:

«Cognitive radio is an intelligent wireless communication system that is aware of its surrounding environment (i.e. outside world), and uses the methodology of understanding-by-building to learn from the environment and adapt its internal states to statistical variations in the incoming radio frequency stimuli by making corresponding changes in certain operating parameters (e.g., transmit power i carrier-frequency, and modulation strategy) inreal-time,with two primary objectives in mind :(i.) highly reliable communication whenever and wherever needed and (ii.) efficient utilization of the radio spectrum»[Haykin, 2005].

- D'après la définition de J. Mitola:

« Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur. » [Amraoui et al., 2012].

La RC est une radio intelligente qui peut être programmée et configurée dynamiquement dans lequel un émetteur/récepteur peut détecter intelligemment les canaux disponibles dans un spectre sans fil et de passer instantanément dans les canaux vacants tout en évitant ceux occupés et modifier le paramètre de transmission, cela permet d'optimiser l'utilisation de la disposition radiofréquence tout en minimiser les interférences avec les autres terminaux.

L'objectif de radio opportuniste est donc d'ouvrir les bandes licenciées à ces utilisateurs secondaires sans perturber les communications des terminaux primaires qui sont seuls censés l'occuper [Germain et al., 2008].

I.3.3 Relation entre Radio Cognitive et Radio Logicielle Restreinte

Parmi les caractéristiques de la radio cognitive est la capacité d'adaptation où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de :

- L'environnement radio.
- L'état du réseau.
- Les besoins de l'utilisateur.
- La situation et La géo localisation.

La Radio Logicielle est une "technologie habilitante" pour la radio cognitive capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive. Bien que de nombreux modèles différents soient possibles, l'un des plus simples modèles conceptuels qui décrit la relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte est illustré dans ce modèle simple, les éléments de la radio cognitive entourent le support radio logiciel restreint [Metref, 2010].

Le "cognitif engin" représente la partie chargée de l'optimisation ou du contrôle du module SDR 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.

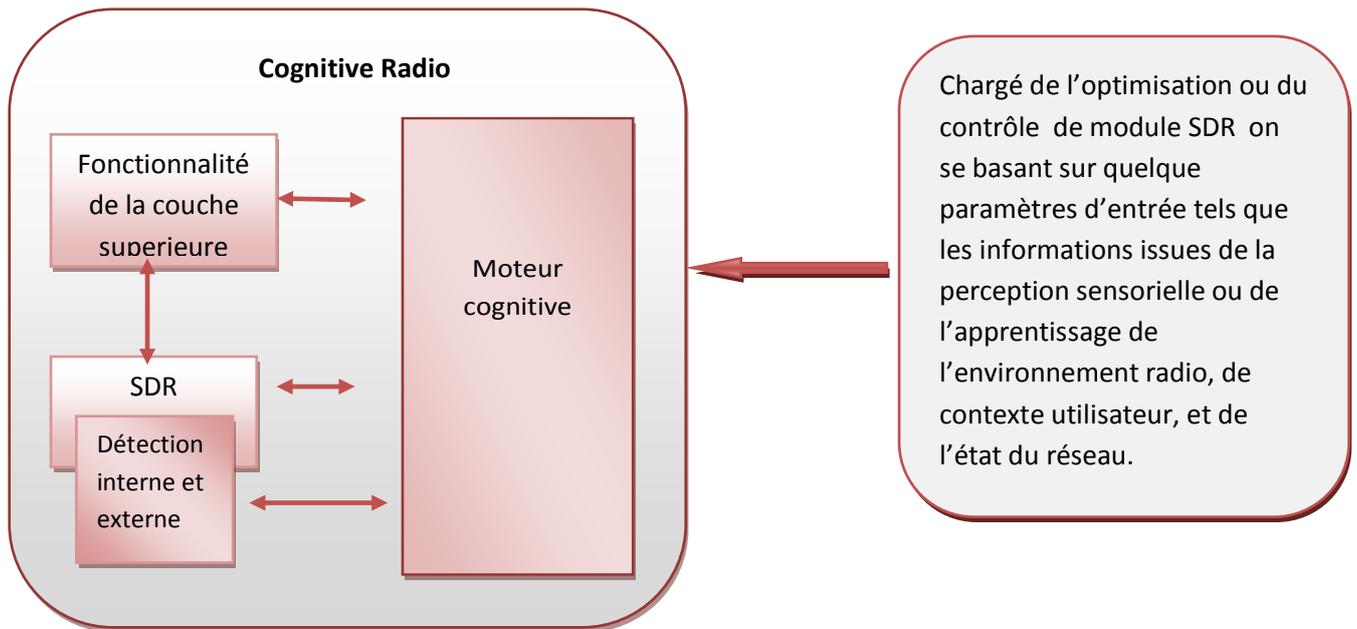


Figure I.3 : Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte [Mitola,2009]

I.3.4 Architecteur de La Radio Cognitive

La structure de radio cognitive apporte l'homogénéité d'une multitude des règles de conception grâce à laquelle un ensemble distinct de composants réalise une série de fonctions de produit et des services. Telle est la définition fournie est présenté dans la figure suivante:

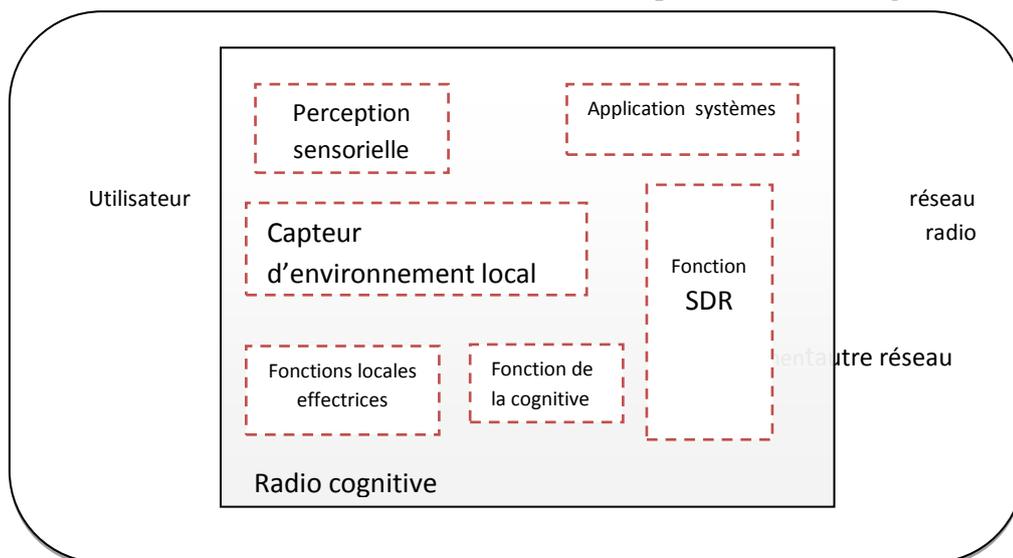


Figure I.4 :Architecteur de La Radio Cognitive

L'architecture comporte une série de six composantes fonctionnelles, et les détails de ces éléments de l'architecture sont [Larabi et aL, 2013] :

- La perception sensorielle (SP) de l'utilisateur qui intègre l'interface haptique (du toucher), acoustique, la vidéo et les fonctions de détection et de la perception.
- Les capteurs de l'environnement local (emplacement, température, accéléromètre)
- Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
- Les fonctions SDR (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
- Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification, d'apprentissage).
- Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias).

I.3.5 Cycle de cognition Orientation

La cognition est dotée d'un cycle qui représente un schéma global d'un ensemble des interactions entre plusieurs modules des systèmes et contrôler la circulation de l'information dans environnement radio. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit. La figure suivant représenter ses activités :

. La figure suivant représenter ses activités :

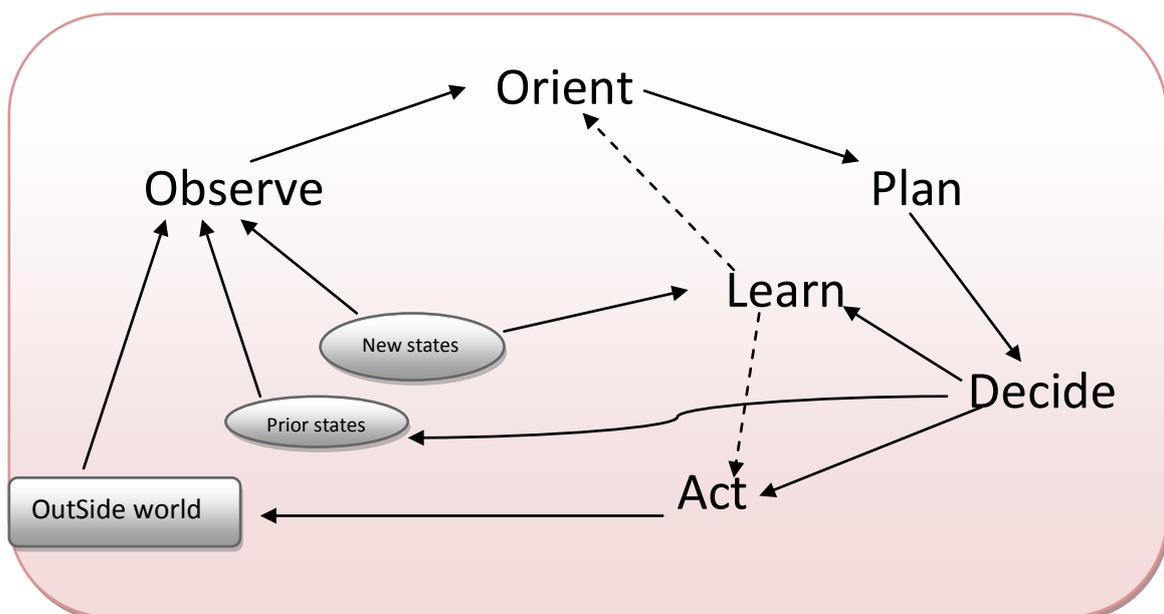


Figure I.5 : Cycle de Cognition [Mitola,2000]

La RC, suivant le cycle de cognition, atteint le niveau d'autonomie prévu et une capacité de configuration dynamique de ses paramètres.

➤ **Phase d'observation** (détecter et percevoir)

La radio cognitive observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant. Et consiste de recherche l'information qui lui assure la prise de décision. La RC associe l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, pour en déduire le contexte de communication.

➤ **Phase d'orientation**

L'orientation est une étape fonctionne à l'intérieur des structures de données, La radio cognitive s'oriente vers la détermination de la priorité et les classifications passent en fonction de la demande.

➤ **Phase de planification**

Après l'orientation, on a besoin de planification des actions réalisables qui permet de traité le message entrant du réseau.

➤ **Phase de décision**

La radio pourrait avoir le choix pour alerter l'utilisateur à un message entrant ou de reporter l'interruption à plus tard en fonction des niveaux de QoI (Quality of Information).

➤ **Phase d'action**

Cette phase lance les processus sélectionnés qui utilisent les effecteurs sélectionnés qui accèdent au monde extérieur (envoi de message) ou aux états internes (ajout un nouveau état) de la radio cognitive.

➤ **Phase d'apprentissage**

L'apprentissage est une fonction d'observations et de décisions Par exemple, les états internes antérieurs et courants peuvent être comparés avec les attentes pour en apprendre davantage sur l'efficacité d'un mode de communication.

I.3.6 Les Fonctions de la Radio Cognitive

Les principes fonctions de radio cognitive sont les suivants [AkyildiztaL, 2006] :

I.3.6.1 Détection de spectre (Spectrum Sensing)

C'est la fonction de base, se fait par la détection des espaces blancs (non utilisés) du spectre sans interférence nuisible à autres utilisateurs, la détection d'utilisateur primaire est le moyen la plus efficace pour la détecter le spectre libre, elle consiste à :

- La détection des espaces non utilisés de spectre.
- Le partage sans interférence avec les autres utilisateurs.

L'un des objectifs de la détection de spectre en particulier pour la détection des interférences est d'obtenir le statu de spectre (libre / occupé).

Les techniques de la détection de spectre peuvent être regroupées en trois catégories :

1- La détection de l'émetteur : Les radios cognitives doivent avoir la capacité de déterminer si un signal d'un émetteur primaire est localement présent dans un certain spectre. il ya plusieurs approches proposées pour la détection de l'émetteur :

- détection d'un filtre correspondant (Matched filter detection).
- détection d'énergie (Energy detection) : est une méthode de détection de spectre qui détecte la présence et l'absence d'un signal en mesurant la puissance du signal reçu.
- détection de fonctionnalité cyclostationnaire (Cyclostationary feature detection) : ce type de spectre de détection sont motivés parce que la plupart des signaux de communication par l'individu tels que BPSK, QPSK ... présentent un comportement Cyclostationary.

2- Détection coopérative : Désigne les méthodes de détection du spectre où les informations provenant de multiples utilisateurs de radio cognitive sont incorporées pour la détection de l'utilisateur primaire.

3- Détection d'interférences

3-1 La gestion du spectre (Spectrum management) :

Les bandes spectrales détectent le meilleur spectre disponible pour répondre aux exigences de communication de l'utilisateur secondaire. Les RCs doivent décider de la meilleure bande de fréquence, le débit et le temps pour répondre aux besoins de la qualité de service, par conséquent, les fonctions de gestion de spectre sont nécessaire pour la RC, les fonctions de gestion du spectre sont classées comme suit:

- **L'analyse spectrale :** analyser les résultats de la détection du spectre en termes de la fréquence d'opérabilité, disponibilité des espaces blancs du spectre et la durée moyenne pour estimer la qualité de spectre.

