

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 la QoS dans un réseau de radio cognitive
en utilisant l'algorithme de la recherche cuckoo search**

Réalisé par :

- Zerga Hideyat

Présenté le 22 juin 2016 devant le jury composé de :

- | | |
|----------------------|-----------------|
| - LEHSAINI Mohamed | (Président) |
| - BENNAMMAR Badr | (Encadreur) |
| - ALI SAOUCHA Naziha | (Co-Encadrante) |
| - BEKARA Chakib | (Examineur) |
| - BENAMAR Abdelkrim | (Examineur) |

Année universitaire : 2015-2016

Table des matières

Remerciement.....	5
Dédicace.....	6
Introduction générale.....	7
Chapitre I :Réseaux de radio cognitive.....	9
I.1 Introduction.....	10
I.2 Gestion de spectre.....	10
I.3 Radio logicielle.....	12
I.4 Radio cognitive.....	12
<i>I.4.1 Historique.....</i>	<i>12</i>
<i>I.4.2 Définition.....</i>	<i>13</i>
<i>I.4.3 Principe de fonctionnement.....</i>	<i>13</i>
<i>I.4.4 Architecture de la Radio cognitive.....</i>	<i>13</i>
<i>I.4.5 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte.....</i>	<i>14</i>
<i>I.4.6 Fonction de la Radio cognitive.....</i>	<i>15</i>
I.4.6.1 Détection du spectre (Spectrum Sensing).....	15
I.4.6.2 Gestion du spectre (Spectrum Management).....	15
• Analyse du spectre.....	16
• Décision sur le spectre.....	16
I.4.6.3 Partage du spectre (Spectrum Sharing).....	16
I.4.6.4 Mobilité du spectre.....	16
<i>I.4.7 Domaines d'applications de la radio cognitive.....</i>	<i>17</i>
I.5 Conclusion.....	18
ChapitreII :Algorithme Cukoo search.....	19
II.1 Introduction.....	20
II.2 Notions fondamentales sur les Métaheuristiques.....	20
<i>II.2.1 Définition.....</i>	<i>20</i>
<i>II.2.2 Terminologie.....</i>	<i>21</i>
<i>II.2.3 Heuristique.....</i>	<i>21</i>

<i>II.2.4 Classification</i>	21
II.2.4.1 Leur manière d'utiliser la fonction objective.....	21
II.2.4.2 Le nombre de solution	22
II.2.4.3 Suivant la source d'inspiration	23
<i>II.2.5 Les algorithmes à base d'intelligence par Essaim</i>	23
II.3 Algorithme cuckoo search.....	24
<i>II.3.1 Comportement d'élevage du cuckoo</i>	24
<i>II.3.2 Lévy Flight</i>	25
<i>II.3.3 Description de l'algorithme</i>	27
II.4 Conclusion	29
CHAPITRE III : Implémentation de l'application et évaluation des résultats	30
III.1 Introduction	31
III.2 La fonction objective.....	31
III.4 Les modes de transmission.....	34
III.5 Les paramètres utilisés	35
<i>III.5.1 La puissance</i>	35
<i>III.5.2 La modulation</i>	35
<i>III.5.3 Taux d'erreur</i>	35
<i>III.5.4 Codage utilisé</i>	35
III.6 Application de l'algorithme.....	36
III.6.1 Initialisation de la population.....	36
III.6.2 Génération de nouvelles solutions.....	37
III.6.3 Critère d'arrêt.....	38
III.7 Présentation de l'application	38
III.8 Comportement de l'algorithme dans les différents modes	43
<i>III.8.1 Temps d'exécution</i>	43
III.8.1.1 Temps d'exécution par rapport au nombre de canaux.....	43
III.8.1.2 Temps d'exécution par rapport aux nombre de générations.....	44

<i>III.8.2 Fonction objective</i>	45
III.9 Conclusion.....	47
Conclusion générale	48
Bibliographie	49
Liste des figures	51
Liste des tableaux	52
Résumé	53

REMERCIEMENT

Louange à Allah qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail, et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes, sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Je tiens à saisir cette occasion pour adresser mes profonds remerciements et ma profonde reconnaissance à :

- Mon encadreur Monsieur Benmammar Badr de m'avoir proposé un tel sujet, et pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de mon travail.
- A tous mes enseignants qui m'ont permis d'arriver là où je suis.
- A ma famille et mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements m'ont permis de surmonter tous les obstacles.
- Aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

DÉDICACE

J'ai tant cherché l'inspiration grâce à laquelle j'allais exprimer toute ma gratitude pour ceux qui m'ont permis d'en arriver là aujourd'hui. Je sais à présent que mes mots ne suffiront jamais.

Du moins je tiens à dédié ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années de mes études, et qui a veiller tout au long de ma vie à m'accompagner, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les garde et les protège.

A mes Adorables sœurs « Norhene » et « Kamila », et à mon frère « Abdrezzak », qui sont ce que j'ai de plus chers et qui ont toujours été là pour moi.

A mes très chers amis « Sarah », « Farah », « Leyla », « Adel » et « Housseyn » qui m'ont aidé et accompagné.

A mes grand-mères, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Introduction générale

Du mobile cellulaire de la première génération à la téléphonie de multimédia de la 2^{ème} à la 3^{ème} génération, ce passage a impliqué des débits plus élevés et des services de plus en plus évolués, ce qui implique une forte demande en termes de spectre électromagnétique qui est le support de transmission.

Les réseaux sans fil d'aujourd'hui sont caractérisés par une politique d'attribution du spectre fixe. Cependant, une grande partie du spectre est utilisée de façon sporadique, non optimale car certaines bandes sont alourdis alors que d'autres sont sous exploitées, et les variations géographiques dans l'utilisation des gammes de fréquences assignées se situe entre 15% à 85% avec une forte variance dans le temps. Le spectre disponible limité et l'inefficacité dans l'utilisation du spectre nécessitent une nouvelle communication paradigme d'exploiter le spectre sans fil existant de façon opportuniste. Ce nouveau paradigme de gestion de réseau est appelé prochaine génération (5G), ainsi que Dynamic Spectrum Access (DSA) et les réseaux de radio cognitive. [1]

La radio cognitive est considérée comme une nouvelle approche pour améliorer l'utilisation d'une ressource naturelle précieuse : le spectre électromagnétique de radio.

La radio cognitive, construite sur une radio définie par logiciel, est définie comme un système de communication sans fil intelligent qui est conscient de son environnement et utilise la méthodologie de la compréhension par la construction d'apprendre de l'environnement et d'adaptation aux variations statistiques dans les stimuli d'entrée, avec deux principaux objectifs à l'esprit : communication très fiable quand et où nécessaire; l'utilisation efficace du spectre radioélectrique. [2]

Cette technologie permet aussi de mieux répartir les ressources disponibles et donc d'augmenter le nombre d'utilisateurs.

Notre travail consiste à répondre à la problématique majeure : « l'optimisation de la qualité de service dans un réseau de radio cognitive » à laquelle nous proposons une solution qui se base sur une métaheuristique qui s'appelle « cuckoo search » afin de trouver une meilleure solution pour optimiser la qualité de service dans les réseaux de radio cognitive tout en variant le nombre d'individus et le nombre de canaux par un individu, ainsi que le nombre de générations.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous définissons le concept de la radio cognitive, puis nous parlerons de son fonctionnement, ses domaines d'application, son architecture...

Dans le second chapitre, nous nous focalisons sur la notion des heuristiques et méta-heuristiques ainsi que leurs caractéristiques et leurs classifications. Ensuite, nous présentons la méta-heuristique « cuckoo search » utilisée au sein de notre projet.

Dans le dernier chapitre, nous expliquerons l'approche adoptée pour la réalisation de notre travail, nous présenterons ensuite les résultats trouvés.

Chapitre I :

Réseaux de radio

cognitive

I.1 Introduction

Depuis la première expérience radio de Marconi, les systèmes de radiocommunications ne cessent de se multiplier pour devenir incontournables de nos jours. Mais ce développement est en train d’engendrer un blocage à cause de la pénurie du spectre.

Seuls les utilisateurs qui ont les licences ont la possibilité d’utiliser le spectre. De ce fait on souffre de gaspillage du spectre due à la gestion elle-même du spectre. Alors comment régler ce problème de pénurie des fréquences radio ?

La communauté de recherche de radio a brusquement embrassé la radio cognitive pour la gestion dynamique du spectre radioélectrique afin d’améliorer l’utilisation du spectre, par exemple, dans les bandes ISM (Industrie-Scientifique-médical) et autant qu’utilisateurs secondaires dans les bandes de télévision inutilisés, afin de mieux exploiter le spectre.

Dance ce chapitre nous allons présenter une introduction à la radio cognitive, ses caractéristiques, ses composants et fonctionnalités ainsi que ses domaines d’application.

I.2 Gestion de spectre

Le terme spectre radioélectrique se réfère généralement à la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz qui peut être utilisé pour la communication sans fil, comme il est montré dans la Figure I.1.

