

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



Mémoire Présenté

Pour l'obtention du diplôme de master

en Recherche Opérationnelle

Option : Recherche Opérationnelle, Modélisation et Aide à La Décision

Par : BECHE Khouloud

Et : HASSAM Sabrina

Thème

**Gestion des ressources et l'ordonnancement sur
l'interface Radio des réseaux mobiles
Optimum Télécom Algérie-Alger-**

Devant le jury composé de :

M ^{me}	FASS	Président	l'UMBB - Boumerdès.
M ^r	M.BEZOUÏ	Encadreur	l'UMBB - Boumerdès.
M ^r	F.CHERFA	Examineur	l'UMBB - Boumerdès.
M ^r	R.HACHIMI	Encadreur	OTA - Alger.

Année Universitaire 2015 – 2016

Table des matières

Introduction général	1
1 Présentation de l'entreprise	3
1 Introuction	3
2 Présentation d'Optimum Télécom Algérie	3
2.1 Orascom Télécom Holding	3
2.2 Vimpelcom	4
2.3 Orascom Telecom Algérie	4
2.4 Optimum Télécom Algérie	5
2.5 Organisations d'Optimum Télécom Algérie	6
2.6 Missions et objectifs d'Optimum Télécom Algérie :	6
3 Structure d'accueil	7
3.1 Présentation Fonctionnelle	7
3.2 Présentation organisationnelle	9
4 Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunications (ARPT)	9
4.1 Missions de l'ARPT	10
5 Conclusion	10
2 Généralité sur la télécommunication	11
1 Introduction	11
2 Les réseaux GSM	11
2.1 Architecture du réseau GSM	11
3 Les réseaux UMTS	18
3.1 Architecture du réseau UMTS	18
4 Notions de bases	21
5 conclusion	29
3 Problématique	30
1 Position du problème	30
1.1 Objectifs assignés	31
2 Les différents problèmes d'affectation de fréquences (FAP)	31
3 Etude de l'existant	32
3.1 Représentation des antennes et bases station	32
3.2 Représentation de la zone d'étude	34

4	Conclusion	35
4	Modélisation et identification du problème	36
1	Modélisation du problème	36
2	Principe de la modélisation	36
3	Modélisation mathématique du problème	37
3.1	Introduction	37
3.2	Description	37
3.3	Modélisation du problème	38
4	Identification du problème	40
5	Conclusion	41
5	Méthodes de résolution	42
1	Généralité sur la théorie des graphes	43
1.1	Définition	43
2	Problèmes de coloration	46
3	La coloration par la programmation linéaire	48
3.1	Programmation linéaire	48
3.2	Programmation linéaire et modélisation	49
4	Méthodologie	50
5	Résolution du problème	50
5.1	Branch and Bound	57
6	Conclusion	59
6	Implémentation du problème	60
1	Présentation des logiciels utilisés	60
1.1	Mapinfo	60
1.2	Langage Matlab	62
1.3	Présentation du Matlab	63
2	L'interface graphique	64
3	Résolution du problème	67
3.1	Définition de l'adjacence	67
3.2	Résultats	69
3.3	Discussions des résultats	70
4	Conclusion	71
	Conclusion générale	72
	Résumé	74
	Abstract	75

Table des figures

1.1	Les filiales de Vimpelcom	4
1.2	Processus d'évolution de Djezzy	5
1.3	Présentation organisationnelle d'OTA	6
1.4	service d'accueil	9
1.5	Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunications	10
2.1	Architecture d'un réseau GSM	12
2.2	Architecture du réseau UMTS	18
2.3	Représentation d'une cellule	21
2.4	Le concept cellulaire	22
2.5	Interférence Co-canal	23
2.6	Interférence canal-adjacent	23
2.7	Diagramme de rayonnement d'une antenne-brin omnidirectionnelle	24
2.8	Diagramme de rayonnement d'une antenne-panneau directionnelle	25
2.9	Antenne omnidirectionnelle pour micro cellule dans une galerie commerciale	26
2.10	3 antennes directionnelles pour macro cellule	26
2.11	Représentation des azimuts	27
2.12	Exemple des valeurs des azimuts sur un site trisectorisé	27
3.1	Station de transmission de base	32
3.2	Antennes relais	33
3.3	la Zone d'étude	34
3.4	Identification des BTS, cellule	34
5.1	Classification des méthodes de résolutions	42
5.2	Illustration d'un graphe	43
5.3	une clique	44
5.4	Satable maximum	44
5.5	Coloration d'un graphe	45
5.6	Matrice d'adjacence	45
5.7	Nombre chromatique	46
5.8	BTS à une antenne et son graphe correspondant	51
5.9	BTS à deux antennes et son graphe correspondant	51
5.10	BTS à trois antennes et son graphe correspondant	52

5.11 BTS à quatre antennes et son graphe correspondant	52
5.12 Ensemble des BTS	54
5.13 Le graphe d'adjacence	54
5.14 La fusion des sous graphes et le graphe d'adjacence	55
5.15 Explosion du graphe	55
5.16 Classification des méthodes d'optimisation combinatoire	56
6.1 Interface Mapinfo vierge	61
6.2 Les barres d'outils de Mapinfo	62
6.3 Interface d'entré a l'application	64
6.4 Introduction des paramètres demandé	65
6.5 Interface pour la résolution du problème de Djezzy	65
6.6 Introduction d'un problème manuellement	66
6.7 Introduction d'un problème aléatoire	66
6.8 résolution d'un problème par la programmation linéaire	67
6.9 Zone d'étude	67
6.10 Définition de l'adjacence	68
6.11 Graphe d'adjacence	68
6.12 Allocation de fréquence par la coloration	69
6.13 Allocation de fréquence par la programmation linéaire	69
6.14 Allocation de Djezzy	70

Remerciements

Premièrement, je remercie Dieu le Miséricordieux, de m'avoir donné la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.

Du terme de ce travail, nous tenons tout particulièrement à exprimer toute notre gratitude et nos vifs remerciements à notre promoteur, Mr M.BEZOUÏ avec qui nous avons eue le plaisir de travailler et aussi pour sa collaboration, son attention qu'il a porté à notre travail et sa disponibilité durant notre cursus d'étude. Nous avons découvert avec lui le monde de la recherche, dans les meilleures conditions.

Nous tenons également à remercier Mr Y.DJEDDI, pour l'aide qu'il nous a apportée, et pour les conseils qu'il nous a prodigués.

Nous présentons également nos remerciements à monsieur R.HACHIMI de nous avoir proposé le thème de notre mémoire de fin d'étude. Ainsi qu'à Mme M.HARICHE ingénieur dans le service d'optimisation de Djezzy pour l'aide qu'elle m'a apportée.

nous serons en effet ingrates si nous n'exprimerons pas notre reconnaissance et notre gratitude à tous ceux, de près ou de loin, qui ont facilité notre tâche et nous ont permis de mener à bien ce travail

Nous présentons également nos remerciements aux membres de jury qui nous feront l'honneur d'évaluer et juger notre travail : Mr F.CHERFA et Mme FASS.

Introduction général

Au cours de cette dernière décennie, l'industrie des communications mobiles a connu un essor prodigieux. Actuellement, des millions d'abonnés profitent des services offerts par les réseaux cellulaires. La plupart utilise les réseaux GSM (Global System for Mobile Communications) avec des fréquences basses (dans la bande 900 MHz).

De nos jours, la téléphonie mobile se banalise. On le doit à la conjonction de l'avènement du numérique, l'accroissement des performances, et aux différentes avancées technologiques. Mais le facteur déterminant fût sans doute la cristallisation autour de la norme GSM qui repose sur l'utilisation de fréquences radio. Le nombre de fréquences allouées à chaque opérateur étant limité les fréquences doivent être réutilisées. D'autant plus, il existe des contraintes d'interférence qui limitent leur réutilisation.

Djezzy a obtenu une licence d'exploitation de la technologie GSM. Cet opérateur souhaite offrir la meilleure qualité de service à ses clients. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif de notre projet de fin d'études intitulé Gestion du spectre des fréquences et l'implémentation dans les réseaux de télécommunications proposé dans le cadre d'une collaboration entre L'université UMBB et l'opérateur Djezzy.

Le spectre radio-électrique est devenu une ressource extrêmement précieuse, en raison de son exploitation massive par des systèmes de communication de toutes sortes. L'affectation de fréquences est un problème d'optimisation combinatoire de la classe du problème de coloriage de graphes. Il faut donc des méthodes novatrices pour gérer le spectre de manière dynamique afin que cette ressource puisse offrir une couverture maximale à même d'éviter les brouillages de signaux.[10]

Le but de cette étude sera de satisfaire la demande de chaque station de base (BTS) en terme de fréquences tout en minimisant l'ensemble des interférences ainsi que la partie du spectre radio. Pour cela, nous proposons l'implémentation d'un logiciel permettant la gestion du spectre de fréquence sur les stations de bases en utilisant un minimum de fréquences pour une couverture maximale.[16]

Ce que nous proposons dans notre démarche, dans le cadre de projet de fin d'étude, est

de construire un plan optimale d'allocation de fréquence. Les bases théoriques utilisées pour la réalisation de ce travail sont regroupées dans les chapitres suivants :

- Le premier chapitre présentera l'organisme d'accueil Djezzy, où s'est déroulé notre stage pratique.
- Le deuxième chapitre portera quelques notions de la télécommunication avec un aperçu sur l'architecture des réseaux GSM et UMTS.
- Le troisième chapitre abordera la problématique posée par l'entreprise, et la méthode qu'il utilise actuellement pour l'allocation des fréquences.

En ce qui concerne la partie développement est application, les explications sont réparties comme suit :

- Le quatrième chapitre présentera les deux modèles mathématiques de notre problématique.
- Dans le cinquième chapitre, nous nous intéressons aux diverses méthodes de résolution, ainsi les différents algorithmes utilisés et leurs complexités.
- Le sixième chapitre exposera les interfaces de notre application plus la discussion des résultats obtenue par notre étude.

Nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

1. Introduction

Au début des années quatre-vingt-dix, il fallait attendre des mois et des mois pour acquérir une puce. La rareté du produit le rendait d'ailleurs très convoité. Aujourd'hui, avec trois opérateurs opérationnels sur le marché (Djeezy, Oreedo et Mobilis), la mobilité et le fait de pouvoir faire des affaires et de communiquer avec une totale liberté de mouvement, la course à l'abonné est lancée.

Djeezy est leader sur le marché algérien des télécommunications, qui connaît une forte croissance dû à l'introduction de l'informatique dans les technologies de la télécommunication, offrant une gamme complète de services de voix et de données aux différents clients particuliers et professionnels (GSM et UMTS).

2. Présentation d'Optimum Télécom Algérie

2.1. Orascom Télécom Holding

Orascom Télécom Holding (OTH) est une entreprise égyptienne de téléphonie et des nouvelles technologies présente au Moyen-Orient, en Asie, en Afrique, et en Europe. Elle compte plus de 50 millions d'abonnés dans le monde, dont 18 millions en Algérie, et parmi ses filiales on peut citer :

- Algérie : Orascom Telecom Algérie (OTA).
- Bangladesh : Orascom Telecom Bangladesh Ltd, devenu Banglalink.
- Chine : participation minoritaire dans Hutchison Telecom, filiale de Hutchison Whampoa basée à Hong Kong.
- Corée du Nord : développement d'un réseau 3G à travers la marque commerciale Koryolink depuis 2011.

- Égypte : marque commerciale Mobinil, filiale commune avec Orange.
- Italie : Wind telecom, racheté en même temps qu'Orascom Telecom par Vimpelcom.
- Burundi : U-COM Burundi (leo) est une propriété d'Orascom.

Orascom Telecom Algérie, est une filiale de Orascom Télécom Holding

2.2. Vimpelcom

Vimpelcom est un des plus grands fournisseurs de services de télécommunications mobiles, c'est l'un des plus importants opérateurs de réseau mobile au monde, dont le premier marché est la Russie. Opérant dans 14 pays, il sert plus de 217 millions de clients.

Pays	Opérateurs	Participation	Clients mobiles (millions)	Rang
 Russie	OJSC VimpelCom (Beeline)	100 %	59,0	3/12
Marchés émergents				
 Algérie	Optimum Telecom Algérie (Djezzy)	49 %	16,9	1/3
 Pakistan	PMCL Mobilink	100 %	35,2	1/5
 Bangladesh	Banglalink	100 %	32,3	2/6
Eurasie				
 Arménie	Armenia Telephone Company (Beeline)	100 %	0,8	1/3
 Géorgie	Mobitel	51 %	1,4	3/4
 Kazakhstan	Kar-Tel LLP (Beeline)	98,5 %	9,8	3/9
 Kirghizistan	SkyMobile (Beeline)	%	2,7	2/7
 Ouzbékistan	Unitel (Beeline)	100 %	10,2	2/5
 Tadjikistan	OOO Takom (Beeline)	60 %	1,2	3/4
 Ukraine	Kyivstar	100 %	25,7	1/6
Asie				
 Laos	Vimpelcom Lao (Beeline)	78 %	0,2	3/5
Europe				
 Italie	Wind Telecomunicazioni	92,24 %	21,3	3/4

FIGURE 1.1 : Les filiales de Vimpelcom

2.3. Orascom Telecom Algérie

Orascom Télécom Algérie est une entreprise de droit algérien, Créée en juillet 2001. Elle possède plus de 18 millions d'abonnés. OTA est une filiale de Orascom Télécom Holding. Elle a bénéficié d'une licence GSM de la part de l'ARPT, acquise au prix de 737 millions de dollars. La mise en place du réseau a coûté 500 millions de dollars.

En 2007, le chiffre d'affaire du holding Orascom a doublé par rapport à ses débuts (2003). OTA a notamment permis au holding de devenir un groupe important du monde des télécommunications, elle est actuellement leader avec plus de 67% du marché de la téléphonie mobile en Algérie. Sa stratégie commerciale est basée sur quatre marques : Djazzy, Allo ota, OTAxiphone et Imtiyaz.

Djazzy est la dénomination commerciale qui a été retenue pour présenter le réseau GSM d'Orascom Telecom Algérie (OTA). Elle met au service de la clientèle algérienne non seulement des produits et services novateurs, mais aussi une qualité de transmission unique grâce à l'utilisation des technologies les plus récentes.

Depuis le 4 octobre 2010, OTH et le russe VimpelCom annoncent leur fusion donc OTH devenu une partie intégrante de Vimpelcom .

2.4. Optimum Télécom Algérie

En avril 2014, Orascom Télécom Algérie est officiellement devenu Optimum Télécom Algérie. Après plus de deux ans de tergiversations et de bras de fer, les autorités algériennes ont réussi à boucler ce dossier délicat. En effet, OTA a changé de statuts et d'actionnaires aussi puisque la nouvelle société mère de Djazzy se met en conformité avec la réglementation algérienne notamment avec la règle des 51%/49%.

Le décret a pour objet d'approuver la licence d'établissement et d'exploitation d'un réseau 3G et de fourniture de services de télécommunications au public attribué à titre de cession à la société Optimum Télécom Algérie.

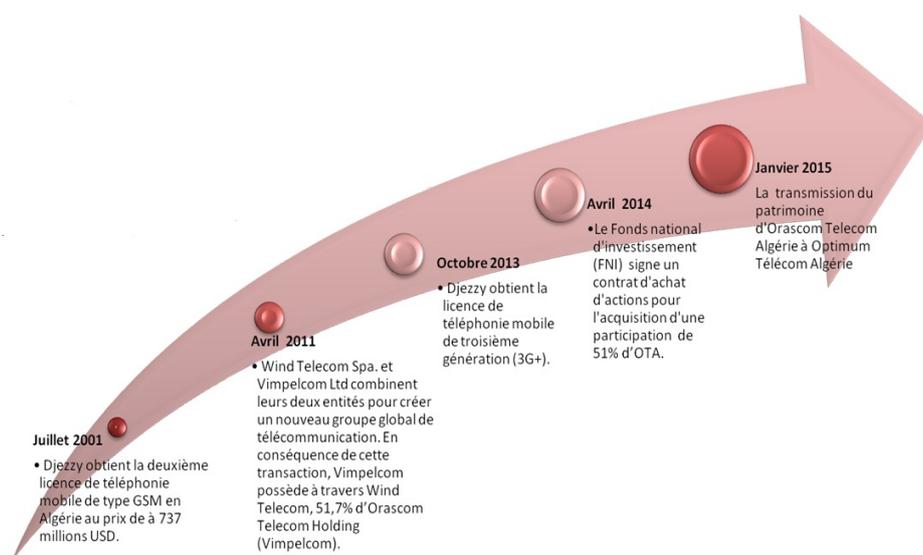


FIGURE 1.2 : Processus d'évolution de Djazzy

2.5. Organisations d'Optimum Télécom Algérie

Optimum Telecom Algérie se compose de plusieurs services décrits dans la figure ci-dessous.

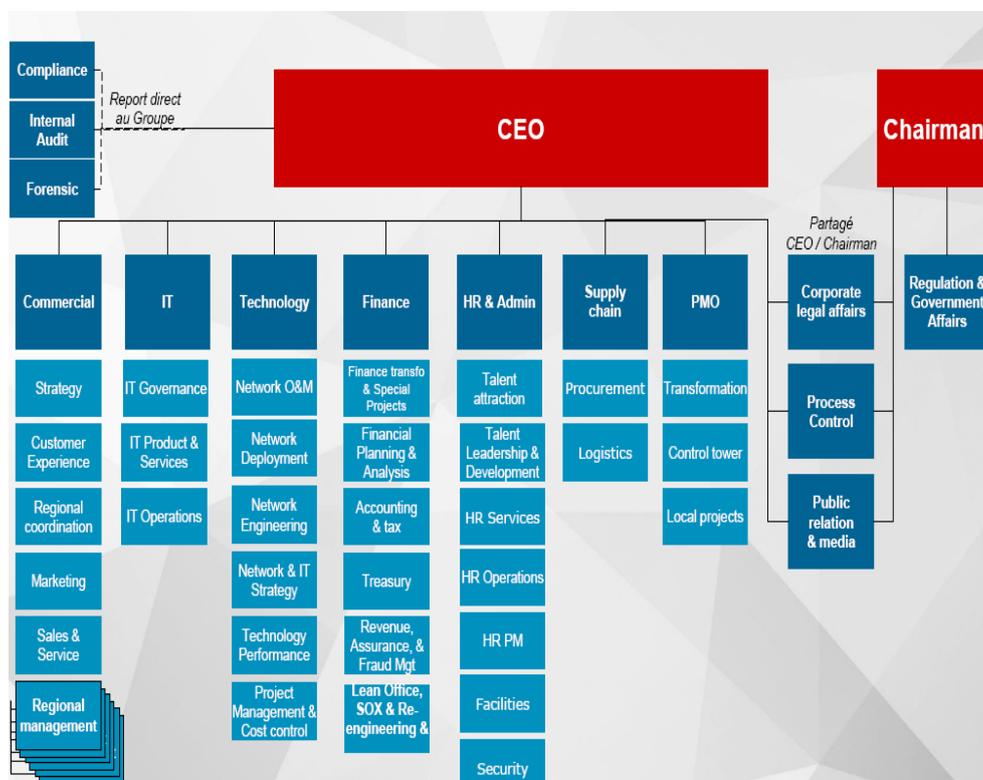


FIGURE 1.3 : Présentation organisationnelle d'OTA

2.6. Missions et objectifs d'Optimum Télécom Algérie :

La vision d'OTA est d'être l'Opérateur de Télécommunications préféré des Algériens, apportant constamment de la valeur à tous ses partenaires. OTA veut être une référence pour son orientation client, et la qualité de son environnement de travail.

Pour réaliser leurs objectifs, OTA s'engage a :

- Offrir les meilleurs produits, de qualité, à des prix compétitifs.
- Déployer des infrastructures à la pointe de la technologie.
- Créer pour ses employés le meilleur environnement de travail et dépanouissement.
- Contribuer activement au bien-être des Algériens.
- Optimiser la création de valeur pour les actionnaires, à travers un contrôle strict des coûts.

- Appliquer rigoureusement sa politique environnementale.
- Améliorer sans cesse son processus interne dans le respect de sa politique qualité.

3. Structure d'accueil

3.1. Présentation Fonctionnelle

1. Service Radio

- Choix et implantation des sites radio sur les diverses régions.
- Assurance d'une bonne couverture avec une haute qualité de service.
- Suivi permanent du bon fonctionnement du réseau.
- Amélioration des performances du réseau.
- Assurer la couverture conformément aux exigences de la licence.

2. Service trafic

- Le suivi des performances d'accessibilité du réseau et le maintien de la qualité de service d'accessibilité.
- Les prévisions d'augmentation de trafic (la ressource consommée par l'utilisateur/une capacité offerte)et dimensionnement du réseau d'accès radio.
- La planification fréquentielle et minimisation de l'interférence radio.