- **Décision du spectre :** A partir des résultats de l'analyse spectrale on prend la décision pour l'accès au spectre à l'aide d'une modèle de décision qui a une complexité dépend des paramètres considérés lors de l'analyse du spectre. Ce modèle devient plus complexe quand un utilisateur secondaire a des objectifs multiples.

Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur la décision d'accès au spectre. Ces derniers peuvent être coopératifs ou non coopératifs comme la montre la Figure suivante :

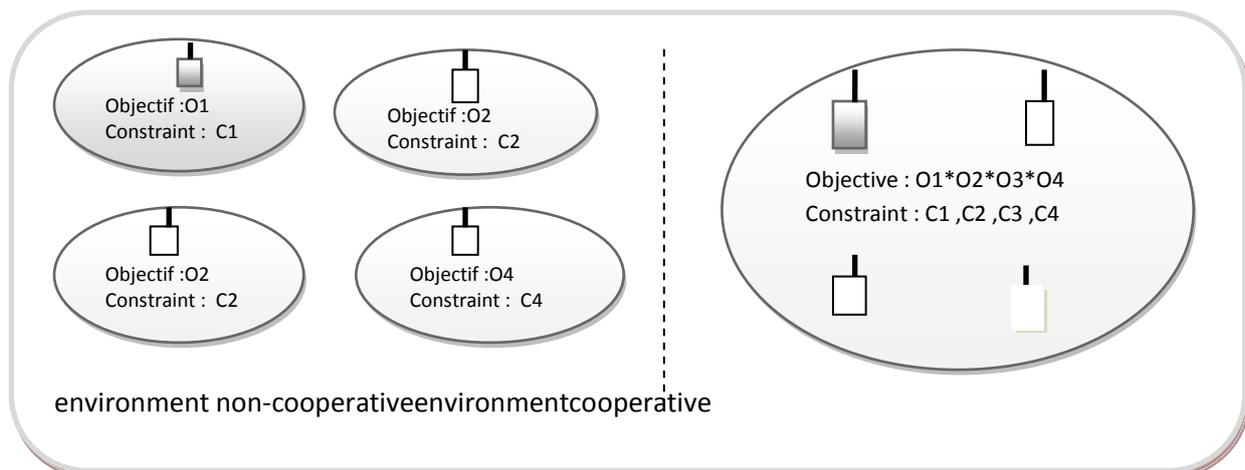


Figure I.6 Accès au spectre Coopératif et non-coopératif [Mitola,2009]

- Dans un environnement coopératif, les RCs coopèrent les unes avec les autres pour prendre une décision pour accéder au spectre et maximiser une fonction objective commune en tenant compte des contraintes. Dans un tel scénario, un contrôleur central peut coordonner la gestion du spectre.
- pour un accès non-coopératif au spectre, chaque utilisateur fait sa propre décision optimale en observant le comportement (historique / action) des autres utilisateurs du système. Par conséquent, un algorithme distribué est nécessaire pour un SU pour prendre la décision sur l'accès au spectre de manière autonome de manière autonome.

I.3.6.2 Mobilité du spectre (Spectrum mobility) :

Définie comme étant le processus par lequel l'utilisateur de radio cognitive change sa fréquence de fonctionnement, donc l'utilisation du spectre de manière dynamique. il permet de :

1. Recherche des meilleures bandes de fréquence disponible: la RC doit enregistrer l'indice de la bande de fréquence disponible de sorte que si nécessaire, il peut passer immédiatement à d'autre bande de fréquence. Lors de la transmission par un utilisateur secondaire, l'état de bande de fréquences doit être respecté.

2. Auto-coexistence et synchronisation: lors qu'un utilisateur secondaire effectue un transfert du spectre il doit surveiller deux choses :

- Le canal cible ne doit pas être actuellement utilisé par un autre utilisateur secondaire.
- Le récepteur de la liaison secondaire correspondant doit être informé de la non intervention du spectre (la demande de synchronisation).

I.4 Réseau à Radio Cognitive(RRC)

Les réseaux radios cognitifs émergent comme un nouveau concept d'accès et de partage de canal dans les réseaux sans fils dans le but d'exploiter les bandes de fréquences sous-utilisées durant l'absence d'utilisateurs prioritaires et libèrent le canal dès lors que les utilisateurs licenciés de ces fréquences tentent d'y accéder.

Les RRC, établis sur le fondement de la radio cognitive qui est considéré comme un paradigme de communication très prometteuse pour les problèmes d'accès au spectre, donc les RRC offrent une utilisation efficace et dynamique de ces bandes de fréquence.

I.4.1 L'Architecture des Réseaux de Radio Cognitive

L'architecture est un ensemble cohérent de règles de conception et de composants spécifiés (fonctions, services...) pour développer des protocoles efficaces de communication, RRC peut être décomposé en deux réseaux distincts: réseau primaire et réseau secondaire.

➤ Le Réseau Primaire

Pour utiliser certaines bandes spectrales, le réseau primaire est doté d'une licence. Il a acquis ce droit à travers l'achat de ces licences par des organismes gouvernementaux telle la FCC aux Etats-Unis. Les réseaux cellulaires et les réseaux de diffusion TV sont un bon exemple de réseaux primaires dans lesquels les bandes spectrales sont propriétaires. Le réseau primaire dispose de deux composants:

- **Utilisateur Primaire ou Licencié (UP)** :L'utilisateur Primaire possède d'une licence qui lui permet d'accéder à certaines bandes spectrales qui lui sont réservées.

Cette licence lui donne la possibilité d'opérer et communiquer à tout instant sur ces BS et sans aucune perturbation par les autres utilisateurs.

- **Station de base des UP :** La station de base des UP celui qu'on nomme station de base licenciée est une architecture immuable du réseau primaire qui possède une licence qui permet d'opérer sur la bande spectrale telle que les stations de base des systèmes cellulaires.

➤ Le Réseau Secondaire

Le réseau secondaire, appelé aussi réseau de radios cognitives ou réseau non-licencié, ne possède pas de licence pour opérer sur la bande spectrale. D'où le besoin d'un ensemble de fonctionnalités supplémentaires pour pouvoir partager les bandes spectrales licenciées d'une manière opportuniste. Les réseaux secondaires sont déployés en mode infrastructure ou en mode ad-hoc. Ils se disposent de quatre composants :

- **Un utilisateur à radio cognitive(URC) :**URC appelé aussi un utilisateur non licencié ou utilisateur secondaire n'a pas de licence afin de diffuser sur la bande spectrale.il peut partager la bande spectrale avec les utilisateurs primaires à l'aide des fonctionnalités additionnels dont ils sont disposés.
- **Station de base secondaire des URC :** Dénommée station de base non licenciée, est une structure fixe avec des compétences cognitives. L'URC se connecte à la station de base secondaire pour accéder à d'autres réseaux ou services.
- **Serveur spectral :** Le serveur spectral est une entité du RRC, qu'on utilise pour partager les ressources spectrales entre différents URC dans le même réseau. Ce serveur est connecté à chaque réseau secondaire et opère comme un gestionnaire d'information spectrale.
- **Le courtier spectral :** est aussi une entité du RRC qui partage les ressources spectrales entre divers RRC. Ce serveur est relié à plusieurs RRC et agit comme un gestionnaire d'information spectral

➤ Les types d'accès

Le RRC est un ensemble de plusieurs types de réseaux qui coexistent sur les mêmes bandes spectrales, à cause de cette hétérogénéité, les auteurs ont classés différents modèles d'accès à ces réseaux, selon une structure présentée par dans [Akyildiz et al, 2006], et qu'ils nomment comme suit :

- **Accès au RRC** : les URC accèdent à leur station de base en se servant des spectres licenciés ou non licenciés.
- **Accès au réseau ad-hoc de radios cognitives**: les URC sont capables de communiquer entre eux à travers des connexions ad-hoc sur des spectres licenciés ou non licenciés.
- **Accès au réseau licencié**: les URC parviennent à la station de base des UP en utilisant les spectres licenciés.

Les éléments qui forment les RRC sont dépeints dans la Figure suivante:

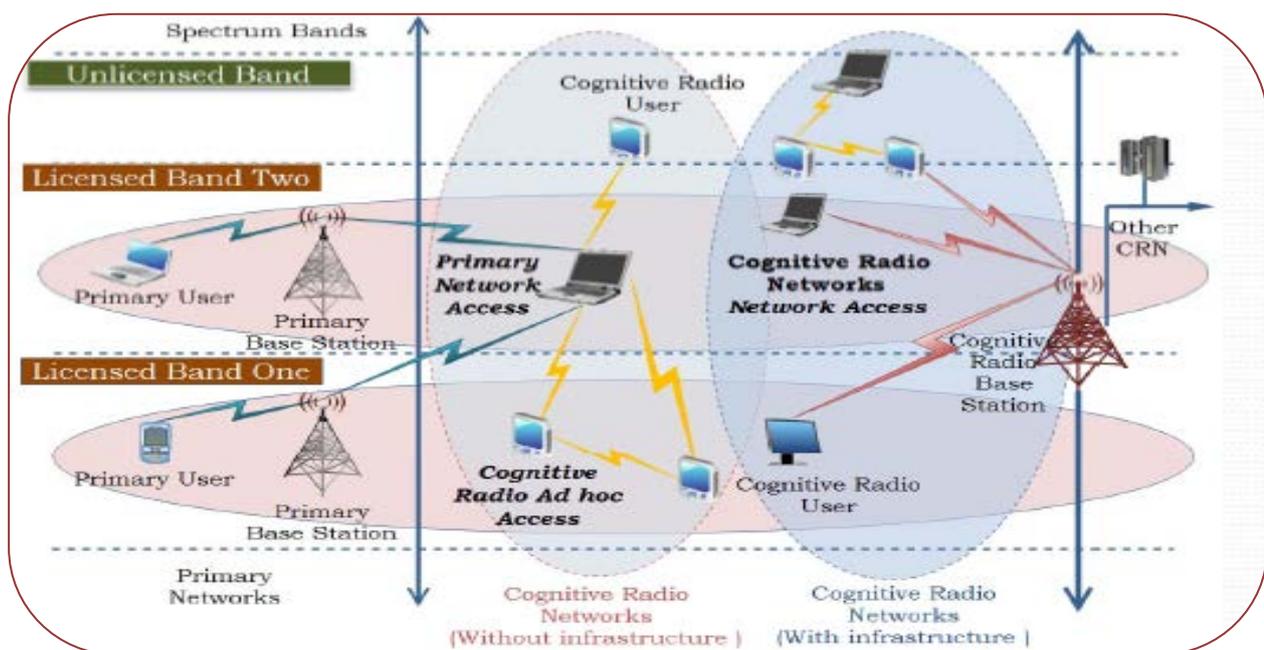


Figure I.7 : Coexistence entre deux types de réseau: Réseau primaire et Réseau secondaire [Akyildiz et al., 2006]

I.4.2 La gestion spectrale

La recherche spectrale détecte des bandes spectrales inutilisées qu'ont des caractéristiques différentes (la fréquence d'opérabilité, le débit et le temps). Etant donné la nature dynamique de l'environnement radio, toutes les informations se modifient au cours du temps.

La gestion du spectre de la radio cognitive se fait sur trois principales étapes qui permet de gérer les ressources spectrales dans les RRC, ces fonctions sont: l'analyse, la décision et la mobilité spectrale.

➤ **L'analyse spectrale**

Elle permet de caractériser les différentes bandes spectrales en termes de fréquence d'opérabilité, de débit, de temps et de l'activité de l'utilisateur primaire. Cette caractérisation sert à répondre aux exigences de l'utilisateur équipé d'une radio cognitive.

➤ **La décision spectrale**

On applique un ensemble de règles décisionnelles afin d'obtenir la ou les bandes spectrales les plus adaptées à la transmission en cours, tout en prenant en considération les exigences et demandes de l'utilisateur à radio cognitive.

➤ **La mobilité spectrale**

La mobilité spectrale est définie comme étant le processus de changement de fréquence d'opérabilité d'un URC. Ce phénomène est enclenché lors de la détérioration de la bande spectrale ou lors de la détection d'un UP.

I.5 Accès dynamique au spectre

Les systèmes de télécommunication ont marqués au cours de ces dernières années une croissance fulgurante des technologies sans fil.

L'accès dynamique au spectre est considéré comme une solution pour résoudre le problème de pénurie de spectre. L'architecture de réseau de radio cognitive doit être évolutive et coopérative, afin de fournir les meilleures solutions possibles. Le but final est d'augmenter l'utilisation de spectre par l'utilisation des techniques d'accès utiles et plus efficaces afin de parvenir au spectre requis quand et où nécessaire (si possible), à un coût accessible.

Quatre techniques sont utilisés : les enchères, la théorie des jeux, les approches de Markov, les Systèmes multi agents et les méta-heuristiques. Nous donnerons plus de détail concernant les méta-heuristiques que nous allons implémenter dans notre travail.

I.5.1 Accès au spectre en utilisant les enchères

Les enchères se sont appuyées sur le concept de vente et d'achat des articles réels ou de services. L'objectif principal de ces théories est de faciliter la répartition dans les bandes de fréquence à tous les utilisateurs (PU et SU) de manière à optimiser pleinement l'utilisation du spectre. Il existe plusieurs formes d'enchères, notamment [Amraoui et al., 2012] :

- Enchères anglaises : enchère publique au premier prix ascendante.
- Enchères hollandaises : enchère publique au premier prix descendante.
- Enchères scellée au premier prix.
- Enchères scellée au second prix : (Vickrey).