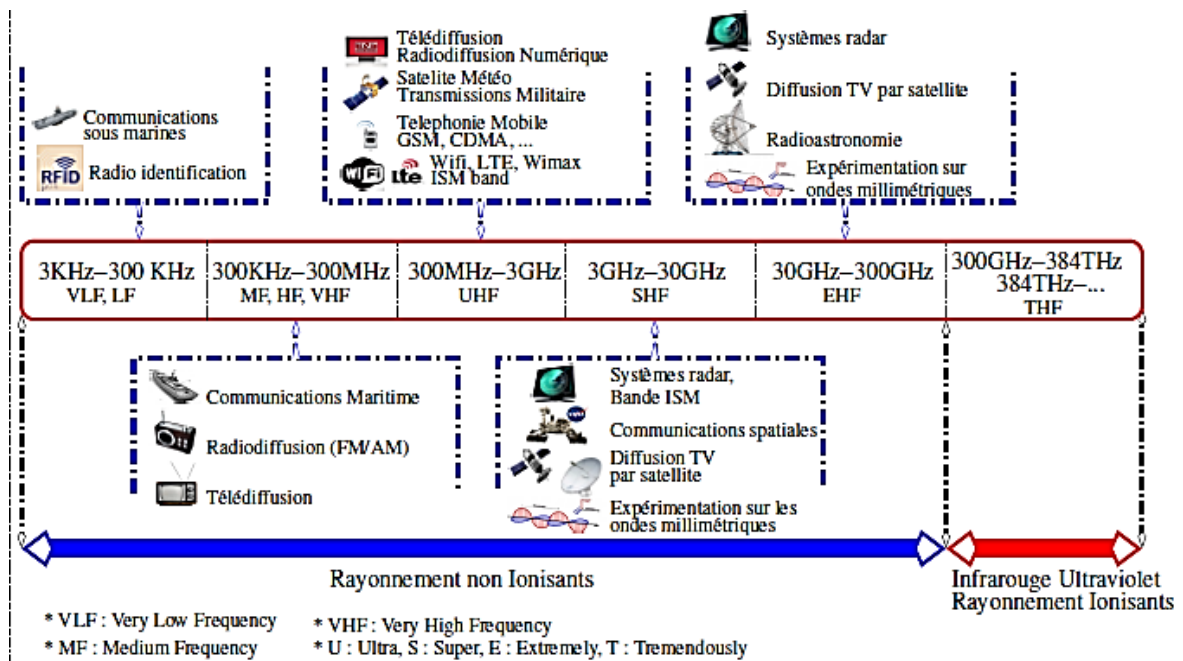


Figure I.1 : Répartition du spectre radio fréquence en fonction des technologies. [3]

La demande croissante pour des services tels que les téléphones mobiles et bien d'autres a nécessité des changements dans la philosophie de la gestion du spectre. La demande de haut débit sans fil a augmenté grandement en raison de l'innovation technologique, telles que la 3G et les services mobiles 4G, et l'expansion rapide des services Internet sans fil. Depuis les années 1930, le spectre a été affecté par autorisation administrative par **l'Union internationale des télécommunications** (UIT) ¹.

Limité par la technologie, l'interférence du signal était autrefois considérée comme un problème majeur de l'utilisation du spectre. Par conséquent, la licence exclusive a été créée pour protéger les signaux des titulaires de permis. Cette ancienne pratique de bandes discrètes sous licence à des groupes de services similaires cède sa place, dans de nombreux pays, à un modèle de «vente aux enchères de spectre» qui vise à accélérer l'innovation technologique et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation du spectre. Pendant le processus expérimental de l'assignation des fréquences, d'autres approches ont également été menées, à savoir, les loteries, l'accès non autorisé et la privatisation du spectre.

Plus récemment, le conseil présidentiel des conseillers pour la science et la technologie (PCAST) a préconisé le partage du spectre (défrichée) radio fédéral lorsqu'il est inutilisé à un endroit et un temps à condition qu'il ne pose pas de risques indus. Suite aux recommandations du PCAST, le président Obama a rendu «spectre partagé» la politique des États-Unis le 14 Juin 2013. En décembre 2014 la FCC a étendu le succès limité de partage du spectre de la bande de télévision (TV blanc de l'espace) dans d'autres bandes, de manière significative dans la bande radar MHz US Navy 3550-3700.

1-L'Union internationale des télécommunications (UIT) est une institution spécialisée des Nations Unies qui gère le spectre radio depuis 1927. Ces derniers organisent tous les trois ans des conférences appelées CMR (conférences mondiales des radiocommunications) pour débattre et, si nécessaire, réviser les traités internationaux qui réglementent l'usage du spectre.

I.3 Radio logicielle

Inventée par Joseph Mitola en 1991, dans le but de définir une classe radio reprogrammable et reconfigurable, la radio logicielle présente le point de départ de la radio cognitive.

On peut trouver plusieurs définitions pour décrire la radio logicielle. L'IEEE l'ont définie comme :

Radio dans laquelle une partie ou la totalité des fonctions de couche physique sont définies par logiciel [4].

Les radios logicielles modernes mettent également en œuvre des fonctions cryptographiques, codage correcteur d'erreur, codage source de la voix, de la vidéo ou des données.

Avec la radio logicielle les usagers, les fournisseurs de services et les fabricants sont devenus plus indépendants des normes. Ainsi, avec cette solution, les interfaces radio peuvent, en principe, être adaptées aux besoins d'un service particulier pour un usager particulier dans un environnement donné à un instant donné.

Dans ce domaine nous retrouvons plusieurs niveaux de progrès, on parle donc de la radio logicielle restreinte (software defined radio SDR) qui est aujourd'hui un des sujets chauds parmi les multiples activités radioamateur. La SDR est un système de radiocommunication qui représente une solution aux problèmes de la gestion dynamique du spectre et qui apporte aussi le principe de flexibilité ; car les équipements SDR peuvent s'adapter automatiquement aux nouvelles fréquences afin de transmettre et recevoir des signaux, et peuvent aussi modifier le type de modulation et le niveau de puissance en utilisant le même matériel et sans avoir à utiliser un nouveau matériel. [6]

I.4 Radio cognitive

I.4.1 Historique

Joseph Mitola III connu aussi comme le « Père de la radio logicielle » a été le premier à proposer le concept de la radio cognitive lors d'un séminaire à KTH (Institut royal de technologie de Stockholm) en 1998 et publié dans un article de Mitola et Gerald Q. Maguire, Jr. en 1999. C'était une nouvelle approche dans les communications sans fil, et d'après lui « Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur » [6].

1.4.2 Définition

Une radio cognitive (CR) est une radio intelligente qui peut être programmé et configuré dynamiquement. Les meilleurs canaux sans fil présent dans son voisinage sont détectés par son émetteur-récepteur qui va les utiliser par la suite. Une telle radio détecte automatiquement les canaux disponibles dans le spectre sans fil, puis change en conséquence ses paramètres de transmission ou de réception pour permettre des communications sans fil plus simultanés dans une bande de fréquences donnée à un seul endroit. Ce processus est une forme de gestion dynamique du spectre.

1.4.3 Principe de fonctionnement

Les fonctions possibles de la radio cognitive incluent la capacité d'un émetteur-récepteur de déterminer sa situation géographique, d'identifier et d'autoriser son utilisateur, crypter ou décrypter des signaux, détecter les périphériques sans fil voisins en exploitation, et ajustant la puissance de sortie et les caractéristiques de modulation.

- **Utilisateurs primaires (PU):** connus sous le nom de « utilisateurs licenciés », ils 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):** ces utilisateurs n'ont pas de licence mais peuvent accéder à des bandes de fréquence non utilisées par les utilisateurs primaires à n'importe quel moment et les libère une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire en aura besoin.

Les SU accèdent au spectre de façon opportuniste sans déranger les utilisateurs primaires.[7]

1.4.4 Architecture de la Radio cognitive

La radio cognitive est définie par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de services, comme décrit dans la figure suivante :

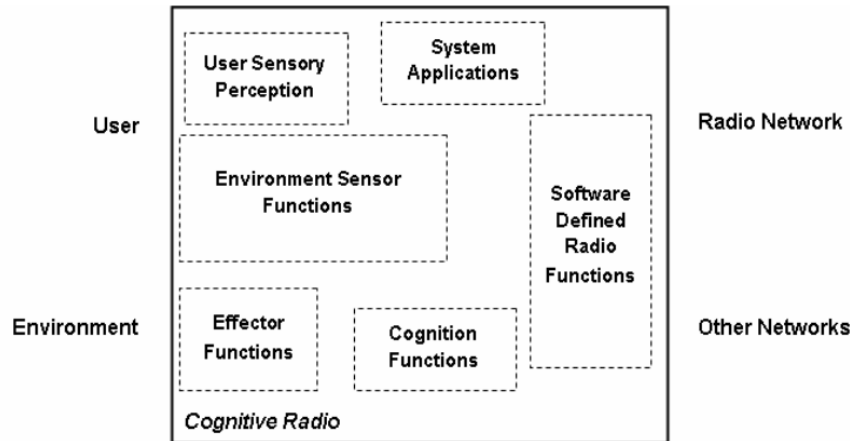


Figure I.2: Architecture de la radio cognitive [3].

Les six composantes fonctionnelles de l'architecture d'une radio cognitive sont:

- La perception sensorielle (Sensory Perception : SP) de l'utilisateur qui inclut 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, etc.).
- 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).

1.4.5 Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte

La capacité d'adaptation est l'une des principales caractéristiques de la radio cognitive où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de : L'environnement radio, la situation, les besoins de l'utilisateur, l'état du réseau, la géo localisation...

La radio logicielle offre les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive. Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. [3]

Dans le modèle représenté dans la Figure 1.2 les éléments de la RC entourent le support radio logicielle restreinte.

La partie chargée de l'optimisation ou du contrôle du module radio logicielle restreinte est le moteur cognitif, il se base 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 [7].

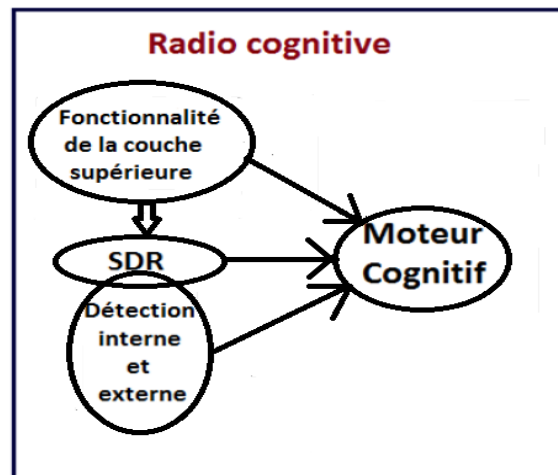


Figure I.3: Relation entre RC et SDR[7].

1.4.6 Fonction de la Radio cognitive

Les fonctions principales de la RC sont:

1.4.6.1 Détection du spectre (Spectrum Sensing)

Cette fonction est responsable de la détection du spectre non utilisé et du partage avec d'autres utilisateurs sans interférences.

1.4.6.2 Gestion du spectre (Spectrum Management)

Il faut d'abord trouver les bandes de fréquences disponibles, pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les radios cognitives. Car ce sont les radios cognitives qui décident de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles.

Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit:

- **Analyse du spectre :** c'est le moyen d'observer l'activité sur le spectre de fréquences, pour assurer que la transmission d'un utilisateur licencié PU n'est pas brouillée si le secondaire SU décide d'accéder, elle répond aussi d'une manière exacte aux exigences de l'utilisateur équipé d'une RC, et afin d'estimer la qualité du spectre, cette qualité peut être caractérisée par la corrélation des espaces blancs, la durée moyenne, le taux d'erreur dans le canal, l'activité du PU et le débit.