3. Service BSS

- Gestion de la configuration BSS.
- Intégration des demandes du département Radio dans l'architecture du réseau BSS.
- Elaboration et suivi des BSS WO (Work Orders).

- Configuration management des BSS.
- Prévisions en matière d'équipements.
- Acceptation des BSS.
- Contrôle de l'évolution du trafic.

4. Service d'optimisation

- Suivi de la qualité du service.
- Règlement des cellules ayant une mauvaise performance.
- Amélioration du plan de fréquence.
- Amélioration/Modification de la couverture et de la qualité.

5. Service de performance

- Etablir le suivi de la qualité de service et l'impact lié à l'introduction de la nouvelle solution ou équipement.
- Etablir des rapports statistiques journaliers, hebdomadaires, mensuels et événementiels, ainsi que des audits sur l'état technique et commercial du réseau englobant tout les sous systèmes.
- Elaborer le rapports et l'états orienté du dimensionnement du réseau.
- Analyse minutieuse des KPI's en se basant sur leurs évolution, afin de signaler toute les anomalies détectées aux services adéquats avec un maximum de détails, toute en assurant le suivi jusqu'à résolution.
- Proposer des actions pour l'amélioration de la qualité du réseau.
- Proposer et initier de nouveaux processus pour l'amélioration du travail journalier.
- Développer de nouvelles bases de données ou perfectionnés des anciennes suivant le langage de programmation maitrisé par l'ingénieur.
- Suivre les projets liés aux nouveaux services (équipements ou solutions).

- Etablir un rapport final de qualité.

3.2. Présentation organisationnelle

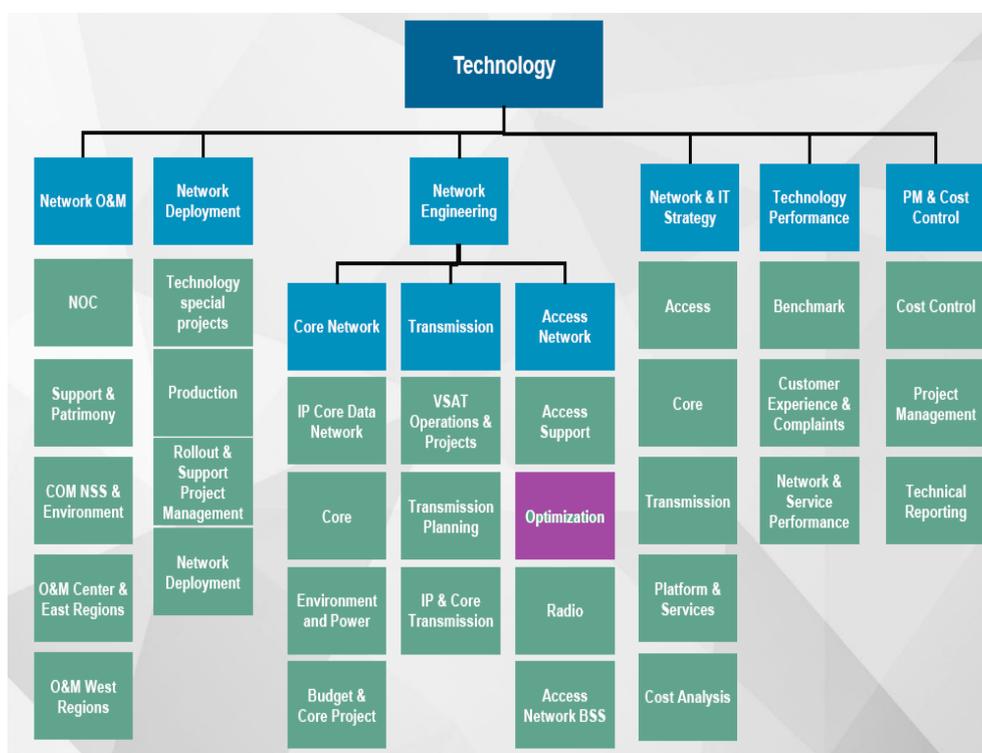


FIGURE 1.4 : service d'accueil

4. Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunications (ARPT)

L'Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunications (ARPT) est une institution indépendante dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière créée dans le cadre de la libéralisation du marché postal et des télécommunications. L'ouverture à la concurrence et à la promotion de la participation de l'investissement privé dans ces marchés ont été consacrés par la loi n°2000-03 du 5 août 2000 fixant les règles générales relatives à la poste et aux télécommunications.



FIGURE 1.5 : Autorité de Régulation de la Poste et des Télécommunications

4.1. Missions de l'ARPT

Les missions principales de l'ARPT sont notamment :

- Veiller à l'application des cahiers des charges de manière strictement identique à tous les opérateurs et assurer l'égalité entre eux.
- Planifier, gérer, assigner et contrôler l'utilisation des fréquences dans les bandes qui lui sont attribuées dans le respect du principe de non discrimination .
- Définir les règles applicables par les opérateurs de réseaux publics de télécommunications pour la tarification des services fournis au public.
- Effectuer tout contrôle conformément à la loi et aux cahiers des charges des opérateurs.

5. Conclusion

Ce chapitre a été axé sur la présentation de l'organisme d'accueil d'Optimum Télécom Algérie. Nous avons commencé le chapitre par une introduction décrivant l'introduction de la téléphonie mobile en Algérie, et l'historique de la société OTA. En suite nous avons présenté les différents services en générale, et en particulier le service d'optimisation du département Network Engineering ou s'est déroulé notre stage. Pour faciliter la compréhension de notre problématique, nous allons présenter quelques notions de bases de la télécommunication dans le chapitre qui suit.

Chapitre 2

Généralité sur la télécommunication

1. Introduction

Les évolutions technologiques dans le monde ne cessent de s'accroître à haute cadence, notamment pour les systèmes de télécommunications mobiles. Durant ces dernières années, les réseaux radio mobiles ont eu une expansion sans précédent en termes de capacité et en nombre d'abonnés. La norme GSM, Global System for Mobile communication, représente de nos jours le système de télécommunications mobile le plus étendu et le plus répandu à travers le monde.

2. Les réseaux GSM

En 1982, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles.

Le réseau GSM a été conçu pour offrir principalement un service de téléphonie orienté circuit et permet aussi le transfert des données à un débit limité de 9,6 kbit/s.

La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type Voix à ses clients en donnant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant.

2.1. Architecture du réseau GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes.

- Le sous-système Radio BSS (Base Station Sub-system) inclut le MS, la BTS et le BSC.

- Le sous système réseau ou d'acheminement NSS (Network Switching Sub-system) inclut le MSC, HLR, VLR, AUC et l'EIR.
- Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance OSS :(Operation Support Sub-system) inclut l'OMC. [18]

Et voici une illustration qui représente l'architecture du réseau GSM :

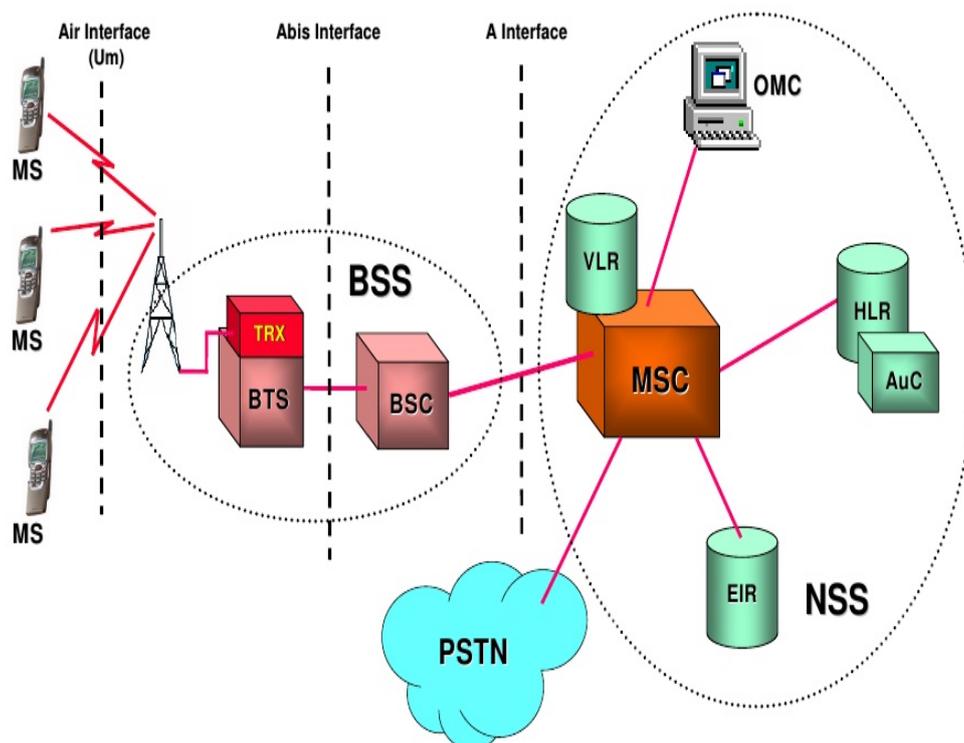


FIGURE 2.1 : Architecture d'un réseau GSM

1. Le sous système radio BSS

Le sous-système radio est l'ensemble des constituants du réseau qui gère l'échange et la transmission des voix par mobile. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, la station de base, et un contrôleur de station de base.

(a) Station Mobile

La Mobile Station (MS) est composée du Mobile Equipment (le terminal GSM) et de la carte SIM (Subscriber Identity Module), ceux sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements. La carte SIM est une petite carte dotée d'une mémoire et d'un microprocesseur, qui sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal employé, il est donc possible de continuer à recevoir et à émettre des appels et d'utiliser tous ces services simplement grâce à l'insertion

de la carte SIM dans un terminal quelconque.

(b) la station de base BTS

La station de base BTS est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules.

i. Les Composantes de la BTS

Elle est composée essentiellement d'un élément d'interface avec la station de contrôle (BSC) qu'on appelle "l'interface A-bis", d'un ou plusieurs émetteurs et récepteurs (transceiver, TRX) et d'une à trois antennes.

- **l'interface A-bis** : c'est un lien entre la BTS et le BSC.
- **Un TRX (Transmission/Reception Unit)** : est un émetteur-récepteur qui gère une paire de fréquences porteuses (une en voie montante, une en voie descendante). On peut multiplexer jusqu'à 8 communications GSM simultanées sur un TRX grâce à la technique d'accès multiple TDMA.
- **Une antenne** : On peut distinguer trois types d'antenne :
 - les antennes omnidirectionnelles qui émettent à 360°.
 - Les antennes bi-sectorielles qui émettent a 180°.
 - Les antennes tri-sectorielles qui émettant a 120° qui sont les plus fréquentes car elles permettent un maillage optimisé d'une zone géographique et limitent les interférences entre canaux utilisant une même fréquence.

ii. La capacité de la BTS

En théorie, la capacité maximale d'une BTS est de 12 TRX. Ainsi, elle peut gérer jusqu'à 96 communications simultanées. Mais cette limite n'est jamais atteinte en pratique.

iii. Le rôle de la BTS

elle est chargée de la gestion physique du lien radio, Elle a pour fonction :

- la gestion de la liaison radio avec les stations mobiles.
- l'activation et la désactivation d'un canal radio. (elle ne prend pas la décision, elle applique la décision BSC).

- le multiplexage temporel TDMA.
- le chiffrement du contenu à transmettre (pour la confidentialité de la communication sans fil).
- les codages canal, chiffrement des trames, modulation, démodulation et décodage du signal radio (protection contre les erreurs de transmission, interférences, bruits...).
- le contrôle de la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau de l'opérateur et de la liaison de données avec le BSC.
- la surveillance des niveaux de champ reçu et de la qualité des signaux (nécessaire pour Handover).
- le contrôle de la puissance d'émission (limiter la puissance à ce qui est suffisant pour ne pas trop perturber les cellules voisines autrement dit minimise le signal inutile).

Dans les zones rurales, le rôle de la BTS est d'assurer une couverture. Elle est donc généralement limitée à un seul TRX ou deux si l'opérateur prévoit un TRX de secours.

Dans les zones urbaines, la BTS doit assurer une couverture mais également écouler un trafic conséquent. Elle peut donc être équipée de deux à neuf TRX.

Afin d'écouler plus de trafic, les opérateurs préfèrent augmenter le nombre de BTS plutôt que d'augmenter le nombre de TRX par BTS. Ainsi, les interférences entre canaux utilisant les mêmes fréquences sont limitées.

(c) **Le contrôleur de station de base BSC** Le contrôleur de station de base BSC est l'élément intelligent du sous-système radio. Plusieurs BSC sont reliées à la hiérarchie supérieure du réseau mobile *MSC* (Mobile service Switching Center) par un lien s'appelle "lienA". [15]

i. **Le rôle de BSC**

comme on a vu précédemment (2.c), la BTS est chargé de la gestion physique du lien radio, le BSC sera la partie intelligente concernant ce

lien.

- Il gère une ou plusieurs stations de base.

- Il décide de l'activation/désactivation d'un canal vers une station mobile (MS).

- Il décide la puissance d'émission des BTS et des MS (Mobile station).

- Il gère les changements de cellules (Hand-over), la synchronisation de l'heure des BTS.

- Il communique et informe la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné (Dans cas de Hand-over).

Si le handover s'effectue entre deux BTS qui sont reliées au même BSC, ce dernier effectue le handover tout seul (handover intra-BSC), sinon il s'agit d'un handover inter-BSC ou handover inter-MSC qui fait appel au(x) (MSC) supérieur(s).

Pour effectuer le contrôle de puissance et les changements de cellule, le BSC collecte et analyse les mesures de performance et de qualité envoyées par les BTS et les MS.

Un autre rôle primordial du BSC est de concentrer les flux de données en provenance des BTS. Mis à part en milieu urbain dense, une BTS est rarement surchargée en permanence, l'A-bis est donc peu saturé. En concentrant ensemble les A-bis sur un nombre plus réduit de liens A en direction du MSC, cela permet une meilleure utilisation des ressources.

2. Le sous-système réseau NSS

Le sous-système réseau, appelé NSS (Network Switching System) joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming.

(a) le centre de commutation mobile MSC

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution

du handover si le MSC concerné est impliqué. Le handover est un mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une BTS vers une autre (handover inter BTS) ou, sur la même BTS d'un canal radio vers un autre (handover intra BTS). On parle de transfert automatique inter/intra cellule.

Le commutateur est un noeud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. En connexion avec le VLR, le MSC contribue à la gestion de la mobilité des abonnés (à la localisation des abonnés sur le réseau) mais aussi à la fourniture de tous les télé services offerts par le réseau : voix, données, messageries ... Il peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC), qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile.

Un couple MSC / VLR gère généralement une centaine de milliers d'abonnés. Les commutateurs MSC sont souvent des commutateurs de transit des réseaux téléphoniques fixes sur lesquels ont été implantés des fonctionnalités spécifiques au réseau GSM.

(b) **l'enregistreur de localisation nominale HLR**

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Le HLR contient toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki (cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM), les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI)...etc, ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau . En effet, son VLR et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre,...). Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

(c) **l'enregistreur de localisation des visiteurs VLR**

L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés présent dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée. A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou

d'établir une communication demandée par un abonné visiteur. Pour ce faire un dialogue permanent est établi entre les bases de données du réseau. La mise à jour du HLR est très importante puisque lorsque le réseau cherche à joindre un abonné, il interroge toujours son HLR pour connaître sa dernière localisation. Le VLR concerné est ensuite consulté afin de tracer le chemin entre le demandeur et le demandé pour acheminer l'appel.

(d) le Centre d'authentification AUC

Le centre d'authentification AUC (AUthentication Center) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC de chaque abonné est associé au HLR. Pour autant le HLR fait partie du «sous-système fixe» alors que l'AUC est attaché au «sous-système d'exploitation et de maintenance».

(e) l'enregistreur des identités des équipements EIR

L'EIR (Equipment Identity Register) est une base de données annexe contenant les identités des terminaux. Un terminal est identifié par un numéro de série dénommé IMEI (IMEI : numéro d'homologation (série), numéro d'identifiant, numéro du terminal). La base EIR est consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier si le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau. Ainsi l'accès au réseau peut être refusé si le terminal n'est pas homologué, si le terminal perturbe le réseau ou si ce même terminal a fait l'objet d'une déclaration de vol. Dans la réalité ces bases de données EIR sont peu utilisées faute d'accords entre les opérateurs d'un même pays. La création d'une liste noire des terminaux volés pour en interdire l'utilisation pourra décourager les vols de téléphones portables.

3. Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance OSS

Le sous-système réseau, appelé OSS(Office of Strategic Services) s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau, il s'appuie sur un réseau de transfert de données. regroupe trois activités principales de gestion :

- la gestion administrative.
- la gestion commerciale .
- la gestion technique.

4. Les interfaces

- **L'interface U_m** : C'est l'interface entre les deux sous systèmes MS et la BTS. On la nomme couramment interface radio ou interface air.

- **L'interface Abis** : C'est l'interface entre les deux composants du sous système BSS : la BTS (BaseStation Transceiver) et le BSC (Base Station Controller).
- **L'interface A** : C'est l'interface entre les deux sous systèmes BSS (Base Station Sub System) et le NSS (Network Sub System).

3. Les réseaux UMTS

Le réseau UMTS vient se combiner au réseaux déjà existant (GSM et GPRS). La mise en place de ce réseau va permettre a un opérateur de compléter son offre existant (Voix et Data) par l'apport de nouveaux services en mode paquet (les fonctionnalités multimédia).

3.1. Architecture du réseau UMTS

L'architecture d'un réseau peut être divisée en trois sous-systèmes :

- Terminal mobile.
- Réseau d'accès UTRAN : le node B, le RNC.
- Le réseau coeur CN.

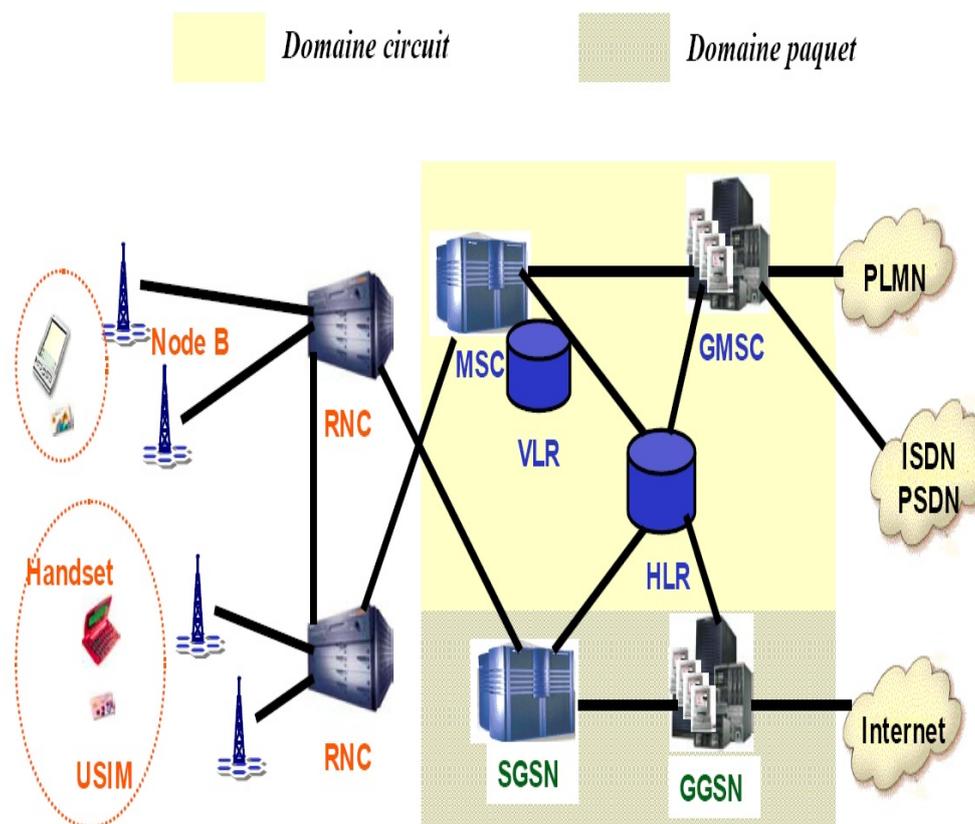


FIGURE 2.2 : Architecture du réseau UMTS

1. Réseau d'accès UTRAN

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu . Cependant, il est chargé d'autres fonctions :

- **Sécurité** : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- **Mobilité** : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- **Gestion des ressources radio** : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- **Synchronisation** : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

(a) L'équipement du réseau UTRAN

i. **Le noeud B** : est une station de base (ou antenne-relais) dans un réseau mobile UMTS. C'est l'équivalent de la BTS dans les réseaux GSM. Il inclut un récepteur CDMA et un transmetteur CDMA. Il existe trois types de Node B :

- Node B UTRA-FDD et Node B UTRA-TDD : correspondant aux deux modes UTRA.
- Node B mode dual : il est utilisé pour les deux modes simultanément.

