



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 :

## Un outil d'aide à la décision basé sur les métaheuristiques pour la gestion du transport routier des hydrocarbures

### Présenté par :

BOURAOUI Hamza.

### Jury:

<b>Président:</b>	Mr. BENNEKROUF Mohammed.	MCB	ESSA Tlemcen
<b>Encadreur:</b>	Mr.SOUIER Mehdi.	MCA	ESM Tlemcen
<b>Co-encadreur:</b>	Mr.MALIKI Fouad.	MAA	ESSA Tlemcen
<b>Examineur :</b>	Mr.MIKAMCHA Khalid.	MAA	Université Tlemcen
<b>Examineur :</b>	Mr.BRAHAMI Mustafa.	MAA	ESSA Tlemcen

Année Universitaire : 2018/2019

# *Remerciement*

*Je remercie tout d'abord, Dieu le tout puissant d'avoir guidé mes pas vers les ports du savoir.*

*J'exprime mes plus grandes reconnaissances, et mes remerciements à mon encadreur Mer SOUIER Mehdi, et ainsi qu'à mon Co-encadreur Mer MALIKI Fouad pour leurs aides, conseils et précieuses orientations dans la direction de ce projet, et pour avoir guidé ce travail, en conjuguant habilement disponibilité, conseils et critiques constructives.*

*Je témoigne mes reconnaissances à toutes personnes de poste de dispatching, ainsi qu'à tous les travailleurs de l'entreprise NAFTAL, pour leur bon accueil et leurs gentillesse.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury, de m'avoir honoré en acceptant de juger mon travail.*

*En fin, que tous ceux et celles qui ont participé, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, spécialement mes amis Med Tayeb, Ilyes et Mouhad, sans oublier tous les enseignants du département de génie industriel, ainsi qu'à l'ensemble des enseignants qui m'ont formé à l'Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers, je cite : Les parents les plus chers au monde, Papa et Maman, que dieu les garde et les protège.*

*Mon frère Mohamed et sa femme Saliha, ma sœur Hayat et son mari Messaoud*

*Mes adorables nièces Hala et Nouha et mes deux chers neveux Adem et Med Taher*

*L'amour de ma vie*

*À la mémoire de mes grands-parents maternels et paternels*

*Mes oncles et tantes*

*Mes chers cousins et cousines*

*Tous mes amis*

# Table des matières

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

## **Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise NAFTAL**

1. Introduction .....	4
1.1. Présentation de l'entreprise NAFTAL .....	4
1.1.1. Historique .....	4
1.1.2. Explication de la charte graphique .....	5
1.1.3. Missions et objectifs de l'entreprise .....	6
1.1.4. L'organisation de l'entreprise NAFTAL .....	7
1.1.5. Les produits commercialisés par l'entreprise NAFTAL .....	8
1.1.6. Le marché de l'entreprise .....	10
1.1.7. Les moyens mis en œuvres (humains, financiers, matériels) .....	11
1.2. Réseau de distribution et moyens de transport dans l'entreprise NAFTAL .....	12
1.3. Centre de Stockage et de distribution des Carburants de REMCHI Tlemcen .....	14
1.3.1. Présentations .....	14
1.3.2. Les fournisseurs .....	14
1.3.3. Les activités .....	14
1. Conclusion .....	14

## **Chapitre 2 : Les méthodes d'optimisation**

2. Introduction .....	16
2.1. Méthodes exactes (complètes) .....	17
2.1.1. Méthodes de séparation et d'évaluation .....	17
2.1.2. Méthodes avec retour arrière (Backtracking) .....	18
2.1.3. Programmation dynamique .....	19
2.1.4. Programmation linéaire .....	19
2.2. Méthodes approchées (incomplètes) .....	20
2.2.1. Heuristiques .....	21
2.2.1.1. Méthode constructives .....	21
2.2.1.2. Méthodes d'Amélioration .....	22

2.2.2. Les métaheuristiques .....	22
2.2.2.1. Que signifie le mot « métaheuristique » ? .....	22
2.2.2.2. Généralité sur les métaheuristiques .....	22
2.2.2.3. Les propriétés fondamentales des Métaheuristiques .....	23
2.2.2.4. Classement des métas heuristiques selon le type .....	23
2.2.2.4.1. A base de solution unique .....	24
2.2.2.4.2. A base de population de solutions .....	29
2. Conclusion .....	33

## **Chapitre 3 : La problématique**

3. Introduction .....	36
3.1 Position du problème .....	36
3.1.1. Collecte des données .....	36
3.1.1.1 Les dépôts de stockage .....	36
3.1.1.2 Les moyens de transport .....	37
3.1.1.3 Les stations de service .....	39
3.1.1.4. Les demande .....	42
3.1.2. Les contraintes et les objectifs .....	48
3.2 Problème des tournées des véhicules (VRP) .....	49
3.2.1. Définition .....	49
3.2.2. Champs d'application .....	50
3.2.3. Caractéristiques du VRP .....	50
3.2.3.1 Le réseau .....	51
3.2.3.2 La clientèle .....	51
3.2.3.3 La flotte de véhicules .....	51
3.2.3.4 La fonction objectif .....	51
3.2.4. Variantes du VRP .....	52
3. Conclusion .....	53

## **Chapitre 4 : Modélisation mathématique et approche de résolution**

4. Introduction .....	55
4.1. Modélisation mathématique .....	55
4.1.1. Les étapes à suivre durant le processus d'une modélisation .....	55
4.1.2. Modélisation du problème soulevé au niveau du (CSD) REMCHI.....	55
4.1.2.1. Notations .....	56
4.1.2.2. Indices .....	56
4.1.2.3. Les variables de décision .....	57
4.1.2.4. La fonction objectif .....	57
4.1.2.5. Les contraintes .....	58
4.1.2.6. Le modèle général .....	59
4.2. Approche de résolution .....	60
4.2.1. Choix de la méthode .....	60
4.2.2 Principes généraux du Recuit simulé .....	60
4.2.3. Les paramètre de l'algorithme recuit simulé.....	61
4.2.4. Adaptation de l'algorithme au problème .....	61
4.2.5. Interprétation des résultats	
Conclusion .....	71
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>72</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>73</b>

# Table des figures

Figure 1. 1 Charte graphique NAFTAL. [1] .....	5
Figure 1. 2 Organigramme de la société. [1] .....	8
Figure 1. 3 Le schéma général de la distribution. [1] .....	13
Figure 2. 1 Classification des méthodes d'optimisation. [5] .....	17
Figure 2. 2 Fonctionnement de l'algorithme de recuit simulé. [4] .....	27
Figure 2. 3 Schéma général de l'algorithme du recuit simulé (RS). [3] .....	27
Figure 2. 4 Schéma général de l'algorithme du Recherche Tabou (RT). [3] .....	29
Figure 2. 5 Démarche d'un algorithme génétique. [6] .....	30
Figure 2. 6 L'expérience du pont à double branche. [9] .....	32
Figure 2. 7 L'algorithme de colonies de fourmis pour le TSP. [3] .....	33
Figure 3. 1 schéma du Problème de tournées des véhicules. [10] .....	50
Figure 4. 1 Les étapes à suivre durant la modélisation. [10] .....	55
Figure 4. 2 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°1 ....	65
Figure 4. 3 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°2 ....	66
Figure 4. 4 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°3 ....	67
Figure 4. 5 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°4 ....	68
Figure 4. 6 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°5 ....	69

## Liste des tableaux

Tableau 3. 1 Les bacs de stockage de l'Essence Normal .....	37
Tableau 3. 2 Les bacs de stockage de l'Essence super .....	37
Tableau 3. 3 Les bacs de stockage Du Gasoil .....	37
Tableau 3. 4 Les bacs de stockage de l'Essence sans plomb .....	37
Tableau 3. 5 Liste des camions citerne (NAFTAL) .....	38
Tableau 3. 6 Liste des citernes (NAFTAL) .....	38
Tableau 3. 7 Liste des citernes tiers .....	38
Tableau 3. 8 Liste des tracteurs NAFTAL .....	39
Tableau 3. 9 Liste des tracteurs tiers .....	39
Tableau 3. 10 Liste des stations de service .....	41
Tableau 3. 11 la liste des demandes du 1 <sup>er</sup> jour .....	42
Tableau 3. 12 la liste des demandes du 2 <sup>ème</sup> jour .....	43
Tableau 3. 13 la liste des demandes du 3 <sup>ème</sup> jour .....	44
Tableau 3. 14 la liste des demandes du 4 <sup>ème</sup> jour .....	45
Tableau 3. 15 la liste des demandes du 5 <sup>ème</sup> jour .....	46
Tableau 3. 16 la liste des demandes du 6 <sup>ème</sup> jour .....	47
Tableau 4. 1 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°1 .....	65
Tableau 4. 2 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°2 .....	66
Tableau 4. 3 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°3 .....	67
Tableau 4. 4 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°4 .....	68
Tableau 4. 5 Les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°5 .....	69
Tableau 4. 6 les meilleurs solutions obtenu en utilisant les différents paramètres .....	70



# Introduction générale

Dans l'économie industrielle, rare où un produit arrive à être consommé par son utilisateur final sans l'intervention du transport. Presque tous les produits doivent passer par une série de déplacements entre les lieux de production quelconques, les dépôts et les consommateurs. Naturellement, ces déplacements entraînent des coûts et cela conduit les industriels à calculer au plus juste leurs coûts de transport afin de satisfaire la demande des clients en menant une stratégie de réduction des frais de distribution. Ceci est le cas de l'entreprise NAFTAL, plus précisément le centre de stockage et de distribution (CSD) de REMCHI Tlemcen.

Le CSD de REMCHI a pour mission l'approvisionnement des stations de service de la wilaya de Tlemcen en carburants. Pour répondre aux besoins de ses clients, en plus de sa flotte privée le CSD fait appel aux transporteurs externes. Mais durant ces dernières années les prix de ces transporteurs sont de plus en plus élevés. Ce qui met l'entreprise NAFTAL dans l'obligation de mettre en œuvre une stratégie de gestion qui permettra de raffiner l'utilisation des camions externes et la minimisation des distances parcourues.

A première vue, cette problématique s'apparente au problème de tournées de véhicules définit il y a plus de 50 ans. Sous sa forme la plus simple, ce problème consiste à minimiser la distance totale parcourue par une flotte de véhicules homogènes afin d'assurer la livraison, à partir d'un seul dépôt, à un nombre fixe de clients tout en respectant les contraintes de capacité des camions. Cependant, en tenant compte de toutes les intrications des cas de distribution réels, le problème se complexifie rapidement. L'ajout des composantes telles que les véhicules internes et externes, une flotte de véhicules hétérogène, un grand nombre de clients, rendent la résolution d'autant plus difficile.

L'objectif principal de ce travail est de planifier des tournées des véhicules à base de la recherche opérationnelle et les métaheuristiques, pour satisfaire pleinement les demandes des clients, tout en minimisant le coût total de transport (le nombre des véhicules à utiliser, les distances parcourues...) et en maximisant la quantité à livrer, en respectant certain contraintes.

Notre étude s'articule sur quatre chapitres et se présente comme suit :

- Le premier chapitre, dont nous donnons une brève présentation de l'entreprise NAFTAL, ainsi que celle du centre de stockage et de distribution CSD, et nous poursuivrons ensuite par la présentation du Réseau de distribution, et les moyens de transport dans l'entreprise.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de quelques méthodes de résolutions.
- Le troisième chapitre est réservé pour cerner d'une manière précise la problématique et quelques notions de base concernant le problème de tournées de véhicules(VRP).
- Ensuite dans le quatrième, nous avons envisagé la modélisation mathématique du problème étudié, et le choix d'une méthode pour sa résolution, et enfin la description du programme que nous avons conçu sous l'environnement JAVA.

# **Chapitre 1 :**

## **Présentation de l'entreprise NAFTAL**

## **Introduction**

Pour bien cerner notre sujet d'étude, nous commencerons par quelques éléments essentiels pouvant donner une brève présentation de l'entreprise de distribution et de commercialisation des produits pétroliers NAFTAL (Société Par Action "SPA"). Ces éléments porteront sur l'historique de la société, ses missions, son organisation interne, ses produits commercialisés, son marché et ses moyens. C'est ainsi qu'on va essayer dans ce chapitre, d'exposer le Réseau de distribution et les moyens de transport dans l'entreprise, et la fin nous présenterons le centre de stockage et de distribution (CSD).

### **1.1. Présentation de l'entreprise NAFTAL**

NAFTAL Société Nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers. [1]

#### **1.1.1. Historique :**

Issue de SONATRACH, (société nationale pour la recherche, transport, production, transformation, la commercialisation des hydrocarbures), l'entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP) a été créée par le décret N°80-101 du 06 avril 1981. [1]

Entrée en activité le 01/01/1982, elle est chargée de l'industrie de raffinage et de la distribution de produits pétroliers. [1]

Le 04 mars 1985, les anciens districts (carburants, lubrifiants, pneumatique et bitume) ont été regroupés sous le nom UND (unité NAFTAL de distribution). [1]

En 1987, l'activité raffinage est séparée de la distribution, conformément au décret N°87-189 du 25 août 1987 modifiant le décret N°80-101 du 06 avril 1980, portant création de l'entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers, qui a créé une entreprise nationale dénommée « Entreprise nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers », sous le sigle de « NAFTAL ». [1]

A partir de 1998, elle change de statut et devient société par action filiale à 100% de SONATRACH, en intervenant dans les domaines suivants : [1]

- ✓ De l'enfûtage GPL.
- ✓ De la formulation des bitumes.
- ✓ De la distribution, stockage et commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, bitumes, pneumatique.
- ✓ Du transport des produits pétroliers.

Le 01 janvier 2000 l'activité GPL enfûtage est séparée de l'activité CLP (carburants, lubrifiants et pneumatiques). [1]

Par décision N°S554 du 29 mars 2000, il a été procédé à l'organisation générale de la division CLP et l'identification des zones de distribution CLP. [1]

Par décision N°S555 du 29 mars 2000, il a été procédé à la création des zones distribution CLP. [1]

Par décision N°S606 du 10 Février 2001, il a été procédé à l'organisation et la classification des centres bitume de la division bitume. [1]

Par décision N°S 705 du 17 juin 2002, il a été procédé à la renomination des zones de distribution CLP et GPL en district. [1]

Par décision N°S770 du 03 janvier 2004, il a été procédé à la création des districts commercialisation. [1]

A partir du 01 décembre 2006, l'activité carburante est séparée de l'activité commercialisation. [1]

### 1.1.2. Explication de la charte graphique :



Figure 1. 1 Charte graphique NAFTAL. [1]

- La charte graphique de NAFTAL est composée de deux lettres arabes : [1]



(Entreprise) مؤسسة



(pétrole) نفط

- Label : NAFTAL en arabe et en français : NAFT Algérie. [1]
- Les cinq lignes : qui représentent les cinq branches à savoir : Carburants, Commercialisation, Activités internationales et partenariat, LPB et GPL. [1]
- Deux couleurs : [1]
  - ✓ **Le bleu** : pour les deux lettres et le label (NAFTAL), synonyme de largeur et d'horizon.
  - ✓ **Le jaune** : pour le fond du logo, symbole du sérieux.

### 1.1.3. Missions et objectifs de l'entreprise :

#### a) Mission principal :

Parmi les missions de NAFTAL on cite : [2]

- Le stockage, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers tel que les carburants, les lubrifiants, les pneumatiques,...
- Le développement de ses infrastructures de stockage et de distribution afin de satisfaire les besoins de marché.
- La maintenance et le renouvellement des équipements et du matériel roulant de son patrimoine.

Il existe aussi d'autres missions liées à la prestation sociétale de l'entreprise : [2]

- La promotion d'une image de marque et de qualité.

- L'amélioration des conditions de travail et des prestations offertes aux employés.
- La mise en œuvre des mesures de protection de l'environnement.
- La récupération des huiles usagées dans le cadre de la préservation de l'environnement naturel.

**b) Objectif principal :**

A travers son plan de développement, NAFTAL vise plusieurs objectifs : [2]

- Poursuivre la de distribution des produits pétroliers.
- Améliorer la qualité des produits et services proposés.

Le développement durable reste cependant un des défis majeurs pour NAFTAL. C'est la raison pour laquelle l'entreprise s'est fixé un ensemble d'objectifs visant à instaurer les principes de la pratique responsable et citoyenne : [2]

- Diminuer les rejets liquides et gazeux ainsi que la production de déchets.
- Promouvoir le carburant écologique GPL/c.
- Améliorer la sécurité industrielle.
- Diminuer la consommation énergétique.
- Promouvoir l'image de « l'entreprise verte ».
- Réduire les accidents de route incluant les camions de transports NAFTAL.