De nombreuses techniques sont employées pour analyser le spectre, tel que les algorithmes d'apprentissages de l'intelligence artificielle.

- **Décision sur le spectre :** Cette fonction est nécessaire pour l'accès au spectre, elle dépend des résultats retenues par la phase d'analyse du spectre; une multitude de règles décisionnelles sont appliquées dans le but de déterminer la ou les bandes les plus adaptées à la transmissions en cours. [5]

I.4.6.3 Partage du spectre (Spectrum Sharing)

L'existence de deux types d'utilisateurs (primaires et secondaires), impose la coordination des transmissions entre les utilisateurs secondaires pour accéder au spectre.

I.4.6.4 Mobilité du spectre

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la RC de changer sa fréquence de fonctionnement. L'utilisation du spectre de manière dynamique permet à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence.[5]

La figure qui va suivre résumera les étapes de fonctionnement de la RC.

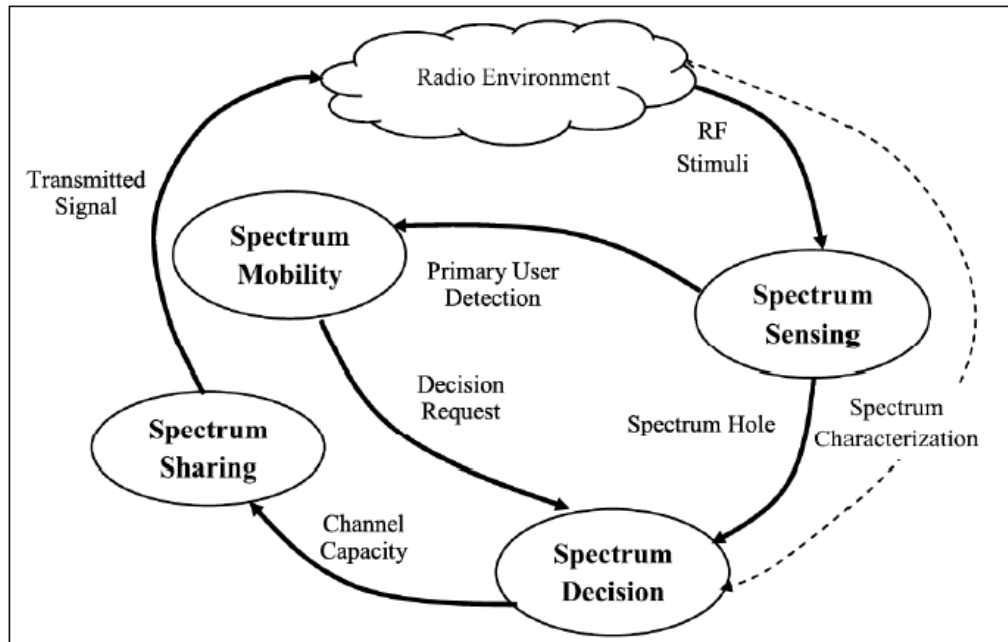


Figure 1.4 : La Capacité cognitive

1.4.7 Domaines d'applications de la radio cognitive

La radio cognitive peut être appliquée à différents scénarios de communications sans fil, tels que [8]:

- Les réseaux sans fil de prochaine génération.
- La coexistence de différentes technologies sans fil.
- Les services de cyber santé (eHealth services).
- Les réseaux d'urgence.
- Les réseaux militaires.

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents aspects de la RC, et expliqué le principe de son fonctionnement tout en précisant l'intérêt de son utilisation dans le domaine de la communication sans fil.

La radio cognitive permet d'exploiter le spectre sans fil existant de façon opportuniste, et résout les problèmes des réseaux sans fil actuels résultant de la limitation et de l'utilisation inefficace du spectre. Toutes ces techniques doivent être coordonnées avec des algorithmes hautement sophistiqués afin d'avoir la technologie la plus abouti possible.

Dans le chapitre suivant on va présenter les notions de métaheuristiques en se focalisant sur une métaheuristique que nous avons utilisé dans ce PFE à savoir « cuckoo search ». Cette métaheuristique sera implémentée pour l'optimisation de la qualité de service dans un réseau de radio cognitive.

ChapitreII

Algortihme

Cukoo search

II.1 Introduction

En ingénierie, on rencontre souvent de nouveaux problèmes combinatoires, qu'on ne peut résoudre avec les méthodes existantes, ce qui a poussé les chercheurs à développer de nouvelles méthodes en s'inspirant par exemple des comportements collectifs de quelques insectes pour en faire des algorithmes d'optimisation combinatoire, ces méthodes sont appelées: Métaheuristiques. [7]

Dans ce chapitre, nous commencerons par donner des notions fondamentales sur les métaheuristiques, nous présenterons ensuite quelques méthodes métaheuristiques. Enfin nous présenterons d'une manière détaillée l'algorithme cuckoo search, que nous avons adapté pour la résolution de notre problème.

II.2 Notions fondamentales sur les Métaheuristiques

II.2.1 Définition

Une métaheuristique est un algorithme d'optimisation qui a pour but de résoudre les problèmes d'optimisation difficile (souvent issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie ou de l'intelligence artificielle) pour lesquels on ne connaît pas de méthode classique plus efficace.

Les métaheuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global, c'est-à-dire l'extremum global d'une fonction par échantillonnage d'une fonction objectif. Elles se comportent comme des algorithmes de recherche, tentant d'apprendre les caractéristiques d'un problème afin d'en trouver une approximation de la meilleure solution (d'une manière proche des algorithmes d'approximation).

Il existe un grand nombre de métaheuristiques différentes, allant de la simple recherche locale à des algorithmes complexes de recherche globale. Ces méthodes utilisent cependant un haut niveau d'abstraction, leur permettant d'être adaptées à une large gamme de problèmes différents.

Les algorithmes métaheuristiques modernes ont été développés dans le but de mener à bien la recherche globale, leur efficacité peut être attribuée au fait qu'ils imitent les meilleures caractéristiques de la nature, en particulier la sélection des plus forts dans les systèmes biologiques qui ont évolué par la sélection naturelle au cours de millions d'années. Deux importantes caractéristiques de métaheuristiques sont: l'intensification et la diversification. [9]

L'intensification : a pour but de rechercher autour des meilleures solutions actuelles et sélectionner les meilleurs candidats (solutions).

La diversification : fait en sorte que l'algorithme puisse explorer l'espace de recherche plus efficacement, souvent par randomisation.

II.2.2 Terminologie

On parle de *méta*, du grec « au-delà » (comprendre ici « à un plus haut niveau »), *heuristique*, du grec signifie « trouver ». En effet, ces algorithmes se veulent des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé.

Une terminologie légèrement différente considère que les **métaheuristiques** sont une forme d'algorithmes d'optimisation stochastique, hybridés avec une recherche locale. Le terme *méta* est donc pris au sens où les algorithmes peuvent regrouper plusieurs heuristiques.

II.2.3 Heuristique

Au sens le plus large, **l'heuristique** est la psychologie de la découverte, abordée par différents mathématiciens.

Au sens étroit, plus fréquent, une *heuristique* est une méthode de calcul qui fournit rapidement une solution réalisable, pas nécessairement optimale ou exacte, pour un problème d'optimisation difficile.

II.2.4 Classification

On peut classer les métaheuristiques selon plusieurs critères, on peut citer:

II.2.4.1 Leur manière d'utiliser la fonction objective

Cette catégorie comporte deux types de métaheuristiques statique et dynamique.

Étant donné un problème d'optimisation qui consiste à maximiser une fonction f sur l'espace de solutions S :

- Les métaheuristiques statiques travaillent directement sur f .
- Les métaheuristiques dynamiques utilisent une fonction g obtenue à partir de f en ajoutant quelques composantes qui permettent de modifier la topologie de S . [10]

II.2.4.2 Le nombre de solution

Dans cette catégorie on peut différencier 2 types de métaheuristiques : à base de solution unique et les métaheuristiques à base de population de solutions comme il est montré dans la Figure II.1

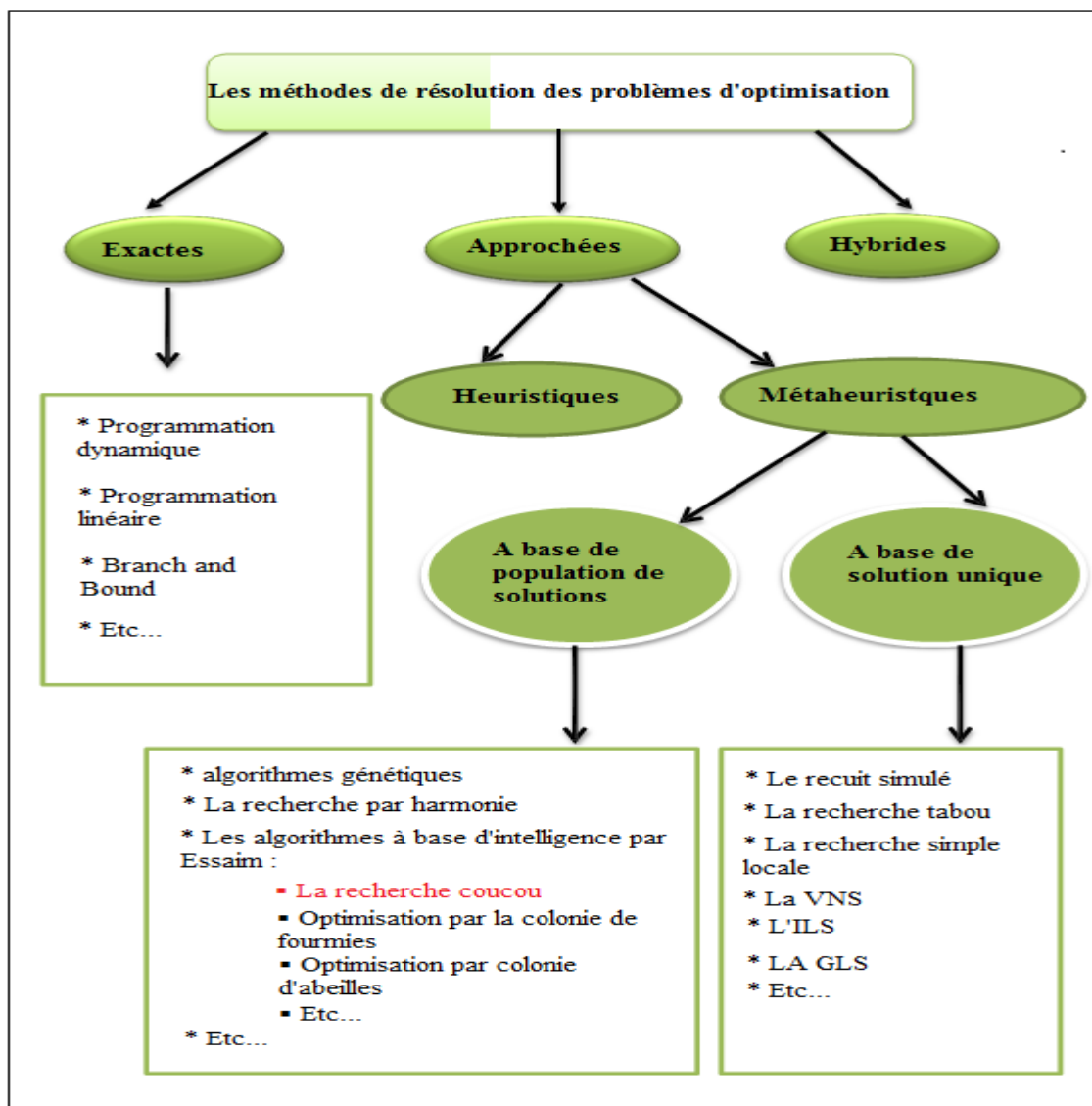


Figure II.1: Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation [11].

