



République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
Et de la Recherche Scientifique

Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Électrique et Électronique



Filière : Génie Industriel

**Projet de Fin d'Étude**

Master : Génie Industriel

**Intitulé :**

**Étude et Amélioration de la planification des réseaux**

**4G et 5G adaptés à un secteur urbain**

**Présenté par :**

SI ALI Ilyes.

**Jury :**

<b>Président:</b>	Mr.MALIKI Fouad.	MAA	ESSA Tlemcen
<b>Encadreur :</b>	Mr.SOUIER Mehdi.	MCA	ESM Tlemcen
<b>Co-encadreur:</b>	Mr. BENNEKROUF Mohammed.	MCB	ESSA Tlemcen
<b>Examineur :</b>	Mr.MIKAMCHA khalid	MAA	université Tlemcen
<b>Examineur :</b>	Mr.BESSNOUCI Hakim Nadhir.	MAA	université Tlemcen

Année Universitaire : 2018/2019

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*Mes Parents .....*

*Mon Frère et ma Sœur .....*

*Ma Famille .....*

*Mes Amis,.....*

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie ALLAH de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour bien mener ce travail.

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui sont venues apporter leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie mon promoteur, Monsieur BENNEKROUF pour son aide et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire et l'intérêt qu'il m'a toujours témoigné à l'égard de mon travail, qu'il trouve ici l'expression de mon gratitude.

Je remercie mon Encadreur, Monsieur Mehdi SOUIER pour tous ses efforts, son aide, et ses conseils constructifs durant ce projet.

Je tiens à exprimer mon reconnaissance également à l'ensemble des enseignants de la filière Génie industrielle.

J'adresse une pensée particulièrement affective à mes parents et mes amis qui ont rendu agréables mes longues années d'études.

Je remercie tout particulièrement les membres du jury pour avoir accepté de participer en tant qu'examineurs à ma soutenance.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

## *Résumé*

Une chaîne logistique d'un produit tangible est bien différente au celle d'un produit intangible alors notre projet de fin d'études s'appuie sur l'étude et amélioration de planification réseaux mobile d'une société de télécommunication, on spécifiant le service 4G et 5G, prenant un cas générale d'organisation télécommunication.

notre travail concernant la partie optimisation, et résolution par les méthodes approchées (métaheuristique) d'un problème de localisation allocation des BTS (base transceiver station) du projet 4G ou 5G dont nous maximise le profit, et assurer la bonne qualité du service, appliquant notre connaissances dans le domaine de la recherche opérationnelle.

**Mots clés :** chaîne logistique, télécommunication, réseaux mobile, service 4G,5G, localisation des BTS, BSC.

## **Abstract**

A supply chain of a tangible product is very different from an intangible product, so our final project is based on the study improvement of mobile network planning of a telecommunication company specifying the service 4G and 5G, taking a general case of telecommunication organization.

Our work concerning the optimization part and resolution by the approximate methods (metaheuristic) of a problem of localization allocation of the BTS (base transceiver station) in the project 4G or 5G,we trying to maximize the profit and ensuring the good service quality, applying my knowledge in operational research field.

**Keywords :** supply chain, telecommunications, mobile networks, (4G,5GService), location of BTS, BSC.

# *Table des matières*

<b>DÉDICACE</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>II</b>
<b>RÉSUMÉ</b>	<b>III</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>IV</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I LES CHAINES LOGISTIQUES ET TÉLECOMMUNICATION</b>	<b>3</b>
<b>I.1 INTRODUCTION :</b>	<b>4</b>
<b>I.2 LA CHAINE LOGISTIQUE :</b>	<b>5</b>
I.2.1 DÉFINITION :	5
I.2.2 LES ENJEUX DE LOGISTIQUE :	6
I.2.3 LES PARTICIPANTS DANS LA CHAINE LOGISTIQUE :	7
I.2.4 LE LIEN ENTRE LA PRODUCTIVITÉ ET LA CHAINE LOGISTIQUE :	7
I.2.5 L'ENTREPRISE ET LA CHAINE LOGISTIQUE :	9
<b>I.3 LOCALISATION À LOCATION :</b>	<b>10</b>
<b>I.4 TÉLÉCOMMUNICATION :</b>	<b>13</b>
I.4.1 DÉFINITION :	13
I.4.2 DÉVELOPPEMENT DE TÉLÉCOMMUNICATION :	13
<b>I.5 RÉSEAUX MOBILE :</b>	<b>14</b>
I.5.1 HISTORIQUE :	14
	iv

I.5.2	LES DÉFÉRENTS NORME TÉLÉPHONIQUE :	14
<b>I.6</b>	<b>LA CHAÎNE LOGISTIQUE ET RÉSEAUX MOBILE :</b>	<b>17</b>
I.6.1	DIFFÉRENCE ENTRE SERVICE ET PRODUIT :	17
I.6.2	LA DIFFÉRENCE ENTRE LA GESTION DE CHAÎNE LOGISTIQUE D'UN PRODUIT MATÉRIEL ET DE SERVICE DE TÉLÉCOMMUNICATION :	18
<b>I.7</b>	<b>POSITIONS DE PROBLÈME :</b>	<b>20</b>
I.7.1	DÉFINITION BTS (LA STATION DE BASE) :	20
I.7.2	DIFFÉRENTS TYPES STATIONS DE BASE (BTS) :	21
<b>I.8</b>	<b>CONCLUSION :</b>	<b>23</b>
 <b>CHAPITRE II LES APPROCHES D'OPTIMISATION ET MÉTAHEURISTIQUE</b>		<b>24</b>
<b>II.1</b>	<b>INTRODUCTION :</b>	<b>25</b>
<b>II.2</b>	<b>DÉFINITION DE PROBLÈMES D'OPTIMISATION :</b>	<b>26</b>
<b>II.3</b>	<b>CLASSIFICATION DES MÉTHODES D'OPTIMISATION :</b>	<b>27</b>
<b>II.4</b>	<b>LES MÉTHODES EXACTES :</b>	<b>28</b>
II.4.1	SÉPARATION ET ÉVALUATION (BRANCHE AND BOUND) :	29
<b>II.5</b>	<b>LES MÉTHODES APPROCHÉES :</b>	<b>30</b>
II.5.1	LES MÉTAHEURISTIQUES :	31
II.5.2	RECHERCHE LOCALE (MÉTHODES DE TRAJECTOIRE) :	33
II.5.3	MÉTAHEURISTIQUES À BASE DE POPULATION :	39
<b>II.6</b>	<b>CONCLUSION :</b>	<b>43</b>
 <b>CHAPITRE III MODILISATION ET RÉOLUTION DE PROBLEMS</b>		<b>44</b>
<b>III.1</b>	<b>INTRODUCTION :</b>	<b>45</b>
<b>III.2</b>	<b>IMPLANTATION DE MÉTAHEURISTIQUE :</b>	<b>45</b>
<b>III.3</b>	<b>LE CHOIX DE LA MÉTAHEURISTIQUES UTILISÉE :</b>	<b>45</b>
<b>III.4</b>	<b>L'ANALYSES DE PROBLÉMATIQUE :</b>	<b>46</b>
III.4.1	LES ÉQUIPEMENTS DU RÉSEAU GSM :	46
<b>III.5</b>	<b>LE TRAVAIL PRATIQUE :</b>	<b>51</b>

III.5.1	LE MODÈLE MATHÉMATIQUE :	51
<b>III.6</b>	<b>DESCRIPTION DU PROBLÈME ET ADAPTATION RECUIR SIMULÉ :</b>	<b>55</b>
III.6.1	ALGORITHME :	56
<b>III.7</b>	<b>INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS :</b>	<b>59</b>
III.7.1	COMPARAISON DES RÉSULTATS :	67
<b>III.8</b>	<b>CONCLUSION :</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONS GÉNÉRALES</b>		<b>71</b>
<b>RÉFÉRENCES</b>		<b>72</b>

## *Table des figures*

### ***CHAPITRE I :***

Figure I. 1 Exemple de chaîne logistique. [3].....	6
Figure I. 2 l'architecture du Réseau GSM. [12] .....	16
Figure I. 3 les puissance de début par générations mobile. [13] .....	17
Figure I. 4 la déférence entre le début de 5G et 4G. [13] .....	17
Figure I. 5 schéma présentatif de chaine logistique produit .....	18
Figure I. 6 schéma présentatif de chaine logistique télécommunication. ....	20
Figure I. 7 équipement antenne de BTS. [16].....	22

### ***CHAPITRE II :***

Figure II. 1 Classification des problèmes d'optimisation.....	26
Figure II. 2 classification des méthodes d'optimisation.....	28
Figure II. 3 paradigmes des méthodes approchées.....	30
Figure II. 4 Fonctionnement de l'algorithme de recuit simulé. [16]. ....	35
Figure II. 5 Les concepts principaux utilisés dans les algorithmes génétiques. [25] .....	39
Figure II. 6 Représentation schématique d'un croisement dans le cas d'un codage binaire [27].....	41
Figure II. 7 Représentation schématique de l'opérateur de mutation [28]. ....	41

## ***CHAPITRE III :***

Figure III. 1 principe générale de BTS. [28] .....	46
Figure III. 2 puissance et sensibilité des BTS. [28].....	47
Figure III. 3 les type de liaison entre BSC et BTS. [28] .....	47
Figure III. 4 les positions de cite candidats de BSC a localisé par rapport aux zones clients.....	55
Figure III. 5 les positions de cite candidats de BTS a localisé par rapport aux zones clients. ....	56
Figure III. 6 histogramme de première ensemble de paramètres. ....	60
Figure III. 7 histogramme de deuxième ensemble de paramètres.....	61
Figure III. 8 histogramme de troisième ensemble de paramètres.....	62
Figure III. 9 histogramme de quatrième ensemble de paramètres.....	63
Figure III. 10 histogramme de cinquième ensemble de paramètres.....	65
Figure III. 11 histogramme défini la comparaison entre les simulations. ....	66
Figure III. 12 histogramme présente les résultats de simulation de comparaison.....	68

## ***Liste des tableaux***

tableau. III. 1 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les premier paramètres.....	60
tableau. III. 2 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les deuxièmes paramètres.....	61
tableau. III. 3 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble trois.....	62
tableau. III. 4 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble quatre. ....	63
tableau. III. 5 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble cinq.....	64
tableau. III. 6 tableau présente la résultat minimal de simulation. ....	65
tableau. III. 7 tableau présente 10 simulations et les résultats de CTIP .....	67
tableau. III. 8 tableau de comparaisons entre les deux type d'interprétation .....	69

# INTRODUCTION GENERALE

Le domaine des télécommunications connaît ces dernières années une croissance exponentielle. Les progrès technologiques récents ont permis l'apparition d'une grande variété de nouveaux moyens permettant à un utilisateur d'accéder et d'utiliser l'information qui l'intéresse en tout lieu et à tout moment. Pour cela, des nouveaux réseaux sans fil ont été mis en place tels que GSM, GPRS, UMTS, 3G, 4G ,5G... etc. Ces réseaux se sont développés et se sont intégrés à l'Internet qui aussi n'a jamais cessé de croire en ses technologies.

Ou cour de développement de n'importe quelle technologie il y a toujours des nouveau problèmes face à la perfection, la télécommunications et spécialement les réseaux télécom qu'ils sont les infrastructures de ces déférents générations de réseaux mobile avoir des problèmes technique ainsi que des problèmes de planifications de ces déférents équipements qui représentent des base de réseaux télécommunications, cette planification affilié au services de chaine logistique de n'importe quelle entreprise télécom.

Dans ce cas nous avant fait des études sur la planifications et l'architecture de réseaux mobile en terme de la chaine logistique.

La chaîne logistique est l'ensemble d'activités et d'organisations qui permet de passer des matériaux dans leur parcours à partir de fournisseurs initiaux, réapprovisionnement, production, distribution à la vente aux clients finaux. L'objet principal de la chaîne logistique est de gérer les flux physiques et les données informatives ou financières d'une entreprise, pour mettre à la disposition toutes les ressources, correspondant à des besoins bien déterminés, en respectant les conditions économiques prévues, le degré de qualité attendu et les conditions satisfaisantes de sécurité, et d'assurer au moindre coût la coordination de l'offre et de la demande ainsi que l'entretien à long terme de la qualité des rapports fournisseurs clients.

En télécommunication, la 4G et 5G sont de génération standard pour la téléphonie mobile. Succédant à la 2G et la 3G, elle permet le « très haut débit » grâce à un des éléments de base du système appelé plus communément « base transceiver station ou **BTS** ».

En effet, les abonnés se plaignent de la mauvaise connexion dans l'Algérie. Alors mon projet de fin d'étude sert à améliorer les réseaux de la distribution de services 4G ainsi que la

5G quand arrive en Algérie, je prends un cas générale pour l'amélioration de service télécommunication précisément les réseaux de nouvelle génération mobile 4G et 5G.

Tant que ce travail consiste à modélisé la planification de réseaux de télécommunications nous allons présenté ce projet en trois chapitres consécutives.

Tout d'abord nous allons présenter le domaine de télécommunication et la différence entre sa chaîne logistique de réseaux spécialement la chaîne logistique de réseaux mobile avec la logistique produits puis déterminé les caractéristique de différents générations de réseaux mobile, à la fin de première chapitre nous allons définir le problème a été découverte.

Ensuite nous allons montrer les méthodes de résolution de notre problématique, nous allons étudier les méthodes d'optimisation combinatoire sur tout les méthodes exacte et les méthodes approché pour attendre a une résolution satisfaisante et adaptable avec notre cas d'études, dans ce deuxième chapitre nous allons faire une généralité sur les méthodes de résolution.

Enfin nous allons déterminer un modèle mathématique concerné la problématique de localisation et optimisation du planification réseaux mobile, puis nous allons adapté notre modèle mathématique avec un approche de résolution, une parmi les méthodes métaheuristique, la méthode recuit simulé.

Alors au cours de ce mémoire nous allons étudier la chaîne logistique de réseaux mobile, positionné le problème découverts, chercher des méthodes de résolutions, analysé le problème, et finalement attendre a une résolution satisfaisants.

# **CHAPITRE I**

## **LES CHAINES LOGISTIQUES ET TELECOMMUNICATION**

## **I.1 Introduction :**

Dans le contexte économique actuel caractérisé par l'instabilité du marché, les entreprises sont poussées de plus en plus vers une stratégie de gestion globale, dont le but d'augmenter l'efficacité opérationnelle, la rentabilité et la capacité concurrentielle de l'entreprise et de ses partenaires. Le système intégré résultant de cette vision globale est appelé « chaîne logistique ».

Le problème qui se pose c'est que dans le cas de production d'un bien matériel, il existe un tangible qui est produit, qui se déplace entre fournisseur-entreprise ou entreprise-client, mais dans le cas d'un service, l'offre que l'entreprise donne est intangible qu'on ne peut pas quantifier. Et dans le domaine de télécommunication, le service contient des réseaux de tous types. Alors, dans ce chapitre on va faire le lien entre le service et la chaîne logistique, pour pouvoir déduire des notions de la chaîne logistique dans le cas d'une organisation de télécommunication, spécialement les réseaux mobiles.

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés. Alors pour fournir ce réseaux mobile, il y a toute une parcoure de informations et des données, c'est « la chaîne logistique » de télécommunication (chaîne logistique de réseaux mobile), tout se fait dans le contexte de localisation et location.

Puisque dans notre mémoire je suis intéressé sur l'architecture de réseaux mobile. Dans ce chapitre on veut déterminer la distribution de réseaux de puis les MSC, BSC, BTS jusqu'à les clients qu'ils sont définis par les téléphones mobile en générale et spécialement les smartphones soutenus par la technologie (2G, 3G, 4G ...), et prochainement la 5G en Algérie.

## **I.2 La chaîne logistique :**

### **I.2.1 définition :**

Dans la littérature, plusieurs définitions ont été données à la chaîne logistique, parmi lesquelles on trouve des définitions simplistes :

« Une chaîne logistique est une série d'activités et d'organisations par lesquelles passent des matériaux dans leurs parcours, à partir des fournisseurs initiaux jusqu'aux clients finaux » [1]

« Une chaîne logistique est l'alignement des entreprises qui apporte des produits ou des services aux marchés » [2]

Et d'autres plus précises :

« Une chaîne logistique est un réseau de toutes les organisations qui participent à : l'approvisionnement, la production, la distribution ou la vente d'un produit au client final. Une chaîne logistique forme un réseau complexe de flux physique (matière/financier) et non physique (information). Une décision prise au niveau d'un nœud du réseau aura un impact imprédictible sur les autres nœuds » [1]

« Les chaînes logistiques sont des systèmes complexes dû à la présence de multiples organisations (semi) autonomes, fonctions et ensembles de personnes dans un environnement dynamique. Sachant que les capacités des entreprises sont limitées en temps et en effort, la gestion doit choisir le niveau de partenariat approprié pour chaque membre de la chaîne logistique ». [2]

La figure I.1 donne un exemple de chaîne logistique

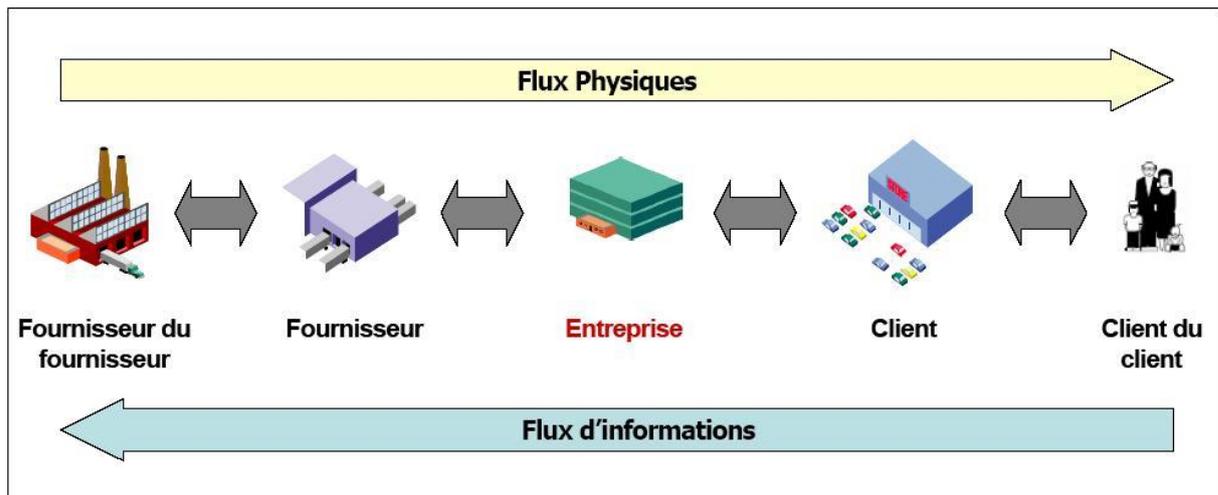


Figure 1.1 Exemple de chaîne logistique. [3]

## I.2.2 Les enjeux de logistique :

La fonction logistique gère les flux physiques et doit par conséquent évaluer les flux d'informations associés qui sont immatériels. La logistique cherche à améliorer les synergies et la flexibilité par l'organisation des ressources et donc la réactivité industrielle. La fonction logistique entretient donc des liens très forts avec le service responsable du système d'information de l'entreprise. [4]