A. **Le rôle du nodeB** : Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS. De plus, il gère des cellules radio utilisant différentes bandes de fréquences sur différents secteurs (un secteur équivaut à une antenne physique).

B. Les composantes du nodeB :

- **Un récepteur CDMA** : il convertit les signaux de l'interface Uu en flux de données acheminés au RNC sur l'interface Iub .

- **Le transmetteur CDMA** : il convertit les flux de données reçus du *RNC* pour leur transmission sur l'interface *Uu*.

ii. **La Radio Network Controller RNC** : C'est un élément de la partie radio UTRAN d'un réseau de téléphonie mobile UMTS. C'est l'équivalent des BSC des réseaux 2G.

A. **Le rôle** : le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. De plus, il est chargé de :

- le contrôle des transmissions radio des stations de base.

-La gestion de la répartition de la ressource radio.

-Le chiffrement des données avant de l'envoi au téléphone mobile, ainsi qu'une partie de la localisation des terminaux mobiles des abonnés.

-Il s'interface avec le SGSN pour la transmission des données et avec le MSC pour le transfert de la voix et de la signalisation.

iii. **les interfaces** :

Il existe plusieurs relais entre les composantes de l'UMTS telque *Iub, Iur, IuCS, IuPS*.

Dans notre travaille on s'intéresse a l'interface *Iub* qui relie le RNC au Node B. Plusieurs branches *Iub* de communication peuvent être utilisées pour un même terminal, toutes ces branches transportant la même information aux utilisateurs.

4. Notions de bases

Cette partie présente les différents éléments des réseaux mobiles, et montre comment les architectures télécom des réseaux GSM, et UMTS sont complémentaires. Il apparaît clairement que les réseaux GSM et UMTS sont complémentaires et qu'ils constituent une évolution des offres de services de l'opérateur télécom, des services simples de type Voix vers les services évolués de type Data. Nous analyseront également les distinctions entre les architectures en mode circuits (GSM) et en mode paquet (UMTS).

cellule

Une cellule, c'est la surface sur laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison (antenne) avec une station de base déterminée (BTS). Les cellules sont généralement représentées sous forme d'hexagones mais la réalité du terrain est bien différente de ce modèle théorique, notamment en zone urbaine (forte densité d'utilisateurs) où de nombreux obstacles empêchent une propagation linéaire. Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules qu'on appelle site desservies par un relais radioélectrique (la BTS) de faible puissance. Ces cellules doivent être touchées par la surface couverte. La capacité d'une cellule en Mbits/s ne dépend pas de la taille de la cellule.

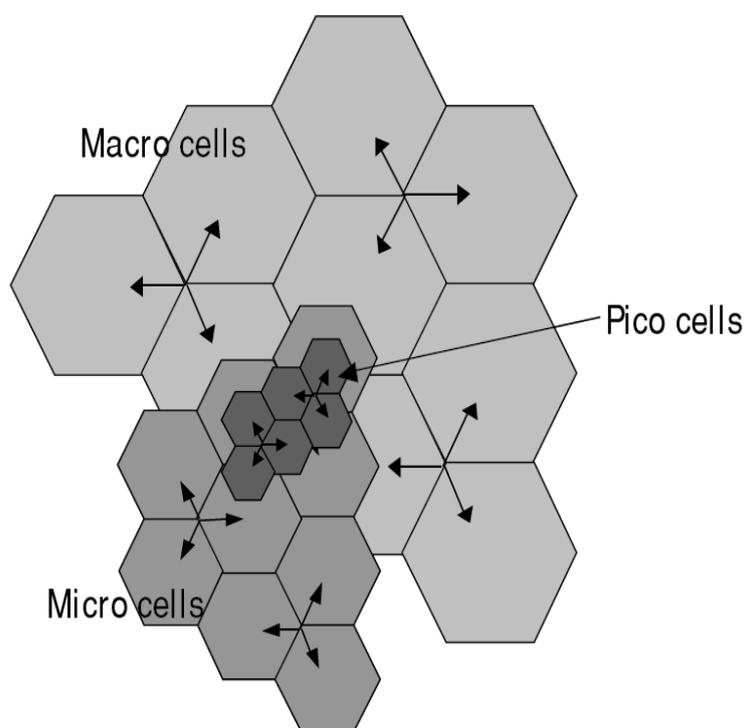


FIGURE 2.3 : Représentation d'une cellule

Concept cellulaire

Le principe de ce concept est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Chaque cellule est constituée d'une station de base à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite. Comme le nombre de fréquences accordées au système GSM est restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas et c'est la raison pour laquelle deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même fréquence. [9]

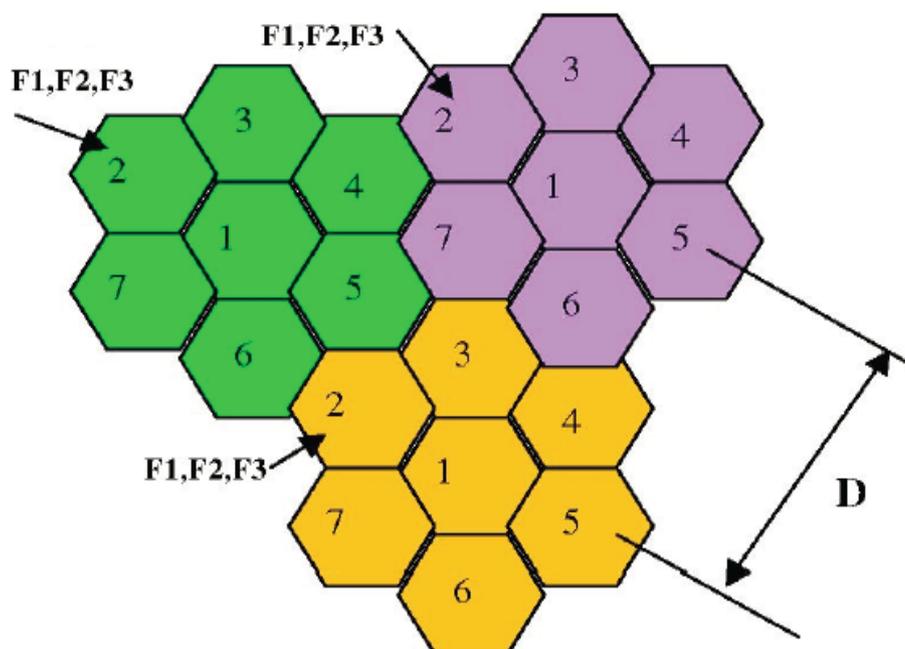


FIGURE 2.4 : Le concept cellulaire

Fréquence

En physique, la fréquence désigne en général la mesure du nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps, C'est-à-dire le nombre de fois qu'un phénomène temporel régulier se reproduit identique à lui-même par intervalle de temps donné.

L'unité de fréquence étant l'hertz (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.

Bande de fréquence

Une bande de fréquence est utilisée en communication GSM, elle représente un ensemble continu de fréquences compris entre deux fréquences.

Interférence

On parle d'interférence 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'interférence : Il existe deux grands types d'interférences : celles qui sont dues à la réutilisation d'une même fréquence (interférence Co-canal) et celles qui sont dues à l'utilisation de fréquences adjacentes (interférence canal adjacent).

1. **Interférences Co-canal** : Ce sont des interférences induites par des signaux émis sur la même porteuse. Ceci se produit quand un point de la zone de couverture reçoit plusieurs signaux provenant de différents BTS et émis sur la même fréquence Interférence Co-canal.

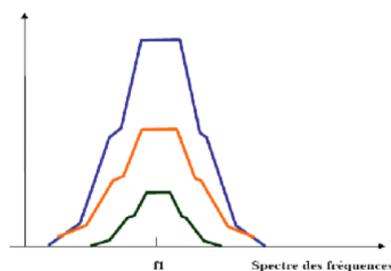


FIGURE 2.5 : Interférence Co-canal

2. **Interférences canal-adjacent** : Les signaux émis sur des fréquences adjacentes entraînent des interférences non négligeables.

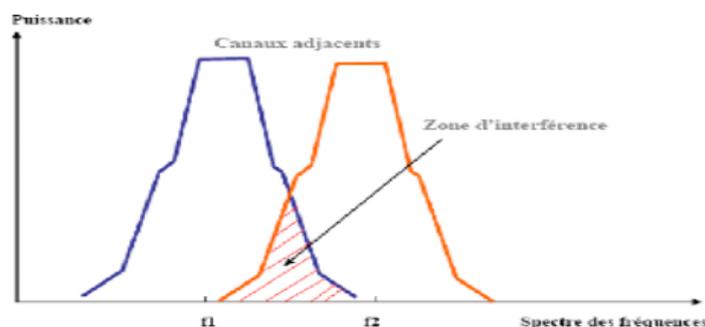


FIGURE 2.6 : Interférence canal-adjacent

Antenne

Une antenne est un émetteur-récepteur de signaux radioélectriques pour les communications mobiles qui convertit des signaux électriques en ondes électromagnétiques (et réciproquement). Il en existe plusieurs modèles : antennes fixes, antennes à déployer, antennes internes ...ect

1. Caractéristiques**(a) Fréquences d'utilisation**

La caractéristique la plus importante d'une antenne, aussi appelée aérien, est la bande de fréquences supportée. c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir. Sur les sites GSM, on trouve des antennes qui émettent seulement en 900 MHz, seulement en 1800 MHz ou des antennes bibandes 900 et 1800 MHz. On trouve déjà, et leur nombre ne fera qu'augmenter, des antennes bimodes (GSM UMTS) et bibandes (1800 1900-2200 MHz) ou tribandes (900,1800 1900-2200 MHz), qui sont des antennes qui servent à la fois pour le GSM en 900 et/ou 1800 MHz, mais aussi pour l'UMTS en 1900-2200 MHz.

(b) Directivité

La deuxième caractéristique importante est la directivité sur le plan horizontal, c'est en fait la ou les direction(s) dans laquelle l'antenne va émettre. En GSM, il existe deux grands types de directivités pour les antennes :

i. Omnidirectionnelle :

Elles sont assez peu répandues. Lors de l'utilisation pour des macro cellules, elles ressemblent à des brins d'environ 2 m de haut et 5 cm de diamètre, alors que pour les micro cellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre. Ces antennes-brins sont omnidirectionnelles, elles émettent de manière égale dans toutes les directions. Pour les macro cellules, les sites comportent souvent deux à trois antennes omnidirectionnelles.

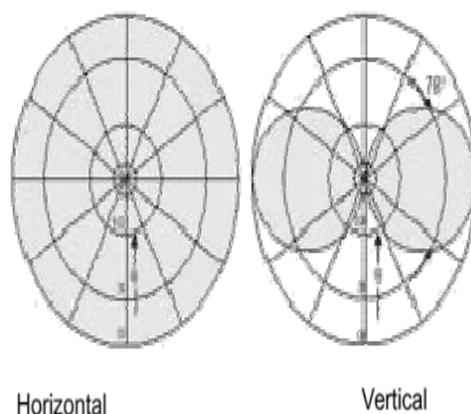


FIGURE 2.7 : Diagramme de rayonnement d'une antenne-brin omnidirectionnelle

Comme on peut le voir sur ces diagrammes, l'antenne émet dans toutes les directions sur le plan horizontal, et dans deux directions principales sur le plan vertical.

ii. **Directionnelle :**

Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées. Lors de l'utilisation pour la couverture de macro cellules, elles ressemblent à des panneaux de couleur beige ou blanche d'environ 2 m de haut, 20 cm de large et 10 cm d'épaisseur, alors que pour les micro cellules, ce sont de petits panneaux d'une vingtaine de centimètres de haut, 10 cm de large et quelques centimètres d'épaisseur. Ces antennes-panneaux sont directionnelles, elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées, ce qui permet de limiter le champ de propagation d'une fréquence pour pouvoir ainsi de la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillage. Les relais sont souvent composés de trois antennes-panneaux orientées à environ 120° l'une de l'autre, de manière à couvrir sur 360° .

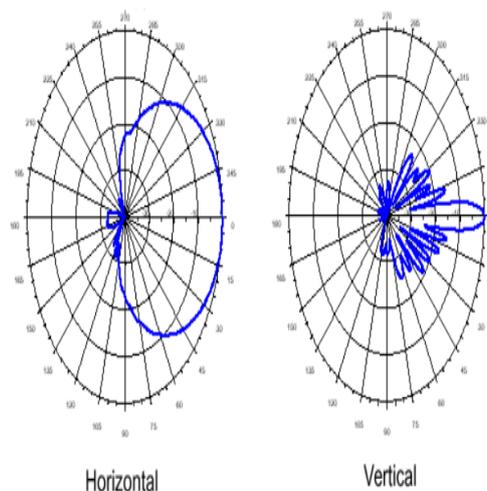


FIGURE 2.8 : Diagramme de rayonnement d'une antenne-panneau directionnelle

On peut constater sur le plan horizontal que l'antenne-panneau émet à forte puissance vers l'avant, et avec une puissance faible derrière elle. On remarque sur le plan vertical, que l'antenne émet avec une puissance faible au dessus et au dessous, mais avec une puissance beaucoup plus importante devant elle.

(c) **Portée :**

Une autre caractéristique est la portée des antennes. Elle dépend pour beaucoup de la PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) de l'antenne, mais aussi de son orientation.

En général, une antenne assure la couverture d'une zone appelée secteur ou cellule. Il existe deux grands types de cellules, le premier étant la micro (petite) ou pico (très petite) cellule qui couvre une zone de taille réduite, par exemple une rue très fréquentée, une galerie marchande, un centre commercial au moyen d'antennes de petite taille, souvent omnidirectionnelles. Le deuxième type est celui des macro cellules qui couvrent des zones de grande superficie (plusieurs dizaines de kilomètres carrés), que l'on trouve près des autoroutes, et dans les zones périurbaines ou rurales ; dans ce cas, les antennes utilisées sont souvent de type directionnel.



FIGURE 2.9 : Antenne omnidirectionnelle pour micro cellule dans une galerie commerciale



FIGURE 2.10 : 3 antennes directionnelles pour macro cellule

(d) Gain - Puissance

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Le gain est l'amplification que l'antenne effectue du signal d'entrée. Ce gain s'exprime en dB ou dBi, et est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles. La puissance émise par l'antenne est appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) ou PAR (Puissance Apparente Rayonnée, $PAR = PIRE - 2,15 \text{ dB}$). Cette puissance est fournie par la BTS et ses amplificateurs de puissance, commandés depuis le BSC. La PIRE est de quelques watts pour des antennes couvrant des micro cellules, et d'une vingtaine à une cinquantaine de watts pour des macro cellules. La PIRE est exprimée en dBm, ce qui est plus pratique pour le calcul des pertes des

coupleurs, câbles coaxiaux et gain des antennes.

(e) **Azimet**

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante est dirigée dans l'azimet établi. L'azimet est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°). De cette façon, l'azimet 90° correspond à l'est, l'azimet 180° au sud, etc... [1]

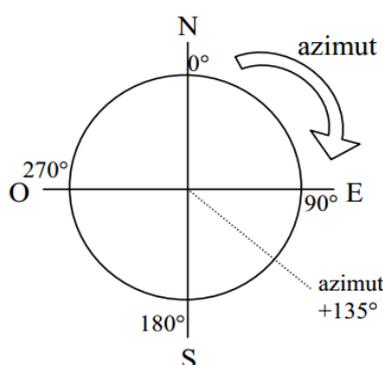


FIGURE 2.11 : Représentation des azimuts

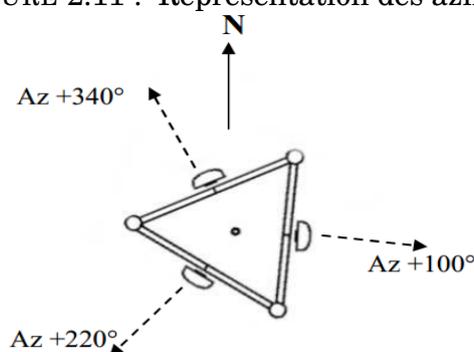


FIGURE 2.12 : Exemple des valeurs des azimuts sur un site trisectorisé

(f) **Tilt**

Tout comme l'azimet, le tilt (ou down-tilt) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimet du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas. Il existe deux types de tilt :

- **Mécanique** : il suffit de relever légèrement l'antenne sur son support, pour qu'elle soit dirigée dans la direction souhaitée.

- **Electrique** : réglage d'environ 2 à 10°, en tournant une partie mécanique à l'arrière de l'antenne qui joue sur le déphasage des signaux dans les différents dipôles constituant l'antenne.

2. Catégories d'antenne

On distingue principalement 4 catégories d'antenne :

- (a) Les antennes femtocell : couverture résidentielle (une dizaine de mètres).
- (b) Les antennes picocellulaires : couverture de proximité (quelques dizaines de mètres).
- (c) Les antennes microcellulaires : couverture réseau de quelques centaines de mètres (gare, centre commercial).
- (d) Les stations macrocellulaires : les plus visibles ; on les trouve généralement placées sur des supports de 12 à 50 mètres de hauteur, tels que des bâtiments, les toits d'immeubles...ect.

handover/handoff

Une des procédures les plus complexes dans un réseau cellulaire est le transfert intercellulaire (ou Handoff). En effet, le fait qu'un abonné se déplace peut engendrer le besoin de changer de canal (fréquence) ou de cellule, le handover permet à un abonné de poursuivre sa communication sans coupure (Handover inter-cellulaire). Le mobile peut également effectuer un handover à l'intérieur de la cellule si le signal devient faible par exemple (on parle alors de handover intra-cellulaire).[19]

On retrouve quatre types de handover(Transfert) :

- Transfert de canal dans une même cellule.
- Transfert de cellules contrôlées par la même BSC.
- Transfert de cellules appartenant au même MSC, mais contrôlées par différents BSC.
- Transfert de cellules contrôlées par des MSC différents.

Porteuses

Une porteuse est une forme d'onde qui est modulée par un signal d'entrée dans le but de transporter des informations.

Mobilité

La mobilité dans les réseaux de communication est définie comme la capacité d'accéder, à partir de n'importe où, à l'ensemble des services disponibles normalement dans un environnement fixe et câblé.[2]

5. conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'architecture des réseaux GSM et UMTS. Ensuite, nous avons introduit quelques notions de base de la télécommunication lesquelles ont pour but de faciliter la compréhension du problème. Dans le chapitre suivant, nous allons aborder la problématique de notre travail.

Chapitre 3

Problématique

1. Position du problème

Les réseaux mobiles ont connu au cours des dernières années des avancées technologiques considérables. La recherche actuelle dans ce domaine vise surtout à accroître la qualité des services offerts aux utilisateurs : augmentation du débit, accroissement de la fiabilité des transmissions et le hand-over à des vitesses de plus en plus rapides. L'utilisation des nouvelles technologies permet une amélioration de la qualité des services de télécommunication.

Toutefois, cette amélioration ne peut être obtenue sans la conception des méthodes avancées qui permettent d'effectuer une allocation des ressources très limitées d'une manière efficace.

En effet, la société « Optimum Telecom Algérie » doit envisager un nouveau défi, elle doit améliorer ses services dans le but d'augmenter ses ventes et préserver la confiance de ses clients, par conséquent les fidéliser et conquérir une nouvelle clientèle. Et pour cela la société doit offrir une bonne qualité de services de communication entre le mobile et le réseau, tout en minimisant le niveau d'interférences global.

La planification d'un réseau mobile est un processus très délicat et le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet un réseau mal planifié se traduit par l'augmentation du nombre d'interférences qui implique une qualité d'appel médiocre, un taux de perte d'appel important et un taux de blocage élevé, ceci nécessite l'introduction de méthodes avancées de gestion de la ressource radio (la mobilité, allocation de fréquences).

Dans le monde des communications radio, l'accès et l'utilisation des fréquences sont limités et réglementés afin d'assurer une bonne cohabitation entre les différents standards et systèmes de communication qui ne cessent de développer de nouvelles techniques d'affectation des fréquences . En effet, l'allocation de ces fréquences suivra des objectifs différents en fonction de la zone à couvrir. En zone urbaine l'objectif est d'assurer une capacité en trafic suffisante (desservir un nombre d'abonnés élevé) hors qu'en zone rurale, l'objectif est d'assurer la couverture la plus complète possible sans nécessité de capacité élevé. D'autre part l'augmentation du nombre d'utilisateurs mobile et les demandes des utilisateurs en termes de qualité de service deviennent de plus en plus exigeantes. Dans

ce cadre notre objectif est de développer un protocole efficace qui doit pouvoir empêcher la coupure d'un appel et permettre l'exécution des applications d'une manière transparente au mouvement de l'utilisateur et minimisé la consommation de ressources radio inutiles.