➤ **Les métaheuristiques à base de solution unique**

Ce type de métaheuristiques lance la recherche avec une solution initiale, et au cours de la procédure de recherche, ils essaient d'améliorer sa qualité au fur et à mesure 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 redirigeant vers des solutions optimales, les plus connus dans cette classe sont : la recherche tabou, le recuit simulé, la recherche à voisinage variable (VNS: Variable Neighbourhood Search).[12]

➤ **Les métaheuristiques à base de population de solutions**

Quant à ce type de métaheuristiques, il débute la recherche avec un ensemble de solutions dites population, et durant les itérations du processus de recherche ils essaient pas à pas 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 métaheuristiques est d'utiliser la population comme facteur de diversité pour augmenter la possibilité d'apparition de bonnes solutions en terme de qualité, les algorithmes génétiques, l'optimisation par essaim de particules, les algorithmes de colonies de fourmis, la recherche cuckoo et la recherche par harmonie sont les exemples les plus connus de cette catégorie. [5]

II.2.4.3 Suivant la source d'inspiration

On peut distinguer les métaheuristiques qui s'inspirent de faits naturels tel que la recherche cuckoo, les algorithmes d'optimisation par colonies de fourmis, les algorithmes génétiques, et celles qui ne s'en inspirent pas, tel que la méthode Tabou et la recherche d'harmonie etc.

II.2.5 Les algorithmes à base d'intelligence par Essaim

Ce type d'algorithme s'inspire à l'origine du monde du vivant. Il s'appuie notamment sur un modèle, permettant de simuler le déplacement d'un groupe d'oiseaux. Cette méthode d'optimisation se base sur la collaboration des individus entre eux. Cette idée veut qu'un groupe d'individu peu intelligent puisse posséder une organisation globale complexe. Ainsi, grâce à des règles de déplacement très simples (dans l'espace des solutions), les particules peuvent converger progressivement vers un minimum local. Cette métaheuristique semble cependant mieux fonctionner pour des espaces en variables continues.

Au départ de l'algorithme, chaque particule est donc positionnée (aléatoirement ou non) dans l'espace de recherche du problème. Chaque itération fait bouger les particules en fonction de 3 composantes :

- Sa vitesse actuelle.
- Sa meilleure solution.
- La meilleure solution obtenue dans son voisinage.

II.3 Algorithme cukoo search

Afin de mieux décrire la recherche cukoo (coucou), nous allons d'abord expliquer le comportement de quelques espèces de la race cukoo.

II.3.1 Comportement d'élevage du cukoo

Cukoo 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 comme les ani et Guira cuckoos 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.

Certaines espèces des cukoo telles que le couvain-parasitaire *Tapera* ont évolué de telle manière que les cuckoos parasites femelles sont souvent très spécialisés dans la mimique en couleur et motif des œufs de quelques espèces hôtes choisies. Ceci réduit la probabilité de leurs œufs étant abandonné et augmente ainsi leur reproductivité. En outre, le moment de la ponte de certaines espèces est également étonnant. Parasite cuckoos choisissent souvent un nid où l'oiseau hôte pose juste ses propres œufs. En général, les œufs de cukoo éclosent un peu plus tôt que les œufs des hôtes. Une fois que le premier poussin cukoo est hachurée, la première action de l'instinct est qu'il va expulser les œufs hôtes aveuglément en les propulsant hors du nid, ce qui augmente la part du poussin cukoo de nourriture fourni par son oiseau hôte. Les études montrent également qu'un poussin cukoo peut aussi imiter l'appel de poussins d'accueil pour avoir accès à plus de possibilités d'alimentation. [13]

II.3.2 Lévy Flight

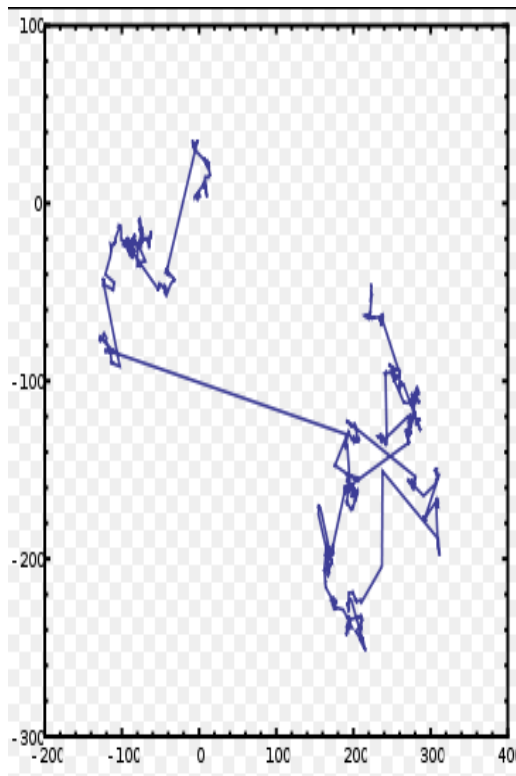
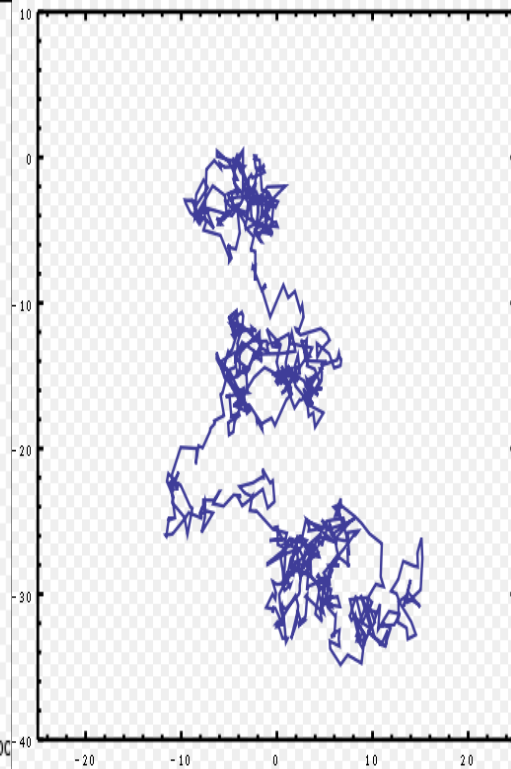
Dans la nature, la recherche des animaux pour la nourriture est d'une manière aléatoire ou quasi-aléatoire. En général, le chemin de recherche de nourriture d'un animal est effectivement une marche aléatoire parce que le prochain mouvement est basé sur la localisation (état actuel), et la probabilité de transition au prochain emplacement. Quelle direction il choisit dépend implicitement sur une probabilité qui peut être modélisée mathématiquement. Par exemple, diverses études ont montré que le comportement vol de nombreux animaux et insectes a démontré les caractéristiques typiques des vols LEVY [9].

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 et aléatoire.

Le terme «Lévy Flight» a été inventé par Benoît Mandelbrot, [1] qui a utilisé cela pour une définition précise de la distribution des tailles de pas.

Une étude récente menée par Reynolds et Frye (2007) [14] a montré que les mouches des fruits ou *Drosophila melanogaster*, explorent leur paysage en utilisant une série de trajectoires de vol droites ponctuées par un brusque virage à 90°, conduisant au style intermittent du vol LEVY. Même la lumière peut être liée à des Levy flights (Barthelemy et al 2008) [15]. Par la suite, un tel comportement a été appliqué à l'optimisation et la recherche optimale. [9]

La propriété la plus importante du LEVY est la divergence des écarts de pas dans tous les cas. Il existe aussi un autre mouvement qu'on appelle le mouvement Brownien mais ce qui le différencie du Levy est que les écarts de pas sont petits, ils convergent toujours vers un réduit, comme il est montré dans les figures : Figure II.2 et Figure II.3.

**Figure II.2:** Levy flight.**Figure II.3:** Mouvement brownien.

Dans la Figure II.2, un exemple de 1000 pas d'un Lévy flight en deux dimensions. L'origine du mouvement est à $[0, 0]$, la direction angulaire est uniformément répartie et la taille de l'étape est distribuée selon une distribution Lévy. On remarque la présence de grands sauts en opposition au mouvement brownien illustré sur la Figure II.3 qui est aussi un exemple de 1000 pas du type de mouvement brownien en deux dimensions. L'origine du mouvement est à $[0, 0]$, la direction angulaire est uniformément répartie et la taille de l'étape est distribuée d'une manière normale (distribution normale).

Il existe 3 types de distributions : la distribution normale, levy, et uniforme qui est un cas particulier de la distribution normale (quand l'espérance est égale à 1 et l'écart type à 0).

II.3.3 Description de l'algorithme

Pour plus de simplicité dans la description de la recherche, trois règles idéalisées 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 $p_a \in [0, 1]$. Dans ce cas, l'oiseau hôte peut soit lancer l'œuf loin ou abandonner le nid afin de construire un nouveau nid dans un nouvel emplacement. Par souci de simplicité, cette dernière hypothèse peut être approchée par une fraction p_a des n nids étant remplacés par de nouveaux nids (avec de nouvelles solutions aléatoires à de nouveaux emplacements), dans notre projet nous avons utilisé $p_a=10\%$ de la taille de la population.