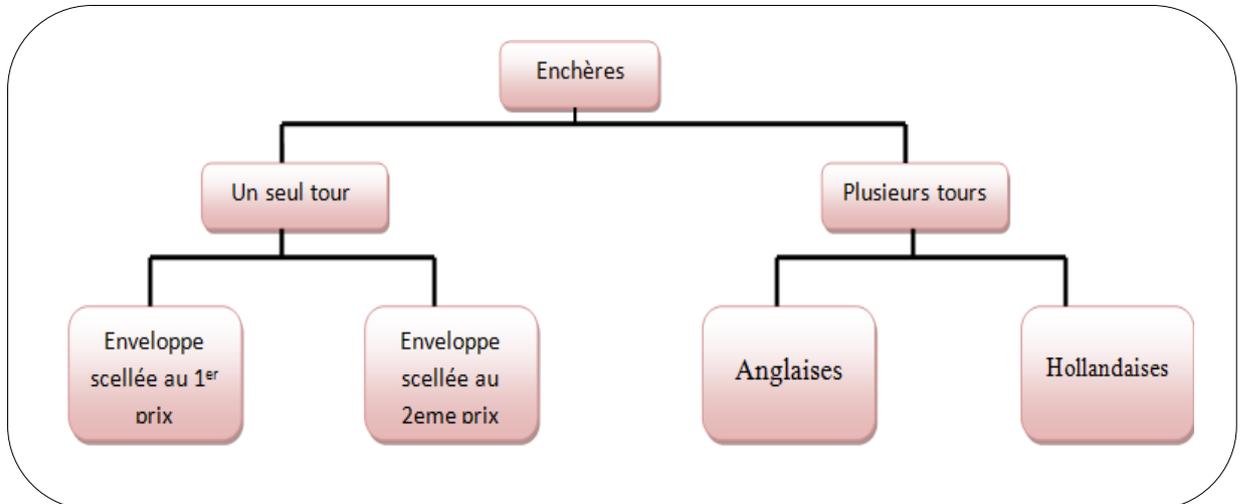


Figure I.8 : Organigramme représentant les types d'enchères

I.5.2 Accès au spectre en utilisant la Théorie des jeux

Un cadre mathématique qui comporte des modèles et des techniques utilisées pour analyser le comportement itératif des individus s'occupant exclusivement de leur propre bénéfice là où elles ont tiré profit, telle pourrait être l'explication de la théorie des jeux. Ces jeux sont fréquemment divisés en deux types [Gafar et al,2008] : jeux coopératifs et jeux compétitifs.

- **Jeux compétitifs** : chaque utilisateur est principalement préoccupé par son gain personnel, ainsi toutes les décisions qu'il peut prendre se feront de manière compétitive et égoïste. nous avons constaté dans la littérature existante, que les concepts théoriques du jeu ont été largement utilisés pour des attributions de fréquences dans les réseaux RRC [Niyato et al,2008], où lorsque les utilisateurs primaires et secondaires prennent part à un jeu, ils ont un comportement rationnel pour sélectionner les techniques qui maximisent leurs propres gains.
- **Jeux coopératifs** : tous les joueurs s'intéressent par tous les gains globaux et ils ne sont pas très soucieux de leur gain personnel. Quelques travaux modernes utilisent la

théorie des jeux coopératifs dans le but de réduire la puissance de transmission des utilisateurs secondaires, pour éviter les interférences avec les transmissions des utilisateurs primaires.

I.5.3 Accès au spectre en utilisant les chaînes de Markov

Les approches de la théorie des jeux ne modélisent pas de modèle théorique pour ce qui concerne l'interaction entre les utilisateurs secondaires et primaires pour l'accès au spectre. Cette modélisation peut être réalisée en utilisant parfaitement les chaînes de Markov

[Mir, 2011]. Une chaîne de Markov est une suite de variables aléatoires qui permet de modéliser l'évolution dynamique d'un système aléatoire.

La propriété fondamentale des chaînes de Markov est que son évolution future ne dépend du passé qu'au travers de sa valeur actuelle. Autrement, dans le cas de la RC, cette méthode ne se contente pas du résultat seulement comme les autres méthodes mais permet également de modéliser l'interaction entre les utilisateurs [Amraoui et al., 2012].

I.5.4 Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents (SMA)

➤ Introduction

L'approche multi-agents présente une solution qui convient parfaitement aux spécifications des systèmes à radio cognitive, ainsi que, plusieurs travaux de recherche adoptent les systèmes multi-agents (SMA) pour la gestion du spectre dans ces réseaux.

L'idée principale de l'utilisation des SMA dans le contexte des RRC est de gérer de manière équitable et décentralisée des ressources radio partagées entre les utilisateurs, afin d'améliorer l'exploitation générale des ressources spectrales [Bond et al., 1988].

Les systèmes multi-agents représentent un des axes de l'intelligence artificielle distribuée (IAD). L'IAD consiste à passer du comportement individuel aux comportements collectifs des acteurs pour combler les limites de l'Intelligence Artificielle (IA) classique à résoudre des problèmes complexes [Ferber, 1999]. Ce passage de l'IA à l'IAD nécessite la distribution de l'intelligence sur plusieurs entités. Cette distribution inclut la distribution du contrôle et des connaissances. L'IAD recouvre trois axes de recherche fondamentaux qui sont

- RDP (la résolution distribuée des problèmes).
- IAP (l'intelligence artificielle parallèle).
- SMA (système multi-agents) : ils consistent à faire coopérer un ensemble d'agents intelligents et de coordonner leurs buts et leurs plans d'actions pour atteindre un objectif

commun ou résoudre un problème particulier dépassant les capacités individuelles des agents.[Wooldrige,2002]

➤ **Systemes Multi Agents (SMA)**

Un système multi-agents est donc un ensemble organisé d'agents qui interagissent pour atteindre un but dépassant leurs capacités individuelles [Boissier et al, 2004]. Ainsi, les agents peuvent communiquer, coopérer, former des coalitions, planifier et coordonner leurs actions. Ils peuvent également négocier et apprendre de nouveaux comportements et actions de manière tout à fait autonome. Le choix des actions à entreprendre dépend des intérêts de l'agent.

Les SMA sont extensibles et adaptatifs, ils sont connus aussi par leur rapidité car les agents peuvent travailler en parallèle pour proposer des solutions réactives et robustes à des problèmes complexes.

En effet, SMA est un système distribué composé d'un ensemble d'entités réactives ou cognitives (suivant le problème traité), qui interagissent les uns avec les autres, situé dans un environnement commun. Dans. L'objectif de faire fonctionner les agents simultanément pour résoudre une difficulté ou procéder à une tâche spécifique.

➤ **SMA et Radio Cognitive**

L'association des SMA avec la RC assure un futur remarquable pour la gestion optimale des fréquences dans laquelle la RC offre une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en permettant l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, Dans le cas de l'utilisation des bandes sans licence, le terminal RC doit coordonner et coopérer pour un usage meilleur du spectre sans causer d'interférences.

Les créateurs offrent une architecture basée sur les agents où chaque terminal RC est équipé d'un agent intelligent, il y a des modules pour joindre les informations à propos de l'environnement radio et bien sur les informations collectées seront stockées dans une base de connaissance partagée qui sera consultée par tous les agents. L'approche proposée est basée sur les SMA coopératifs (les agents ont des intérêts en commun). Ils collaborent en partageant leurs connaissances pour augmenter leur gain individuel ainsi que collectif.

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.

I .5.5 Accès au spectre en utilisant les méta-heuristiques

Les méthodes d’optimisation globales connues souvent par le nom méta-heuristiques, visant à résoudre des problèmes d’optimisation difficiles généralement issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l’ingénierie ou de l’intelligence artificielle[Kévine, 2006] .elles sont utilisées comme des méthodes génériques peuvent optimiser une large gamme de problèmes différents, leur capacité à optimiser un problème à partir d’un nombre minimal d’informations est contrebalancée par le fait qu’elles n’offrent aucune garantie quant à l’optimalité de la meilleure solution trouvée.

Les méta-heuristiques peuvent employer des approches stochastiques, des recherches locales, des mouvements à base de mémoire, et elles sont particulièrement adaptées pour les problèmes NP difficiles.

GA, GP, PSO, Tabou....sont des méta-heuristiques les plus utilisées et la figure suivante illustre un panorama de ces algorithmes[Clerc et aL, 2004], parmi ces méta-heuristiques présentées, un intérêt particulier a été porté à la méthode d’optimisation par essaim particulière(PSO) pour résoudre le problème, dans lequel on définit une ou plusieurs fonctions objectifs, que l’on cherche à minimiser (ou maximiser) par rapport à l’ensemble des paramètres.

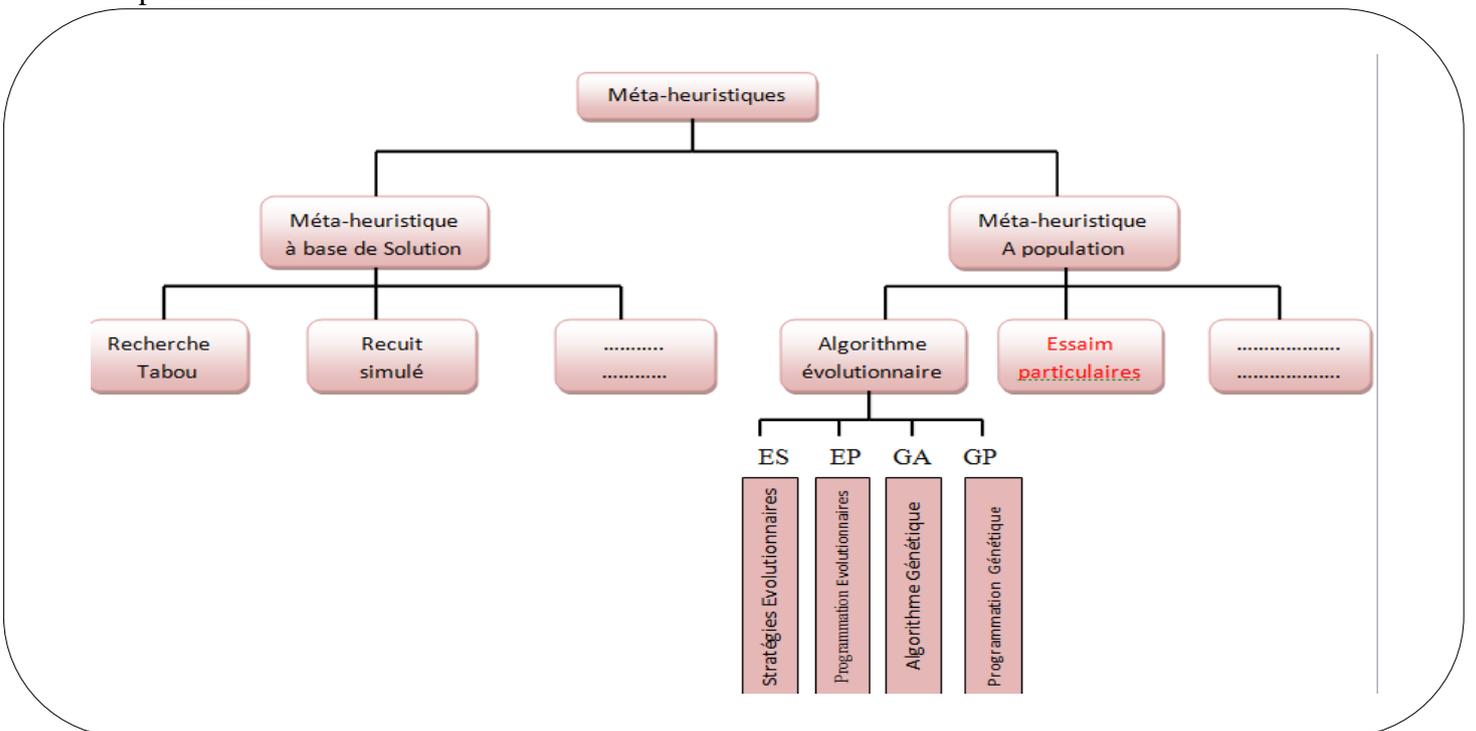


Figure I.9 : Les Classes des méta-heuristiques

I.6 Domaines d'application de la Radio Cognitive

Le terme de la radio cognitive peut être appliqué à un différent domaine de communication sans fil, nous allons noter quelques-uns :

- **Les réseaux sans fil de prochaine génération**

La radio opportuniste (RC) permet de résoudre le problème de spectre et aussi il est apparu comme une technologie clé pour la future génération des réseaux sans fil hétérogènes.

- **Coexistence de différentes technologies sans fil**

La RC est considérée comme une résolution qui offre la coexistence de multiples technologies sans fil. Ce défi peut être relevé à l'aide d'un nouveau groupe de travail (l'IEEE 802.22) dont l'objectif est d'utiliser efficacement les bandes de fréquence TV.

- **Services de cyber santé (e Health services)**

Différents types de technologies sans fil sont adoptés dans les services de santé pour améliorer l'efficacité de la prise en charge des patients et la gestion des soins de santé. Les équipements et appareils utilisent la transmission RF. Quant à l'usage du spectre, il doit être choisi avec soin pour éviter et éloigner toute interférence. De même que les concepts de la radio peuvent être appliqués.

