

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed Bougara Boumerdes
Faculté des Sciences
Département de Mathématiques



Projet de fin d'étude

En vue de L'Obtention Du Diplôme De Master

En Recherche Opérationnelle

Option : Recherche Opérationnelle Modélisation et Aide à la Décision

Par : REBAH Asma

MEGHOUCHE Selma

Méthodologie de la gestion d'un spectre et
l'implémentation des points d'accès (AP) dans
un réseau -Algérie Télécom Boumerdes

Soutenue à l'UMBB, le 20/06/2016, devant le jury composé de :

M ^{me} FASS	M.A.A	Encadreur	l'UMBB - Boumerdes.
M ^r MAHLOU		Encadreur	DOT - Boumerdes
M ^{me} LARBI	M.A.A	Présidente	l'UMBB - Boumerdes.
M ^{me} HARFOUCHE	M.A.A	Examinatrice	l'UMBB - Boumerdes.

Année Universitaire 2015 – 2016

Remerciment

Nous tenons avant tout à remercier **DIEU** tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour achever ce modeste travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à madame **FASS** notre promotrice pour tout les conseils, les suivis avisés ainsi pour son prestigieux aide, sa disponibilité et avis éclairés.

Nos plus vifs remerciements vont également à notre encadreur Monsieur **MAHLOU.R** pour avoir accepter de co-encadrer ce thème de recherche , et pour son aide et ses nombreux conseils scientifiques .

Nos gratitudes vont aussi aux membres du jury :

Nous adressons de même nos chaleureux remerciements à tout le staff d´**Algérie Télécom** sans oublié Monsieur **kARA Ali** , qui n´ont pas hésité à nous aider pour la réalisation de ce mémoire.

Sans oublier, évidemment les enseignants du **département Mathématique** de la **Fa-culté des Sciences** de Boumerdes pour tous les cours dispensés tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, notre reconnaissance va à tout ceux qui ont contribués de près ou de loin à l´élaboration de ce travail ainsi qu´à ceux qui nous ont encouragé sans relâche au cours des périodes difficiles de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très **chers parents** qui n'ont pas cessé de m'encourager durant toutes mes études que dieu me les garde .

Je le dédie également à mes chers **frères** et mes chers **sœurs** ainsi qu'à toute la famille **MEGHOUCHE** , du plus vieux jusqu'au plus jeune.

Je dédie ce modeste travail à ma très chère amie et binôme **Asma** et sa famille.

Je le dédie également à toutes mes amies ici et ailleurs .

Je tiens aussi à le dédier à tous ceux qui nous ont apporté leurs soutien pour élaborer ce travail notamment **Mr.kara ali mourad** .

Enfin, je le dédie chaleureusement à tout ceux qui me connaissent que j'aime et qui m'aiment.

Selma

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très **chers parents** qui n'ont pas cessé de m'encourager durant toutes mes études que dieu me les garde .

Je le dédie également à mes chers **frères** et mes chers **sœurs** ainsi qu'à toute la famille **REBAH** , du plus vieux jusqu'au plus jeune.

Je dédie ce modeste travail à ma très chère amie et binôme **Selma** et sa famille.

Je le dédie également à tous mes **amis(e)** avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bon heur, surtout ma **chérie Amina**.

Je tiens aussi à le dédier à tous ceux qui nous ont apporté leurs soutien pour élaborer ce travail.

Enfin, je le dédie chaleureusement à tout ceux qui me connaissent que j'aime et qui m'aiment.

Asma

Table des matières

Introduction générale	2
1 Présentation de l'organisme d'accueil :Algérie Télécom	5
1.1 Présentation d'Algérie Télécom	5
1.2 Présentation de la Direction Opérationnelle de Télécommunication DOT Boumerdes	8
1.2.1 L'historique de la DOT de Boumerdes	8
1.2.2 Missions de direction de Boumerdes	8
1.2.3 Organisation de la DOT de Boumerdes	9
1.2.4 Différents services de la DOT de Boumerdes	9
1.3 Présentation du champ d'étude (service déploiement)	11
1.3.1 Responsabilités	11
2 Définitions,Généralité sur le Wimax	13
2.1 Introduction	13
2.2 Généralités	14
2.3 Réseau sans fil	14
2.3.1 Définition	14
2.3.2 Equipement d'un réseau sans fil	15
2.3.3 Méthodes de transmission dans les réseaux sans fil	16
2.3.4 Catégories des réseaux sans fil	17
2.4 Technologie Wimax	18
2.4.1 Définition et présentation du Wimax	18
2.4.2 Wimax : Evolution des standards	19
2.4.3 Principaux équipements Wimax	22
2.4.4 Mode opératoire du Wimax	23
2.4.5 Apport du Wimax	24
2.4.6 Domaines et applications des réseaux Wimax	25
2.4.7 Avantages du Wimax	25
2.4.8 Inconvénients du Wimax	26
2.5 Technologie autour du Wimax	26
2.5.1 Quelques définitions	26
2.5.2 Ressources fréquentielles	28
2.5.3 Spectre de fréquence	29
2.6 Gestion d'un spectre	30
2.6.1 Objectifs de la gestion du spectre	30
2.6.2 Nécessite de la gestion du spectre de fréquence	31
2.6.3 Approche traditionnelle (actuelle)	31
2.7 Implémentation des points d'accès (AP) dans un réseau	32

2.7.1	Installation des points d'accès	33
2.7.2	Configuration du réseau	33
2.8	Conclusion	33
3	Problématique et Modélisation	35
3.1	Introduction	35
3.2	Réseaux hertziens	35
3.3	Concept cellulaire	36
3.4	Interférences du Wimax	38
3.5	Handover	39
3.6	Présentation du problème	40
3.7	Modélisation par graphe	40
3.7.1	Description des données du graphe	41
3.8	Modélisation par la programmation linéaire	41
3.8.1	Description des données du problème	41
3.8.2	Description de modèle	42
3.9	Conclusion	44
4	Méthodes de Résolution	45
4.1	Introduction	45
4.2	Problème d'optimisation combinatoire	46
4.3	Complexité d'un problème combinatoire	46
4.4	Choix des méthodes de résolution	47
4.5	Méthodes exactes	49
4.6	Méthodes approchées	50
4.7	Méthode Tabou	52
4.7.1	Algorithme de la recherche Tabou	52
4.8	Adaptation de la méthode Tabou au problème d'allocation de fréquences	56
4.9	<i>Exemple d'application</i>	58
4.10	Conclusion	62
5	Implémentation de logiciel	63
5.1	Introduction	63
5.2	Exemple d'application	63
5.3	L'exécution :	65
	Conclusion générale	68
	Annexe	70
	bibliographie	79

Table des figures

2.1	Adapteur sans fil	15
2.2	Point d'accès	16
2.3	Réseaux sans fils	18
2.4	Exemples de matériels Wimax fixe.	21
2.5	Exemple d'un modèle Wimax mobile.	21
2.6	LOS et NLOS.	24
2.7	Onde hertzienne.	28
3.1	Deux schémas de configuration d'un site :(a) site muni d'une seule antenne omnidirectionnelle, (b) site muni de trois antennes sectorielles.	36
3.2	Concept cellulaire.	37
3.3	Concept cellulaire : (a) couverture théorique, (b) couverture réelle.	37
3.4	Déroulement d'un handover inter-cellulaire.	39
4.1	Classement des méthodes de résolution.. . . .	48
4.2	Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation.	49
4.3	Réseau cellulaire.	58

Liste des tableaux

2.1	La famille IEEE 802.16.	20
2.2	Comparaison entre le Wimax fixe et mobile.	22
2.3	Bandes des fréquences utilisées pour le Wimax	28
2.4	Le spectre de fréquence	29

Introduction générale

Les évolutions se poursuivent de toute part, tant dans le monde des réseaux spécialisés (capteurs, étiquettes intelligentes..etc) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms classiques, monde des réseaux sans fil avec le Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) voire le monde de la diffusion télévision terrestre et satellite.

Depuis les années 80, le problème d'allocation de fréquences fait l'objet de différentes études menées par des chercheurs. Le spectre de fréquences qui est attribué aux opérateurs de télécommunication est divisé en canaux fréquentiels. L'allocation de fréquences regroupe les mécanismes et procédures mis en œuvre afin de gérer l'attribution des canaux de fréquences aux demandes de communication. La gestion des fréquences permet de déterminer la qualité du réseau.

La qualité du réseau sans fil avec le Wimax repose essentiellement sur la gestion des ressources radio. Le réseau sans fil avec le Wimax utilise des fréquences pour établir les communications. Le nombre de fréquences allouées à chaque opérateur étant limité, les fréquences doivent être réutilisées.

A cause de la réutilisation des fréquences et dans le but de satisfaire la demande qui ne cesse de croître, différentes contraintes doivent être respectées : nombre de fréquences par émetteur, compatibilité électromagnétique...etc.

L'allocation de fréquences est un problème d'optimisation combinatoire. C'est un problème qui s'avère difficile à résoudre de manière exacte. En effet, la résolution d'un problème dans lequel on considère des instances de taille comparable à celles rencontrées dans la pratique conduit souvent à se heurter à des problèmes de temps de calcul trop importants pour des méthodes calculant

la solution optimale.

Au début des années 90 ,de nouvelles heuristiques ont été développés .Les méthodes permettant d´avoir les solution approches de bonne qualité en temps raisonnable. Les métaheuristiques tel que (recuit simulé, algorithmes génétiques et la recherche Tabou) se sont révélés particulièrement efficaces et on étée applique avec révélées particulièrement efficaces et ont été appliquées avec succès à de nombreux problèmes difficiles.

Par conséquent le "développement d'un outil interne de vérification et de planification de fréquences", ayant comme objectif l'optimisation des violations fréquentielles des sites on utilisant un nombre de fréquences minimal est très utile à l'entreprise.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif de notre projet de fin d'études intitulé Méthodologie de gestion d'un spectre et implémentation des points d'accès (AP) dans un réseau , proposé dans le cadre d'une collaboration entre faculte des Sciencess M'hamed Bougara d'une part et l'opérateur Algérie Télécom d'autre part.

Notre mémoire de fin d'étude est structuré de la manière suivante :

Le premier chapitre est une présentation de l'organisme d'accueil Algérie Télécom et la direction opérationnelle de Télécommunication de Boumerdes en particulier, à travers son fonctionnement général et ses missions.

Le deuxième chapitre est consacré aux définitions et généralités concernant le domaine de télécommunication et électronique, la présentation de la nouvelle technologie Wimax en terminant par une méthodologie de la gestion du spectre et l'implémentation des points d'accées.

Le troisième chapitre comprend la problématique et les objectifs assignés à notre travail basant sur quelque définitions du concept cellulaire et réseau hertzien.On terminant par une modélisation plus affine de notre problématique assigné .

Avant d'entamé la résolution de notre problème, un quatrième chapitre est consacré pour Les méthodes de résolution de problème d'allocation de

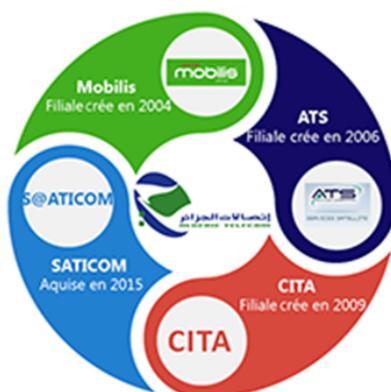
fréquence sous contraintes d'interférences.

Le cinquième chapitre est consacré à la partie implémentation ainsi qu'une description générale du logiciel informatique mis en place au sein de la société et les résultats obtenus.

Chapitre 1

Présentation de l'organisme d'accueil : Algérie Télécom

1.1 Présentation d'Algérie Télécom



Algérie Télécom, est une société par actions à capitaux publics SPA, opérant sur le marché des réseaux et services de communications électroniques. Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, fixant les règles générales relatives à la poste et aux télécommunications ainsi que les résolutions du Conseil National aux Participations de l'États (CNPE) du 1^{er} Mars 2001 portant création d'une entreprise publique économique dénommée Algérie Télécom.

Algérie Télécom est donc régie par ces textes qui lui confèrent le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par action au capital social de 50.000.000.000 Dinars et inscrite au centre du registre de commerce le 11 mai 2002 sous le numéro 02B 0018083.

Algérie Télécom est leader sur le marché Algérien des télécommunications qui connaît une forte croissance. Offrant une gamme complète de services de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels. Cette position s'est construite par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages.

Entrée officiellement en activité à partir du 1^{er} janvier 2003, elle s'engage dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec trois objectifs :

- Rentabilité.
- Efficacité.
- Qualité de service.

Son ambition est d'avoir un niveau élevé de performance technique, économique, et sociale pour se maintenir durablement leader dans son domaine, dans un environnement devenu concurrentiel.

Son souci consiste, aussi, à préserver et développer sa dimension internationale et participer à la promotion de la société de l'information en Algérie.

Algérie Télécom s'est engagé comme acteur principal dans la mise en œuvre de programmes de développement de la société de l'information en Algérie.

Compte tenu des besoins de sa clientèle dans les différents segments de services des télécommunications, Algérie Télécom a arrêté un programme de développement sur la période 2004-2008 qui se décline dans :

- L'introduction de nouvelles technologies en matière de commutation à hauts débits.
- L'implémentation d'un réseau multiservices large bande .
- La généralisation de la transmission numérique sur support optiques avec la réalisation de Backbone national de fibres optiques .
- L'introduction de nouvelles techniques radios type WIFI.
- La prise d'une grande part de marché du téléphone mobile.

Algérie Télécom est favorable au partenariat à l'échelle nationale et internationale pour saisir les opportunités offertes par le marché algérien dans le domaine des technologies de l'information et de la communication.

Pour répondre aux besoins de sa clientèle et assurer une prestation de

service de qualité, Algérie Télécom s'est organisée en filiales spécialisées et de dimensions national, il s'agit de :

- La filiale de téléphonie mobile.
- La filiale des télécommunications par satellite .
- La filiale des services Internet .

Missions et objectifs

L'activité majeure d'Algérie Télécom est de :

- Fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de messages écrits, de données numériques, d'informations audiovisuelles.
- Développer, exploiter et gérer les réseaux publics et privés de télécommunications .
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions avec tous les opérateurs des réseaux.

Algérie Télécom est engagée dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec les objectifs suivants :

- Accroître l'offre de services téléphoniques et faciliter l'accès aux services de télécommunications au plus grand nombre d'utilisateurs, en particulier en zones rurales .
- Accroître la qualité de services offerts et la gamme de prestations rendues et rendre plus compétitifs les services de télécommunications.
- Développer un réseau national de télécommunication et connecté aux autoroutes de l'information.

Algérie télécom est composée de 13 directions à travers le territoire national. Chaque direction supervise de 5 à 8 directions opérationnelles de télécommunication est rattachée à elle. Chaque direction est composée aussi de centres de production de télécommunication (CPT), Agence commerciale des télécommunications (ACTEL), centre d'amplification (CA) centre comitatif local transite (CCLT).



1.2 Présentation de la Direction Opérationnelle de Télécommunication DOT Boumerdes

1.2.1 L'historique de la DOT de Boumerdes

La DOT est située à la cité des 1200 logements Boumerdes, sa création à ce jour est passée par les étapes suivantes :

- En juin 1984, l'installation de la direction (meubles et immeubles) et la mise en service qui fait partie de la fonction public.
- En janvier 1985, la direction DW PTT a connu officiellement son démarrage et son fonctionnement.
- En janvier 2003, la direction DW PTT a subit une décomposition de la forme suivante :
 - PTT dans le secteur de la fonction public.
 - Algérie Télécom :SPA.EPE.
 - Algérie poste EPIC.

1.2.2 Missions de direction de Boumerdes

La mission de direction opérationnelle de télécommunication(DOT) de Boumerdes est de gérer son parc d'abonnées et s'occuper aussi de :

- La gestion et l'entretien du réseau téléphonique.
- L'extension du réseau à travers les demandes exprimées .
- Gestion commerciale.

- Gestion des factures.

1.2.3 Organisation de la DOT de Boumerdes

L'unité opérationnelle de télécommunication est composé de :

- 06 centres de production de télécommunication :(Dellys, Bordj menaiel, Boudouaou, khmis el khachna, Thnia, Boumerdes).
- 03 agences commerciales .
- Un centre de maintenance matérielle.
- Un centre des travaux publics.
- 02 divisions commerciales.

1.2.4 Différents services de la DOT de Boumerdes

a- Directeur d'unité

Il responsable de l'unité et des différents services et centres de production de télécommunication.

b- Service personnel

Il est chargé de :

- Suivre tous les personnels.
- Recrutement et la nomination des agents.
- Suivre les congés annuels.
- Gérer la carrière des agents de la DOT.

c- Service d'exploitation réseau d'abonné

Relation avec l'installation des réseaux et l'installation des abonnées à travers la wilaya de boumerdes, il se compose de 03 équipes :

- Equipe sous terrain.
- Equipe aérienne.
- Equipe d'installation.

d-Services marketing et clientèle

Ce service chargé de :

- La gestion du réseau commerciale des télécommunications.
- La mise en œuvre des objectifs commerciaux.
- Assigne au service public des actions de marketing et formation de nouveau service en télécommunication..etc.

Ce service est composé en 06 bureaux :

- Bureau clientèle.
- Bureau contrôle et de la gestion commerciale (BCGC).
- Bureau de LS :suivi des abonnées à partir de la demande jusqu'à la facturation.
- Agence commerciale de télécommunication(ACTEL).
- Centre abonnement et entretien.

e- Service d'exploitation réseaux de base

Ce service est chargé de :

- Gérer tous ces bureaux(CA,AXE,CCLT, Service Réalisation énergie).
- Réalisation, exploitation et maintenance des transmission dominant.
- Réalisation des équipements de transmission.
- Réalisation et exploitation des équipements de commutation.
- Installation et alimentation des réseaux plus enlèvement des dérangements.

f- Service moyen

Il est chargé de :

- La distribution de budget sur les différents magasins et services.
- L'établissement des bons de commande.
- Les redditions des comptes de fin d'année.