1.1. Objectifs assignés

L'étude aura essentiellement pour objectifs ce qui suit :

- La représentation théorique de ce problème sous forme d'un modèle mathématique avec ces différentes contraintes et objectifs.
- Résoudre le problème qui consiste à répondre à la question principale posée dans la section qui précède. Entre autre, trouver l'affectation optimale des bandes.
- La validation du modèle à travers une application fiable et rapide d'exécution.

2. Les différents problèmes d'affectation de fréquences (FAP)

Depuis le début des recherches sur le problème d'affectation de fréquences, différentes approches ont été étudiées. Ce problème peut être abordé avec différents objectifs.

Feasibility FAP (F-FAP) : recherche d'une solution vérifiant les contraintes de séparation et la demande de fréquences nécessaires pour chaque cellule.

Maximum Service FAP (Max-FAP) : l'objectif est de répondre au plus près à la demande en fréquences de chaque cellule. Les contraintes doivent être respectées, le nombre de fréquences assignées pour chaque cellule varie.

Minimum Blocking FAP (MB-FAP) : l'objectif est d'assurer un service minimum, sans blocage. Le taux de blocage de chaque cellule est calculé grâce à la formule d'Erlang.

Minimum Order FAP (MO-FAP) : le but est de minimiser le nombre de fréquences utilisées. Cette approche du problème FAP est principalement due au coût de chaque fréquence. En effet, au début de l'utilisation des réseaux mobiles, les fréquences étaient vendues à l'unité et elles coûtent très chères.

Minimum Span FAP (MS-FAP) : le but de cette approche est de minimiser la largeur de la bande passante utilisée (différence entre la fréquence Max et la fréquence Min utilisées). En effet, le fait de minimiser le nombre de fréquences utilisées et de minimiser

la largeur de la bande passante n'est pas le même problème. Minimiser la largeur de la bande passante revient à minimiser le spectre des fréquences.

Minimum Interference FAP (MI-FAP) : cette approche a pour but de minimiser les interférences sur le réseau. A l'heure actuelle, cette approche est la plus utilisée.[10]

3. Etude de l'existant

La gestion efficace, du spectre de fréquences disponibles, est d'une importance capitale pour les opérateurs des systèmes de téléphonie cellulaire.

Le service d'optimisation de Djezzy se compose de plusieurs ingénieurs activants dans le domaine 'contrôle qualité' de service. Chaque ingénieurs est chargé d'affecter manuellement des fréquences à des BTS dans une région précise, en tenant compte de la distance de rayonnement des antennes qui leur donne une gestion de fréquences très approximative.

3.1. Représentation des antennes et bases station

Base station (BTS)

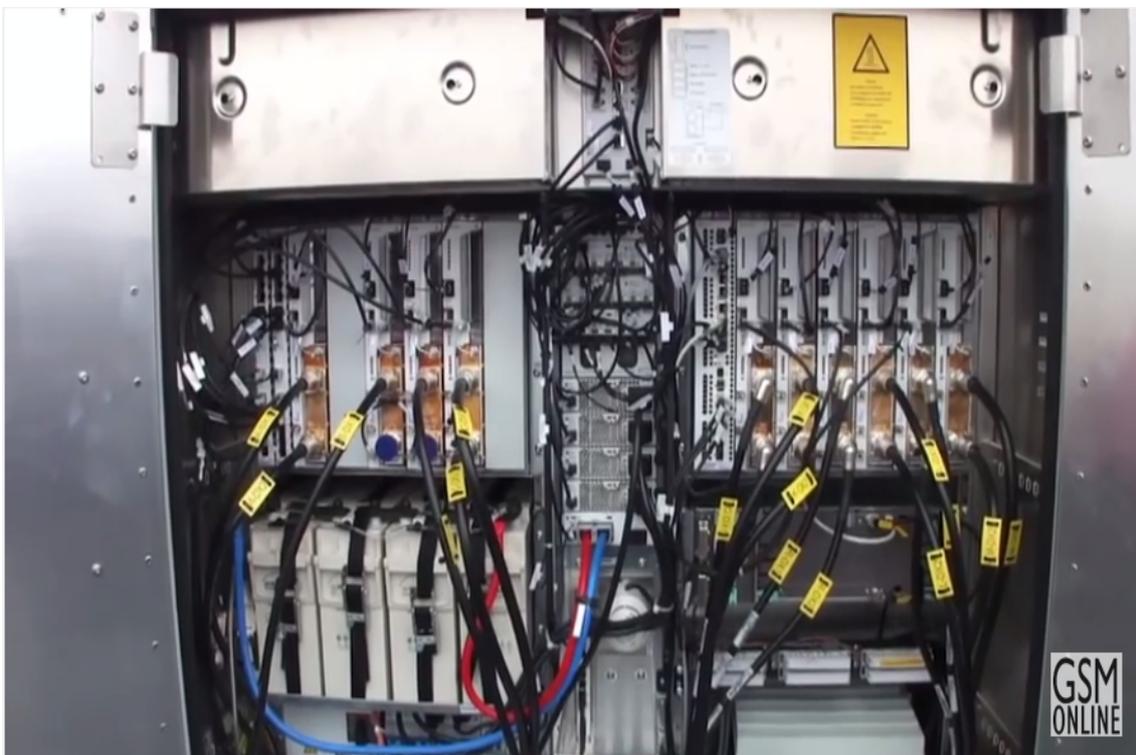


FIGURE 3.1 : Station de transmission de base

Antennes relais



FIGURE 3.2 : Antennes relais

3.2. Représentation de la zone d'étude

la figure suivante représente notre zone de travail.

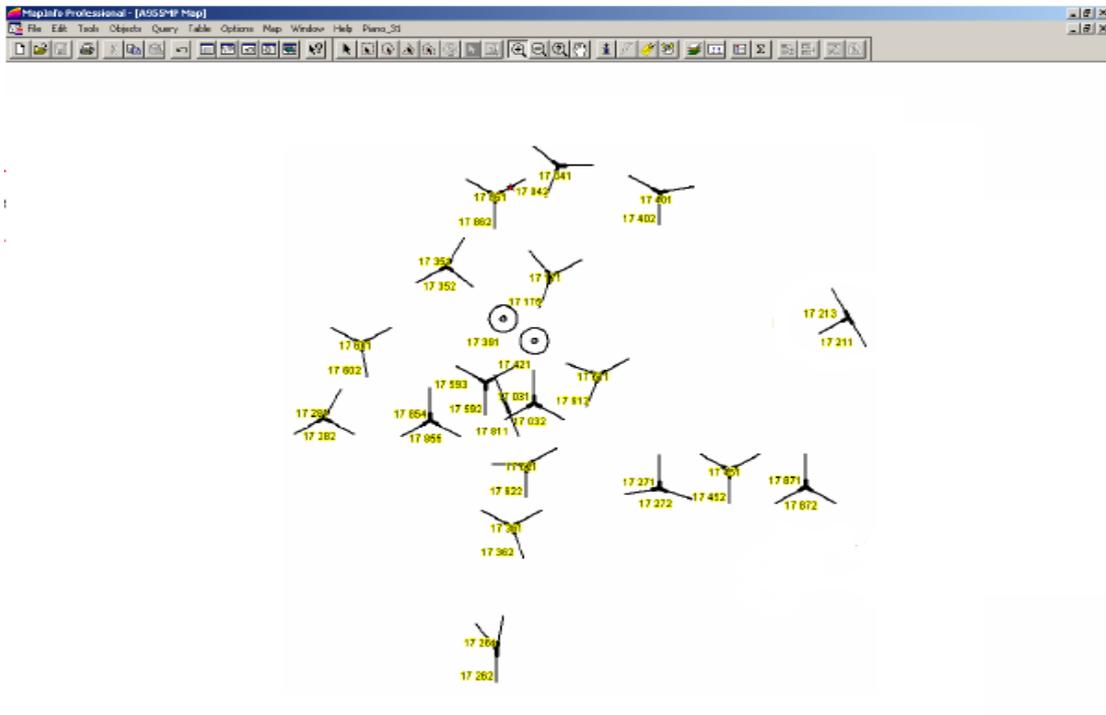


FIGURE 3.3 : la Zone d'étude

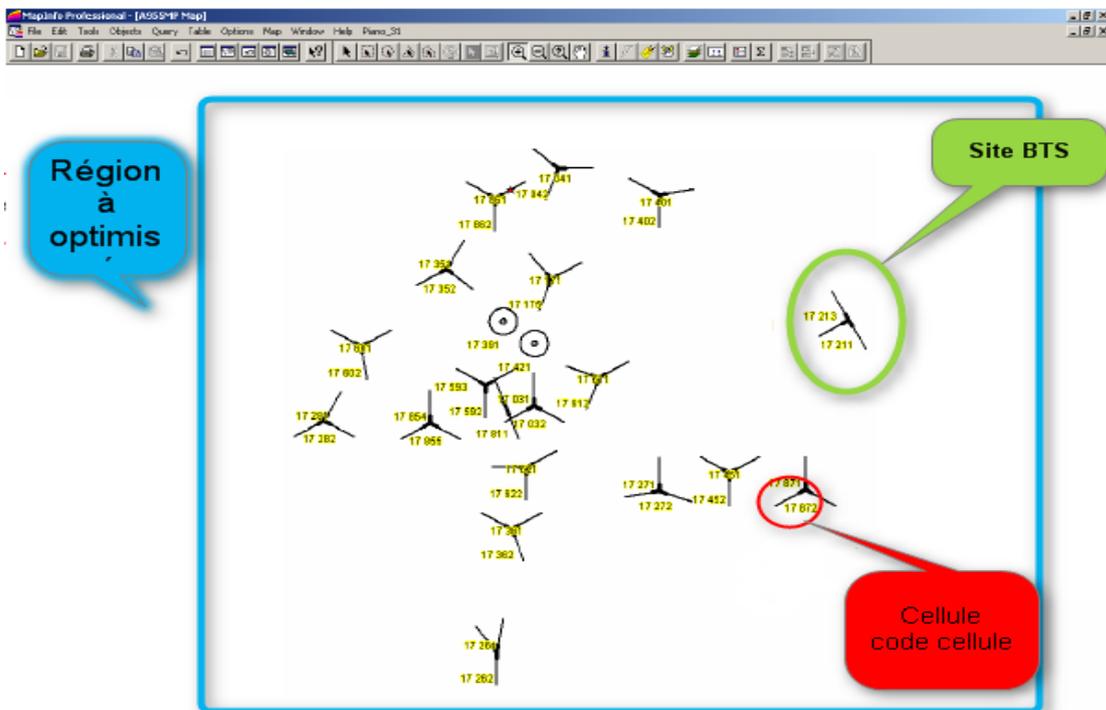


FIGURE 3.4 : Identification des BTS, cellule

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la méthode de résolution qu'utilise l'entreprise pour l'affectation de fréquences. En suit, nous avons posés la problématique avec ces principaux objectifs assignés à notre étude. Le chapitre suivant comportera la modélisation de notre problématique.

Chapitre 4

Modélisation et identification du problème

1. Modélisation du problème

La méthode de modélisation permet de ne plus percevoir les mathématiques comme un simple outil de calcul, mais comme le langage permettant de traduire des phénomènes du monde qui nous entoure pour permettre de donner des réponses intéressantes aux diverses questions posées.

L'objectif de la modélisation est de permettre d'acquérir une démarche pour la résolution du problème. Il s'agit d'observer un phénomène pour en extraire les règles et les structures sous-jacentes et le traduire par un système d'équations et de fonctions.

La modélisation est donc une traduction des paramètres du problème dans un langage accessible par la méthode de résolution utilisée, ou bien c'est une façon de décrire le problème sous une forme qui introduit sa réalisation.

les gestionnaires sont souvent confrontés à de multiples problèmes et leur résolution s'avère souvent une tâche difficile. Ces problèmes se présentent sous forme de données. Pour arriver à résoudre un problème donné, nous devons commencer par interpréter tous ses paramètres et les transformer sous des formes qu'on peut gérer. La première étape dans la résolution d'un problème consiste en sa projection dans un espace permettant ainsi diverses manipulations sur le problème projeté.

2. Principe de la modélisation

Un problème d'optimisation se présente mathématiquement sous la forme fonctionnelle d'un objectif à plusieurs variables en le maximisant ou minimisant tout en respectant certaines contraintes et variables qui le régissent.

L'état du système à optimiser est connu lorsque l'on connaît la variation des variables d'état. Les variables que l'on doit ajuster pour optimiser le système sont appelées variables de décision.

La fonction à optimiser s'appelle indifféremment critère de performance du système ou fonction objectif (but de l'entreprise).

La politique optimale est celle qui consiste à régler les variables de décision pour obtenir l'optimum recherché.

La modélisation d'un problème peut se deviser en plusieurs étapes :

1. Identification des paramètres et des variables de décisions de la problématique.
2. Formulation des contraintes et restriction aux variables de décision.
3. Formulation de la fonction Objectif.

3. Modélisation mathématique du problème

3.1. Introduction

Le spécialiste en recherche opérationnelle construit un modèle mathématique du problème qu'on lui propose de résoudre qui est dans notre cas l'optimisation du spectral radio.

Optimum Telecom Algérie possède environ 40 fréquences, comme tout réseau de télécommunication les fréquences sont prédisposées aux mauvais paramétrages causant des désagréments aux utilisateurs des services de téléphonie mobile.

Vigilante sur la qualité de réception et sur le rendement de son réseau, Optimum Telecom Algérie vise toujours à améliorer le rendement de son réseau GSM et l'une des issues permettant de trouver des réponses à beaucoup de questions posées au sein du service OPTIMISATION permettant de dénouer un ou plusieurs problèmes est le bon paramétrage des cellules afin de maintenir une excellente qualité et niveau de signal tout en gardant une distribution optimale du trafic sur tout le réseau.

Nous avons construit une stratégie de modélisation qui se base sur deux modèles ; un premier modèle qui va déterminer les valeurs optimales assignées à chaque BTS qui garantissent une qualité du signal acceptable et une diminution du taux de blocage et coupure des services dans les cellules, le second modèle présente à l'aide de la programmation non linéaire à l'ingénieur le comportement du trafic dû au planning des fréquences optimal.

3.2. Description

Pour réaliser la couverture omniprésente et la continuité des services, la couverture des zones au niveau des cellules dans un réseau cellulaire tendent à être fortement recouvertes. Sous des conditions normales, les mobiles sont servis par des cellules fournissant un signal de plus en plus fort. Les interférences sont lancées quand le signal reçu des cellules

voisines devient plus fort que celui reçu de la cellule servante, après quelques tentatives menant à éviter les interférences. Dans le cas où plusieurs cellules voisines sont plus fortes que la cellule servante, la coupure des services est immédiatement déclenchée au niveau de la cellule servante.

Dans ce présent projet, nous présentons une approche pour déterminer les configurations optimales d'un planning des fréquences afin de minimiser les interférences, de réduire la taille de la bande de fréquence utilise, réutiliser la bande de fréquence au maximum possible et maximiser la capacité globale du réseau.

3.3. Modélisation du problème

1. Définition des ensembles :

- X : ensemble des antennes.
- E : ensemble de risque d'interférence.
- F : ensemble des fréquences disponible en le réseau GSM (codes disponible dans le réseau UMTS).

2. Définition des données :

- N : nombre de stations.
- n : nombre d'antennes.
- NF : nombre de fréquences disponibles i.e. : la taille de la bande de fréquences en 2G.
- $R[i]$: pour chaque station i , nous connaissons le nombre de fréquence requis tel qu'il est compris entre : $1 \leq R[i] \leq 4$

3. Premier modèle : Modélisation par la théorie des graphes

(a) La variable de décision

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{si la fréquence } k \text{ est affecté à l'antenne } i \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases} \quad \forall i \in X, \forall k \in F$$

tel que :

- i : représente une antenne.
- k : représente une fréquence affecté à un antenne i .

(b) Les contraintes

i. Contrainte sur les interférences

C'est une contrainte qui représente les risques d'interférences, qui permet d'obtenir la matrice d'adjacence A_{ij} tel que chaque deux antennes voisines sont reliées par une arête.

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si } \exists e_{ij} \in E \quad \forall i, j \in X \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

(c) But de l'entreprise

Le but est de minimiser le nombre de fréquence allouer au antennes et définir un planning d'allocation optimale. Il se traduit par l'équation suivante :

$$Z(\min) = \sum_{i=1}^F k_i$$

4. Deuxième modèle**(a) Les variables de décision**

Nous définissons deux variables qui nous permettrons d'assurer l'allocation d'une seule fréquence a chaque antenne.

$$Y_k = \begin{cases} 1, & \text{Si } \sum_{i=1}^n X_{ik} > 0, \quad \forall k \in F. \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{Si la fréquence } k \text{ est allouée à l'antenne } i. \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

(b) Les contraintes**i. Contrainte l'allocation de fréquences aux antennes**

Cette contrainte vérifie si chaque antenne de notre cite est munie par une et une seule fréquence. Cette contrainte se traduit par :

$$\sum_{k=1}^F x_{ik} = 1, \quad \forall i \in X.$$

tel que :

- F : le nombre de fréquence disponible.

ii. Contrainte d'affectation des fréquences

$$a_{ij} + x_{ik} + x_{jk} \leq 2, \quad \forall i, j \in X, \forall k \in F \text{ et } \forall i \neq j.$$

Cette contrainte exprime que chaque deux antennes voisines ne peuvent avoir la même fréquence. En plus, si elles ne sont pas adjacentes,

ça ne veut pas dire qu'elles portent la même fréquence.

iii. **Contrainte de la borne inf et sup de Y_k**

Pour les besoin d'implémentation de la variable Y_k , on exprime cette dernière par une équation linéaire qui nous définit la borne supérieur et inférieur de Y_k . Elle se traduit par l'inéquation suivante :

$$y_k \leq \sum_{i=1}^n x_{ik} \leq n * y_k, \quad k = 1, \dots, F.$$

(c) **But de l'entreprise**

Le but de trouver un planning optimal d'affectation des fréquences a des BTS tout en respectent la condition des interférences. Il se traduit par l'équation suivante :

$$Z(\text{Min}) = \sum_{k=1}^n y_k$$

Le problème est donc équivalent au programme suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(\text{Min}) = \sum_{k=1}^n y_k \\ a_{ij} + x_{ik} + x_{jk} \leq 2, \quad \forall i, j \in X, \forall k \in F \text{ et } \forall i \neq j. \\ \sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \quad \forall i. \\ y_k \leq \sum_{i=1}^n x_{ik} \leq n * y_k, \quad k = 1, \dots, F. \\ 0 \leq x_{ik}, y_k \leq 1, \quad \forall i, k. \end{array} \right.$$

4. Identification du problème

Un réseau radio mobile passe plusieurs phases lors de son design telles que le placement des antennes et l'affectation de fréquences. Cette dernière est une étape cruciale dans le design d'un réseau de télécommunication. C'est un problème d'optimisation combinatoire bien connu qui revient à trouver un plan de fréquences optimal de façon à satisfaire la demande en trafic et à assurer la qualité de service tout en minimisant les interferences.

[7]

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.

[12]

Notre problème porte sur l'allocation de fréquences dans les réseaux de télécommunications par voie hertzienne. Un réseau est composé d'un ensemble de sites, et chaque site comporte plusieurs BSC, dont chaque une gère des BTS.

Le problème d'affectation de fréquences dans les réseaux radio-mobiles est un exemple réel de problème de coloration. En effet, il suffit de remarquer que :

- les sommets du graphe représentent les antennes.
- l'ensemble des couleurs correspond à celui des bandes de fréquence.

L'objectif de base consiste à affecter des valeurs de fréquences aux stations d'un réseau radio-mobile tout en respectant un ensemble de contraintes pour minimiser les interférences et éventuellement le nombre de fréquences utilisées. Les contraintes imposent que les fréquences affectées à deux stations adjacentes soient éloignées d'une distance prédéterminée.

Colorier un graphe consiste à assigner une couleur à chacun de ses sommets sans réutiliser la même couleur pour deux sommets adjacents. Le problème de k -coloration consiste à colorier un graphe avec au plus k couleurs et le problème de coloration avec un nombre minimum de couleurs. Des techniques classiques ont été utilisées pour la coloration : les méthodes de recherche exhaustive et les heuristiques gloutonnes.