Ces liens sont si forts, que de nombreux concepts relatifs à l'analyse du système d'information peuvent être repris par la logistique. Il reste que la logistique traite les flux physiques et par conséquent des moyens pour les évaluer et les améliorer au niveau quantitatif comme qualitatif (par la gestion de la qualité). La logistique est au centre et aux extrémités de la production co-responsable auprès de tous les services de la qualité des flux physiques. [4]

La logistique a pour objet de satisfaire la demande de flux physiques (matières, transports, emballages, stocks...), et en accord avec le responsable de l'urbanisation du système d'information, des flux d'informations associés (notion de traçabilité). [4]

Elle est co-responsable de la gestion de la chaîne logistique des moyens qui permettent d'atteindre cet objectif (matériels, machines...) et mobilise avec l'aide des autres services des ressources (humaines et financières) pour y parvenir. [4]

En effet, la logistique au sens large peut être considérée comme l'outil permettant de réaliser la production initiée par le service marketing/vente et est par conséquent au centre des négociations du processus métier. La logistique est gérée par les logisticiens. Par extension, un

logisticien peut être une personne morale, le prestataire en logistique. Plus que logisticien, on parle de plus en plus de Supply Chain manager. [4]

Cet anglicisme regroupe les métiers de gestion de la chaîne d'approvisionnement : prévisionniste, planificateur, responsable des transports, déployé... La fonction logistique gère directement les flux matières, et indirectement les flux associés immatériels : flux d'informations et flux financiers. Les flux matières sont souvent subdivisés arbitrairement comme : "amonts" (de la production à l'entrepôt) ; "avals" (de l'entrepôt à la consommation) ; "retours" le flux retours (reverse logistiques) (du consommateur au recycleur/ destructeur ou bien du consommateur au producteur). [4]

### **I.2.3 Les participants dans la chaîne logistique :**

Dans toute chaîne logistique il existe une combinaison d'organismes qui assument des fonctions différents. Certaines sont des producteurs, d'autres distributeurs, des détaillants, des clients finaux (des entreprises ou des particuliers) et des fournisseurs de services (transport, design, finances) [Umeda & Lee, 2004]. [2]

### **I.2.4 Le lien entre la productivité et la chaîne logistique :**

À partir d'une recension exhaustive des écrits menée par Pietro de Giovanni et Fouad el Ouardighi, deux candidats au doctorat de l'ESSEC Business School (Paris), nous pouvons tirer quelques conclusions concernant le lien entre la gestion de la logistique et son impact sur la productivité et plus globalement la performance des entreprises. [5]

D'abord, l'enquête menée par D'Avanzo et al. (2003) auprès de 636 firmes du top 3 000 des entreprises mondiales révèle que 90 % des répondants considèrent que la gestion de la chaîne logistique est une dimension critique de la performance d'une organisation. Cette enquête suggère un lien direct très fort entre la gestion de la chaîne logistique et la performance financière. Une autre enquête produite par PMG (Performance Measurement Group) menée auprès de 70 grandes entreprises manufacturières conclut aussi que les firmes ayant des pratiques logistiques plus matures sont 40 % plus profitables que les entreprises manufacturières qui n'ont pas des pratiques aussi évoluées. Les entreprises avec des pratiques

matures seraient plus performantes de l'ordre de 10 % à 25 % en ce qui concerne les délais de livraison, la flexibilité ou les temps de réponse. [5]

Ces mêmes firmes auraient des coûts logistiques équivalant à 9 % des revenus comparativement à 10,7 % pour la moyenne des répondants. Cet écart signifierait une économie de 20 millions de dollars pour une entreprise qui a un chiffre d'affaires d'un milliard de dollars. L'étude ne qualifie pas beaucoup ce concept de maturité, mais nous y reviendrons ultérieurement dans le texte. Une enquête menée auprès de 478 entreprises brésiliennes reprend ce concept de maturité et elle conclut qu'il y a un lien entre le degré de maturité des pratiques logistiques et la performance d'une organisation. Il faut préciser que cette notion de performance est mesurée dans une perspective opérationnelle des grandes fonctions associées à la chaîne logistique : approvisionnement, production, distribution et planification. Ensuite, nous avons analysé les résultats de très nombreuses études empiriques universitaires. De cette analyse, [5] il se dégage que :

- Les pratiques logistiques ont une incidence positive sur la performance logistique (vitesse de livraison, flexibilité dans la livraison, capacité de livraison) et sur la performance marketing (croissance moyenne du marché, croissance moyenne du volume des ventes, croissance moyenne des ventes en dollars). Ces résultats proviennent d'une enquête menée dans le secteur manufacturier américain avec un échantillon de 142 répondants provenant d'organisations embauchant plus de 500 employés [5]
- Les pratiques logistiques ont une incidence positive sur les compétences de la chaîne logistique (qualité et services, opérations et distribution, efficacité du design). Cette enquête a été menée auprès d'une centaine d'entreprises manufacturières des États-Unis et de Taïwan. [5]
- Encore une fois, les pratiques logistiques ont un impact positif sur la sélection des fournisseurs et sur la participation des fournisseurs. Ces résultats proviennent d'une étude menée auprès de 103 entreprises localisées à Hong Kong et à Taïwan [5]
- Enfin, les pratiques logistiques ont un impact positif sur le time-based efficiency et le cost-related efficiency. Les données proviennent de 225 répondants localisés à Hong Kong mais dont 75 % d'entre eux ont un siège social aux États-Unis, au Japon, aux Pays-Bas et dans d'autres pays. Globalement, de ces études, il se dégage que les pratiques logistiques ont une incidence positive sur la performance opérationnelle de

l'organisation. Cependant, l'impact sur la performance financière de l'organisation serait indirect et il y a peu d'études qui concluent à un lien direct. Pour expliquer ces observations, nous reprenons les concepts de Hill (1994) qui suggèrent qu'une organisation doit penser en termes d'habiletés qualifiantes et d'habiletés gagnantes. Selon ce que nous venons de constater dans la littérature, les pratiques de gestion de la chaîne logistique deviennent souvent un seuil minimal à détenir pour être une entreprise crédible face aux concurrents locaux ou étrangers. [5]

Une entreprise peut faire de ces pratiques de gestion de la chaîne logistique des habiletés gagnantes en réussissant à se démarquer significativement de la concurrence. [5]

### **I.2.5 L'entreprise et la chaîne logistique :**

Une chaîne logistique peut être composée d'une ou plusieurs entreprises qui peuvent être juridiquement indépendantes. Au-delà des aspects structurels que nous avons évoqués dans la partie précédente, les objectifs liés à la création du réseau donnent lieu à une terminologie particulière. [6]

Il est possible de dégager quelques grandes catégories en fonction des objectifs de ces groupements d'entreprises. On parle d'entreprise multi-site lorsque les différentes activités (approvisionnement, production, distribution...) de la chaîne logistique sont effectuées dans des sites géographiquement distribués mais appartenant à la même entreprise, i.e. à la même structure juridique. Dès lors que la chaîne logistique intègre plusieurs structures juridiquement indépendantes, d'autres termes peuvent être employés. On appelle réseau d'entreprises un ensemble d'entreprises entrant en communication pour répondre à un besoin précis. [6]

Les réseaux d'entreprises se distinguent d'une chaîne logistique car ils ne sont pas obligatoirement orientés sur le processus d'élaboration complet d'un produit fini donné. En effet, un partenariat horizontal (entre entreprises de même activité) est par exemple possible autour de l'échange de bonnes pratiques. [6]

Cette terminologie est très générale et peut inclure les chaînes logistiques. Une entreprise étendue correspond à un réseau d'entreprises différentes mais partageant un système de gestion de manière plus ou moins complète dans le sens où il peut s'agir du système de gestion en tant que tel ou d'un standard commun permettant l'interopérabilité des systèmes de gestion des entreprises impliquées. Le partenariat entre les différentes entreprises est considéré de manière pérenne. [6]

L'entreprise virtuelle est considérée comme une organisation temporaire dans laquelle un ensemble de partenaires industriels forme un réseau collaboratif pour atteindre un objectif précis auquel ils n'auraient pas répondu seuls. Kim et al. (2006) reprenant les travaux de Camarinha-Matos et Afsarmanesh (2003) présentent un ensemble de mots-clés caractérisant les entreprises virtuelles :

- ¾ Organisation en réseau ou distribuée.
- ¾ Coopération et complémentarités.
- ¾ Organisation temporaire.
- ¾ Infrastructure supportant les interactions.

Il semble intéressant de rajouter à cette définition que ces entreprises virtuelles se constituent, avec reconfiguration possible, autour d'un projet à durée de vie limitée. L'intérêt de ces entreprises virtuelles est de pouvoir cumuler les savoir-faire spécifiques des entreprises pour gérer la totalité du cycle de vie du projet (en incluant les phases de définition, conception, fabrication/réalisation, commercialisation, marketing...). [6]

### **I.3 Localisation allocation :**

Dans la gestion des chaînes logistiques, la recherche opérationnelle dédiée aux plusieurs problèmes parmi lesquelles on a le problème de localisation et allocation. Les décisions concernant la localisation et allocation sont des éléments cruciaux de la planification stratégique d'un large éventail d'entreprises privées et publics. On a deux décisions considérées simultanément : [7]

**Localisation** : Où faut-il mettre les sites ? (et éventuellement de quel nombre et de quelle taille). **Allocation** : à partir de chaque site, quel sous-ensemble de demande devrait être servi ? (zones de commerce, zones de service). Ce problème sert à fournir un service pour satisfaire une demande spatialement dispersée, cette demande provient d'un grand nombre de sites très dispersés. Il est impossible d'offrir le service partout ; pour optimiser les coûts (économies d'échelle) et la qualité de ce service, il doit être assuré par un certain nombre d'installations centralisés. [7]

## **i. Facteurs de modélisation**

Différents facteurs définissent différentes versions du problème de localisation et allocation :

- Clients.
- Installations.
- Espace de localisation.
- Fonction de distance.
- Décisions de localisation. [7]

## **ii. Facteur client**

Le problème de localisation et allocation a des données, on peut les regrouper dans : la localisation, nombre et la demande des clients. Ces demandes sont caractérisées par des caractéristiques qui sont :

- Déterministe.
- Statique.
- Stochastique.
- Dynamique. [7]

## **iii. Facteur installation**

- Nombre et la capacité d'installation.
- Systèmes hiérarchiques ou on peut y avoir différents types d'installations qui offrent collectivement un service. [7]

## **iv. Facteurs d'espace de Localisation**

C'est l'espace dans lequel les clients et les installations sont situés. [7]

#### **v. Modèles dans le plan**

Problèmes continus de localisation qu'est un problème planaires ou on faire une programmation non linéaire. [7]

#### **vi. Modèles discrets**

Problèmes de réseau (Network Problèmes) c'est un problème d'optimisation combinatoire, sa programmation est en nombre entier. [7]

#### **vii. Facteurs de la fonction de distance**

C'est une mesure qui indique la distance ou le temps de trajet entre les clients et les installations. Et une mesure dans plan :

- Distance Rectangulaire.
- Rectilinéaire.
- Distance Euclidienne.
- Distance Max.

Pour les problèmes de réseau, les distances sont mesurées sur le réseau lui-même. Les modèles de réseau peuvent mieux convenir aux problèmes du monde réel. [7]

#### **viii. Facteurs de décisions de Localisation**

Nous pouvons classer les différentes décisions résultant différentes fonctions objectives dans le secteur public et privé tels que :

- ❖ Contrainte de qualité de service
  - Maximisation du profit.
  - Minimisation des coûts.

secteur public et privé tels que :

- ❖ Contrainte de qualité de service
  - Maximisation du profit.
  - Minimisation des coûts.
- ❖ Contrainte de coût
  - Amélioration de la qualité de service.
  - Maximisation de la couverture de demande. [7]

## **I.4 Télécommunication :**

### **I.4.1 définition :**

Les télécommunications sont définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens à base d'électronique et d'informatique. Ce terme a un sens plus large que son acception équivalente officielle « communication électronique ». Elles se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. [8]

Dans les débuts des télécommunications modernes, des inventeurs comme *Antonio Meucci*, *Alexander Graham Bell* ou *Guglielmo Marconi* ont mis au point des dispositifs de communication comme le télégraphe, le téléphone ou la radio. Ceux-ci ont révolutionné les moyens traditionnels tels que les pavillons ou le télégraphe optique Chappe. [8]

Actuellement, les télécommunications concernent généralement l'utilisation d'équipements électroniques associés à des réseaux analogiques ou numériques comme le téléphone fixe ou mobile, la radio, la télévision ou l'ordinateur. Celles-ci sont également une partie importante de l'économie et font l'objet de régulations au niveau mondial. [8]

### **I.4.2 Développement de télécommunication :**

Les services de communication sont en évolution rapide. Didier Lombard, président directeur général de France Telecom parle ainsi d'évolution des «réseaux vers un melting-pot de services et de contenus», dans son ouvrage [Lombard, 2008] sous-titré "la deuxième vie des réseaux". Les services de communication ne se limitent plus aux communications vocales interpersonnelles, mais intègrent des fonctionnalités comme email, carnet d'adresses, messagerie instantanée. [9]

Les services de contenu deviennent également des services phares, et des prototypes permettent de les coupler avec des services conversationnels. Pour permettre aux utilisateurs de gérer au mieux ce foisonnement de services, certains acteurs tentent de leur fournir la possibilité de composer des services, c'est-à-dire d'assembler eux-mêmes des éléments de service divers pour répondre à un besoin spécifique. Les frontières entre les différents services deviennent plus ténues. Par exemple, les contacts d'un service de carnet d'adresses peuvent être utilisés aussi bien pour envoyer un email que pour émettre un appel téléphonique. L'utilisateur peut ainsi accéder à un environnement de services capables d'interagir pour répondre à un besoin. C'est ce que Noémie Simoni appelle, la nouvelle génération de services. Les différents services

offerts par un opérateur télécom à ses clients ne peuvent plus être indépendants. Toutefois, construire une application monolithique regroupant tous les services est un leurre, ne serait-ce que pour des raisons de faisabilité technique, et d'agilité nécessaire dans l'introduction de nouveaux services. Les architectures de service deviennent ainsi nécessairement complexes, composées d'une multitude de modules en interaction. [10]

## **I.5 Réseaux mobile :**

### **I.5.1 Historique :**

L'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable, ces dernières années. La fin 2012 environs de 6.4 milliards d'abonnés travers le monde. C'est véritablement un nouveau secteur de l'industrie mondiale qui s'est créé, regroupant notamment constructeurs de circuits Électroniques, de terminaux mobiles, d'infrastructures de réseaux, développeurs d'applications et de services et opérateurs de réseaux mobiles. [11]

### **I.5.2 Les déferents norme téléphonique :**

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner l'heure actuelle. [11]

#### **I.5.2.1 La première génération des téléphones mobiles (1G) :**

La première génération des téléphones mobiles est apparue dans le début des années 80 en offrant un service médiocre et très couteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur). [11]

#### **I.5.2.2 La deuxième génération des téléphones mobiles (2G) :**

Le GSM est apparu dans les années 90. Il s'agit de la norme 2G. Son principe, est de passer des appels téléphoniques, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage), il a connu un succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des minimessages (SMS, limités 80 caractères). Ainsi qu'il autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, dans ce concept, ils ont pensé développer de nouvelles techniques de modulations et de codages qui ont permis d'accroître le débit pour la nouvelle génération. [11]

### **I.5.2.3 La troisième génération des téléphones mobiles (3G) :**

La 3G a été impulsée pour permettre des applications vidéo sur le mobile et améliorer la QoS du Multimédia. Les applications visées étaient la possibilité de regarder YouTube, de la visiophonie,... Outre l'augmentation de débit, un point complexe résoudre l'état de passer d'un service de téléphonie (connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets). L'idée été d'ajouter des amplificateurs avant chaque antennes, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par une autre antenne, en changeant les techniques de modulation. Pour cela il a fallu améliorer les terminaux (Smartphone, Tablette...) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit. [11]

### **I.5.2.4 La quatrième génération des téléphones mobiles (4G) (LTE) :**

La 4G est la quatrième génération de réseau mobile. Elle est la norme succédant la 3G, on étudiera cette génération plus en détail dans le prochain chapitre.

Pour résumer, la 4G c'est la norme des standards de téléphonie mobile permettant des débits jusqu'à 50 fois plus important que la première norme. [11]

#### **➤ Le réseau GSM**

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio. La figure présente l'architecture du Réseau GSM. [11]

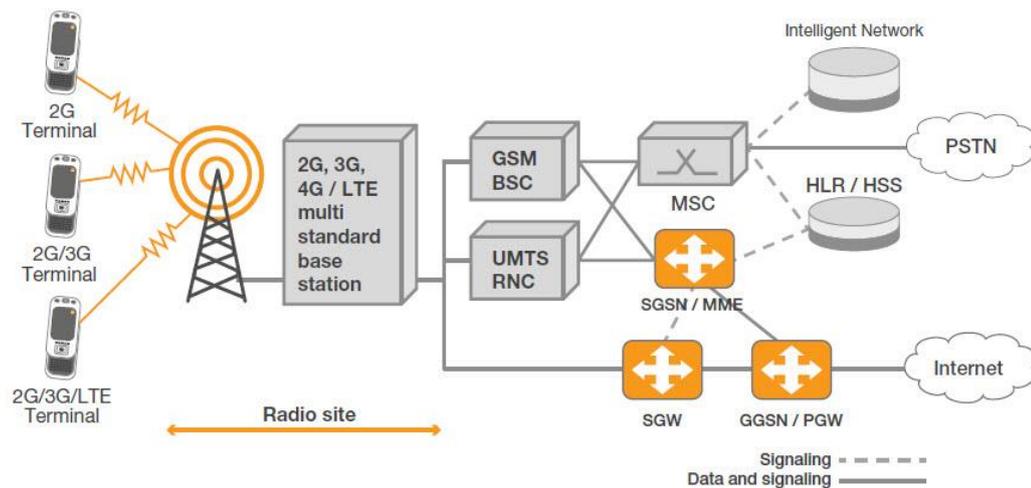


Figure I. 2 l'architecture du Réseau GSM. [12]

### I.5.2.5 La cinquième génération des téléphones mobiles (5G) :

La prochaine génération de technologie sans fil mobile sera dénommée la « 5G ». Comme son nom l'indique, elle fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile. La première génération de téléphones mobiles (« 1G »), les « téléphones de voiture », vit le jour vers 1980 ; introduits sur le marché par Motorola, ces téléphones fonctionnaient comme des radios et utilisaient leurs fréquences en mode analogique. Au début des années 1990, les téléphones de deuxième génération (« 2G ») furent développés avec une évolution vers les réseaux numériques : les débits d'échanges de données pour ces téléphones étaient bien inférieurs à 1000 bits par seconde (bps) mais des améliorations significatives en termes de performance ont été introduites en l'an 2000 (« 2,5G »). Peu de temps après, apparut la troisième génération (« 3G »), et la vitesse de débit de données atteignit 100000 bps ; l'amélioration était considérable, puisqu'il devenait possible de transmettre des appels vidéo limités, et de fournir des connexions Internet à des vitesses raisonnables. Des améliorations furent introduites dans le codage numérique de la communication (« 3.5G », vers 2009 ; « 3.9G » en 2012). [13]

1G	2.4 kbps	
2G	64 kbps	26x
3G	2 000 kbps	31x
4G	100 000 kbps	50x
5G	100 000 000 kbps	1000x

Figure I. 3 les puissance de débit par générations mobile. [13]

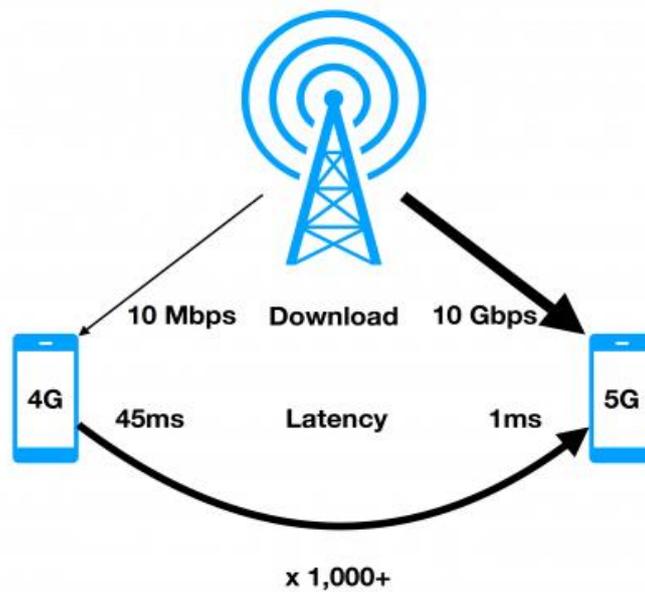


Figure I. 4 la différence entre le débit de 5G et 4G. [13]

## I.6 La chaîne logistique et réseaux mobile :

### I.6.1 Différence entre service et produit :

Les chaînes logistiques sont différentes quels que soient leurs types : « production d'un produit et une production d'un service », chacune des deux a sa propre logistique interne ou externe, mais ce qu'il est commun entre eux, est d'assurer la satisfaction du client : une entreprise de production vend un bien matériel, contrairement à celle de service, qui fournit un ou des services, tout en faisant une pré-étude qui coordonne tous les flux d'informations à travers toute la chaîne.