Pour un problème de maximisation, la qualité ou la fonction fitness d'une solution peuvent tout simplement être proportionnel à la fonction objective.

Sur la base de ces trois règles, les étapes de base de la recherche cuckoo peuvent être résumées comme indiqué dans le pseudo-code ci-dessous [13].

Initialiser une population de n nids d'accueil x_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

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 (p_a) 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

Lors de la génération de nouvelles solutions x_i^{t+1} pour un cuckoo appelé i (solution), un vol LEVY est effectuée comme suit :

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \oplus \text{Lévy}(\lambda),$$

Ou α est la taille de l'étape.

Le vol Lévy fournit une marche aléatoire tel que ses étapes aléatoires sont tirés de la distribution Lévy avec grand pas. $Lévy \sim u=t^{-\lambda}$, avec $1 < \lambda < 3$.

Le code suivant présente une partie de notre implémentation décrivant la distribution Lévy :

```
public class A{
    static double logGamma(double x) {
        double tmp =(x-0.5)*Math.log(x+4.5)-(x+4.5);
        double ser = 1.0 + 76.18009173 / (x + 0) - 86.50532033 / (x + 1)+ 24.01409822 / (x +2) -
1.231739516 / (x + 3)+ 0.00120858003 / (x + 4) - 0.00000536382 / (x + 5);
        return tmp + Math.log(ser * Math.sqrt(2 * Math.PI));
    }
    static double gamma(double x) { return Math.exp(logGamma(x)); }
    public static void main(String[] args){
        double s,b,u,v,step,stepsize;
        double beta=1.5; 1 < λ = beta < 3.
        double sigma=Math.pow((gamma(1+beta)*Math.sin(3.1415*beta/2.0)/
(gamma((1.0+beta)/2.0)*beta*Math.pow(2.0,(beta-1.0)/2.0))),(1.0/beta));
        Random rndm=new Random();
        u=(rndm.nextGaussian()*sigma;
        v=(rndm.nextGaussian());
        step=u/Math.pow((Math.abs(v)),(1/beta) );
        stepsize=0.01*step*(s-best); 0 < stepsize = α < 1.
        s=s+stepsize*rndm.nextGaussian();
    }
}
```

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons définis les métaheuristiques, présenter quelques notions fondamentales sur les métaheuristiques, mais nous nous sommes focaliser en particulier sur l'algorithme de la recherche cuckoo qui présente une métaheuristique très importante afin de résoudre les problèmes d'optimisation.

Cette métaheuristique a été appliquée à des problèmes diversifiés au cours des dernières années et les résultats sont très efficaces par rapport à d'autres algorithmes de métaheuristique car il est très flexible pour la mise en œuvre et facile à appliquer et à manipuler.

CHAPITRE III :
Implémentation
de l'application et
évaluation des
résultats

III.1 Introduction

Un moteur de radio cognitive peut adapter ses paramètres radio en utilisant des algorithmes d'apprentissage métaheuristiques pour satisfaire certains objectifs d'environnement radio.

Dans ce chapitre, nous commencerons par étudier notre algorithme en se basant sur l'étude de Newman [16] de façon à optimiser les fonctions objectives dans différents modes de transmission en développant une approche de cet algorithme pour le problème d'optimisation de la QoS dans les réseaux de radio cognitive, ensuite nous présenterons les simulations qui ont été faites dont le but d'étudier les différents résultats en termes de valeurs données aux différents paramètres de la méthode.

III.2 La fonction objective

Le terme fonction objective (de l'anglais fitness fonction), est utilisé pour désigner une fonction qui sert de critère pour déterminer la meilleure solution à un problème d'optimisation (les meilleurs individus de la population). Le but du problème d'optimisation est alors de maximiser ou de minimiser cette fonction jusqu'à l'optimum.

A noter que la QoS dans le domaine de télécommunication est liée aux trois critères suivants :

- ❖ Critère 1 : La maximisation de débit.
- ❖ Critère 2 : La minimisation du taux d'erreur.
- ❖ Critère 3 : La minimisation de la consommation énergétique.

D'après l'étude [16] la présentation mathématique de ces trois règles est défini comme dans le tableau III.1 suivant :

Maximisation du débit	$1 - \frac{\log_{10}(0.5)}{\log_{10}(Pbe)}$
Minimisation du taux d'erreur	$\frac{\log_2(M)}{\log_2(Mmax)}$
Minimisation de la consommation énergétique	$1 - \frac{Pi}{n * Pmax}$

Tableau III.1: Formule mathématique des trois critères.

Où:

- **M** : représente l'index de modulation.
- **M_{max}**: représente l'index maximum de modulation.
- **P_i** : La puissance du signal sous la porteuse i.
- **P_{max}**: représente la puissance maximale.
- **n**: est le nombre de sous-porteuses.
- **P_{be}**: est une fonction pour mesurer le taux d'erreurs sur les canaux pour chaque type de modulation utilisée, on peut la traduire par le tableau III.2 suivant :

Type de modulation	P _{be}
B PSK	$Q\left(\sqrt{\frac{P_i}{N}}\right)$
M-ary PSK	$\frac{2}{\log_2(M)} Q\left(\sqrt{2 * \log_2(M) * \frac{P_i}{N} * \sin\frac{\pi}{M}}\right)$
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 III.2: La valeur du taux d'erreur selon les types de modulation. [16]

Où:

- **Q(x)** : représente la fonction d'erreurs de Gauss définie par

$$Q(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{1.64x + \sqrt{0.76x^2 + 4}} \quad [17].$$

La radio cognitive est un modèle d'accès dynamique au spectre qui utilise des canaux pour pouvoir communiquer, et chaque canal contient des paramètres (modulation, puissance, atténuation), dans les tableaux précédents tableau III.1 et tableau III.2 nous remarquons bien que les objectifs et les paramètres s'interfèrent entre eux d'une façon conflictuelle, par exemple pour la minimisation du taux d'erreurs, il faut principalement augmenter la puissance du signal, mais cela a un effet négatif sur la consommation d'énergie qui a une relation avec les deux autres paramètres (modulation et atténuation). En revanche, pour maximiser le débit, il faut augmenter l'indice de modulation ce qui entraîne l'augmentation du taux d'erreurs.

Pour gérer les conflits, nous allons utiliser une approche qui consiste à faire une somme pondérée des fonctions présentées précédemment où chaque fonction est associée à un poids selon son importance. La somme des poids doit être égale à 1.

Cette somme pondérée représentera la fonction objective de nos métaheuristiques.

Le Tableau III.3 montre le conflit cité ci-dessus entre les paramètres et les fonctions objectifs

L'objectif	Paramètre lié
Minimiser le taux d'erreur	$P \nearrow$, $M \searrow$, $N \searrow$
Maximiser le débit	$M \nearrow$
Minimiser la consommation	$P \searrow$

Tableau III.3: Relation entre les fonctions et les paramètres.

Selon l'étude [16], la fonction objective est défini comme étant la somme pondérée de ces trois objectifs (critères), les poids P_i sont présentés sous forme de nombres de types doubles associés à chaque critère, et qui traduisent leurs importances relativement à l'exigence de l'utilisateur. La somme de ces poids égal à 1.

$$\text{Fonction objective} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Poid1*fct de minimisation de taux d'erreur +} \\ \text{Poid2*fct de maximisation de débit +} \\ \text{Poid3*fct de minimisation de la consommation d'énergie.} \end{array} \right.$$

Les sorties de toutes les fonctions objectives sont normalisées dans l'intervalle [0; 1].

III.4 Les modes de transmission

Comme nous avons pu le constater précédemment, on ne peut pas tous optimiser à la fois, vu le conflit entre les différents objectifs.

Nous allons utiliser 3 scénarios (3 modes de transmission) pour optimiser l'utilisation des canaux et assurer une meilleure qualité de service dans les réseaux de radio cognitive. Ces modes sont:

- **Le mode urgence.**
- **Le mode multimédia.**
- **Le mode batterie faible.**

Nous allons ajuster ces 3 scénarios de sorte à minimiser les conflits, tout ça en associant les poids aux différentes fonctions, et en donnant à la fonction la plus importante un poids élevé, la fonction qui est en conflit direct avec la fonction principale recevra un poids faible, tant dis que la fonction qui n'est pas en conflit, recevra un poids intermédiaire [18].

Les poids attribués à chaque mode sont présentés dans le tableau III.4 ci-dessous:

Mode de transmissions Fonctions	Poids		
	Taux d'erreurs	Débit	Consommation d'énergie
Mode urgence	0.75	0.05	0.20
Mode Multimédia	0.05	0.75	0.20
Mode batterie faible	0.20	0.05	0.75

Tableau III.4: Association des poids aux différents modes de transmission.

La fonction objective est appliquée sur chaque mode de transmission de la manière suivante:

➤ **Mode urgence**

Fonction objective = $(0.75 * F_{\text{min taux d'erreurs}}) + (0.05 * F_{\text{max débit}}) + (0.20 * F_{\text{min consommation}})$.

➤ **Mode multimédia**

Fonction objective = $(0.05 * F_{\text{min taux d'erreurs}}) + (0.75 * F_{\text{max débit}}) + (0.20 * F_{\text{min consommation}})$.

➤ **Mode batterie faible**

Fonction objective = $(0.20 * F_{\text{min taux d'erreurs}}) + (0.05 * F_{\text{max débit}}) + (0.75 * F_{\text{min consommation}})$.

III.5 Les paramètres utilisés

III.5.1 La puissance

L'intervalle des puissances de transmission utilisé varie entre 0.1 mW et 2.4808 mW, il correspond à 94 valeurs avec un incrément de 0.025 mW, la valeur maximale de cet intervalle est 2.04808 mW.

III.5.2 La modulation

Pour les simulations nous avons utilisé trois types de modulations, la première convient à la modulation PSK (phase Shift Keying), la deuxième correspond à la modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation), et la troisième correspond à la modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying), avec un index qui varie dans l'intervalle [0, 6] donc on a des modulations comme suit : 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64.

III.5.3 Taux d'erreur

Nous avons attribué pour chaque canal une valeur d'atténuation aléatoire qui varie dans l'intervalle]0, 1dB].