1.3 Présentation du champ d'étude (service déploiement)

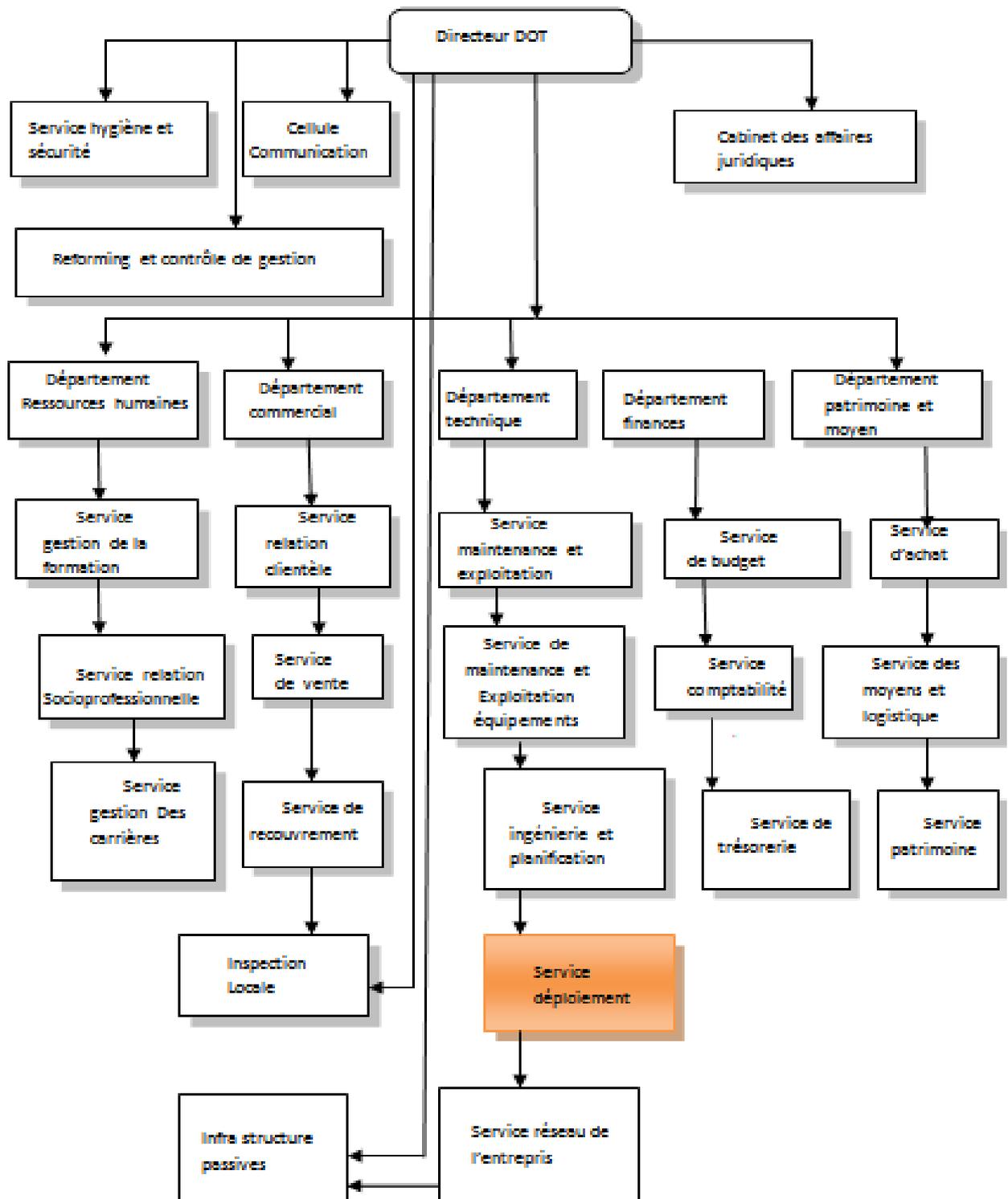
Ce service appartient au département technique dans le cadre de l'exploitation des réseaux , il supervise les travaux d'installation des réseaux d'entreprise et s'assure la bonne installation des équipement afin de garantir aux utilisateurs la meilleure qualité de service .

Les services liés au service déploiement :

- Service Ingénierie et Planification : chargé des études pour le projet.
- Service maintenance et exploitation des Réseaux :chargé de la maintenance de tous les pannes au niveau de l'Algérie Télécom ,la panne téléphonique ,internet.
- Infrastructure passive : chargé de la préparation avant l'installation.

1.3.1 Responsabilités

- Assure la bonne exécution du planning de déploiement du réseau (msan ,DSLAM) et supportes (fibre optique (F.O),hertzienne (F.H)).
- Conduite de projet de déploiement et réception technique des travaux d'installation .
- Validation du planning de redéploiement des équipements .
- Optimisation des réseaux.
- Préparation et suivi du site Survey , et prise en charge des incidents signalés pendent la mise en place des équipements .
- Etude et déploiement de solutions.
- Suivi de la configuration du réseau.
- Préparation et élaboration des contrats.
- Réalisation du paramétrage et/ou programmation planifiée pour la mise en service des réseaux.
- La réception des projets (câbles , canalisation ,équipements).



Chapitre 2

Définitions, Généralité sur le Wimax

2.1 Introduction

Depuis la création du téléphone, les fournisseurs de services s'appuient sur leur capital assez élevé pour persister sur le marché et écarter toute compétition : les investissements nécessaires pour déployer un réseau téléphonique créent un obstacle insurmontable pour la majorité des concurrents à faible capital.

Le Wimax changera le monde des télécommunications d'aujourd'hui et ouvrira de nouveaux spectres aux fournisseurs de services qui, durant plusieurs décennies, ont souffert de la limitation de ressources : cette technologie permettra une vraie concurrence dans tous les principaux services de télécommunications tels que la voix, la vidéo, et les données.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la technologie wimax, ces applications leurs limites et développements, par la suite nous allons écrire quelques définitions et des descriptions des termes de domaine télécommunications et électronique en terminant par une méthodologie de la gestion du spectre et l'implémentation des points d'accès.

2.2 Généralités

Télécommunication

Les télécommunications (abrév. fan. télécoms), étymologiquement : communications à distance, ne sont pas considérées comme une science, mais comme des technologies et techniques appliquées. On entend par télécommunications toute transmission, émission et réception à distance, de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toutes natures, par fil électrique, radioélectricité, optique ou autres systèmes.

Le mot télécommunication a été utilisé pour la première fois en 1904 par Edouard Estaunié, ingénieur aux postes et télégraphes, directeur de 1901 à 1910 de l'école professionnelle des postes et télégraphes (ancêtre de l'école nationale supérieure des télécommunications), dans son traité pratique de télécommunication électrique.

Emetteur/récepteur

Un émetteur radio est un dispositif électronique qui émet des ondes électromagnétiques permettant ainsi de transmettre des données (sons, images ou autres) à des récepteurs.

Trafic

Le trafic étant fonction du nombre moyen de personnes qui communiquent et de la durée moyenne d'une communication.

Couverture radio

La grandeur communément utilisée est basée sur la notion de couverture radio. Un point du plan P est couvert par le réseau si la puissance du signal qu'il reçoit depuis au moins un point d'accès du réseau est suffisante pour pouvoir comprendre le message transmis.

2.3 Réseau sans fil

2.3.1 Définition

Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est un réseau [14] dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison Filaire, permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de

mètres à quelques kilomètres .

Ce n'est pas surprenant de prévoir que le sans fil connaîtra le même succès qu'Internet et autres nouvelles technologies.

Les réseaux sans fil [14] sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) à la place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

2.3.2 Equipement d'un réseau sans fil

Il existe différents types d'équipement pour la mise en place d'un réseau sans fil tel que [14] :

Adaptateurs sans fil ou carte d'accès

(wireless adaptateurs ou network interface controller)

Il s'agit d'une carte réseau adéquate permettant à une machine de se connecter à un réseau sans fil peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un point d'accès réseau. Ce dernier peut être physiquement connecté au réseau câblé et fait alors office de point d'accès vers le réseau câblé.

Les adaptateurs wifi sont disponibles dans de nombreux formats (carte PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association), adaptateur USB¹).



FIGURE 2.1 – Adaptateur sans fil

1. USB : Universal Serial Bus est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur ou à tout type d'appareil prévu à cet effet (tablette, smartphone, etc..)

Points d'accès

Noté AP (Access Point), parfois noté borne sans fil, permettant de donner un accès au réseau filaire auquel il raccorde aux différentes stations avoisinantes équipées de carte wifi.



FIGURE 2.2 – Point d'accès

2.3.3 Méthodes de transmission dans les réseaux sans fil

Il existe principalement deux méthodes pour la transmission dans les réseaux sans fil :

Transmission par les ondes infrarouges

la transmission par les ondes infrarouges [7] nécessite que les appareils soient en face l'un de l'autre et aucun obstacle ne sépare l'émetteur et le récepteur car la transmission est directionnelle. Cette technique est utilisée pour créer des petits réseaux de quelques dizaines de mètres.

Transmission par les ondes radio

La transmission par les ondes radio [7] est utilisée pour la création des réseaux sans fil de plusieurs kilomètres. Les ondes radio ont l'avantage de ne pas être arrêtées par les obstacles car elles sont émises d'une manière omnidirectionnelle. Le problème de cette technique est les perturbations extérieures qui peuvent affecter la communication à cause de l'utilisation de la même fréquence par exemple.

2.3.4 Catégories des réseaux sans fil

Pour des raisons développées plus loin, les réseaux sans fil ont une portée limitée, on distingue quatre catégories [13] selon le périmètre géographique offrant une connexion (appelé zone de couverture) :

Les réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personal Area Network)

Dans cette catégorie, on retrouve les réseaux sans fil à l'échelle humaine dont la portée maximale est limitée à quelques dizaines de mètres autour de l'utilisateur (bureaux, salles de conférence...). On y trouve les standards tels que le Bluetooth, l'Ultra Wide Band (UWB)...

Réseaux locaux sans fil (WLAN : Wireless Local Area Network)

C'est la catégorie des réseaux locaux sans fil dont la portée va jusqu'à 500 m, pour les applications couvrant un campus, un bâtiment, un aéroport, un hôpital...etc. On y trouve les standards tels que le Wi-Fi (Wireless Fidelity) et les HIPERLAN²

Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN : Wireless métropolitain Area Network)

Plus connus sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR), ce type de réseau utilise le même matériel que celui qui est nécessaire pour constituer un WLAN mais peut couvrir une plus grande zone de la taille d'une ville avec une portée pouvant aller jusqu'à 50 Km. C'est dans cette catégorie que l'on classe le Wimax et les HIPERMAN³

Les réseaux étendus sans fil (WWAN : Wireless Wide Area Network)

C'est la catégorie de réseaux cellulaires mobiles dont la zone de couverture est très large à l'échelle mondiale. Dans cette catégorie, on peut citer le GSM (Global System for Mobile) et ses évolutions.

2. HIPERLAN (High PERFORMANCE radio Local Area Network) : est un standard européen de télécommunications .

3. HIPERMAN (High performance radio Metropolitan Area Network) : est un standard européen de télécommunications.

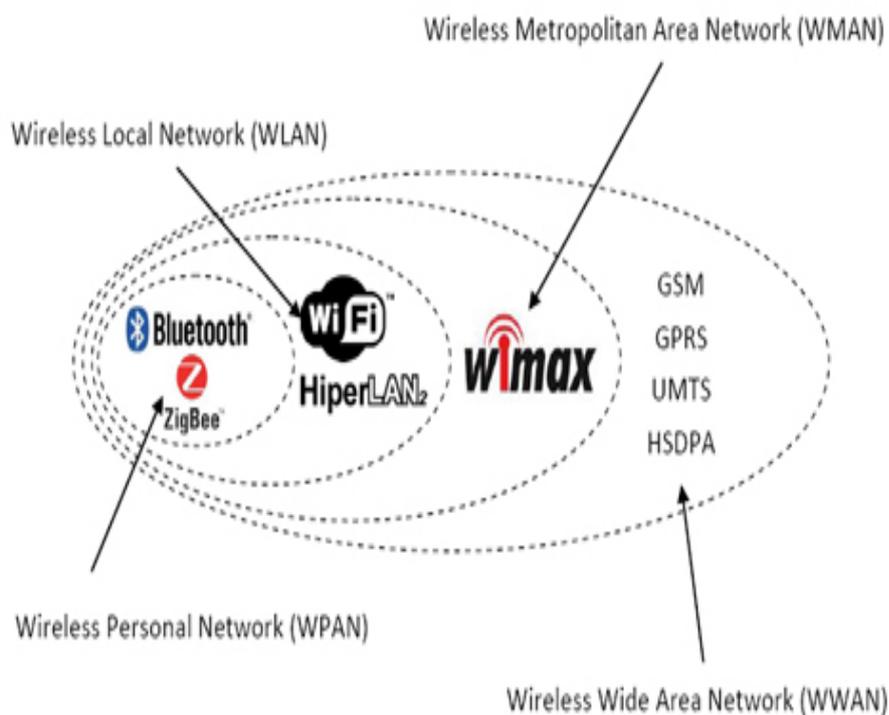


FIGURE 2.3 – Réseaux sans fils .

2.4 Technologie Wimax

2.4.1 Définition et présentation du Wimax

Wimax (acronyme pour Worldwide Interoperability for Microwave Access)[3] est une norme technique développée par le consortium Wimax Forum désigne un standard de communication sans fil. Aujourd'hui surtout utilisé comme mode de transmission et d'accès à Internet à haut débit par les ondes radio pouvant [8] atteindre 70Mbits/s avec une portée théorique de 50km, portant sur une zone géographique étendue, basée sur le standard de transmission radio 802.16⁴ validé en 2001 par l'organisme international de normalisation IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) .

En effet, Le réseau Wimax désigne dans le langage courant un ensemble de standards et techniques du monde des réseaux métropolitains sans fil WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).Idéal pour les entreprises et les usagers

4. 802.16 : spécifications pour l'implémentation de réseaux numériques métropolitains à liaison sans fil .

dans les zones non desservies.

La nouvelle technologie AT-HIR WiMax est une offre complète visant à satisfaire les besoins des entreprises en matière d'accès à Internet haut débit.

Plusieurs standards relèvent du terme Wimax : les plus avancés concernent les usages en situation fixe (le client ne bouge pas), mais une version mobile (connexion à haut débit en situation de mobilité) est entrain de voir le jour et qui à pour objectif d'étendre Wimax à des machines terminales mobiles, impliquant donc la possibilité de réaliser des connexions xDSL⁵

2.4.2 Wimax : Evolution des standards

Wimax réunit plusieurs standards, tous à des états d'avancement différents, qui sont autant d'axes de travail du groupe IEEE 802.16.

Le tableau ci-dessous [10] donne un aperçu sur la famille IEEE 802.16

5. xDSL :(Digital Subscriber Line) est un ensemble de technologies de transmission des données à hauts débits sur le réseau d'accès fait de câbles sans fil vers des mobiles.

Standard	Description	Publié
IEEE std 802.16-2001	-Définit des réseaux métropolitains sans fil utilisant des fréquences supérieurs à 10 GHz jusqu'à 66 GHz.	8 avril 2002
IEEE std 802.16c-2002	Définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66 GHz	15 janvier 2003
IEEE std 802.16a-2003	Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2GHz et 11GHz.	1 avril 2003
IEEE std 802.16-2004 (également désigné p802.16d)	Il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c .	1 octobre 2004
IEEE 802.16e (également désigné IEEE std 802.16-2005)	Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 122Km/h.	7 décembre 2005
IEEE802.16f	Spécifie la MIB(Management Information Base), pour les couches MAC(Media Access Control) et PHY(physical)	22 janvier 2006
IEEE802.16m	Débit en nomade ou stationnaire jusqu'à 1Gbits/s et 100Mbits/s en mobile grandes vitesse . Convergence des technologies Wimax, WIFI et 4G.	2009 (IEEE 802.16-2009)

TABLE 2.1 – La famille IEEE 802.16.

Les révisions du standard IEEE 802.16 se déclinent en deux catégories :

Wimax fixe/résidentiel (802.16-d) : [3]

destiné à un usage fixe, du domicile à l'antenne relais et opérant dans des bandes de fréquences de 2.5 GHz et 3.5 GHz (avec licence d'exploitation obli-

gatoire délivrée par l'ARCEP⁶) et 5.8 GHz (bande libre). Le débit maximum théorique est de 75 Mbit/s pour une portée de 50 kilomètres sans obstacle. La figure ci-dessous donne des exemples de modèle de Wimax fixe. [13]



FIGURE 2.4 – Exemples de matériels Wimax fixe.

Wimax mobile/ nomade (802.16 e) : [3] prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau internet. Le Wimax mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP⁷ ou plus largement à des services mobiles hauts débit. Il utilise une plage de fréquence comprise entre 2 GHz et 6 GHz et assure un débit maximum théorique de 30 Mbit/s pour une portée de 2 à 4 kilomètres sans obstacles.

La figure ci-dessous montre un exemple de modèle wimax mobile à utilisé dans un PC Portable. [13]



FIGURE 2.5 – Exemple d'un modèle Wimax mobile.

6. ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes

7. Une adresse IP (Internet Protocol) : est un numéro d'identification qui est attribué de façon permanente ou provisoire à chaque appareil connecté à un réseau informatique.

Comparaison entre Wimax fixe et Wimax mobile : [3]

WiMAX Fixe	WiMAX Mobile
-Clients fixes	-Clients mobiles
-Norme 802.16 d (802.16 -2004)	-Norme 802.16 e (802.16 -2005) .
-Usage via une antenne fixe	-Ajout du transfert cellulaire handover
-Opère dans les bandes fréquence 2.5 - 3.5 GHZ	
-Débit théorique : 75 Mbits/s	- Débit théorique : 30 Mbits/s
-Bande de fréquence 2 - 11 GHz	- Bande de fréquence 2 -6 GHz
- Portée : 50Km	- Portée : 3 Km

TABLE 2.2 – Comparaison entre le Wimax fixe et mobile.