**1.1.4. L'organisation de l'entreprise NAFTAL :**

NAFTAL, est une entreprise à caractère commercial, chargé de la distribution des produits pétroliers, sur toutes les stations-services réparties géographiquement sur le territoire nationale. La société NAFTAL a adapté une organisation basée sur le principe de la spécialisation par ligne de produit et la décentration des activités opérationnelles. [3]

Ce schéma d'organisation de l'entreprise répond au double objectif suivant : Le renforcement de la direction générale dans son rôle de conception et d'orientation stratégique de décentration des divisions opérationnelle. [3]

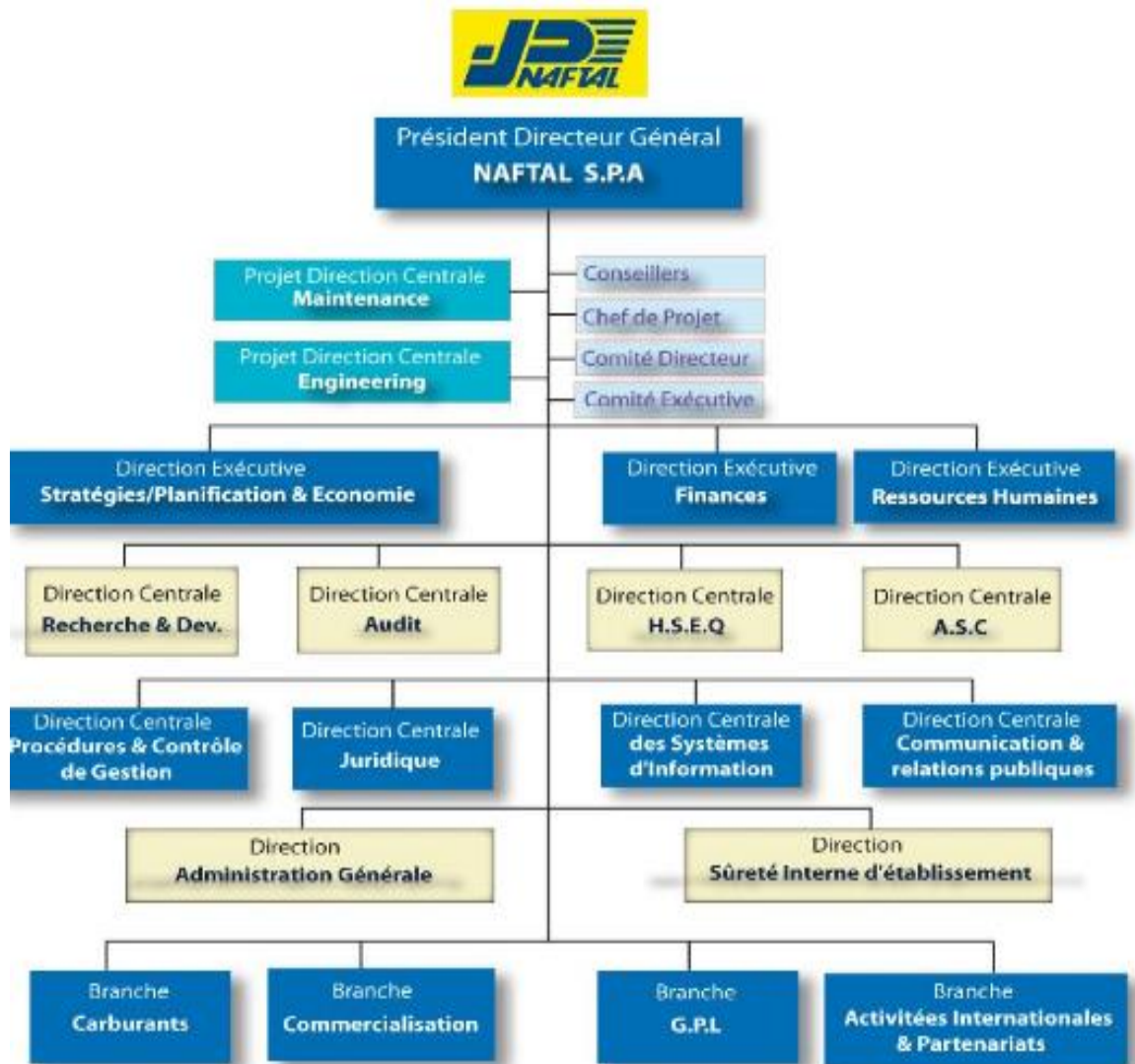


Figure 1. 2 Organigramme de la société. [1]

### 1.1.5. Les produits commercialisés par l'entreprise NAFTAL :

#### a) Les carburants :

- **Essence Normale :**

C'est un carburant avec plomb utilisé pour les anciens véhicules et qui possède une quantité inférieure à celle du super, comme il est trop polluant, pour cette raison sa commercialisation a diminué. [3]

- **Essence Super :**

On l'utilise pour l'alimentation des moteurs automobiles, il est caractérisé par un indice d'octane très élevé par rapport à l'essence Normale. [3]



- **Essence sans Plomb :**

C'est un combustible issu du raffinage du pétrole et exempter du plomb en raison de l'impact du plomb sur l'environnement et sur la santé publique. [3]

- **Gasoil :**

Le gasoil et le Diesel ne sont que deux noms différents pour un seul et unique produit. C'est un carburant issu du raffinage du pétrole. Il est destiné à l'alimentation des moteurs diesel routiers et non routiers. [3]

**b) Les lubrifiants (huiles, graisses) :**

Un lubrifiant est une matière onctueuse, liquide ou solide. Elle a la propriété d'atténuer le frottement et l'usure des pièces mécaniques, d'évacuer la chaleur et de prévenir la corrosion. [3]

Il existe différentes variétés de lubrifiants qui répondent à des utilisations particulières : [3]

- ✓ Huiles pour les moteurs.
- ✓ Huiles isolantes pour les transformateurs électriques.
- ✓ Huiles pour les transmissions hydrauliques.
- ✓ Graisses pour les rouages.

**c) Les pneumatiques :**

Sont des accessoires indispensables pour tout véhicule. Ils assurent le contact entre un véhicule terrestre et le sol. Un pneumatique est formé d'un tube de caoutchouc, gonflé d'air ou d'un gaz comprimé, et qui est fixé à la jante d'une roue pour amortir les chocs. Les pneumatiques sont un des points capitaux de sécurité pour un véhicule. [3]

**d) Le bitume :**

C'est une substance composée d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuse, solide à la température ambiante et de couleur noire. Le bitume est essentiellement constitué d'hydrocarbures lourds. Le bitume doit être séparé du pétrole brut par distillation en raffinerie pour qu'il soit utilisé. Il est le produit pétrolier le plus lourd. Le bitume est le produit le plus utilisé dans les travaux publics, de l'autoroute, au chemin communal jusqu'au tarmac des aéroports. [3]

**e) Fuel (léger et lourd) :**

C'est une huile combustible industrielle légère, liquide dérivée du pétrole provenant de la distillation du pétrole brut, au-dessus de 275°C utilisé notamment dans les chaudières. Il est classé dans les ressources énergétiques fossiles et dans la pollution de l'air. Il peut être utilisé aussi dans des moteurs diesel. [3]

**1.1.6. Le marché de l'entreprise :**

La clientèle de NAFTAL est classée en deux grandes catégories. [4]

- **Clientèle réseaux :** Cette clientèle se divise en plusieurs parties, en fonction de ses liens juridiques avec NAFTAL : [4]
  - ✓ Stations-services en Gestion Directe (GD) : ce sont des stations gérées directement par NAFTAL à l'aide d'un personnel salarié.
  - ✓ Stations-services en Gestion Libre (GL) : ce sont des stations appartenant à NAFTAL dont les fonds de commerce sont confiés en location gérance à des particuliers.
  - ✓ Revendeurs Ordinaires (RO) : point de ventes de faible capacité de stockage et de distribution, liés à NAFTAL par un contrat commercial.
  - ✓ Points de Ventes Agréés (PVA) : stations-services réalisées entièrement par des investisseurs.
  
- **Gros consommateurs :** Ce sont principalement des consommateurs disposants de capacités de stockage (clients qui disposent des bacs ou réservoirs pour stocker le produit), plus précisément : [4]
  - ✓ Les entreprises publiques et privées
  - ✓ Les administrations et les collectivités locales
  - ✓ Les hôpitaux
  - ✓ La défense nationale
  - ✓ Le secteur agricole, domestique, etc.

### **1.1.7. Les moyens mis en œuvres (humains, financiers, matériels) :**

Avec un personnel de 30 000 agents, NAFTAL est le premier distributeur de produits pétroliers en Algérie. [1]

Elle contribue à hauteur de 51% de l'énergie finale en fournissant 10 millions de tonnes de produits pétroliers par an sous forme de : [1]

- ✓ Carburants (8 millions de TM).
- ✓ Gaz de pétrole liquéfiés (plus de 1.6 million de TM).
- ✓ Bitumes (plus de 0.5 million de TM).
- ✓ Lubrifiants (plus de 70 000 TM).

Représentant pour l'exercice 2007 : [1]

- ✓ Un chiffre d'affaire toutes taxes comprises de 208 milliards de DA.
- ✓ Une valeur ajoutée de 30 milliards de DA.
- ✓ Un résultat d'exploitation de 6 milliards de DA.

Pour cela elle dispose de : [1]

- ✓ 49 centres et dépôts de distribution et de stockage de carburants.
- ✓ 22 centres et 27 magasins lubrifiants et pneumatiques.
- ✓ 26 centres et dépôts Aviation, 06 centres marine.
- ✓ 49 dépôts relais de stockage GPL.
- ✓ 41 centres d'emplissage GPL d'une capacité d'enfûtage de 1,2 millions tonnes/an.
- ✓ 3 centres vrac GPL.
- ✓ 15 unités bitumes d'une capacité de formulation de 360.000 tonnes/an.
- ✓ 3 000 véhicules de distribution et 800 engins de manutention et de maintenance.
- ✓ 730 Km de canalisation

Et son réseau de distribution s'étend sur : [1]

- ✓ 1 952 stations-service dont 671 en toute propriété
- ✓ 7925 points de vente GPL.

## **1.2. Réseau de distribution et moyens de transport dans l'entreprise NAFTAL :**

Pour bien présenter les moyens de transport dans l'entreprise NAFTAL on va décrire le réseau national de distribution en produits pétroliers qui comprend trois étapes essentielles qui sont :

[3]

- **L'approvisionnement :**

C'est une action d'acheminer les produits pétroliers d'une raffinerie, vers un centre primaire (centre de stockage et de distribution REMCHI), ce transfert est réalisé soit par pipe -line ou par Cabotage (bateau).

- **Le ravitaillement :**

Lorsque les centres de stockages et de distribution (primaires) sont bien chargés, alors on a deux étapes, l'acheminement des produits pétroliers d'un centre primaire vers les centres secondaires (dépôt), soit par rail (train), ou par camion (wagon-citerne), les dépôts n'ont aucune relation avec les raffineries, et chaque entrepôt couvre un ensemble de dépôt.

- **La livraison :**

C'est la phase finale, qui intervient au niveau du réseau de distribution son rôle est d'assurer la disponibilité des produits, dans les zones de consommation (stations-services) le transfert des carburants vers les stations-services se fait entièrement par deux manière différentes :

- a) **La livraison directe :** Consiste à livrer les produits carburants d'un centre secondaire vers les clients, en utilisant des camions propre à NAFTAL, lorsque l'entreprise n'arrive pas à satisfaire sa clientèle alors elle fait appel à ses clients privés qui ont des camions propre à eux pour assurer la livraison, elle se fait généralement pour les stations qui sont proche de NAFTAL.
- b) **La livraison en droiture :** Elle consiste à livrer des produits d'un centre primaire, directement vers les clients c-à-d, à partir de l'entrepôt vers les clients, avec des camions privés que l'entreprise avait loué, d'une manière générale les raffineries approvisionnent directement tous les gros consommateurs comme les clients industrielles, les aéroports, les entreprises des travaux routiers.

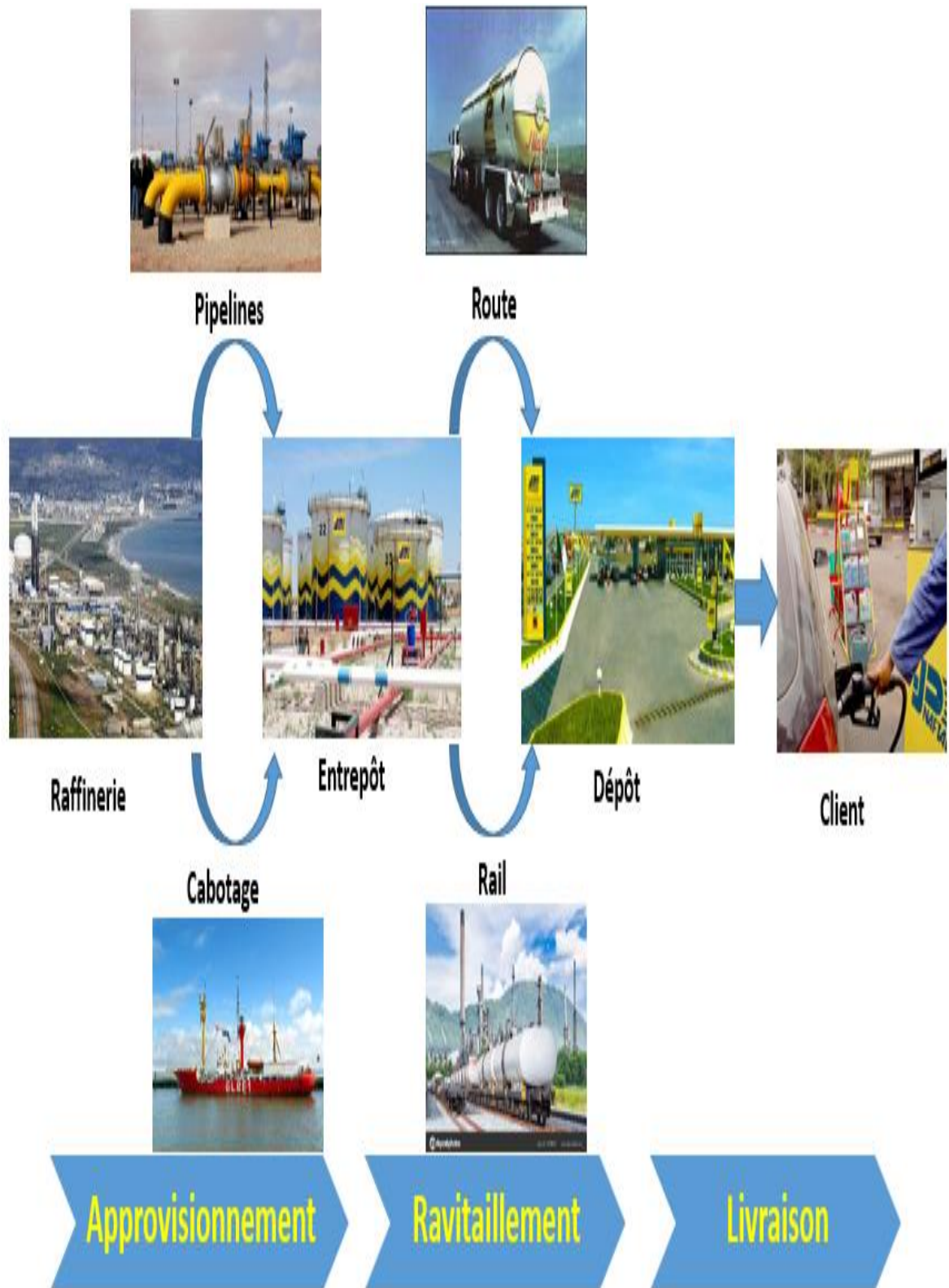


Figure 1. 3 Le schéma général de la distribution. [1]

### **1.3. Centre de Stockage et de distribution des Carburants de REMCHI :**

#### **1.3.1. Présentations :**

Le centre de stockage et de distribution de REMCHI s'étend sur une superficie de quinze (15) hectares. Sa capacité de stockage tout produit confondu est de 38350 m<sup>3</sup>. Cette capacité de stockage le rend le premier, dans la wilaya de Tlemcen à pouvoir assurer son ravitaillement en matière de carburant. [1]

Le Centre assure le stockage et la distribution de quatre (04) produits principaux : [1]

- ✓ Essence normale « *EN* » (Carburant « *CA* ») ;
- ✓ Essence super « *ES* » (Super Carburant « *SCA* ») ;
- ✓ Gasoil « *GO* » ;
- ✓ Essence sans plomb « *SP* ».

#### **1.3.2. Les fournisseurs**

Le centre de stockage et de distribution de REMCHI Tlemcen est approvisionné à partir de la raffinerie localisée à ARZEW (ORAN). Les produits pétroliers arrivent par pipeline quotidiennement. [1]

#### **1.3.3. Les activités :**

Les activités du district sont principalement : [1]

- ✓ Le stockage : les produits pétroliers sont stockés dans des bacs.
- ✓ La distribution : la flotte de véhicules (camions) permet de transporter les différents produits du dépôt vers les clients (stations de services).

### **Conclusion**

Au cours de ce chapitre nous avons donné une brève présentation de l'entreprise NAFTAL, ainsi que celle du centre de stockage et de distribution (CSD), et nous poursuivrons ensuite par la présentation du Réseau de distribution, et les moyens de transport dans l'entreprise.

# **Chapitre 2 :**

## **Les méthodes d'optimisation**

## **Introduction**

Il se trouve plusieurs méthodes pour résoudre un problème d'optimisation combinatoire, on peut classer ces méthodes de résolution dans deux classes qui sont les méthodes exactes et les méthodes approchées. Le présent chapitre est composé essentiellement de deux parties, chaque une des deux parties est consacrée pour la présentation des différentes méthodes qui font partie de chaque classe. [5]

La majorité des problèmes d'optimisation combinatoire, sont des problèmes NP-difficiles et donc ils ne possèdent pas à ce jour un algorithme efficace, i.e. de complexité polynomiale, valable de trouver la solution optimale en un temps raisonnable.