Une chaîne logistique est un réseau d'organisation ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse de

processus et les activités entre fournisseurs et clients. Si l'objectif de satisfaction est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à une autre.

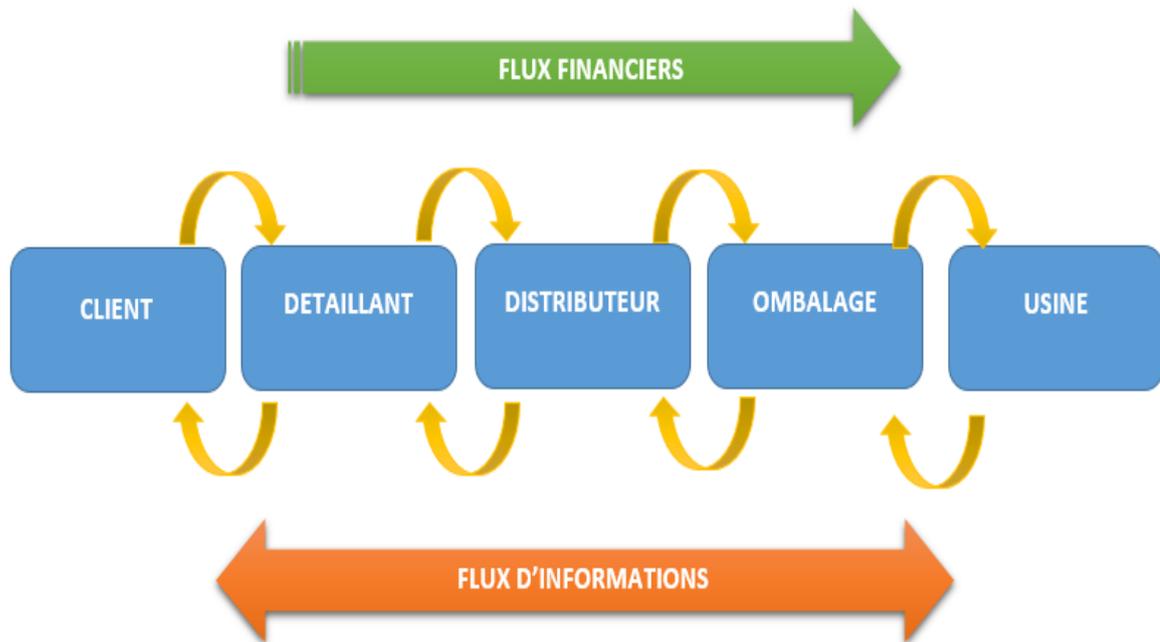


Figure 1. 5 schéma présentatif de chaîne logistique produit .

### **I.6.2 La différence entre la gestion de chaîne logistique d'un produit matériel et de service de télécommunication :**

Dans un scénario global dans la production des biens matériels, les inventaires des produits finis seront transportés vers plusieurs sites et centres de distribution, le contrôle d'inventaire et la visibilité de celui-là permet de gagner une grande importance comme un facteur essentiel de la gestion des fonctions de la chaîne logistique. En concentrant à prévoir la quantité produite pour satisfaire les demandes des clients dans les termes du concept juste à temps.

La chaîne logistique s'examine avec les questions Quoi, Comment, et quand les matériels doivent-ils être fournis et comment seront-ils transportés, et quand devront-ils arriver dans toute l'opération pour leur développement avec un minimum d'interruptions, et ce qui est le plus difficile c'est prévoir la demande dont on doit satisfaire la clientèle.

En télécommunication, toute la chaîne logistique s'apparait comme des flux de réseaux de la connexion, la couverture des signaux s'oblige à faire une bonne étude avant d'installer ses

réseaux (étude radio, génie civile, énergie), minimiser les coûts de câblage (transport) afin de distribuer la connexion, ce que fait l'appel à la gestion de la localisation des nœuds du réseau.

Pour protéger toute la chaîne logistique, l'entreprise de télécommunication doit établir : Un système de sécurité de réseaux, Des systèmes de bouclage pour protéger le réseau en cas du découpage, La maintenance préventive va jouer son rôle pour assurer un bon fonctionnement de réseaux pour que le client soit toujours satisfait, ce qui augmente les factures de la dépense globale et par la suite augmenter le coût de revient.

Assurer une sécurité de système se force d'optimiser les autres coûts pour rester compétitif, donc agir à minimiser les coûts de transport qui coûtent très chers à cause des longues distances de câblage d'une part, et de travaux de toutes les installations de réseaux d'autre part.

L'achat d'un débit de la connexion internet est l'étape initiale, alors l'entreprise fournit ce service vers toutes les villes, où il y a des demandes, apparemment la bonne localisation des nœuds joue un rôle très essentiel pour le fonctionnement de la chaîne logistique, dans chaque ville le réseau se débute de MSC vers les BSC qu'on les présente comme des distributeurs. On doit faire des travaux de génie civile pour la préparation du site qu'on a choisi, et pour servir ces zones, on utilise soit les fibres optiques ou installer des grandes antennes (FH).Le récepteur suivant sera un BSC qui joue un rôle de routeur, il fait partie de l'économie des coûts de câblage, ensuite un BTS et la dernière étape est le smartphone que le client utilise pour se connecter. Dans l'entreprise de service, la chaîne logistique est différente en :

- Pas de quantité des produits mais une capacité de connexion.
- Pas de matière première.
- Pas d'inventaire ou de rupture de stock.

Le service de télécommunication à des sous-traitants, qui traitent des étapes dans les projets de cette société comme :

- Les fournisseurs de l'électricité pour alimenter tous les réseaux.
- Les fournisseurs des câbles en cuivre, ou fibres optiques, et l'achat de tout ce qui est nécessaire pour installer ses réseaux.

En tenant compte de la main d'œuvre, par conséquent tout ce qui précède fait partie du coût de revient du service fournit « la connexion ».

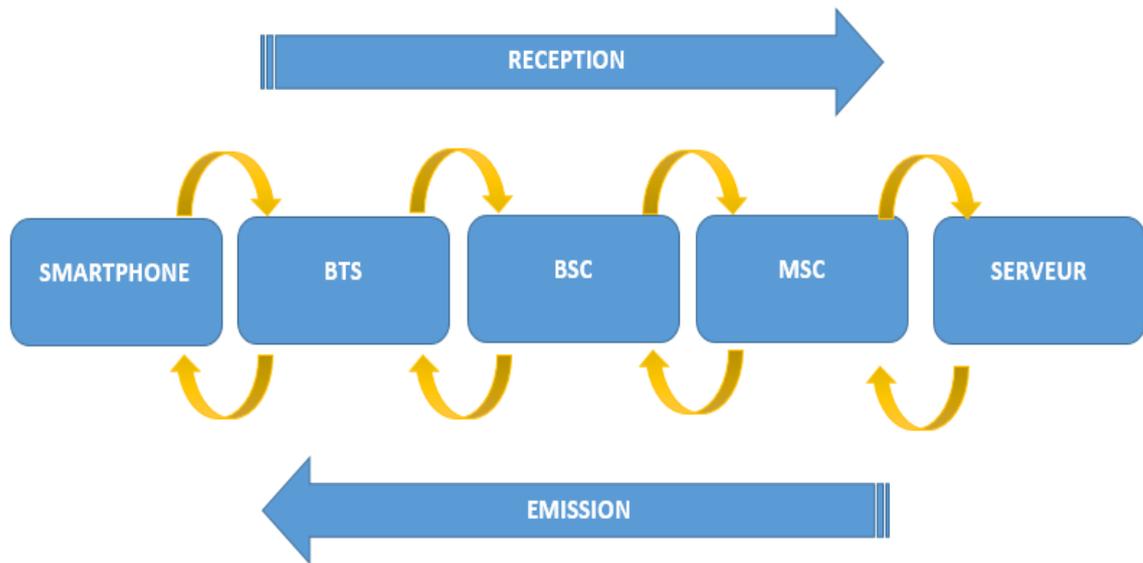


Figure I. 6 schéma présentatif de chaîne logistique télécommunication.

## I.7 Positions de problème :

Aujourd'hui la technologie des télécommunications est la plus important pour accomplir l'Évolution et la prospérité, les réseaux mobiles prends une grand partie de ce domaine dans le transfère des données et d'informations par une énorme vitesse, et comme tous les technologies, les réseaux mobile souffrière de plusieurs problèmes surtout la transition des données.

Dans la télécommunication mobile le lien entre les clients et l'architecture de réseaux c'est les BTS généralisé pour tous les cinq générations réseaux mobile.

Le positionnement d'un BTS est très important pour couvrir la zone géographique ciblé, donc la question posé, comment attend a une localisation satisfaisant de BTS ?

### I.7.1 Définition BTS (la station de base) :

La BTS (Base Transceiver Station)est un ensemble d'émetteurs-récepteurs. Elle gère les problèmes liés à la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur...). Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules. Elle réalise aussi des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule

correctement (évaluation de la distance et de la puissance du signal émis par le terminal de l'abonné): Ces mesures sont directement transmises à la **BSC(Base Station Controlers)**. [14]

### **I.7.2 Différents types stations de base (BTS) :**

Il existe différents types de BTS proposés pour répondre aux différents besoins étudiés ci-dessus. Ces stations sont conçues par différents constructeurs qui respectent strictement la norme GSM de manière à ce que le matériel de différents constructeurs puisse être compatible. Les BTS sont de puissance variable de manière à éviter les interférences entre deux cellules: comme nous le verrons, il est important de réguler la puissance du portable de manière à éviter ces mêmes interférences. [15]

- **Les BTS rayonnantes**

Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible. Elles sont situées sur des points stratégiques (sommets, pylônes...). Ces stations émettent dans toutes les directions: ce sont les stations les plus visibles. Elles couvrent des macro cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes. Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance (jusqu'à 20 Kms). [15]

- **Les BTS ciblés**

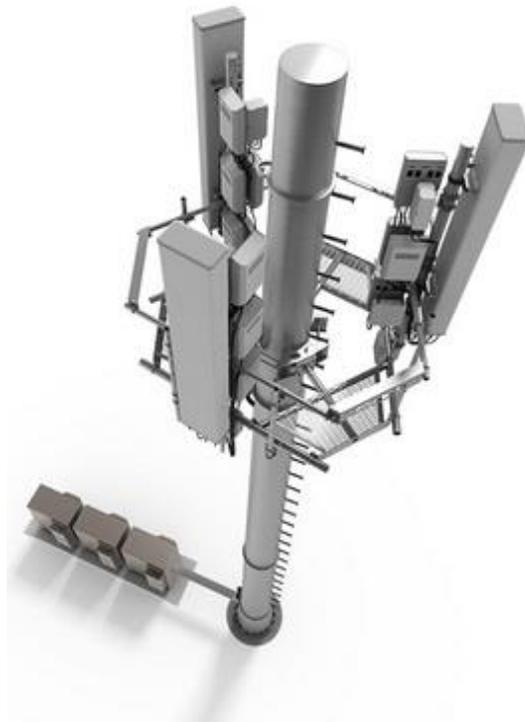
Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les retrouve en ville par exemple. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis: on peut grâce à cela réutiliser facilement le même canal dans une autre cellule à proximité. [15]

- **Les micros BTS**

Elles couvrent des zones très restreintes et sont très utilisées dans les sites où la densité d'abonnés est importante: ce sont les microcellules. On retrouve ce type de couverture dans la rue de Douala et Yaoundé. Leur grande discrétion permet de les installer dans les périmètres autour des centres villes. Une bonne étude d'implantation permet avec ce type de BTS de créer une couverture à deux niveaux: sur un premier niveau, les micro-BTS couvrent les 3 premiers mètres grâce à des émetteurs très ciblés. Un second niveau (étage plus élevé des immeubles) sera couvert par des BTS ciblés. [15]

- **Les amplificateurs de signal**

Ce ne sont pas des BTS proprement dites mais ils permettent de couvrir une autre cellule comme le ferait une véritable BTS. Les amplificateurs de signal captent le signal émis par les BTS, l'amplifient et le réémettent d'un autre site. Ils permettent de couvrir une cellule à moindre coût. De plus, ces amplificateurs ne nécessitent aucune connexion vers les BSC, ils peuvent donc être placés sans contraintes physiques (sommets isolés de tous réseaux électriques et télécoms). Idéals pour couvrir les zones à faible densité ou à relief difficile, ils sont néanmoins très gourmands en ressource réseau, car la BTS mère doit gérer tout le trafic des réémetteurs. [15]



*Figure 1. 7 équipement antenne de BTS. [16]*

## I.8 Conclusion :

La logistique est l'activité qui a pour objet de gérer les flux physiques d'une organisation, mettant ainsi à disposition des ressources correspondant aux besoins, aux conditions économiques et pour une qualité de service déterminée. Dans ce chapitre j'ai motionné le domaine ciblé par mon projet de fin études, la télécommunication.

Après plusieurs recherches concerné le domaine de télécommunication et qui est très vaste, j'ai essaies de découvre les problèmes les plus importants qui Face à ce champ. Alors j'ai fait une comparaison entre la chaine logistique de production d'un bien matériel qui est quelque choses tangible bien fait des produits et la chaine logistique qui fourni des services qu'ils sont offrir des produits intangible.

En effet, les entreprises de télécommunication livrée sans services par une infrastructure basée sur les réseaux de tous types. Alors la chaîne logistique d'une organisation de télécommunication est bien fait a trévère le soutient de réseaux avec files ou réseaux sans files.

Dans ce mémoire j'ai intéressé par le réseaux mobiles, le réseaux le plus connait est le réseaux **GSM**, dans ce contexte l'architectures de **GSM** joue un rôle tes important pour le transport de flux d'information de services télécoms. Et Avec la croissance exponentielle de l'Internet et l'incroyable d'développement des applications réseaux par la vue de nouvelle génération de réseaux (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre), j'ai chercher de la logistique de ces réseaux qui est commence par les grand serveur d'internet ,arrivée au territoire de payes par des câbles du grand capacité installé sur des métro switch **MSC** et devisé antre plusieurs base de station de contrôle **BSC** et se terminer aves des Stations émettrice-réceptrice de base **BTS**, ces dernier servir des clients de entreprises déférant de télécommunication. Tout se flux est supporté par des normes et des technologies et plusieurs protocoles réseaux.

La chaine logistique de réseaux mobiles face à plusieurs problèmes, parmi ces problèmes le problème de localisation de stations de trafic de réseaux comme les BTS et LES BSC, alors dans le chapitre suivent je veux de adapté ce problème avec des méthodes de résolution

# **CHAPITRE II**

**LES APPROCHES  
D'OPTIMISATION ET  
METAHEURISTIQUE**

## II.1 Introduction :

Après l'élaboration de la première phase d'étude qui consiste de définir le Domain étudié du cas télécommunication pour la résolution du problème de localisation les base des transaction réseaux (BTS), qui est une problème de optimisation, alors dans ce chapitre je veux faire un études sur les méthodes de résolution exacte et résolution approché.

L'optimisation combinatoire (OC) occupe une place très importante en recherche opérationnelle et en informatique. De nombreuses applications pouvant être modélisées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire (POC) telles quelle problème du voyageur de commerce, l'ordonnancement de tâches, le problème de la coloration de graphes, etc. (POC) comprend un ensemble fini de solutions, où chaque solution doit satisfaire un ensemble de contraintes relatives à la nature du problème, et une fonction objectif pour évaluer chaque solution trouvée. La solution optimale est celle dont la valeur de l'objectif est la plus petite (resp. grande) dans le cas de minimisation (resp. maximisation) parmi l'ensemble de solutions.

Si les méthodes de résolution exactes permettent d'obtenir une solutions dont l'optimalité est garantie, dans certaines situations, on peut cependant chercher des solutions de bonne qualité, sans garantie d'optimalité, mais au profil d'un temps de calcul plus réduit. Pour cela ,On applique des méthodes appelées méta heuristiques, adaptées à chaque problème traité, avec cependant l'inconvénient de ne disposer en retour d'aucune information sur la qualité des solutions obtenues.

Les heuristiques ou les méta-heuristiques exploitent généralement des processus aléatoires dans l'exploration de l'espace de recherche pour faire face à l'explosion combinatoire engendré par l'utilisation des méthodes exactes. En plus de cette base stochastique, les méta-heuristiques sont le plus souvent itératives, ainsi le même processus de recherche est répété lors de la résolution. Leur principal intérêt provient justement de leur capacité à éviter les minima locaux en admettant une dégradation de la fonction objectif au cours de leur progression.