2.4.3 Principaux équipements Wimax

Depuis le cœur du réseau et en descendant vers l'utilisateur, on trouve les éléments suivants [13] :

-Une liaison à très haut débit, par fibre optique ou faisceau hertzien, alimentant l'émetteur Wimax.

-Base station considéré comme un point d'accès .Elle constituée d'une ou plusieurs antennes et d'un matériel radio contenant le dispositif électronique qui exécutent les fonctions radio, réseau et sécuritaires . En effet base station émet vers les clients et réceptionne leurs requêtes puis les transmets vers le réseau du fournisseur d'accès .

Les stations de base sont généralement installées sur des pylônes, châteaux d'eau, tours hertziennes, ou toit des immeubles.

La station de base est constitué de deux modules :

Module << *indoor* >> qui contient le processeur, le modem, l'interface Ethernet et un module radio.

Module << *outdoor* >> qui contient un module radio et une antenne d'émission-réception

- Entre l'antenne et l'utilisateur, plusieurs kilomètres de transmission sans fil.

- Chez l'abonné, une antenne Wimax (Les récepteurs Wimax) assure la liaison

entre l'émetteur de la zone et l'équipement connecté (ordinateur ou autre) à la différence des réseaux mobiles où tous les terminaux ont des antennes omnidirectionnelles, les réseaux Wimax combinent des équipements indoor et des équipements outdoor à antennes souvent directionnelles. Les unités indoor présentent un gain d'antenne plus faible afin de réduire la taille de l'équipement et les coûts, ce qui aboutit à une diminution du gain du système.

Les récepteurs Wimax CPE (Custom Premise Equipment) sont de trois types principaux :

- Les points d'accès Wimax que l'on utilise généralement avec des antennes réceptrices placées sur le toit en mode fixe.
- Les puces électroniques à intégrer et autres petits terminaux pour le Wimax mobile.
- Les cartes NIC Wimax de type PCMCIA contenant une antenne intégrée et que l'on branche directement sur le terminal de l'utilisateur.

2.4.4 Mode opératoire du Wimax

Le réseau Wimax [3] comprend des cellules, d'une taille pratique de 2 à 4 km, munies des stations de base (ST) comme pour les réseaux de mobiles GSM et qui transmettent en mode point à multipoint vers les équipements terminaux des utilisateurs (Subscriber Station (SS), Custom Premise Equipment (CPE)).

Dans chaque cellule du réseau Wimax, la ST fonctionne en point à multipoint⁸ avec les CPE qu'elle dessert en utilisant le mode infrastructure⁹ comme au sein d'une cellule Wi-Fi.

La différence entre Wimax et Wi-Fi est que les CPE Wimax ne peuvent pas fonctionner en topologie ad hoc¹⁰ comme peuvent le faire les cartes réseaux Wi-Fi. Par contre, les différentes ST du réseau Wimax fonctionnent en topologie maillée entre elles. Ce réseau maillé est auto configuré, auto structuré, auto réparant. En effet il fournit un routage intelligent à travers le réseau pour trouver une connexion vers internet. Si un ou plusieurs nœuds tombent (problèmes électriques, intempéries, etc...), le réseau s'ajustera automatiquement afin de faire suivre le signal par un chemin différent.

8. Point à multipoint : plusieurs nœuds sont connectés à un point d'accès principal, on parle de réseau point à multipoint.

9. Le mode infrastructure : dans lequel les clients sans fils sont connectés à un point d'accès.

10. Le mode ad hoc : dans lequel les clients sont connectés les uns aux autres sans aucun point d'accès.

2.4.5 Apport du Wimax

L'objectif du Wimax [5] est de fournir une connexion Internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres de rayon. La portée, les débits et surtout la nécessité ou non d'être en ligne de vue de l'antenne émettrice, dépendent de la bande de fréquence utilisée. Dans la bande 11-66 GHz, les connexions se font en ligne de vue : LOS (Line Of Sight), alors que sur la partie 2-11 GHz, le NLOS (Non Line Of Sight) hors ligne de vue est possible notamment grâce à l'utilisation de la modulation OFDM ¹¹. Ceci ouvre la voie à des terminaux d'intérieur, facilement installables par l'utilisateur final car ne nécessitant pas l'installation d'antennes extérieures par un technicien agréé.

Dans la réalité le Wimax ne permet de franchir que de petits obstacles tels que des arbres ou une maison mais ne peut en aucun cas traverser les collines ou les immeubles. Le débit réel lors de la présence d'obstacles ne pourra ainsi excéder 20 Mbit/s.

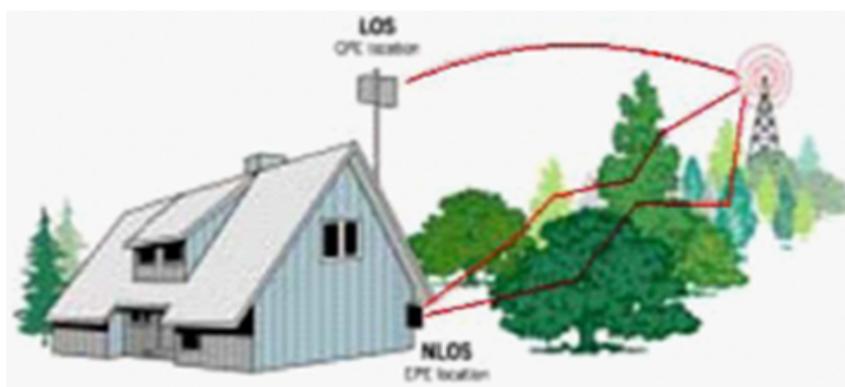


FIGURE 2.6 – LOS et NLOS.

Le déploiement du Wimax permet à des zones isolées, mal desservies par le DSL ou le câble ou souhaitant tirer profit d'une connexion sans fil, de disposer d'un accès Internet large bande, et aussi des zones démunies d'infrastructures de télécommunications au sol (zones non équipées, sinistrées) et des zones stratégiques (Banques et assurances, administrations publiques, télémaintenance).

11. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : cette interface utilise plusieurs bandes de fréquence qu'elle divise en plusieurs porteuses pour la transmission d'un signal. chaque bande est utilisée à des fins différentes.

Le développement du Wimax pourrait donc jouer un rôle important dans l'aménagement numérique du territoire.

2.4.6 Domaines et applications des réseaux Wimax

Le Wimax est une solution efficace pour les réseaux métropolitains. Déployer un réseau Wimax c'est offrir aux utilisateurs du service tel qu'internet, la VoIP¹², la vidéo à la demande.

Le Wimax assure une qualité de service de haut niveau et une sécurité efficace. Il peut être destiné à plusieurs domaines d'applications parmi lesquelles un des usages possibles du Wimax consiste à couvrir la zone dite du [11] "dernier kilomètre" (en anglais "last mile"), encore appelée boucle locale radio, c'est-à-dire fournir un accès à Internet haut débit aux zones non couvertes par les technologies filaires classiques (lignes xDSL telles que l'ADSL, Câble ou encore les lignes spécialisées, etc.).

Une autre possibilité d'utilisation consiste à utiliser le Wimax comme réseau de collecte (en anglais backhaul) entre des réseaux locaux sans fil, utilisant par exemple le standard WiFi. Ainsi, le Wimax permettra de relier entre eux différents hotspots afin de créer un réseau maillé (en anglais mesh network).

2.4.7 Avantages du Wimax

- Une Connexion internet à haut débit symétrique sans support filaire.
- Une Connexion illimitée gérée par une plate-forme sécurisée et redondante.
- Un lien de secours pour les applications critiques (Redondance).
- Coût faible, le Wimax permet un déploiement plus rapide sans nécessité de gros travaux de génie civil.
- Peut servir plusieurs clients à la fois.
- Un signal malgré les obstacles.
- Perspective de nomadisme.
- La possibilité de réutilisation d'une fréquence dédiée à une base station pour augmenter la capacité du système, ainsi le système peut supporter des centaines d'utilisateurs.
- L'allocation de fréquences se fait de façon sectorielle quand le nombre d'utilisateurs augmente.

12. VoIP (Voice Over Internet Protocol) : c'est la transmission de la voix via Internet.

2.4.8 Inconvénients du Wimax

- Pour avoir des distances et des débits optimaux, l'émetteur et le récepteur doivent être en "ligne de vue". Hors "ligne de vue", les débits chutent rapidement.
- Le débit est partagé entre les usagers d'une même antenne centrale.
- Nécessité de disposer d'une licence : seuls les détenteurs d'une licence sont à même de déployer des réseaux Wimax, Le nombre de licences délivrées est limité.
- Nécessité de disposer d'un point haut : afin d'assurer la meilleure couverture possible, l'émetteur doit être placé sur un point haut (pylône, château d'eau, etc.).
- Conditions météorologique défavorables.
- Existence d'obstacle physique.

2.5 Technologie autour du Wimax

Les technologies hertziennes sont prometteuses pour tous les pays qui cherchent à assurer un accès aux technologies de l'information et de la communication et à mettre en place la société de l'information. Le spectre de fréquence en est un composant essentiel.

Afin de mieux cerner la problématique, il est nécessaire de procéder au préalable à certaines définitions.

2.5.1 Quelques définitions

fréquence

La fréquence correspond au nombre de vibrations par seconde dans un phénomène périodique, ou bien [9] c'est le nombre de fois qu'un phénomène temporel régulier se produit d'une manière identique à lui-même par intervalle de temps donné.

L'unité de fréquence est le hertz (qui a pour symbole Hz).

les fréquences sont exprimées :

- En kilohertz (KHz), jusqu'à 3 000 KHz inclus.
- En mégahertz (Mhz), au-delà de 3 Mhz, jusqu'à 3 000 Mhz inclus.

- En gigahertz (Ghz), au-delà de 3 Ghz jusqu'à 3 000 Ghz inclus.

L'organisation de la régulation des ressources hertziennes est actuellement partagée entre ces organismes : l'Agence nationale des fréquences (ANFR), l'Autorité de régulation des postes et télécommunications (ARTP). Comme pour la circulation, il faut des règles pour que ça fonctionne bien, pour qu'il n'y ait pas d'interférences, de brouillage [6] .

Bande de fréquences

La bande de fréquences est l'ensemble des fréquences comprises dans un intervalle donné :

- Les basses fréquences sont comprises entre 30 et 300 Khz.
- Les hautes fréquences sont comprises entre 3 et 30 Mhz.

Onde radio

Onde radio est un champ électromagnétique variable (c'est donc une onde électromagnétique), souvent périodique, produit par une antenne.

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent tous deux à la même vitesse.

Onde hertzienne

Onde radioélectrique qui se propage dans l'air et peuvent être captée à distance par des appareils radio. Leur longueur d'onde et leurs fréquence code toutes sortes d'informations dont la voix et l'image.

Les ondes hertziennes sont un type d'ondes électromagnétiques dont la fréquence est inférieure à 3000 Ghz. La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période, telle que :

$$\lambda = c \ / \ v , \ \lambda \text{ en unité de longueur, } v \text{ fréquence en Hertz}$$

Propagation à la vitesse de la lumière notée $c = 299792 \text{ km/s}$

Les ondes radios sont classées en fonction de ces fréquences exprimées en Hz ou cycles par seconde, l'ensemble de ces fréquences constitue le spectre radiofréquence.

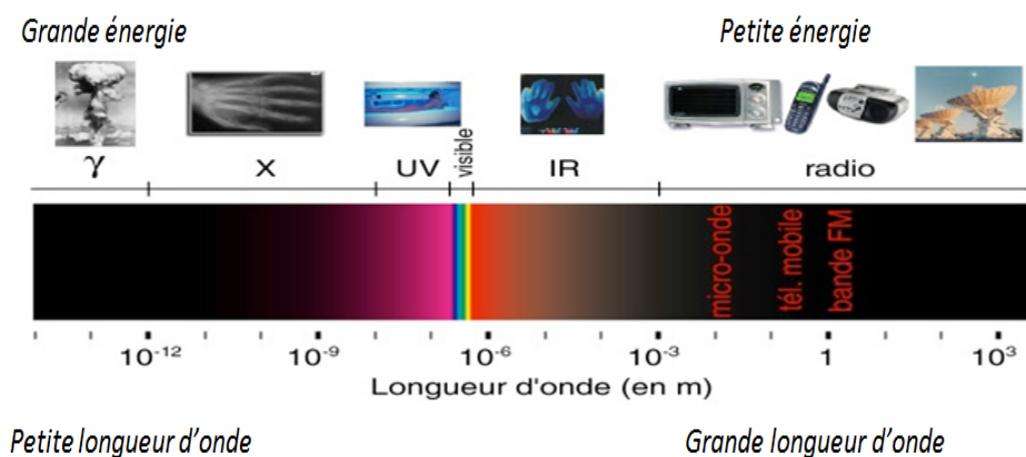


FIGURE 2.7 – Onde hertzienne.

2.5.2 Ressources fréquentielles

Le Wimax utilise deux bandes de fréquences : la bande de fréquence sous licence et la bande de fréquence libre.

Les fréquences utilisées par le Wimax sont données dans le tableau suivant :

Bandes de fréquence en MHZ	Licence	Utilisation dans le monde
US WCS 2345-2360 2305-2320	Bande sous licence	USA, Australie, Corée du sud, Nouvelle Zélande
MMDS 2345-2360 2305-2320	bande sous licence	USA, Mexique, Brésil, et certains pays de l'Asie de sud.
Bande 3,5 GHZ 3300-3400 3400-3600	Bande sous licence	La majorité des pays, Algérie.
Bande de 5 GHZ 5150-5350 5470-5725 5727-5850	Licence libre	La majorité des pays

TABLE 2.3 – Bandes des fréquences utilisées pour le Wimax

2.5.3 Spectre de fréquence

Le spectre de fréquence est la partie du spectre électromagnétique qui achemine les ondes radio, Il est subdivisé en neuf bandes de fréquences, désignées par des nombres entiers consécutifs conformément au tableau ci-après :

Numéro de la bande	Symboles	Gamme de fréquence	subdivision métrique correspondance
4	VLF	3 à 30 KHZ	ondes myriamétrique
5	LF	30 à 300 KHZ	ondes kilométrique
6	MF	300 à 3000 KHZ	ondes hectométrique
7	HF	3 à 30 MHZ	ondes décamétrique
8	VHF	30 à 300 MHZ	ondes métrique
9	UHF	300 à 3000 MHZ	ondes déciétrique
10	SHF	3 à 30 GHZ	ondes centimétrique
11	EHF	30 à 300 GHZ	ondes millimétrique
12	...	300 à 3000 GHZ	ondes décimétrique

TABLE 2.4 – Le spectre de fréquence

Importance du spectre de fréquence

la demande de la ressource spectrale a nettement augmenté en Algérie au cours de la dernière décennie, notamment dans les bandes de fréquences affectées aux communications hertziennes (liaisons hyperfréquences, téléphonie cellulaire, accès hertzien fixe, accès hertzien sans fil, etc.)

Le spectre des fréquences est l'épine dorsale d'une large gamme d'activités dans des secteurs tels que les télécommunications, la radiodiffusion, les transports, la recherche et le développement.

Avec le développement de ces technologies et leurs implications dans la croissance économique du pays et leur rareté, leur importance dans notre vie de

tous les jours et de plus en plus grandissante ; Il est donc nécessaire de prévoir une gestion rationnelle de cette ressource.

2.6 Gestion d'un spectre

La gestion d'un spectre signifie le processus qui détermine le mode et les conditions d'exploitation du spectre par certains systèmes.

Ces conditions varient selon la couverture radioélectrique du système, qui dépend de :

- La situation de l'émetteur (dans un bâtiment, dans la rue, sur un point haut, en orbite...).
- La directivité de l'émission (émission omnidirectionnelle ou sectorielle) et de la puissance du signal émis.
- La puissance électrique de l'émetteur.
- Caractéristiques du système antenne.
- Caractéristiques de propagation des bandes utilisées qui ne sont pas homogènes selon les gammes de fréquences : en vue directe, les bandes basses subissent moins de réflexions sur l'ionosphère et aux atténuations atmosphériques.

Historiquement la gestion du spectre a consisté à définir des règles de partage des fréquences selon des critères géographiques. On verra plus loin que les réflexions actuelles visent notamment, à essayer d'optimiser ce partage en introduisant des partages temporels ou fréquentiels.

2.6.1 Objectifs de la gestion du spectre

- L'objectif principal de la gestion du spectre consiste à obtenir un taux maximum de l'exploitation globale du spectre radio et ceci en autorisant l'accès aux utilisateurs efficaces autant que possible tout en garantissant que les interférences entre différents utilisateurs restent gérables [17] .
- Garantir une plus grande facilité d'utilisation du spectre.
- Rationaliser l'usage du spectre, même dans un environnement où la fréquence n'est pas encore une ressource rare.

- Garantir la disponibilité des fréquences.
- Répondre au besoin de développement des télécommunications et des radiocommunications nationales.
- Répondre aux besoins de la sécurité et de la défense nationale.

2.6.2 Nécessite de la gestion du spectre de fréquence

La croissance continue de la demande de spectre, aussi bien pour les services existants que pour les nouveaux services radio, exerce des contraintes de plus en plus fortes sur cette ressource notamment en ce qui concerne l'équilibre entre l'offre et la demande ; cette ressource doit être gérée d'une manière efficace afin que l'on puisse en retirer un maximum d'avantages sur les plans économiques et sociales. Plus le spectre radioélectrique est encombré, plus il est difficile à gérer, et plus l'outil nécessaire pour bien le gérer doit être performant. Il faut donc des méthodes novatrices pour le gérer de manière dynamique afin qu'elle puisse être disponible pour les nouveaux services. sa gestion permet également d'éviter les brouillages de signaux (interférences).