III.5.4 Codage utilisé

Les différents paramètres cités ci-dessus, qui présentent les composants d'un individu ont été codé de la manière suivante :

Codage de puissance	0	1	2	...	92	93
Valeur	0.1	0.1256	0.151	...	2.429	2.488

Tableau III.5: Codage de puissance.

Codage de mode	Batterie faible	Multimédia	Urgence
Valeur	0	1	2

Tableau III.6: Codage de mode de transmission.

Codage de modulation	BPSK	QAM	PSK
Valeur	0	1	2

Tableau III.7: Codage de modulation.

III.6 Application de l'algorithme

III.6.1 Initialisation de la population

Dans cette étape, on génère aléatoirement une population de solutions afin d'avoir un espace large de solution. Chaque élément de notre population est défini comme un ensemble de N individus générés aléatoirement, et chaque individu est représenté par un ou plusieurs canaux générés aussi aléatoirement ayant comme paramètres: le type et l'index de modulation utilisés pour ce canal, une puissance et un taux d'atténuation, tous générés aléatoirement, voir la Figure III.1.

La taille de la population utilisée dans notre application prend les valeurs suivantes : 10, 20, 50 et 80 individus.

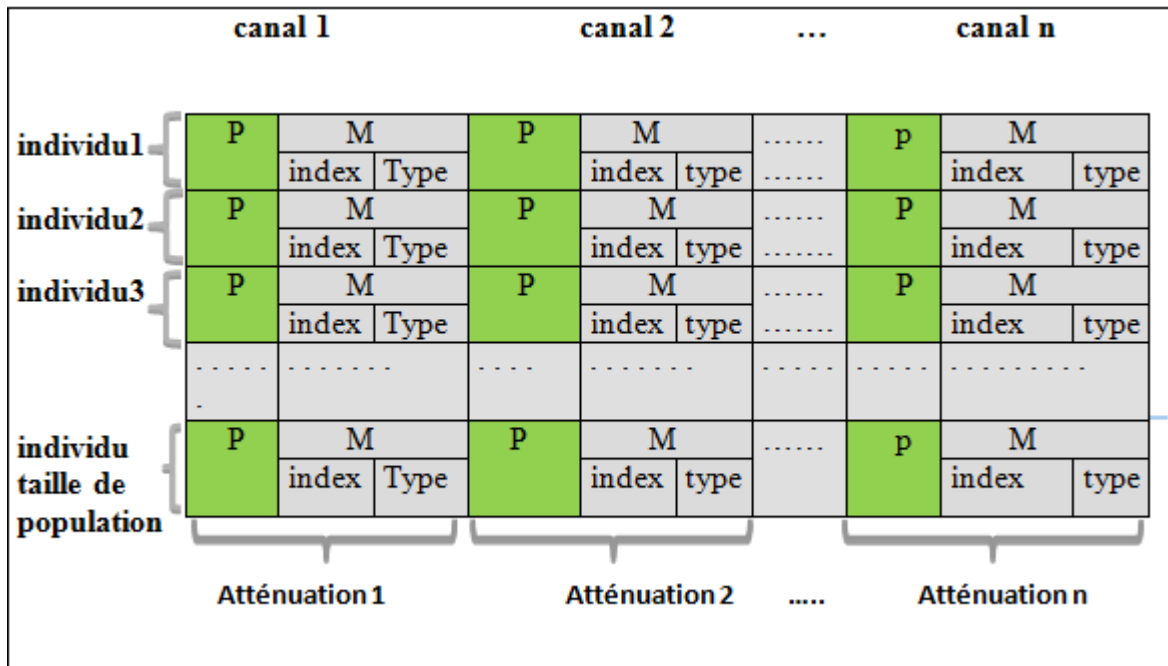


Figure III.1: Structure de la population de solution.

III.6.2 Génération de nouvelles solutions

Après la génération de la population de solutions, l'algorithme calcule pour chaque vecteur (solution) sa fonction objective et la stocke dans un tableau trié d'une façon croissante puis détermine le meilleur individu. Ensuite, en premier lieu, un nouvel individu sera créé aléatoirement par Levy Flight (décrit dans le 2^{ème} chapitre), puis il sera comparé à un autre individu choisi aussi aléatoirement, si la fonction objective de l'individu généré par Levy flight est plus grande que celle de l'individu choisi aléatoirement on remplace ce dernier, sinon on ne fait rien, en second lieu il abandonne une fraction de pires individus (les individus avec les fonctions objectives les plus faibles), et les remplace ensuite par Levy flight en modifiant l'index de modulation et la puissance de tous les canaux en utilisant la formule suivante : $S = S + \text{stepsize} * \text{rndm.nextGaussian}$. Dans le cas de 8 canaux par exemple, on va appliquer cette formule 8 fois pour l'index de modulation et 8 fois pour la puissance pour créer le nouvel individu.

III.6.3 Critère d'arrêt

Nous avons choisi comme critère d'arrêt le nombre de générations, qui est un nombre fixé par l'utilisateur au tout début de la simulation, du coup, même si la solution optimale est trouvée, le programme continue de s'exécuter jusqu'à ce qu'il atteigne le nombre souhaité de générations.

III.7 Présentation de l'application

L'application de cet algorithme est développée avec Netbeans 8.0.1 et JDK-8u60-windows-x64.

Au lancement de notre application, l'utilisateur verra s'afficher la page suivante :

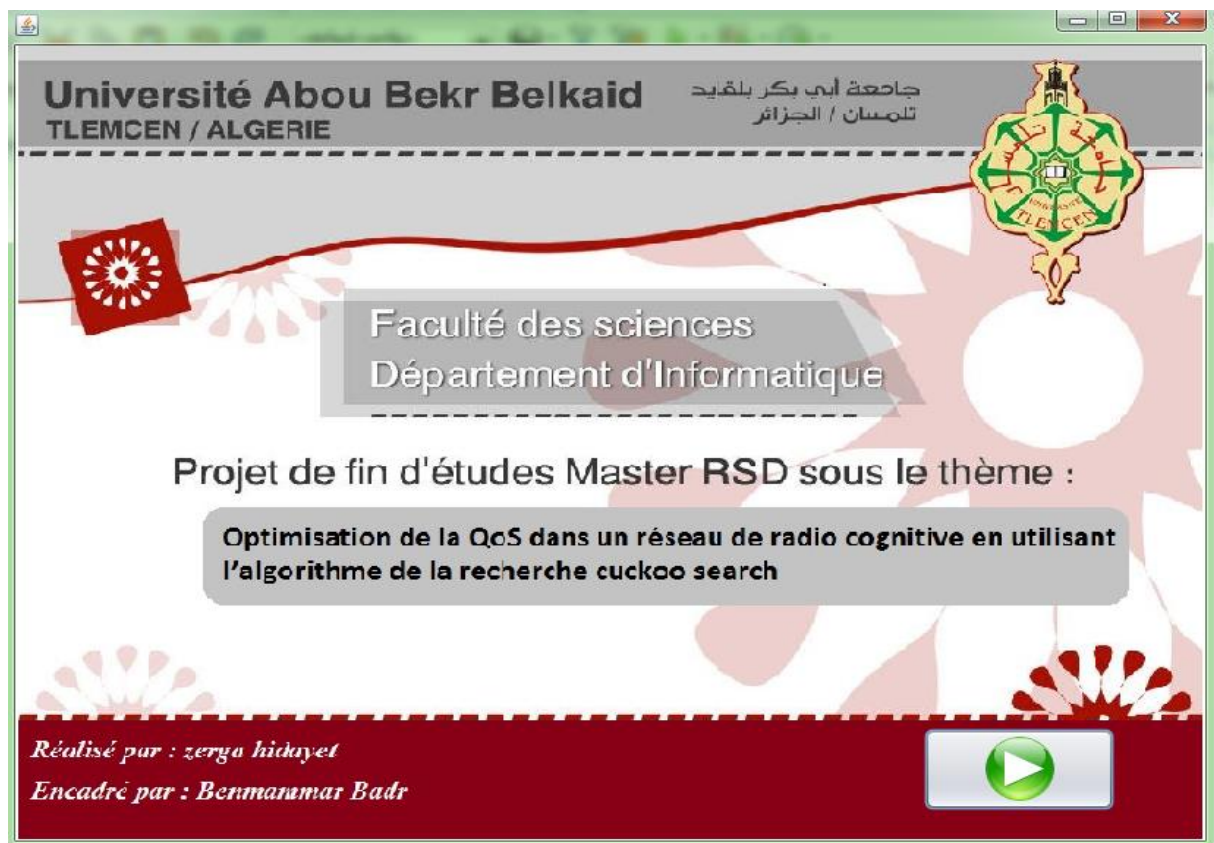


Figure III.2: Interface d'accueil.

Après un clic sur la flèche verte, l'utilisateur se retrouvera devant la fenêtre de configuration présentée ci-dessous:



Figure III.3: Interface configuration.

Le développement des interfaces a été réalisé à l'aide de la bibliothèque SWING. L'exécution de la simulation peut être lancée à partir du bouton Simuler et peut être arrêté à partir de (Fichier → Quitter), comme il est montré dans la Figure III.4.



Figure III.4: Menu fichier.

Afin d'examiner le comportement de notre algorithme, et examiner la convergence de la fonction objective, nous devons passer par l'étape de configuration pour choisir les paramètres de simulation. Notre application permet la configuration à partir du menu **Configuration** vu dans la Figure III.3, nous pouvons ainsi choisir un des trois modes de transmission « mode Urgence », « mode Multimédia », « mode Batterie faible », puis Choisir les paramètres de simulation qui sont : (Voir Figure III.5).

- ❖ Le nombre d'individus.
- ❖ Le nombre de canaux par individu.
- ❖ Le nombre de génération.





Figure III.5:Menu configuration algorithme.

Notre application permet de générer des graphes, après chaque simulation, en cliquant sur l'un des quatre boutons qui se trouvent dans la partie droite de notre interface de configuration et ceci à l'aide de la bibliothèque JFreeChart, ces histogrammes permettent de voir les caractéristiques de chaque canal d'une solution, que ce soit la puissance de transmission ou la modulation ou l'atténuation comme il est montré dans la Figure III.6 relative au mode Batterie Faible. Les histogrammes permettent aussi d'examiner le comportement de l'algorithme : les meilleurs scores et le meilleur temps d'exécution pour chaque mode de transmission.