- **Réseaux d'urgence**

Ils ont la possibilité de profiter des concepts de la radio pour fournir la fiabilité et la flexibilité de radiocommunication sans fil.

- **Réseaux militaire**

Avec la radio cognitive, le temps, l'espace et la mission des soldats peuvent jouer un rôle dans l'adaptation dynamique des paramètres de la communication sans fil.

I.7 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents concepts concernant la radio cognitive. La RC est plateforme matérielle et logicielle qui permet à un terminal de pouvoir interagir avec son environnement de manière intelligente. A travers ce chapitre, nous avons vu en détails les concepts de la RC et sa frontière avec la radio logicielle, ainsi que ses composantes et ses fonctionnalités, ensuite nous avons présenté les diverses techniques d'accès dynamique au spectre.

Chapitre II:

Conception et Implémentation du Prototype

II.1 Introduction

La résolution de problèmes d'optimisation constitue un axe de recherche qui a sollicité l'attention de plusieurs équipes de recherche, et dans le cadre de problématique de la radio cognitive la majorité des algorithmes utilisés sont des méta-heuristiques. Dans ce travail on s'intéresse à l'optimisation par essaim de particule PSO (Particle Swarm Optimisation). Cette dernière a été proposée en 1995 par Russel Eberhart et James Kennedy, la PSO est une abstraction de la résolution des problèmes individuelle et coopérative dans la société humaine [Kennedy et al., 2001].

PSO est une stratégie relativement récente pour l'optimisation des fonctions conceptuellement des similitudes doivent être trouvées dans les domaines des algorithmes génétiques aussi bien que la vie artificielle [Schoeman et al., 2005]. L'initialisation de PSO est faite avec la population de solutions aléatoires de la fonction de remise en forme. Cette méta-heuristique est une méthode itérative basée sur le comportement de recherche d'un essaim des particules dans un espace multidimensionnel de recherche.

Notre contribution consiste à présenter une analyse expérimentale de l'algorithme PSO, en premier lieu, nous expliquons brièvement le principe de fonctionnement, par la suite nous présentons l'algorithme avec les deux approches mono et multi critères, et nous donnons une comparaison détaillée en termes de performances.

II.2 L'algorithme PSO (Particule Swarm Optimisation)

La PSO est un algorithme à population définie un espace de recherche constitué des particules qui sont placées aléatoirement et une fonction objective à optimiser. Le principe de l'algorithme est de déplacer ces particules afin qu'elles trouvent l'optimum [Gherboudj,2013]. Cette méthode d'optimisation se base sur la collaboration des individus entre eux. Ainsi, grâce à des règles de déplacement très simples (dans l'espace des solutions), les particules peuvent converger progressivement vers un minimum local. Dans le domaine de la Radio Cognitive, on retrouve notamment des algorithmes engendrés pour l'optimisation de QOS, et l'adaptation aux conditions de l'environnement. Dans ce travail, on s'intéresse à 03 fonctions objectives qui représentent le besoin de l'utilisateur.

II.2.1 Organigrammes PSO standard

La méthode d'Optimisation en Essaims Particulaires (OEP), consiste en un essaim de particules. Ces particules coexistent et évoluent dans l'espace de recherche, basés sur leurs expériences et le savoir partagé avec le voisinage [Kennedy et al., 2001]. Comme on peut le voir sur l'organigramme suivant :

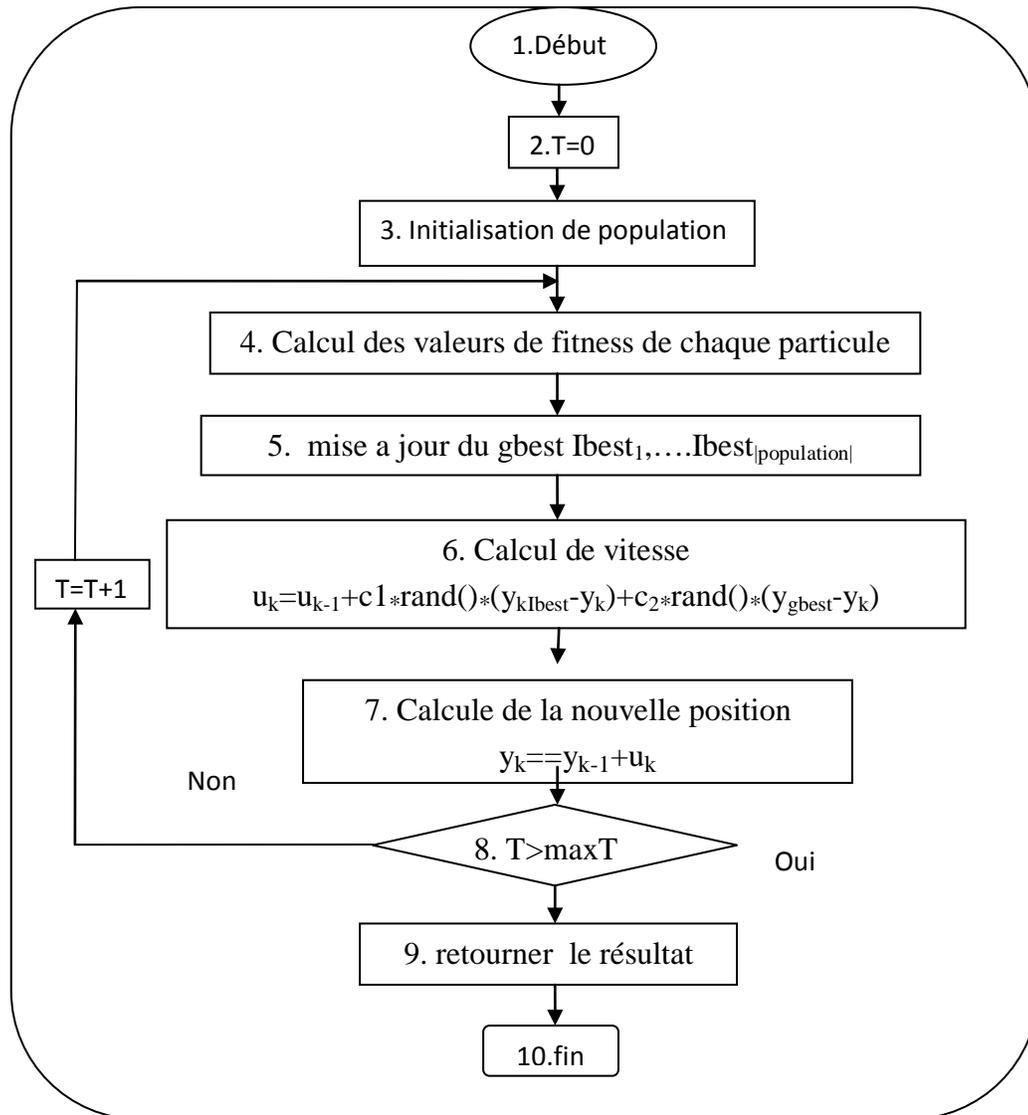


Figure II. 1 : Organigramme standard de PSO

Les étapes de cet algorithme sont expliquées dans ce qui suit :

Au début on part d'un ensemble initial d'individus « initialisation de population », qui est généré de façon aléatoire dans l'espace de recherche.

Par la suite, afin de mettre à jour les valeurs de g_{best} et l_{best} , leurs fitness des particules sont calculées à chaque itération, puis g_{best} et l_{best} sont mises à jours.

Après, chaque particule de l'essaim est définie par sa vitesse de déplacement (u_k) dans un espace de recherche entre les itération T et $T+1$, et il est capable d'évaluer la qualité de sa position qu'elle a atteinte et il sera dirigé après par l'attraction vers la meilleure position qu'elle a trouvé présent, appelé personnel best (l_{best}), et par l'attraction vers la meilleure position trouvée par les autres particules (soit tous particules, soit un voisinage locale), appelée globale best (G_{best}). La population se déplace dans un espace de recherche à base des deux équations suivantes:

$$\begin{cases} u_k = u_{k-1} + c_1 * \text{rand}() * (y_{k|l_{best}} - y_k) + c_2 * \text{rand}() * (y_{g_{best}} - y_k) \\ y_k = y_{k-1} + u_k \end{cases}$$

où y_k et u_k sont respectivement la position et la vitesse de la particule dans chaque itération ; l_{best_k} : la meilleure position obtenue par la particule et g_{best_k} : la meilleure position obtenue par l'essaim (tous les particules).

De plus, c_1 , c_2 sont deux constantes qui représentent les coefficients d'accélération, $\text{rand}()$: nombre aléatoire tiré de l'intervalle $[0,1]$.

Ce mécanisme va se répéter jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit vérifié, à la fin, on considère la ou les solutions obtenues comme satisfaisantes.

II.3 La fonction objective (Fitness Function)

Dans l'orientation des algorithmes génétiques la PSO est destiné à trouver une meilleure solution et mesurer la performance à l'aide d'une fonction objective qui permet de résoudre un certain type de problème d'optimisation statique ou dynamique, mono ou multi critères. Dans notre étude la fonction objective doit représenter le problème de la qualité de service liée à l'utilisateur secondaire dans les réseaux cognitifs. De ce fait, quand un utilisateur secondaire veut transmettre il doit d'abord connaître l'état interne de son système (économie d'énergie, performance élevée...) et aussi externe (les autres utilisateurs, atténuation du signal), et doit pouvoir s'adapter en modifiant ses paramètres (puissance de transmission, type de modulation) en fonction du contexte.

Les trois principes critères qui sont prise en charge dans les systèmes de télécommunication et qui sont appliqués dans ce travail :

- Minimisation du taux d’erreur.
- Maximisation du débit.
- Minimisation de la consommation d’énergie.

La fonction objective doit définir ces trois critères, et la présentation mathématique de ces critères illustre dans le tableau suivant [Newman et aL,2007]:

Fonction	
Minimiser le taux d’erreur	$1 - \frac{\log_{10}(0.5)}{\log_{10}(\overline{P_{be}})}$
Maximisation de débit	$\frac{\log_2(M)}{\log_2(M_{max})}$
Minimisation de la consommation d’énergie	$1 - \frac{P_i}{n * P_{max}}$

Tableau II. 1 : Représentation mathématique des trois critères

Pour calculer le taux d’erreur(Pbe) sur les canaux, il existe divers types de fonctions qui sont spécifiques pour chaque type de modulations utilisées [Newman et aL,2007] :

Type de modulation	P _{be}
BPSK	$Q\left(\sqrt{\frac{P_i}{N}}\right)$
M-ary PSK	$\frac{2}{\log_2(M)} Q\left(\sqrt{2 * \log_2(M) * \frac{P_i}{M} * \sin \frac{\pi}{N}}\right)$
M-ary QAM	$\frac{4}{\log_2(M)} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q\left(\sqrt{\frac{3 * \log_2(M) P_i}{M - 1 N}}\right)$

Tableau II. 2: Taux d'erreur sur les différents types de modulation

Les trois fonctions montrées utilisent la fonction $Q(x)$, qui représente la fonction d'erreur de Gauss, approximation de cette fonction représente [Kingsbury, 2015] :

$$Q(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{1.64x + \sqrt{0.76x^2 + 4}}$$

Les différents paramètres de ces fonctions sont définis dans le tableau suivant [Hassaine, 2014] :

Variables	Définition
P_i	La puissance du signal sur la sous-porteuse i
N	Le nombre de porteuses
P_{\max}	La puissance maximale qu'on peut ne seule sous-porteuse
M	L'index de modulation
M_{\max}	L'index de modulation maximal
\bar{P}_{be}	Le taux d'erreur moyen sur N canaux
N	Le taux d'atténuation

Tableau II. 3: Définition des différents paramètres

Les problèmes de la qualité de service dans les réseaux de la radio cognitive sont définis par une fonction objective qui doit comporter trois critères (minimisation de taux d'erreur, maximisation de débit, minimisation de la consommation d'énergie.

D'après l'étude [Newman et al, 2007], la fonction objective résulte de la somme pondérée des trois fonctions, ainsi, chacune des trois fonctions est associées à un poids pour déterminer l'importance accordée à chaque objectif, la somme de tous ces poids est égale à 1.

$$\text{Fonction objective} = \begin{cases} P_1^* \text{ fonction de minimisation de taux d'erreur+} \\ P_2^* \text{ fonction de maximisation du débit+} \\ P_3^* \text{ fonction de la minimisation de la consommation} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^3 P_i = 1 \text{ avec } P_i \in [0,1]$$

II .4 Les modes de transmissions

La résolution d'un problème d'optimisation consiste à rechercher solution d'une qualité suffisante parmi un ensemble de solutions au regard d'un (des) critère(s) donné (s) et des objectifs à satisfaire. Elle consiste à maximiser ou à minimiser une ou un ensemble de fonctions fitness en respectant des contraintes liées au problème traité.

La qualité de service a comme objectif d'optimiser l'utilisation en fonction de la demande de l'utilisateur, il peut par exemple avoir besoin d'une utilisation intensive de la bande passante dans trois mode ; le cas d'une utilisation carrément multimédia (mode multimédia), il peut aussi vouloir économiser la batterie (mode batterie faible), ou bien éviter les erreurs de transmission dans le cas d'une application critique (mode urgence).

Un mode de transmission peut être considéré comme une association de poids aux différents objectifs de la radio, donnant ainsi à la fonction la plus importante un poids élevé, la fonction qui est en conflit avec la fonction principale recevra un poids faible, tant dit que la fonction qui ne les pas, recevra un poids intermédiaire.