2.6.3 Approche traditionnelle (actuelle)

D'un point de vue historique, l'approche adoptée par les organismes de gestion du spectre à travers le monde a été très prescriptive. En règle générale, ces organismes [21] se chargent de définir la bande de fréquence adéquate, spécifier les services qui devraient être fournis dans la bande, déterminer les technologies qui sont autorisées dans la prestation des services, décider de qui est en mesure de fournir les services et qui est en mesure de les utiliser. C'est ce qu'on appelle "l'approche administrative" de gestion du spectre ou aussi l'approche "commande et contrôle".

Dans cette approche, le spectre radio est alloué à un service particulier (service radio mobile terrestre, radiodiffusion, etc) pour des groupes d'utilisateurs et/ou des fournisseurs, la bande allouée au service est répartie en sous-bandes (e.g utilisateurs commerciaux, des services de sécurité publique, etc), la sous-bande peut aussi être assignée (accès exclusif à un canal de fréquence, autorisé ou pas). Cette organisation du spectre est décidée par les organismes gouvernementaux selon un processus administratif, c-à-d, par l'établissement et l'application de réglementations gouvernementales.

A cause de la concurrence entre différents usages du spectre et à cause des usagers des ressources spectrales rares, la FCC¹³ doit décider des usages et des usagers qui servent au mieux l'intérêt public en prenant en compte les besoins et les avantages de ce dernier ainsi que les considérations techniques et les limitations des équipements. La compréhension de la réglementation actuelle de la gestion du spectre n'est pas le but ici, nous voulons juste souligner le fait que la centralisation des décisions, à la fois techniques et économiques concernant l'utilisation du spectre est un élément clé de l'approche administrative de gestion du spectre.

Les défauts de cette politique de gestion du spectre, notamment la rigidité excessive, les délais de traitement, le gaspillage du spectre et les coûts élevés de normalisation, se sont fait sentir avec la prolifération des systèmes et des applications radio qui ont entraîné une demande incessante des ressources spectrales devenues de plus en plus rares.

La conséquence étant un problème sérieux de pénurie et de sous-exploitation du spectre poussant les organismes de régulation et de gestion du spectre à reviser leur politique en y introduisant plus de flexibilité. Une nouvelle approche est alors proposée pour répondre à ce problème : **planification d'un nombre limité des ressources spectrales** qui représente l'une des méthodologie de la gestion d'un spectre .

2.7 Implémentation des points d'accès (AP) dans un réseau

Implémentation des points d'accès signifie le processus d'installation des points d'accès puis la configuration du réseau .

Le dimensionnement d'un réseau Wimax est une tâche liée au processus de planification de la couverture. Pour dimensionner une zone quelconque, il faut nécessairement faire une analyse du bilan de liaison en premier lieu afin d'estimer l'affaiblissement maximal du parcours entre mobile et station de base. Ensuite faire le calcul de la portée maximale ou du rayon de couverture maximale en utilisant les modèles de propagation conformément au type de terrain d'étude. Connaissant la taille de la cellule, on en déduit le nombre de bases stations nécessaires pour couvrir la zone en question .

13. FCC(Federal Communications Commission) :organisme de régulation et de gestion du spectre aux États-Unies

2.7.1 Installation des points d'accès

Pour dimensionner et planifier un réseau Wimax, il faut faire le choix de la bande de fréquence à utiliser, des modèles de canaux ou modèle de propagation à utiliser.

Un certain nombre de contraintes doivent être prises en compte avant la sélection des bandes :

- Disponibilité (licence) du spectre.
- Agrégation de la demande en termes de capacité dans la zone de service.
- La densité des utilisateurs dans la zone de service .
- Les spécificités géographiques de la zone en question.
- Le niveau d'interférences dans les bandes dépourvues de licence.
- Le cout de l'équipement radio.

2.7.2 Configuration du réseau

La configuration réseau est l'ensemble des caractéristiques d'un réseau donné. Autant les caractéristiques physiques telles que la connectique que les caractéristiques logiques telles que les protocoles utilisés, les adresses IP, ainsi que le nom de chaque machine branchée au réseau. Lors du branchement d'une machine à Internet, de nombreux paramètres de configuration doivent être ajustés pour adapter les logiciels et le matériel à la configuration propre au réseau du fournisseur d'accès à Internet.

2.8 Conclusion

Différent technologie d'accès à la donnée sans fil offrent des débits différents sur zones de couvertures différentes. Chaque technologie devrait pouvoir trouver sa place, son usage et sa cible.

Le Wimax permettra à partir de stations de base Wimax d'arroser des agglomérations dans des zones rurales à faible pénétration voire des pays où l'infrastructure de communications est souvent moins développée en n'ayant pas d'accès à l'Internet haut débit.

le Wimax offre un ensemble d'avantage comme le débit élevé, le faible coût

ou encore la large portée par rapport aux autres réseaux sans fil, permet des usages en situation fixe, ou même mobile .

En effet, en termes de coût, la mise en place de ce réseau serait bien moins coûteuse que le déploiement d'une infrastructure filaire. Toutes ces caractéristiques lui permettent de réaliser un succès pertinent et des demandes en croissance continues depuis son apparition.

le chapitre suivant est consacré à la présentation de la problématique ainsi que les objectifs assignés à notre étude.

Chapitre 3

Problématique et Modélisation

3.1 Introduction

Le contexte actuel, où les demandes en communication par voie hertzienne ne cessent de croître, impose une optimisation de l'utilisation du spectre de fréquences pour gérer efficacement les réseaux autant civils que militaires.

En 1993, le CELAR (Centre Electronique de l'Armement) réalise une première version du problème d'affectation de fréquences dans le cadre du projet CALMA (Combinatorial Algorithms for Military Applications).

En 2000, ce problème est enrichi par Thierry Defaix [Defaix, 2000] et est posé dans le cadre du Challenge ROADEF 2001 créé par la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision.

Dans ce chapitre, nous donnerons quelques définitions de base qui nous permettront de mieux comprendre la problématique posée.

3.2 Réseaux hertziens

L'objectif d'un système de radio hertziens tel que le Wimax est [4] de permettre l'accès au réseau à partir d'un terminal portatif sur une zone géographique plus ou moins vaste. Cet accès est réalisé grâce à une liaison hertzienne. Pour que la qualité des communications soit satisfaisante, la puissance de réception doit être assez élevée, rendant nécessaire la bonne distribution d'un ensemble de stations de base sur le territoire à couvrir. Chaque station de base couvre une partie du territoire appelée cellule.

Les stations de base composant le réseau sont regroupées en emplacements géographiques appelés sites. Selon le type d'antennes utilisées, un site peut contenir une ou plusieurs BTS. Plus précisément, une seule antenne

omnidirectionnelle, ou plusieurs antennes sectorielles. Les schémas ci-dessous représentent les deux configurations possibles de site.

Le schéma (a) représente un site muni d'une seule antenne omnidirectionnelle, le schéma (b) montre un site à trois antennes sectorielles. Dans le réseau Wi-max, il est usuel de limiter le nombre d'antennes sectorielles sur un site à trois.

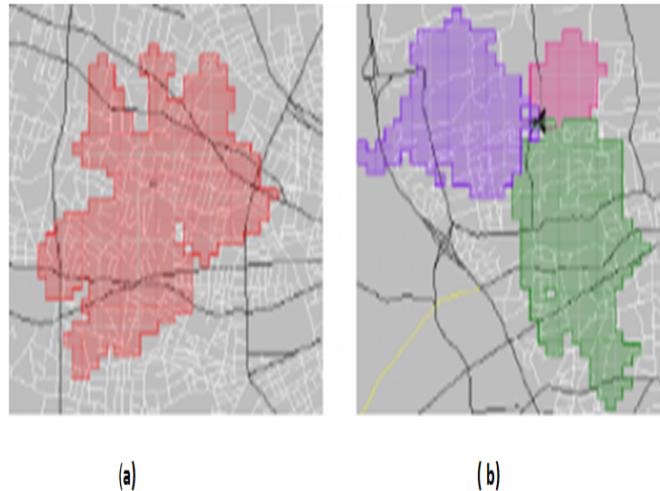


FIGURE 3.1 – Deux schémas de configuration d'un site : (a) site muni d'une seule antenne omnidirectionnelle, (b) site muni de trois antennes sectorielles.

3.3 Concept cellulaire

Une cellule [18] représente l'ensemble des points du territoire couvert par une même station. Chaque station de base (BT) peut posséder plusieurs antennes donnant ainsi naissance à plusieurs cellules (appelées secteurs dans ce cas), généralement trois. Des stations de base (BTS) mono-sectorielles [4], couvrant la zone à 360° , sont utilisées dans les zones très peu peuplées et dans les centres villes pour créer des microcellules. Des stations de base bi-sectorielles [4], donnant naissance à deux cellules de 180° chacune, sont souvent mises en place aux abords des autoroutes.

Les stations de base **tri - sectorielles** [4] sont les plus **répandues** et les plus **utilisées** pour le réseau Wi-max ; elles génèrent trois cellules de 120° quand va s'intéresser par la suite.

La forme hexagonale a été universellement adoptée comme représentation théorique du design cellulaire [Mac Donald, 1979] [19]. En effet l'hexagone

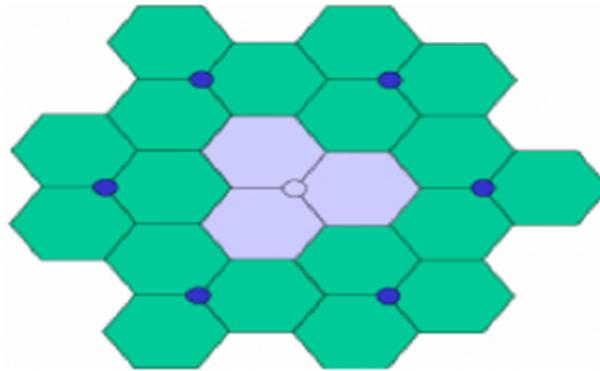


FIGURE 3.2 – Concept cellulaire.

désigne la forme géométrique la plus proche du cercle (propagation des ondes radio dans un espace sans obstacles) qui permet un pavage régulier du plan en utilisant le moins de cellules. De plus il garantit une uniformité des distances entre les émetteurs, la régularité des schémas d'antennes et de la propagation des ondes radio en espace libre. La réalité, cependant, s'écarte de cette vue théorique. La non régularité des reliefs géographiques (montagnes, plateaux...) et architecturaux (bâtiments, maisons...) fait que la propagation des ondes ne s'effectue pas de la même façon dans toutes les directions. De ce fait, des prolongements, des rétractions voir même des discontinuités importantes apparaissent dans la couverture des cellules.

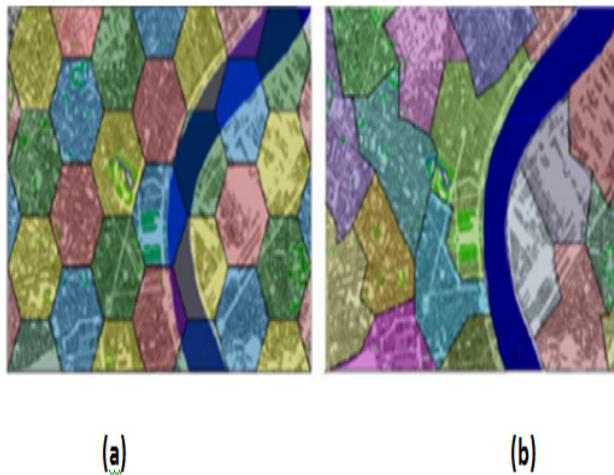


FIGURE 3.3 – Concept cellulaire : (a) couverture théorique, (b) couverture réelle.

L'utilisation du concept cellulaire permet l'ajustement des ressources radio à la demande en trafic. Cet ajustement est réalisé en densifiant les zones à forte demande en communications.

Le principe de densification se traduit par des zones urbaines à forte concentration de BTS couvrant de petites cellules et des zones rurales à faible concentration de BTS couvrant des cellules de grande taille.

La réutilisation des ressources radio (fréquences) dans les réseaux hertziens constitue le deuxième intérêt du concept cellulaire. En effet l'opérateur est restreint à un nombre limité de fréquences pour couvrir l'ensemble du réseau, ce qui rend nécessaire la réutilisation du spectre radio mainte fois de façon à prévenir les situations d'interférences entre les ondes radio. En conséquence de la réutilisation des fréquences, le réseau est capable d'écouler un nombre de trafic beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles.

Les zones d'intersection entre les différentes cellules du réseau permettent au mobile de se déplacer d'une cellule vers une autre cellule. Cependant, ces zones sont **sources d'interférence** .

3.4 Interférences du Wimax

On parle d'interférence [9] lorsqu'un point donné de l'espace de couverture reçoit en plus du signal utile (assurant le service) .Un signal dit interférent de puissance relativement élevée et porté sur une fréquence identique ou adjacente.

Les types d'interférences internes considérées dans le problème d'allocation de fréquences sont les suivants :

interférences co-canal

Interférence entre deux cellules proche utilisant la même fréquence.

Interférence canal adjacent

C'est l'interférence entre deux cellules proche aux quelles on a alloué des canaux proches l'un de l'autre dans le plan spectral.

Dans un reseau cellulaire la station de base constitue le point d'accès de toutes les communications. C'est la station de base qui assure le rôle de serveur pour les clients se trouvant dans sa cellule.

Par exemple pour initialiser un appel, le client se met en quête de la station de base qui offre le meilleur point d'accès au réseau. Il procède pour ce faire aux mesures d'un signal pilote, que chaque station de base transmet en permanence. Le signal reçu avec la plus forte puissance indique la station de base

utilisée comme point d'accès. Lorsque l'utilisateur mobile quitte pour entrer dans une autre, il peut être amené à s'approcher d'une station de base voisine. Pour poursuivre sa communication, cet utilisateur se voit contraint de changer de point d'accès. Il effectue alors ce qu'on appelle un **transfert intercellulaire**, ou **handover**, qui consiste à demander à un gestionnaire du réseau, ou commutateur, de mettre en place la signalisation nécessaire au transfert.

3.5 Handover

Dans un réseau de mobiles, [5] lorsqu'un utilisateur se déplace d'une cellule à une autre, le cheminement de l'information doit être modifié pour tenir compte de ce déplacement.

Cette modification s'appelle un changement intercellulaire, ou handover, ou encore handoff. La gestion de ces handovers est souvent délicate puisqu'il faut trouver une nouvelle route à la communication, sans toutefois l'interrompre.

Les objectifs principaux du handover : [15]

- Maintien de la connexion en cas de changement de cellules (mouvements).
- Changement de canal en cas de perturbation grave (interférences).
- La conception des frontières des cellules et du réseau radio.

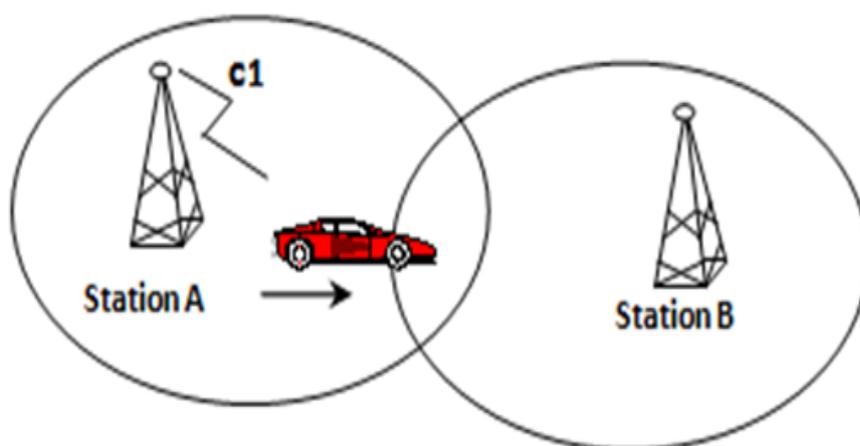


FIGURE 3.4 – Déroulement d'un handover inter-cellulaire.

3.6 Présentation du problème

Le problème d'allocation de fréquences consiste à attribuer à chaque base station un nombre suffisant de fréquences pour qu'elle puisse répondre sans interférences aux demandes d'accès des utilisateurs dans sa zone de couverture.

L'espace géographique couvert par le réseau cellulaire est divisé en des petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Chaque cellule reçoit une seule fréquence, la réutilisation de même fréquence ou l'utilisation de deux fréquences adjacentes par deux cellules proches l'une de l'autre génèrent des interférences (co-canal, canal adjacent).

Algérie Télécom a obtenu une licence d'exploitation de la technologie Wimax, l'introduction de ce réseau dans la wilaya de Boumerdes, nécessite une gestion d'allocation des fréquences qui sont d'un nombre limité afin de pouvoir répondre à la demande de plus en plus importante et de garantir une bonne qualité de service.

Notre étude consistera donc à établir une allocation optimale de l'ensemble des fréquences disponibles aux différents sites existants sous contrainte d'interférences co-canal et canal adjacent.

3.7 Modélisation par graphe

Dans la littérature, le problème d'affectation de fréquences est souvent modélisé par la théorie des graphes [22]. Cette représentation donne lieu à une multitude d'approches, qui ramènent le problème d'allocation de fréquences à un problème de coloration de graphes.

Dans un réseau de télécommunication, il y a des émetteurs émettant chacun sur une fréquence particulière. Pour éviter les interférences sur le réseau, il ne faut pas allouer la même fréquence ou des fréquences adjacents à deux émetteurs trop proches l'un de l'autre. De plus, à cause de contraintes financières, nous nous intéressons à la planification de fréquences avec un nombre limité. Ce problème peut être résolu par la coloration d'un graphe.

3.7.1 Description des données du graphe

Nous avons modélisé notre problème par un graphe non orienté $G=(X; E)$
 X : l'ensemble des sommets du graphe qui représente les émetteurs .

E : l'ensemble des arêtes .

L'ensemble des arêtes du graphe représentent les risques d'interférences. Nous avons défini l'ensemble des arêtes comme suit :

Il existe une arête (x_i, x_j) de E ssi x_i est voisin avec x_j , autrement dit si la distance entre les deux cellules x_i et x_j est inférieure ou égale à la distance de réutilisation de fréquence d_1 ou à la distance de l'utilisation de deux fréquences adjacentes d_2 .