## II.2 Définition de problèmes d'optimisation :

L'optimisation se définit comme la sélection du meilleur élément (appelé optimum) parmi un ensemble d'éléments autorisés (appelé espace de recherche), en fonction d'un critère de comparaison. Un problème d'optimisation  $P$  peut être décrit comme un triple  $(S, C, F)$  ou :  $S$  : est l'espace de recherche défini sur un ensemble de variables de décisions.  $C$  : est l'ensemble de contraintes d'égalités ou inégalités qui doivent être satisfaites pour qu'une solution soit faisable.  $F$  : est la fonction objective (fonction de cout) qui assigne une valeur du coût positive à chaque élément (ou solution) de  $S$ . [17]

Plusieurs problèmes d'optimisation dépendent du choix de la meilleure configuration de l'ensemble de variables pour atteindre ses objectifs, ils peuvent se découper en deux catégories : les problèmes où les solutions sont codées avec des valeurs réelles (Problème Continu) et les problèmes où les solutions sont codées avec des variables discrètes (problème Combinatoire) que nous nous intéressons dans notre thèse. . Il existe aussi des problèmes mixtes qui utilisent à la fois des variables continues et discrètes. Il existe autre classification des problèmes d'optimisation, dont nous citons les plus connues. [17]

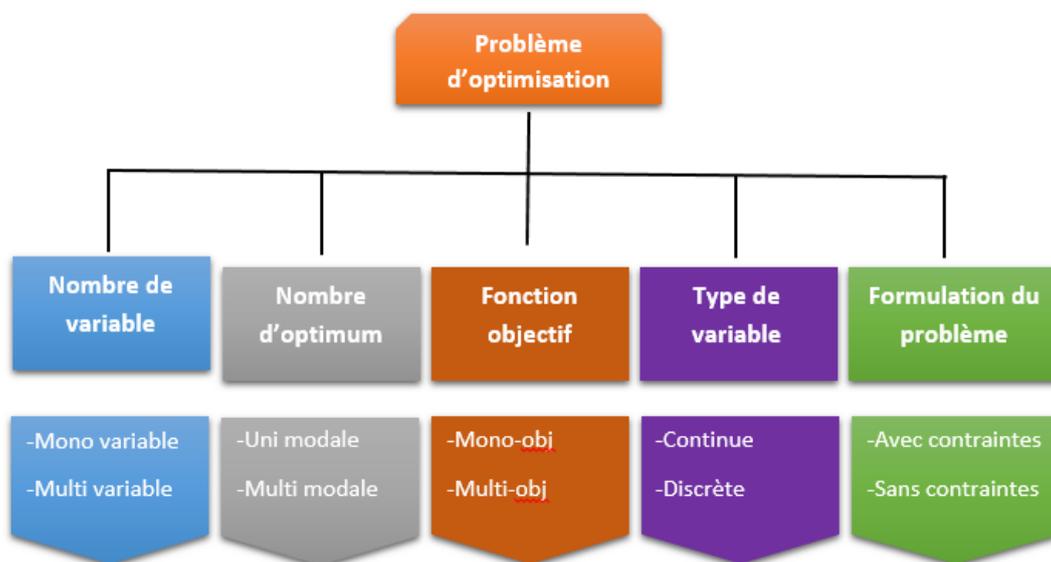


Figure II. 1 Classification des problèmes d'optimisation.

Un problème d'optimisation combinatoire est généralement caractérisé par un ensemble fini de solutions admissibles  $W$  et une fonction objectif  $F$ , associant une valeur à

chaque solution admissible. La résolution du problème consiste à déterminer la ou les solution(s) de  $W$  minimisant ou maximisant  $F$ , c'est-à-dire l'optimum global. [17]

Cependant il peut exister des solutions intermédiaires, qui sont également des optimums, mais uniquement pour un sous-espace restreint de l'espace de recherche : on parle alors sur la Classification des problèmes d'optimisation. Cette notion est illustrée sur la figure II.1.

### **II.3 Classification des méthodes d'optimisation :**

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique. Bien que les problèmes d'optimisation combinatoire soient souvent faciles à définir, ils sont généralement difficiles à résoudre. Étant donnée l'importance de ces problèmes, de nombreuses méthodes de résolution ont été développées en recherche opérationnelle (RO) et en intelligence artificielle (IA). Ces méthodes peuvent être classées sommairement en deux grandes catégories illustrées dans la figure II.2 :

- Les méthodes exactes (complètes) qui garantissent la complétude de la résolution.
- Les méthodes approchées (incomplètes) qui perdent la complétude pour gagner en efficacité. [18]

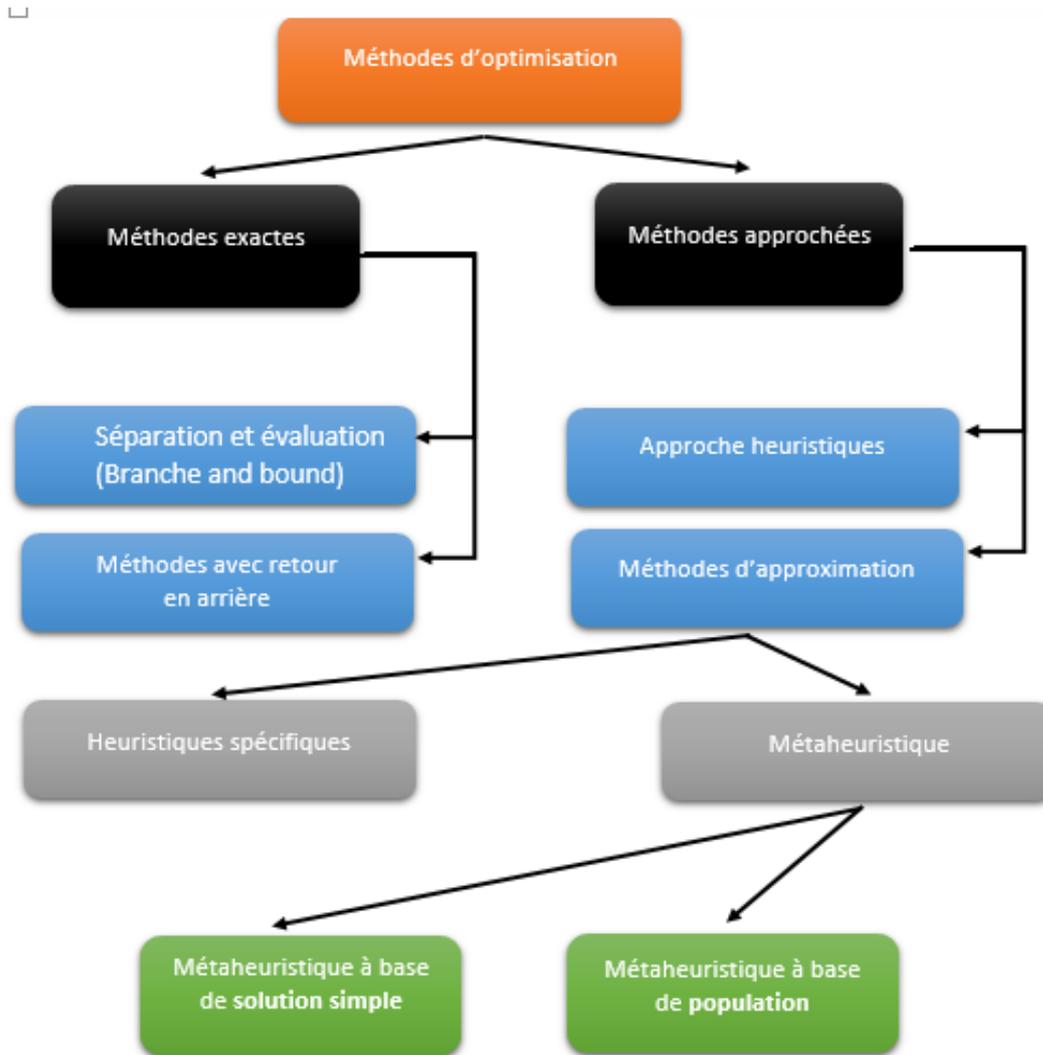


Figure II. 2 classification des méthodes d'optimisation.

## II.4 Les méthodes exactes :

Les méthodes exactes regroupent l'ensemble des méthodes permettant la garantie de trouver la solution optimale pour une instance de taille finie dans un temps limité et de prouver son optimalité. Elles s'opposent aux heuristiques, car les méthodes exactes permettent d'obtenir théoriquement la solution optimale et non une solution approchée. [19]. Ces méthodes considèrent le problème d'ordonnancement comme un problème d'optimisation où l'on cherche une solution pour une fonction objectif généralement unique. Dans cette catégorie on peut classer la programmation linéaire (PL), la programmation linéaire en nombres entiers, les procédures par séparation et évaluation progressive (Branch and Bound), la relaxation lagrangienne, la programmation dynamique...

### II.4.1 Séparation et évaluation (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. [20]

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. Bien entendu, 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 tôt). [21]

- **L'évaluation**

L'évaluation permet de réduire l'espace de recherche en éliminant quelques sous-ensembles qui ne contiennent pas la solution optimale. L'objectif est d'essayer d'évaluer l'intérêt de l'exploration d'un sous-ensemble de l'arborescence.

Le branch-and-bound utilise une élimination de branches dans l'arborescence de recherche de la manière suivante : la recherche d'une solution de coût minimal, consiste à mémoriser la solution de plus bas coût rencontré pendant l'exploration, et à comparer le coût de chaque nœud parcouru à celui de la meilleure solution. Si le coût du nœud considéré est supérieur au meilleur coût, on arrête l'exploration de la branche et toutes les solutions de cette branche seront nécessairement de coût plus élevé que la meilleure solution déjà trouvée. [1]

- **La séparation**

La séparation consiste à diviser le problème en sous-problèmes. Ainsi, en résolvant tous les sous-problèmes et en gardant la meilleure solution trouvée, on est assuré d'avoir résolu le problème initial. Cela revient à construire un arbre permettant d'énumérer toutes les solutions. L'ensemble de nœuds de l'arbre qu'il reste encore à parcourir comme étant susceptibles de contenir une solution optimale, c'est-à-dire encore à diviser, est appelé ensemble des nœuds actifs. [1]

- **L'algorithme général**

Par convenance, on représente l'exécution de la méthode de branch-and-bound à travers une arborescence. La racine de cette arborescence représente l'ensemble de toutes les solutions du problème considéré. Dans ce qui suit, nous résumons la méthode de branch-and-bound sur des problèmes de minimisation.

Pour appliquer la méthode de branch-and-bound, nous devons être en possession :

- d'un moyen de calcul d'une borne inférieure d'une solution partielle
- d'une stratégie de subdiviser l'espace de recherche pour créer des espaces de recherche de plus en plus petits.
- d'un moyen de calcul d'une borne supérieure pour au moins une solution. [21]

## II.5 Les méthodes approchées :

Les méthodes exactes permettent de trouver une ou plusieurs solutions dont l'optimalité est garantie. Dans certaines situations, on peut obtenir de solutions de bonnes qualités sans garantie d'optimalité mais avec un temps de calcul réduit (les méthodes approchées) [22]

Les méthodes approchées constituent une alternative très intéressante pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille si l'optimalité n'est pas primordiale. En effet, ces méthodes sont utilisées depuis longtemps par de nombreux praticiens [18]

La figure II.3 suivante décrit un schéma représentatif des méthodes approchées :

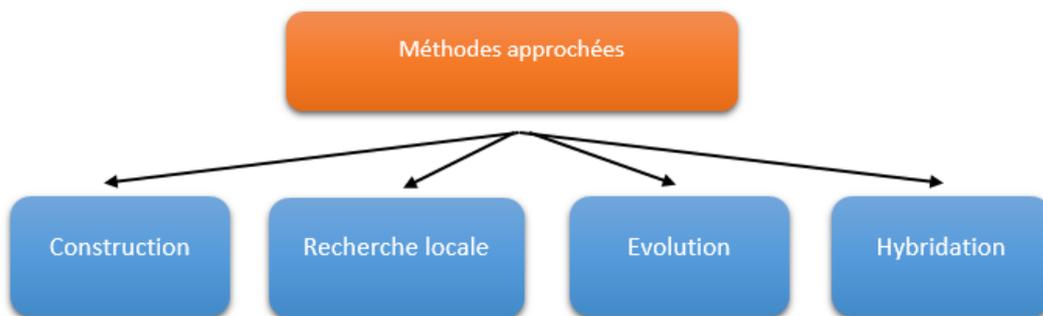


Figure II. 3 paradigmes des méthodes approchées.

- Construction : déterminer la qualité des composantes d'une solution avec une fonction heuristique, et à chaque étape retenir la 'meilleure' composante et l'ajouter •
- Recherche locale (ou voisinage) : le principe d'une recherche locale est de partir d'une solution sinon approchée du moins potentiellement bonne et d'essayer de l'améliorer itérativement. Pour améliorer une solution on ne fait que de légers changements (on parle de changement local, où de solution voisine) •
- Évolution : une population de solutions évolue par des opérateurs génétiques (sélection, croisement, mutation).
- Hybridation : mélange des approches précédentes  
Depuis une dizaine d'années, des progrès importants ont été réalisés avec l'apparition d'une nouvelle génération de méthodes approchées puissantes et générales, souvent appelées les **métaheuristiques**.

Dans la section suivant, nous présentons en détail cette classe des méthodes d'optimisation (Métaheuristiques).

### II.5.1 Les métaheuristiques :

Les méthodes dites, métaheuristiques consistent à explorer intelligemment l'espace des solutions possibles pour trouver une solution satisfaisante. Depuis les dernières décennies, ces approches suscitent un intérêt croissant pour leur capacité de fournir des solutions de bonne qualité en un temps de calcul réduit. Pour cela, de nombreuses métaheuristiques ont été conçues pour la résolution d'une famille de problèmes de plus en plus complexes dites NP-difficile.

Malgré, qu'il n'est jamais garanti que leur utilisation aboutisse à la découverte d'une solution et il est encore moins sûr qu'une solution optimale soit atteinte, ces techniques ont prouvées leurs capacité à résoudre avec succès une large gamme de problèmes auxquels elles sont appliquées. Parmi les métaheuristiques. [23] De puis des années 1980, les Metaheuristique ont été appliquées dans le but est de résoudre au mieux les problèmes dits d'optimisation difficile et de trouver des solutions dont la qualité est au-delà de ce qu'il aurait été possible de réaliser avec une simple heuristique. Elles partent de principes plus génériques que les

heuristiques et sont susceptibles de s'appliquer à un cadre plus large de problèmes, tandis qu'une heuristique est particulière pour un problème donné [7].

## **Définitions :**

Le mot métaheuristique est dérivé de la composition de deux mots grecs : *méta*, du grec « au-delà » (ou « à un plus haut niveau ») et heuristique et *heuriskein* et qui signifie (trouver). En effet, ces algorithmes se veulent des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes déferents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé. Les métaheuristiques sont en général non-déterministes 3, elles peuvent ne pas trouver la solution optimale, et encore moins prouver l'optimalité de la solution trouvée. [24]

### **Définition(1)**

Une métaheuristique est formellement défini comme une génération itérative processus qui guide une heuristique subordonnée en combinant intelligemment différents concepts pour l' exploration et l'exploitation de l' espace de recherche , les stratégies d'apprentissage sont utilisés pour structurer l'information afin de trouver des solutions de manière efficace quasi-optimales [8].

### **Définition (2)**

Les métaheuristiques sont définies comme un processus itératif maitre qui guide et modifie des heuristiques subordonnées dans le but d'efficacement produire des solutions de haute qualité. Une métaheuristique peut manipuler une ou plusieurs solution complètes(ou incomplètes) a chaque itération. Les heuristiques subordonnées peuvent être des procédures de haut(ou bas) niveau, ou de simple recherche locale ou juste des méthodes de construction [11].

## **II.5.1.1 Caractéristiques des métaheuristiques :**

Les principales caractéristiques attachées aux métaheuristiques sont les suivantes:

- La plupart des métaheuristiques sont des algorithmes incertains utilisant des processus aléatoires comme moyens de récolter de l'information et de parcourir l'espace de recherche afin de trouver une solution satisfaisante. [25]

- Les métaheuristiques ne donnent aucune garantie d'optimalité. > Les métaheuristiques peuvent utiliser l'expérience acquise durant le processus de recherche pour guider les étapes suivantes du processus. [25]
- En plus de cette base stochastique, les métaheuristiques sont généralement itératives, c'est à dire qu'un même schéma de recherche est appliqué plusieurs fois au cours de l'optimisation, et directes, c'est à dire qu'elles n'utilisent pas l'information du gradient de la fonction objectif. [25]
- Elles sont inspirées par analogie avec la réalité : avec la physique (le recuit simulé), avec la biologie (les algorithmes génétiques) ou avec l'éthologie (les colonies de fourmis)... [25]
- Les métaheuristiques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être piégé dans des zones de l'espace de recherche. Elles partagent aussi les mêmes inconvénients tels que la difficulté de réglage de ces paramètres. [25]

### **II.5.1.2 Classification des Métaheuristiques:**

Bien que les métaheuristiques partagent plusieurs caractéristiques communes, il existe cependant des points différences entre ces approches. Les métaheuristiques peuvent être classées selon :

- Le principe de fonctionnement durant la recherche de la solution (i.e La manipulation d'une solution à la fois (recherche locale ou méthodes de trajectoire) ou un ensemble des solutions (à base de population)).
- Leur origine (Inspiration de la nature ou non).
- Utilisation de l'historique de la recherche (mémoire).

### **II.5.2 Recherche Locale (Méthodes de trajectoire) :**

Les métaheuristiques de recherche locale ou les méthodes itératives à solution unique sont basées sur un algorithme de recherche de voisinage qui commence avec une solution initiale, puis l'améliore à pas en choisissant une nouvelle solution dans son voisinage, le voisinage d'une solution est défini en fonction du problème à résoudre : passent d'une solution  $s$  à une autre dans l'espace des solutions candidates (l'espace de recherche) qu'on note  $S$ ,

jusqu'à ce qu'une solution considérée comme optimale soit trouvée ou que le temps réparti soit dépassé. Nous présenterons ici les méthodes les plus classiques et les plus utilisées qui sont : le recuit simulé, la recherche tabou et la méthode de descente (recherche locale). [25]

### II.5.2.1 Le Recuit simulé (RS):

Le recuit simulé (simulated annealing) Le recuit simulé (SA) a été introduit par (Kirkpatrick et al. 1983) et (Cerný 1985) comme une méthode de recherche locale normale, utilisant une stratégie pour éviter les minima locaux. Cette métaheuristique est basée sur une technique utilisée depuis longtemps par les métallurgistes qui, pour obtenir un alliage sans défaut, faisant alterner les cycles de réchauffage (ou de recuit) et de refroidissement lent des métaux. Le recuit simulé s'appuie sur des travaux faits par (Metropolis et al. 1953), qui ont pu décrire l'évolution d'un système en thermodynamique. [1]

Le principe du recuit simulé est de parcourir de manière itérative l'espace des solutions. On part avec une solution notée  $s_0$  initialement générée de manière aléatoire dont correspond une énergie initiale  $E_0$ , et une température initiale  $T_0$  généralement élevée. A chaque itération de l'algorithme, un changement élémentaire est effectué sur la solution, cette modification fait varier l'énergie du système  $\Delta E$ . Si cette variation est négative (la nouvelle solution améliore la fonction objective, et permet de diminuer l'énergie du système), elle est acceptée. Si la solution trouvée est moins bonne que la précédente alors elle sera acceptée avec une probabilité  $P$  calculée suivant la distribution de Boltzmann suivante :

$$P(E,T) = \exp(-\Delta E/T) \quad (1.2)$$

En fonction du critère de Metropolis, un nombre  $e \in [0,1]$  est comparé à la probabilité  $p = \exp(-\Delta E/T)$ . Si  $p \leq e$  la nouvelle solution est acceptée. Le fonctionnement du critère de Metropolis est interprété par – Si  $\Delta E = f(s_0) - f(s) < 0$  alors  $e^{-\Delta E/T} > 1$ , donc  $e$  est toujours inférieur à cette valeur, et on accepte la solution  $s_0$  \* Si  $\Delta > 0$  \* et  $T$  est très grande, alors  $e^{-\Delta E/T} \sim 1$ , tout voisin est systématiquement accepté. – et  $T$  est très petite, alors  $e^{-\Delta E/T} \sim 0$ , une dégradation a peu de chances d'être acceptée. [1]

- **Algorithme du RS :**

Le choix de la température est primordial pour garantir l'équilibre entre l'intensification et la diversification des solutions dans l'espace de recherche. Premièrement, le choix de la température initiale dépend de la qualité de la solution de départ. Si cette solution est choisie

aléatoirement, il faut prendre une température relativement élevée. On utilise souvent la règle suivante :  $T_{k+1} \leftarrow T_k \cdot \alpha$  où  $\alpha \in [0,1]$ , un paramètre qui exprime la diminution de la température de l'itération  $k$  à  $k+1$ . La décroissance de la température peut également être réalisée par paliers (en d'autres termes, elle ne change qu'après un certain nombre d'itérations). Certains préconisent l'utilisation de stratégies non monotones. On peut ainsi rehausser la température lorsque la recherche semble bloquée dans une région de l'espace de recherche. On peut alors considérer une grande augmentation de la température comme un processus de diversification alors que la décroissance de la température correspond à un processus d'intensification. [1]

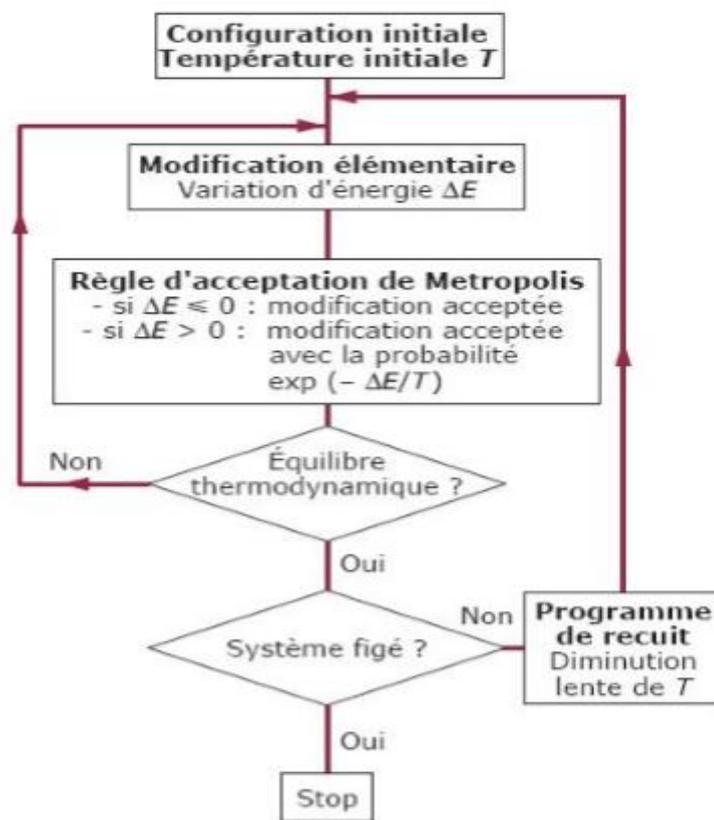


Figure II. 4 Fonctionnement de l'algorithme de recuit simulé. [16].