Dans notre étude nous allons définir pour les trois cas le tableau suivants :

Mode de transmission	Poids		
	Taux d'erreur	Débit	Consommation
Mode urgence	0.80	0.05	0.15
Mode multimédia	0.05	0.80	0.15
Mode batterie faible	0.15	0.05	0.80

Tableau II. 4: Poids associés aux différents modes de transmission

Les différents poids sont utilisés pour constituer les fonctions objectives de chaque mode :

a- Mode urgence :

$$\text{Fonction Objective} = (0.80 * F_{\text{min taux d'erreur}}) + (0.05 * F_{\text{max débit}}) + (0.15 * F_{\text{min consommation}})$$

b- Mode multimédia :

$$\text{Fonction Objective} = (0.05 * F_{\text{min taux d'erreur}}) + (0.80 * F_{\text{max débit}}) + (0.15 * F_{\text{min consommation}})$$

c- Mode batterie faible :

$$\text{Fonction Objective} = (0.15 * F_{\text{min taux d'erreur}}) + (0.05 * F_{\text{max débit}}) + (0.80 * F_{\text{min consommation}}).$$

II.5 Espace de Conception

II .5 . 1 Représentation de l'environnement (Atténuation)

Pour simuler un environnement multicanaux dynamique, une valeur d'atténuation aléatoire comprise entre $]0, 1\text{dB}]$ a été générée pour chaque canal.

II .5 .2 Structure d'une particule

L'algorithme PSO agit sur un ensemble de particule, Chaque particule est considérée comme une solution du problème, où elle possède une position (vecteur solution) et une vitesse, de plus, chaque particule possède une mémoire lui permettant de se souvenir de sa meilleure performance (en position et en valeur)

Dans la réalisation de l'algorithme PSO, on a besoin de trois paramètres qui sont liés directement aux différentes modes de transmissions, il ya principalement la puissance du signal qui permet de minimiser le taux d'erreur et la consommation d'énergie, et les divers types de modulations permettent de maximiser le débit ou minimiser le taux, et le nombre de bits à transmettre sur un canal

En résumé, on a besoin pour chaque canal d'un nombre de bits, une puissance et d'un type de modulation(PSK/QAM), la forme d'une solution ou d'une particule est comme suit :

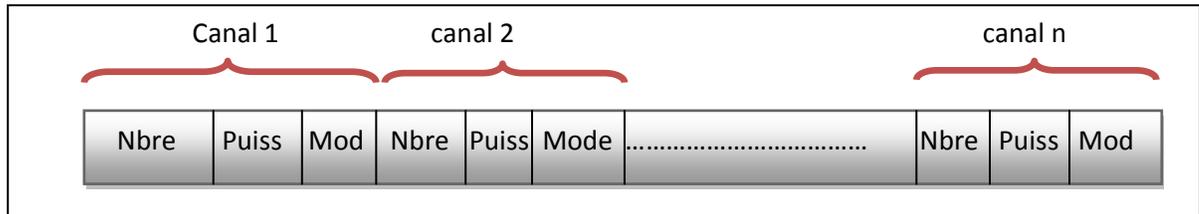


Figure II. 2: Structure d'une particule

➤ **Puissance**

D'après l'étude [Newman et al,2007], l'intervalle de puissance utilisé dans cette étude, il correspond à 94 valeurs, de 0.1 à 2.4808 mW avec un incrément de 0.0256 mW, la valeur de 2.4808 mW a été choisie car le niveau de puissance maximum pour une largeur de bande de 1MHz est de 2.5 mW dans la bande U-NII LOW (Unlicensed National Information Infrastructure) : [5.15 – 5.25 GHz].

➤ **Modulation**

Pour la simulation, nous avons utilisé différents types de modulations, la première correspond à la modulation PSK (Phase Shift Keying), et la deuxième à la modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

➤ **Nombre de bit**

Chaque type ayant plusieurs index de modulations (nombre de byte par symbole) qui correspond à l'intervalle : 2^i avec $i \in [0..5]$.

II .5 .3 Codage

Dessine un des facteurs les plus importants dans le déroulement de l'algorithme PSO, chaque paramètre d'une solution est assimilé à une particule, on doit trouver une manière de coder chaque particule de façon unique, nous allons étudier la performance de codage réel avec un nombre de canal dynamique.

▪ **Codage réel de la puissance**

Le nombre de puissance est dynamique et il doit être compris entre 1 et 94 valeurs, si par exemple, on prend le cas de 16 puissances, le nombre de bits nécessaire au codage est de 4 bits peu importe la valeur des puissances générées, dans ce cas, le codage de chaque puissance est présenté dans le tableau suivant :

Valeur	1	2	3	4	5	90	91	92	93
Puissance	0.1	0.1256	0.1512	0.1768	0.2024	2.3783	2.403	2.4295	2.4551

Tableau II. 5: codage réel de la puissance

▪ **Codage réel de la modulation**

Dans notre simulation, nous avons utilisé deux types de modulations, PSK et QAM sont respectivement 0 et 1, on les montres dans le tableau suivant :

Valeur	0	1
modulation	PSK	QAM

Tableau II. 6: Codage réel de la modulation

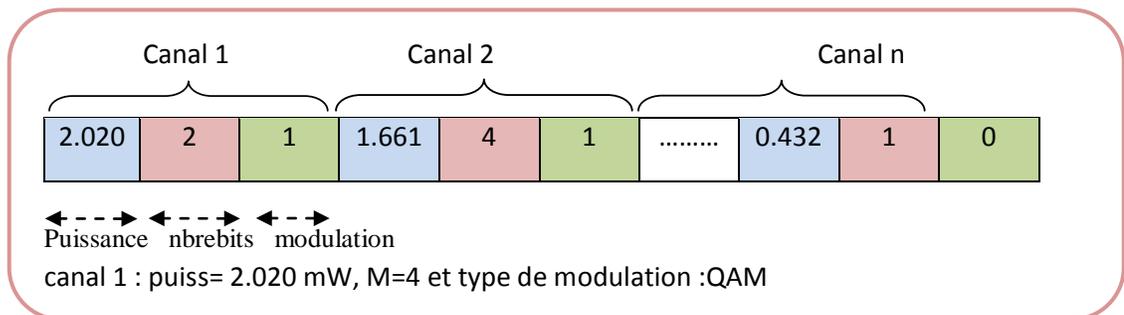
▪ **Codage de nombre de bits**

Le nombre de bits nécessaire au codage correspond à l'intervalle 2^i avec $i \in [0,5]$, le tableau c'est dessus récapitule le nombre de bits par symbole.

Valeur	0	1	2	3	4	5
nombre de bits	1	2	4	8	16	32

Tableau II. 7: Codage réel de nombre de bits

- Pour la représentation réelle de l'individu, la figure II.3 représente un exemple de codage réel, chaque canal contient trois parties chaque une correspondant à une puissance, type de modulation et le nombre de bits :



II .5.4 Population initiale

La population initiale est généralement initialisée de façon aléatoire et uniforme, et sa taille est le seul paramètre mis en jeu.

A son tour, le taux d’atténuation est généré aléatoirement pour chaque canal, ce taux est utilisé par l’ensemble des individus.

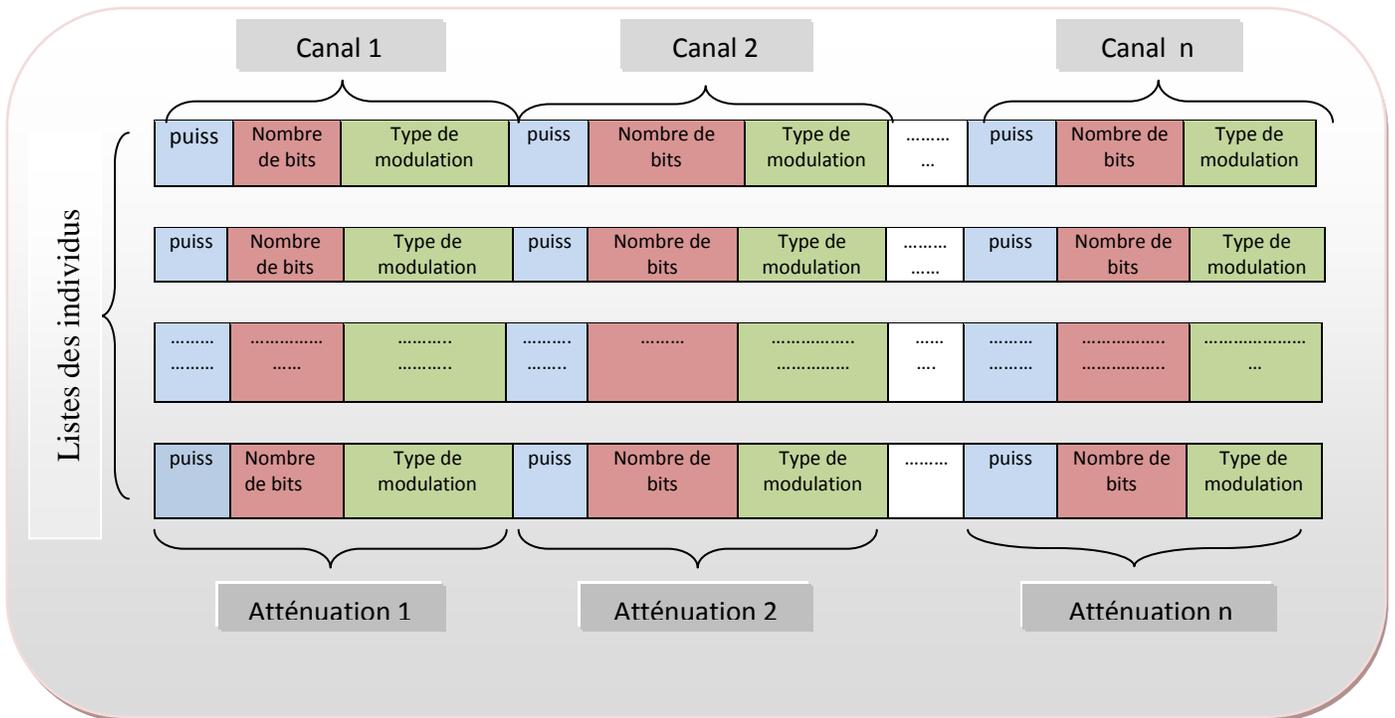


Figure II. 3: Liste des individus

II .5.5 Organigramme PSO discret(mono critère)

Les étapes de cet algorithme sont résumées dans l’organigramme [Dixit et al, 2010] présenté dans la figure suivante:

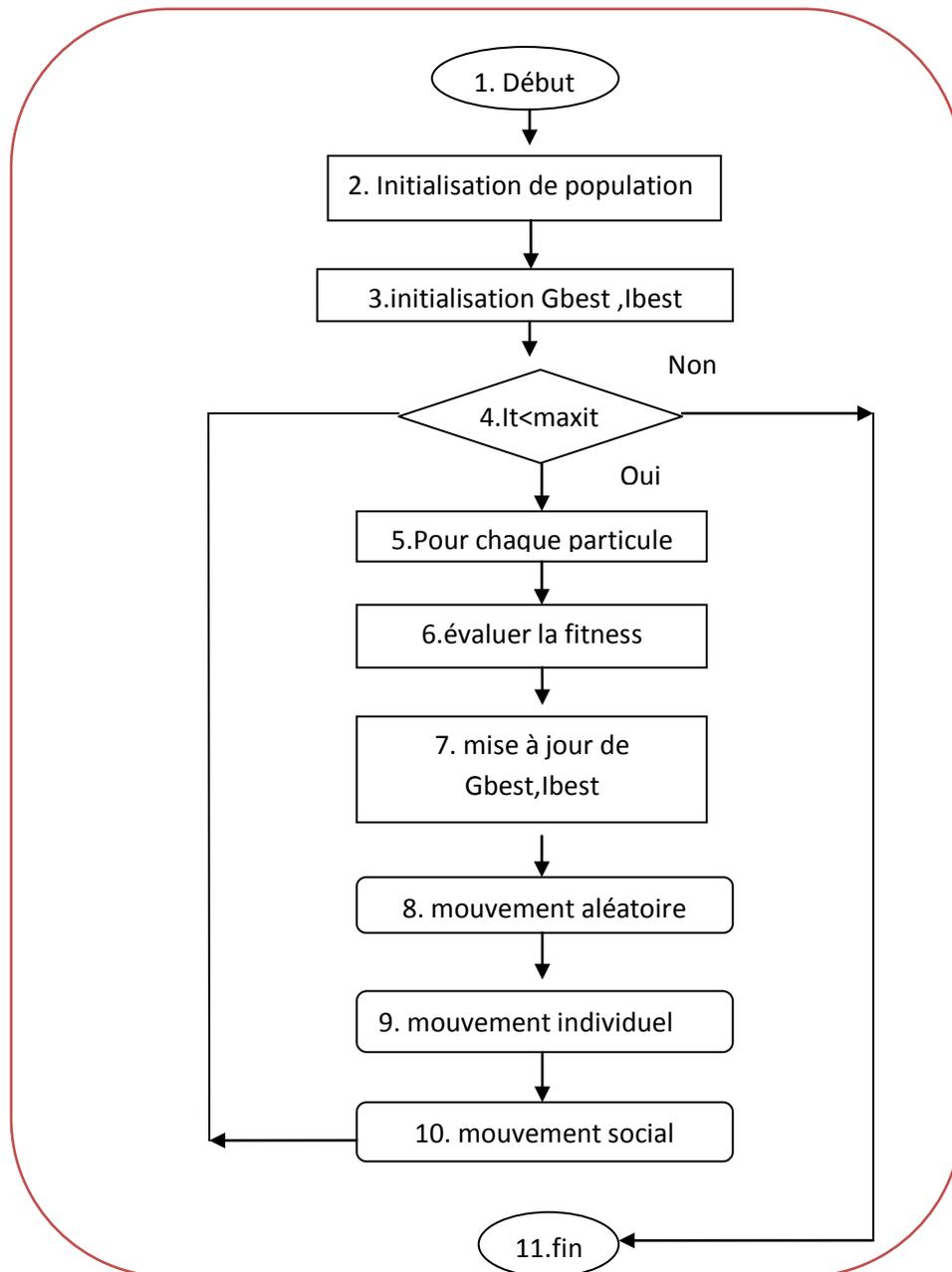


Figure II. 4: Organigramme discret de PSO (mono critère)

Les étapes de cet algorithme sont expliquées dans ce qui suit :

Etape 1: Initialiser chaque vecteur de particule de l'essaim aléatoirement dans l'espace de recherche.