Nous avons utilisé le logiciel GOOGLE EARTH pour calculer la distance entre les cellules afin de définir l'ensemble des arêtes de notre graphe .

Pour résoudre le problème d'allocation de fréquences ,on utilise la coloration des sommets qui consiste à affecter à tous les sommets du graphe une couleur de façon que chaque deux sommets adjacents soient de couleurs différentes. Le nombre minimum de couleurs nécessaires pour colorer ce graphe représente le nombre minimum de fréquences allouées et qui minimise les interférences.

Toute fois, cette modélisation qui gère le problème d'allocation de fréquences réalise juste la contrainte co-canal et reste toujours déficile à gérer les interférences canal-adjacent.

Enfin, pour cette raison que nous venons de citer ci-dessus, nous allons opter pour la modélisation par la programmation linéaire, qui se trouve être plus explicite et plus souple à gérer par la suite.

3.8 Modélisation par la programmation linéaire

3.8.1 Description des données du problème

Description des ensembles :

$C = \{ i \in \{1, \dots, N\} \quad ; C_i \text{ c'est une cellule de la région } \}$

$B = \{p \in \{1, \dots, P\} \quad ; B_p \text{ c'est une station de base } \}$

$M = \{k \in \{1, \dots, K\} \quad ; k \text{ fréquence } \}$

$V_i = \{j \in \{1, \dots, N\} \quad ; C_j \text{ c'est une cellule voisine de } C_i \}$

$T_i = \{t \in \{1, \dots, N\} \quad ; C_t \text{ c'est une cellule de la région } \}$

Description des données :

d1= distance pour la réutilisation de la même fréquence.

d2= distance pour l'utilisation de deux fréquences adjacences.

α_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent ,inter base station, que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

β_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent , hors base station , que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

3.8.2 Description de modèle

Définition de Variable de décision

$$X_{pik} = \begin{cases} 1 & \text{Si la } k^{eme} \text{ fréquence est allouée à la } i^{eme} \text{ cellule dans la } p^{eme} \text{ base station} \\ 0 & \text{Sinon .} \end{cases}$$

Définition des Contraintes

► Contrainte relative à la capacité d'une cellule :

Une cellule "i" ne peut posséder qu'une et une seule fréquence. en effet,

$$\sum_{k=1}^K X_{pik} = 1 ; \forall i \in C ; \forall p \in B$$

► Contrainte relative à la capacité d'une base station :

Une base station "p" possède exactement 3 fréquences . En effet,

$$\sum_{k=1}^K X_{pik} = 3 ; \forall i \in C ; \forall p \in B$$

► Contrainte relative aux violations fréquentielles co-canal et canal adjacent inter base station :

Cette contrainte interdit le fait que deux cellules voisines dans la même base station puissent avoir simultanément, les fréquences (k et k) (contrainte liée aux violations " co-canal "), (k et k+1) ou encore (k et k-1) (contrainte liée aux violations " canal-Adjacent ")

D'où on obtient donc l'inégalité suivante :

$$|V_i| X_{pik} \leq |V_i| - \sum_{j \in V_i} (X_{pjk} + X_{pj(k-1)} + X_{pj(k+1)}) ;$$

$$k \in M, i \in C, p \in B$$

► Contraintes relatives aux violations fréquentielles co-canal et canal adjacent hors base station :

$$d(i,t) \geq d1 \quad X_{pik} = X_{p'tk} \quad ; p \neq p' \quad \text{et } p, p' \in B$$

$$d(i,t) \geq d2 \quad X_{pik} = X_{p't(k-1)} \text{ ou } X_{pik} = X_{p't(k+1)} \quad ; p \neq p' \quad \text{et } p, p' \in B$$

La fonction Objectif

Minimiser les interférences co-canal et canal adjacent inter et hors base station.

Ainsi, on obtient la fonction Objectif suivante :

$$Z(\min) = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (\alpha_{pik} + \beta_{pik}) X_{pik}$$

Enfin, on obtient le modèle suivant :

$$(P) \left\{ \begin{array}{l} Z(\min) = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (\alpha_{pik} + \beta_{pik}) X_{pik} \\ SC : \\ \sum_{k=1}^K X_{pik} = 1 \quad ; \forall i \in C; \forall p \in B \\ \sum_{k=1}^K X_{pik} = 3 \quad ; \forall i \in C; \forall p \in B \\ |V_i| X_{pik} \leq |V_i| - \sum_{j \in V_i} (X_{pj(k-1)} + X_{pj(k+1)}) \quad ; \forall k \in M, \forall i \in C, \forall p \in B \\ d(i, t) \geq d1; \quad X_{pik} = X_{ptk} \quad ; p \neq p' \text{ et } p, p' \in B \\ d(i, t) \geq d2; \quad X_{pik} = X_{p't(k-1)} \text{ ou } X_{pik} = X_{p't(k+1)} \quad ; p \neq p' \text{ et } p, p' \in B \\ X_{pik} \in \{0, 1\} \quad ; \forall k \in M, \forall i \in C, \forall p \in B \end{array} \right.$$

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mis en exergue les difficultés de la gestion des fréquences, posé la problématique avec les principaux objectifs assignés à notre étude et par la même nous avons procédé à sa modélisation.

Dans le chapitre suivant nous traiterons des méthodes de résolutions de cette problématique.

Chapitre 4

Méthodes de Résolution

4.1 Introduction

En mathématiques, l'optimisation recouvre toutes les méthodes qui permettent de déterminer l'optimum d'une fonction, avec ou sans contraintes.

En théorie, un problème d'optimisation combinatoire se définit par l'ensemble de ses instances, souvent infiniment nombreuses. Dans la pratique, le problème se ramène à résoudre numériquement l'une de ces instances, par un procédé algorithmique.

Un algorithme d'optimisation pour résoudre le problème est un algorithme qui permet de trouver pour chaque instance une solution optimale. Et dans l'optimisation combinatoire l'ensemble des solutions admissibles est fini.

L'optimisation combinatoire consiste à trouver la meilleure solution entre un nombre fini de choix. Autrement dit, à minimiser une fonction, avec ou sans contraintes, sur un ensemble fini de possibilités. Quand le nombre de combinaisons possibles devient exponentiel par rapport à la taille du problème, le temps de calcul devient rapidement critique.

Ce temps de calcul devient si problématique que pour certains problèmes, on ne connaît pas d'algorithme exact polynomial, c'est-à-dire dont le temps de calcul soit proportionnel à N^n , où N désigne le nombre de paramètres inconnus du problème, et où n est une constante entière. Lorsqu'on conjecture qu'il n'existe pas une telle constante n telle qu'un polynôme de degré n puisse borner le temps de calcul d'un algorithme, on parle alors d'optimisation difficile, ou de problèmes NP-difficiles (c'est tout l'objet de la théorie de la NP-complétude). Il en résulte que nous ne connaissons pas de méthodes exactes de résolution

fournissant la solution optimale en temps raisonnable, pour des instances du problème de grandes tailles. Il est ainsi nécessaire de proposer des méthodes approchées produisant des solutions satisfaisantes, mais en temps acceptable. Un tel procédé appliqué à un problème en particulier est appelé une heuristique. Lorsque la méthode est exprimée à un niveau abstrait indépendant du problème d'optimisation considéré, nous l'appelons métaheuristique. Ces méthodes heuristiques et métaheuristiques sont généralement évaluées de manière expérimentale et validées par l'évidence statistique. Les outils formels dont nous disposons ne permettent généralement pas de garantir théoriquement et à priori le résultat obtenu en pratique. Dans ce chapitre, nous présenterons les principales classes des méthodes de résolution d'une façon générale. Puis on parlera en détail sur la méthode adoptée pour la résolution de notre problème.

4.2 Problème d'optimisation combinatoire

Définition : Problème d'optimisation combinatoire inspiré de Sakarovitch 1984 [15]

Soit S l'ensemble des solutions possible de problèmes ,soit $X \subset S$ l'ensemble des solutions admissibles vérifiant un ensemble de contraintes C ,et Soit $f : X \rightarrow \mathbb{R}$ une fonction que l'on nomme fonction objectif .
un problème d'optimisation se définit par :

$$(P) \begin{cases} \min f(x) \\ x \in X \end{cases}$$

Lorsque l'ensemble S des solutions est discret on parle de problème d'optimisation combinatoire .

4.3 Complexité d'un problème combinatoire

Un problème est dit polynomial [15] s'il existe un algorithme permettant de trouver une solution optimale pour toutes ses instances en un temps polynomial par rapport à la taille de l'instance.

Pour la majorité des problèmes d'optimisation combinatoire, aucun algorithme polynomial n'est connu actuellement.

La difficulté intrinsèque de ces problèmes est bien caractérisée par la théorie de la NP-complétude. De nombreux problèmes d'optimisation combinatoire [15] (la plupart de ceux qui sont vraiment intéressants dans les applications) ont été prouvés NP-difficiles.

Cette difficulté n'est pas seulement théorique et se confirme hélas dans la pratique.

Il arrive que des algorithmes exacts de complexité exponentielle se comportent efficacement face à de très grandes instances, pour certains problèmes et certaines classes d'instances.

Mais c'est très souvent l'inverse qui se produit pour de nombreux problèmes, les meilleures méthodes exactes peuvent être mises en échec par des instances de taille modeste, parfois à partir de quelques dizaines de variables seulement. Par exemple, on ne connaît aucune méthode exacte qui soit capable de colorier de façon optimale un graphe aléatoire de densité $1/2$ lorsque le nombre de sommets dépasse 90. Or pour le problème d'allocation de fréquences dans le domaine des réseaux radio-cellulaire, nous aurons à traiter des instances comportant plus d'un millier de variables.

Pour traiter les grandes instances de ce type de problèmes, on se contente de solutions approchées obtenues avec une méthode heuristique.

4.4 Choix des méthodes de résolution

Le problème d'allocation de fréquences peut être modélisé avec une approche discrète cette partie à pour objectif de présenter les principaux algorithmes combinatoires qui ont été utilisés pour résoudre le problème.

Les méthodes utilisées actuellement au sein du services déploiement d'Algérie Télécom pour répondre à se problème sont purement empirique et conventionnelles et se basent essentiellement sur des résultats expérimentaux pour estimer la couverture radio à l'aide de certains paramètres tel que : statistique, qualité. . .etc.

Et pour amélioré les résultats de services déploiement d'Algérie Télécom fait appel aux techniques et de méthodes de résolution de la recherche opérationnelle et l'intelligence artificielle pour exploiter ses équipements d'une meilleure façon.

La figure ci-dessous met en parallèle les méthodes représentatives

développées, avec à titre indicatif la date approximative d'apparition de chaque méthode [17].

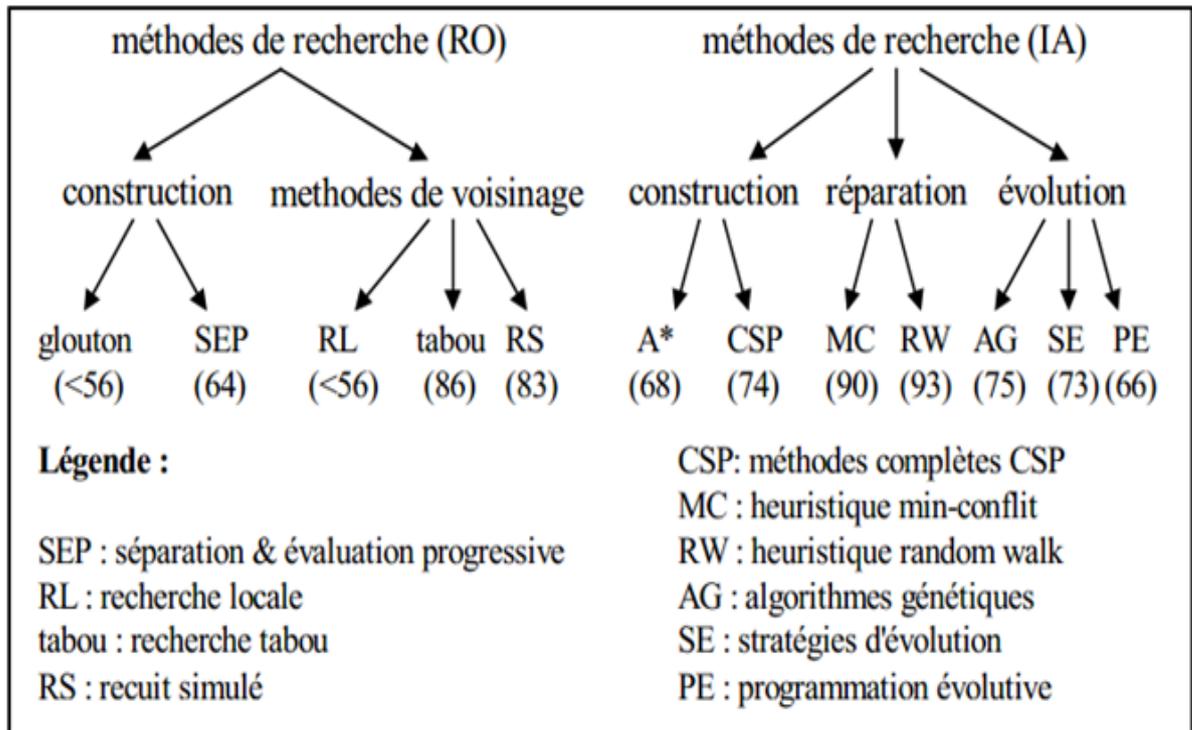


FIGURE 4.1 – Classement des méthodes de résolution..

D'une manière très générale, les méthodes de résolution suivent quatre approches différentes pour la recherche d'une solution : l'approche de construction, l'approche de relaxation, l'approche de voisinage et l'approche d'évolution. les méthodes de résolution des problèmes combinatoires peuvent être classées sommairement en deux grandes catégories : Les méthodes exactes (complètes) qui garantissent la complétude de la résolution et les méthodes approchées (incomplètes) qui perdent la complétude pour gagner en efficacité.

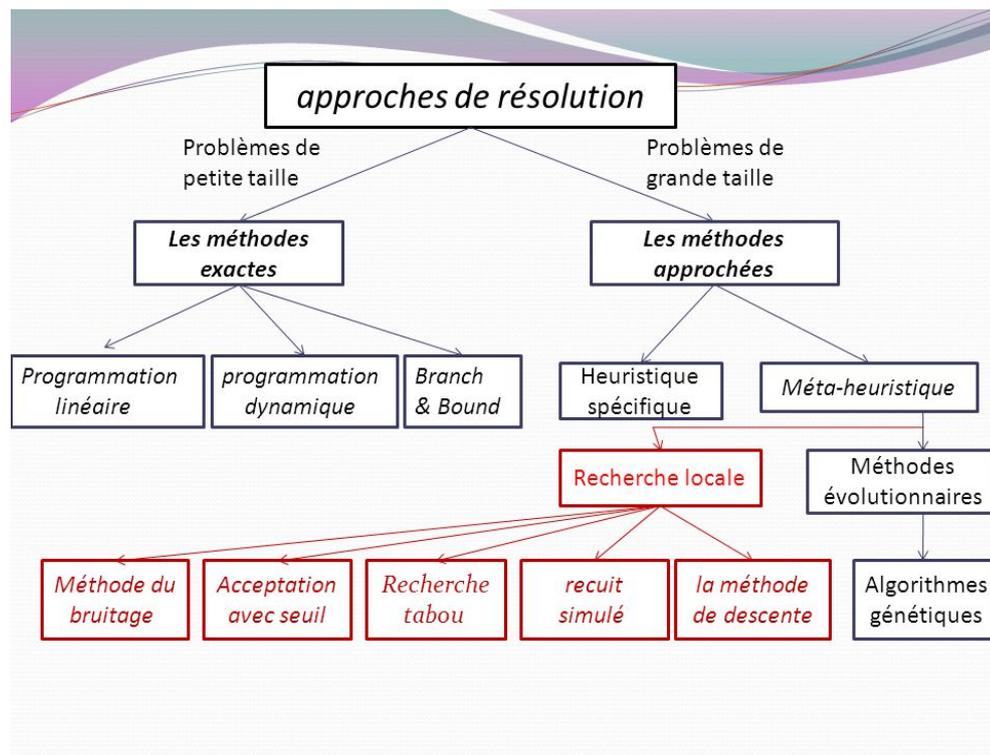


FIGURE 4.2 – Classification des méthodes de résolution de problèmes d'optimisation.

4.5 Méthodes exactes

Ces algorithmes parcourent en général l'espace de recherche d'une manière exhaustive et par conséquent, la solution trouvée est optimale.

Parmi ces méthodes exactes, on trouve la plupart des méthodes basées sur la technique de séparation et évaluation progressives (Branch and Bound), les algorithmes avec retour arrière (Back-Tracking), la programmation dynamique et la programmation linéaire [BEL74].

Les méthodes exactes ont [17] permis de trouver des solutions optimales pour des problèmes de taille raisonnable. La recherche d'une solution optimale pour un problème d'optimisation combinatoire est souvent difficile dans les applications pratiques en raison de la dimension du problème. Les méthodes exactes rencontrent généralement des difficultés face aux applications des tailles importantes en raison du coût en temps combinatoire, d'où la nécessité de développer des heuristiques pour remédier aux problèmes de coût.

4.6 Méthodes approchées

les méthodes approchées constituent une alternative très intéressante pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille si l'optimalité n'est pas primordiale.

En effet, ces méthodes sont utilisées depuis longtemps par de nombreux praticiens. On peut citer les méthodes gloutonnes et l'amélioration itérative . En optimisation combinatoire une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte. Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre sans offrir aucune garantie quant à la qualité de la solution calculée. Les heuristiques peuvent être classées en deux catégories :

- Méthodes constructives qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.

- Méthodes de fouilles locales qui démarrent avec une solution initialement complète (probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

Depuis une dizaine d'années, des progrès importants ont été réalisés avec l'apparition d'une nouvelle génération des méthodes approchées puissantes et générales, souvent appelées métaheuristiques. Le terme "métaheuristique" a été initialement utilisé par F. Glover pour distinguer la méthode Tabou des heuristiques spécifiques .