Ceci a motivé les chercheurs à développer de nombreuses méthodes de résolution en recherche opérationnelle et en intelligence artificielle : [5]

- La recherche s'est d'abord orientée vers des heuristiques spécifiques aux problèmes.
- Elle s'est progressivement intéressée aux méthodes plus générales, c'est à dire les Métaheuristique.

Ces méthodes de résolution peuvent être réparties en deux grandes classes : [5]

- **Méthodes exactes (complètes) :** elles se basent généralement sur une recherche complète de l'espace des combinaisons afin de trouver une solution optimale.
- **Méthodes approchées (incomplètes) :** Elles permettent de trouver une bonne solution (pas forcément optimale) dans un temps raisonnable.



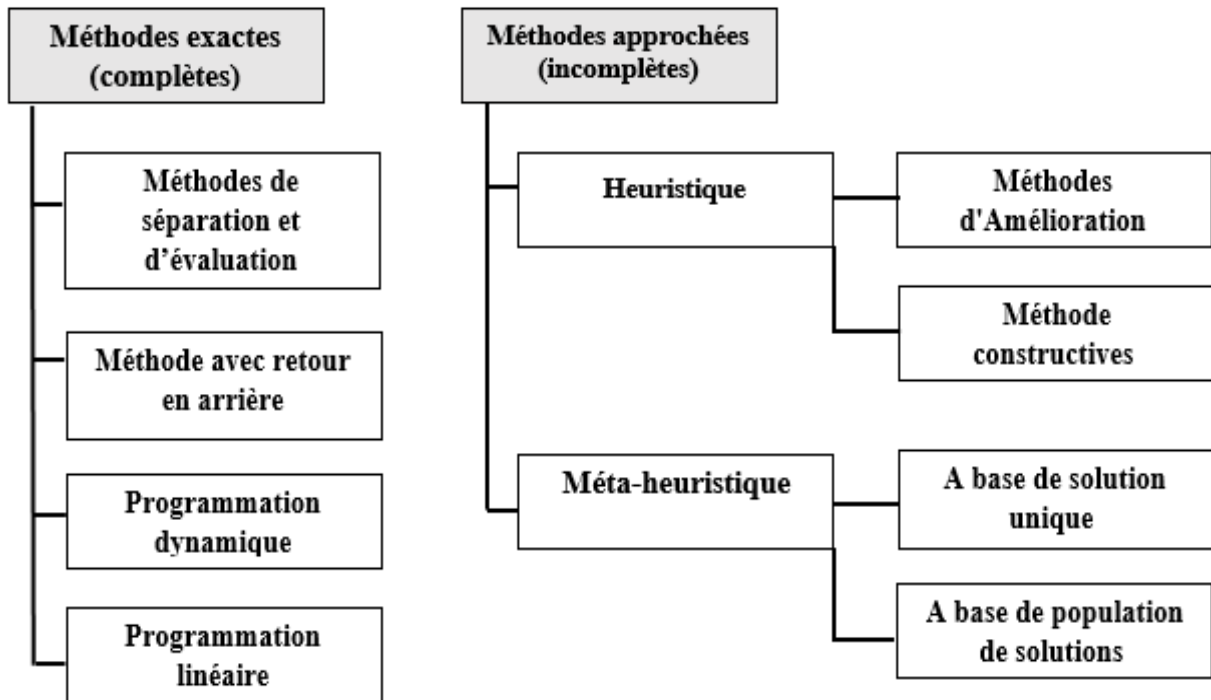


Figure 2. 1 Classification des méthodes d'optimisation. [5]

### 2.1. Méthodes exactes (complètes) :

Le principe des méthodes exactes consiste généralement à énumérer, souvent de manière implicite, l'ensemble des solutions dans le but de trouver la solution optimale : [5]

- Avantage : Certitude de trouver la solution optimale.
- Inconvénient : Temps d'exécution prohibitif.

Les algorithmes exacts les plus réussis dans la littérature appartiennent aux quatre paradigmes : [5]

- Méthodes de séparation et d'évaluation.
- Méthodes avec retour arrière.
- Programmation dynamique.
- Programmation linéaire.

### 2.1.1. Méthodes de séparation et d'évaluation :

L'algorithme de séparation et évaluation, plus connu sous son appellation anglaise Branch and Bound (B&B), repose sur une méthode arborescente de recherche d'une solution optimale par séparations et évaluations, en représentant les états solutions par un arbre d'états, avec des nœuds, et des feuilles. [5]

Le branch-and-bound est basé sur trois axes principaux : [5]

- **L'évaluation** : permet de réduire l'espace de recherche en éliminant quelques sous-ensembles qui ne contiennent pas la solution optimale.
- **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.
- **La stratégie de parcours** : Il existe trois parcours possible de l'arbre :
  - ✓ **La profondeur d'abord** : Cette stratégie avantage les sommets les plus éloignés de la racine en appliquant plus de séparations au problème initial. Cette voie mène rapidement à une solution optimale en économisant la mémoire
  - ✓ **Le meilleur d'abord** : Cette stratégie consiste à explorer des sous-problèmes possédant la meilleure borne. Elle permet aussi d'éviter l'exploration de tous les sous problèmes qui possèdent une mauvaise évaluation par rapport à la valeur optimale.
  - ✓ **La largeur d'abord** : Cette stratégie favorise les sommets les plus proches de la racine en faisant moins de séparations du problème initial. Elle est moins efficace que les deux autres stratégies présentées.

### 2.1.2. Méthodes avec retour arrière (Backtracking) :

C'est l'algorithme d'énumération le plus classique. Son principe est de parcourir les valeurs des variables par instanciation en remettant à cause la dernière affectation si une contrainte du problème est violée. Afin d'aboutir à une configuration consistante, une nouvelle valeur est

affectée à la variable  $x_i$  en respectant son domaine de définition. Le processus est répété à chaque itération jusqu'à l'émergence d'une solution complète. Si toutes les possibilités ont été essayées sans donner de bonnes solutions, dans ce cas-là on dit que le problème est irréalisable. Grâce à son principe qui permet une exploitation complète de l'espace de recherche, cet algorithme garantit l'aboutissement à la solution optimale. Néanmoins, il est très lent : si on se trouve devant un problème de  $n$  variables ayant chacune un domaine de définition de  $k$  valeurs, il y a  $k^n$  combinaisons possibles et donc une complexité et un temps de recherche exponentiels et peut être irraisonnable (dans le cas de problèmes de grande taille). [6]

### **2.1.3. Programmation dynamique :**

La programmation dynamique est une des plus vieilles techniques pour produire des algorithmes exacts plus efficaces que l'énumération exhaustive. C'est un paradigme de programmation, c'est-à-dire une façon particulière d'appréhender un problème algorithmique donné. Elle est utile pour obtenir une solution exacte à un problème algorithmique, là où une solution « classique » se trouve être trop complexe, c'est-à-dire trop peu efficace. On parle alors d'**optimisation combinatoire**. Donc elle est contrairement à la programmation linéaire, il n'y a pas un formalisme mathématique standard. C'est une approche de résolution où les équations doivent être spécifiées selon le problème à résoudre. L'efficacité de cette méthode repose sur le principe d'optimalité énoncé par le mathématicien Richard Bellman : « **toute politique optimale est composée de sous-politiques optimales** ». [7]

#### **Principe (Bellman, 1949) :**

Composer une solution optimale du problème en combinant les solutions (optimales) de ses sous-problèmes. [8]

#### **En pratique :**

- Décomposer le problème en des sous-problèmes plus petits
- Calculer les solutions optimales de tous ces sous-problèmes et les garder en mémoire.
- Calculer la solution optimale à partir des solutions optimales des sous-problèmes [8]

#### **2.1.4. Programmation linéaire :**

La programmation linéaire est un outil très puissant de la recherche opérationnelle. C'est un outil générique qui peut résoudre un grand nombre de problèmes. En effet, une fois un problème modélisé sous la forme d'équations linéaires, des méthodes assurent la résolution du problème de manière exacte. On distingue dans la programmation linéaire, la programmation linéaire en nombres réels, pour laquelle les variables des équations sont dans  $\mathbb{R}^+$  et la programmation en nombres entiers, pour laquelle les variables sont dans  $\mathbb{N}$ . Bien entendu, il est possible d'avoir les deux en même temps. Cependant, la résolution d'un problème avec des variables entières est nettement plus compliquée qu'un problème en nombres réels. [9]

Une des méthodes les plus connues pour résoudre des programmes linéaires en nombre réels est la méthode du Simplex. En théorie, elle a une complexité non polynomiale et est donc supposée peu efficace. Cependant, en pratique, il s'avère au contraire qu'il s'agit d'une bonne méthode. [9]

De plus, de nombreux logiciels intégrant cette méthode existent. Certains sont utilisés via une interface graphique alors que d'autres permettent une communication par fichiers ce qui autorise l'utilisation du programme de manière cachée dans le développement d'un autre logiciel. [9]

La programmation linéaire permet la résolution d'un programme linéaire. Un programme linéaire est un système d'équations ou d'inéquations appelées "contraintes" qui sont linéaires (c'est-à-dire que les variables ne sont pas élevées au carré, ne servent pas d'exposant, ne sont pas multipliées entre elles...). Et à partir de ces contraintes, on doit optimiser une fonction également linéaire appelée objectif. [9]

#### **2.2. Méthodes approchées (incomplètes) :**

Contrairement aux méthodes exactes, les méthodes approchées sont incomplètes, c'est-à-dire elles permettent de trouver de bonnes solutions, mais ne garantissent en aucun cas l'optimalité de ces solutions. Ils sont destinés à la résolution des problèmes difficiles, qui n'ont pas de méthode spécifiques de résolution, mais l'avantage principal de ces méthodes c'est qu'elles peuvent être s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles. De plus, elles ont démontré leurs robustesses et efficacités face à plusieurs problèmes d'optimisation combinatoires. Leurs principes résident dans leurs simplicités. On distingue deux familles : Les Heuristiques et Les Méta-Heuristiques. [4] [3] [5]

### **2.2.1. Heuristiques :**

Une heuristique est une technique qui améliore l'efficacité d'un processus de recherche, en sacrifiant éventuellement l'exactitude ou l'optimalité de la solution.

En optimisation combinatoire, une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. [4]

Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre sans offrir aucune garantie quant à la qualité de la solution calculée.

L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte. [9]

Pour des problèmes d'optimisation NP-complets, où la recherche d'une solution exacte (optimale) est difficile, on peut se contenter d'une solution satisfaisante donnée par une heuristique avec un coût plus faible. [9]

Les heuristiques peuvent être classées en deux catégories : [9]

- Méthodes constructives qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue,
- Méthodes de fouilles locales (ou d'affinage ou d'amélioration) qui démarrent avec une solution initialement complète (probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

#### **2.2.1.1. Méthode constructives :**

Les méthodes constructives sont des algorithmes gloutons (c'est-à-dire qu'elles ne remettent pas en question les choix effectués lors des itérations précédentes). Elles permettent cependant de construire rapidement de bonnes solutions, ce qui justifie leur utilisation en amont des méthodes d'amélioration et leur hybridation avec les métaheuristiques.

Les heuristiques constructives les plus connues sont la méthode du plus proche voisin et la méthode des Savings. [4]

### **2.2.1.2. Méthodes d'Amélioration :**

Les méthodes d'amélioration tentent d'améliorer une solution du problème VRP, en lui appliquant des opérateurs heuristiques d'échange de clients au sein des tournées. Ces échanges peuvent opérer sur des clients d'une même tournée ou sur les clients de plusieurs tournées différentes. Les algorithmes d'échange de type R-opt, sont très employés et généralisables à tout problème dont une solution consiste en une permutation des éléments de celui-ci. Le principe de ces algorithmes est de considérer R éléments (les clients) et de les échanger entre eux en vue d'améliorer la solution. Cette remarque indique qu'à la fin de la procédure, aucune autre amélioration n'est possible en échangeant R éléments. Pour limiter le temps de calcul, la valeur de R est généralement limitée à 2 ou 3. L'heuristique d'amélioration la plus connue est la méthode 2-Optimalité. [4]

### **2.2.2. Les métaheuristiques :**

#### **2.2.2.1. Que signifie le mot « métaheuristique » ?**

Le mot Méta-Heuristique est dérivé de la composition de deux mots grecs : « Heuristique » qui vient du verbe « heuriskein » (εὕρισκειν) et qui signifie « trouver », « Meta » qui est un suffixe signifiant : « au-delà », dans un niveau supérieur. [3]

#### **2.2.2.2. Généralité sur les métaheuristiques :**

Face aux difficultés rencontrées par les heuristiques pour avoir une solution réalisable de bonne qualité pour des problèmes d'optimisation difficiles, les métaheuristiques ont fait leur apparition. Ces algorithmes sont plus complets et complexes qu'une simple heuristique, et permettent généralement d'obtenir une solution de très bonne qualité pour des problèmes issus des domaines de la recherche opérationnelle ou de l'ingénierie dont on ne connaît pas de méthodes efficaces pour les traiter ou bien quand la résolution du problème nécessite un temps élevé ou une grande mémoire de stockage. Le rapport entre le temps d'exécution et la qualité de la solution trouvée d'une métaheuristique reste alors dans la majorité des cas très intéressant par rapport aux différents types d'approches de résolution. La plupart des métaheuristiques utilisent des processus aléatoires et itératifs comme moyens de rassembler de l'information, d'explorer l'espace de recherche et de faire face à des problèmes comme l'explosion combinatoire. Une métaheuristique peut être adaptée pour différents types de problèmes, tandis qu'une heuristique est utilisée à un problème donné. Plusieurs d'entre elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels dans de nombreux domaines tels que : la biologie

(algorithmes évolutionnaires et génétiques) la physique (recuit simulé), et aussi l'éthologie (algorithmes de colonies de fourmis). Un des enjeux de la conception des métaheuristiques est donc de faciliter le choix d'une méthode et le réglage des paramètres pour les adapter à un problème donné. [9]

### **2.2.2.3. Les propriétés fondamentales des Métaheuristiques :**

- Les métaheuristiques sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale
- Le but visé par les métaheuristiques est d'explorer l'espace de recherche efficacement afin de déterminer des solutions (presque) optimales.
- Les techniques qui constituent des algorithmes de type méta heuristique vont de la simple procédure de recherche locale à des processus d'apprentissage complexes.
- Les métaheuristiques sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- Les métaheuristiques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche.
- Les concepts de base des métaheuristiques peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique.
- Les métaheuristiques peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème traité, mais ces heuristiques sont contrôlées par une stratégie de niveau supérieur.
- Les métaheuristiques peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider la suite du processus de recherche. [5]

### **2.2.2.4. Classement des métras heuristiques selon le type :**

Les métaheuristiques peuvent être classées de nombreuses façons. On peut distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire. Ces méthodes construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales. [9]

#### **2.2.2.4.1. A base de solution unique :**

Les métaheuristiques à base de solution unique débutent la recherche avec une seule solution initiale. Elles se basent sur la notion du voisinage pour améliorer la qualité de la solution courante. En fait, la solution initiale subit une série de modifications en fonction de son voisinage. Le but de ces modifications locales est d'explorer le voisinage de la solution actuelle afin d'améliorer progressivement sa qualité au cours des différentes itérations. Le voisinage de la solution  $s$  englobe l'ensemble des modifications qui peuvent être effectuées sur la solution elle-même. La qualité de la solution finale dépend particulièrement des modifications effectuées par les opérateurs de voisinages. En effet, les mauvaises transformations de la solution initiale mènent la recherche vers la vallée de l'optimum local d'un voisinage donné (peut être un mauvais voisinage) ce qui bloque la recherche en fournissant une solution de qualité insuffisante. Les exemples les plus connus de ces méthodes sont : le Recuit Simulé et la Recherche Tabou [6]

##### **a. Le Recuit Simulé :**

L'algorithme du recuit simulé a été proposé par **Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi**. Son principe se base sur la procédure du recuit des métaux utilisée par les métallurgistes. Ces derniers chauffe à blanc le métal, puis ils laissent l'alliage se refroidir très lentement afin d'aboutir à un alliage sans défauts. En fait, les thermodynamiciens ont remarqué qu'une baisse brutale de la température d'un liquide entraîne une reproduction d'un optimum local, c'est à dire une structure amorphe. Alors qu'une baisse progressive de la température du liquide permet d'aboutir à un optimum global, c'est à dire une structure bien construite. C'est l'idée prise en considération par les métallurgistes qui savent que si le métal refroidit trop vite, il contiendra beaucoup de défauts microscopiques et s'il refroidit lentement ils obtiendront une structure bien ordonnée. La métaheuristique du recuit simulé s'inspire de l'algorithme de Métropolies [Métropolies et al, 1953], dont le principe (pour un problème de maximisation) peut être résumé comme suit : [6]

- Entamer la recherche avec une solution initiale  $s$
- Affecter une valeur initiale à la température  $T$
- Calculer la fitness  $f(s)$  de la solution initiale  $s$
- Générer une solution  $s'$  voisine de  $s$
- Calculer la fitness  $f(s')$  de  $s'$



- Calculer l'écart de qualité (fitness) entre la solution  $s$  et la solution  $s'$  comme suit :

$$\Delta(f) = f(s') - f(s) \quad (2.1)$$

- **Si**  $\Delta(f) \geq 0$  **alors**  $s \leftarrow s'$
- **Sinon** générer un nombre aléatoire  $r \in [0,1]$  ;
- **Si**  $r < \exp\left(\frac{\Delta f}{T}\right)$  **alors**  $s \leftarrow s'$