Etape 2: initialiser les valeurs de gbest de la population et le lbest de chaque particule.

Etape 3 : Appliquer l'algorithme PSO et calculer la fitness de chaque particule en utilisant la fonction objective.

Etape 4 : Mettre à jour les valeurs de gbest et lbest des particules.

Etape 5: Appliquer le mouvement aléatoire par exemple :

Si la valeur initiale de $X_i = \{(0.12, 2, 1), (1.21, 1, 0), (2.02, 2, 1), (0.98, 1, 1)\}$, alors en changeant le 3eme canal par la valeur partielle du $X_{gbest} = (2.23, 3, 0)$, la nouvelle valeur du X_i sera

$$X_i = \{(0.12, 2, 1), (1.21, 1, 0), (2.23, 3, 0), (0.98, 1, 1)\} ,$$

Etape 6 : Appliquer le mouvement individuel sur le 2eme canal par exemple

$$X_i = \{(0.12, 2, 1), (1.21, 1, 0), (2.23, 3, 0), (0.98, 1, 1)\} , \text{ avec } (1.21, 1, 0) \in X_{lbest}$$

Etape 7 : Appliquer le mouvement social sur le 4eme canal par exemple

$$X_i = \{(0.12, 2, 1), (1.21, 1, 0), (2.23, 3, 0), (0.98, 1, 1)\} \text{ avec, } (0.98, 1, 1) \in X_{gbest}$$

Etape 8 : Arrêter la recherche si la condition d'arrêt (itération < max itération) est vérifiée et afficher la meilleure solution gbest Sinon, retourner à l'étape3.

II .5 .6 Organigramme PSO discret (multi critères)

Le diagramme de l'algorithme multi critères est le même que le mono critère avec un seul changement dans les étapes 3 et 7, ainsi le calcul de fitness dans le multi critères donne le résultat avec trois scores (taux d'erreur, taux de consommation d'énergie ,débit) se qui rendre le choix de Gbest et lbest est plus difficile, c'est pour ça ils sont implémenté la fonction dominance floue (fuzzy dominance) qui fait la comparaison entre le Gbest dans tous la population et le lbest pour chaque individu, et il fonctionne comme suit :

$$F.D E (x,y) \begin{cases} 0 & x < y \\ x-y- \varepsilon & \text{sinon avec } \varepsilon \in [0,1] \end{cases}$$

Les étapes de cet algorithme PSO multi critères sont résumées dans l'organigramme suivant :

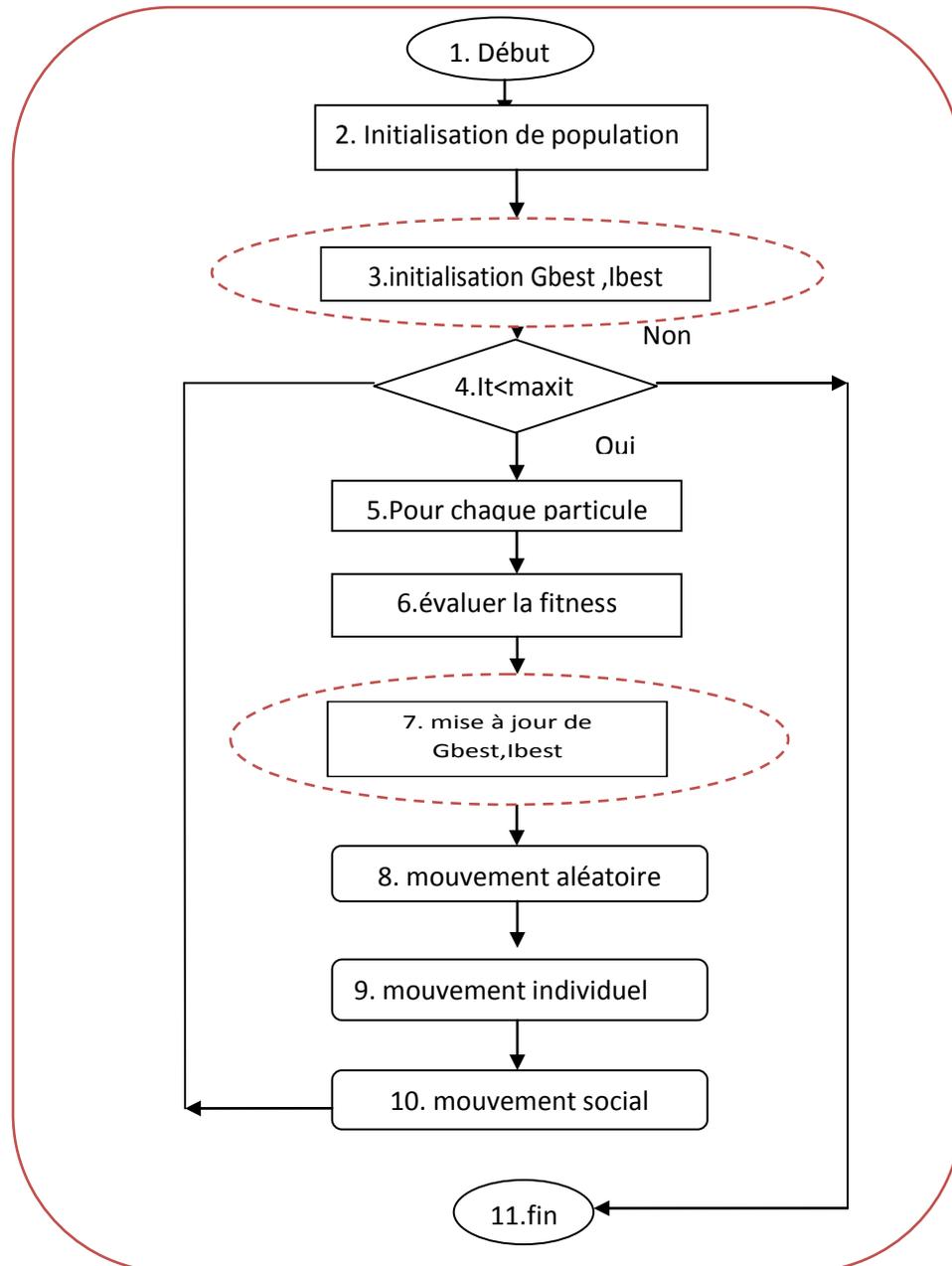


Figure II. 6: Organigramme discret de PSO(multi critères)

Exemple :

On prend deux valeurs :

$F_{\text{multi}}(X_i) = (0.9, 0.8, 0.7)$ et $F_{\text{multi}}(X_{G\text{best}}) = (0.95, 0.75, 0.6)$

Et on applique la fonction F.D qui donne le résultat suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} F.D(F_{\text{multi}}(X_i), F_{\text{multi}}(X_{G\text{best}})) = 1/3(\sum F.D.E(x,y)) \\ 1/3(0+0.05+0.1) = 0.05 \\ F.D(F_{\text{multi}}(X_{G\text{best}}), F_{\text{multi}}(X_i)) = 1/3(0.05+0+0) = 0.01 \end{array} \right.$$

On remarque que la valeur

$F.D(F_{\text{multi}}(X_{G\text{best}}), F_{\text{multi}}(X_i)) < F.D(F_{\text{multi}}(X_i), F_{\text{multi}}(X_{G\text{best}}))$, donc on fait la mise à jour de $X_{G\text{best}}$

II.6 Présentation de l'application

Nous avons proposé une simple application codée en java par l'outil « NetBeans », et voilà l'interface d'accueil de notre application.



Figure II. 7: Interface d'accueil

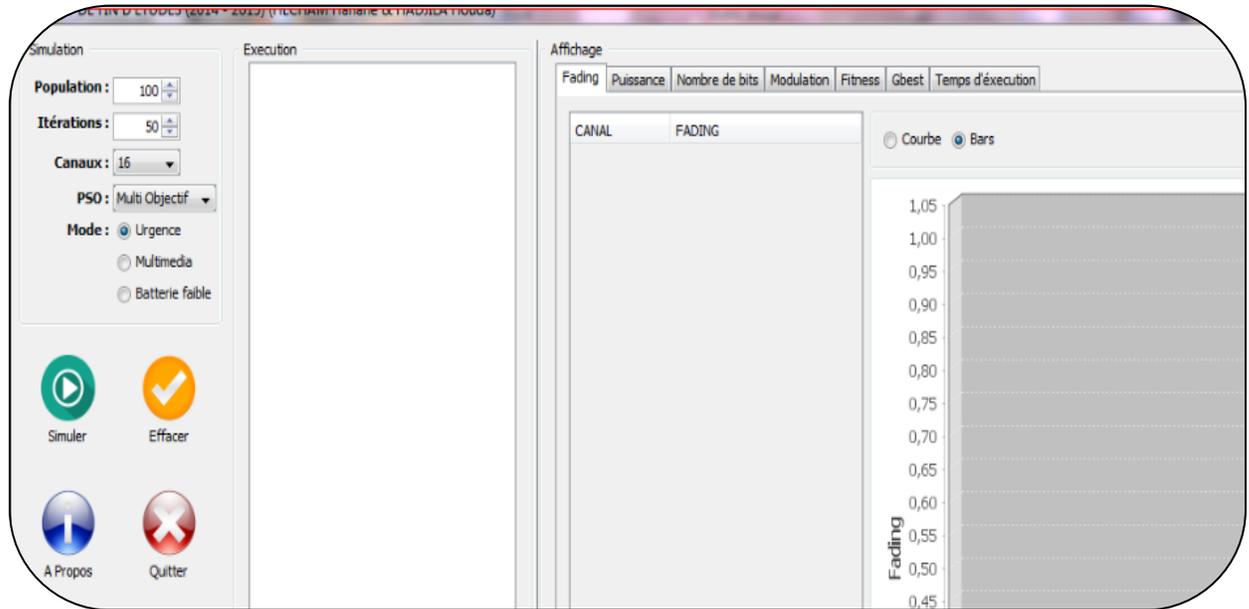


Figure II. 8: Fenêtre principale

Dans notre application et dans l'étape de configuration, on trouve pour le premier panel « Simulation » le choix des différents paramètres :

La taille de population, le nombre des itérations.

Le nombre des canaux et le type de l'algorithme PSO (mono critère ou multi critères)

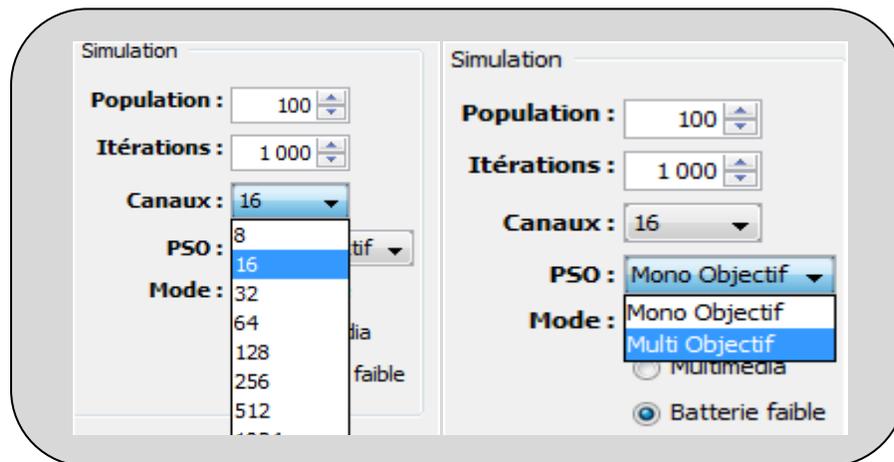


Figure II. 9: fenêtre simulation



Figure II. 10: fenêtre d'affichage

Après la simulation d'application, nous avons généré des histogrammes pour tous les caractéristiques de canaux (fading, puissance, nombre de bits, modulation) et aussi un graphe pour la fonction objective dans les deux approches et pour chaque mode de transmission.