Une métaheuristique est définie de manière similaire, mais à un niveau d'abstraction plus élevé . Une métaheuristique est constituée d'un ensemble de concepts fondamentaux (par exemple, la liste tabou et les mécanismes d'intensification et de diversification pour la méta -heuristique tabou), qui permettent d'aider à la conception de méthodes heuristiques pour un problème d'optimisation. Ainsi les métaheuristiques sont adaptables et applicables à une large classe de problèmes.

Les métaheuristiques sont représentées essentiellement par les méthodes de

voisinage comme le recuit simulé et la recherche Tabou , et les algorithmes évolutifs comme les algorithmes génétiques et les stratégies d'évolution . Grâce à ces métaheuristiques, on peut proposer aujourd'hui des solutions approchées pour des problèmes d'optimisation classiques de plus grande taille et pour de très nombreuses applications qu'il était impossible de traiter auparavant.

On constate, depuis ces dernières années, que l'intérêt porté aux métaheuristiques augmente continuellement en recherche opérationnelle et en intelligence artificielle.

Dans le cadre d'une étude lancée par le CNET¹ de France Télécom, plusieurs méthodes ont été développées pour le problème d'affectation de fréquences. Ces méthodes sont basées sur les algorithmes évolutifs hybrides [DOR 95, HAO 95], Tabou [HAO 97], le recuit simulé [KAR 95, ORT 95], les algorithmes de coloriage [ORT 95] et la programmation par contraintes (ILOG Solver) [CAM 95]. Les tests ont été effectués sur des instances d'environ un millier de variables et plusieurs dizaines de milliers de contraintes. Les meilleurs résultats sur les jeux du CNET ont été obtenus par les algorithmes évolutifs, le recuit simulé et surtout **Tabou** .

1. CENT : Le Centre national d'études des télécommunications était un laboratoire de recherche français en télécommunications.

4.7 Méthode Tabou

La Recherche Tabou (RT) est une métaheuristique à base d'une solution unique. elle a été proposée [1] en 1986 par Glover . RT est une méthode de recherche locale avancée, elle fait appel à un ensemble de règles et de mécanismes généraux pour guider la recherche de manière intelligente [Glover et Laguna, 1997]. L'optimisation de la solution avec la recherche Tabou se base sur deux astuces : l'utilisation de la notion du voisinage et l'utilisation d'une mémoire permettant le guidage intelligent du processus de la recherche.

L'idée principale de la méthode Tabou est de garder la trace du cheminement passé dans une mémoire et de s'y référer pour améliorer la recherche. La méthode consiste à se déplacer d'une solution vers une autre par observation du voisinage de la solution de départ et à définir des mouvements Tabou que l'on garde en mémoire. Un mouvement Tabou est un mouvement que l'on interdit d'appliquer à la solution courante.

4.7.1 Algorithme de la recherche Tabou

Cette méthode est composée de plusieurs étapes. Tout d'abord, l'étape d'initialisation permet de créer une première solution S . C'est à partir de cette solution que l'algorithme Tabou génère d'autres solutions. Ensuite, l'énération des voisins de S et leur évaluation permet de faire évoluer l'algorithme. Ainsi, à la prochaine étape, la meilleure solution voisine S_{best} sera conservée. La notion de meilleure solution est définie par la valeur de la fonction du nombre de contraintes violées. La solution qui optimise la fonction qui satisfait le plus de contraintes est conservée. Ensuite, on ajoute le mouvement qui a permis l'obtention de S_{best} à partir de S dans la liste Tabou. On boucle avec $S = S_{best}$ et ainsi de suite, jusqu'à ce que le critère de fin soit vérifié. Par exemple, ce critère de fin peut être vérifié si aucun voisin n'apporte d'amélioration par rapport à S .

Algorithme : La recherche tabou

Début

Construire une solution initiale s ;
 Calculer la fitness $f(s)$ de s ;
 Initialiser une liste tabou vide ;
 $s_{best} = s$;

Tant que le critère d'arrêt n'est pas vérifié **faire**

Trouver la meilleure solution s' dans le voisinage de s qui ne soit pas tabou ou qui vérifie le critère d'aspiration ;
 Calculer $f(s')$;

Si fitness de (s') est meilleure que fitness de (s_{best}) **alors**

$s_{best} = s'$;

Fin Si

Mettre à jour la liste tabou ;
 $s = s'$;

Fin Tant que

Retourner s_{best} ;

Fin

a- Représentation de la solution

Une solution peut être représentée en utilisant soit des valeurs booléennes, soit des valeurs entières. Pour résoudre le problème d'allocation de fréquences, la modélisation de la solution sous forme de matrice ou sous forme de vecteur est très fortement liée à l'utilisation de valeurs booléennes ou de valeurs entières. Plusieurs représentations sont possibles. Toutefois, deux modélisations sont souvent utilisées.

Tout d'abord, la représentation sous forme matricielle. Une solution est modélisée par une matrice M de taille $N * NF$, avec N le nombre de cellules du réseau et NF le nombre de fréquences.

Notons l'élément $M_{i,f}$, l'élément correspondant à la cellule i et à la fréquence f .

$$M_{i,f} = \begin{cases} 1 & \text{si la fréquence } f \text{ est affectée à la cellule } i. \\ 0 & \text{Sinon} . \end{cases}$$

Le principal inconvénient de cette modélisation est l'utilisation de matrices creuses (avec beaucoup d'éléments égaux à 0).

La solution peut aussi être représentée sous forme d'un vecteur. Le principal

avantage de cette représentation est de minimiser l'espace mémoire utilisé (à l'inverse de l'utilisation de matrices creuses). En effet, à chaque recherche, le temps de traitement pourra être limité.

L'initialisation de la solution est importante. En effet, c'est à partir de la solution initiale (sous forme de matrice ou sous forme de vecteur) que l'algorithme se déroule, cette initialisation est bien souvent aléatoire.

b- Fonction fitness

Afin de comparer les solutions entre elles, une fonction de fitness est nécessaire. Cette fonction peut être basée sur le nombre de contraintes insatisfaites, comme dans [16].

Dans cette étude, la fonction de fitness est la somme des contraintes "co-canal" et des contraintes "canal-adjacent" non respectées.

c- Voisinage d'une solution

En règle générale, l'ensemble des voisins d'une solution S regroupe toutes les solutions telles qu'une seule valeur des deux solutions soit différente. De plus, cette valeur différente correspond à une valeur conflictuelle de S . Les solutions Tabou n'appartiennent pas à l'ensemble des voisins d'une solution. Ces solutions Tabou doivent être retirées de cet ensemble avant le choix du meilleur voisin de S .

Pour trouver le meilleur voisin en un temps restreint, un vecteur de coût de variation est souvent utilisée. Ce vecteur permet de connaître la valeur de chaque mouvement qui peut être effectué.

d- Liste Tabou

La liste Tabou permet de stocker le cheminement effectué par la recherche pour diriger l'exploration vers des régions non visitées. La manière la plus simple de définir les éléments Tabou est de conserver une liste T des dernières solutions rencontrées. La procédure ne pourra pas revenir sur ces solutions Tabou.

e- Critère d'aspiration

Il est possible de lever le caractère Tabou d'une solution. On parle alors de critère d'aspiration. Le critère d'aspiration le plus simple est celui qui accepte une solution Tabou qui est meilleure que l'optimum courant. D'après P. Siarry, [12], on observe par l'expérience que ce critère d'aspiration est très rarement mis en oeuvre dans le déroulement de l'heuristique. De plus, le fait d'implanter

un critère d'aspiration rend le traitement d'une itération bien plus long car il est nécessaire d'évaluer toutes les solutions du voisinage pour savoir si l'une d'entre elles pourrait être aspirée. Quand le critère d'aspiration n'est pas appliqué, on n'évalue pas les solutions tabou du voisinage.

f-Critère de fin

Le nombre d'itérations maximum (Max) définit la fin de la recherche. Ainsi, au bout de Max itérations, la recherche sera terminée, quelque soit la qualité des résultats obtenus. toutefois, si une solution optimale est trouvée avant les Max itérations, la recherche s'arrête avant.

4.8 Adaptation de la méthode Tabou au problème d'allocation de fréquences

Configuration des solutions

La solution courante sera caractérisée par le vecteur X de dimension N (N : nombre de cellules de la région à paramétrer) tel que :

$X \in S$, ou S est l'espace de toutes les solutions X possibles.

$i \in \{1, 2, \dots, N\}$

$p \in \{1, 2, \dots, P\}$ ou P est le nombre maximum de bases stations.

$k \in \{1, \dots, K\}$ ou K est le nombre maximum de fréquences disponibles.

α_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent, inter base station, que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

β_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent, hors base station, que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

$$X := (k_1, k_2, k_4, k_2, \dots, k_K, \dots, k_1)$$

Exemple :

$X(1) := k_1$, veut dire que la fréquence k_1 est affectée à la première cellule du réseau qui appartient à la p^{eme} base station .

$X(3) := k_4$, veut dire que la fréquence k_4 est affectée à la troisième cellule du réseau qui appartient à la p^{eme} base station ; et ainsi de suite.

De cette façon le vecteur X va représenter le plan fréquentiel de toute la région, et ce pour chaque itération.

A chaque vecteur X correspondra un vecteur U de coût défini de la façon suivante :

$$U := (U_1, U_2, \dots, U_N) \text{ ou } :U_i = \alpha (X_p(i)=k) + \beta (X_p(i)=k)$$

C'est à dire le vecteur U contient les valeurs du coût local correspondant à chaque affectation.

Voisinage d'une solution

Etant donné l'ensemble des solutions S , X et $X' \in S$, sont deux solutions voisines, si elles diffèrent d'une seule valeur : $X(i)$.

De plus, un voisinage de X doit satisfaire un ensemble de conditions. De ce fait, cette façon d'introduire directement les contraintes dans la configuration de la solution est un facteur important pour l'amélioration de l'efficacité de la recherche.

Toute fois il serait moins pertinent de changer une affectation pour laquelle aucune violation fréquentielle n'est observée, du moins ayant des violations de faible coût (presque toutes les contraintes sont satisfaites).

Ainsi cette dernière remarque nous menons à définir de façon définitive notre voisinage de solutions. $N^* = \{X' \in N(X) / X \text{ et } X' \text{ sont différentes en une seule valeur } X(i)=k, \text{ tel que}$

$X(i)=k$ est choisi par rapport à la valeur U_i la plus élevée dans le vecteur U correspondant au vecteur $X\}$.

Les mouvements

Un mouvement sera caractérisé par le couple d'affectation (i,k) qui a changé dans la solution X .

La liste Tabou

La liste taboue dans notre cas sera représentée par un vecteur T qui va stocker tous les mouvements (i, k) considérés comme tabous.

La taille de la liste Tabou

La taille de la liste taboue sera limitée de sorte qu'on va gardé rien que les dernières solutions.

Le critère d'aspiration

Le critère d'aspiration consistera à tolérer certains mouvements Tabous, si les solutions dans lesquels figurent ces mouvements en question, peuvent procurer un coût F inférieur à F^* (fonction objectif) : coût global correspondant à la meilleure solution rencontrée jusqu'à présent.

Le test d'arrêt

On prendra pour test d'arrêt le nombre maximum d'itérations.

4.9 Exemple d'application

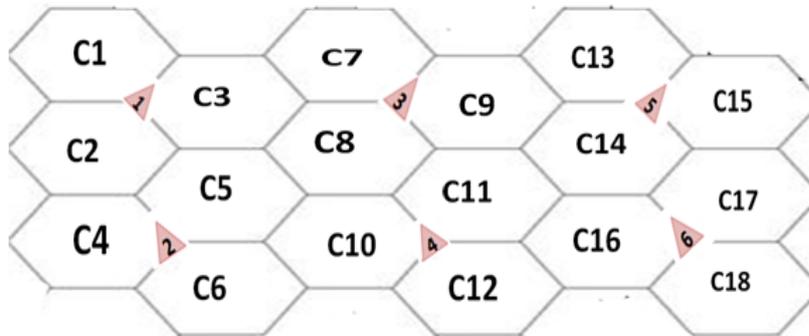


FIGURE 4.3 – Réseau cellulaire.

Etant donné :

$C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{18}\}$ nombre de cellules de la région à paramétrer , avec $i = \{1..18\}$.

$M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ l'ensemble de fréquence disponible, avec $k = \{1..5\}$.

$B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6\}$ l'ensemble des bases stations , avec $p = \{1..P\}$.

$d_1 = 2.5\text{km}$, distance de réutilisation de la même fréquence .

$d_2 = 2.5\text{ km}$, distance de l'utilisation de deux fréquences adjacents.

$T_a = 2.5\text{ km}$, la taille de la cellule.

Trouver un plan fréquentielle qui minimise la somme des interférences co-canal et canal adjacent.

$$U = \sum_{p=1}^6 \sum_{i=1}^{18} \sum_{k=1}^5 (\alpha_{pik} + \beta_{pik}) X_{pik} .$$

Avec :

α_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent , inter base station, que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

β_{pik} = le nombre de violations co-canal et canal adjacent , hors base station , que subirait la cellule "i" de la p^{eme} base station lorsqu'on lui affecte la k^{eme} fréquence .

T=liste Tabou.

N*=l'ensemble des voisins .

Remarque :

chaque intererence soit co-canal ,ou canal-adjacent sera présenter par 1.

La solution courante sera caractérisée par le vecteur X1 de dimension N.
 $X1 := \{4,2,3,3,4,5,2,3,5,2,1,3,4,4,3,5,4,3\}$

T={X1}

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X1	4	2	3	3	4	5	2	3	5	2	1	3	4	4	3	5	4	3	
U1	1	2	5	2	4	1	2	4	2	3	1	1	3	5	3	2	4	1	46

-Le plus grand nombre d'interference est 5 dans les cellules C_3, C_{14} .

Etape 1 :voisinages de X1

$$N^* = \{X_1^1, X_1^2\}$$

X_1^1, X_1^2 sont deux solutions voisines de la solution X1 (X1 : la solution stoké dans la liste Tabou), puisque elles sont différents d'une seule valeur avec X1 .

Tel que : La valeur differnte est choisit par rapport à la valeur de coût local $U_3 = U_{14} = 5$ (c'est à dire le coût local corespond à la cellule C_3 et C_{14}) les plus élevée dans le vecteur U1 correspondant au vecteur X1 .

donc :

-Il faut modifier la fréquence affecté à la cellule C_3 ou à la cellule C_{14} .

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_1^1	4	2	1	3	4	5	2	3	5	2	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_1^1	0	2	2	2	3	1	2	3	2	3	1	1	3	5	3	2	4	1	40

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_1^2	4	2	3	3	4	5	2	3	5	2	1	3	4	2	3	5	4	3	
U_1^2	0	2	2	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	2	3	1	3	1	40

$$X_1^1 = X_1^2$$

$$X_2 \leftarrow X_1^1$$

$$T = \{X_1, X_2\}$$

Etape 2 : voisinages de X_2

$$N^* = \{X_2^1, X_2^2, X_2^3\}$$

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_2^1	4	2	1	3	4	5	2	5	5	2	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_2^1	0	2	2	2	3	1	1	2	2	2	2	1	2	2	3	1	3	1	32

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_2^2	4	2	1	3	4	5	2	3	5	1	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_2^2	0	2	2	2	3	1	2	1	1	1	2	0	2	2	3	1	3	1	29

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_2^3	4	2	1	3	4	5	2	3	5	2	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_2^3	0	2	2	2	3	1	2	3	2	3	1	1	3	5	3	2	4	1	30

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_2^4	4	2	1	3	4	5	2	3	5	2	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_2^4	0	2	2	2	3	1	2	3	1	3	2	1	2	3	2	0	1	0	30

$$U_2^2 < U_2^3 < U_2^4 < U_2^1$$

$$X_3 \leftarrow X_2^2$$

$$T = \{X_1, X_2, X_3\}$$

Etape 3 : voisinages de X3

$$N^* = \{X_3^1, X_3^2, X_3^3\}$$

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_3^1	4	2	1	3	1	5	2	3	5	1	1	3	4	4	3	5	4	3	
U_3^1	0	3	3	1	3	0	1	1	1	2	2	0	2	2	3	1	3	1	29

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_3^2	4	2	1	3	4	5	2	3	5	1	1	3	4	4	1	5	4	3	
U_3^2	0	2	2	2	3	1	2	1	1	1	3	0	1	3	1	1	2	1	26

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_3^3	4	2	1	3	4	5	2	3	5	1	1	3	4	4	3	5	5	3	
U_3^3	0	2	2	2	3	1	2	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	0	21

$$U_3^3 < U_3^2 < U_3^1$$

$$X_4 \leftarrow X_3^3$$

$$T = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$$

Etape 4 : voisinages de X4

$$N^* = \{X_4^1\}$$

B	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	U
C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	
X_4^1	4	2	1	3	5	5	2	3	5	1	1	3	4	4	3	5	5	3	
U_4^1	0	2	2	0	1	1	2	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	0	19

$$X_5 \leftarrow X_4^1$$

$$T = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$$

Interpretation de résultats :

Le réseau contient 6 bases stations autrement dit 6 points d'accès pour couvrir la zone. Après quatre itérations de la méthode de résolution adoptée,

on a trouver :

◇ Les fréquences utilisés pour chaque point d'accès (processus d'installation des points d'accès) :

la 1^{eme} point d'accé contient les fréquences :4,2,1

la 2^{eme} point d'accé contient les fréquences :3,5,5

la 3^{eme} point d'accé contient les fréquences :2,3,5

la 4^{eme} point d'accé contient les fréquences :1,1,3

la 5^{eme} point d'accé contient les fréquences :4,4,3

la 6^{eme} point d'accé contient les fréquences :5,5,3

◇ Un bon plan fréquentielle X5 qui minimise la somme des interférence co-canal et canal-adjacent de la valeur 46 jusqu'a 19. Cela signifie que on a améliorer la qualité de service du réseau.