Le recuit simulé permet d'accepter une solution de piètre qualité que la solution courante afin de diversifier la recherche et échapper au piège de l'optimum local. Le fait d'accepter des solutions de mauvaises qualités peut mener la recherche vers la meilleure solution (l'optimum global) car cette dernière peut faire partie du voisinage d'une mauvaise solution et non pas d'une bonne solution (c'est à dire la solution courante qui est de meilleure qualité que sa voisine) qui peut représenter un optimum local. Cependant, l'acceptation de solutions de mauvaises qualités peut causer une perte de la meilleure solution rencontrée au cours de la recherche et entraîne une convergence vers une solution de mauvaise qualité qu'une autre déjà trouvée. Ce problème peut être facilement résolu en ajoutant une variable permettant la mémorisation de la meilleure solution trouvée. [6]

L'acceptation d'une solution de mauvaise qualité est établi en fonction de deux facteurs : l'écart de qualité entre la solution courante et sa voisine d'un côté, et la température de l'autre côté. Plus la température est élevée, plus la probabilité d'accepter des solutions de mauvaises qualités est forte. La valeur initiale de la température  $T$  décroît au cours de la recherche pour tendre vers le 0. Ce paramètre (la température) a un effet non négligeable sur la performance de l'algorithme. Il doit être soigneusement ajusté tout au long de la recherche. [6]

En fait, un refroidissement rapide de la valeur de  $T$  peut entraîner une convergence prématurée de l'algorithme vers un optimum local de mauvaise qualité. Tandis qu'un refroidissement lent peut mener la recherche vers une solution de bonne qualité. Cependant, le refroidissement trop lent nécessite un temps de calcul élevé. En outre, le choix de la valeur initiale de  $T$  joue un rôle primordial dans le processus de recherche. Il dépend de la qualité de la solution initiale. Si cette dernière est choisie aléatoirement, il sera préférable d'affecter une valeur élevée à  $T$  pour donner plus de chance d'aboutissement à de bonnes solutions. Si le choix de la valeur initiale de la solution est expérimental ou empirique, la température initiale peut être basse. [6]

Le recuit simulé est un algorithme basé sur la recherche à voisinage (recherche locale). C'est un algorithme simple, facile à implémenter et à adapter à un grand nombre de problèmes : traitement d'image, sac à dos, voyageur de commerce, ordonnancement, etc. Comparé avec la recherche locale simple, le RS permet de se sauver du piège de l'optimum local et d'offrir des solutions de bonne qualité comme il présente une souplesse d'intégration des contraintes liées au problème traité. En revanche, cet algorithme dispose d'un nombre important de paramètres (température initiale, paramètres liés à la fonction d'ajustement de la température, etc.) à ajuster. En outre, le RS est un algorithme lent surtout avec les problèmes de grande taille. [6]

- **Avantages**

- ✓ La méthode du recuit simulé a l'avantage d'être souple vis-à-vis des évolutions du problème et facile à implémenter,
- ✓ Contrairement aux méthodes de descente, SA évite le piège des optima locaux,
- ✓ Excellents résultats pour un nombre de problèmes complexes. [9]

- **Inconvénients**

- ✓ Nombreux tests nécessaires pour trouver les bons paramètres,
- ✓ Définir les voisinages permettant un calcul efficace de DE. [9]

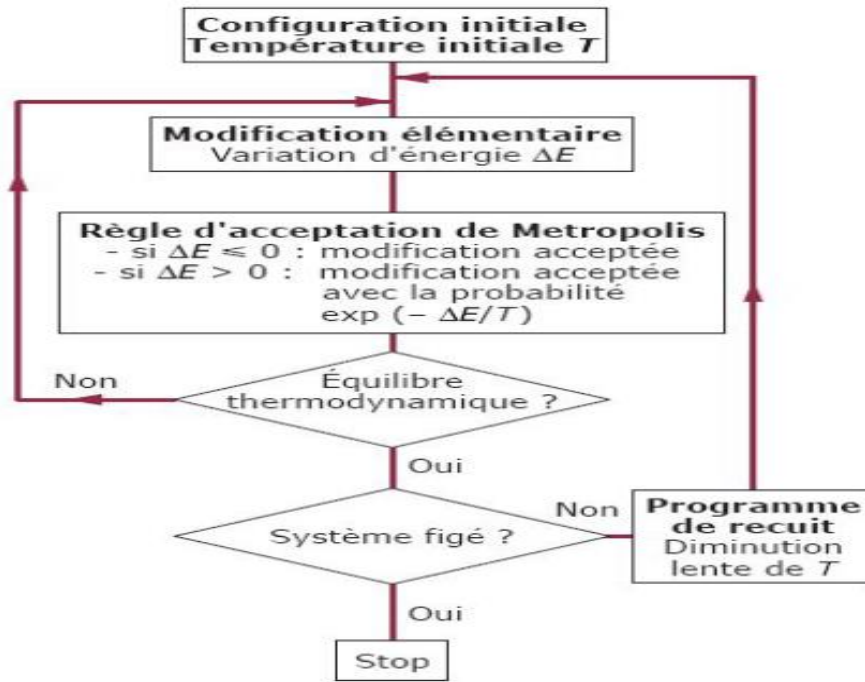


Figure 2. 2 Fonctionnement de l’algorithme de recuit simulé. [4]

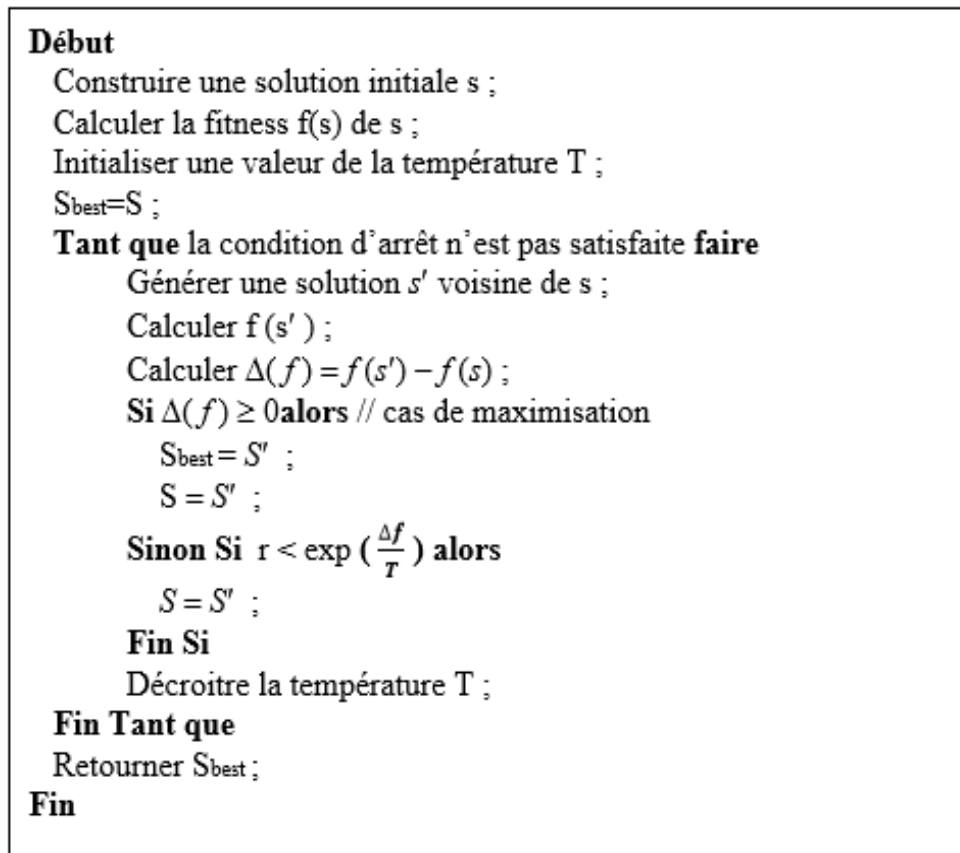


Figure 2. 3 Schéma général de l’algorithme du recuit simulé (RS). [3]

## **b. La Recherche Tabou :**

La recherche Tabou (**RT**) est une métaheuristique à base d'une solution unique. Elle a été proposée en **1986** par **Glover**. **RT** est une méthode de recherche locale avancée, elle fait appel à un ensemble de règles et de mécanismes généraux pour guider la recherche de manière intelligente. L'optimisation de la solution avec la recherche Tabou se base sur deux astuces : l'utilisation de la notion du voisinage et l'utilisation d'une mémoire permettant le guidage intelligent du processus de la recherche. En parcourant le voisinage de la solution courante **s**, la recherche Tabou ne s'arrête pas au premier optimum local rencontré. Elle examine un échantillonnage de solution du voisinage de **s** et retient toujours la meilleure solution voisine **s'**, même si celle-ci est de piètre qualité que la solution courante **s**, afin d'échapper de la vallée de l'optimum local et donner au processus de la recherche d'autres possibilités d'exploration de l'espace de recherche afin de rencontrer l'optimum global. En fait, les solutions de mauvaise qualité peuvent avoir de bons voisinages et donc guider la recherche vers de meilleures solutions. Cependant, cette stratégie peut créer un phénomène de cyclage (on peut revisiter des solutions déjà parcourues plusieurs fois). Afin de pallier à ce problème, la recherche Tabou propose l'utilisation d'une mémoire permettant le stockage des dernières solutions rencontrées pour ne pas les visiter dans les prochaines itérations et tomber dans le problème du cyclage répétitif. Cette mémoire est appelée « **la liste tabou** », d'où le nom de la métaheuristique tabou. La taille de la liste Tabou est limitée, ce qui empêche l'enregistrement de toutes les solutions rencontrées. C'est la raison pour laquelle la liste Tabou procède comme une pile FIFO, où la plus ancienne solution sera écartée pour laisser place à la dernière solution rencontrée. [3]

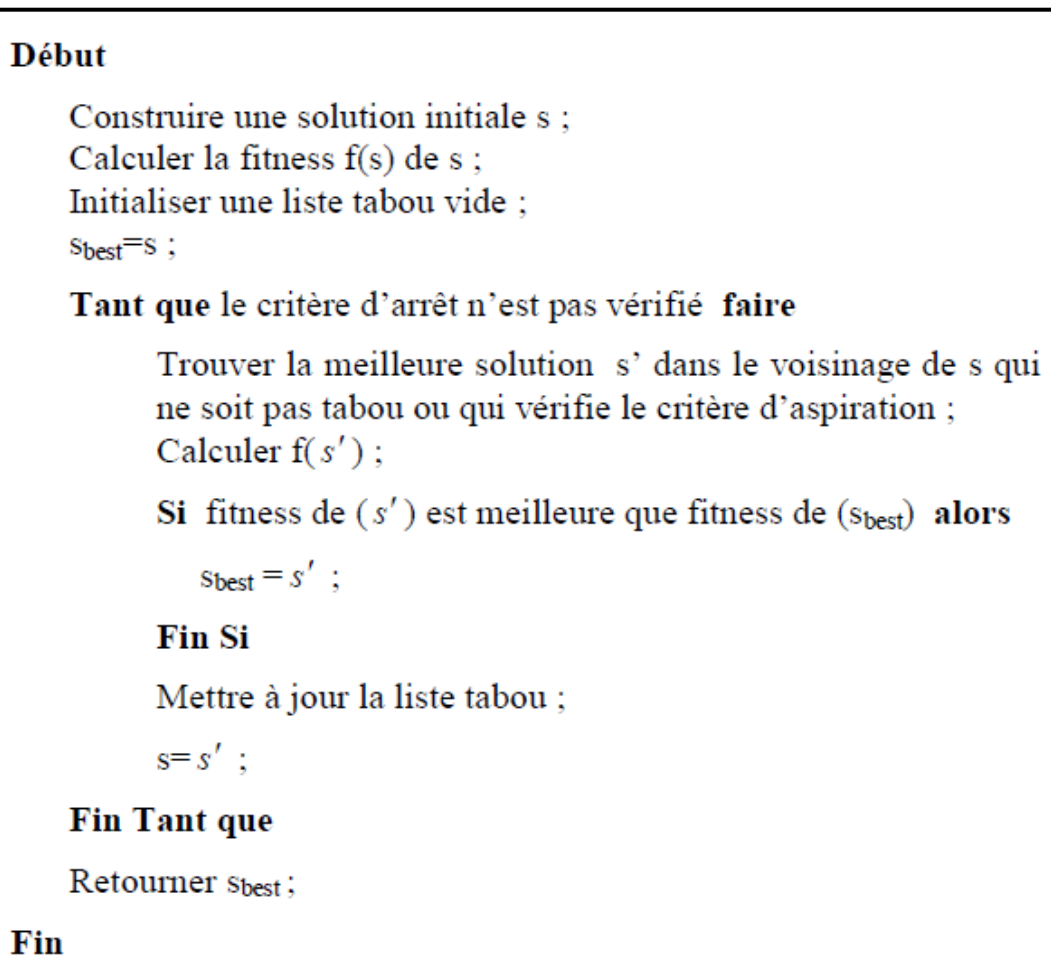


Figure 2. 4 Schéma général de l'algorithme du Recherche Tabou (RT). [3]

#### 2.2.2.4.2. A base de population de solutions :

Les métaheuristiques à base de population de solutions débutent la recherche avec une panoplie de solutions. Elles s'appliquent sur un ensemble de solutions afin d'en extraire la meilleure (l'optimum global) qui représentera la solution du problème traité. L'idée d'utiliser un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution renforce la diversité de la recherche et augmente la possibilité d'émergence de solutions de bonne qualité. Une grande variété de méthodes qui travaillent avec une population de solutions ont été proposées dans la littérature, les algorithmes génétiques et Les algorithmes de colonies de fourmis présentent les exemples les plus connus de ces méthodes. [6]

### a. Les algorithmes génétiques :

L'algorithme génétique représente une célèbre métaheuristique évolutionnaire. Il a été proposé par **Jhon Holland** en **1975**. L'algorithme génétique s'inspire des mécanismes biologiques tels que les **lois de Mendel** et la théorie de l'évolution proposée par **Charles Darwin**. Son processus de recherche de solutions à un problème donné imite celui des êtres vivants dans leur évolution. Il utilise le même vocabulaire que celui de la biologie et la génétique classique, on parle donc de : gène, chromosome, individu, population et génération. [6]

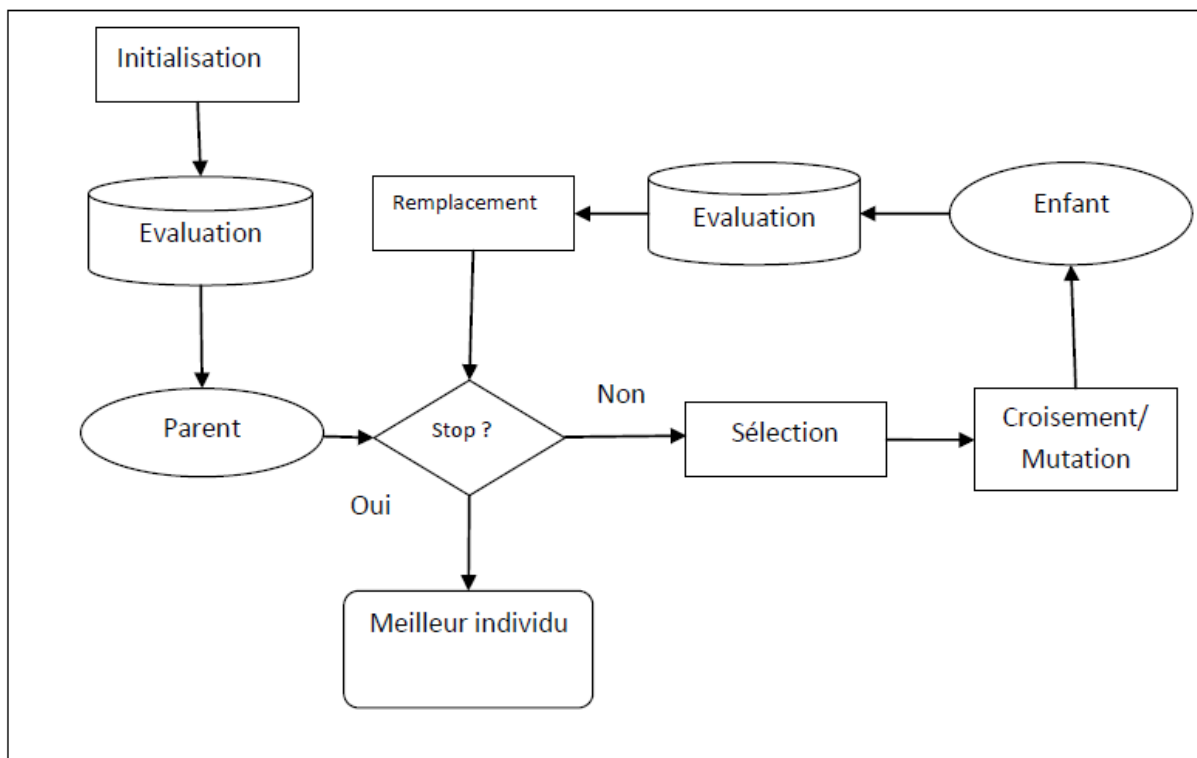


Figure 2. 5 Démarche d'un algorithme génétique. [6]

L'algorithme génétique fait évoluer une population composée d'un ensemble d'individus pendant un ensemble de génération jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit vérifié. Le passage d'une population à une autre est réalisé grâce à des opérations d'évaluation, de sélection, de reproduction (croisement et mutation) et de remplacement.