La figure II.11 illustre quelques graphes d'une simulation de l'algorithme mono critère effectuée au mode urgence avec 16 canaux :

Mode urgence

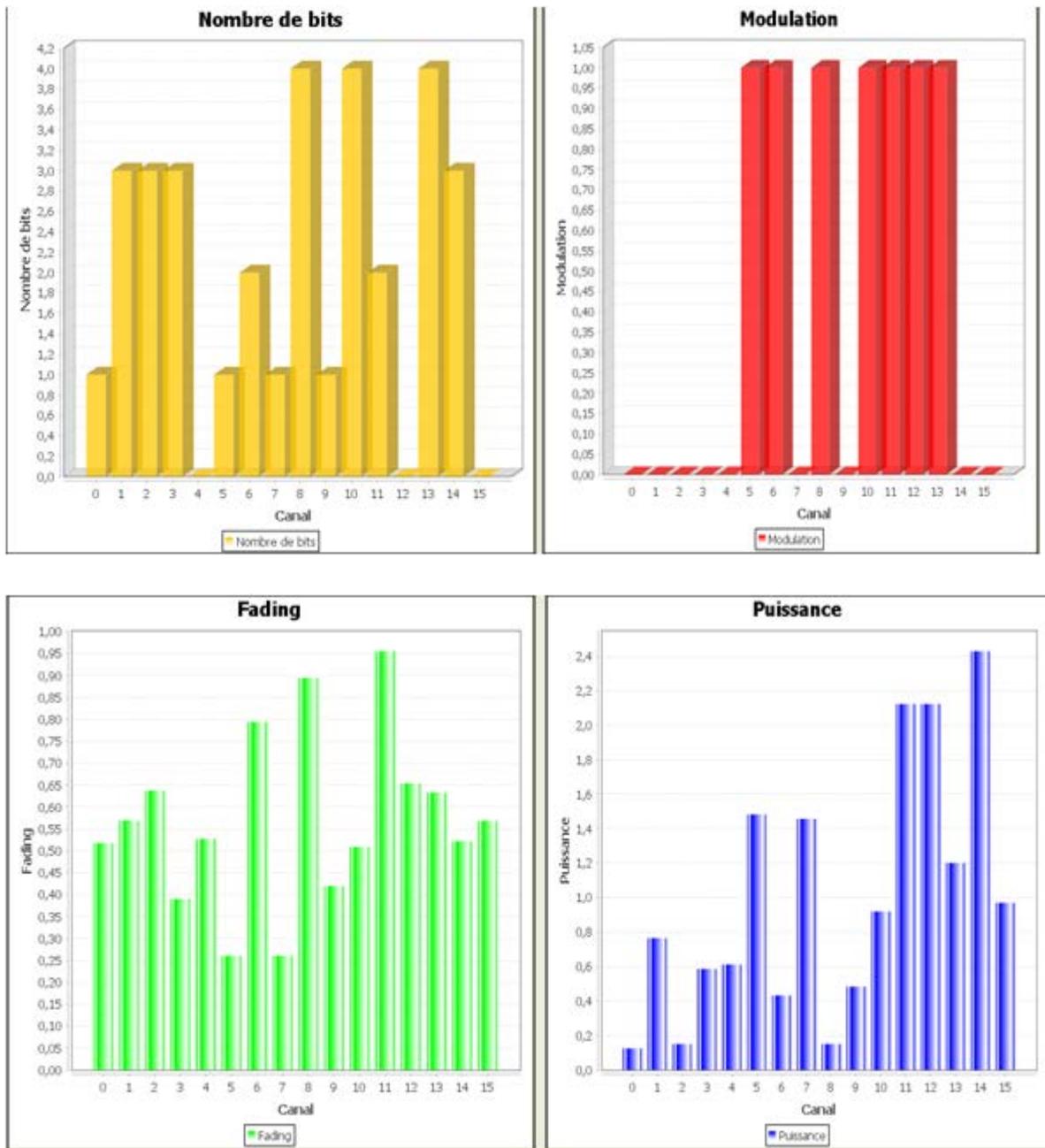


Figure II. 11: Histogrammes des caractéristiques de canaux

II.7 Expérimentation et discussion

Pour comparer les deux algorithmes PSO dans les différents modes de transmission et en termes de temps, nous allons fixer les mêmes paramètres pour les deux cas, ainsi pour chaque mode la moyenne de 10 simulations est présentée dans le tableau suivant :

		Mode Urgence	Mode Multimédia	Mode Batterie faible	Temps
Gbest(mono critère)		0.9765	0.6545	0.9474	1120 ms
Gbest (multi critères)	Solution adaptée au mode mono critères	0.9175	0.8712	0.4297	1130 ms
	Trois scores	(0.93/0.81/0.96)	(0.93/0.81/0.96)	(0.93/0.81/0.96)	

Tableau II. 8: Meilleurs Gbest obtenus pour les trois modes

Ces résultats représentent la meilleure solution (Gbest) obtenue par la fonction objective, en utilisant une population de taille =100, avec un nombre d'itération =1000, et 16 pour les canaux.

Les résultats obtenus et l'étude comparative réalisée entre les deux algorithmes proposés en termes de meilleurs solutions montrent que le mono critère est plus efficace que le multi critères, on remarque cela pour les deux modes de transmission (urgence et batterie faible) par contre on trouve la valeur du mode multimédia est un peu grande dans l'approche multi par rapport la valeur dans le mono critère, par la suite, on a presque le même le temps d'exécution pour chaque approche.

II .7.1 Etude du taux d'optimalité

Le but cette analyse est de comparer les résultats obtenus avec l'algorithme mono et multi critères, mais en changeant le nombre de canaux disponibles.

Le tableau suivant illustre les différentes valeurs obtenues pour chaque approche, pour que les résultats soit cohérent, la même population et aussi même nombre d'itération, avec divers simulations, monocritère avec les trois modes de transmission et multi critères avec les trois fonctions objectifs mais avec le même nombre canaux.

canaux	Monocritère			Multi critère		
	Mode urgence	Mode multimédia	Mode batterie	Débit	Taux erreurs	Consommation d'énergie
8	0.9754	0.7854	0.9415	1.0	0.955	0.9478
16	0.9703	0.6358	0.9402	0.9375	0.6875	0.9671
32	0.9450	0.5283	0.9417	0.9487	0.5935	0.9838
64	0.9119	0.5057	0.9408	0.9275	0.4361	0.9923
128	0.8895	0.4505	0.9438	0.8962	0.3525	0.9954

Tableau II. 9: taux d'optimalité vs nombre de canaux

Ces résultats représentent la valeur Gbest obtenue par la fonction objective après 1000 itérations et avec une population de 100 individus, ils sont considérés comme étant des solutions proche de l'optimal pour chaque mode de transmission (et les fonctions partielles pour le cas multi critères).

Les résultats obtenus par la PSO sont très satisfaisants et confirment bien les performances de la méthode; sa simplicité d'implémentation, son efficacité et sa rapidité lui donne un avantage conséquent. Néanmoins par l'expérimentation, on a remarqué que les solutions ne peuvent être garanties même en augmentant le nombre de canaux, mais le multi critères est moins efficace que le mono critère, mais il permet de rendre compte des compromis entre critères dans le cas où l'utilisateur ne peut pas exprimer les priorités.

II .7.2 Convergence de la fonction objective

L'histogramme suivant démontre la convergence de la fitness en termes de nombre d'itération qui égale 1000 en mode urgence dans la version mono critère, pour cette simulation on prend une population de taille =100 et nombre de canaux =16, (avec une Gbest =0.9670 dans un temps =2715 ms).

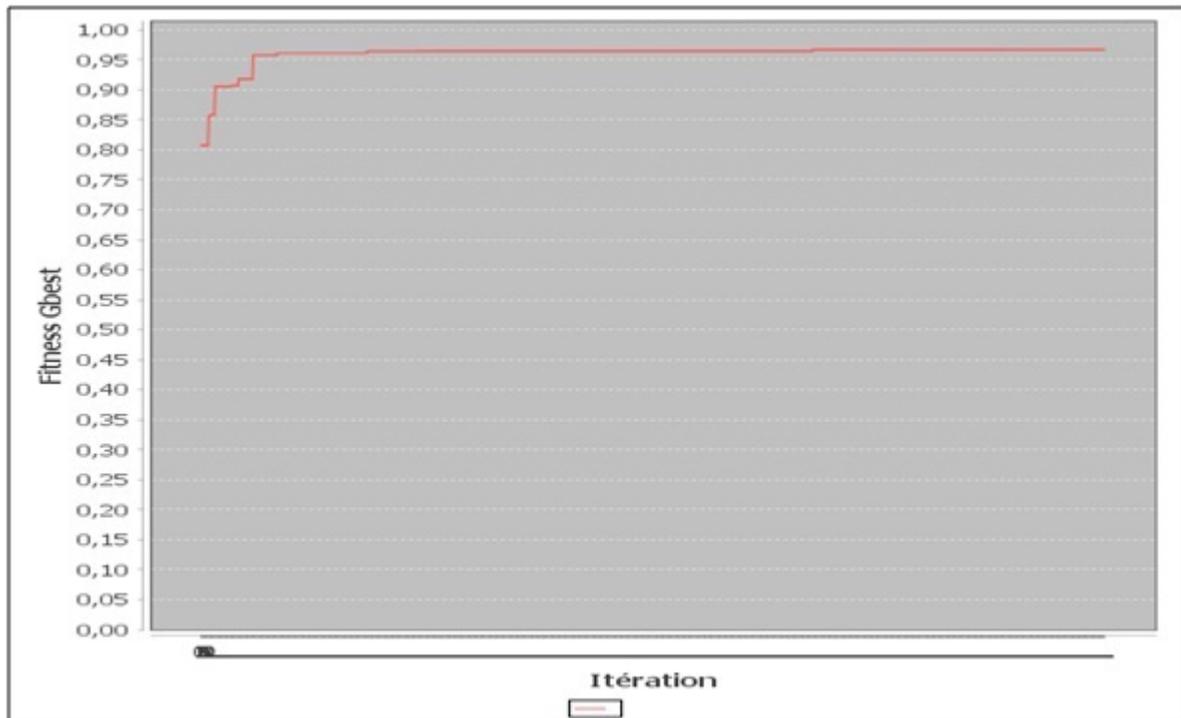


Figure II. 12: la convergence de fitness (mono critère)

On distingue qu'à chaque itération, la valeur de la fitness augmente jusqu'à l'itération 600, on remarque une convergence et presque la fitness stabilise à la valeur 0.9670.

On prend les mêmes paramètres pour obtenir les 3 scores de la fitness de la version multi critères dans l'histogramme suivant :

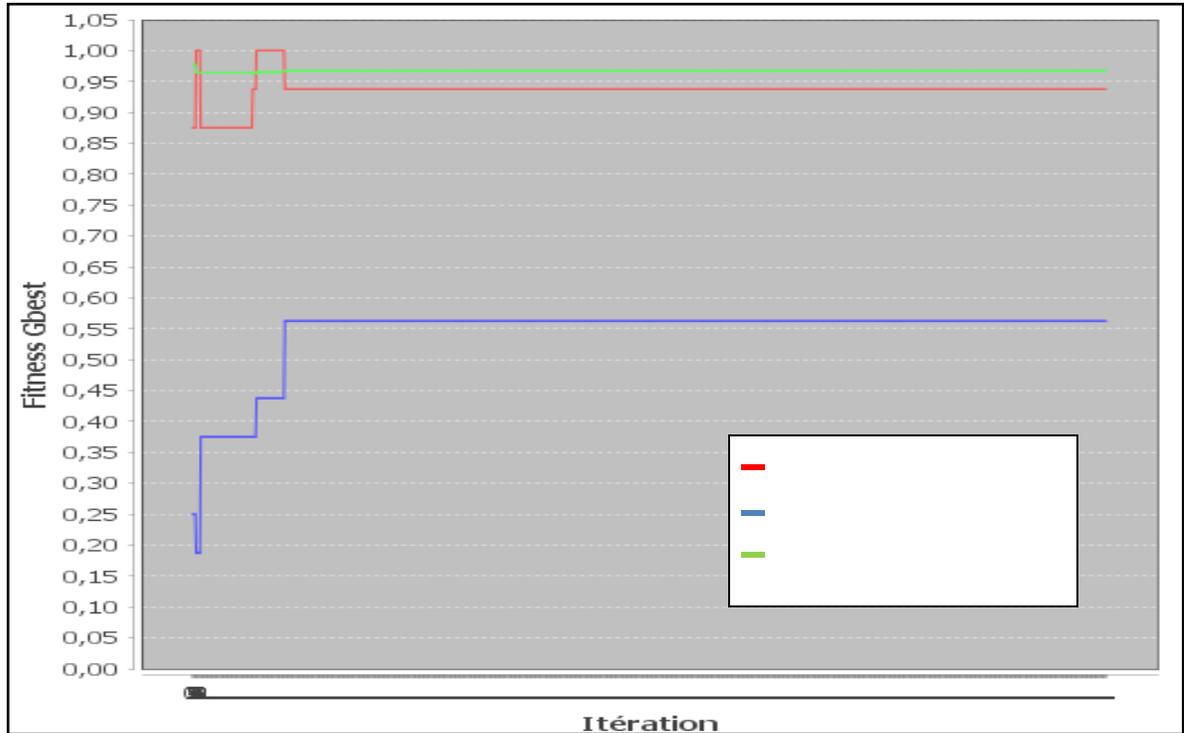


Figure II. 7: la convergence de fitness (multi critères)

Nous constatons qu'avec l'algorithme PSO multi critères a obtenu les meilleures solutions pour les trois fonctions objectives (maximisation de débit, minimisation de taux d'erreurs et minimisation de consommation des énergies) en fonction de nombre des itérations, par exemple, la fonction de maximisation de débit est stable à partir de l'itération 112 (la valeur égale 0.9383), et aussi le taux d'erreurs est en augmentation jusqu'à l'itération 100, et la fonction de consommation des énergies est constaté à partir d'itération égale 10.