Étant donné la relation forte entre l'affectation de fréquences et la coloration, il n'est pas étonnant de voir qu'il existe d'abondantes méthodes venant du domaine du coloriage dans la littérature. IL est modéliser par un graphe dont les sommets sont associés a des BTS, et les aretes sont associées aux couples de station de bases étant adjacentes.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons identifié notre problème. Puis, nous avons proposé deux modèles mathématiques à lui appliquer. Dont le premier se resoud par la théorie des graphes et le second par la programmation linéaire. Le chapitre suivant, nous traitera les méthodes de résolution de notre problématique.

Chapitre 5

Méthodes de résolution

Les méthodes de résolution peuvent être classées en deux catégories, les méthodes exactes qui garantissent la complétude de la résolution et l'optimalité de la solution, les méthodes approchées, fondées principalement sur diverses heuristiques, souvent spécifiques à un type de problème, dont le but est de trouver une solution de bonne qualité en un temps de calcul raisonnable sans garantir pour autant l'optimalité de la solution obtenue.

Le problème de coloration de graphe est l'un des problèmes les plus étudiés en optimisation combinatoire en raison de ses multiples applications (la planification des horaires, l'allocation des ressources, etc.) et de la complexité de sa résolution. De nombreuses méthodes de résolutions ont été proposées pour résoudre le problème de coloration. Elles peuvent être réparties en trois catégories : les méthodes exactes dont le temps de calcul croît exponentiellement avec le nombre de sommets du graphe, les méthodes constructives qui donnent rapidement une approximation de la solution optimale du problème, et les métaheuristiques qui fournissent de meilleurs résultats mais au prix d'algorithmes plus complexes en temps de calcul.



FIGURE 5.1 : Classification des méthodes de résolutions

1. Généralité sur la théorie des graphes

les graphes sont devenus incontournables en mathématiques discrètes et proposent des méthodes simples et puissamment efficaces pour la résolution des problèmes concrets de la vie quotidienne dans des domaines multiples. qu'il s'agisse de déterminer le nombre minimal de caméras de surveillance nécessaires pour la sécurité d'un immeuble, former des équipes de travail en se fondant sur les affinités des participants, trouver le plus court chemin pour le routage dans un réseau de communication, déterminer l'ordre dans lequel un candidat à la présidentielle américaine doit visiter les cinquante états afin de minimiser le trajet, augmenter la recette globale d'une compagnie aérienne en assignant à chaque vol l'avion le plus adapté, etc.

1.1. Définition

Graphe

Un graphe est une collection d'éléments mis en relation entre eux. Géométriquement, on représente ces éléments par des points (les sommets) reliés entre eux par des arcs de courbe (les arêtes).

Exemple :

Un exemple de graphe à 5 sommets, comportant 10 arêtes.

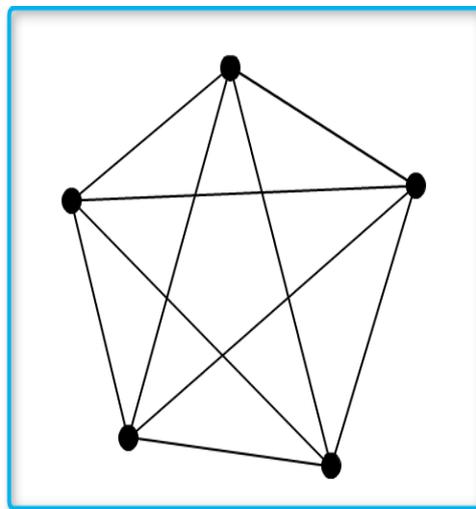


FIGURE 5.2 : Illustration d'un graphe

Le voisinage

Soit $v \in V$ un sommet de G . Le voisinage généralisé de taille q d'un sommet v est l'ensemble de tout les sommets à distances au plus q de v :

$$N_q(v) = \{w \in V \mid d(v, w) \leq q\}$$

Une clique

Une clique d'un graphe non orienté est un sous-ensemble des sommets de ce graphe dont le sous-graphe induit est complet, c'est-à-dire que deux sommets quelconques de la clique sont toujours adjacents.

Le graphe suivant possède une clique d'ordre 5 :

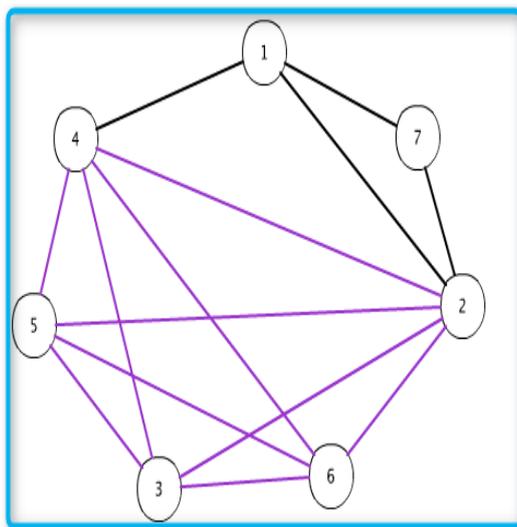


FIGURE 5.3 : une clique

Un Stable

Un Stable est un ensemble de sommets deux à deux non adjacents. La taille d'un stable est égale au nombre de sommets qu'il contient.

L'ensemble des sommets en bleu représenté dans le graphe suivant est un stable maximal

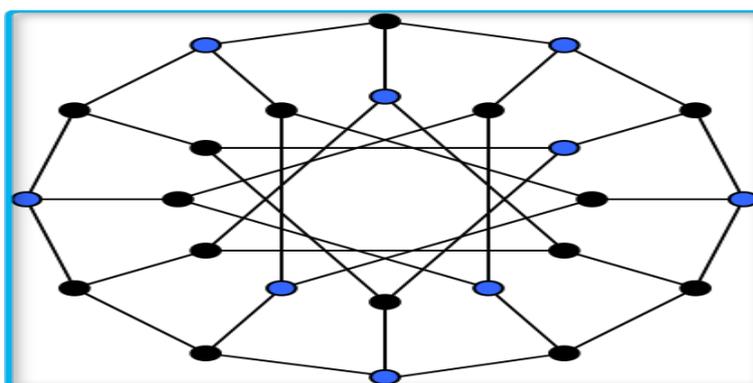


FIGURE 5.4 : Stable maximum

K-coloration d'un graphe

Une K-coloration d'un graphe est une partition de l'ensemble (S_1, S_2, \dots, S_K) de l'ensemble de sommet V en K ensembles de stable S_i (ensembles de sommets deux à deux non adjacents). [6]

La figure suivante illustre la coloration complète d'un graphe avec 8 couleurs.

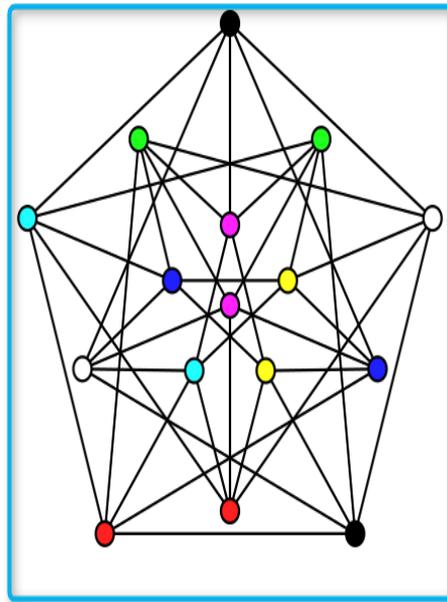


FIGURE 5.5 : Coloration d'un graphe

Matrices d'adjacence

On peut représenter un graphe simple par une matrice d'adjacences. Une matrice $(n \times m)$ est un tableau de n lignes et m colonnes. (i, j) désigne l'intersection de la ligne i et de la colonne j . Dans une matrice d'adjacences, les lignes et les colonnes représentent les sommets du graphe. Un 1 à la position (i, j) signifie que le sommet i est adjacent au sommet j . [8]

Voici un graphe, et la matrice d'adjacence correspondante : On peut remarque que cette matrice est symétrique.

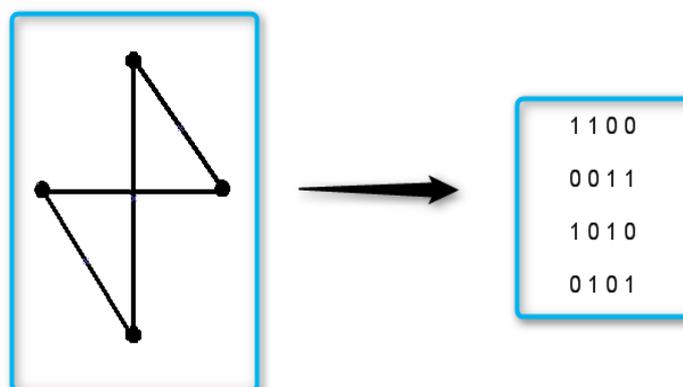


FIGURE 5.6 : Matrice d'adjacence

Le nombre chromatique

Le nombre chromatique d'un graphe $G=(V,E)$, noté $\chi(G)$, est le nombre minimum de couleurs nécessaires à sa coloration, c'est-à-dire le plus petit nombre de couleurs permettant de colorier tous les sommets du graphe sans que deux sommets adjacents soient de la même couleur.

Les graphes suivants sont colorés avec un minimum de couleurs :

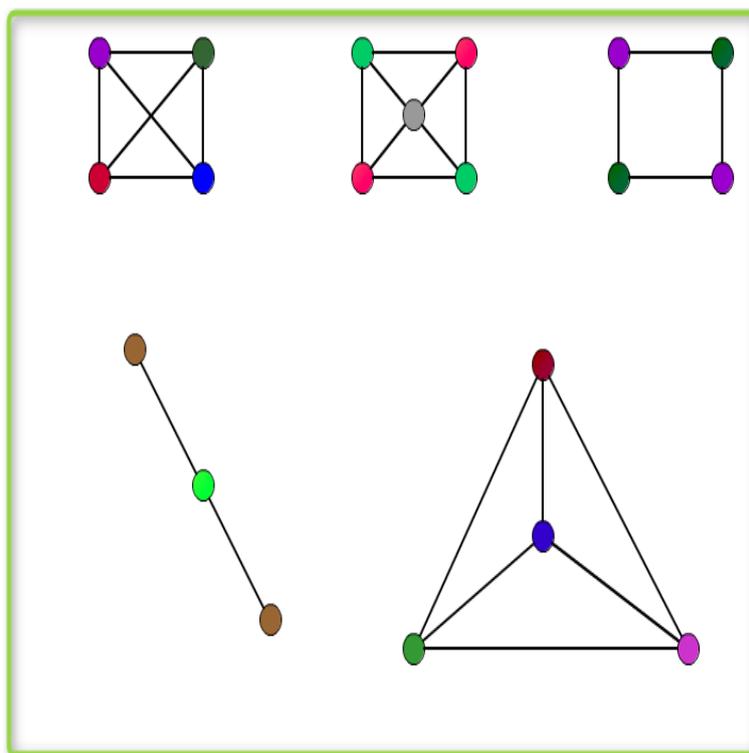


FIGURE 5.7 : Nombre chromatique

2. Problèmes de coloration

La coloration de graphe est probablement l'un des problèmes d'optimisation combinatoire les plus étudiés en informatique et en mathématiques. Il peut être formulé d'une façon très simple : colorier les sommets d'un graphe avec le nombre minimum de couleurs (le nombre chromatique) tel qu'il n'existe pas deux sommets adjacents de la même couleur.

1. Les types de problèmes de colorations

Le problème d'affectation de fréquences est un problème de la classe du coloriage de graphes. Toutefois, il existe trois types de problème de coloriage.

(a) Problème de Coloriage de Graphe (Graph Coloring Problem)

Sur un graphe G défini par :

$G = (V, E)$, avec V l'ensemble des sommets et E l'ensemble des arêtes.

le problème de coloriage de graphe consiste à affecter une couleur à chaque sommet. Pour cela, une seule contrainte doit être respectée : deux nœuds adjacents, ie reliés par une arête, doivent avoir des couleurs différentes. Le nombre minimum de couleurs nécessaires pour colorier ce graphe en respectant cette contrainte est appelé le nombre chromatique.

(b) **Problème du T-Coloriage de Graphe (T-coloring Problem)**

Pour ce problème, les couleurs affectées à des nœuds adjacents doivent vérifier la relation suivante :

$$\forall e_{i,j} \in E, i, j \in V, | \text{couleur}(i) - \text{couleur}(j) | \geq t_{i,j}.$$

Le problème de coloration de graphe est un cas particulier de ce problème. En effet, si $\forall e_{i,j} \in E, t_{i,j} = 1$ alors ce problème est un problème de coloration de graphes.

(c) **Problème du Set T-Coloriage de graphe (set T-coloring Problem)**

Le problème d'affectation de fréquences est un de ces problèmes. À chaque nœud, plusieurs couleurs peuvent être affectées. De plus, une distance minimale doit être respectée entre les couleurs affectées à des nœuds adjacents. Le problème du T-coloriage est un cas particulier de ce problème. Il suffit de transformer chaque nœud en un ensemble de nœuds tel que chacun des nœuds se verra affecter une seule et unique couleur. [10]

2. Domaines d'applications

La coloration de graphe est très utilisée pour la résolution de problèmes complexes d'optimisation combinatoire. En effet, chaque fois que l'on désire minimiser le nombre de ressources pour effectuer une série de tâches avec la contrainte que certaines tâches ne doivent pas partager la même ressource, il suffit de résoudre le problème de coloration pour le graphe dont les sommets représentent les tâches, où deux sommets sont adjacents si les tâches correspondantes violent la contrainte. [17]

L'allocation des bandes de fréquences dans un réseau cellulaire où des cellules voisines ne doivent pas avoir la même bande de fréquences afin d'éviter les interférences, la planification des examens dans une université de sorte qu'un étudiant n'ait pas deux examens au même moment, l'organisation d'un tournoi sur la plus courte durée possible en gardant à l'esprit que certaines rencontres ne sauraient avoir lieu simultanément, la gestion des ressources dans un univers de Cloud Computing, sont quelques exemples dans la longue liste des applications pratiques du problème de coloration de graphe.

3. Complexité du problème

Le problème de la détermination du nombre chromatique $X(G)$ est difficile. Plus précisément, déterminer si un graphe donné admet une k -coloration pour un $k > 2$ fixé est NP-complet.

Notre graphe doit être colorié avec au moins 3 couleurs (la taille de la clique max est égale à $w(G) = 3$), donc il est NP-dure. [14]

Afin de déterminer le nombre chromatique d'un graphe $X(G)$, un algorithme exact peut être appliqué si la taille du graphe n'est pas trop grande. Sinon, on se contente d'estimer le nombre chromatique $X(G)$, en utilisant par exemple un algorithme heuristique tel que "Walsh and Powell" qui ne donnera qu'une borne supérieure mais qui est bien plus rapide qu'un algorithme exact.

3. La coloration par la programmation linéaire

La coloration de graphe est un problème omniprésent dans l'industrie de nos jours. Ce problème est très difficile et fait l'objet de nombreux travaux de recherche. Toutefois, l'objectif est de déterminer une coloration optimale d'un graphe en employant les outils et les ressources disponibles. Dans ce contexte, on peut être amené à se poser la question suivante :

Quelle taille de graphe peut-on colorier optimalement avec un ordinateur aujourd'hui? [5]

Déterminer le nombre chromatique d'un graphe quelconque est un problème *NP - Complet*.

3.1. Programmation linéaire

Les problèmes de programmation linéaire (PL) sont des problèmes d'optimisation où la fonction objectif et les contraintes sont toutes linéaires.

Programmation Linéaire

la programmation linéaire est une technique mathématique d'optimisation (maximisation ou minimisation) de fonction objectif linéaire sous des contraintes ayant la forme d'inéquations linéaires.

Les problèmes de la programmation linéaire se posent lorsque l'on cherche à rendre optimale (minimum ou maximum) une fonction linéaire de plusieurs variables, ces variables étant assujetties à des contraintes linéaires, c'est à dire, du premier degré. Soulignons à

ce propos, qu'une contrainte est linéaire, lorsqu'elle s'exprime par une égalité ou inégalité dont le premier membre est une combinaison linéaire et le second, un nombre réel
 Tout problème linéaire est donc formé de trois grandes parties notamment :

1. d'inconnues, appelées, variables non-négatives ou variable d'activité.
2. d'équations ou d'inéquations au nombre de m .
3. d'une fonction économique ou fonction - critère à maximiser ou à minimiser.

D'une façon générale, la programmation linéaire a pour but la recherche de l'optimum d'une fonction linéaire (fonction économique) comportant plusieurs inconnues positives ou nulles liées entre elles par des relations linéaires indépendantes et formant un système d'équations et d'inéquations appelées contraintes.

3.2. Programmation linéaire et modélisation

L'optimisation linéaire en nombres entiers (OLNE) est un domaine des mathématiques et de l'informatique théorique dans lequel on considère des problèmes d'optimisation d'une forme particulière. Ces problèmes sont décrits par une fonction de coût et des contraintes linéaires et des variables entières.

L'utilité pratique de la programmation linéaire est qu'elle permet la construction des modèles. Mais il est impossible de se servir d'un instrument destiné à construire des modèles sans réfléchir un peu à la logique même de la modélisation. C'est pourquoi il est nécessaire de dire quelques mots sur ce sujet, bien que la notion de modèle soit infiniment plus générale et plus complexe que celle de programme linéaire.

L'optimisation linéaire, est la discipline qui étudie ces problèmes. Elle est également désignée par le nom de programmation linéaire.

Programmation linéaire en nombre entier

Un problème d'OPNE peut être mis sous deux formes classiques : la forme canonique ou la forme standard.

la forme canonique pour une maximisation est :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{maximiser} & C^T X, \\ \text{tel que} & AX \leq b, \\ & X \geq 0, \\ \text{et} & X \in Z, \end{array} \right.$$

et la forme standard est :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{maximiser} & C^T X, \\ \text{tel que} & AX + t = b, \\ & t \geq 0, \\ \text{et} & X \in Z, \end{array} \right. .$$

ou c et b sont des vecteurs et A est une matrice ayant des valeurs entières.

4. Méthodologie

L'étude commence bien évidemment par étudier si le problème en question n'a pas une réponse polynômial simple, efficace et exacte. Dans de nombreux cas, la détermination d'une solution exacte prend trop de temps de calcul pour qu'il soit raisonnable de chercher une telle solution, la réalité pratique du problème (trop de données, taille énorme des instances,...) peut demander de trouver rapidement un algorithme efficace pour déterminer simplement une bonne solution et non la meilleure. d'où la nécessité de développer des heuristiques pour remédier aux problèmes de coût.

5. Résolution du problème

1. Outils de résolution

(a) les sous-graphe de chaque BTS

En pratique, Les sous-traitants installent les antennes dans les azimuts et inclinaisons définis. Le service de l'opérateur Djezzy chargé de la planification des fréquences et du trafic désigne le nombre de fréquences nécessaires à attribuer aux bases station, ainsi que les cellules qui sont voisines entre elles.

Djezzy utilise des BTS qui peuvent gérer au maximum quatre antennes, les plus utilisées sont celles de deux et trois antennes. IL y a aussi les BTS a une seule antenne rarement employé.

Donc, il est claire qu'une BTS ne peut pas contenir les même fréquences. On peut représenter chaque base station par un graphe. Son degré varie de 1 à 4.

La représentation graphique de ces bases sera alors des graphes complets tel que leurs degrés égale aux nombre d'antennes.