L'algorithme commence la recherche avec un ensemble d'individus. A chaque itération de la procédure de recherche, les meilleurs individus sont sélectionnés pour survivre et se reproduire. La sélection des individus est fondée sur leurs qualités qui sont mesurées à partir d'une fonction appelée « fonction objectif ou fonction fitness ». Ensuite, les individus (appelés parents) sont sélectionnés pour subir des opérateurs de croisement et de mutation permettant la génération

d'une autre population d'individus (appelés enfants). Les individus de la nouvelle population seront évalués pour remplacer une partie des individus de la population courante. [6]

**La figure 2. 10** illustre un schéma général des étapes du processus de recherche de l'algorithme génétique.

#### **b. Les algorithmes de colonies de fourmis**

L'algorithme de colonies de fourmis est un des algorithmes basés sur l'intelligence par essaim. Il a été introduit au début des années **90** par le trinôme **Coloni, Dorigo** et **Maniezzo**. L'idée de base du trinôme imite le comportement collectif des fourmis lors de leur déplacement entre la fourmilière et la source de nourriture. L'objectif du comportement collectif des fourmis est de collecter la nourriture sans perdre le chemin menant à leur nid. Les fourmis sont des insectes qui œuvrent pour le bien du groupe. Leurs capacités physiques et cognitives limitées n'ont jamais construit un obstacle pour elles. En effet, elles peuvent défier leurs capacités individuelles limitées et réaliser des tâches très complexes (construire des nids, rechercher la nourriture, élever les larves...) par coopération en regroupant leurs capacités disponibles et leurs expériences collectives. [6]

Dans l'objectif de rechercher la nourriture en parcourant le plus court chemin, les fourmis se communiquent indirectement entre elles en provoquant des changements dans leur environnement. Au début de la recherche, les fourmis se propagent aléatoirement en prenant des chemins de différentes tailles (court, long,..) dont elles déposent sur le sol une matière odorante appelée « phéromone » d'intensités égales. Afin d'attirer l'attention de leurs congénères en retournant au nid, les fourmis déposent des phéromones un peu différents contenant un message concernant la qualité du site visité. Les fourmis ont tendance de suivre le chemin de plus forte intensité de phéromones. Plus le chemin est court, plus la quantité de phéromones y est déposée est élevée. Et plus l'intensité de phéromones est grande, plus le nombre de fourmis utilisant ce passage augmente. Par conséquent, le chemin le plus long sera abandonné car l'intensité de phéromones y compris est petite et s'évapore rapidement. [6]

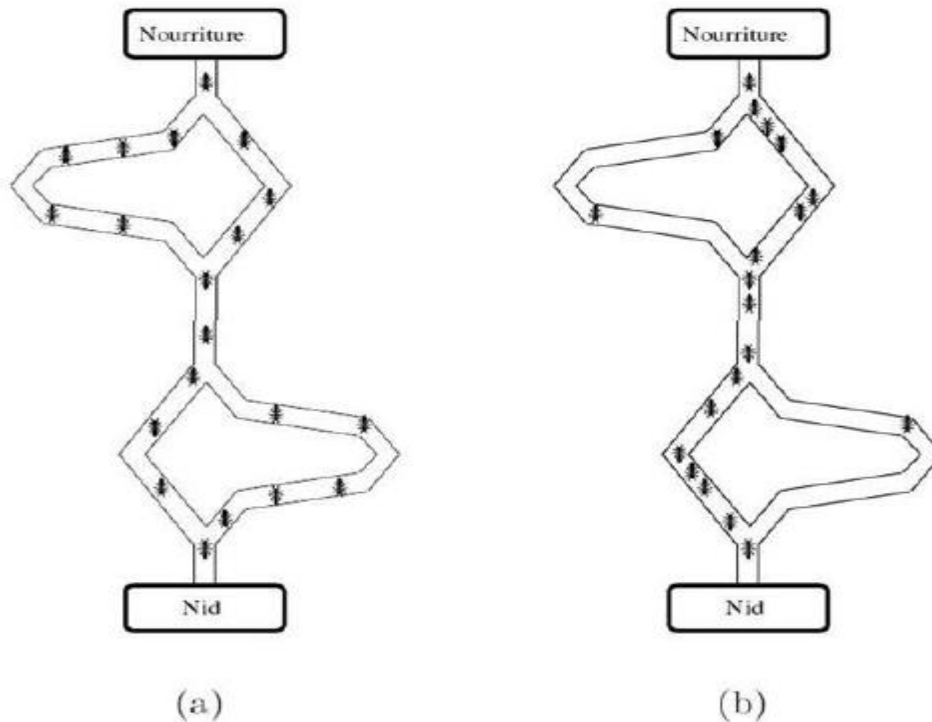


Figure 2. 6 L'expérience du pont à double branche. [9]

L'auto-organisation des fourmis basée sur l'utilisation des marqueurs chimiques (les phéromones) a construit le secret du succès de ces insectes dans la résolution de leurs problèmes. La fourmi informatique représente une solution au problème traité. Les phéromones informatiques sont des valeurs associées à des solutions trouvées. Ces valeurs dépendent des qualités des solutions. En fait, chaque fourmi (i.e. solution) dépose une certaine quantité de phéromones qui dépend de sa qualité. [6]

L'algorithme de colonies de fourmis a été proposé pour la première fois pour résoudre le problème du voyageur de commerce, il se base sur trois phases essentielles : [6]

- ✓ La construction du trajet de chaque fourmi.
- ✓ La distribution de phéromones sur le trajet de chaque fourmi.
- ✓ Evaporation des pistes de phéromones.

L'algorithme suivant représente le schéma général de l'algorithme de colonies de fourmis pour le problème du voyageur de commerce (TSP : Traveling Salesman Problem). Il est à noter qu'à part le problème du voyageur de commerce, l'algorithme de colonies de fourmis a été appliqué



avec succès sur d'autres problèmes d'optimisation comme : les problèmes des tournées de véhicules, le problème d'affectation quadratique...etc. [6]

```
Début  
  
Initialiser une population de m fourmis ;  
Evaluer les m fourmis ;  
Tant que la condition d'arrêt n'est pas satisfaite faire  
Pour i=1 à m faire  
  Construire le trajet de la fourmi i;  
  Déposer des phéromones sur le trajet de la fourmi i;  
Fin pour  
  Evaluer les m fourmis;  
  Evaporer les pistes de phéromones;  
Fin Tant que  
Retourner la ou les meilleures solutions ;  
  
Fin
```

Figure 2. 7 L'algorithme de colonies de fourmis pour le TSP. [3]

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé sur les méthodes d'optimisation présentées dans la littérature commençant par les méthodes exactes aux méthodes approchées. Nous avons constaté que les méthodes exactes permettent d'aboutir à la solution optimale, mais elles sont trop gourmandes en termes de temps de calcul et d'espace mémoire requis. Contrairement, les méthodes approchées demandent des coûts de recherche raisonnables. Mais, elles ne garantissent pas l'optimalité de la solution. Nous avons pu aussi constater que les méthodes approchées peuvent être partagées en deux classes des méthodes heuristiques et des méthodes métaheuristiques. Une méthode heuristique est applicable sur un problème donné. Tandis qu'une méthode métaheuristique est plus générique et elle peut être appliquée sur une panoplie de problèmes d'optimisation. En outre, nous avons constaté que les méthodes métaheuristiques peuvent être partagées en deux sous classes : des méthodes à base d'une solution unique et des méthodes à base de population de solutions. Les méthodes à base d'une solution unique se basent sur la recherche locale pour trouver la solution du problème à traiter. Elles sont souvent piégées par l'optimum local d'un voisinage donné. Par contre, les méthodes à base de population de solutions se basent sur une recherche globale ce qui leur permet d'échapper au problème de la

convergence vers l'optimum global et augmente leur possibilité de fournir des solutions de bonnes qualités. [6]

# **Chapitre 3 :**

## **La problématique**

## **Introduction**

La recherche dans le domaine du transport a beaucoup évoluée dans ces dernières années. Les entreprises ont découvert qu'une meilleure planification des tournées de véhicules permet de minimiser les coûts du transport.

Les problèmes de transports sont variés, le problème de base et probablement le plus étudié est le Problème du Voyageur de Commerce, son objectif est la visite aux moindres coûts d'un ensemble de clients, une et une seule fois, avec un seul véhicule.

L'extension du nombre de véhicules de un à une flotte de véhicules définit un autre problème de transport qui s'appelle le problème des Tournées des Véhicules (**VRP**).

Dans ce chapitre nous présentons d'abord notre problématique suivis par une collecte de données, ensuite nous définissons le problème des tournées des véhicules, ses caractéristiques et ses variantes.

### **3.1. Position du problème :**

Dans cette section, nous allons en premier lieu présenter les données collectées au niveau de l'entreprise et en second lieu les contraintes et les objectifs de cette étude.

#### **3.1.1. Collecte des données :**

Le stage pratique que j'ai effectué à l'entreprise NAFTAL, plus précisément au niveau du centre de stockage et de distribution REMCHI(CSD), m'a permis de cerner un problème d'approvisionnement et de récolter les données nécessaires pour notre étude. Nous avons recueilli des informations concernant :

- ✓ les dépôts de stockage
- ✓ les moyens de transport
- ✓ les stations de service (les clients)
- ✓ les demandes des clients

##### **3.1.1.1. Dépôts de stockage :**

Toutes les stations-services de la wilaya de Tlemcen sont approvisionnées à partir du centre de stockage et distribution de REMCHI (CSD). L'entreprise stocke les quatre types de produit carburants (Essence normale, Essence super, gasoil, Essence sans plomb) ils sont stockés dans

des bacs d'une capacité différente, les tableaux suivants (3.1 - 3.2 - 3.3 - 3.4) représente les capacités de chaque bac :

	TK6005	TK6017	TK6018
Capacité (m <sup>3</sup> )	205	200	1276

Tableau 3. 1 Les bacs de stockage de l'Essence Normal

	TK6001	TK6002	TK6021	TK6022	TK6023	TK6024
Capacité (m <sup>3</sup> )	540	2621	2600	2600	1260	600

Tableau 3. 2 Les bacs de stockage de l'Essence super

	TK6006	TK6007	TK6008	TK6009	TK6014	TK6015	TK6016	TK6025
Capacité (m <sup>3</sup> )	470	2335	1285	2335	8470	3805	3810	560

Tableau 3. 3 Les bacs de stockage Du Gasoil

	TK6003	TK6004	TK6020
Capacité (m <sup>3</sup> )	1270	1268	2590

Tableau 3. 4 Les bacs de stockage de l'Essence sans plomb

### 3.1.1.2. Les moyens de transport

Pour pouvoir ravitailler les stations-services de la wilaya de Tlemcen en carburants, le service de distribution utilise deux moyens de transports :

- ✓ Les moyens NAFTAL (flotte hétérogène) : 04 camions citerne, 12 tracteurs et 12 citernes.
- ✓ Les moyens tiers (flotte hétérogène) : 07 tracteurs et 07 citernes.

**Remarque 01 :** Chaque citerne est composée de (04) compartiments et la capacité de chaque compartiment est en  $m^3$ , selon la configuration représenté aux tableaux suivant (3.5 – 3.6 – 3.7).

**Remarque 02 :** nous avons pris un échantillon de 17 camions pour tester notre algorithme dans des cas difficiles :

Numéro	Code	Capacité ( $m^3$ )	Nombre des compartiments et leurs capacités ( $m^3$ )
01	Cp12.01	12	4 compartiments de 3
02	Cp12.02	12	4 compartiments de 3
03	Cp12.03	12	4 compartiments de 3

Tableau 3. 5 Liste des camions citerne (NAFTAL)

Numéro	Code	Capacité ( $m^3$ )	Nombre des compartiments et leurs capacités ( $m^3$ )
01	CN25.01	25	3 compartiments de 5 + 1 compartiments de 10
02	CN25.02	25	3 compartiments de 5 + 1 compartiments de 10
03	CN27.01	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
04	CN27.02	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
05	CN27.03	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
06	CN27.04	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
07	CN27.05	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
08	CN27.06	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
09	CN30.01	30	2 compartiments de 7 + 2 compartiments de 8
10	CN30.02	30	2 compartiments de 7 + 2 compartiments de 8
11	CN30.03	30	2 compartiments de 7 + 2 compartiments de 8
12	CN30.04	30	2 compartiments de 7 + 2 compartiments de 8

Tableau 3. 6 Liste des citernes (NAFTAL)

Numéro	Code	Capacité ( $m^3$ )	Nombre des compartiments et leurs capacités ( $m^3$ )
01	CT.01	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6
02	CT.02	27	3 compartiments de 7 + 1 compartiments de 6

Tableau 3. 7 Liste des citernes tiers.

Les deux tableaux suivants (3.8 – 3.9) représentent la liste des tracteurs NAFTAL et des tracteurs tiers :

Numéro du tracteur	Code du tracteur
01	TN.01
02	TN.02
03	TN.03
04	TN.04
05	TN.05
06	TN.06
07	TN.07
08	TN.08
09	TN.09
10	TN.10
11	TN.11
12	TN.12

Tableau 3. 8 Liste des tracteurs NAFTAL.

Numéro du tracteur	Code du tracteur
01	TT.01
02	TT.02

Tableau 3. 9 Liste des tracteurs tiers.

### 3.1.1.3. Les stations de service :

Le réseau de la wilaya de Tlemcen est composé de 68 stations de service, réparties selon le mode de gestion suivant :

- ✓ **Les stations GD** : Station-service en **Gestion Directe**, ce sont des stations gérées directement par NAFTAL. Elle possède 14 GD.

✓ **Station GL :**

Station-service en **Gestion Libre**, ce sont des stations appartenant à NAFTAL, dont la gestion est confiée à des gérants libres. Elle possède 04 GL.

✓ **Les stations PVA : Point de Vente Agréé** de capacité moyenne, ce sont des stations appartenant à NAFTAL. Elle possède 50 PVA.

Le tableau suivant (3.10) résume tous les Stations- Services : leurs types, nom du client, leurs distances par apports au centre de stockage et de distribution qu'elle est calculée en KM, et ces régions.

**Remarque :** nous avons pris un échantillon de 50 stations-services, car y'en a qui n'ont effectué aucune demande durant la semaine dont nous avons appliqué notre essai, aussi nous n'avons pas pu avoir les distance exacte de ces dernier par rapport aux autre stations que nous avons pris comme échantillon

Le type	Client	Distance par rapport au CSD (en KM)	Région
GD	GD REMCHI	1	REMCHI
GD	GD MAGHNIA	60	MAGHNIA
GD	GD NEDROMA	60	NEDROMA
GD	GD SOUAHLIA	75	SOUAHLIA
GD	GD M.B.M'HIDI	110	M.B.M'HIDI
GD	GD BAB ASSA	90	BAB ASSA
GD	GD HONAINE	40	HONAINE
GD	GD KOUDIA	19	KOUDIA
GD	GD S.DJILLALI	95	S.DJILLALI
GD	GD EL ARICHA	118	EL ARICHA
GD	GD O.MIMOUN	60	O.MIMOUN
GD	GD SEBRA	58	SEBRA
GD	GD BENSACKRA	60	BENSEKRA
GL	CHOUKCHOU	30	TLEMCEN
GL	BENDI HASSANE	30	TLEMCEN



GL	LACHGUEUR	60	SEBDOU
PVA	GHORZI MED	01	REMCHI
PVA	SARL MADINA	30	TLEMCEN
PVA	SCS IMAMA	30	TLEMCEN
PVA	GUELLIL	30	TLEMCEN
PVA	BELARBI	30	TLEMCEN
PVA	KALACHE	19	TLEMCEN
PVA	BOUDGHENE STM	30	TLEMCEN
PVA	SALAH	30	TLEMCEN
PVA	KHELLIF	30	TLEMCEN
PVA	HAMDI	67	AIN TELLOUT
PVA	GUERMOUCHE	76	SIDI ABDELLI
PVA	ABDOUN	39	TERNI
PVA	GUEZZANE	75	BENI SNOUS
PVA	CHABENE	42	BOUGHRARA
PVA	DAHOU	60	MAGHNIA
PVA	HAMDOUNE	75	SOUANI
PVA	BELHAMIDI	60	MAGHNIA
PVA	RAHOUINE	75	ZOUIYA
PVA	BOUCHAREB	69	SHBIKIYA
PVA	BOUIZEM	90	BAB ASSA
PVA	OUKEBDANE	90	BAB ASSA
PVA	ZEDAZI	90	BAB ASSA
PVA	AISSANI	14	HENAYA
PVA	REZOUG	60	O.MIMOUN
PVA	SARL SIDIAMAR	60	GHAZAOUET
PVA	TAHIR PM	60	GHAZAOUET
PVA	AISSAT	58	SABRA
PVA	HEBRI	35	BENI MESTER
PVA	PVA NOUARA	60	NEDROMA
PVA	PVA SIRIR	13	ZENATA
PVA	BOUKARABILA	128	GOUR

PVA	BELYAGOUBI	175	BIDOU
PVA	SARL LILIA	60	GHAZAOUET
PVA	GUELIL O/M	60	GHAZAOUET

Tableau 3. 10 Liste des stations de service

#### 3.1.1.4. Les demande :

Les tableaux suivants (3.11 – 3.12 – 3.13 – 3.14 – 3.15 – 3.16) résument toutes les demandes effectuées par les différentes stations-services de la wilaya de Tlemcen en précisant le numéro de la demande, nom du client et la quantité demandé de chaque type de produit (Sans plomb « *SP* », Super « *ES* », Normale « *EN* », Gasoil « *GO* ») en m<sup>3</sup>, durant une semaine du 25.mai au 30.mai.2019.