- Le temps de convergence (mono critère)

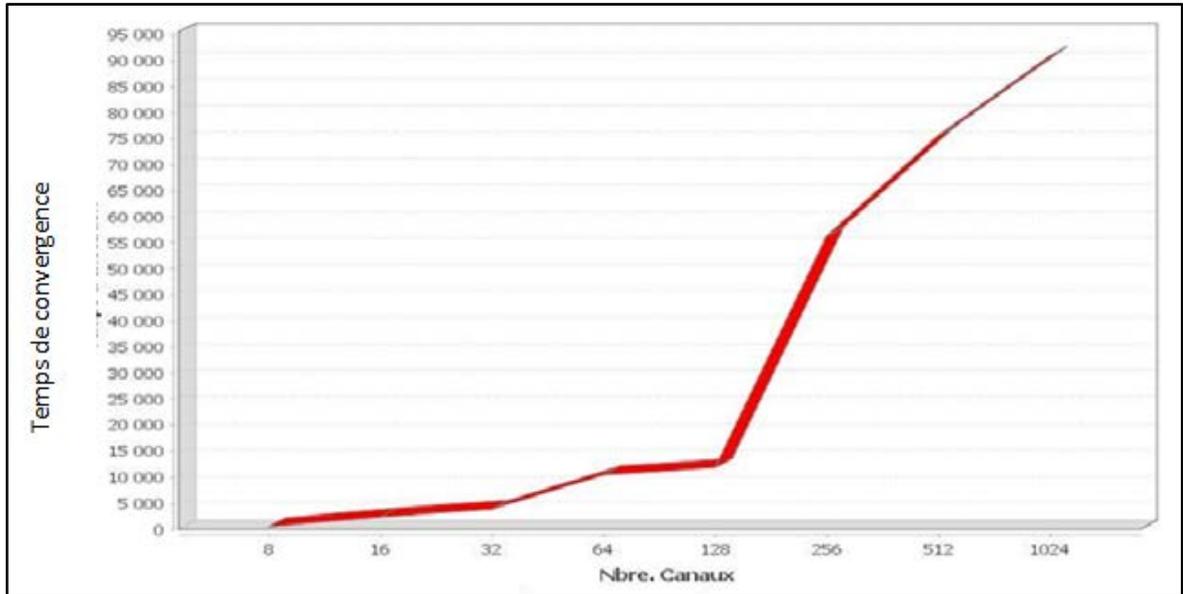


Figure II. 8: le temps de convergence de cas mono critère

On remarque que le temps de convergence augmente de manière linéaire (par tranche) en fonction du nombre de canaux, plus particulièrement, on constate deux intervalles, pour $n \in [8, 128]$ canaux, la pente < 1 est cela veut dire le temps de convergence est assez petit, en outre pour $n \in]128, 1024]$ canaux, la pente > 1 est cela veut dire que le temps n'est pas acceptable pour les applications de temps réelles.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre contribution avec la méta-heuristique PSO ; cet algorithme est appliqué pour l'accès dynamique au spectre. Selon les expérimentations, on remarque que PSO fournit des bons résultats de la solution optimale.

De plus, nous avons remarqué qu'avec l'approche mono critère, l'algorithme a réussi de trouver de meilleures solutions pour les trois modes par rapport au cas multi critères. En outre nous avons aussi constaté que le temps d'exécution des deux versions est presque le même.

Conclusion générale

Conclusion générale

La radio cognitive est un domaine technique aux frontières des télécommunications et de l'intelligence artificielle qui est conscient de son environnement. Elle est, avant tout, un système radio qui met en place, en plus de sa fonction principale (la communication), la RC est considérée comme une technologie émergente en matière d'accès sans fil, visant à améliorer considérablement l'utilisation du spectre radio en permettant d'y accéder de manière opportuniste.

Ainsi, le travail présenté dans ce mémoire vise à enrichir les techniques d'accès dynamique au spectre, afin de réaliser notre objectif, nous avons proposé une méta-heuristique, intitulée PSO (ParticleSwarmOptimization), cette méthode (avec les versions mono et multi critères) a donné des résultats très encourageants en termes de temps et l'optimalité

Les fonctions objectives traitées dans ce travail, couvre la maximisation du débit, minimisation du taux d'erreur et la minimisation de la consommation d'énergie, nous avons montré aussi une étude comparative entre les deux approches de PSO (mono et multi), en prenant en considération le nombre de canaux et le même fading et l'intervalle de puissance.

Nous avons constaté que l'approche mono critère est meilleure que la version multi critères en termes d'optimalité.

Les résultats de simulation obtenus sont satisfaisants pour la résolution des problèmes d'optimisation, ils montrent que la PSO est un algorithme d'optimisation très performant.

Comme perspective de ce travail, nous pouvons étendre, les paramètres d'entrées de l'algorithme, comme on l'indique dans [Newman et al,2007], tels que la taille de la trame, le nombre de symboles par unité de temps... , nous pouvons aussi étendre le besoin de l'utilisateur, afin de couvrir d'autres fonctions objectives (par exemple l'interférences).

Nous avons aussi, comparé les performances de PSO avec d'autres alternatives de la classe méta-heuristiques, ou en faisant appel à d'autres techniques, telles que la théorie des jeux, les approches probabilistes.....

Références bibliographiques

- [Akyildiz et al, 2006] I. F.Akyildiz , W. Y Lee, M. C.Vuran and S. Mohanty, «Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey». *Computer Networks*, 50(13), 2127-2159 (2006).
- [Amraoui et al, 2012] A. Amraoui, B .Benmammam, and Fethi Tarik Bendimerad. Utilisation des Enchères dans les Réseaux Radio Cognitifs pour l'Accès Dynamique au Spectre."Première Conférence Nationale sur les Télécommunications' CNT'2012'». (2012)
- [Bendella, 2014] M.S.Bendella. « Gestion de spectre dans les réseaux de radio cognitive par la formation de coalitions » thèse de Master, Université Abou Bakr Bekaid. Tlemcen (2014)
- [Boissier et al, 2004] O. Boissier, S. Gitton, P. Glize, « Caractéristiques des Systèmes et des Applications», dans *Systèmes Multi-Agents*, vol. 29, pp. 25-54, Editions TEC & DOC, (2004).
- [Bond et al, 1988] H. Bond et L. Gasser, Morgan Kaufmann Publishers «Readings in Distributed Artificial Intelligence», 649 pp , ISBN: 0-934613-63-X, San Mateo, CA, (1988).
- [Clerc et al, 2004] CLERC et SIARRY, « Une nouvelle méta-heuristique pour l'optimisation difficile : la méthode des essais particuliers » Vol. 3-7 France Télécom R&D; Université Paris (2004).
- [Dixit et al, 2010] A.Dixit, R. Kumar « PSO based Cross Layer Optimization for primary user selection in cognitive radio “ National institute of Technologies, Kurukshetra, Haryana , India (2010)
- [Eberhart et al, 1995] R. Eberhart and J. Kennedy. «A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science*» », MHS '95. Proceedings of the Sixth International Symposium on, pages 39 43, (1995).
- [FCC, 2008] Federal Communications Commission(FCC). «Radio Technologies Proceeding» (CRTP), ET Docket, no. 03-108. Washington(2008).

- [Ferber,1999] J. Ferber. « Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence», Addison Wesley Longman, paper: ISBN-0-201-36048-9 (1999).
- [Germain et al, 2008] F. Germain, J.Yang,S.Lasaulce, J.Mandon «Radio cognitive», Short Research Project, Ecole Polytechnique, France, (2008).
- [Gherboudj, 2013] A.GHerboudj «Méthodes de résolution de problèmes difficiles académique » Thèse de Doctorat, Université de Constantine2(2013).
- [Gafar et al,2008] M.Gafar, A. Elnourani. «Cognitive Radio and Game Theory: Overview And Simulation». Blekinge Institute of Technology. (2008).
- [Hassaine,2014] Y.Hassaine «optimization de la QOS dans un réseau de radio cognitive en utilisant les algorithmes génétiques thèse de Master, Université Abou Bakr Bekaid. Tlemcen (2014)
- [Haykin, 2005] S. Haykin, «Cognitive radio: brain-empowered wireless communications.Selected Areas in Communications», IEEE Journal on, 23(2), 201-220. (2005).
- [Kennedy, 2001] J.Kennedy, R. Eberhart, and Y.Shi, «Swarm Intelligence», Morgan Kaufmann. (2001).
- [kévine, 2006] L. kévine, « Les algorithmes méta-heuristiques», édition Springer (2006).
- [Kingsbury,2014] N. « Approximation Formulae for the Gaussian Error Integral, Q(x), <http://cnx.org/content/m11067/latest/>», consultation (2014).
- [Larabi et al, 2013] I.Larabi et B.Benmammar « Négociation d spectre dans les réseaux de radio cognitive »Rapport de recherche , Laboratoire de Télécommunication de Tlemcen (LTT) Université Abou Bakr Bekaid. Tlemcen (2013)
- [Metref, 2010] A.Metref « contrubution à l'étude du probleme de synchronisation de porteuse dans le contexte de la radio intelligente », Thèse de Doctorat institut d'électronique et de Télécommunication de l'université Rennes1 , Bretagne (2010).

[Mitola,1999] J. Mitola and G. Q. Maguire, « Cognitive radio: making software radios more personal, IEEE Personal Communications», Page(s) 13-18.(1999).

[Mitola,2000] J. Mitola, « Cognitive Radio: an integrated agent architecture for software defined radio», PhD Thesis of the Royal Institute of technology, (2000).

[Mitola,2000] J. Mitola, « Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless System Engineering ». 0-471-3849-5 ISBN(2000).

[Mitola,2009] J. Mitola, « Cognitive radio architecture evolution». Proceedings of the IEEE, 97(4),626-641. (2009).

[Mir,2011] U. Mir. «Utilization of Cooperative Multi agent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks». PHD THESES, (2011).

[Newman,2007] T. R. Newman, B. A. Barker, A. M. Wyglinski, A. Agah, J. B. Evans, and G. J. Minden, «Cognitive engine implementation for wireless multicarrier transceivers, Wireless Communications & Mobile Computing», vol. 7, no. 9, pp. 1129-1142, (2007).

[Niyato,2008] D.Niyato, E. Hossain, «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).

[Reddy et al,2007] M.J.Reddy, D.Nahesh Kumar «Multi-objectives particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation » Department of civil engineering, Indian institute of Science , Bangalore-560 012 , India(2007)

[Schoeman,2005] I. L. Schoeman, A. P. Engelbrecht «A *Parallel Vector-Based Particle Swarm Optimizer*», University of Pretoria, South Africa (2005).

[Wooldridge,2002] M. Wooldridge, «An Introduction to Multi-Agent Systems», Wiley and Sons Editor, West Sussex, England, (2002).

Liste des figures

Figure I.1 : évaluation de la radio matérielle à la radio logicielle.....	4
FigureI.2 :étape développement dans la radio cognitive.....	5
FigureI.3 :Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte	7
FigureI.4 :Architecture de la radio cognitive	7
FigureI.5 :Cycle de cognition	8
FigureI.6 :Accès au spectre coopératif et non-coopératif.....	11
FigureI.7 :Coexistence entre deux types de réseaux : réseau primaire et secondaire.....	14
FigureI.8 :Organigramme représentant les types d'enchères.....	16
FigureI.9 :Les classes des méta-heuristiques	19
FigureII.1 :Organigramme standard de PSO.....	22
FigureII.2 :Structure d'une particule	28
FigureII.3 :Exemple de codage réel.....	29
FigureII.4 :Liste des individus.....	30
FigureII.5 :Organigramme discret de PSO (mono critère).....	31
FigureII.6 : Organigramme discret de PSO (multi critères).....	33
FigureII.7 :Interface d'accueil.....	34
FigureII.8 Fenêtre principale.....	35
FigureII.9 :Fenêtre simulation.....	35
FigureII.10 :Fenêtre d'affichage.....	36
FigureII.11 :Histogrammes des caractéristiques de canaux.....	37
FigureII.12 :La convergence de fitness(mono critère).....	40
FigureII.13 :La convergence de fitness(multi critères).....	41
FigureII.14 :Le temps de convergence du cas mono critère.....	42

Liste de tableaux

Tableau II.1 : Représentation mathématique des trois critères	24
Tableau II.2 : Taux d'erreur sur les différents types de modulation	24
Tableau II.3 : Définition des différents paramètres.....	25
Tableau II.4 : Poids associé aux différents modes de transmission.....	27
Tableau II.5 : codage réel de la puissance.....	29
Tableau II.6 : Codage réel de la modulation.....	29
Tableau II.7 : Codage réel de nombre de bits.....	29
Tableau II.8 : Meilleurs Gbest obtenus pour les trois modes.....	38
Tableau II.9 : taux d'optimalité vs nombre de canaux.....	39

Liste des abréviations

Acronyme	Signification
BS	Radio Cognitive
FCC	Federal Communications Commission
IA	Intelligence Artificielle
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée
KTH	Institut Royal de Technologie
PU	Primary User
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoI	Quality of Information
QOS	Quality Of Service
RC	Base Station
RRC	Réseaux de Radio Cognitive
RF	Radio Frequency
SMA	Système Multi Agents
SDR	Software Defined Radio
SU	Secondary User
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
URC	Utilisateur à Radio Cognitive
SP	Sensory Perception