- Base station à une antennes

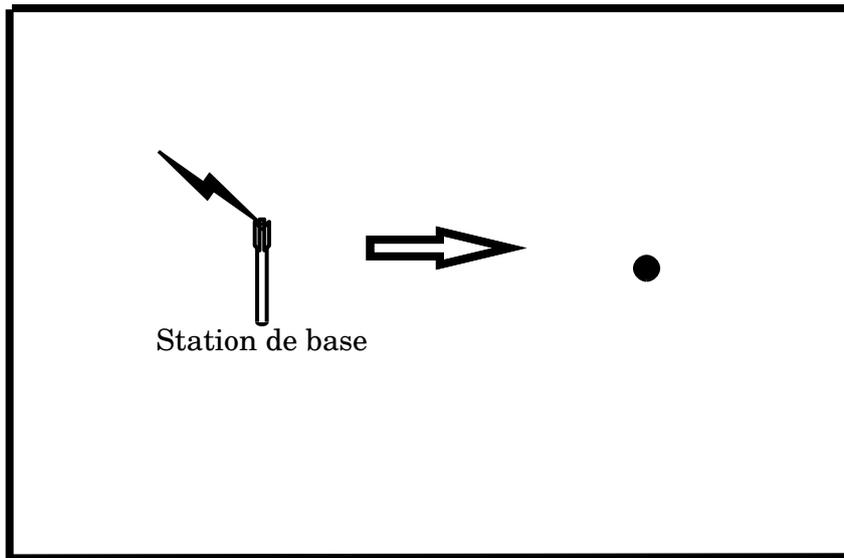


FIGURE 5.8 : BTS à une antenne et son graphe correspondant

- Base station à deux antennes

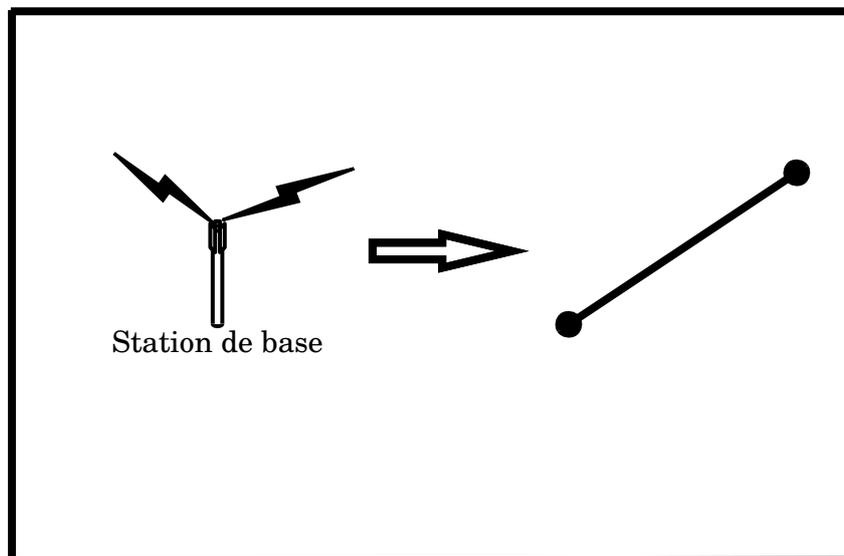


FIGURE 5.9 : BTS à deux antennes et son graphe correspondant

- Base station à trois antennes

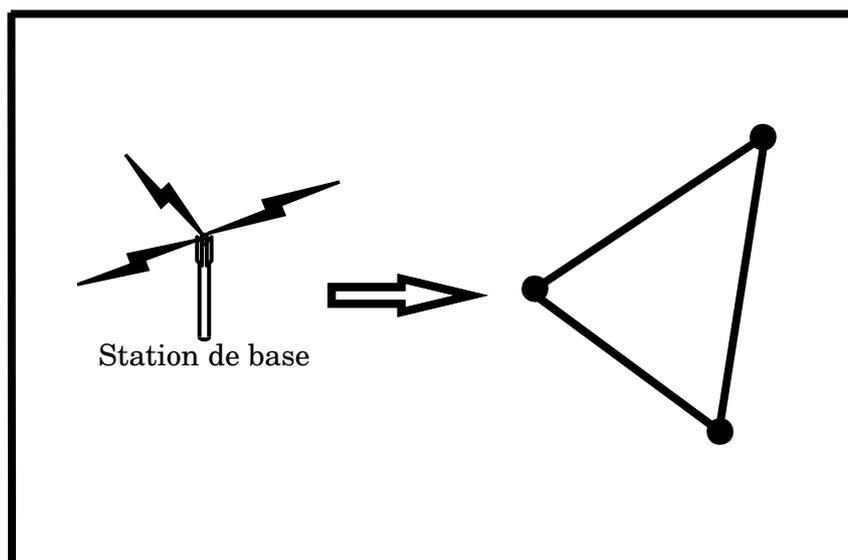


FIGURE 5.10 : BTS à trois antennes et son graphe correspondant

- Base station à quatre antennes

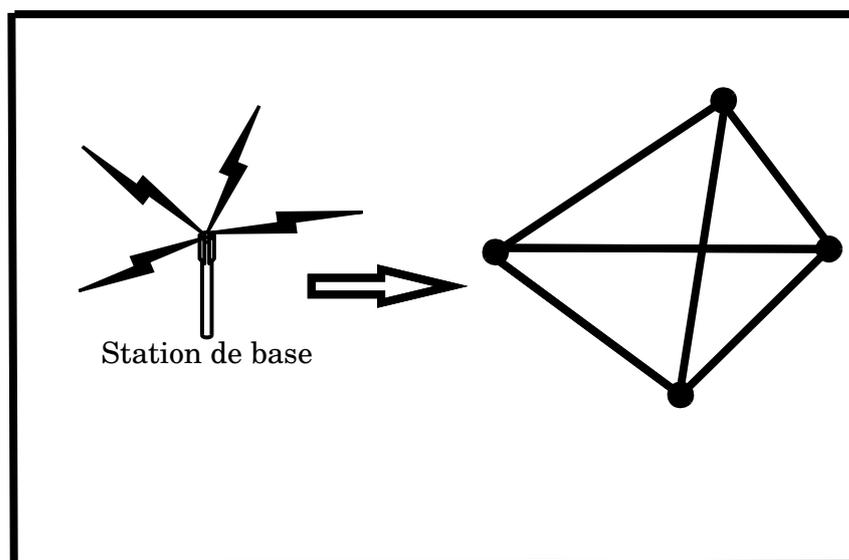


FIGURE 5.11 : BTS à quatre antennes et son graphe correspondant

(b) Graphe d'adjacence des BTS

Dans cette partie, le but recherché est de définir la relation de rapprochement entre les BTS, pour éviter l'octroi d'une même fréquence à deux bases adjacentes.

Le problème est représenté par un ensemble de stations de bases réparties suivant une certaine position géographique. Chaque BTS contient entre une et

quatre antennes.

A partir de cette représentation géographique, le problème peut être converti en graphe pour aboutir à une bonne affectation de fréquence sans qu'il y est d'interférences entre elles.

Soit le graphe d'adjacence $G=(X,E)$ tel que X est l'ensemble des sommets qui représente l'ensemble des BTS, et E celui des arêtes qui définit l'adjacence entre elles, c'est à dire si deux BTS sont proches on doit les relier par une arête.

(c) **L'explosion de graphe**

En vue de la limitation du nombre de fréquences et la forte croissance des utilisateurs mobiles, le problème qui se pose est la réutilisation maximum de ces fréquences. Pour cela, nous avons proposé un outil de résolution qui se base sur l'explosion de graphe d'adjacence des BTS. Dans le prochain paragraphe, nous allons vous présenter les étapes à suivre pour construire un tel graphe.

- Les étapes de construction de graphe totale

Etape1

L'idée est de jumeler les deux premiers graphes (graphe d'adjacence et les sous graphes des BTS) tel que chaque sommet (BTS) sera représenté par le sous graphe correspondant. On obtient ainsi le nouveau graphe d'antennes.

Etape2

L'explosion du graphe consiste à symboliser l'adjacence entre les antennes. Si deux bases station sont proches alors toutes leurs antennes seront reliées entre elles, en d'autres termes si deux sous graphes sont adjacents alors tous les sommets sont reliés l'un à l'autre, ainsi on parcourt tous les sous graphes de la zone.

(d) **Exemple d'application**

Pour illustrer cet outil de résolution, l'exemple suivant représente une petite zone contenant 4 BTS et 13 antennes ainsi que le rapprochement entre elles.

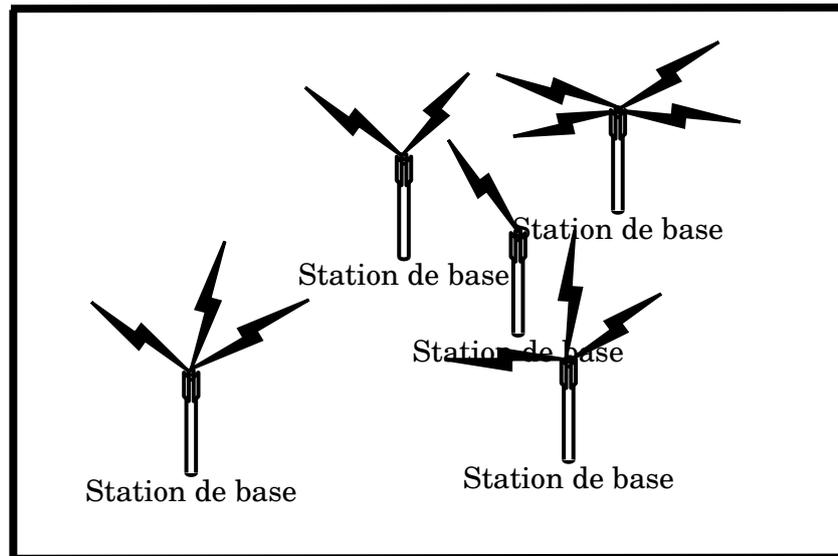


FIGURE 5.12 : Ensemble des BTS

En premier lieu, on converti le site en un graphe d'adjacence, les BTS est l'ensemble de ses sommets.

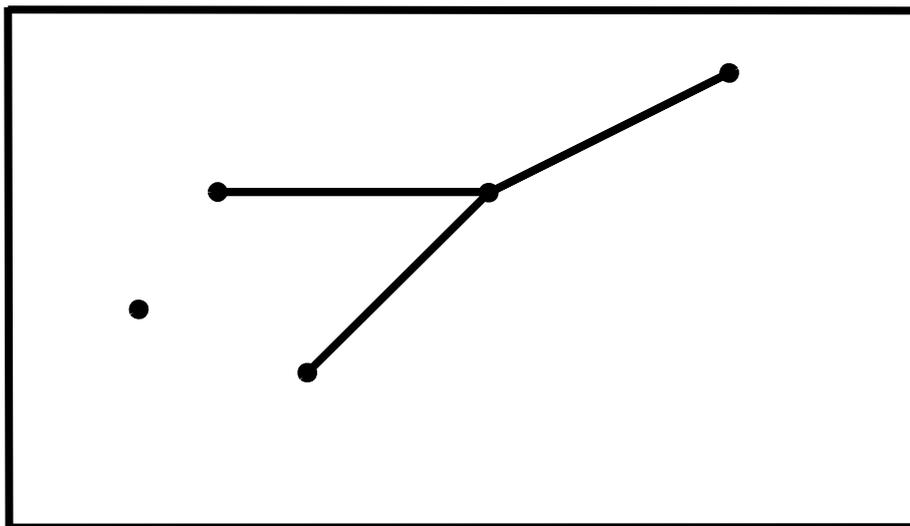


FIGURE 5.13 : Le graphe d'adjacence

Deuxièmement, on remplace chaque sommet par son graphe correspondant c'est à dire celui des BTS en gardant l'adjacence entres elles.

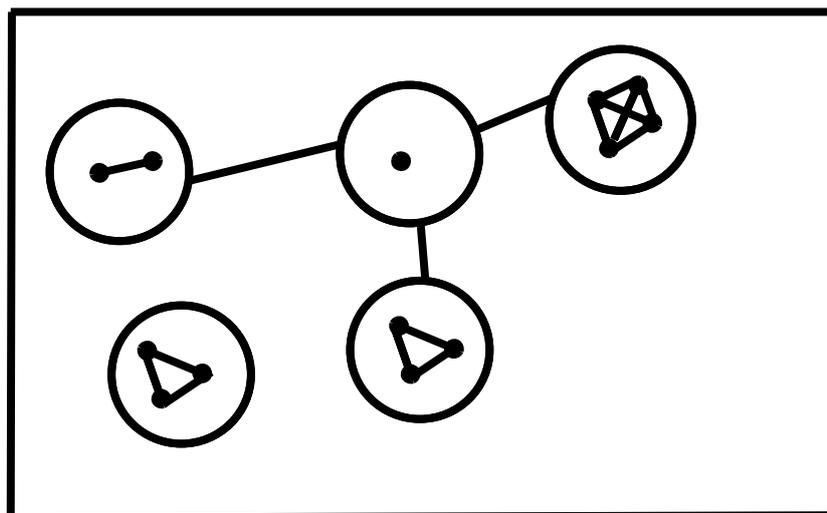


FIGURE 5.14 : La fusion des sous graphes et le graphe d'adjacence

ET en fin, après l'explosion du graphe on obtient le graphe suivant :

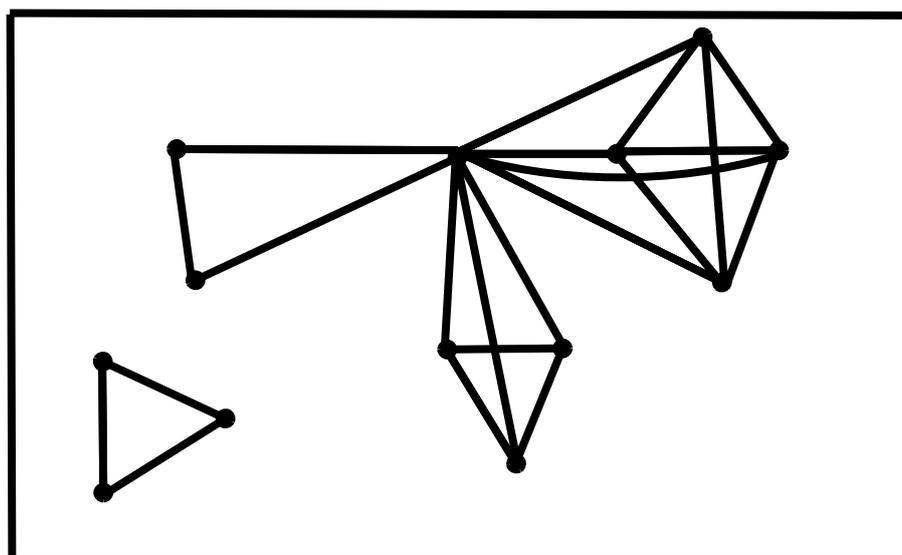


FIGURE 5.15 : Explosion du graphe

Cette dernière figure représente le but de notre travail qui consiste à trouver un tel graphe pour lui appliquer les méthodes de résolution connues du problème de coloration.

2. Méthodes de résolutions

Le problème de coloration de graphe est connu comme étant NP-difficile, c'est-à-dire qu'il n'existe pas à ce jour un algorithme polynomial qui donne la coloration optimale pour tout graphe. Dès lors, la coloration de graphe a fait l'objet de nombreuses études résultant en une multitude de méthodes de résolution que l'on pourrait scinder en deux catégories : les méthodes exactes, les méthodes construc-

tives.

Les méthodes exactes, permettent de trouver la solution optimale d'un problème d'optimisation en explorant exhaustivement l'ensemble des solutions possibles. L'inconvénient majeur de ces méthodes est le temps de calcul nécessaire pour trouver une solution qui risque d'augmenter exponentiellement avec la taille du problème.

Contrairement aux méthodes exactes, les méthodes approchées sont incomplètes, elles permettent de trouver de bonnes solutions mais ne garantissent en aucun cas l'optimalité de celles-ci. Les méthodes approchées sont composées d'heuristiques et de métaheuristiques. Par définition, une heuristique est un moyen de guider les choix que doit faire un algorithme pour réduire sa complexité. Une heuristique est spécifique à un problème et ne peut pas être généralisée. Les métaheuristiques peuvent être vues comme des heuristiques puissantes et évoluées dans la mesure où elles sont généralisables à plusieurs problèmes d'optimisation. Les méthodes approchées constituent une alternative très intéressante pour résoudre les problèmes d'optimisation de grande taille, elles représentent un compromis entre la qualité de la solution obtenue et le temps de calcul nécessaire, ceci en employant des règles intelligentes pour balayer une partie de l'espace de recherche, elles sont inspirées généralement de la nature. [4]

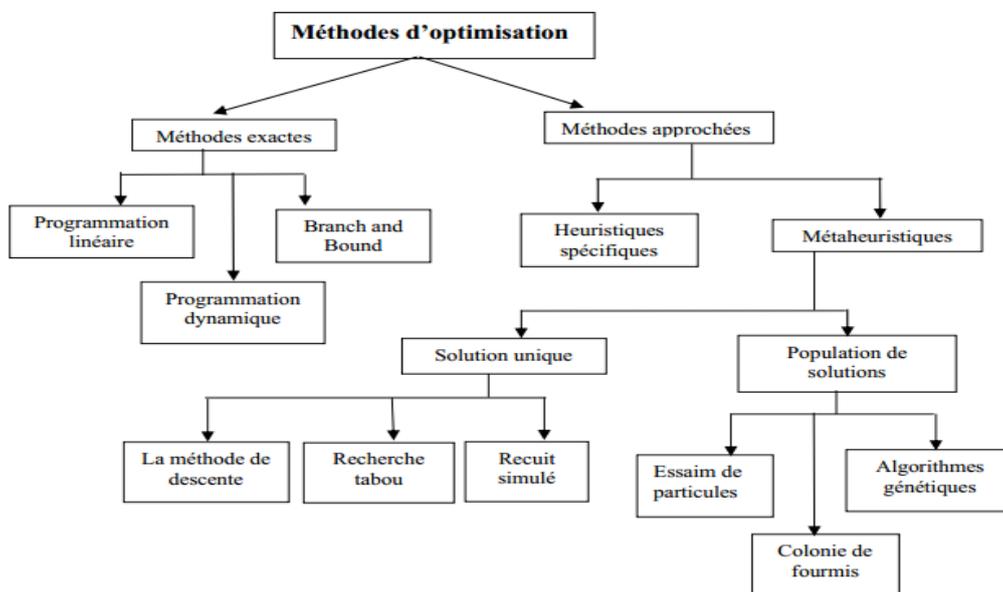


FIGURE 5.16 : Classification des méthodes d'optimisation combinatoire

- Méthodes exactes

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.

5.1. Branch and Bound

La méthode branch and bound est une méthode pour résoudre une classe de problèmes d'optimisation globale. C'est une méthode itérative qui divise un ensemble H donné en plusieurs sous ensembles de plus en plus petits.

A chaque sous ensemble de H , on construit une borne inférieure de la fonction objectif dans le but d'éliminer les parties qui ne contiennent pas l'optimum global et de sélectionner le sous ensemble qu'on doit diviser.

Cette méthode est très utilisée pour la résolution d'un grand nombre de problèmes mathématiques avec leurs différentes structures, en utilisant des outils d'analyse convexe.[3]

Le principe de la méthode branch and bound

La méthode de branch and bound (procédure par évaluation et séparation progressive) consiste à énumérer ces solutions d'une manière intelligente en ce sens que, en utilisant certaines propriétés du problème en question, cette technique arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'on recherche. De ce fait, on arrive souvent à obtenir la solution recherchée en des temps raisonnables. Bien entendu, dans le pire cas, on retombe toujours sur l'élimination explicite de toutes les solutions du problème.

Pour ce faire, cette méthode se dote d'une fonction qui permet de mettre une borne sur certaines solutions pour soit les exclure soit les maintenir comme des solutions potentielles. La performance d'une méthode de branch and bound dépend, entre autres, de la qualité de cette fonction (de sa capacité d'exclure des solutions partielles têt).[13]

Algorithm 1 Algorithme général.

```
1 : Début
2 : Placer le nœud début de longueur 0 dans une liste.
3 : répéter
4 : if la première branche contient le nœud recherché then
5 :   Fin avec succès.
6 : else
7 :   – Supprimer la branche de la liste et former des branches nouvelles en étendant la branche supprimée d'une étape.
8 :   – Calculer les coûts cumulés des branches et les ajouter dans la liste de telle sorte que la liste soit triée en ordre croissant.
9 : end if
10 : jusqu'à (liste vide ou nœud recherché trouvé)
11 : Fin
```

Les méthodes exactes rencontrent généralement des difficultés face aux applications de taille importantes en raison du coût en temps combinatoire, d'où la nécessité de développer des heuristiques pour remédier aux problèmes de coût.

– Méthodes approchées

Les méthodes constructives colorent le graphe un sommet à la fois, en choisissant à chaque étape celui qui semble être le meilleur selon un critère bien défini, sans jamais se remettre en cause. Elles sont très rapides et donnent la plupart du temps une bonne approximation de la solution optimale, mais la qualité du résultat dépend fortement des divers paramètres tel l'ordre de parcours du graphe.

(a) Algorithme de walsh-Powell

L'algorithme de Welsh et Powell (l'heuristique gloutonne) qui suit le principe de faire étape par étape un choix optimum local, dans l'espoir d'obtenir un résultat optimum global. Cet algorithme couramment utilisé permet d'obtenir une assez bonne coloration d'un graphe, c'est-à-dire une coloration n'utilisant pas un trop grand nombre de couleurs, mais il n'assure pas que le nombre de couleurs utilisé soit minimum.

Algorithm 2 Algorithme de walsh et Powell

- **Étape 1** : Classer les sommets du graphe dans l'ordre décroissant de leur degré, et attribuer à chacun des sommets son numéro d'ordre dans la liste obtenue.