#### 1<sup>er</sup> jours (Samedi 25/05/2019) :

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	0	20	7	30
02	GD MAGHNIA	7	7	7	6
03	GD NEDROMA	7	8	0	42
04	GD SOUAHLIA	7	7	0	13
05	GD KOUDIA	14	12	0	28
06	GD O.MIMOUN	0	13	0	14
07	GD SEBRA	7	6	0	14
08	SARL MADINA	7	7	0	16
09	BELARBI	7	20	0	30
10	CHOUKCHOU	7	7	0	0
11	KALACHE	7	7	0	13
12	BOUDGHENE STM	0	13	0	14
13	SALAH	15	15	0	30
14	KHELLIF	0	6	0	21
15	ABDOUN	7	7	0	16
16	DAHOU	0	7	0	20
17	BELHAMIDI	14	8	0	8
18	ZEDAZI	8	8	0	14

19	REZOUG	0	0	0	27
20	SARL SIDIAMAR	0	6	0	21
21	TAHIR PM	0	0	0	30
22	BOUKARABILA	0	6	0	21
23	SARL LILIA	0	0	0	30
24	GUELIL O/M	0	6	0	21

Tableau 3. 11 la liste des demandes du 1<sup>er</sup> jour

**2<sup>ème</sup> jours (Dimanche 26/05/2019) :**

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	14	0	0	40
02	GD MAGHNIA	0	7	0	23
03	GD NEDROMA	0	7	0	20
04	GD M.B.M'HIDI	7	7	0	13
05	GD BAB ASSA	0	13	0	14
06	GD KOUDIA	0	8	0	22
07	GD EL ARICHA	7	0	0	20
08	GD BENSARKAN	7	7	0	13
09	SARL MADINA	0	7	0	7
10	SCS IMAMA	7	7	0	13
11	GUELLIL	0	7	0	0
12	BELARBI	0	15	0	15
13	CHOUKCHOU	7	0	0	20
14	KALACHE	7	7	0	13
15	BOUDGHANE STM	14	7	0	0
16	BENDI HASSANE	7	0	0	20
17	SALAH	16	25	0	20
18	KHELLIF	75	75	0	15
21	LACHGEURE	0	7	0	20
22	ABDOUN	7	7	0	13
23	GUEZZANE	0	0	0	30
24	DAHOU	0	7	0	20

25	BELHAMIDI	0	0	0	30
26	RAHOUNE	0	7	0	20
27	AISSANI	0	0	0	12
28	PVA NOUARA	0	8	0	22
29	SARL LILIA	0	0	0	27
30	GUELIL O/M	0	0	0	16

Tableau 3. 12 la liste des demandes du 2<sup>ème</sup> jour

**3<sup>ème</sup> jours (Lundi 27/05/2019) :**

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	0	14	13	0
02	GD MAGHNIA	6	14	0	7
03	GD NEDROMA	7	7	0	16
04	GD SOUAHLLIA	0	8	0	22
05	GD HONAINÉ	7	7	0	13
06	GD KOUDIA	14	12	0	28
07	GD S/DJILALLI	0	7	0	20
08	GD O/MIMOUN	7	7	0	13
09	GHORZI MED	0	0	0	7
10	SARL MADINA	7	0	0	7
11	SCS IMAMA	7	13	0	7
12	GUELLIL	0	6	0	0
13	BELARBI	7	8	0	15
14	CHOUKCHOU	0	6	0	0
15	BENDI HASSANE	14	7	0	0
16	SALAH	12	14	0	16
17	GUEZZANE	0	13	0	14
18	DAHOU	7	7	0	13
19	HAMDOUNE	0	8	0	22
20	BELHAMIDI	15	15	0	0
21	BOUCHARÉB	6	0	0	21
22	BOUIZEM	0	6	0	21

23	AISSANI	0	6	0	7
24	REZOUG	0	7	0	20
25	SARL SIDIAMAR	0	14	0	13
26	TAHIR PM	0	0	0	30
27	HEBRI	0	7	0	20
28	PVA NOUARA	0	8	0	22
29	PVA SIRIR	0	7	0	20
30	SARL LILIA	0	0	0	27
31	GUELIL O/M	7	7	0	16

Tableau 3. 13 la liste des demandes du 3<sup>ème</sup> jour

**4<sup>ème</sup> jours (Mardi 28/05/2019) :**

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	14	8	8	30
02	GD MAGHNIA	7	7	0	27
03	GD NEDROMA	0	8	0	22
04	GD KOUDIA	7	12	0	35
05	GD EL ARICHA	0	7	0	20
06	GD O/MIMOUN	0	7	0	20
07	GD SEBRA	0	7	6	14
08	GD BENSEKRA	0	7	0	20
09	SARL MADINA	0	7	0	7
10	GUELLIL	0	6	0	7
11	BELARBI	15	15	0	30
12	KALACHE	7	7	0	13
13	BOUDGHENE STM	0	13	0	14
14	BENDI HASSANE	7	7	0	0
15	SALAH	14	16	0	20
16	HAMDI	0	6	0	14
17	ABDOUN	0	7	0	20
18	CHABENE	0	7	0	20

19	DAHOU	0	7	0	20
20	BELHAMIDI	14	8	0	8
21	AISSAT	0	7	0	20
22	BOUKARABILA	0	0	0	27
23	SARL LILIA	0	0	0	27

Tableau 3. 14 la liste des demandes du 4<sup>ème</sup> jour

**5<sup>ème</sup> jours (Mercredi 29/05/2019) :**

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	6	8	0	22
02	GD MAGHNIA	0	7	0	23
03	GD NEDROMA	0	7	0	23
04	GD SOUAHLIA	7	7	0	16
05	GD KOUDIA	7	12	0	35
06	SCS IMAMA	7	7	0	13
07	BELARBI	7	8	0	15
08	CHOUKCHOU	6	7	0	14
09	BENDI HASSANE	7	7	0	0
10	SALAH	13	14	0	27
11	KHELLIF	75	75	0	15
12	GUERMOUCHE	0	7	0	7
13	LACHGUEUR	0	7	0	20
14	ABDOUN	7	7	0	13
15	DAHOU	13	0	0	14
16	BELHAMIDI	0	0	0	30
17	REZOUG	0	7	0	20
18	TAHIR PM	0	0	0	30
19	PVA NOUARA	8	0	0	22
20	SARL LILIA	0	0	0	30

Tableau 3. 15 la liste des demandes du 5<sup>ème</sup> jour

**6<sup>ème</sup> jours (Jeudi 30/05/2019) :**

Numéro de la demande	Nom du client	SP	ES	EN	GO
01	GD REMCHI	0	8	0	22
02	GD MAGHNIA	8	8	0	27
03	GD NEDROMA	7	7	0	16
04	GD SOUAHLLIA	6	7	0	14
05	GD M.B.M'HIDI	7	7	0	13
06	BAB ASSA	0	6	0	21
07	GD HONAINÉ	0	7	0	7
08	GD KOUDIA	8	8	0	27
09	GD S/DJILALLI	6	7	0	14
10	GD EL ARICHA	0	7	0	20
11	GD O/MIMOUN	7	14	0	6
12	GD SEBRA	6	7	0	14
13	GD BENSAKRA	0	7	0	7
14	GHORZI MED	0	7	0	7
15	SARL MADINA	7	7	0	16
16	SCS IMAMA	13	13	0	14
17	GUELLIL	0	6	0	7
18	BELARBI	8	15	0	30
19	KALACHE	13	14	0	27
20	BOUDGHENE STM	7	0	0	6
21	BENDI HASSANE	7	7	0	0
22	SALAH	8	8	0	22
23	DAHOU	0	7	0	20
24	HAMDOUNE	0	8	0	22
25	BELHAMIDI	15	15	0	0
26	BOUCHAREB	0	7	0	20
27	OUKEBDANE	0	0	0	27
28	AISSANI	0	6	0	7
29	SARL SIDIAMAR	0	6	0	21

30	HEBRI	0	7	0	20
31	PVA SIRIR	0	7	0	20
32	BELYAGOUBI	0	7	0	20
33	SARL LILIA	0	0	0	27
34	GUELIL O/M	0	7	0	20

Tableau 3. 16 la liste des demandes du 6<sup>ème</sup> jour

### 3.1.2. Les contraintes et les objectifs :

La distribution des carburants chez NAFTAL est assurée par la fonction **Dispatching** qui élabore un programme de distribution pour chaque journée (j-1).

Chaque jour, le centre de distribution reçoit les commandes clients, souvent par téléphone, un agent de réception remplit une fiche pour chaque commande. La fiche contient toutes les informations nécessaires qui sont :

- ✓ Les produits commandés.
- ✓ La quantité commandée de chaque produit.
- ✓ L'identité du client (nom du client (personne ou société)) et adresse.
- ✓ Nature de paiement.
- ✓ L'heure et la date.

Au niveau de la branche Commerciale de NAFTAL, l'élaboration d'un bon de commande se fait en utilisant des codes spécifiques des informations précitées sauf la nature de paiement.

Après cette tâche, les commandes (représentées par les fiches) passent à l'étape confirmation pour vérifier la possibilité de les satisfaire suivant la disponibilité des produits au niveau des stocks. La tâche suivante est la facturation où on établit une facture pour toute commande confirmée.

Dès que les commandes sont facturées, elles sont transmises au dispatcheur qui tient compte de la caractéristique de chaque camion-citerne, les produits transportés et du chemin à parcourir. Par conséquent, la conception des tournées pour les camions citernes se fait dans le but de satisfaire les commandes clients.



Dans le cadre de l'approvisionnement des stations de service en carburants, le centre de stockage et de distribution Tlemcen désire améliorer l'efficacité de sa chaîne logistique sous les exigences suivantes :

- ✓ La flotte utilisée par NAFTAL pour distribuer les produits carburant, sur le territoire de la Wilaya de Tlemcen est hétérogène car les véhicules sont de différentes capacités.
- ✓ Le nombre de véhicules est limité
- ✓ Deux produits ne peuvent être mélangés dans un même compartiment.
- ✓ Une citerne ne peut sortir avec un compartiment vide, et ne peut revenir avec un compartiment plein.
- ✓ Le contenu d'un compartiment est transvidé au complet pour une seule station ;
- ✓ La capacité d'un véhicule est limitée ;
- ✓ Les commandes impossibles, sont les commandes dont la demande en quantité est incompatible avec la capacité des compartiments, ceux-là feront l'objet d'une modification avec la coopération de leurs commanditaires.

Le problème posé consiste alors à déterminer les tournées et les itinéraires que doivent emprunter les chauffeurs des véhicules jusqu'aux points de ventes. Cet objectif doit être satisfait en minimisant le coût de transport en termes de kilométrage tout en respectant les contraintes sur le nombre de véhicules disponibles et leurs capacités.

### **3.2. Problème des tournées des véhicules (VRP)**

#### **3.2.1. Définition**

Le VRP est un problème d'optimisation combinatoire NP-difficile le plus répandu en logistique et le plus difficile. Il a été formulé en 1959 par Dantzig et Ramser et depuis cette année il a fait l'objet de nombreux travaux qui ont donné de nombreuses variantes et différentes méthodes de résolution. [10]

Une définition générale du VRP consiste à chercher un itinéraire optimal pour une flotte de véhicules, basée en un ou plusieurs dépôts, afin de desservir un ensemble de clients ayant des commandes connues, et dispersés géographiquement, et ceci en minimisant la distance totale parcourue, le coût total de transport, le temps de parcours, les pénalités du service d'un client, le nombre de véhicules utilisés et/ou la maximisation du gain. [10]

Le réseau associé à un problème de tournées des véhicules se présente sous la forme d'un ensemble de clients avec un dépôt comme le montre la figure. [10]

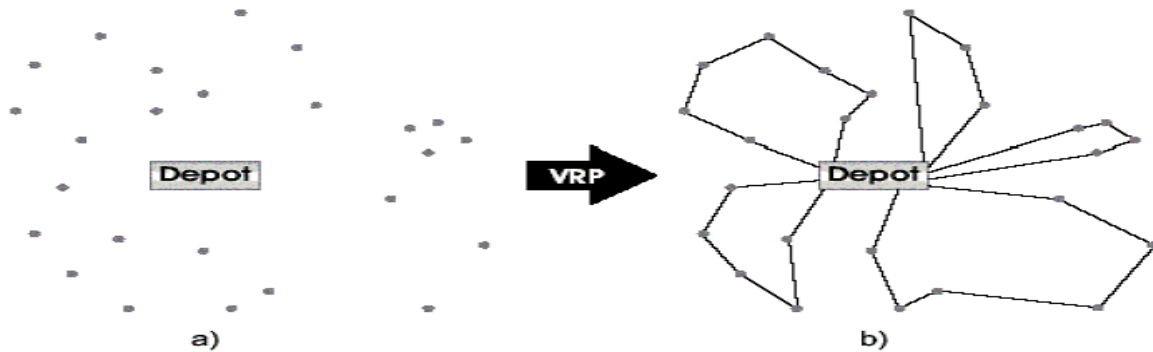


Figure 3. 1 schéma du Problème de tournées des véhicules. [10]

### 3.2.2. Champs d'application :

Les applications du TSP et VRP sont aussi diverses que variées. Toute entreprise industrielle désire améliorer l'efficacité de sa chaîne logistique, pour assurer une production de biens ou de services au moindre coût et une fluidité d'écoulement de sa marchandise. [10]

En effet, le problème de tournée des véhicules est un maillon principal dans le domaine de la logistique. [10]

Le problème de tournées des véhicules fait partie de notre quotidien, à commencer par le ramassage scolaire, le ramassage du personnel, le ramassage des déchets ménagers, la distribution des produits alimentaires telles que le lait, le pain, l'eau... Aussi, les services et la distribution urgente de produits pharmaceutiques font partie des problèmes de tournées des véhicules. [10]

### 3.2.3. Caractéristiques du VRP

Le VRP est caractérisé par le réseau qui le constitue, la clientèle à servir, la flotte de véhicules et la fonction objective. [10]

### 3.2.3.1 Le réseau

- **Réseau routier asymétrique** : lorsqu'un arc reliant deux nœuds, il ne peut pas forcément être utilisé dans les deux sens. [10]
- **Réseau routier symétrique** : lorsqu'un arc peut être utilisé au même coût dans un sens ou dans l'autre sens. [10]

### 3.2.3.2 La clientèle

Le client est caractérisé par sa demande qui peut être une demande d'un service ou de produits (marchandises), ces produits peuvent être d'un seul ou de plusieurs types. La demande totale des clients d'une même tournée ne doit pas excéder la capacité  $Q$  du véhicule. Aussi, il est caractérisé par sa position dans l'espace. Enfin la demande peut être déterministe (quantité demandée par le client est fixe et connue par le distributeur) ou incertaine (stochastique). [10]

### 3.2.3.3 La flotte de véhicules

Le premier critère de la flotte est sa taille (le nombre des véhicules qui la compose), le second est son homogénéité (les véhicules sont caractérisés par la même capacité d'emport et le même coût de transport) ou hétérogénéité (les véhicules ont des capacités d'emport et/ ou coût de transport différents). [10]

### 3.2.3.4 La fonction objectif

Les objectifs les plus courants sont soit la minimisation du nombre de véhicules utilisés soit la minimisation de la distance totale parcourue par les véhicules (le cas de notre problématique). D'autres objectifs peuvent être considérés : [10]

- ✓ Minimisation du temps total du parcours de la tournée, du temps d'attente, du temps du retard, du temps de service ....
- ✓ Minimisation du coût total de la tournée, coût fixe à savoir l'amortissement du matériel (véhicule ou autre), salaire des chauffeurs, frais des véhicules et en coût variable on cite les pénalités liées aux retards notamment pour le VRPTW (problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps).
- ✓ Maximisation du gain engendré par la tournée dans le cas de collecte de produits chez des clients.

- ✓ Maximisation de la qualité de service.
- ✓ Maximisation du chargement des véhicules utilisés pour les tournées.

La variation des paramètres de VRP, la suppression, l'ajout ou la combinaison des contraintes de VRP classique permettent de définir un ensemble de variantes de VRP, que nous présentons par la suite. [10]

### 3.2.4. Variantes du VRP

De nombreuses dérivées du problème de tournées des véhicules sont apparues durant ces dernières années de recherches sur le VRP. Ces apparitions sont dues essentiellement aux développements technologiques, ainsi qu'aux recherches sur les problèmes de transport et de distribution que rencontrent les sociétés. Les principales variantes du problème du VRP sont : [10]

- ✓ CVRP « Capacitated Vehicle Routing Problem » (le cas de notre problématique).
- ✓ DVRP (Dynamic Vehicle Routing Problem)
- ✓ VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows)
- ✓ DVRPTW (Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows)
- ✓ VRPB (Vehicle Routing Problem with backhauls)
- ✓ PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem)
- ✓ VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery)
- ✓ MDVRP (Multi-Depot Vehicle Routing Problem)
- ✓ TRP (Travelling Repairman Problem)
- ✓ VRPHF (Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet)
- ✓ SDVRP (Split Delivery Vehicle Routing Problem)
- ✓ PDPTW (Pickup and Delivery Problem with Time Windows)

**CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) :** Un problème CVRP consiste à affecter chaque client à une tournée effectuée par un seul véhicule de capacité finie. Ce véhicule commence et termine sa tournée au dépôt. [10]

Le problème des tournées de véhicules est donc un problème important avec une complexité non négligeable. Compte tenu de toutes les variantes possibles du problème, il va de soi qu'il existe plusieurs façons de le modéliser. [10]

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter une modélisation mathématique du VRP.