◇ Un conseil pour ces entreprise il faut pas l'acheter des fréquences adjacentes puisque c'est la première source d'interférence.

4.10 Conclusion

L'allocation de fréquences est un problème d'optimisation combinatoire, qui s'avère difficile à résoudre de manière exacte dès lors que les réseaux dépassent une centaine de stations émettrices. Ainsi des heuristiques et métaheuristique sont utilisées pour le résoudre de façon approchée.

La métaheuristique proposées sont basées sur la recherche locale. Une seule solution évolue au cours des itérations, en autorisant les dégradations de la fonction fitness. Ainsi, en combinant une méthode de "recherche locale" avec des procédures de diversification basée sur l'utilisation de mémoire à long et à court terme, on obtient de très bons résultats en terme d'itérations et de temps de calcul pour l'obtention de solutions optimales sur des problèmes connus.

Chapitre 5

Implémentation de logiciel

5.1 Introduction

Nous aboutissons maintenant à l'étape finale à savoir l'élaboration d'un logiciel aussi convivial que possible, sans perdre de vue son aspect pratique et encore moins sa performance par le test de son efficacité passe inévitablement par la programmation informatique de notre algorithme de résolution, autrement dit programmer en c++ la méthode recherche Tabou au problème d'allocation de fréquences .

5.2 Exemple d'application

Les donnés :

$C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ nombre de cellules de la région à paramétrer

$M = \{1, 2, 5\}$ l'ensemble de fréquences disponibles

$d_1 = 2$ km, distance de réutilisation la même fréquence .

$d_2 = 2$ km, distance de l'utilisation de deux fréquence adjacence.

$T_a = 2$ km , la taille de la cellule

Critère d'arrêt :

Le nombre maximum d'itération =4

Tableau des distances entre les cellules :

$d(1,2)$	$d(1,3)$	$d(1,4)$	$d(2,3)$	$d(2,4)$	$d(3,4)$
1	1	1	1	4	2.5

5.3 L'exécution :

```

donner le nombre des cellules:
4
donner le nombre des frequences disponible:
3
donner la distance de l'interference co canal:
2
donner la distance de l'interference canal adjacent :
2
donner le nombre maximum d'iterations:
4
le nombre des cellules est:4
le nombre des frequences disponible est:3
la distance d'interference co canal est:2
la distance d'interference canal adjacent est:2
le nombre maximum d'iterations:4
donner la distance entre la cellule 1 et 2:(et egale la distance entre la cellule2et1)1
1
donner la distance entre la cellule 1 et 3:(et egale la distance entre la cellule3et1)1
1
donner la distance entre la cellule 1 et 4:(et egale la distance entre la cellule4et1)1
1
donner la distance entre la cellule 2 et 3:(et egale la distance entre la cellule3et2)1
1
donner la distance entre la cellule 2 et 4:(et egale la distance entre la cellule4et2)4
4
donner la distance entre la cellule 3 et 4:(et egale la distance entre la cellule4et3)2.5
2.5
donner la frequences de la cellule1 fr[1]= 1
donner la frequences de la cellule2 fr[2]= 2
donner la frequences de la cellule3 fr[3]= 5
donner la frequences de la cellule4 fr[4]= 1
La solution stocke dans la liste tabou est lt[0] :
1
2
5
1
l'interference de la cellule 1 est : 2
l'interference de la cellule 2 est : 1
l'interference de la cellule 3 est : 0
l'interference de la cellule 4 est : 1
la fonction objectif fc[0 ] = 4
la grand interference est: 2
cellul = 1
le plus grande nombre d'interference est : 2dans la cellule1il faut modifier par en autre frequence diferent de la frequence de la cellule 2qui correspond a la frequence2et deferent de la frequence adjacent 3et1

```

```

donner la frequences de la cellule1 fr[1]= 5
donner la frequences de la cellule2 fr[2]= 2
donner la frequences de la cellule3 fr[3]= 5
donner la frequences de la cellule4 fr[4]= 1
afficher l'interfarence de la cellule 1 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 2 est: 0
afficher l'interfarence de la cellule 3 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 4 est: 0
afficher la fonction objectif fc[1] = 2
La solution stocke dans la liste tabou est lt[1] :
5
2
5
1
la grand interference est: 1
cellul = 1
le plus grande nombre d'interference est : 1 dans la cellule1 il faut modifier par
en autre frequence different de la frequence de la cellule 2 qui correspond a la
frequence 2 et different de la frequence 3 et 1
donner la frequences de la cellule1 fr[1]= 1
donner la frequences de la cellule2 fr[2]= 2
donner la frequences de la cellule3 fr[3]= 5
donner la frequences de la cellule4 fr[4]= 1
afficher l'interfarence de la cellule 1 est: 2
afficher l'interfarence de la cellule 2 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 3 est: 0
afficher l'interfarence de la cellule 4 est: 1
afficher la fonction objectif fc[2] = 4
choisir un autre cellule d'interference egale a l'interference de la cellule cho
isir avant
donner la frequences de la cellule1 fr[1]= 5
donner la frequences de la cellule2 fr[2]= 2
donner la frequences de la cellule3 fr[3]= 1
donner la frequences de la cellule4 fr[4]= 1
afficher l'interfarence de la cellule 1 est: 0
afficher l'interfarence de la cellule 2 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 3 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 4 est: 0
afficher la fonction objectif fc[3] = 2
La solution stocke dans la liste tabou est lt[2] :
5
2
1
1
la grand interference est: 1
cellul = 2
le plus grande nombre d'interference est : 1 dans la cellule 2 il faut modifier
par en autre frequence different de la frequence de la cellule 3 et de la cellul
e 1 qui correspond a la frequence 1 et 5 et des frequences adjacent de 1 : 2 et
0 et des frequences adjacent de 5 : 6 et 4

```

```
donner la frequences de la cellule1 fr[1]= 5
donner la frequences de la cellule2 fr[2]= 5
donner la frequences de la cellule3 fr[3]= 1
donner la frequences de la cellule4 fr[4]= 1
afficher l'interfarence de la cellule 1 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 2 est: 1
afficher l'interfarence de la cellule 3 est: 0
afficher l'interfarence de la cellule 4 est: 0
afficher la fonction objectif fc[4 ] = 2
choisir un autre cellule d'interference egale a l'interference de la cellule cho
isir avant

Process returned 0 (0x0)   execution time : 736.018 s
Press any key to continue.
```

Conclusion

Pour tester le travail programmé en c++ ,nous avons choisis des régions (les cellules)de la wilaya de boumerdes, et après préparation des données nous avons exécuté le programme , une solution de bonne quaité obtenue.

En fin, nous pourrons dire que en peut couvrez un grande espace géographique avec un nombre restérien de fréquence et avec une bonne qualité du réseau.

Conclusion générale

La planification de fréquences au sein de l'entreprise Algérie télécom s'effectue actuellement de façon manuelle, se basant uniquement sur l'expérience des ingénieurs et des résultats expérimentaux. La problématique qui nous a été exposée par la société Algérie Télécom consistait à trouver un bon plan de fréquence qui doit minimiser l'ensemble des interférences.

Nous avons étudié ce problème dans un réseau wimax avec différentes approches pour la résolution et rencontré bien des difficultés, ceci est notamment dû à la nature complexe du problème.

Nous avons finalement opté pour l'utilisation d'une méthode approchée de résolution et d'optimisation de la recherche opérationnelle, nous avons obtenu un résultat satisfaisant, qui est l'utilisation d'un nombre limité de fréquences pour couvrir tout le territoire en minimisant les interférences tout en offrant une qualité de service optimale.

La méthode empruntée pour la résolution de ce problème est la métaheuristique "Tabou", et qui semble la mieux adaptée à ce genre de problème.

A travers cette étude, nous avons expliqué les différentes étapes de la méthode Tabou pour réaliser le meilleur programme d'insertion qui permettra à l'annonceur de réaliser le profit escompté.

La difficulté de la tâche qui nous a été assignée réside dans la prise de décision la plus appropriée pour l'entreprise. Pour mettre en évidence cette démarche, nous avons développé un logiciel permettant d'appliquer les méthodes choisies adaptées au problème.

A l'issue de ce travail, avec l'expérience acquise en contact des techniciens d'Algérie Télécom, nous pensons que celui-ci sera d'un apport certain pour

l'amélioration de la gestion du spectre de fréquence en Algérie.

Notre vœu est que ce travail puisse être amélioré afin qu'il soit concrétisé par les services concernés.

graphie.

Annexe

Qu'est-ce qu'un programme ?

Programmer un ordinateur : c'est lui fournir une série d'instructions qu'il doit exécuter. ces instructions sont généralement écrites dans un langage dit évolué, puis, avant d'être exécutées, sont traduites en langage machine (qui est le langage du microprocesseur). Cette traduction s'appelle compilation et elle est effectuée automatiquement par un programme appelé compilateur.

Pour le programmeur, cette traduction automatique implique certaines contraintes :

- il doit écrire les instructions selon une syntaxe rigoureuse.
- il doit déclarer les données et fonctions qu'il va utiliser (ainsi le compilateur pourra réserver aux données une zone adéquate en mémoire et pourra vérifier que les fonctions sont correctement employées).

La programmation structurée

En programmation structurée, un programme est formé de la réunion de différentes procédures et de différentes structures de données, généralement indépendantes de ces procédures.

En pratique, on s'est aperçu que l'adaptation ou la réutilisation d'un logiciel conduisait souvent à "casser" le module intéressant, et ceci parce qu'il était nécessaire de remettre en cause une structure de données. Or, ce type de difficulté apparaît précisément à cause du découplage existant entre les données et les procédures, lequel se trouve résumé par ce que l'on nomme " l'équation de Wirth " :

Programmes = algorithmes + structures de données.

Problématique de la programmation

Jusqu'à maintenant, l'activité de programmation a toujours suscité des réactions diverses allant jusqu'à la contradiction totale. pour certains, en effet, il ne s'agit que d'un jeu de construction enfantin, dans lequel il suffit d'en-

chaîner des instructions élémentaires (en nombre restreint) pour parvenir à résoudre n'importe quel problème ou presque. Pour d'autres, au contraire, il s'agit de produire (au sens industriel du terme) des logiciels avec des exigences de qualité qu'on tente de mesurer suivant certains critères, notamment :

- l'exactitude : aptitude d'un logiciel à fournir les résultats voulus, dans des conditions normales d'utilisation (par exemple, données correspondant aux spécifications).
- la robustesse : aptitude à bien réagir lorsque l'on s'écarte des conditions normales d'utilisation .
- l'extensibilité : facilité avec laquelle un programme pourra être adapté pour satisfaire à une évolution des spécifications .
- la réutilisabilité : possibilité d'utiliser certaines parties (modules) du logiciel pour résoudre un autre problème .
- la portabilité : facilité avec laquelle on peut exploiter un même logiciel dans différentes implémentations.
- l'efficience : temps d'exécution, taille mémoire..

Présentation du langage C++

Le langage C++ a été conçu à partir de 1982 par Bjarne Stroustrup (AT et T Bell Laboratories), dès 1982, comme une extension du langage C, lui-même créé dès 1972 par Denis Ritchie, formalisé par Kerninghan et Ritchie en 1978. L'objectif principal de B. Stroustrup était d'ajouter des classes au langage C et donc, en quelque sorte, de " greffer " sur un langage de programmation procédurale classique des possibilités de " programmation orientée objet " (en abrégé P.O.O.).

Après 1982, les deux langages C et C++ ont continué d'évoluer parallèlement. C a été normalisé par l'ANSI en 1990. C++ a connu plusieurs versions, jusqu'à sa normalisation par l'ANSI en 1998.

Le C++ est l'un des langages de programmation les plus utilisés actuellement. Il est à la fois facile à utiliser et très efficace. Il souffre cependant de la réputation d'être compliqué et illisible. Cette réputation est en partie justifiée. La complexité du langage est inévitable lorsqu'on cherche à avoir beaucoup de fonctionnalités. En revanche, en ce qui concerne la lisibilité des programmes, tout dépend de la bonne volonté du programmeur.

Les caractéristiques du C++ en font un langage idéal pour certains types

de projets. Il est incontournable dans la réalisation des grands programmes. Les optimisations des compilateurs actuels en font également un langage de prédilection pour ceux qui recherchent les performances. Enfin, ce langage est idéal pour ceux qui doivent assurer la portabilité de leurs programmes au niveau des fichiers sources (pas des exécutables).

Les principaux avantages du C++ sont les suivants :

- grand nombre de fonctionnalités .
- facilité d'utilisation des langages objets .
- portabilité des fichiers sources .
- facilité de conversion des programmes C en C++, et, en particulier, possibilité d'utiliser toutes les fonctionnalités du langage C .
- contrôle d'erreurs accru.

On dispose donc de quasiment tout : puissance, fonctionnalité, portabilité et sûreté. La richesse du contrôle d'erreurs du langage, basé sur un typage très fort, permet de signaler un grand nombre d'erreurs à la compilation. Toutes ces erreurs sont autant d'erreurs que le programme ne fait pas à l'exécution.

Variables

Terminologie

Une variable est caractérisée par :

- son nom : mot composé de lettres ou chiffres, commençant par une lettre (le caractère tient lieu de lettre).
- son type précisant la nature de cette variable (nombre entier, caractère, objet etc.).
- garantir une plus grande facilité d'utilisation du spectre.
- sa valeur qui peut être modifiée à tout instant.

Durant l'exécution d'un programme, à toute variable est attachée une adresse : nombre entier qui indique où se trouve stockée en mémoire la valeur de cette variable.

Types de base

- a) vide :void (Aucune variable ne peut être de ce type).
- b) entiers, par taille -mémoire croissante :
 - char, stocké sur un octet.

- short, stocké sur 2 octets.
- long, stocké sur 4 octets.
- int, coïncide avec short ou long, selon l'installation.

c) réels, par taille-mémoire croissante :

- float, stocké sur 4 octets .
- double, stocké sur 8 octets .
- long double, stocké sur 10 octets.

Valeurs littérales (ou explicites)

a) caractères usuels entre apostrophes, correspondant à des entiers de type char. Par exemple : 'A' (= 65), 'a' (= 97), '0' (= 48), ' ' (= 32). La correspondance caractères usuels ↔ entiers de type char est donnée par la table des codes ASCII.

A connaître les caractères spéciaux suivants :

'\ n' : retour à la ligne.

'\ t' : tabulation.

b) chaînes de caractères entre guillemets, pour les affichages.

Par exemple : "Au revoir! \ n".

c) valeurs entières, par exemple : 123 , -25000 , 133000000 (ici respectivement de type char, short, long).

d) valeurs réelles, qui comportent une virgule, par exemple : 3.14, -1.0, 4.21E2 (signifiant 4,21 10²).

Expressions

Définition

En combinant des noms de variables, des opérateurs, des parenthèses et des appels de fonctions , on obtient des expressions.

Une règle simple à retenir :

en C++, on appelle expression tout ce qui a une valeur.

Opérateurs arithmétiques

+ : addition

- : soustraction

* : multiplication

/ : Division. Attention : entre deux entiers, donne le quotient entier

Dans les expressions, les règles de priorité sont les règles usuelles des mathématiciens.

par exemple, l'expression $5 + 3 * 2$ a pour valeur 11 et non 16. En cas de doute, il ne faut pas hésiter à mettre des parenthèses.

++ : Incrémentation. Si i est de type entier, les expressions $i++$ et $++i$ ont toutes deux pour valeur la valeur de i . mais elles ont également un effet de bord qui est :

- pour la première, d'ajouter ensuite 1 à la valeur de i (post-incrémentations).
- pour la seconde, d'ajouter d'abord 1 à la valeur de i (pré-incrémentations).

- : décrémentation. $i-$ et $-i$ fonctionnent comme $i++$ et $++i$, mais retranchent 1 à la valeur de i au lieu d'ajouter 1.

Opérateurs d'affectation

= (égal) forme générale de l'expression d'affectation : $\langle \text{variable} \rangle = \langle \text{expression} \rangle$ Fonctionnement :

1. l' $\langle \text{expression} \rangle$ est d'abord évaluée cette valeur donne la valeur de l'expression d'affectation.
2. effet de bord : la $\langle \text{variable} \rangle$ reçoit ensuite cette valeur.

Conversion de type

L'expression d'affectation peut provoquer une conversion de type. par exemple, supposons déclarés : `int i;`

`float x;`

Alors, si i vaut 3, l'expression $x = i$ donne à x la valeur 3.0 (conversion entier \rightarrow réel). Inversement, si x vaut 4.21, l'expression $i = x$ donne à i la valeur 4, partie entière de x

(conversion réel \rightarrow entier). On peut également provoquer une conversion de type grâce à l'opérateur `()` (type casting). Avec x comme ci-dessus, l'expression `(int)x` est de type `int` et sa valeur est la partie entière de x .