 - **Étape 2** : En parcourant la liste dans l'ordre, attribuer une couleur non encore utilisée au premier sommet non encore coloré, et attribuer cette même couleur à chaque sommet non encore coloré et non adjacent à un sommet de cette couleur.

 - **Étape 3** : S'il reste des sommets non colorés dans le graphe, revenir à l'étape 2. Sinon, la coloration est terminée.
-

(b) Heuristique DSATUR

L'heuristique de walsh-Powell peut encore être améliorée tel que le choix des sommets est fait sur un critère dynamique.

L'algorithme DSATUR développé par Brélaz est incontestablement le plus connu en raison de son efficacité et de sa simplicité. Le principe est le suivant : attribuer la plus petite couleur disponible aux noeuds par ordre décroissant de degré de saturation - nombre de couleurs différentes de ses voisins, en cas d'égalité, prioriser le noeud de degré maximal. L'algorithme s'arrête lorsque tous les sommets sont colorés.

Algorithm 3 Algorithme de calcul de degré de saturation d'un sommet

```
1: if aucun sommet adjacent à "i" n'est colorié then  
    DSAT(i)= degré (i).  
2: else  
    DSAT(i)= nombre de couleurs différentes utilisées par les sommets adjacents à "i".  
3: end if  
    1er cas :  
4: if DSAT(i)= DSAT(j) then  
    on prend celui qui a le plus grand degré.  
5: end if  
    2eme cas :  
6: if DSAT(i)= DSAT(j)et deg(i)= deg(j) then  
    on prend celui de plus petit numéro (indice).  
7: end if
```

Algorithm 4 Algorithme de calcul de degré de saturation d'un graphe

Données :

degré de saturation d'un sommet.

```
1: for i = 1 à n do  
2:   DSAT(i)= degré(i).  
3:   Numéroter les couleurs.  
4:   while il existe un sommet non colorié do  
5:     Choisir un sommet avec D-SAT maximum.  
6:     Colorier le sommet i avec la première couleur possible.  
7:     Mettre à jour D-SAT pour les sommets adjacents à ce sommet.  
8:   end while  
9: end for
```

6. Conclusion

En conclusion, nous avons proposé deux méthodes de résolution : une méthode approchée et une méthode exacte. En premier lieu, on a introduit quelques notions de la théorie des graphes. Puis, nous avons traduit notre problématique sous forme d'un problème de coloration qui a été résolu par une méthode approchée. En suite, nous l'avons résolu par la programmation linéaire. La résolution du problème ainsi que la discussion des résultats seront présentés dans le prochain chapitre.

Chapitre 6

Implémentation du problème

1. Présentation des logiciels utilisés

1.1. Mapinfo

Le Mapinfo est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG), qui sert à créer l'information géographique, à traiter l'information et à la cartographier.

Le logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus il permet de faire de la cartographie et l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.[11]

Utilisation et possibilité du logiciel

1. Accès à tous types de données attributaires
2. Export et import de nombreux formats de données cartographiques.
3. Affichage et calage géographique des images.
4. Gestion de tous types d'objets.
5. Analyse thématique mono et multi-variables.

Interface

En ouvrant Mapinfo, automatiquement, vous avez sur un écran vierge trois barres d'outils pouvant être redimensionnées ou déplacées.



FIGURE 6.1 : Interface Mapinfo vierge

		Sélection rectangulaire
Sélection manuelle		Sélection par forme libre
Sélection par distance		Sélection par polygone
Sélection par polygone		Tout désélectionner
Sélection dans un graphique		Sélection dans un graphique
Inversion de sélection		Zoom avant
Zoom avant		Zoom arrière
Zoom...		Déplacement de la carte
Informations		Hotlink
Étiquettes manuelles		Dupliquer fenêtre – Drag and drop
Contrôle des couches		Règle (distance)
Affichage de la légende		Affichage des statistiques
Sectorisation – Définition de secteur cible		Sectorisation – Affecter objets
Désactivation de pochoir		Définition de pochoir

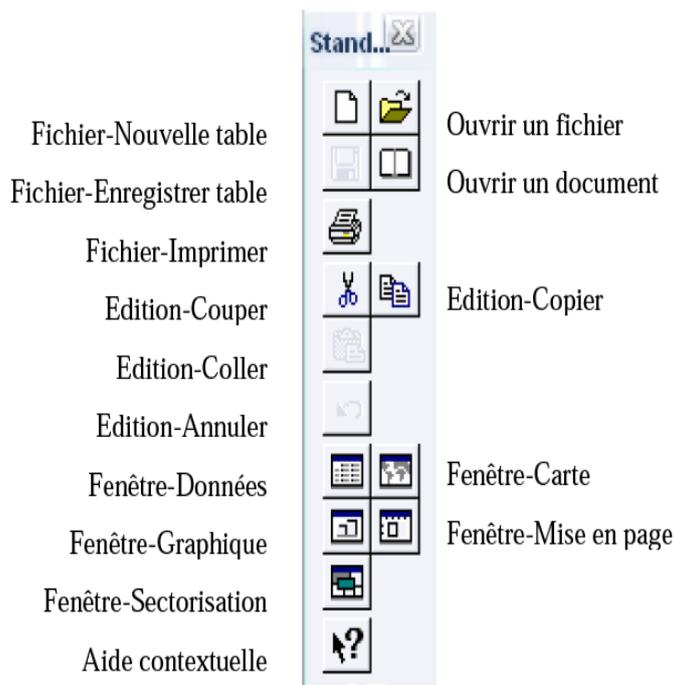
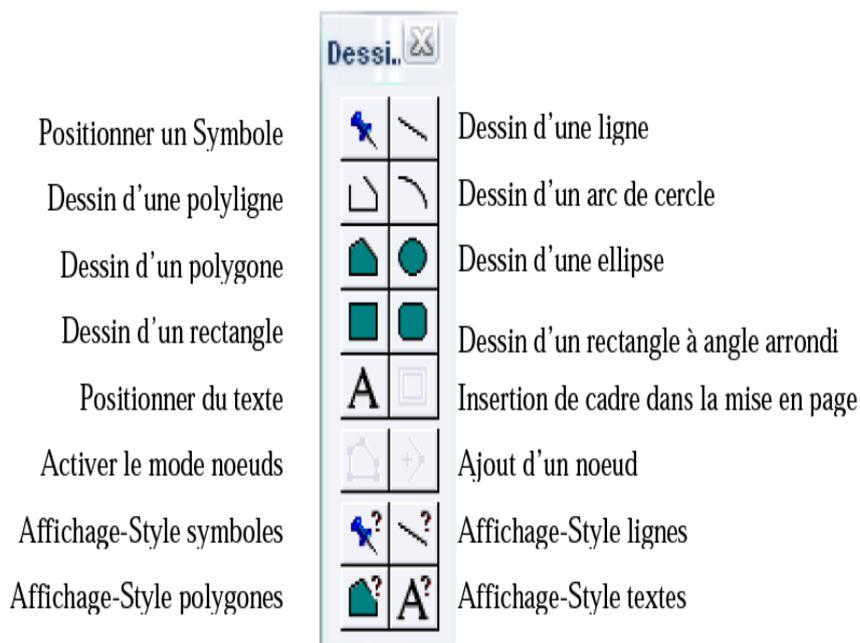


FIGURE 6.2 : Les barres d'outils de Mapinfo

1.2. Langage Matlab

Le choix s'est porté sur l'emploi du langage du logiciel Matlab, car il répond aux critères suivants :

- La maniabilité du langage : constitué d'un ensemble de possibilités faisant en sorte que le programmeur travaille avec aisance, assuré d'une part par la syntaxe du langage et d'autre part par un aspect visuel clair représentatif à la fois du détail et du global.
- Le bagage du langage : il contient une interface graphique puissante ainsi qu'une grande variété de méthodes scientifiques implémentées (prédéfinies).

1.3. Présentation du Matlab

MATLAB est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom. MATLAB est l'abréviation de MATrix LABoratory, écrit à l'origine en Fortran par C.Moler, MATLAB était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets LINPACK et EISPACK.

MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB (environ un million en 2004) sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des toolbox (boîte à outils).

Obtenir de l'aide dans Matlab

Pour obtenir de l'aide dans Matlab, il y a plusieurs façons :

- La première option est de taper dans la fenêtre de commande "help" suivi par le nom de la fonction que vous recherchez.
- La deuxième option est de taper "helpwin" dans la fenêtre de commande. Ceci, vous affichera toutes les bibliothèques de Matlab incluant les fonctions de chacune d'elles.
- La troisième option est d'utiliser la commande "lookfor". Celle-ci diffère de la commande "help" parce qu'elle ne cherche pas à avoir le nom exact de la fonction à rechercher.
- La quatrième manière d'obtenir de l'aide est d'utiliser le "help bar" du menu sur l'écran. Ensuite, vous pouvez faire la recherche des fonctions en tapant des mots-clés dans l'espace assigné.

Les particularités de MATLAB

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation, tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de programmation (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages :

1. la programmation facile.
2. la continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes.
3. la gamme étendue des nombres et leurs précisions.
4. la bibliothèque mathématique très compréhensive.
5. l'outil graphique qui inclut les fonctions d'interface graphique et les utilitaires.
6. la possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran).

Pour l'interface graphique, des représentations scientifiques et même artistiques des objets peuvent être créées sur l'écran en utilisant les expressions mathématiques. Les graphiques sur MATLAB sont simples et attirent l'attention des utilisateurs, vu les possibilités importantes offertes par ce logiciel.

2. L'interface graphique

Nous avons réalisé une applications, qui va nous permettre de résoudre le problème posé par l'entreprise en particulier. En générale, il s'agit de trouver une solution optimale a tous problème similaire a notre problème, c'est à dire qu'il peut être convertie en un problème de coloration. la figure suivante représente l'entrée de notre tools :

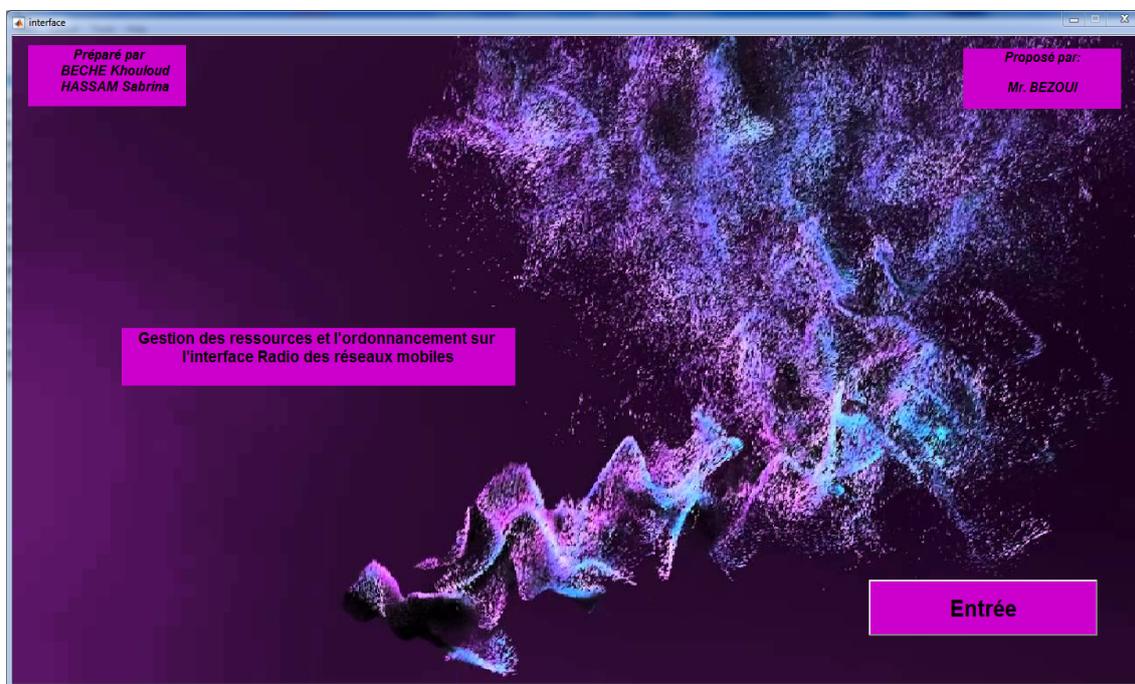


FIGURE 6.3 : Interface d'entrée a l'application

On clique sur pour aller à la deuxième interface.

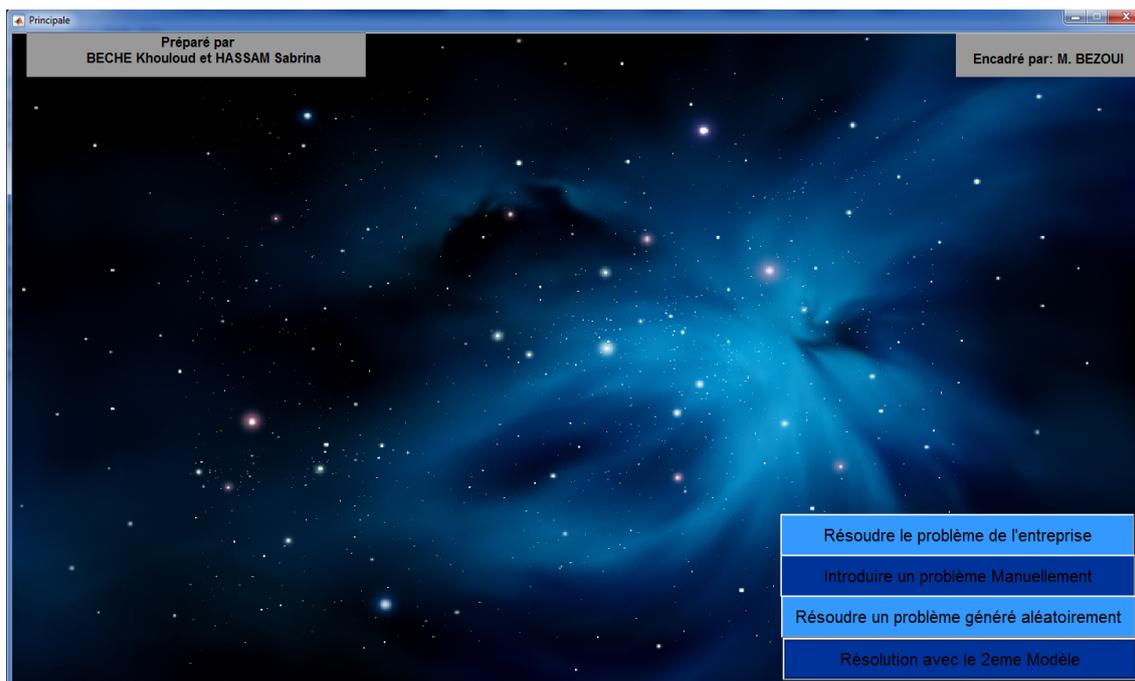


FIGURE 6.4 : Introduction des paramètres demandé

Cette interface contient plusieurs boutons qui propose des choix pour la résolution du problème.

- Le premier bouton `résoudre le problème de l'entreprise` nous donne l'interface suivante :



FIGURE 6.5 : Interface pour la résolution du problème de Djazzy

- Le deuxième bouton `introduire un problème manuellement` introduit un problème manuellement nous donne l'interface suivante :

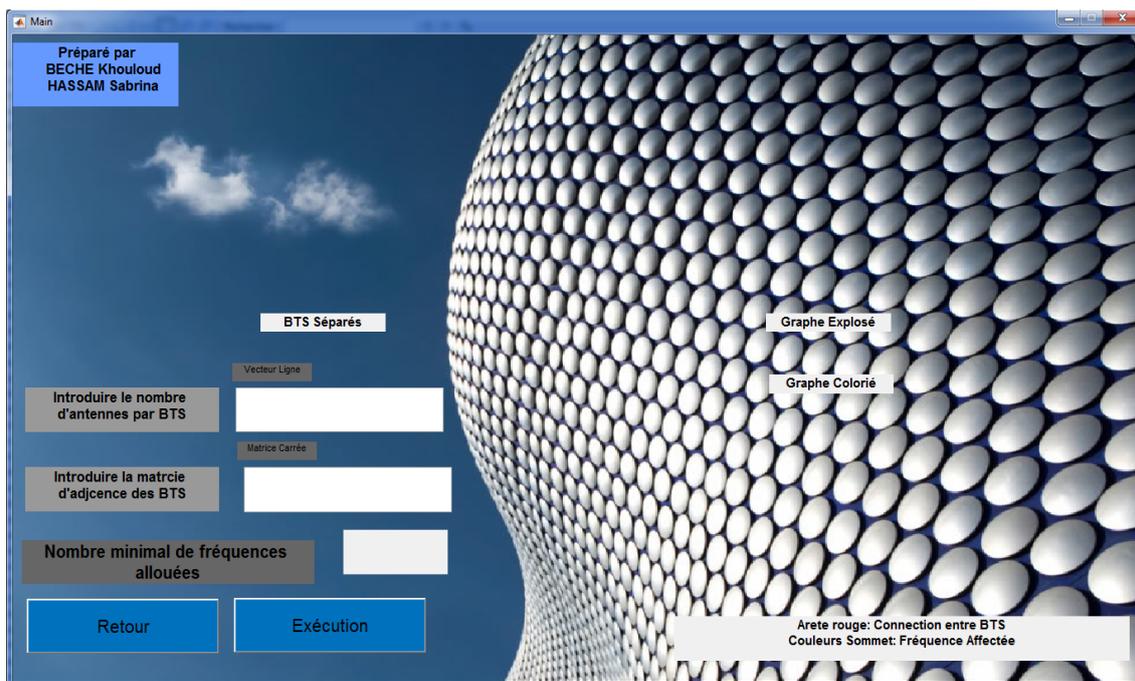


FIGURE 6.6 : Introduction d'un problème manuellement

- Le troisième bouton **résoudre un problème généré aléatoirement** introduit un problème aléatoirement nous donne l'interface suivante :

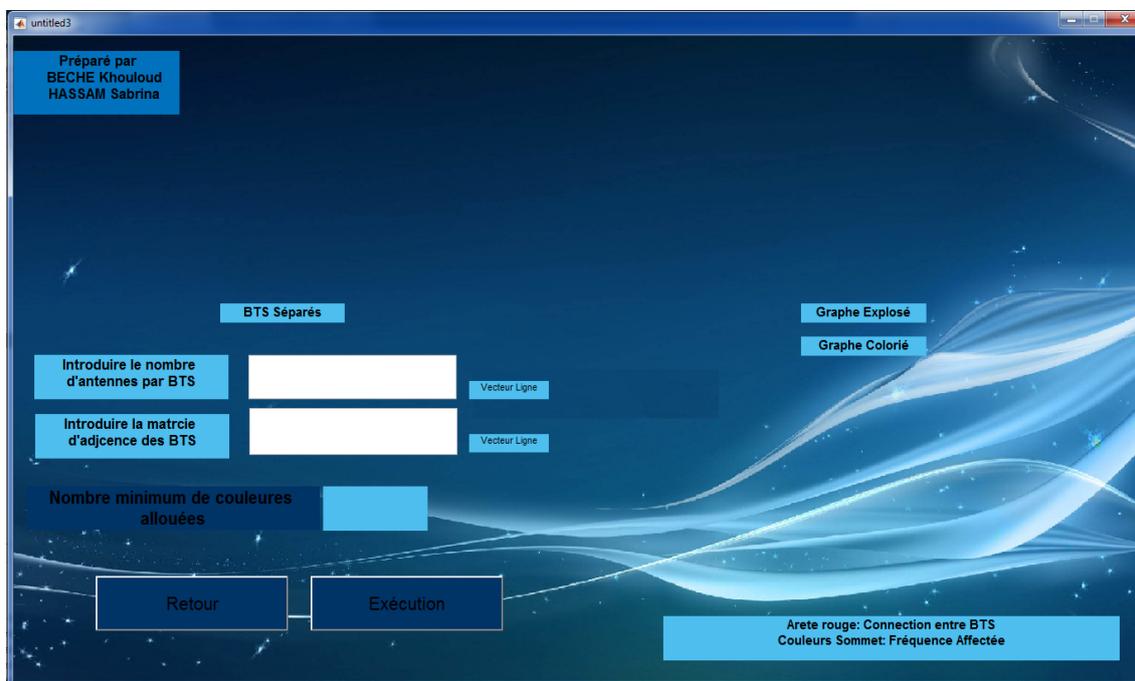


FIGURE 6.7 : Introduction d'un problème aléatoire

- Le quatrième bouton **résolution avec la programmation linéaire** introduit un problème aléatoirement nous donne l'interface suivante :