- **Domaines d'applications**

Depuis son apparition, la méthode du recuit simulé a prouvé son efficacité dans des différents domaines:

- **Conception électronique** : La conception des circuits intégrés « problème de placement et de répartition ».

- Traitement d'images : La segmentation d'images
- L'organisation des réseaux : Le routage des paquets dans les réseaux
- Problème du voyageur de commerce.
- Problème du sac à dos.

- **Avantages et inconvénients :**

**Avantage :**

- Très simple, rapide et Facile à implémenter.
- Le principal avantage du RS est donc de pouvoir sortir d'un minimum local, en fonction d'une probabilité d'acceptation liée à une fonction exponentielle.
- Convergence vers un optimum global, la prédiction de la future à partir du présent ne nécessite pas la connaissance du passé : cette métaheuristique ne nécessite pas de mémoire (passé) afin de trouver les espaces de recherche locaux suivants (futur).
- Donne généralement de bonnes solutions par rapport aux algorithmes de recherche classiques.
- Peut être utilisé dans la plupart des problèmes d'optimisation.
- Elle a donnée d'excellents résultats pour nombres de problèmes, le plus souvent de grande taille.

- **Inconvénients :**

- Très coûteuse en temps de calcul.
- L'impossibilité de savoir si la solution trouvée est optimale.
- La difficulté de déterminer la température initiale : Si elle est trop basse, la qualité de recherche sera mauvaise. Si elle est trop haute, le temps de calcul sera élevé.
- Dégradation des performances pour les problèmes où il y a peu de minimas locaux (comparé avec les heuristiques classiques comme la descente du gradient par exemple).

## II.5.2.2 Recherche tabou:

- **Définition :**

Méthode heuristique de recherche locale utilisée pour résoudre des problèmes complexes et/ou de très grande taille. La RT a plusieurs applications en programmation non linéaire (PNL). [26]

- **Principe de base :**

1. poursuivre la recherche de solutions même lorsqu'un optimum local est rencontré et ce, ven permettant des déplacements qui n'améliorent pas la solution ven utilisant le principe de mémoire pour éviter les retours en arrière (mouvements cycliques)
2. •Dans recuit simulé, pour ne pas rester bloqué dans un minimum local, le recuit simulé accepte de façon probabiliste des configurations accroissant temporairement le coût de la solution.

•La recherche Tabou procède de même, mais de manière déterministe, en prenant comme nouvelle configuration celle qui a le coût le plus faible dans le voisinage de la configuration courante même si elle est moins bonne que la configuration courante. •Cette stratégie présente cependant l'inconvénient de pouvoir se bloquer dans des cycles, i.e. revenir sur des configurations déjà rencontrées. C'est pourquoi, pour ne pas boucler et permettre de sortir des pièges formés par les minima locaux, on contraint la recherche, en classant certains mouvements (le passage d'une configuration à une autre) comme tabous ( interdits ) [20]

- **Algorithme de base**

### Hypothèse

Le problème à résoudre peut se formuler de la manière suivante:

$$\min f (s) \quad s \in S$$

**f** : la fonction objectif

**s** : une solution réalisable

**S** : ensemble des solutions réalisables

### Schéma de l'algorithme tabou de base

- Engendrer une configuration initiale  $s_0$  ;  $s := s_0$
- $s^* := s$  ;  $f^* := f(s)$
- $T := \{\}$  // liste taboue
- Répéter
  - $m :=$  le meilleur mouvement parmi les mouvements non tabous et mouvements tabous exceptionnels (améliorant la meilleure solution)
  - $s := s \oplus m$
  - si  $f(s) < f(s^*)$  Alors  $s^* := s$  ;  $f^* := f(s)$
  - Mettre  $T$  à jour (ajouter cycliquement  $m$  à  $T$ ) ;
- Jusqu'à <condition fin>
- Retourner  $s^* \in$

### Algorithme de base Voisinage

On définit pour toute solution  $s \in S$  un ensemble  $N(s) \subset S$  qu'on appellera ensemble des solutions voisines de  $s$ .

Exemple: pour le problème d'affectation quadratique:

- $s$  est une permutation des  $n$  objets
- $N(s)$  l'ensemble des solutions obtenues en transposant à chaque fois deux objets de  $s$ . [20]

1 2 3 4 5 6 7 8  $\rightarrow$  1 2 7 4 5 6 3 8

1 2 3 4 5 6 7 8  $\rightarrow$  1 5 3 4 2 6 7 8

## II.5.3 Métaheuristiques à base de population :

### II.5.3.1 Algorithme génétique (AG) :

#### Principe de base de l'AG:

Les algorithmes génétiques, sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection. L'analogie entre la théorie de l'évolution consiste à considérer les solutions appartenant à l'espace de recherche du problème à optimiser comme des chromosomes et des individus soumis à l'évolution. Le vocabulaire utilisé est le même que celui de la théorie de l'évolution et de la génétique, on emploie le terme individu (solution potentielle), Chaque individu est un codage ou une représentation (binaire, entiers, ...) pour une solution candidate d'un problème donné (de même qu'un chromosome est formé d'une chaîne de gènes) Dans chaque chromosome, les gènes sont les variables du problème et leurs valeurs possibles sont appelées allèles (alleles). (Voir figure II.5). La fonction de codage associe à chaque phénotype (la solution du problème réel) une représentation de génotype.

Le génotype est utilisé au cours de l'étape de reproduction de l'algorithme alors que le phénotype est nécessaire pour l'évaluation du coût d'un individu. [25]

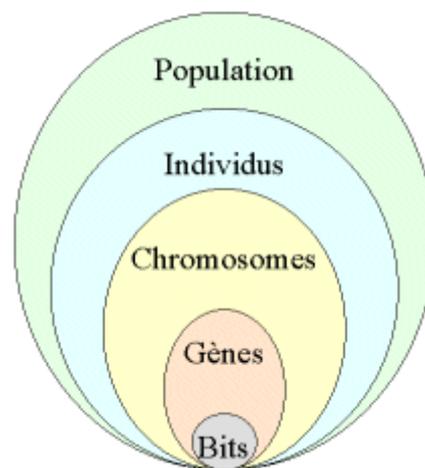


Figure II. 5 Les concepts principaux utilisés dans les algorithmes génétiques. [25]

#### Processus de l'AG :

Un algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Son mise en œuvre nécessite les opérations principales suivantes:

**Le codage :** La première étape est de définir et coder convenablement le problème. Cette phase détermine la structure de données qui sera utilisée pour coder le génotype des individus de la population. Le codage doit donc être adapté au problème traité. Plusieurs types de codages sont utilisés dans la littérature, les premiers résultats théoriques sur les algorithmes génétiques ont opté pour un codage binaire. [25]

**Génération de la population initiale :** C'est-à-dire le choix des dispositifs de départ que nous allons faire évoluer. Ce choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme. Néanmoins, une initialisation aléatoire est plus simple à réaliser : les valeurs des gènes sont tirées au hasard selon une distribution uniforme. [25]

**Évaluation de la fonction d'adaptation (Fitness) :** L'évaluation de la Fitness est généralement l'étape dans laquelle on mesure la performance de chaque individu. Pour pouvoir juger la qualité d'un individu et ainsi le comparer aux autres, il faut établir une mesure commune d'évaluation. Aucune règle n'existe pour définir cette fonction, son calcul peut ainsi être quelconque, que ce soit une simple équation ou une fonction affine. La manière la plus simple est de poser la fonction d'adaptation comme la formalisation du critère d'optimisation. [25]

**Phase de sélection :** Permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais, pendant le passage d'une génération à une autre, ce processus est basé sur la performance de l'individu. L'opérateur de sélection doit être conçu pour donner également une chance aux mauvais éléments, car ces éléments peuvent, par croisement ou mutation, engendrer une descendance pertinente par rapport au critère d'optimisation. Il existe différentes techniques de sélection :

- • Sélection uniforme : On choisit au hasard  $n$  individus. Pas très efficace
- • Sélection par rang : On choisit toujours les  $n$  meilleurs individus. Efficace, mais risque de provoquer une convergence trop rapide vers un optimum local
- • Sélection par tournois : On choisit (uniformément ou non) des paires d'individus et on les fait "s'affronter" : le plus adapté sera choisi Chacun de ces types de sélection peut être enrichi d'un mécanisme élitiste : on garde toujours le meilleur individu (pour ne pas "régresser" dans notre recherche. . .) [25]

### **Opérateur de croisement**

L'opérateur de croisement favorise l'exploration de l'espace de recherche et enrichit la diversité de la population en manipulant la structure des chromosomes, le croisement fait avec

deux parents et génère deux enfants, en espérant qu'un des deux enfants au moins héritera de bons gènes des deux parents et sera mieux adapté qu'eux (voir Figure II.6)

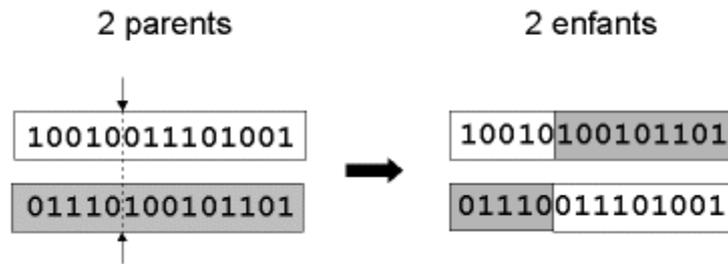


Figure II. 6 Représentation schématique d'un croisement dans le cas d'un codage binaire [27]

### Opérateur de mutation

Cet opérateur altère un seul individu. L'opérateur de mutation est un processus où un changement mineur du code génétique appliqué à un individu pour introduire de la diversité et ainsi d'éviter de tomber dans des optimums locaux. Voir Figure II.7

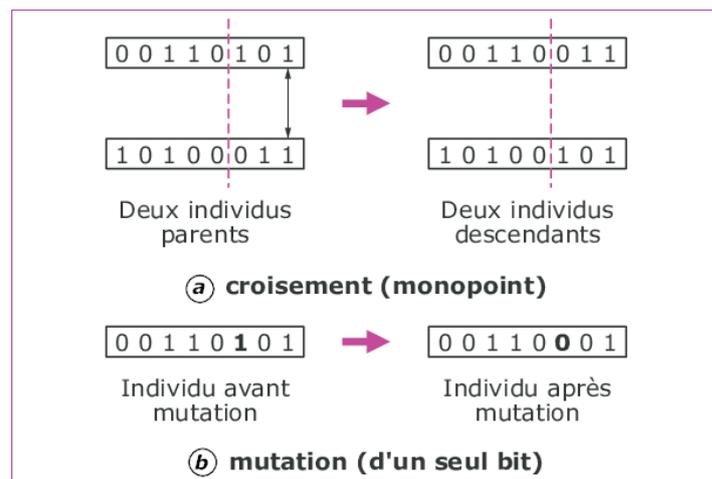


Figure II. 7 Représentation schématique de l'opérateur de mutation [28].

### **II.5.3.2 Estimation de distribution :**

Les algorithmes à estimation de distribution (EDA) utilisent des techniques d'apprentissage pour résoudre des problèmes d'optimisation, en essayant d'"apprendre" au fur et à mesure les régions les plus prometteuses de l'espace de recherche. Plus particulièrement, un modèle probabiliste est utilisé pour engendrer des solutions candidates, l'apprentissage est utilisé pour adapter le modèle probabiliste et pour explorer des régions de l'espace de plus en plus prometteuses.

Chaque composante (variable) dans un individu est appelée gène. Ces dernières composantes (gènes) sont parfois indépendantes les unes des autres, et d'autres fois corrélées. Mais des communications et des échanges d'informations sont effectués entre individus à l'aide des opérateurs de sélection et de combinaison. Ce type d'échange permet de combiner des solutions (individus) partielles pour engendrer des solutions de haute qualité (Holland 1975 ; Goldberg 1989). Le comportement des AGs dépend du choix des opérateurs de sélection, croisement, mutation, des probabilités de croisement et de mutation, la taille de la population, la vitesse de reproduction d'une génération, le nombre de générations, etc. Mais le problème d'interaction entre les variables est rarement considéré. Ce qui a pour conséquence de produire des enfants de moindre qualité à partir de la combinaison fixe des deux parents, d'où des convergences vers des optimums locaux.

Pour éviter cela, le processus de combinaison des deux parents est remplacé par une génération de nouvelles solutions, selon une distribution de probabilité sur toutes les solutions prometteuses de la génération précédente. Cette nouvelle approche est appelée algorithme à estimation de distribution (EDA). Un pseudo-code de l'approche EDA est donné dans l'algorithme 1.6. Les EDAs ont été introduits dans le domaine évolutionnaire par Mühlenbein et Paab (1996).

Dans les EDAs le problème d'interaction entre les variables d'individus est pris en considération. Dans les algorithmes évolutionnaires, les interactions sont considérées implicitement, tandis que, dans les EDAs, ces interactions sont explicitement exprimées via des distributions de probabilités associées à des individus, dont les variables ont été sélectionnées à chaque génération.

---

**Algorithme 1.6** Un algorithme à estimation de distribution

---

**Étape 1 :**  $D_0 \leftarrow$  Engendrer aléatoirement  $M$  individus (la population initiale).

**Étape 2 :**  $D_{l-1}^{se} \leftarrow$  Répéter les étapes 3-5 pour  $l = 1, 2, \dots$  jusqu'à ce que les critères d'arrêt soient atteints.

**Étape 3 :** Sélectionner  $N$  individus à partir de  $D_{l-1}$  selon les méthodes de sélection.

**Étape 4 :**  $pl(x) = p(x|D_{l-1}^{se})$  Estimer la distribution de probabilité d'un individu sélectionné.

**Étape 5 :**  $D_l \leftarrow$  Échantillonner  $M$  individus (la nouvelle population) selon  $pl(x)$ .

---

La probabilité de distribution est calculée à partir d'une base de données contenant des individus sélectionnés de la génération précédente. Les méthodes de sélection utilisées pour les AGs peuvent être également utilisées pour les EDAs.

L'échantillonnage de cette dernière distribution engendre des enfants (nouveaux individus). Ni les opérateurs de mutation, ni les opérateurs de croisement, n'ont été appliqués sur les EDAs. Il faut noter que l'estimation de la distribution de probabilité associée à la base de données contenant les individus n'est pas une tâche facile. [27]

## **II.6 Conclusion :**

L'intérêt pour les méthodes d'optimisation a augmenté ces dernières années. En effet, Dans ce chapitre, nous avons proposé d'étendre une taxonomie existante pour les méthodes impliquant des approches heuristiques afin d'envisager des schémas de coopération entre méthodes exactes et métaheuristiques. Premièrement, nous avons défini des approches naturelles pour les différents problèmes d'optimisation de coopération rencontrés et des propositions pour la résolution de problème de localisation, pour chaque modèle, des exemples tirés de la littérature. Ensuite, j'ai déterminé quelques méthodes très reconnues de métaheuristiques.

Les métaheuristiques sont une famille d'algorithmes de type stochastique destinés à résoudre des problèmes d'optimisation difficile. Ces méthodes ne fournissent aucune garantie sur la qualité des résultats, mais présentent l'avantage de résoudre avec succès plusieurs problèmes sans pour autant que l'utilisateur ait à modifier la structure de base de l'algorithme qu'il utilise. Souvent inspirées d'analogies avec la réalité comme l'éthologie (colonies de fourmis, essais particuliers), la biologie (algorithmes évolutionnaires, recherche tabou) et la physique (recuit simulé)... Elles sont généralement conçues au départ pour des problèmes discrets mais peuvent s'adapter aux autres types de problèmes.

# **CHAPITRE III**

## **MODILISATION ET RESOLUTION DE PROBLEME**

### **III.1 Introduction :**

Après l'élaboration de la première et la deuxième phase d'étude qui consiste à définir le cadre du projet de localisation du BTS\_BSC pour les réseaux télécommunications pour servira les services d'internet au cadre de déférents générations du réseaux mobile. On a identifier des exigence de ce projet qui consiste a attendre a une bonne localisation du BTS et même les BSC pour une couverture maximale d'espace urbaine pour le réseaux mobile convaincue. Cette localisation garantira la norme de signale et la norme de qualité pour que se réseaux servira le volume maximum de clients par zone avec un qualité de signale satisfaisant.

En effet, les exigences organisationnelle d'entreprises télécom consiste a minimisé les coûts d'installations de réseaux mobile de puis la premier phase études de projet jusqu'à la phase d'installations. Dans ce chapitre on va définir les différents critères qui spécifiez les exigences du projet pour attendre a localisé les BTS et les BSC du façon efficace. Après on va établir un modèle mathématique basé sur les critères exigé pour arrivé au but de ce projet et an fin attendre aux résultats satisfaisants.