Figure III.6: Caractéristiques d'un canal.

III.8 Comportement de l'algorithme dans les différents modes

III.8.1 Temps d'exécution

III.8.1.1 Temps d'exécution par rapport au nombre de canaux

Pour étudier l'impact du nombre de canaux sur le temps d'exécution dans chaque mode de transmission, nous allons fixer quelques paramètres. Le Tableau III.8 définit la valeur associée à chaque paramètre.

Paramètre	Valeur
Taille de la population	20
Nombre de générations	50
Fraction qu'on va abandonner Pa	10%

Tableau III.8: Paramètres de simulation.

La figure suivante montre l'impact du nombre de canaux sur le temps d'exécution.

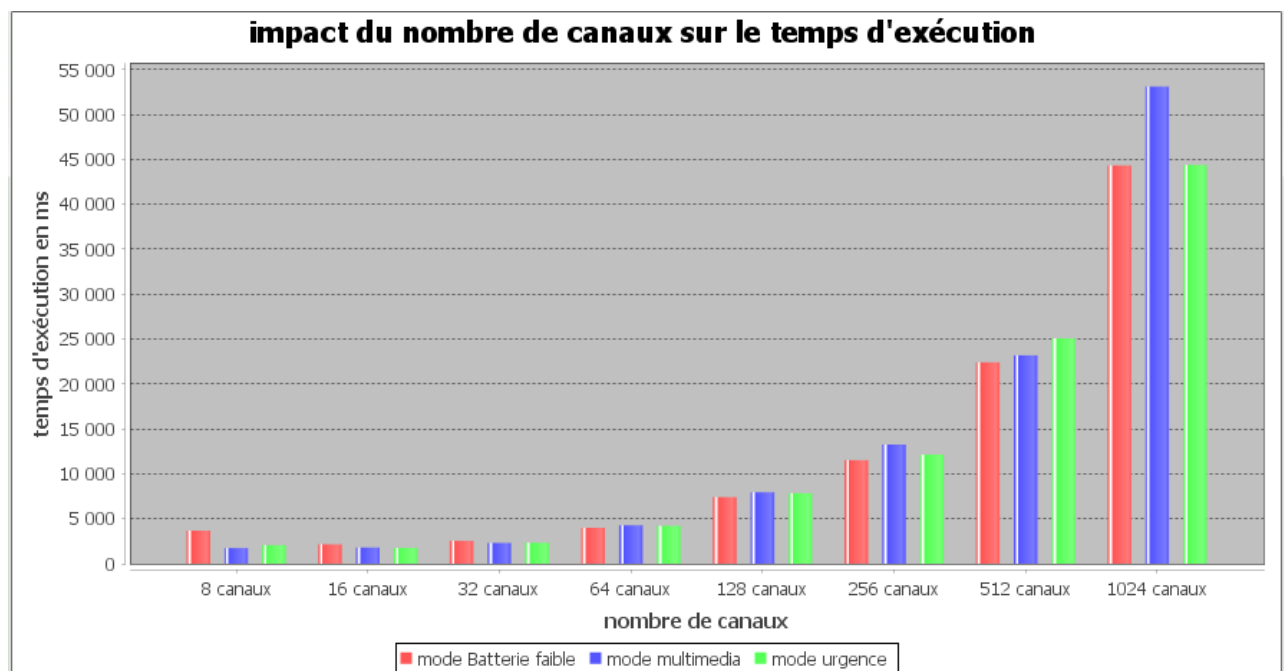


Figure III.7: Temps d'exécution par rapport au nombre de canaux.

Selon les résultats obtenus, on peut dire qu'il est préférable de réduire le nombre de canaux à 128 pour avoir un temps de réponse raisonnable sinon minimiser la taille de la population dans le cas d'un nombre de canaux supérieur à 128.

III.8.1.2 Temps d'exécution par rapport aux nombre de générations

Afin d'étudier l'impact du nombre de générations sur le temps d'exécution sur chaque mode de transmission, nous allons fixer quelques paramètres. Le Tableau III.9 définit la valeur associée à chaque paramètre.

Paramètre	Valeur
Taille de la population	20
Nombre de canaux	8
Fraction qu'on va abandonner Pa	10%

Tableau III.9: Paramètres de simulation.

La figure suivante montre l'impact du nombre de générations sur le temps d'exécution.

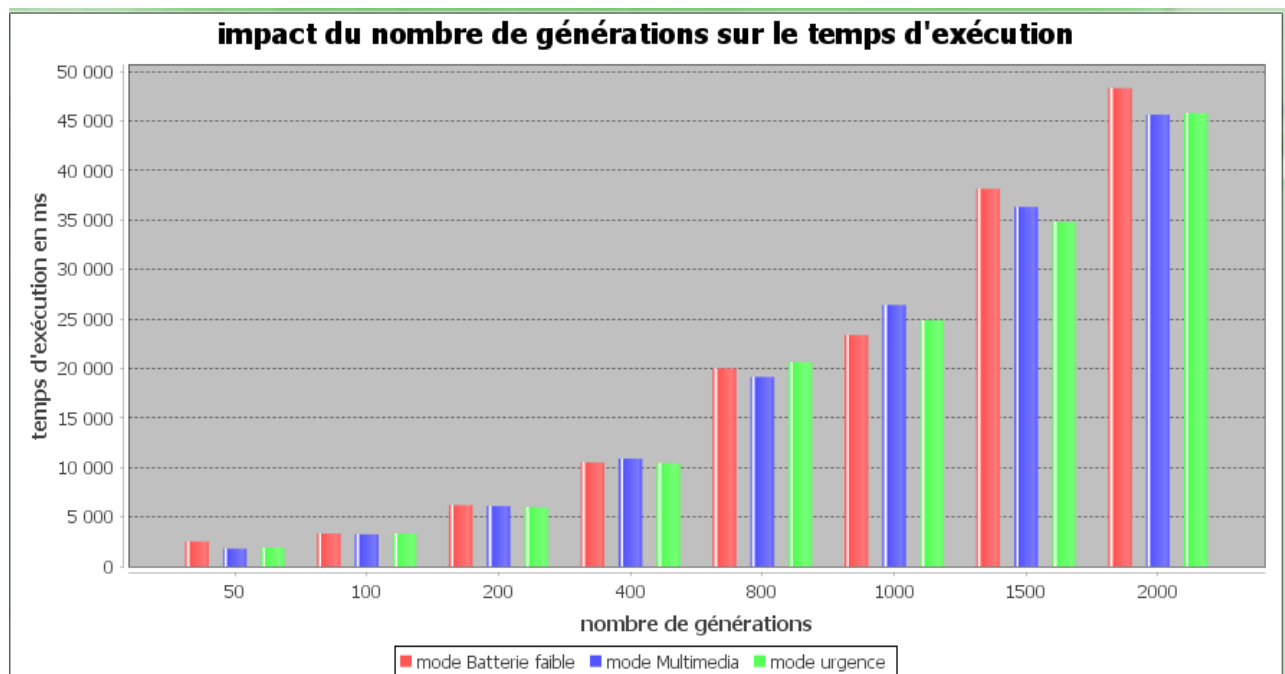


Figure III.8: Temps d'exécution par rapport aux nombre de générations.

Comme nous le remarquons, il est préférable de réduire le nombre de générations à 200 pour avoir un temps de réponse raisonnable sinon minimiser la taille de la population dans le cas d'un nombre de générations supérieur à 200.

III.8.2 Fonction objective

Nous avons exécuté notre algorithme dans chaque mode de transmission avec un nombre de canaux fixé à 16, et une taille de population fixé à 50. Le Tableau III.10 décrit les meilleures valeurs de la fonction objective dans la première et la dernière génération.

Mode de transmission	Meilleur score (première génération)	Meilleur score (dernière génération)
Mode Batterie faible	0.9628	0.9728
Mode Multimédia	0.7676	0.9950
Mode urgence	0.9742	0.9940

Tableau III.10: Meilleurs scores pour les trois modes de transmission.

La figure suivante montre la convergence de la fonction objective dans chaque mode de transmission.

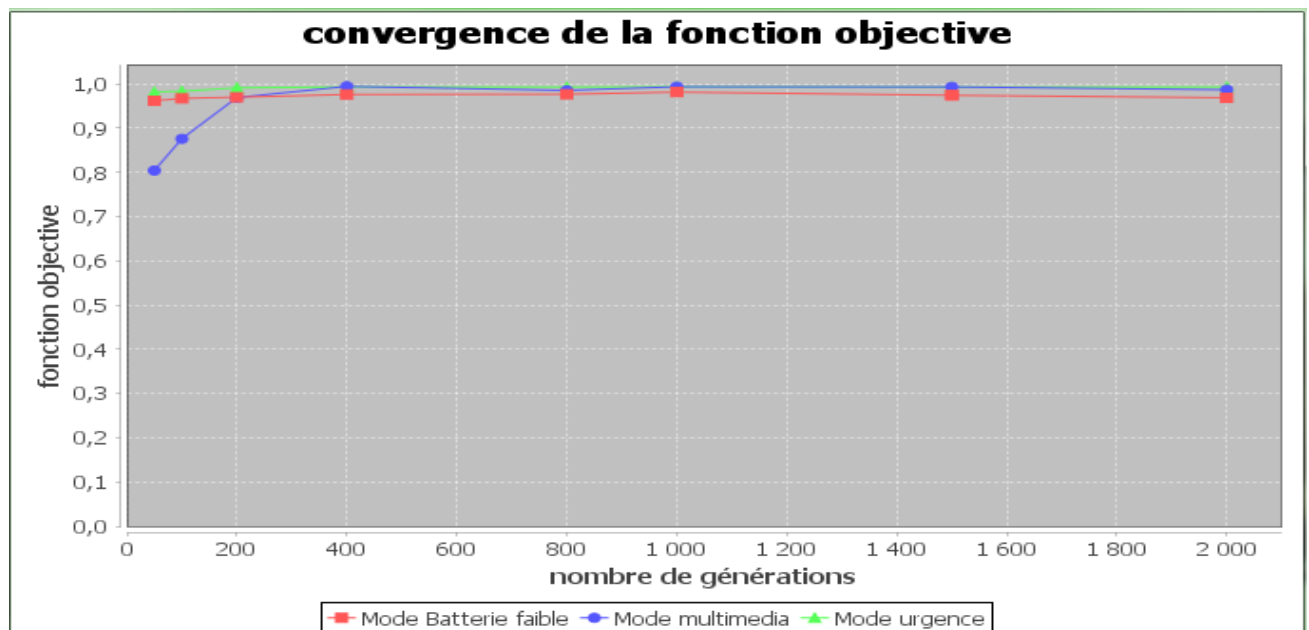


Figure III.9: Convergence de la fonction objective dans les différents modes de transmission.