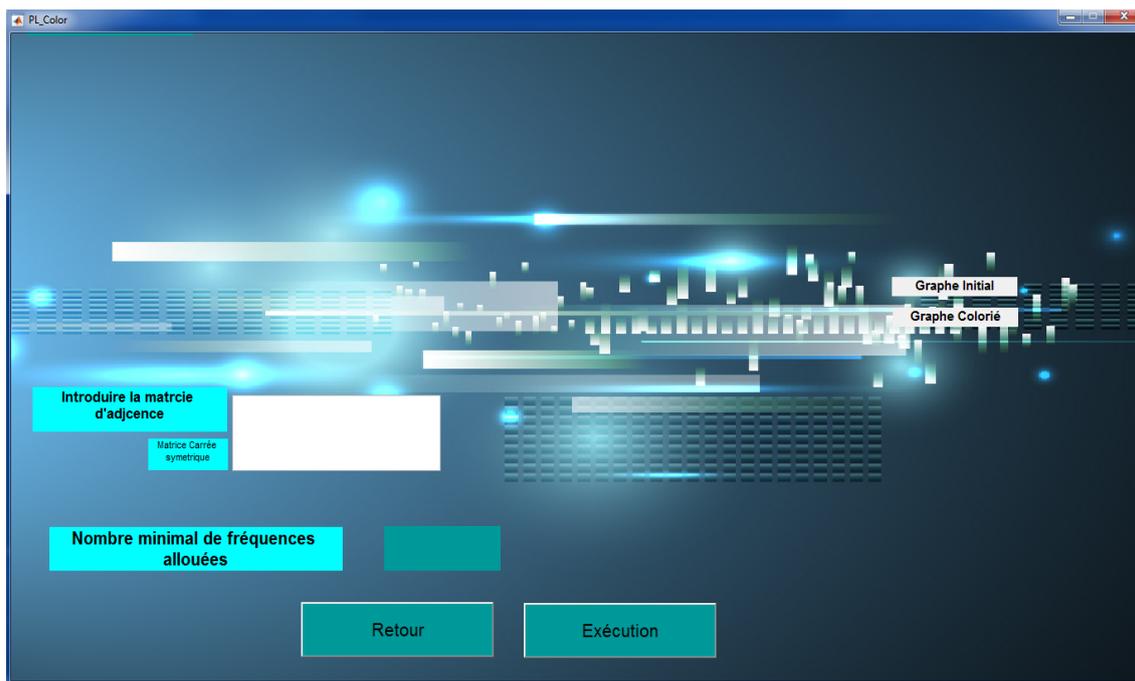


FIGURE 6.8 : résolution d'un problème par la programmation linéaire

3. Résolution du problème

Voici la zone proposé par l'entreprise qui contient 21 stations de base et 58 antennes omni-directionnelles

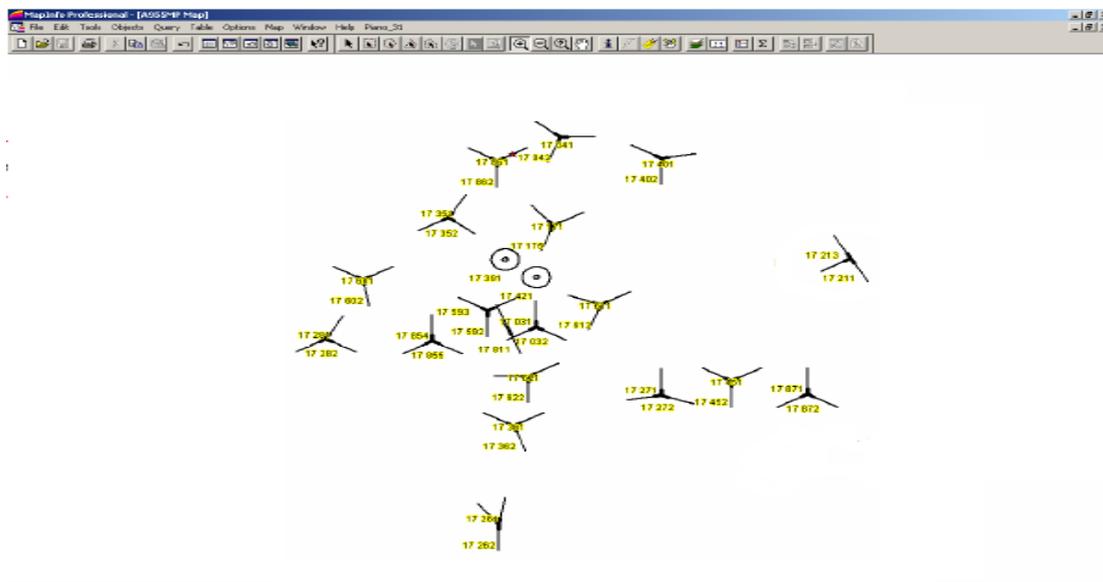


FIGURE 6.9 : Zone d'étude

3.1. Définition de l'adjacence

On commence par numéroté les stations de bases de la zone proposé par l'entreprise.

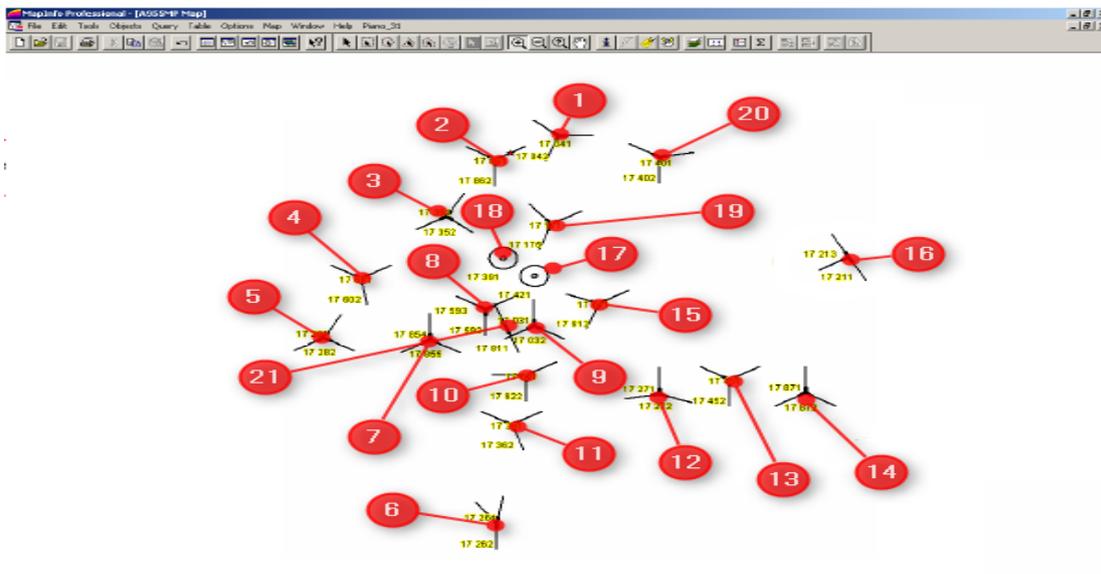


FIGURE 6.10 : Définition de l'adjacence

Le graphe d'adjacence des BTS

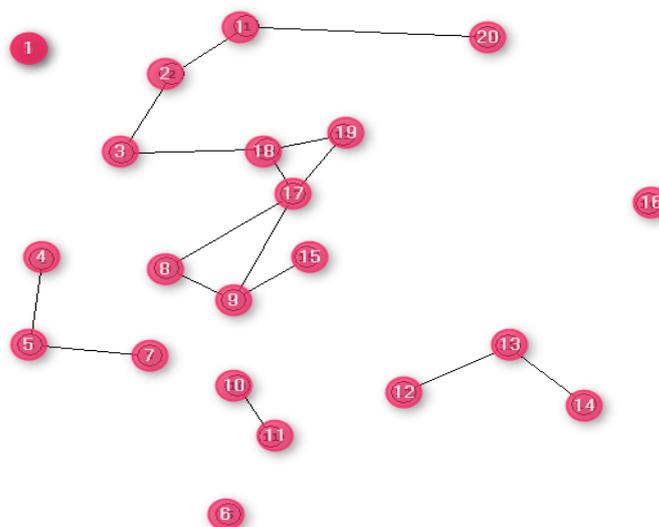


FIGURE 6.11 : Graphe d'adjacence

Nous avons développé une application qui utilise plusieurs interfaces. D'abord nous avons résolu le problème posé par l'entreprise en utilisant deux méthodes :

- Heuristique Walsh-Powell.
- Méthode exact Branch Bound.

afin d'obtenir un plan d'allocation de fréquence optimale. En suite, nous avons généralisé la résolution pour tout problème qui peut être traduit en un problème de coloration.

3.2. Résultats

Allocation des fréquences par l'heuristique

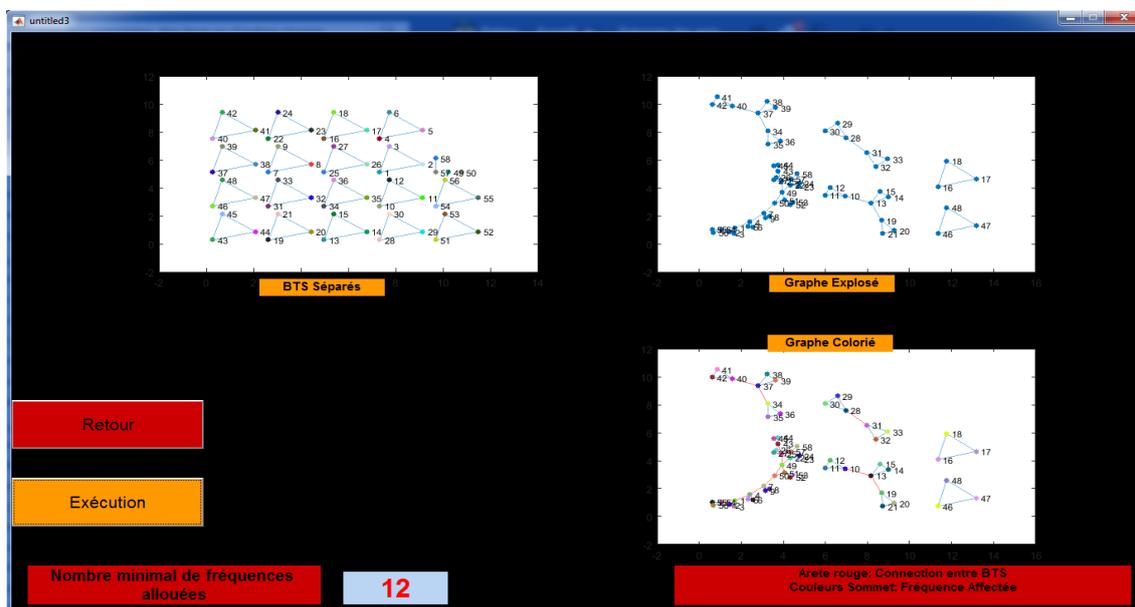


FIGURE 6.12 : Allocation de fréquence par la coloration

Allocation de fréquence par la méthode exacte

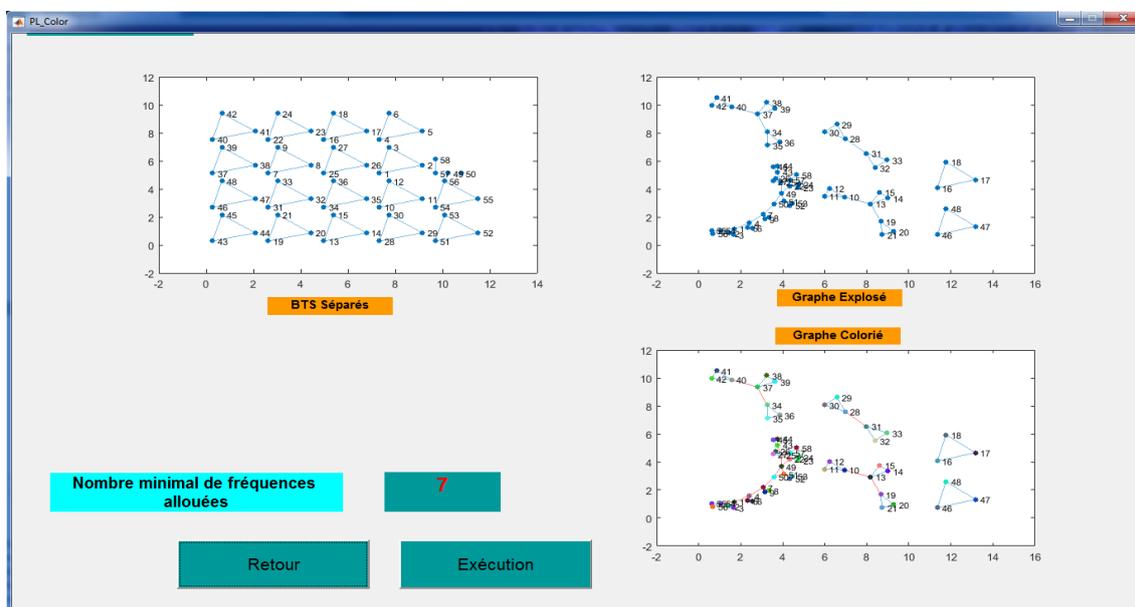


FIGURE 6.13 : Allocation de fréquence par la programmation linéaire

4. Conclusion

A la fin de notre travail, au vu des résultats obtenus, nous estimons que l'approche que nous avons adoptée, donne des résultats très satisfaisants. Nous sommes parvenus à obtenir une résolution intéressante tout en respectant la contrainte des interférences. Nous sommes donc arrivés à un plan optimal qui minimise la bande des fréquences allouées aux différentes antennes de l'entreprise. Cela engendre un gain de profit à cause du prix élevé d'une fréquence, qui sera utilisée dans d'autres technologies.

Dans ce chapitre, nous avons implémenté les différentes interfaces de l'application réalisée par le logiciel Matlab. Ensuite, nous avons résolu le problème posé par l'entreprise et établi une discussion des résultats obtenus par les deux modèles de résolutions.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé le problème de l'optimisation des ressources radio dans les réseaux de télé-communication GSM et UMTS.

Le stage que nous avons effectué chez Optimum Télécom Algérie, nous a permis de nous initier au monde du travail et acquérir une certaine expérience dans le domaine de la télécommunication.

Le travail personnel que nous avons effectué avec l'aide de notre promoteur nous a fait découvrir la méthodologie d'un travail de recherche dans notre domaine.

Nous avons étudié la technologie GSM et UMTS en présentant leurs différentes architectures, puis on a traité l'architecture cellulaire des réseaux mobiles.

Ensuite, nous avons proposé deux modèles de résolution :

- Le premier modèle est résolu par la théorie des graphes, problème de coloration, en utilisant l'algorithme de Wolsh-Powel ainsi nous l'avons implémenté sur le logiciel Matlab.
- Pour le deuxième modèle, nous avons proposé une modélisation originale du problème de coloration en utilisant la programmation linéaire en nombre entier et nous l'avons résolu par la méthode de Branch Bound.

Notre projet de fin d'étude nous a permis d'une part, d'approfondir, d'enrichir, et d'appliquer nos connaissances théoriques en théorie des graphes, et en programmation linéaires sur un cas réel. D'autre part, de prendre connaissance du domaine de la télécommunication, qui est un lieu de convergence et d'interaction entre différentes technologies et disciplines scientifiques.

En conclusion, nous sommes parvenus à obtenir une résolution intéressante tout en respectant la contrainte des interférences. Nous sommes donc arrivés à un plan optimal qui minimise la bande des fréquences allouées aux différentes antennes de l'entreprise. Cela engendre un gain de profit à cause du prix élevé d'une fréquence, qui sera utilisée dans d'autres technologies.

Ce modeste travail que nous venons d'élaborer, n'est en fait qu'une petite partie de ce qui

pourrait être fait à l'avenir dans ce nouveau créneau qu'est la Télécommunication. Nous souhaitons qu'il fasse l'objet de critiques et d'améliorations pour de futures recherches dans ce domaine.

Résumé

L'évolution rapide des réseaux radio-mobiles incite les opérateurs mobiles à l'adaptation de leurs méthodes de planification et d'ingénierie aux nouvelles technologies. L'un des soucis majeurs lors de la conception des réseaux cellulaires, consiste à éviter aux usagers le désagrément causé par des coupures de communication, alors la gestion efficace du spectre de fréquences disponibles est d'une importance capitale pour ces opérateurs des systèmes de téléphonie cellulaire.

La recherche actuelle dans ce domaine vise surtout à accroître la qualité des services offerts aux utilisateurs. L'accès et l'utilisation de ressources fréquentielles imposent la réutilisation des fréquences disponible à cause du règlement de l'ARPT (Autorité de Régulation de la Poste et des Télé-communications).

Dans le but de maximiser l'utilité de l'ensemble de ces ressources radio et ainsi aboutir à cet objectif, il est indispensable de trouver une bonne méthode d'allocation de la totalité de la bande passante disponible à l'ensemble des cellules. Pour cela, nous avons proposés deux modèles. En premier lieu, on a modélisé le problème sous forme de problème de coloration, lequel a été résolu par la méthode de Wolsh et Powel. Ensuite, nous l'avons implémenter sur le logiciel Matlab. Deuxièmement, nous avons proposé une modélisation originale du problème de coloration en utilisant la programmation linéaire en nombre binaire. Le problème étant difficile à résoudre et implémenter vu sa complexité, nous étions dans l'obligation de proposer une approche de résolution plus... pour la minimisation des fréquences alloués aux différentes antennes de l'entreprise sans qu'il y est d'intérférence.

Abstract

The rapid evolution of mobile radio networks encourage mobile industry market to adapt their methods of planning and engineering to new technologies. One of the major concerns in the design of cellular networks, consist to avoid for the users the inconvenience caused by frequent interruptions of communication. This requires the operator to have an efficient management of spectrum available frequencies. This management is of paramount importance for the operators of cellular network.

The current research in this area aims mainly to increase the quality of services offered to users. The access and using of frequency resources impose the reusing of available frequency due to the rule of the ARPT (Autorité de Régulation de la Poste et des Telecommunication). In order to maximize the utility of all these radio resources, it is essential to find a good method of allocating the entire bandwidth available to all cells. For this, we proposed two models. First, the problem as was modeled coloring problem, which was solved by the method of Wolsh and Powel. For this we have implemented on the Matlab software. Then we proposed a modeling original coloring problem using linear programming number binary. The problem is difficult to solve and implement due to its complexity, we were obliged to suggest a more interesting resolution to minimize the frequencies allocated to the various antennas of the differents mobiles operators.

Bibliographie

- [1] AUDREY KEVIN, D. N. Installation et maintenance d'une BTS, 2008.
- [2] B., BENMAMMAR, AND A., AMRAOUI. Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre.
- [3] BEKRI, H. Optimisation global avec application pour les fonctions de holder.
- [4] BENAICHA, S. Développement d'un outil d'optimisation des ressources BSC ALU G2 (TSU), 2010.
- [5] BRAUNER, N., AND GABAY, M. Laboratoire g-scop.
- [6] BRONNER, D. Colorations suboptimales. Tech. rep., 2005.
- [7] D., BOUGHACI, Y. L. B. B. D. Trois hyper-heuristiques pour le probleme d'affectation de fréquence dans un réseau cellulaire.
- [8] D., MULLER. Introduction à la théorie des graphes.
- [9] DEMOULIN, C., AND VAN DROOGENBROECK, M. Principes de base du fonctionnement du réseau GSM, 2004.
- [10] DEVARENNE, I. Etudes d'heuristiques a mémoire pour l'affectation de fréquences.
- [11] F., G. Fiche d'aide a MapInfo.
- [12] FZAIN, S., AND EL ALAMI, I. *Simulation de la couverture réseaux 2G/3G de la zone centre du Maroc : Implémentation d'une solution web de suivi des données Radio*. Éditions universitaires européennes, 2015.
- [13] HACENE, H. Etude comparative des méthodes heuristiques d'optimisation combinatoire.
- [14] IBRAHIMI, K. Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs, 2010.
- [15] IR. WILLY PIRARD. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE GSM.
- [16] J.ELHACHIMI, A. Résolution du Problème d'Allocation de Fréquences (PAF) par Application des Algorithmes Génétiques Hiérarchiques-Réseaux de Neurones Artificiels (AGH-RNA).
- [17] MMA., ADEGBINDIN. UN ALGORITHME CONSTRUCTIF EFFICACE POUR LE PROBLEME DE COLORATION DE GRAPHE.

- [18] MME TALEB, S. I., AND MELLE BOUDINA, I. DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'OPTIMISATION POUR L'ALLOCATION DES FREQUENCES DANS LE RESEAU GSM., Feb. 2014.
- [19] SENOUCI, S.-M. *Application de techniques d'apprentissage dans les réseaux mobiles*. PhD thesis, Paris 6, 2003.