### **III.2 Implantation de métaheuristique :**

Nous constatons que les métaheuristiques présentent une classe de méthodes approchées adaptables à une grande variété de problèmes d'optimisation combinatoire. Aussi, les métaheuristiques présentent un bon outil qui peut être appliquées pour la résolution des problèmes complexes telle que la sélection de variables .Dans ce chapitre , nous allons adapter une des métaheuristiques à base de Recherche Locale (Méthodes de trajectoire) pour résoudre le problème de localisation.

### **III.3 Le choix de la métaheuristiques utilisée :**

Dans cette section, nous allons choisir la métaheuristique pour résoudre le problème de localisation, donc nous avons fait des études détaillées sur les méthodes populaire soit des métaheuristiques à base de Recherche Locale (Méthodes de trajectoire) soit les Métaheuristiques à base de population, et après ces études nous avons arrivée à une adaptation de recuit simulé un parmi les Méthodes de trajectoire. Cette méthode a été introduite aux environs de 1982 par diverses personnes en s'inspirant de simulations numériques de l'évolution d'un système physique effectuées précédemment par Metropolis.

### III.4 L'analyses de problématique :

Pour attendre a adapté le recuit simulé avec le cas de localisation BTS et BSC in faut qu'on faire des études détaillée sur l'architecture de réseau GSM qui est le soutient de réseau mobile, alors cette phase je veux déduire les principe de fonctionnements de l'ensemble BTS ,BSC avec les zones des clients.

#### III.4.1 Les équipements du réseau GSM :

Les équipements de réseaux GSM est :

➤ **Des BTS (Base Tranceiver System)**

Il s'agit des antennes et des équipements électroniques (amplificateurs, alimentations, ...) installés à proximité de celles-ci. Chaque **BTS** réalise la couverture radio d'un certain territoire (appelé « cellule ») dont le rayon varie entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres. La couverture du territoire de l'Algérie nécessite plusieurs milliers de **BTS** pour chaque opérateur.

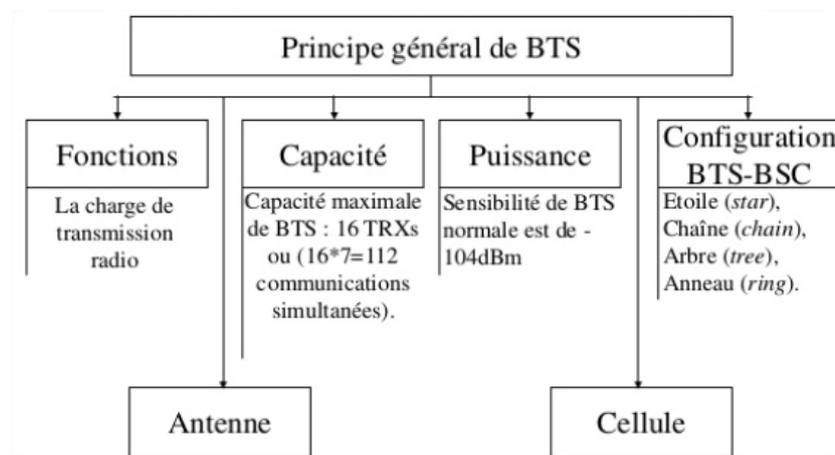


Figure III. 1 principe générale de BTS. [28]

Classes de puissance des BTS normales avant coupleurs			Sensibilité des BTS		
Numéro de classe	GSM 900	GSM 1800	Numéro de classe	GSM 900	GSM 1800
	Puissance maximale	Puissance maximale		Puissance maximale	Puissance maximale
1	320 W / 55 dBm	20 W / 43 dBm	M1	0.2 nW / -97 dBm	0.06 nW / -102 dBm
2	160 W / 52 dBm	10 W / 40 dBm	M2	0.6 nW / -92 dBm	0.2 nW / -97 dBm
3	80 W / 49 dBm	5 W / 37 dBm	M3	2 nW / -87 dBm	0.6 nW / -92 dBm
4	40 W / 46 dBm	2.5 W / 34 dBm	BTS normale	-104 dBm	-104 dBm
5	20 W / 43 dBm				
6	10 W / 40 dBm				
7	5 W / 37 dBm				
8	2.5 W / 34 dBm				

Figure III. 2 puissance et sensibilité des BTS. [28]

➤ **Des BSC (Base Station Controllers)**

Chaque BSC contrôle un certain nombre de **BTS** ; il constitue un nœud de communications vers et en provenance de ces **BTS**. La connexion entre les **BTS** et le **BSC** est une liaison à haut débit (2 Mbit/s) qui peut être réalisée par un câble (ligne louée) ou par un faisceau hertzien **FH** consistant en une transmission par ondes radio à une fréquence très élevée (supérieure à 15 GHz dans le cas des opérateurs de téléphonie mobile).

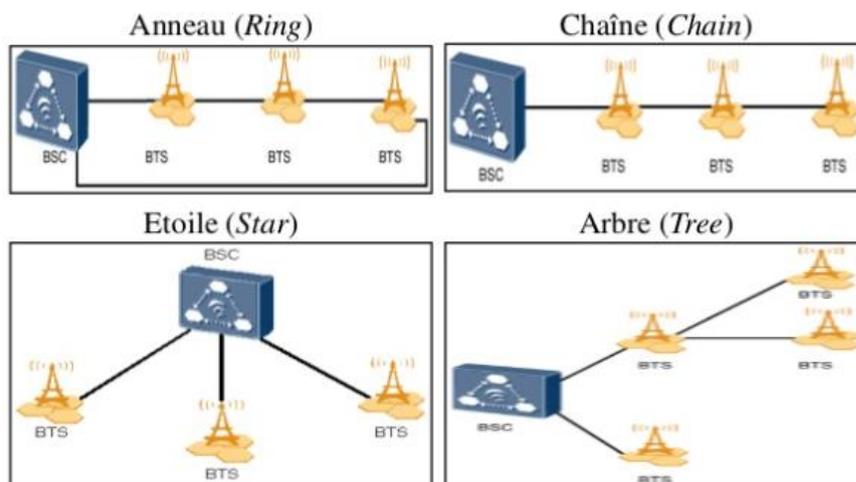


Figure III. 3 les type de liaison entre BSC et BTS. [28]

➤ **Un MSC (Mobile Switching Center)**

Il n'y a qu'un **MSC** par réseau **GSM** ; il s'agit essentiellement d'un commutateur qui constitue le nœud central du réseau de téléphonie mobile ; il est connecté au réseau de téléphonie fixe, ainsi qu'aux réseaux **GSM** des opérateurs concurrents. Le **MSC**

comporte des équipements informatiques qui gèrent l'acheminement des informations à travers le réseau **GSM**. C'est également le **MSC** qui permet de connaître, à tout moment, la localisation d'un téléphone mobile dans le réseau. En principe, la connexion entre le **MSC** et le **BSC** est réalisée au moyen de câbles.

### **III.4.1.1 Installation de BTS et mise en œuvre du site :**

L'opérateur définit de nouvelles zones à équiper, pour compléter la couverture du territoire ; pour cela, il commande à un sous-traitant spécialisé la réalisation d'une étude pour de nouveaux emplacements de relais. L'opérateur définit une zone de quelques kilomètres en zone rurale ou de quelques centaines de mètres en ville où devra se trouver le relais, il définit aussi les besoins de couverture, la capacité en trafic, les fréquences utilisées (900, 1800, 1900...2200 MHz). [29]

- **Recherche des emplacements**

Le sous-traitant cherche des emplacements pour le site, qui seront classés par ordre de priorité par l'opérateur. [29]

- **Début de la négociation**

Quand des emplacements ont été trouvés, le sous-traitant s'occupe de la négociation avec le propriétaire ou le syndic. C'est cette phase la plus délicate, puisque les propriétaires sont très réticents pour accueillir des antennes. Cette négociation dure tout au long de l'étude, et après la visite technique qui définit la position des baies et des antennes, une proposition est faite au propriétaire. Si la négociation s'est bien déroulée, le montant de la location (qui peut aller d'une centaine à un millier d'euros par mois) payé par l'opérateur est fixé et un accord de principe est signé. [29]

- **Visite technique**

Les services de l'opérateur font une visite technique sur place, pour définir le type d'antenne et leurs positions. Le sous-traitant fait lui aussi des relevés pour prévoir l'installation du matériel et des chemins de câbles. [29]

- **Dossier technique**

L'opérateur donne les spécifications générales du site au sous-traitant, qui va établir un dossier technique minimal contenant les plans, descriptifs des travaux, position sur le cadastre. Une fois le dossier retourné à l'opérateur, celui-ci va le compléter en faisant des simulations pour choisir définitivement le type d'antennes, leur orientation, azimut, tilt, bilan de liaison, puissance apparente rayonnée (PAR). [29]

- **Démarches administratives**

Le sous-traitant prend connaissance du dossier complet et accomplit les démarches nécessaires. Il fait les demandes administratives pour la réalisation des travaux (permis de construire, demande de travaux...), fait une déclaration auprès de l'A.R.T. (Agence Régulation des Télécommunications). Si l'un de ces agréments n'est pas donné, le site doit être abandonné ou modifié de manière à devenir conforme et ainsi obtenir les autorisations nécessaires. [29]

- **Dossier technique complet**

Une fois toutes les autorisations obtenues, un dossier technique définitif est renvoyé à l'opérateur qui vérifie que tout corresponde bien aux spécifications techniques initiales. Les travaux devront suivre d'une façon très exacte ce dossier. [29]

- **Décision finale**

L'opérateur étudie le dossier et vérifie que la négociation effectuée avec le propriétaire (prix d'achat, location) est convenable. Si tout est bon, l'accord de financement est donné, l'opérateur et le propriétaire concluent la négociation (signature du bail, acte de vente) et les travaux peuvent débuter. [29]

- **Réalisation**

Le sous-traitant choisi par l'opérateur organise les travaux, il les réalise entièrement ou peut en sous-traiter une partie à des entreprises spécialisées dans le gros œuvre, l'installation du pylône, etc. [29]

- **Gros œuvre**

Cette étape doit permettre l'accès au site en question. S'il s'agit d'une région difficile d'accès, il faudra au préalable mettre en place un chemin praticable par les engins nécessaires à l'installation du pylône et autres matériels. Si le site se trouve sur un toit d'immeuble, il faudra sécuriser les abords du toit et préparer à accueillir les antennes et les BTS. [29]

C'est à ce moment-là que seront faites les fondations et chapes en ciment destinées à supporter le pylône et les baies. Lorsqu'ils seront utiles, les préfabriqués, jouant le rôle de shelter (abris pour les baies et matériel) seront mis en place, ou (si existant) aménagés pour recevoir le matériel. [29]

- **Installation et test du matériel**

Le sous-traitant installe les antennes dans les azimuts et inclinaisons définis, met en place les câbles et prépare la structure pour accueillir les baies ; il s'occupe aussi de la sécurité du site, pour protéger les personnes qui seront amenées à y travailler (garde-fous, rampe d'accès, échelle d'accessibilité). Le service de l'opérateur chargé de la planification des fréquences et du trafic désigne le nombre de TRX nécessaires, les fréquences à attribuer au site, ainsi que les cellules voisines à déclarer. Une équipe du constructeur des BTS (Nortel, Alcatel, Motorola ou Nokia) vient sur place pour installer les baies et configurer les BTS avec les fréquences et le nombre de TRX donnés. Un technicien de l'entreprise qui fournit les BTS se rend sur place, pour terminer l'installation des baies. Il achève les derniers branchements : alimentation électrique, connexion des antennes, de la liaison Abis et procède aux premiers essais en collaboration avec une personne du centre de supervision de l'opérateur, pour vérifier le bon fonctionnement et la bonne configuration de la BTS et des antennes, secteur par secteur. L'opérateur organise une visite qui lui permet de vérifier la conformité du site aux spécifications du dossier technique. Si le site est conforme, le sous-traitant est payé. [29]

- **Mise en route**

Le site ouvre en exploitation, il est surveillé par le service optimisation de l'opérateur qui procède à des réajustements notamment au niveau de la puissance, pendant le premier mois de fonctionnement. Des interventions peuvent avoir lieu sur le site pour affiner les réglages : baies, tilt, panne...Le site ne sera ensuite visité que quelques fois par an, notamment pour des pannes. [29]

Si le site ne peut être mis en service immédiatement du fait d'un risque de brouillage avec une autre station proche utilisant les mêmes canaux, il sera configuré lors d'une prochaine modification du PDF (Plan De Fréquence) pour être intégré dans le motif régulier utilisé. Cette mise en service se fait sans aucune intervention humaine locale, ce sont les personnes qui gèrent le BSC qui configurent à distance, via la liaison Abis, toute la BTS. [29]

### **III.5 Le travail pratique :**

#### **III.5.1 Le modèle mathématique :**

##### **III.5.1.1 Les paramètres :**

*Les indices :*

- $i$  : indice de BSC localisé au site  $i$ .
- $j$  : indice de BTS localisé au site  $j$ .
- $k$  : indice de zone  $k$  des clients.
  - $CF1i$  : Coût fixe d'installation d'un BSC dans le site  $i$ .
  - $CF2j$  : Coût fixe d'installation d'un BTS dans le site  $j$ .
  - $CFON1i$  : Coût de fonctionnement d'un BSC.
  - $CFON2j$  : Coût de fonctionnement d'un BTS.
  - $CFH i$  : Coût fixe d'installation du FH.
  - $CFONFH i$  : coût de fonctionnement de FH.
  - $CAM kj$  : Coût moyenne d'abonnement mensuelle.
  - $NBR k$  : nombre minimal de abonnés.
  - $LS jk$  : niveau de signal affecté à une zone si on installe un BTS dans le site  $i$  par rapport à la zone  $k$ .
  - $LQ jk$  : niveau de la qualité si on installe BTS dans le site  $j$  par rapport à la zone  $k$ .
  - $DIST ij$  : distance entre BSC installé au site  $i$  et le BTS dans la zone  $k$ .
  - $CAP1j$  : Capacité officiel d'un BTS.
  - $CAP2j$  : Capacité secondaire d'un BTS.
  - $Alpha$  : le coût de câblage par mètre.
  - $ACT$  : autres coûts et taxes .

### III.5.1.2 Les variables de décision :

$X_i =$   $\begin{cases} 1 & \text{si le BSC } i \text{ est installé au Site } i \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

$Y_j =$   $\begin{cases} 1 & \text{si le BTS } j \text{ est installé au Site } j \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

$Z_{ij} =$   $\begin{cases} 1 & \text{si le BTS } j \text{ est attachée avec le BSC } i \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

$AFF1 =$   $\begin{cases} 1 & \text{si une zone de clientèle est affectée avec un BTS} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

$AFF2 =$   $\begin{cases} 1 & \text{si le BTS essentiel est saturé, une autre quantité de} \\ & \text{client sera affecté avec le BTS secondaire} \\ 0 & \text{si non} \end{cases}$

### III.5.1.3 Fonction objectif :

✓ *Coût d'installation du projet :*

$$\begin{aligned}
 & \sum_i (CF1i + CFONi * P) * Xi \\
 & + \sum_j (CF2j + CFON2j * P) * Yj \\
 & + \sum_i \sum_j al * DISTij * Zij * Aij \\
 & + \sum_i \sum_j (CFH + CFONFH * P) * Zij * (1 - Aij) \\
 & + \sum_j \sum_k ACTjk * p + \sum_j \sum_k AFF1jk + \sum_j \sum_k AFF2jk \quad (1)
 \end{aligned}$$

✓ *Coût du profit :*

$$\sum_j \sum_k CAMkj * P * NBRk \quad (2)$$

✓ *Fonction objective :*

$$\text{Max} = \text{Coût du profit} - \text{Coût totale d'installation du projet.}$$

✓ *Sous les contraintes :*

- On doit respecter la capacité officielle de chaque BTS, il y a plusieurs type de BTS et chaque type caractérisé par une capacité et puissance.

$$\sum_k NBRk \leq cap1j * Yj \quad \forall j \quad (3)$$

- On doit respecter la capacité secondaire de chaque BTS, il y a plusieurs type de BTS et chaque type caractérisé par une capacité et puissance.

$$\sum_k NBRk \leq cap2j * Yj \quad \forall j \quad (4)$$

- Niveau de Signal affecté par le BTS au zone de client doit respecter la norme.

$$LSjk \geq AFF1jk * Nsignal \quad LSjk \geq AFF2jk * Nsignal \quad \forall j \forall k \quad (5)(6)$$

- Qualité du signal affecté par le BTS au zone de client doit respecter la norme.

$$LQjk \geq AFF1jk * Nqualité \quad LQjk \geq AFF2jk * Nqualité \quad \forall j \forall k \quad (7)(8)$$

- Si n'y aura pas de lien entre BSC-BTS que si les deux sont installés.

$$Zij \leq Xi \quad \forall i \forall j \quad (9)$$

$$Zij \leq Yj \quad \forall i \forall j \quad (10)$$

- Un seul BTS doit être relié avec un seul BSC.

$$\sum_j Zij = \max Yj \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_j Zij = 1 \quad \forall j \quad (12)$$

- Si un BTS est saturé le deuxième sera affecté avec la zone de clientèle.

$$AFF1jk + AFF2jk \leq Yj \quad \forall k \forall j \quad (13)$$

- Un seul BTS sera affecté à la zone de clientèle.

$$\sum_j AFF1jk = 1 \quad \forall j \quad (14)$$

$$\sum_j AFF2jk = 1 \quad \forall j \quad (15)$$

### III.6 Description du problème et adaptation recuit simulé :

Dans mon projet je veux résoudre le cas de localisation de BTS et BSC du manière générale, prend un exemple pour un territoire au hasarde. S'appuie à une durée d'étude de 5 ans (60 mois).

\*On a sélectionné des sites candidats pour installer des BSC.

\*On prend échantillon de 10 zones cellulaires de populations (Client).

\*Par exemple on saisir 5 positions de cite candidat de BSC a localisé dans les 10 zones.

Zones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BSC	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figure III. 4 les positions de cite candidats de BSC a localisé par rapport aux zones clients.

\*On a sélectionné des sites candidats pour installer des BTS.

\*Toujours dans les mêmes 10 zones.

\*Par exemple on saisir 30 positions de cite candidat de BTS a localisé dans les 10 zones, pour chaque zone prend 3 locales avec la présence d'un BTS officielle et un autre secondaire.

Zones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BTS	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Figure III. 5 les positions de cite candidats de BTS a localisé par rapport aux zones clients.

### III.6.1 Algorithme :

Adaptation du recuit simulé pour l'optimisation a mise de localisation les BTS :

Dans cette phase de l'algorithme nous allons présenter l'adaptation de recuit simulé avec le problème de localisation à base de modèle mathématique de localisation. Pour atteindre une minimisation du nombre de BTS installés plus le BSC choisi est relié, avec une interprétation des résultats obtenus.