### **Conclusion**

Actuellement, l'une des préoccupations majeure de l'entreprise NAFTAL est l'organisation à moindre coût de l'approvisionnement des stations de service en carburants. Confronté à ce sujet nous avons cerné une problématique qui fera l'objet de notre étude afin d'apporter des réponses à cette dernière.

# **Chapitre 4 :**

## **Modélisation mathématique et approche de résolution**

## Introduction

La modélisation d'un problème donné est une étape qui consiste à extraire une image aussi fidèle que possible du système réel. Cette image peut prendre plusieurs formes :

- ✓ Mathématique comme en programmation mathématique.
- ✓ Statistique comme dans un modèle statistique.
- ✓ Sous forme d'un graphe comme en théories des graphes.
- ✓ Sous forme virtuelle comme en simulation par exemple.

Dans ce chapitre, nous allons proposer une modélisation de notre problème sous forme d'un programme linéaire. Après nous allons choisir une méthode pour la résolution de ce dernier, suivis par une adaptation de l'algorithme au problème.

### 4.1. Modélisation mathématique

#### 4.1.1. Les étapes à suivre durant le processus d'une modélisation

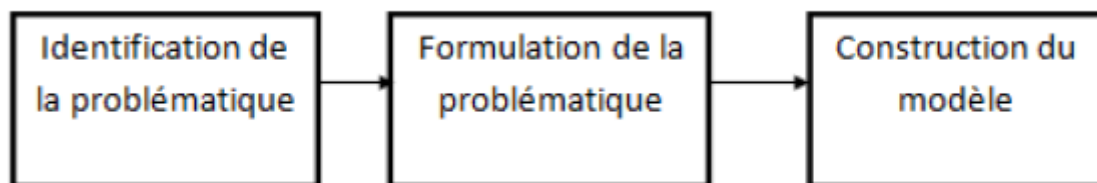


Figure 4. 1 Les étapes à suivre durant la modélisation. [10]

#### 4.1.2. Modélisation du problème soulevé au niveau du (CSD) REMCHI :

Le problème de tournées de véhicules VRP est une généralisation du problème de TSP, il peut être un problème de collecte ou de distribution, de ce fait on affecte pour chaque client une tournée assurée par un seul véhicule. La solution proposée doit respecter les différentes contraintes du problème, tout en satisfaisant les demandes des clients. Nous présentons dans la suite une modélisation mathématique du VRP. [10]

#### 4.1.2.1. Notations

- ✓  $n$  : le nombre de stations ;
- ✓  $K$  : le nombre de véhicules à utiliser pour l'approvisionnement ;
- ✓  $V$  : le nombre de tournées.
- ✓  $R$  : le nombre de compartiments d'un camion.
- ✓  $L$  : Le nombre de produits commercialisés.
- ✓  $Q_k$  : la capacité d'un camion  $k$ .
- ✓  $D_{ijk}$  : la distance parcourue par le camion  $k$  entre la station  $i$  et la station  $j$ .
- ✓  $Q_{ijklv}$  : La quantité du produit ( $l$ ) livré a la station ( $i$ ) par le camion ( $k$ ) durant la tournée ( $v$ ).

#### 4.1.2.2. Indices

- **Indices stations** : (dans ce cas en considère aussi l'indice  $j$ ) :

- ✓  $i=0$  pour désigner le dépôt de stockage et de distribution
- ✓  $i = (1, \dots, n)$  les stations de service (clients).

- **Indices camions**

- ✓  $k = (1 \dots K1)$  les camions de capacité égale à 12000L (4 compartiment de 3000L)
- ✓  $k = (K1 + 1 \dots K2)$  les camions de capacité égale à 25000L (3 compartiment de 5000L + 1 compartiment de 1000L)
- ✓  $k = (K2 + 1 \dots K3)$  les camions de capacité égale à 27000L (3 compartiment de 7000L + 1 compartiment de 6000L)
- ✓  $k = (K3 + 1 \dots K4)$  les camions de capacité égale à 30000L (2 compartiment de 7000L + 2 compartiment de 8000L)
- ✓  $k = (K4 + 1 \dots K)$  les camions de capacité égale à 30000L (4 compartiment de 7500L)



- **Indices produits**

- ✓ l=1 Gasoil.
- ✓ l=2 Essence Super.
- ✓ l=3 Essence Normal.
- ✓ l=4 Sans Plomb.

- **Indices compartiments**

- ✓ r = (1,...,4).

- **Indices voyages**

- ✓ v = (1,..., V).

**4.1.2.3. Les variables de décision :** On définit les variables de décision suivantes :

- ✓  $X_{ijkv}$  : une variable binaire égale à 1 si le camion (k) visite la station (j) immédiatement après la station (i) durant la tournée v, sinon 0.
- ✓  $Y_{0jlkv}$  : une variable binaire égale à 1 si le camion (k) est utilisé durant le voyage (v) pour livrer le produit (l) à la station j à partir du dépôt, si non 0
- ✓  $Z_{rjkv}$  : une variable binaire égale à 1 si le contenu du compartiment (r) du camion (k) est livré pour la station j durant la tournée v, 0 sinon.

**4.1.2.4. La fonction objectif :**

L'objectif de notre étude est de minimiser le coût de transport en termes de kilométrage. La fonction objectif s'écrit sous la forme suivante :

$$\mathbf{Min Z} = \sum_v \sum_i \sum_j \sum_k \mathbf{D}_{ijk} \mathbf{X}_{ijkv} \quad (3.0)$$

#### 4.1.2.5. Les contraintes :

- ✓ La charge de chaque véhicule doit être inférieure ou égale à sa capacité :

$$\sum_{i=1}^n Q_{ijklv} \leq Q_k \quad l = (1, \dots, 4) ; k = (1, \dots, K) ; v = (1, \dots, V) \quad (3.1)$$

- ✓ Durant une tournée un véhicule quitte le dépôt et ne revient qu'une seule fois :

$$\sum_{j=1}^n X_{0jkv} = 1 \quad k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{j0kv} = 1 \quad k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.3)$$

- ✓ A partir d'un dépôt, un véhicule ne peut transporter plus que 4 produits à la fois :

$$\sum_{l=1}^4 Y_{0ljkv} \leq 4 \quad j = (1, \dots, n) ; k = (1, \dots, K) ; v = (1, \dots, V) \quad (3.4)$$

- ✓ Un compartiment est transvidé au complet pour une seule station :

$$\sum_{j=1}^n Z_{rjkv} = 1 \quad r = (1, \dots, 4) ; k = (1, \dots, K) ; v = (1, \dots, V) \quad (3.5)$$

- ✓ Toutes les tournées doivent être connexes et issues du dépôt :

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijkv} \leq |S| - 1 \quad S \in \{1 \dots n\} ; k = (1, \dots, K) ; v = (1, \dots, V) \quad (3.6)$$

#### 4.1.2.6. Le modèle général

En rassemblant la fonction objectif et les contraintes décrites ci-dessus, on obtient le programme linéaire suivant :

Minimiser

$$Z = \sum_v \sum_i \sum_j \sum_k D_{ijk} X_{ijkv} \quad (3.0)$$

Sous contraintes :

$$\sum_{i=1}^n Q_{ijklkv} \leq Q_k \quad l = (1, \dots, 4); k = (1, \dots, K); v = (1, \dots, V) \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0jkv} = 1 \quad k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{j0kv} = 1 \quad k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.3)$$

$$\sum_{l=1}^4 Y_{0jlkv} \leq 4 \quad j = (1 \dots n); k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.4)$$

$$\sum_{j=1}^n Z_{rjkv} = 1 \quad r = (1 \dots 4); k = (1 \dots K); v = (1 \dots V) \quad (3.5)$$

## 4.2. Approche de résolution :

Nous rappelons que le but que nous avons déjà fixé est de déterminer le meilleur plan de distribution en minimisant la distance parcourue, en tenant compte les demandes des clients, la capacité et la disponibilité des véhicules.

### 4.2.1. Choix de la méthode :

Dans la partie précédente, nous avons modélisé le problème soulevé au niveau du (CSD) sous forme d'un programme linéaire. Malheureusement, en termes de variables et de contraintes, la taille de cette formulation est très grande pour une résolution avec une méthode exacte. Pour cela nous avons opté pour une métaheuristique, qui permet la construction de chaque tourné. Il s'agit de la métaheuristique du recuit simulé adaptée aux contraintes du problème.

En plus, cette métaheuristique a montré son efficacité pour la résolution de plusieurs problèmes d'optimisation difficile.

### 4.2.2 Principes généraux du Recuit simulé : [6]

L'idée est d'effectuer un mouvement selon une distribution de probabilité qui dépend de la qualité des différents voisins :

- ✓ Les meilleurs voisins ont une probabilité plus élevée ;
- ✓ Les moins bons ont une probabilité plus faible.

On utilise un paramètre, appelé la température (notée  $T$ ) :

- ✓  $T$  élevée : tous les voisins ont à peu près la même probabilité d'être acceptés.
- ✓  $T$  faible : un mouvement qui dégrade la fonction de coût à une faible probabilité d'être choisi.
- ✓  $T=0$  : aucune dégradation de la fonction de coût n'est acceptée.

La température varie au cours de la recherche :  $T$  est élevée au début, puis diminue et finit par tendre vers 0.

#### 4.2.3. Les paramètres de l'algorithme recuit simulé : [6]

- **Température initiale** : c'est un paramètre qui fixe le pourcentage d'acceptation initial.
- **Longueur d'un palier** : un paramètre qui borne le nombre d'essais (itérations) par palier, et un autre paramètre qui borne le nombre changements (mouvements) pour le début de la recherche
- **Critère d'arrêt** : un compteur sert à déterminer si l'algorithme stagne, le compteur est fixé à zéro au début, la recherche s'arrête quand le compteur atteint un certain seuil. à la fin d'un palier, le compteur :
  - ✓ soit il est incrémenté si le pourcentage d'acceptation est inférieur à un seuil.
  - ✓ soit il est remis à zéro si la qualité de la meilleure solution a évolué au cours du palier.

#### 4.2.4. Adaptation de l'algorithme au problème

Nous devons présenter les différentes étapes d'adaptation de l'Algorithme du recuit simulé pour qu'on puisse avoir un schéma de livraison. Cette méthode devra nous permettre de déterminer les tournées qu'il faudra effectuer pour chaque véhicule durant la période de distribution.

---

## Algorithme. Recuit simulé

---

1. Sélectionner  $S_0 = (\text{tournée}_0)$  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  $j$  de 1 à  $n$  Faire
  7.                Choisir  $s'$
  8.   Tant que  $Q_{ijklv} \leq Q_k \parallel X_{0jkv} = 1 \parallel X_{j0kv} = 1 \parallel Y_{0jlkv} \leq 4 \parallel Z_{rjkv} = 1 \parallel X_{ijkv} \leq |S| - 1$
  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
- 

Nous avons choisi  $S_0 = (\text{tournée}_0)$  pour la distribution des différents types de carburant aux stations de services de la wilaya de Tlemcen, chaque camion est affecté pour trois stations, seulement un camion qui est affecté pour deux stations (17 camion pour 50 clients), les tournées au début ( $\text{tournée}_0$ ) sont choisis aléatoirement et par ordre c'est-à-dire le camion n°1 prend le départ du dépôt vers la station n°1, puis vers la station n°2, après vers la station n°3, et il termine sa tournée au dépôt. La même chose pour le reste des camions.

**Remarque :** la politique de gestion actuelle utilisé par le centre de stockage et de distribution ignore les distances parcourues entre les différentes stations visitées, avec cette politique

La valeur de la fonction objectif en terme des kilomètres parcourus dans toutes les tournées égale à  $f(s_0) = 3552 \text{ KM}$

Supposant que  $s' = (\text{tournée}1)$ , La valeur de la fonction du nombre de kilomètre parcourue dans toutes les tournées égale à  $f(s') = 3248 \text{ KM}$ .

Nous pouvons remarquer que la valeur de  $f(s')$  est supérieure à  $f(s_0)$ , donc soit nous devons accepter cette valeur soit nous devons la refuser, il dépend de la probabilité suivante :

$$\text{Expo}(\Delta f/T) > r$$

Donc soit nous accepterons cette probabilité, sinon elle sera refusée :

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

Quand nous avons une température élevée, la probabilité tend vers 1, donc toutes les solutions approchée seront acceptées, par contre quand la température est diminuée, la probabilité tendant vers 0 alors là les mauvaises solutions seront refusés. On réduit la température  $T$  selon un facteur de décroissement calculé comme suit :

$$T = \alpha * T_0$$

Où  $\alpha$  est une constante compris entre 0 et 1. La valeur de cette température diminue 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.

#### **4.2.5. Interprétation des résultats**

Après avoir adapté l'algorithme du recuit simulé avec notre problème, nous allons présenter dans cette phase les résultats de simulation de cette adaptation.

Nous avons utilisé le langage java pour la programmation de l'algorithme du recuit simulé que nous avons déjà adapté avec notre problème à résoudre. Après avoir terminé la programmation nous avons eus les résultats de notre modèle mathématique.

D'après les principes généraux du recuit simulé, il y a un ensemble de paramètre pour bien interpréter et avoir des résultats satisfaisante, nous devons varier ces paramètres pour qu'on puisse avoir des différents résultats, ces paramètres sont :

- ✓ Nombre d'itérations (100 ; 1000 ; 10000 ; 100000 ; 1000000)
- ✓ La température initiale «  $T_0$  » (1000°C ; 10000°C ; 100000°C ; 1000000°C ; 10000000°C)
- ✓ le coefficient de refroidissement «  $\alpha$  » (0.1 ; 0.3 ; 0.5 ; 0.7 ; 0.9)



- **On utilisant les paramètres (100 itération ;  $T_0 = 1000^\circ\text{c}$  ;  $\alpha = 0.1$ ) :**  
Après la simulation du programme 5 fois nous avons obtenu les résultats suivant :

Numéro de la simulation	distance parcourue en KM (tournée best)
Simulation numéro 01	3248
Simulation numéro 02	3272
Simulation numéro 03	3245
Simulation numéro 04	3230
Simulation numéro 05	3215

Tableau 4. 1 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°1

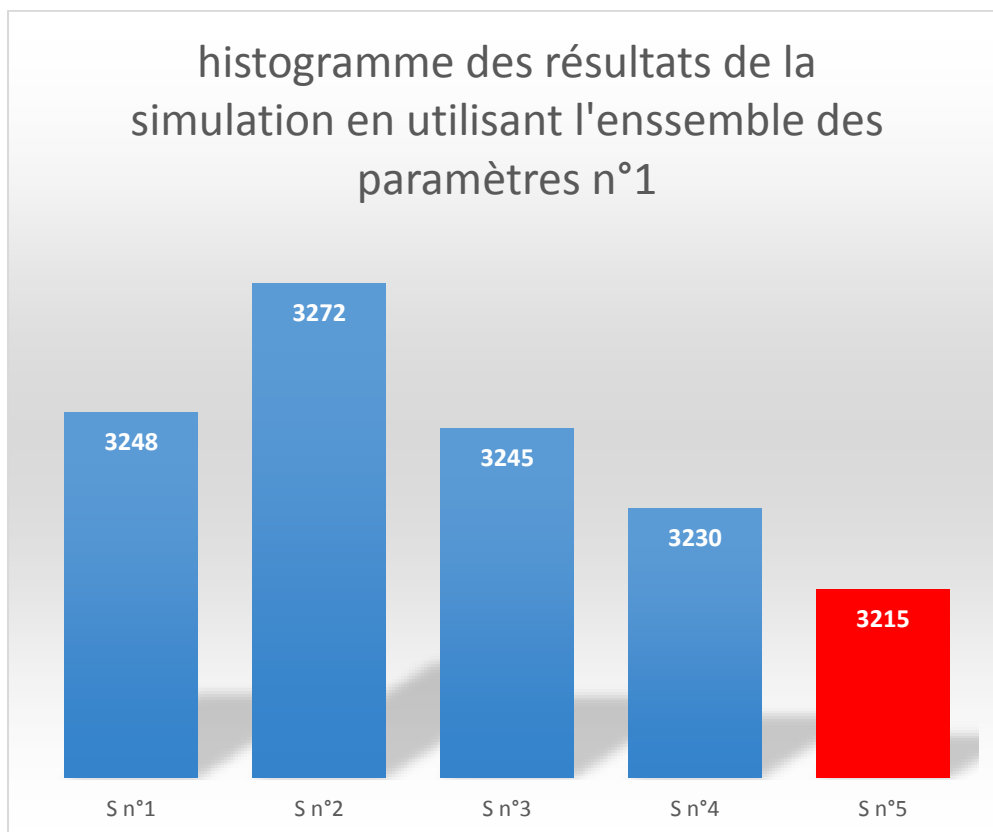


Figure 4. 2 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°1

- **On utilisant les paramètres (1000 itération ;  $T_0 = 10000^\circ\text{C}$  ;  $\alpha = 0.3$ ) :**  
Après la simulation du programme 5 fois nous avons obtenu les résultats suivant :

Numéro de la simulation	distance parcourue en KM (tourné best)
Simulation numéro 01	3245
<b>Simulation numéro 02</b>	<b>3221</b>
Simulation numéro 03	3243
Simulation numéro 04	3258
Simulation numéro 05	3232