Comme nous pouvons le constater à partir des résultats obtenus, les valeurs de la fonction objectives augmentent d'une génération à une autre, en effet, on est passé de 0.9628 à 0.9784 pour le mode Batterie faible après seulement 200 générations, de 0.7676 à 0.9950 pour le mode Multimédia après 800 générations, et de 0.9742 à 0.9940 pour le mode Urgence après seulement 400 itérations. Nous pouvons conclure que l'algorithme a réussi à améliorer considérablement les résultats de la fonction objective et par conséquence offrir une meilleure qualité de service aux utilisateurs dans les trois modes.

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons implémenté un moteur de recherche de décision de la radio cognitive, qui détermine les valeurs optimales de transmission radio en utilisant l'algorithme cuckoo search, et nous avons examiné les résultats. L'algorithme a bien prouvé son utilité dans ce domaine, en effet nous avons remarqué d'après les résultats obtenus, que peu importe le nombre de canaux il a réussi à déterminer de meilleurs solutions pour les trois modes.

En termes de temps de calcul, nous avons constaté que son utilisation doit être limitée à certain nombre de porteuses pour être utilisé dans un contexte temps réel.

Conclusion générale

La radio cognitive est une nouvelle technologie venue résoudre le problème de l'encombrement du spectre, en permettant à des SU de se servir des bandes de fréquences non utilisées par leurs propriétaires (PU) à un moment donné dans un emplacement géographique spécifique. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre et offre un accès efficace à cette ressource.

Dans ce mémoire, nous avons appliqué un algorithme métaheuristique qui est: l'algorithme Cukoo search dans le but d'optimiser l'allocation dynamique du spectre.

Pendant le premier chapitre nous avons donné quelques brèves définitions du spectre, et de la radio cognitive, des caractéristiques de cette dernière, de ses composants, ainsi que ses domaines d'applications.

Dans le second chapitre, nous avons donné quelques notions fondamentales sur les métaheuristicques, ensuite nous avons présenté d'une manière détaillée l'algorithme cuckoo search, que nous avons adapté pour la résolution de notre problème. Nous avons remarqué que l'algorithme présente certaines limites qui influent fortement sur sa convergence telle que le choix des bons paramètres à savoir la taille de la population, le nombre de génération, la probabilité de sélection et de modification.

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté l'implémentation de notre application, ensuite évalué les performances de notre algorithmes en se basant sur des résultats obtenus après plusieurs simulations, l'efficacité de notre algorithme en termes de fonction objective et de temps d'exécution a été confirmé par ces résultats pour les trois modes de transmission et avec un gain moyen en termes de temps d'exécution.

Pour conclure, nous pouvons dire que notre algorithme offre une qualité de service remarquable dans les réseaux de radio cognitive, ce qui nous pousse à vouloir étudier et travailler sur d'autres métaheuristicques afin de voir leurs effets sur chaque mode.

Bibliographie

[1] Akyildiz, Ian F., et al. "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey." *Computer networks* 50.13 (2006): 2127-2159.

[2] Haykin, Simon. "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications." *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* 23.2 (2005): 201-220.

[3] Amraoui, Asma, Badr Benmammar, and Fethi Tarik Bendimerad. "Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive." 2ième édition de la conférence nationale de l'informatique destinée aux étudiants de graduation et de post-graduation. 2012.

[4] Wireless Innovation Forum.

<http://www.wirelessinnovation.org/assets/documents/SoftwareDefinedRadio.pdf>, consulté en mars 2016.

[5] Ferhat Halima, "Optimisation de la QoS dans un réseau de radio cognitive en utilisant l'algorithme de la recherche par harmonie", PFE Master RSD. Université de Tlemcen. juin 2015.

[6] Benmammar, Badr, and Asma Amraoui. "Réseaux de radio cognitive: Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre." *arXiv preprint arXiv:1407.2705* (2014).

[7] AMRAOUI Ikram, BENGHERRA Wafaa, "Allocation de ressources dans un réseau de radio cognitive en se basant sur les méta-heuristiques: Bat Inspired Algorithm et Bee Colony Algorithm", PFE Master RSD. Université de Tlemcen. juin 2015.

[8] Larbi, Ibtissam, and Badr Benmammar. "Négociation de spectre dans les réseaux de radio cognitive." *arXiv preprint arXiv:1407.2217* (2014).

[9] Yang, Xin-She, and Suash Deb. "Engineering optimisation by cuckoo search." *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation* 1.4 (2010): 330-343.

[10] S. Digabel, « Introduction aux Métaheuristiques », support de cours, Ecole Polytechnique de Montréal, France.

[11] Gherboudj, Amira. Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques. Diss. Université de Biskra, 2013.

[12] <https://www.gerad.ca/~alainh/Metaheuristiques.pdf>, consulté le 20/04/2016.

- [13] Yang, Xin-She, and Suash Deb. "Cuckoo search via Lévy flights." *Nature & Biologically Inspired Computing*, 2009. NaBIC 2009. World Congress on. IEEE, 2009.
- [14] Reynolds, Andy M., and Mark A. Frye. "Free-flight odor tracking in *Drosophila* is consistent with an optimal intermittent scale-free search." *PloS one* 2.4 (2007): e354.
- [15] Barthelemy, Pierre, Jacopo Bertolotti, and Diederik S. Wiersma. "A Lévy flight for light." *Nature* 453.7194 (2008): 495-498.
- [16] Newman, Tim R., et al. "Cognitive engine implementation for wireless multicarrier transceivers." *Wireless communications and mobile computing* 7.9 (2007): 1129-1142.
- [17] N. Kingsbury, "Approximation Formulae for the Gaussian Error Integral, $Q(x)$ ", "<http://cnx.org/content/m11067/latest/>", consulté en Mars 2016.
- [18] Hassaine, Yazid. Optimisation de la QoS dans un réseau de radio cognitive en utilisant les algorithmes génétiques. PFE Master RSD. Université de Tlemcen. juin 2014.

Liste des figures

Figure I.1 : Répartition du spectre radio fréquence en fonction des technologies. [3].....	10
Figure I.2: Architecture de la radio cognitive [3].....	14
Figure I.3: Relation entre RC et SDR.....	15
Figure II.1: Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation [11].....	22
Figure II.2: Levy flight.....	26
Figure II.3: Mouvement brownien.	26
Figure III.1: Structure de la population de solution.	37
Figure III.2: Interface d'accueil.	38
Figure III.3: Interface configuration.....	39
Figure III.4: Menu fichier.....	39
Figure III.5:Menu configuration algorithme.	41
Figure III.6: Caractéristiques d'un canal.....	42
Figure III.7: Temps d'exécution par rapport au nombre de canaux.....	43
Figure III.8: Temps d'exécution par rapport aux nombre de générations.....	44
Figure III.9: Convergence de la fonction objective dans les différents modes de transmission.....	45

Liste des tableaux

Tableau III.1: Formule mathématique des trois critères.....	31
Tableau III.2: La valeur du taux d'erreur selon les types de modulation. [16].....	32
Tableau III.3: Relation entre les fonctions et les paramètres.	33
Tableau III.4: Association des poids aux différents modes de transmission.....	34
Tableau III.5: Codage de puissance.....	36
Tableau III.6: Codage de mode de transmission.	36
Tableau III.7: Codage de modulation.....	36
Tableau III.8: Paramètres de simulation.....	43
Tableau III.9: Paramètres de simulation.....	44
Tableau III.10: Meilleurs scores pour les trois modes de transmission.....	45

Résumé

Les réseaux sans fils actuels souffrent de problèmes résultant de la limitation et de l'utilisation inefficace du spectre, la radio cognitive permet d'exploiter le spectre sans fil existant de façon opportuniste, et résout ce genre de problèmes. Dans notre mémoire, nous nous sommes intéressés à l'optimisation de la qualité de service dans le domaine de la radio cognitive, et dans un contexte multicanaux en utilisant une méta-heuristique appelée « cuckoo search ». Une fonction objective a été appliquée sur trois modes de transmission différents pour atteindre une solution optimale.

Les résultats ont montré que l'utilisation de cet algorithme peut améliorer significativement la qualité de service de l'utilisateur, mais il doit être limité à un certain nombre de sous porteuses pour être utilisé dans un contexte temps réel.

Mot clés : radio cognitive, QoS, métaheuristiques, Cuckoo search.

Abstract

The existing wireless networks suffer from problems resulting from the limited and inefficient use of spectrum, cognitive radio allows exploiting the existing wireless spectrum opportunistically, and solves these problems. In our brief, we were interested in optimizing the quality of service in the field of cognitive radio, and a multi-channel environment using a meta-heuristic called "cuckoo search". An objective function was applied to three different transmission modes to achieve an optimal solution.

The results showed that the use of this algorithm can significantly improve the quality of user service, but must be limited to a number of subcarriers to be used in a real time context.

Key words: cognitive radio, QoS, metaheuristics, Cuckoo search.

ملخص

الشبكات اللاسلكية الحالية تعاني من مشاكل ناتجة عن الاستخدام المحدود و غير الكفء للطيف ، الراديو الإدراكي يسمح باستغلال الطيف اللاسلكي بطريقة انتهازية ، و يحل هذه المشاكل . في هذه الذاكرة اهتمنا بتحسين نوعية الخدمات في مجال الإذاعة المعرفية ، و بيئة متعددة القنوات, تستخدم الأدلة العليا بعنوان " cuckoo search " . تم تطبيق وظيفة موضوعية لثلاثة وسائط نقل مختلفة لتحقيق الحل الأمثل , أظهرت النتائج أن استخدام هذه الخوارزمية يمكن أن يحسن بشكل ملحوظ نوعية خدمة المستخدم، ولكن يجب أن يقتصر على عدد من الحوامل الجزئية لاستخدامها في سياق الوقت الحقيقي.

الكلمات الرئيسية : الراديو المعرفي ، جودة الخدمة ، الأدلة العليا والبحث Cuckoo