---

**Algorithme . Recuit simulé**

---

1. Sélectionner  $s_0 = (Y5, Y1, Y2, Y8, Y9, Y5, Y2, Y9, Y5, Y2)$  choix aléatoire
2. Calculer la fonction  $f(s_0)$
3. Initialiser la valeur de la température  $T = T_0$
4. Tant que  $(T > 0.0001)$  Faire
  5. Pour chaque  $i$  de 1 à  $N$  Faire
    6. Pour chaque  $i$  de 1 à  $N$  Faire
      7. Choisir  $s'$
      8. Tant que  $LQ_j \leq NQ_k \ || \ LS_j \leq NS_k \ || \ NBR_k \leq CAP_j$
      9. Calculer la fonction  $f(s')$
      10. Calculer  $\Delta f = f(s') - f(s_0)$
      11. Si  $\Delta f \leq 0$  Alors
        12. Accepté  $s'$  ;  $s_0 = s'$
        13. Sinon
          14. Calculer  $\exp(-\frac{\Delta f}{f})$
          15. Tirer  $r$  dans  $[0,1]$
          16. Si  $r \leq \exp(-\frac{\Delta f}{f})$  Alors
            17. Accepté  $s'$  ;  $s_0 = s'$
            18. Sinon Rejeter  $s'$
            19. Fin Si
        20. Fin Si
      21. Fin Pour
      22.  $T = \alpha * T_0$
      23. Fin Tant que

---

On choisit  $s_0 = (Y1, Y1, Y27, Y1, Y15, Y1, Y12, Y13, Y23, Y19)$  pour la couverture de zones ciblées dans l'exemple, les **BTS** générés par l'indice **Y**, le nombre de locaux possibles choisis à installer dans les zones ciblées est 30. Et bien que les BTS localisés aient une affectation officielle pour la couverture des zones, ils sont aussi localisés à une affectation secondaire pour la couverture de mêmes zones. Toute l'évaluation de solution sera déduite après l'intégration de différents critères Norme Qualité, Norme Signal et Capacité. la valeur de la fonction du coût d'installation de projet égale à  $f(s_0) = 13347300$

Supposant que la valeur suivante  $s' = (Y1, Y1, Y19, Y1, Y25, Y1, Y3, Y29, Y28, Y21)$  la valeur de la fonction du coût de localisation égale à  $f(s') = 14458200$ , On remarque que la valeur de  $f(s')$  est supérieure à  $f(s_0)$ , soit on doit accepter cette valeur soit la refuser, il dépend de la probabilité suivante :

$$\exp(-\Delta f/T) > r$$

Donc, soit on accepte cette probabilité, soit elle sera refusée.

$$f(s_0) = f(s')$$

À une température élevée, la probabilité tendant vers 1 et alors, toute solution approchée sera acceptée, mais quand la température est petite, la probabilité tendant vers 0 alors, les mauvaises solutions seront refusées. On réduit la température  $T$  selon un facteur de décroissement calculé comme suit :

$$T = \alpha * T_0$$

Où  $\alpha$  est une constante comprise entre 0 et 1. La valeur de cette température diminuée peu à peu par paliers, selon un schéma de décroissance géométrique.

L'évolution de la température dépend de la température initiale  $T_0$ , le coefficient de refroidissement  $\alpha$  et le nombre d'itérations (longueur du palier) pour que la température est constante, la valeur du palier en général dépendante de la taille du problème. Lorsque la température atteint une valeur nulle L'algorithme s'arrête.

### III.7 Interprétation des résultats :

Dans cette phase on va résumer les résultats de simulation de l'adaptation de recuit simulé avec notre problème de localisation et optimisation sur les coûts d'installation de projet, quel que soit le projet de planification de réseaux 4G ou 5G en termes généraux d'entreprises de télécommunications.

On a utilisé l'algorithme Java pour programmer le recuit simulé de notre problème à résoudre. Après un travail solide sur la programmation Java on a obtenu les résultats de notre modèle mathématique.

Aux principes de recuit simulé, il y a tout un ensemble de paramètres pour interpréter des résultats satisfaisants il faut varier ces paramètres pour attendre des différents résultats ces paramètres sont :

- Nombre d'itérations .
- La température initiale.
- le coefficient de refroidissement.

Les résultats obtenus dans les tableaux et les figures présentés dans cette section montrent des différents coûts d'installation de projet 4G ou bien le projet 5G après variation des paramètres du recuit simulé (le nombre d'itérations, température initiale et le coefficient de refroidissement). Lorsque nous avons évalué la température, en choisissant des températures initiales suffisamment élevées égales à  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  jusqu'à  $10000000\text{ }^{\circ}\text{C}$  et avec les itérations ( $100-100^6$ ), en réduisant ces valeurs de température selon le coefficient de refroidissement  $\alpha = 0.1$  jusqu'à  $\alpha = 0.5$  jusqu'à la température atteint une valeur presque nulle.

Les résultats obtenus sont présentés comme suit

A. Pour les paramètres (**100 itérations** ,**alpha=0.1**, **température=1000°c**) et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 1) et la figure (Figure III. 4).

Paramètre <i>I</i>	CTIP (UD)
S1	13347300
S2	12909300
S3	12129600
S4	11702100
S5	14458200
S6	13459500
<b>S7</b>	<b>10370400</b>
S8	11568900
S9	12348600
S10	12075300

tableau. III. 1 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les premier paramètres

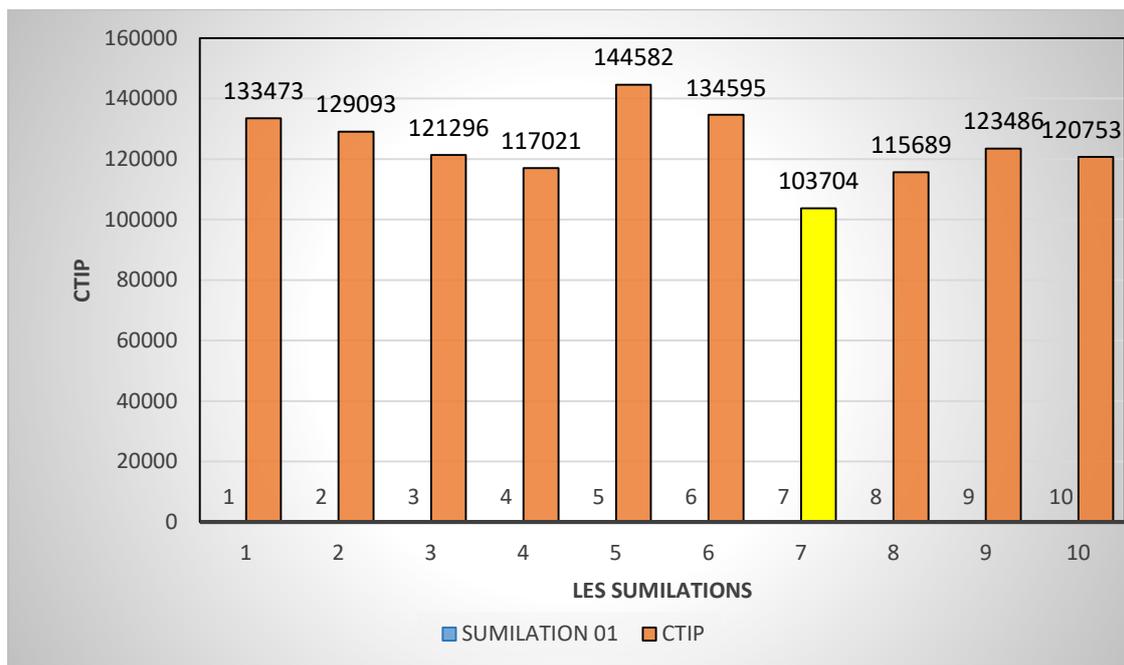


Figure III. 6 histogramme de première ensemble de paramètres.

Après ces résultat on obtenus un coût totale d'installation du projet minimal égales à **10370400 UD** et une localisation des BTS :

***S finale'*** = (Y1, Y1, Y13, Y1, Y20, Y1, Y22, Y26, Y7, Y19) affectation officiel.

***S finale''*** = (Y24, Y7, Y10, Y7, Y20, Y28, Y26, Y3, Y21, Y10) affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC *S finale* = (X4) et distance minimal de câblage égale à **13324 m**.

B. Pour les paramètres (**1000 itérations**, **alpha=0.2**, **température=10000°C**) et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 2) et la figure (Figure III. 5).

Paramètre 2	CTIP (UD)
S1	13459500
S2	13689500
S3	13094500
S4	13699500
S5	11921100
S6	14095500
S7	13459500
S8	11366800
S9	13128300
S10	13678500

tableau. III. 2 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les deuxièmes paramètres

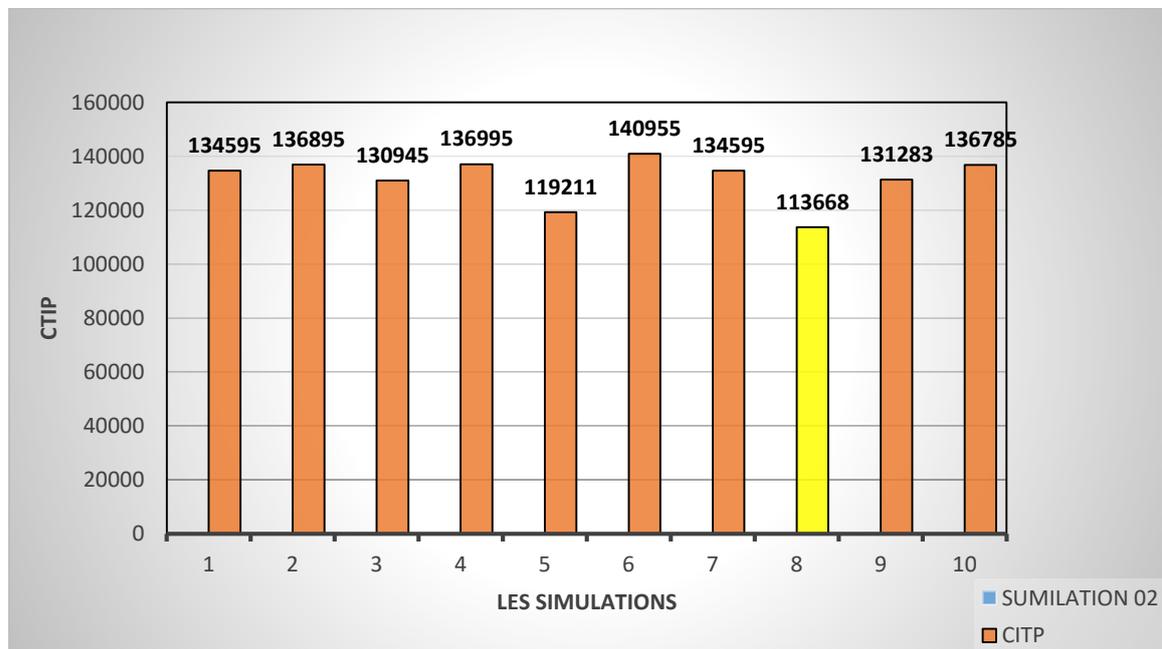


Figure III. 7 histogramme de deuxième ensemble de paramètres

Après ces résultat on obtenus un coût totale d'installation du projet minimal égales à **11366800 UD** et une localisation des BTS :

**S finale'** = (Y1, Y1, Y30, Y1, Y29, Y1, Y3, Y14, Y22, Y21) affectation officiel.

**S finale''** = (Y9, Y17, Y28, Y2, Y3, Y9, Y6, Y24, Y7, Y28) affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC **S finale** = (X4) et distance minimal de câblage égale à **15114 m**.

C. Pour les paramètres (**10000 itérations**, **alpha=0.3**, **température=100000°c**) et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 3) et la figure (Figure III. 6)

Paramètre 3	CTIP (UD)
S1	12471300
S2	13887000
S3	14106000
S4	11616800
S5	12909300
S6	13459500
S7	12567600
S8	13117300
S9	12338100
S10	12129600

tableau. III. 3 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble trois.

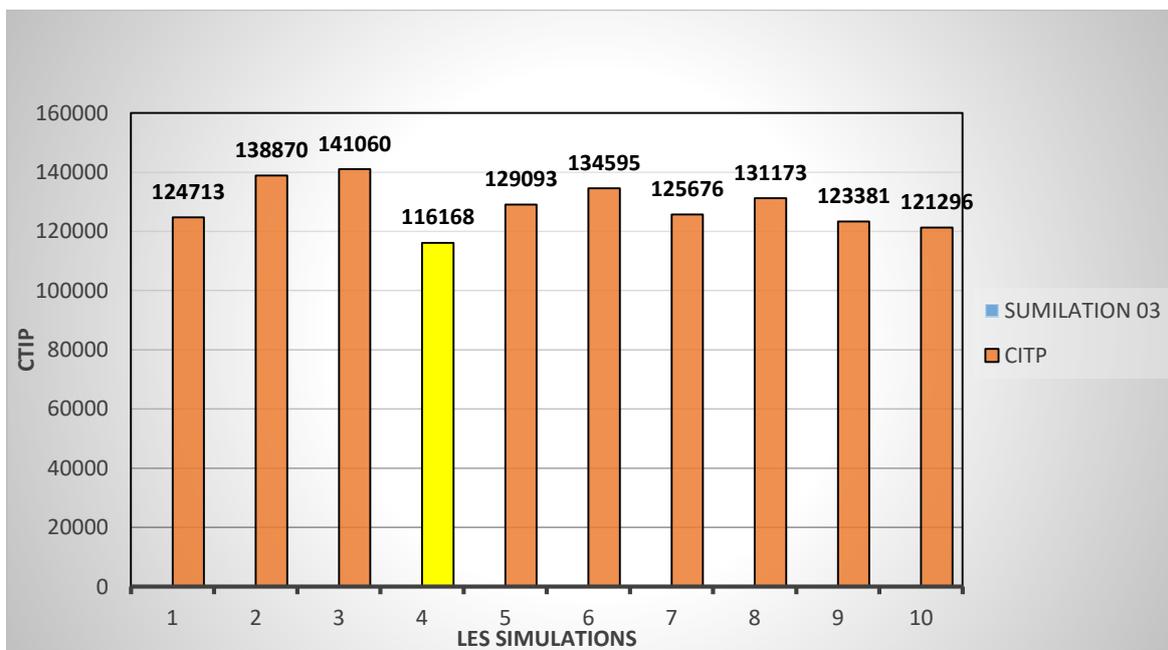


Figure III. 8 histogramme de troisième ensemble de paramètres

Après ces résultat on obtenus un coût totale d'installation du projet minimal égales à **11616800 UD** et une localisation des BTS :

***S finale'*** = (Y1, Y1, Y30, Y1, Y13, Y1, Y22, Y29, Y3, Y19) affectation officiel.

***S finale''*** = (Y14, Y29, Y18, Y7, Y10, Y23, Y16, Y3, Y16, Y24) affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC ***S finale*** = (X4) et distance minimal de câblage égale à **15614 m**.

D. Pour les paramètres (**100000 itérations**, **alpha=0.4**, **température=1000000°c**) et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 4) et la figure (Figure III. 7).

Paramètre 4	CTIP (UD)
S1	12140100
S2	12471300
S3	13470000
S4	11950300
S5	13480500
S6	11558400
S7	12557100
S8	14030700
S9	14116500
S10	13326300

tableau. III. 4 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble quatre.

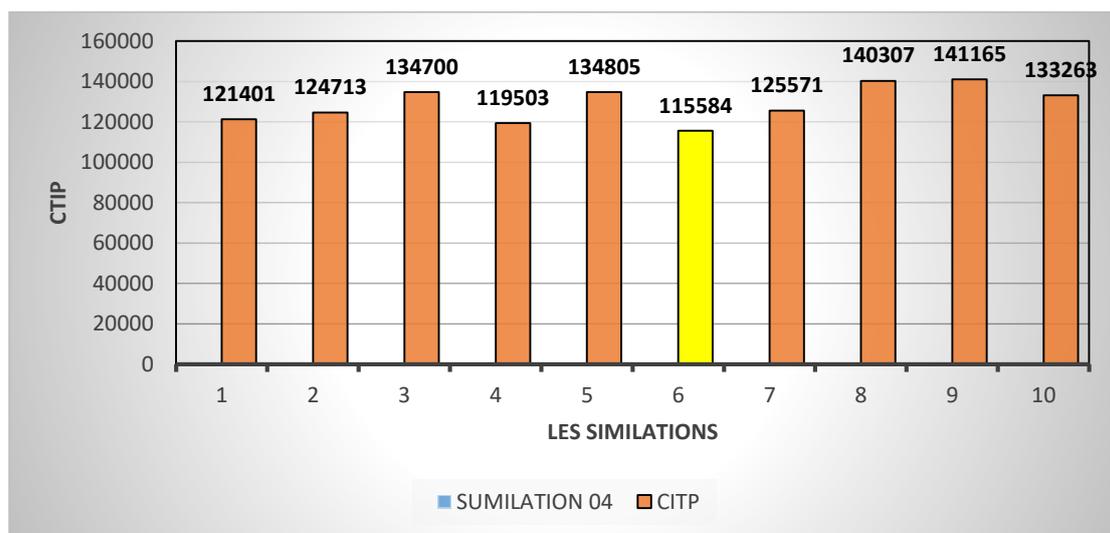


Figure III. 9 histogramme de quatrième ensemble de paramètres

Après ces résultat on obtenus un coût totale d'installation du projet minimal égales à **11558400 UD** et une localisation des BTS :

***S finale'*** = (Y1, Y1, Y25, Y1, Y24, Y1, Y23, Y22, Y3, Y8) affectation officiel.

***S finale''*** = (Y2, Y24, Y8, Y7, Y13, Y13, Y22, Y9, Y2, Y10) affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC ***S finale*** = (X3) et distance minimal de câblage égale à **15660 m** .

E. Pour les paramètres (**1000000 itérations** ,**alpha=0.5**, **température=10000000°c**) et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 5) et la figure (Figure III. 8).

Paramètre 5	CTIP (UD)
S1	12098100
S2	14447700
S3	13138800
S4	12898800
S5	12471300
S6	11537400
S7	14137500
<b>S8</b>	<b>10020000</b>
S9	12119100
S10	12348600

tableau. III. 5 tableau présente le CTIP dans dis simulation avec les paramètres ensemble cinq.

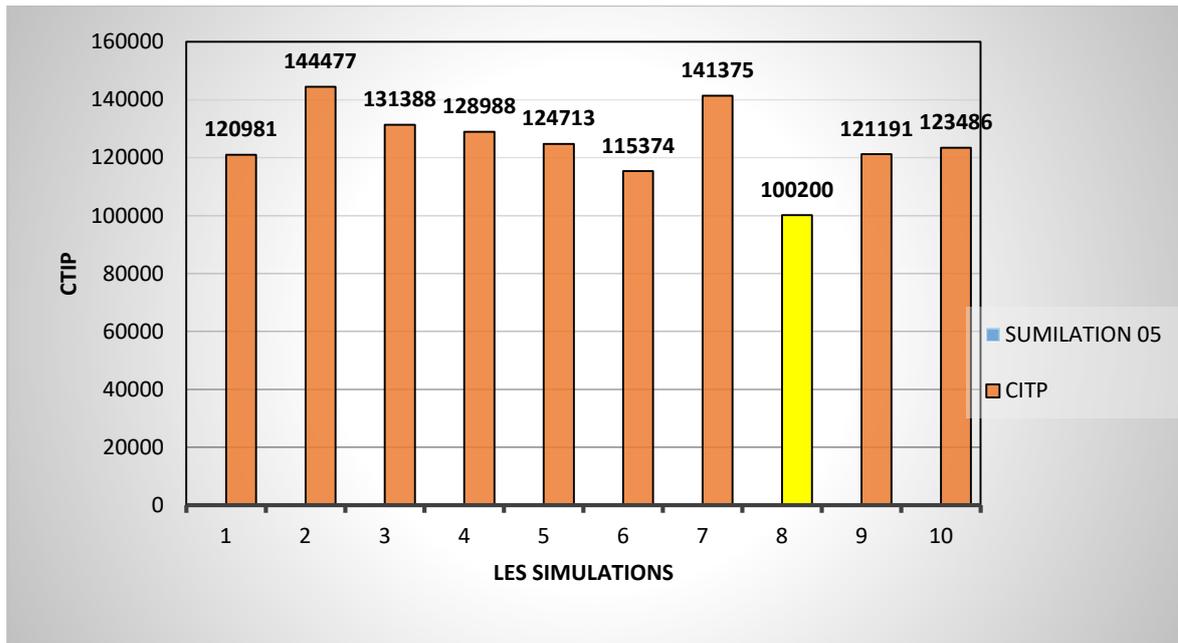


Figure III. 10 histogramme de cinquième ensemble de paramètres.