Opérateurs d'entrées-sorties Ce sont les opérateurs `<< et >>`, utilisés en conjonction avec des objets prédéfinis `cout` et `cin` déclarés dans `< iostream.h >` (ne pas oublier la directive `include < iostream.h >` en début de fichier). Formes :

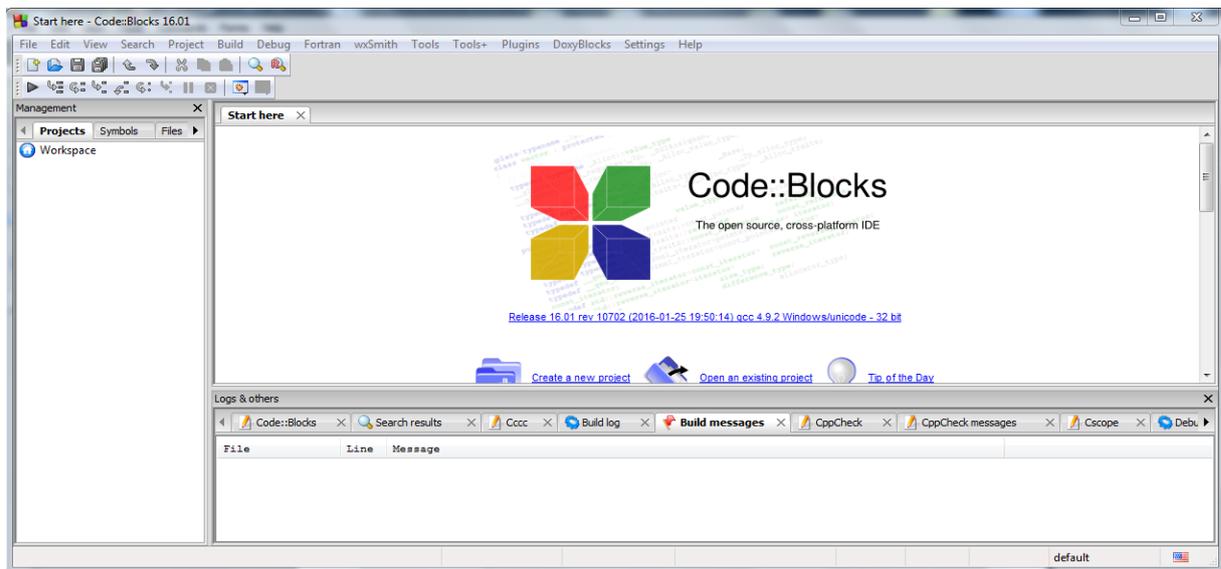
cout << < *expression* > : affichage à l'écran de la valeur de < *expression* >.

cin >> < *variable* > : lecture au clavier de la valeur de < *variable* >.

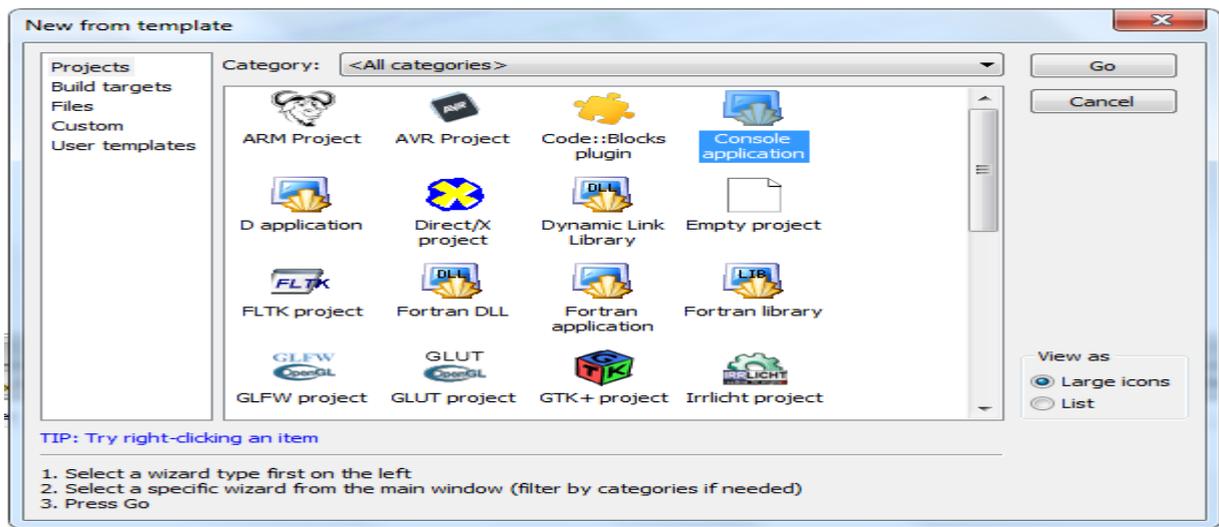
Prise en main de code blocks

Nous décrivons dans ce qui suit un exemple d'utilisation de Code blocks. La version utilisée est la SVN 3222 du 15 novembre 2006 sous Fedora core5 et Kde.

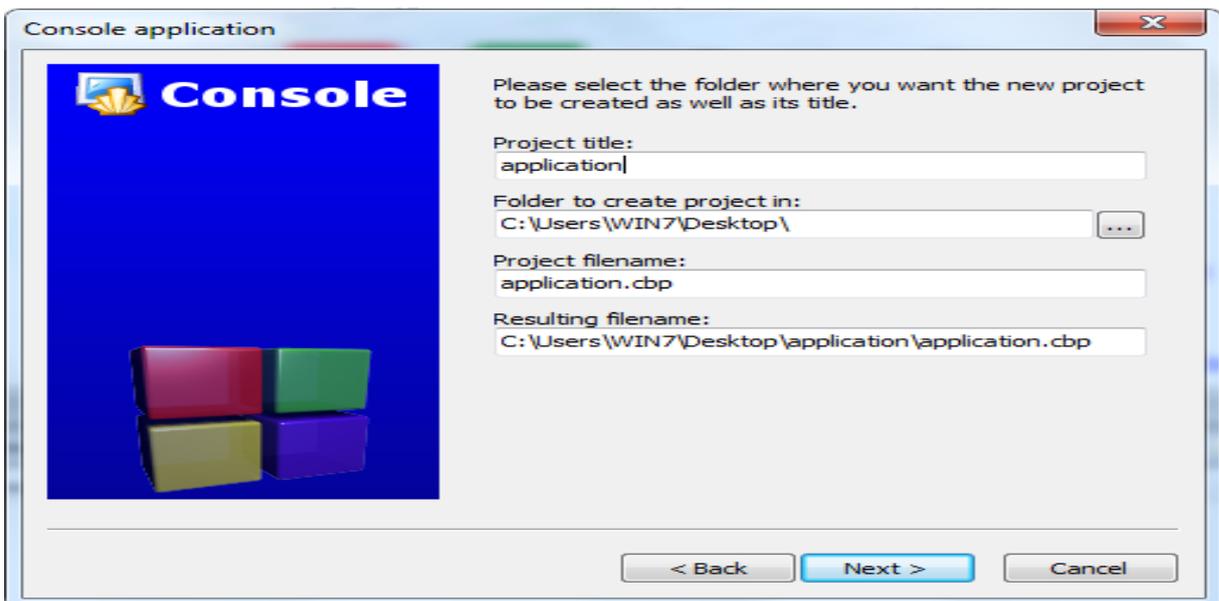
Une fois l'installation réussite de code blocks, vous le lancez et devez obtenir une fenêtre de ce genre.



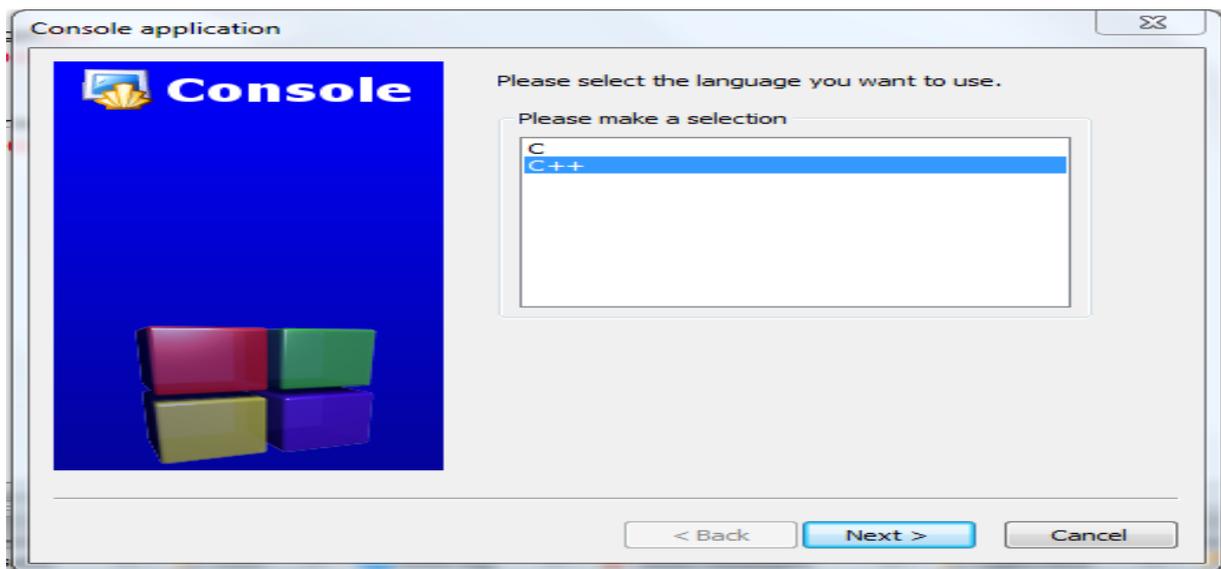
La première opération consiste à créer un nouveau projet : soit en cliquant sur Create new projects soit en cliquant sur New project dans le menu File (raccourci clavier Ctl-Shift-n). Une fenêtre dialogue New from template s'ouvre et vous demande de choisir un modèle de projet :



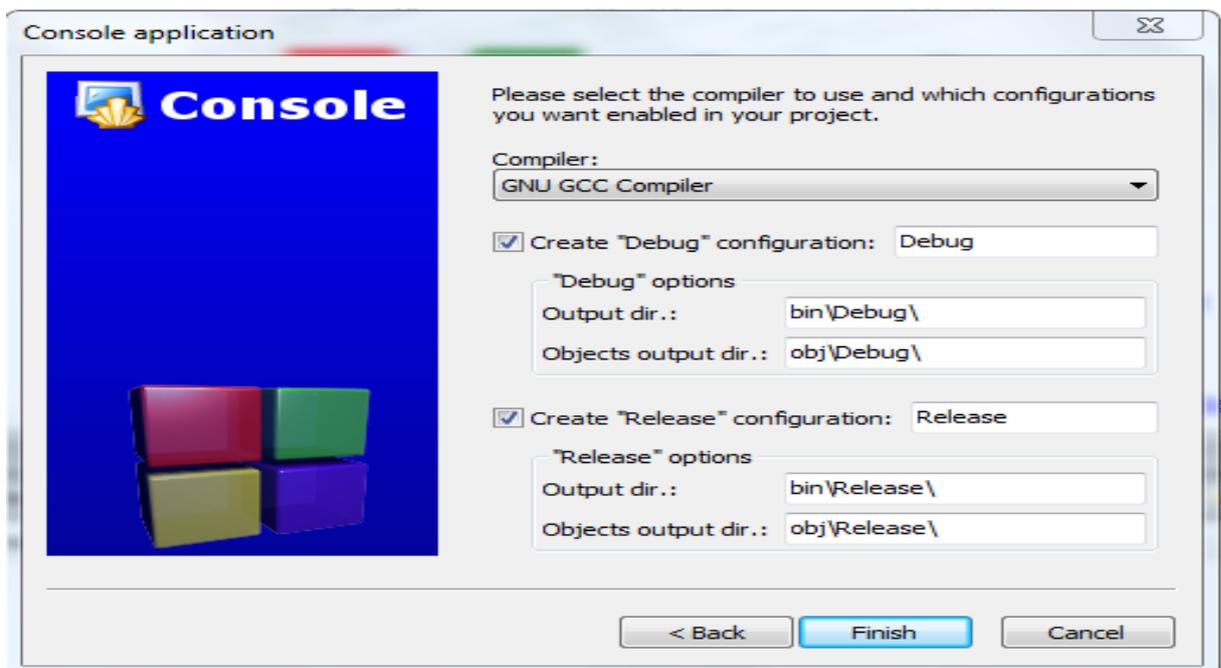
Il existe des modèles prédéfinis de projets et on peut également choisir de créer seulement des fichiers (.h,.cpp). On choisit Application Console, une fenêtre nommée Application console s'ouvre dans laquelle on spécifie le nom du projet et le dossier où il sera sauve :



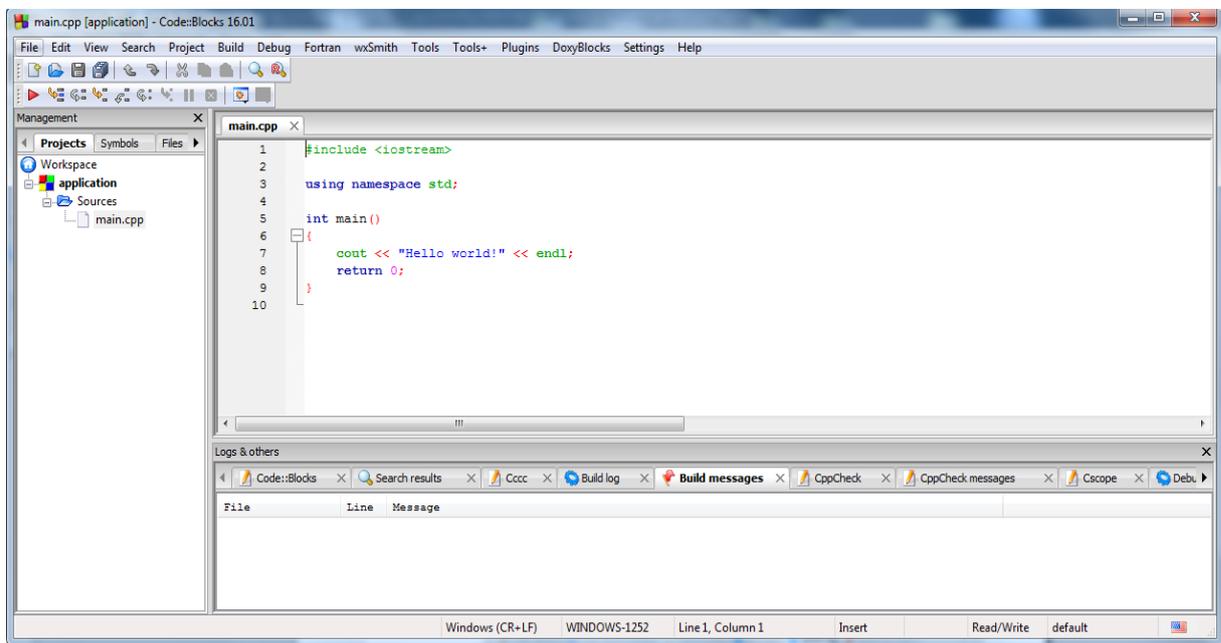
On décide si l'on développe une application C ou C++ :



Ensuite s'ouvre une fenêtre permettant de choisir le compilateur (par défaut GNU GCC) et les versions qui seront générées, par défaut Debug (permettant de faire du suivi d'exécution) et Release (version sans option de débogage) :



Par défaut, des fichiers sont créés. Pour une application console, seul un fichier main.cpp minimaliste est créé (programme "Hello word!"). Dans le volet project apparaît l'arborescence Workspace des projets et en particulier celui qui vient d'être créé. en cliquant sur le fichier source main.cpp, ce dernier est affiché dans une fenêtre centrale d'édition avec mis en évidence de la syntaxe C++ :



bibliographie

- [1] ACHECHE.R,FOUIAL.A,Etude et optimisation des paramètres génériques de gestion de la mobilité d'un reseau GSM/GPRS,2007 .
- [2] ADJAR.N,EL HACHMI.J,Résolution de la problématique d'allocation de fréquence dans le réseau cellulaire GSM avec la Recherche Tabou,2006.
- [3] ALSHAQUAQUI.B,BOUMEHED.M,Parcours master réseaux,Télécommunications,vision et multimédia photocopié de cours technologies sans fil,USTOMB.
- [4] ATOUI.K ;Gestion du spectre de fréquence et implémentation des réseaux de telecommunications : cas d'un réseau Wimax ,2009
- [4] ATOUI.K ;Gestion du spectre de fréquence et implémentation des réseaux de telecommunications : cas d'un réseau Wimax ,2009
- [5] BENAICHA.S,MAHMOUDI.Y,Développement d'un outil d'optimisation des ressources BSCALUG2(TSU),2010.
- [6] BEN CHAABANE.I,Gestion du spectre des fréquences Outils d'aide à l'assignation des fréquences, 2009.
- [7] BENMAMMAR.B,AMRAOUI.A,Réseaux de radio cognitive : Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre ,Jan 2014
- [8] BENSALID.S,FERJANI.M,Développement d'un outil de planification d'un réseau Wimax ; 2010/2011
- [9] CHEHICHIH.CS ;BELKACEM.D,Gestion du spectre de fréquences d'un réseau Super Wifi dans le secteur touristique du centre (Alger, Boumerdes, Tipaza)code Mémoire : 04/02/10
- [10] DECHICHA.H ,HDADDAD.R,TCHIALI.k,Technologie Wimax IEEE

802.16(Rapport Projet) ;2013-2014

- [11] DJEDIADI.M, Pour le Support des Applications M-commerce dans les Réseaux sans Fil, 2010.
- [12] DREO,PETROWSKI.A,SIARRY.S,TAILLARD.E ; Metaheuristiques pour l'optimisation difficile, July 2003.
- [13] ERIC BOSASI.D,Gestion des ressources radios dans les réseaux sans fils :cas d'un reseau wimax , 2010.
- [14] FEDRICK K.K ,Mise en place sur le point d'accès d'un réseau wifi Institut supérieur d'informatique programmation et d'analyse,2010 .
- [15] GHERBOUDJ.A,Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques diplôme de Doctorat,2012-2013.
- [16] HAO.J,DORNE.R,GALINIER.P,Tabu search for Frequency Assignment in Mobile Radio Networks journal of Heuristics,1998.
- [17] HAO.J,GALINIER.P,HABIB.M,Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contrainte
- [18] HAYKIN.S,Cognitive dynamic systems proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 11, pp. 1910-1911, Nov 2006.
- [19] HETTAL.N,OUNOUGHI.K ;Développement d'un prototype de dimensionnement des sites summer prévisionnel et qualitatif de service ; 2009 -2010 .
- [20] MEIGNAN.D,Application au problèmes d'optimisation de réseau de transport,2008.
- [21] METREF.A,Contribution à l'étude du problème de synchronisation de porteuse dans le contexte de la radio intelligente, 2010.
- [22] RUNSER.K,Méthodologie pour la planification dans les réseaux locaux sans fil,2005. s.