Après ces résultat on obtenus un coût totale d'installation du projet minimal égales à **1002000 UD** et une localisation des BTS :

$S_{finale}' = (Y1, Y1, Y5, Y1, Y29, Y1, Y7, Y23, Y23, Y5)$  affectation officiel.

$S_{finale}'' = (Y6, Y29, Y25, Y25, Y9, Y6, Y6, Y28, Y26, Y26)$  affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC  $S_{finale} = (X3)$  et distance minimal de câblage égale à **12786 m**.

À la fine de ces résultats on va comparé les déférents minimum de CTIP des chaque variation de ensemble de paramètre. ces résultats sont présentés dans le tableau (tableau. III. 7) et la figure (Figure III. 10):

<i>résultats</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<b><i>CTIP (UD)</i></b>	<i>103704000</i>	<i>113668000</i>	<i>11616800</i>	<i>11558400</i>	<i>10020000</i>
<b><i>Alpha</i></b>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>
<b><i>Itérations</i></b>	<i>100</i>	<i>10000</i>	<i>100000</i>	<i>1000000</i>	<i>10000000</i>
<b><i>températures</i></b>	<i>100</i>	<i>1000</i>	<i>10000</i>	<i>100000</i>	<i>1000000</i>

tableau. III. 6 tableau présente la résultat minimal de simulation.

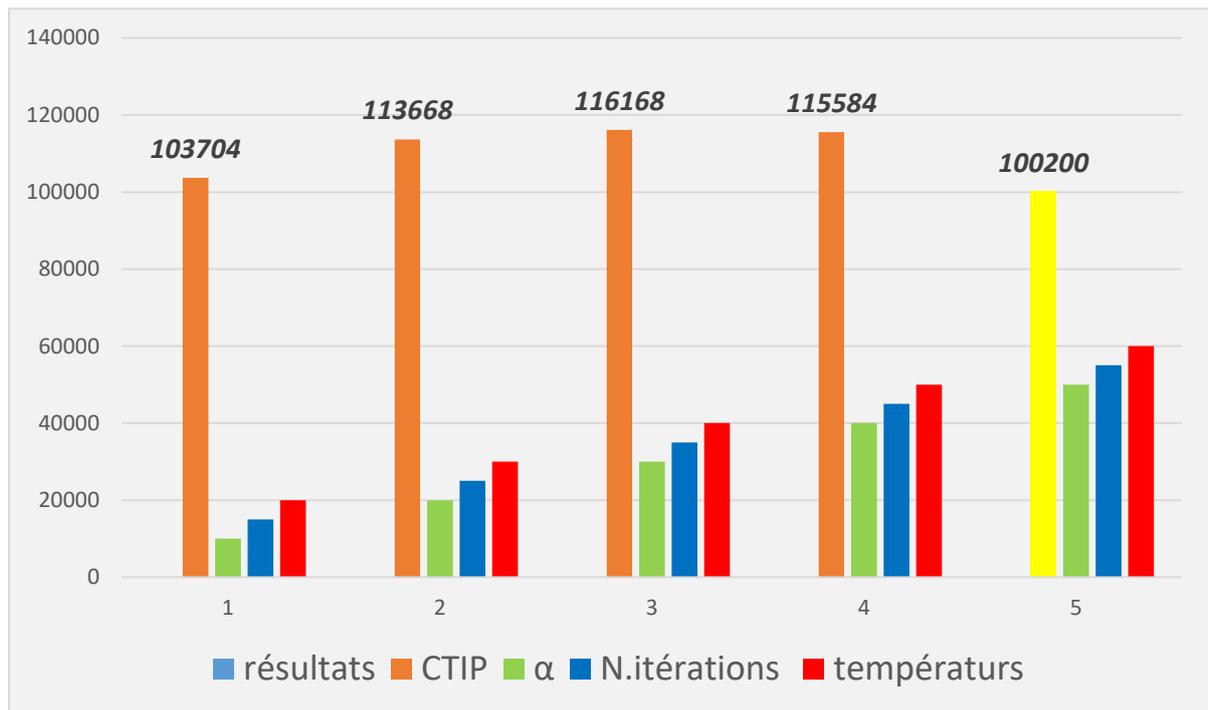


Figure III. 11 histogramme défini la comparaison entre les simulations.

En fin et après tous les 50 simulations on a attendre a une résultats de coût totale d'installation du projet (CTIP) minimal satisfaisante égale a **10020000 UD** présente dans la 8<sup>émé</sup> simulation avec les paramètres (**1000000 itérations**, **alpha=0.5**, **température=10000000°c**), elle définir avec un nombre minimum de BTS localisées et une bonne localisation de BSC avec une longueur moyenne de câblage entre les BTS et le BSC. Touts ces résultats garantira une bonne couverture de zone cible par le projet, et la fin de satisfaction de clients.

Et par rapport au coût de profit nous avons obtenus **Profit = 477648000 UD**.

Alors notre objective est: **Max = Coût du profit - Coût totale d'installation du projet.**

$$\mathbf{Max = 477648000 UD - 10020000 UD}$$

La valeur du profit est **467628000 UD** durant 5 ans.

### III.7.1 Comparaison des résultats :

Après l'interprétation des résultats obtenus avec la méthode recuit simulé, on va faire une comparaison avec les résultats de simulation LINGO en terme de *Branch and Bound* avec le même modèle mathématique, dans ce cas on va déterminer les résultats de adaptation de notre problème avec ces deux méthodes en utilisant les mêmes données.

Pour la facilité de comparaison on va valider les simulations de recuit simulé avec les paramètres (1000000 itérations ,alpha=0.5, température=10000000°c) qu'ils ont déjà nous donné des résultats satisfaisants.

Alors et après 10 simulations consécutives, les résultats de coût total d'installation du projet (CTIP) sont présentés dans le tableau (tableau. III. 9) et la figure (Figure III. 12).

Simulations	CITP (UD)
1	7493200
2	6932800
3	6372400
4	8053600
5	7493200
6	6932800
7	6372400
8	7493200
9	6932800
10	6932800

tableau. III. 7 tableau présente 10 simulations et les résultats de CTIP

Après ces résultats on a obtenu un coût total d'installation du projet minimal égale à **6.372.400 UD** dans deux simulations la troisième et la septième simulation, même on a remarqué que il y a des répétitions des résultats dans les différents simulations cela explique par la taille des données de l'exemple que est réduit par rapport à l'exemple qui est déjà étudié dans la section des interprétations. Et par rapport au coût de profit nous avons obtenu **Profit = 195.650.000 UD** sur **60 mois**.

Alors notre objectif est:  $Max = Coût\ du\ profit - Coût\ totale\ d'installation\ du\ projet.$

$$Max = 195.650.000\ UD - 6.372.400\ UD$$

La valeur du profit est **189.227.600 UD** durant 5 ans.

Pour ce résultat on a obtenu une localisation des BTS :

$S\ finale'$  = (Y1, Y1, Y3, Y6, Y8) affectation officielle.

$S\ finale''$  = (Y10, Y6, Y2, Y7, Y3) affectation secondaire.

Avec un localisation de BSC  $S\ finale = (X1)$  et distance minimale de câblage égale à **6120 m**.

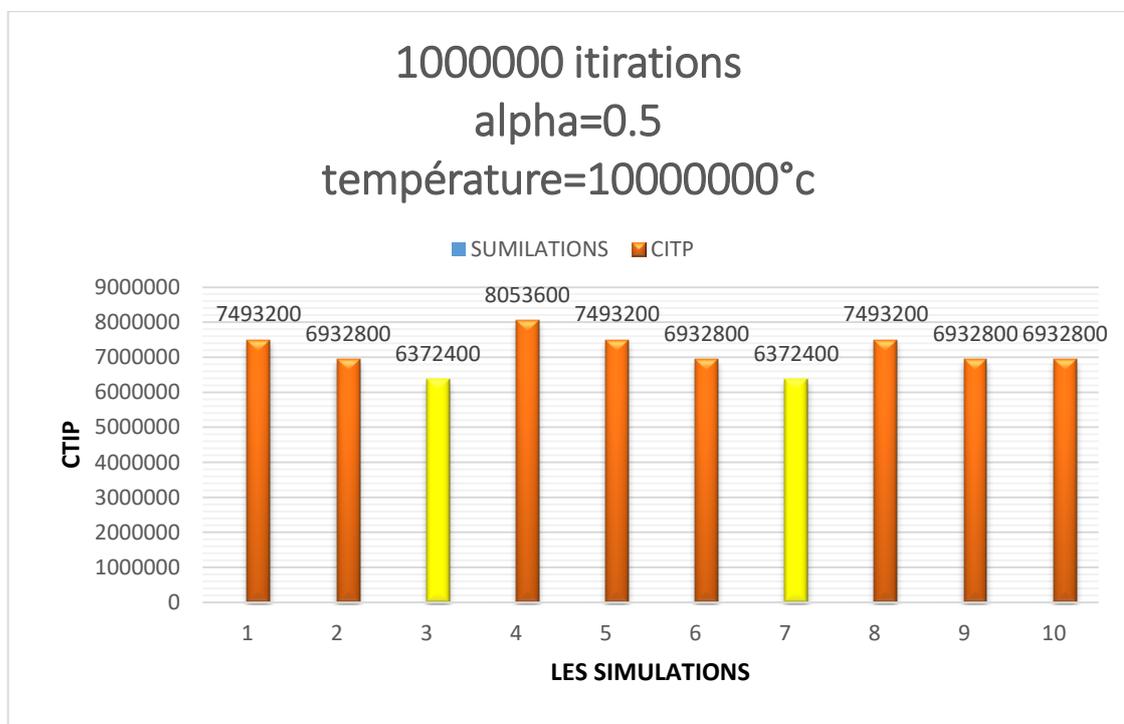


Figure III. 12 histogramme présente les résultats de simulation de comparaison.

Après l'élaboration de simulation par la méthode recuit simulé on va tourner vers la méthode branch and bound avec les mêmes données de l'exemple.

En effet la méthode branch and bound est une méthode exacte, nous avons obtenu un seul résultat qu'il été fixe et précis, dans la modélisation LINGO nous avons déduit directement la fonction objectif :

$$Max = Coût\ du\ profit - Coût\ totale\ d'installation\ du\ projet\ (CTIP)$$

Le résultat de simulation LINGO est présenté comme suit :

Objective value: 0.1961200E+09

La valeur du profit est 196120000 UD durant 5 ans.

X( 1) 1.000000  
 X( 2) 0.000000  
 X( 3) 0.000000

le BSC localisé est le BSC numéro 01.

Y( 1) 1.000000  
 Y( 2) 1.000000  
 Y( 3) 0.000000  
 Y( 4) 0.000000  
 Y( 5) 1.000000  
 Y( 6) 0.000000  
 Y( 7) 0.000000  
 Y( 8) 0.000000  
 Y( 9) 0.000000  
 Y( 10) 1.000000

Les BTS localisés sont les BTS : ( Y( 1),Y( 2),Y( 5),Y( 10) )

Pour mieux comparer les deux résultats nous allons construire un tableau de comparaison.

Type de simulations	Branch and bound (LINGO)	Recuit simulé (JAVA)
BSC localisé	X(1)	X(1)
BTS localisé	Y(1),Y(2),Y(5),Y(10)	Y(1),Y(3),Y(6),Y(8)
La valeur de l'objectif	196.120.000 UD	189.227.600 UD

tableau. III. 8 tableau de comparaisons entre les deux type d'interprétation

D'après ces résultats on remarque que la simulation de l'adaptation avec branch and bound par rapport à l'indication de la valeur de l'objectif est mieux que l'adaptation avec recuit simulé.

### **III.8 CONCLUSION :**

Au terme de ce dernier chapitre, on arrive à conclure que notre étude sert à l'amélioration de la qualité du service 4G ou bien le 5G, qui implique la bonne localisation des BTS à partir d'un modèle qui nous donne comme résultats :

- Les meilleurs sites pour installer les BTS ainsi que les BSC, s'ils sont déjà choisis pour localiser.
- L'affectation des BTS aux BSC à condition qu'ils soient installés.
- L'affectation des clients de chaque zone aux BTS.
- L'affectation des clients de chaque zone aux BTS pour une couverture de réserve on cas de saturation de BTS officiel de la même zone.

# CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La logistique et la gestion de la chaîne logistique attirent l'attention des nombreux gestionnaires. À cet effet, plusieurs études ont été menées sur ce sujet.

Nous avons pu voir que la gestion de la chaîne logistique est un ensemble de processus dont la mise en œuvre implique que les différents acteurs de la chaîne communiquent et collaborent pour améliorer les performances industrielles et par conséquent la chaîne logistique d'un service est différente de celle d'un produit mais ont le même but de satisfaire les besoins des clients.

Dans les chapitres précédents, on a fait une étude théorique pour bien déterminer les notions de la chaîne logistique et des réseaux mobiles dont on a clarifié la différence entre une chaîne logistique d'un produit et d'un service, ou la première sert un produit tangible et l'autre fournit un service tout en assurant la satisfaction des clients.

Alors notre service est la télécommunication en spécifiant les générations réseaux mobile, et pour améliorer la qualité de ces services, il faut faire une bonne localisation des BTS. Cette étude qui porte sur les réseaux mobiles nous a permis à avoir des connaissances précieuses dans le domaine de télécommunication. En plus, nous avons essayé d'appliquer ce que nous avons appris dans notre formation du génie industriel sur ce domaine de télécommunication.

Et pour cela, dans ce projet nous avons proposé une modélisation mathématique d'un exemple de manier générale qui consiste à atteindre une bonne localisation des BTS par une adaptation du problème avec une méthode de résolution sur un grand échantillon et un grand nombre de variation par la métaheuristique recuit simulé afin d'atteindre nos objectifs :

- La clientèle gagne une Connexion à haut débit bien que la puissance et la qualité sont considérées comme contraintes dans la problématique.
- La bonne localisation des BTS, en tenant compte de :
  - ❖ La maximisation du profit.
  - ❖ Savoir la durée d'amortissement de l'investissement.

La modélisation mathématique et le programme qui nous avons établi dans ce projet de fin d'étude est applicable sur certain réseaux de télécommunication (GSM, 3G ,4G,5G...). On peut améliorer notre projet par l'application des autres méthodes « méta-heuristique » pour plus d'efficacité et pour assurer une planification à long terme, en utilisant des coûts importants.

## *Références*

- [1] cours, «Cours des Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Métaheuristiques,» Sidi Mohamed Douiri, Souad Elbernoussi, Halima Lakhbab, Université Mohammed V, Faculté des Sciences de Rabat.
- [2] Thèse, «modélisation et simulation d'une chaîne logistique inverse en tenant compte de la robustesse,» BENNEKROUF Mohammed, 04/12/2013.
- [3] A. e. d. Logiguides, « GROUPE GCL, cabinet de conseil en logistique,» Philippe Gautrin , Paris.
- [4] Article, «Logistique,» *logistique & supply chaine consulting*.
- [5] Livre, Optimisation de la chaîne logistique et productivité des entreprises, Montreal: MARTIN Beaulieu et JACQUES Roy, Septembre,2009.
- [6] Thèse, « Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible 23 avril 2007,» François GALASSO, 23 avril 2007 .
- [7] COURS, «Cours problème de localisation-allocation,» BENNEKROUF Mohammed.
- [8] stage, «Systèmes de Télécommunications,» Arnaud BOURNEL, Paris, 2001-2002.
- [9] [Lombard, «la deuxième vie des réseaux,» 2008.
- [10] Simoni, «la nouvelle génération de services,» 2007.
- [11] Mémoire, «ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE),» Melle BOUCHENTOUF Hadjer et Mr BOUDGHENE STAMBOULI Riyad , tlemcen, 2012 - 2013 .
- [12] documentation, «FRANCE TELECOM,» Patrice Lambert - de Diesbach, Paris, April 12, 2013.
- [13] Article, «La prochaine génération de téléphonie mobile (5G) et ses implications (Infrastructure, Réglementation),» Edward M and al, San Francisco, 2018.
- [14] Mémoire, «PLANNIFICATION ET INGENIEURIE DES,» Emmanuel TONYE et Landry EWOUSSOUA , YAOUNDE.
- [15] Article, «nstallation et maintenance d'une BTS,» AUDREY KEVIN DZALI NOUMBI, Dakar, 2008.
- [16] Article, «A Base Station Antenna for Every Application,» Mark Hejnicky, June 24, 2015.
- [17] Thèse, « "metaheuristiques coopératives : du déterministe au stochastique. Modeling And simulation," ,» I. Jourdan, m.s. Thesis, universite des sciences et technologie de Lille - Lille i,, 2010..

- [18] Thèse, « revue d'intelligence artificielle : métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes no.,» Jn-Kao ha, Philippe galinier, Michel Habib, 1999.
- [19] Thèse, «conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension. Application a l'analyse de données de puces à ADN,» V.gardeux, université de Paris-est Créteil, 2011.
- [20] Rapport, «Cours métaheuristiques,» Mchraf Manaa, Mchraf Manaa.
- [21] Rapport, «Introduction to the design and analysis of algorithms, Addison Wesley.,» Levitin, A, 2003.
- [22] Thèse, «application des techniques des métaheuristiques pour l'optimisation de la tâche de la classification de la fouille de données,» Alaoui abdiya, , université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed boudiaf, 2011/2012.
- [23] Thèse, «Investigations sur la sélection de routages alternatifs en temps réel basées sur les métaheuristiques -les essaims particulières-,» SOUIER Mehdi , 2012 .
- [24] Mémoire, «Ilhem Boussaid, Perfectionnement de métaheuristiques pour l'optimisation continue,» Ilhem Boussaid,, 7 Apr 2014.
- [25] Mémoire, «SELECTION DES VARIABLES A BASE DES METAHEURISTIQUES,» SOUIER Imane et YOUNI Fatiha, tlemcen, 2016.
- [26] rapport, «Recherche Tabou,» J. Ayas & M.A. Viau, 2004 .
- [27] K. A. S. BADREDDINE., «algorithme génétique,» Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene..
- [28] P. Siarry, «Application des métaheuristiques d'optimisation en Electronique,» 2009.
- [29] Thèse, «Conception d'un algorithme de colonie de fourmis pour l'optimisation continue dynamique,» Walid TFAÏLI, Paris, 2007 .
- [30] r. d. stage, «réseaux GSM, installation de BTS,» Vicheka Phor, 2009-2010.
- [31] Documentation, «Documentation Algérie Télécom,» DOT tlemcen, tlemcen, 2015.
- [32] thèse, «Souquet amedee radet François-Gérard, algorithmes génétiques,» Mr Philippe audebaud, 2004.
- [33] *MÉTHODES APPROCHÉES*, p. 08.
- [34] S. Bouajaja et N. Dridi, *Méthode de Recuit Simulé pour l'optimisation de l'affectation d'opérateurs sur une ligne de production*, 2017, p. 2.