Tableau 4. 2 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°2

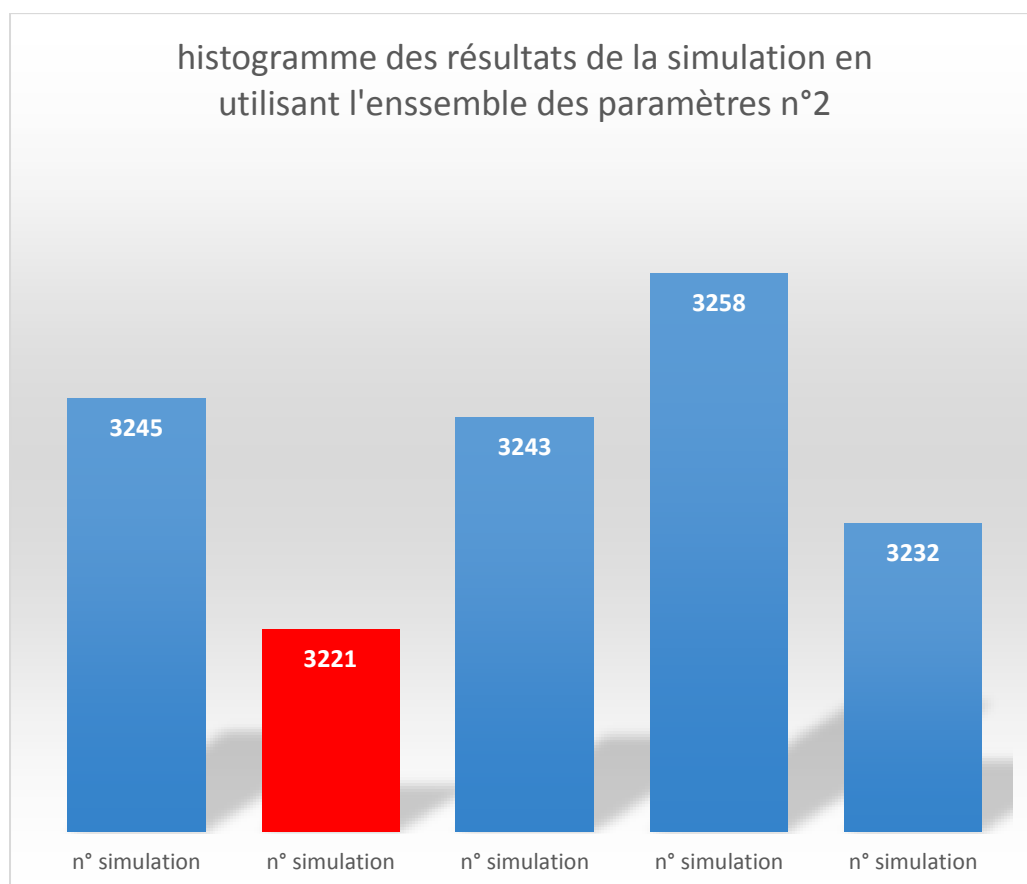


Figure 4. 3 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°2

- **On utilisant les paramètres (10000 itération ;  $T_0 = 100000^\circ\text{C}$  ;  $\alpha = 0.5$ ) :**  
Après la simulation du programme 5 fois nous avons obtenu les résultats suivant :

Numéro de la simulation	distance parcourue en KM (tournée best)
Simulation numéro 01	3227
Simulation numéro 02	3272
Simulation numéro 03	3275
Simulation numéro 04	3280
Simulation numéro 05	3220

Tableau 4. 3 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°3

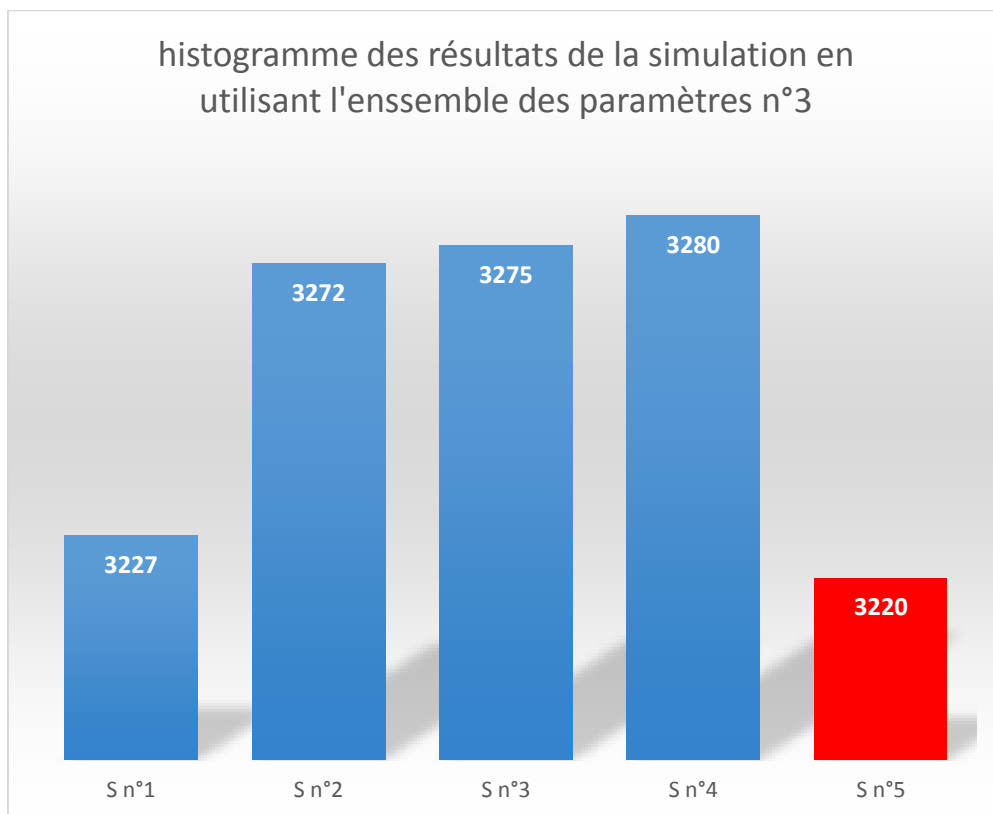


Figure 4. 4 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°3

- **On utilisant les paramètres (100000 itération ;  $T_0 = 1000000^\circ\text{C}$  ;  $\alpha = 0.7$ ) :**  
Après la simulation du programme 5 fois nous avons obtenu les résultats suivant :

Numéro de la simulation	distance parcourue en KM (tournée best)
Simulation numéro 01	3215
Simulation numéro 02	3266
<b>Simulation numéro 03</b>	<b>3189</b>
Simulation numéro 04	3205
Simulation numéro 05	3262

Tableau 4. 4 les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°4

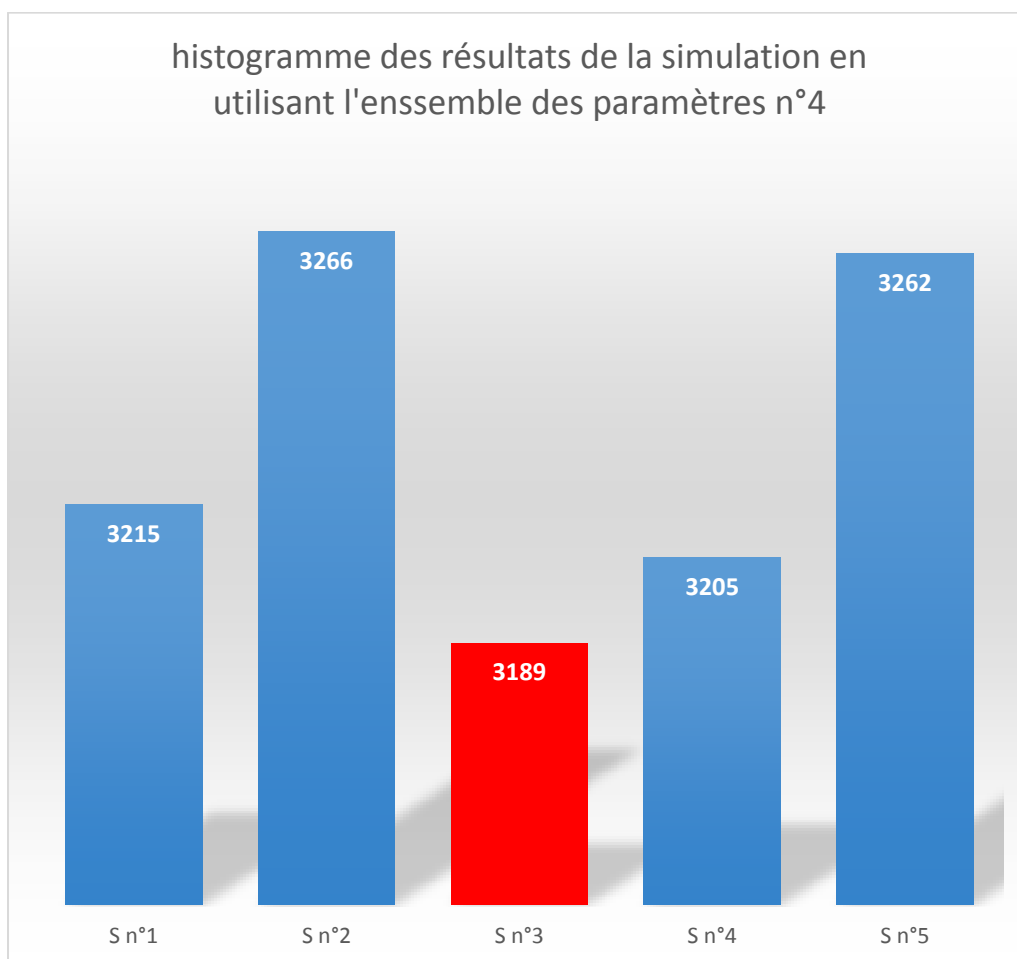


Figure 4. 5 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°4

- **On utilisant les paramètres (1000000 itération ;  $T_0 = 10000000^\circ\text{C}$  ;  $\alpha = 0.9$ ) :**  
Après la simulation du programme 5 fois nous avons obtenu les résultats suivant :

Numéro de la simulation	distance parcourue en KM (tournée best)
Simulation numéro 01	3207
Simulation numéro 02	3156
Simulation numéro 03	3261
<b>Simulation numéro 04</b>	<b>3083</b>
Simulation numéro 05	3214

Tableau 4. 5 Les résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°5

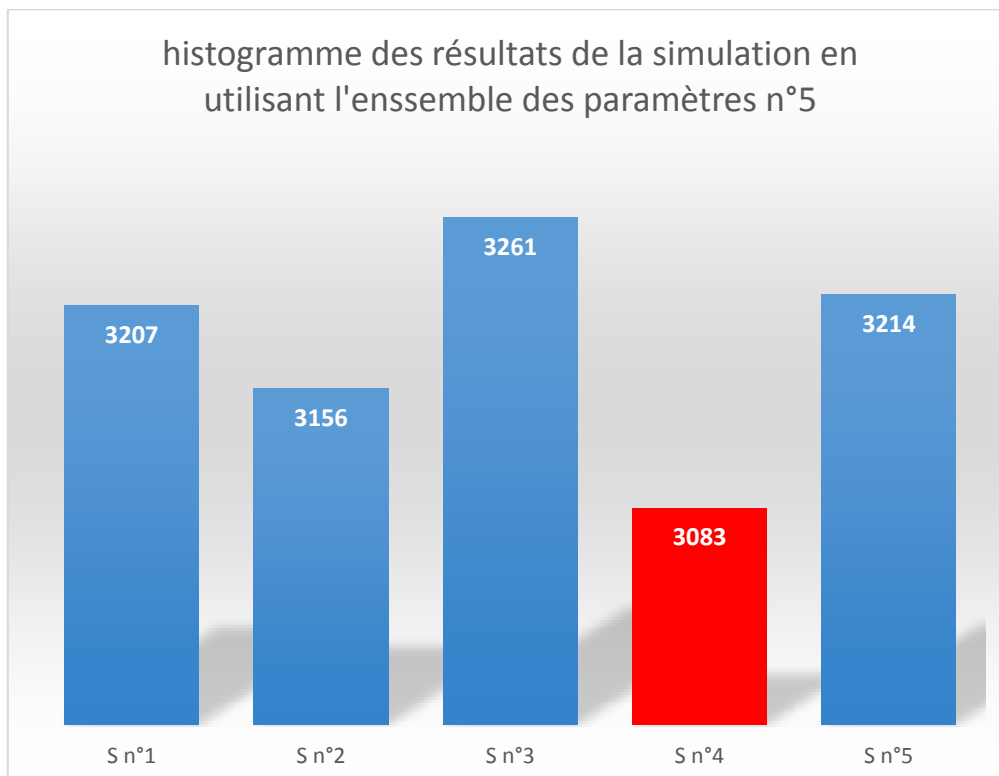


Figure 4. 6 histogramme des résultats de la simulation en utilisant l'ensemble des paramètres n°5

Après avoir obtenu les résultats des différentes simulations en utilisant les différents paramètres, nous allons faire une comparaison entre les meilleures solutions qu'on a eues à chaque fois en changeant les paramètres de l'algorithme :

N° de l'ensemble des paramètres	Meilleurs solution obtenu
N°1 (100 itération ; $T_0 = 1000^\circ\text{c}$ ; $\alpha = 0.1$ )	3215
N°2 (1000 itération ; $T_0 = 10000^\circ\text{c}$ ; $\alpha = 0.3$ )	3221
N°3 (10000 itération ; $T_0 = 100000^\circ\text{c}$ ; $\alpha = 0.5$ )	3220
N°4 (100000 itération ; $T_0 = 1000000^\circ\text{c}$ ; $\alpha = 0.7$ )	3189
N°5 (1000000 itération ; $T_0 = 10000000^\circ\text{c}$ ; $\alpha = 0.9$ )	3083

Tableau 4. 6 les meilleurs solutions obtenu en utilisant les différents paramètres

Donc nous pouvons conclure que la meilleure solution obtenu est : (tournée best = 3083km), la différence entre « tournée best » et « tournée0 » en terme de kilomètres est :  $3552 - 3083 = 469$  km, avec l'ensemble de tournées suivant :

Camion 1 → 0    1    2    3    0  
 Camion 2 → 0    4    5    6    0  
 Camion 3 → 0    7    8    9    0  
 Camion 4 → 0    10   11   12   0  
 Camion 5 → 0    14   13   15   0  
 Camion 6 → 0    16   17   18   0  
 Camion 7 → 0    20   19   21   0  
 Camion 8 → 0    22   23   24   0  
 Camion 9 → 0    26   25   27   0  
 Camion 10 → 0    29   28   30   0  
 Camion 11 → 0    31   32   33   0  
 Camion 12 → 0    34   35   36   0  
 Camion 13 → 0    37   38   39   0  
 Camion 14 → 0    41   40   42   0  
 Camion 15 → 0    43   44   45   0  
 Camion 16 → 0    46   47   48   0  
 Camion 17 → 0    49   50   0

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, en premier lieu, nous avons présenté la modélisation mathématique de notre problème. Par la suite, nous avons adapté l'algorithme (Recuit Simulé) que nous avons choisis pour la résolution de notre problème. En second lieu, nous avons comparé et interprété les résultats obtenus avec notre travail et ceux obtenus avec la politique de gestion utilisée par le centre de stockage et de distribution REMCHI. Enfin, d'après nos résultats obtenus, nous avons constaté que notre travail nous a permis de réduire le coût de distribution en minimisant les distances parcourues.

# Conclusion général

Le contexte de la distribution des carburants au sien de l'entreprise NAFTAL connaît de plus en plus des problèmes où la recherche opérationnelle peut trouver aisément sa place. De nombreuses problématiques ont déjà fait l'objet de travaux sur des sujets très divers : optimisation du schéma de distribution des carburants, optimisation de la distribution des produits pétroliers, etc.

Dans ce mémoire, nous avons étudié le problème de la gestion du transport routier des carburants (Gasoil, Sans Plomb, Essence Normale et Essence Super) pour les stations-services de la wilaya de Tlemcen soulevé au niveau du centre de stockage et de distribution REMCHI. A ce sujet, notre objectif était de proposer une solution qui permettra de minimiser les distances parcourues par les camions en faisant leurs tournées afin de rentabiliser au mieux le réseau de distribution des carburants.

Ainsi dans un premier lieu, nous nous sommes intéressé à la description de la problématique rencontrée. Cette problématique, nous l'avons classé comme étant un problème de tournées de véhicules que nous avons formalisé et modélisé sous forme d'un programme linéaire. Ce dernier compte un nombre important de variables et de contraintes, ce qui rend sa résolution avec des méthodes exactes pratiquement impossible. Ceci nous a conduits à utiliser une métaheuristique qui s'agit de la méthode de recuit simulé pour la résolution du problème.

Nous pensons que notre objectif est atteint, car le schéma de distribution et de livraisons des produits carburants élaboré par notre étude est optimal, car on a abouti à des affectations possibles des camions à moindre coût, et qui peuvent être réalisés par les moyens actuels sans faire appel au service extérieur.

Finalement, nous espérons que ce travail soit bénéfique pour l'entreprise et qu'il ouvre un port pour l'exploitation de plus en plus effective et croissante des techniques de la recherche opérationnelle



# Bibliographie

- [1] Documentation NAFTAL (stage effectué à l'entreprise NAFTAL)
- [2] Essai d'élaboration d'un rapport de développement durable Ecole supérieure de commerce ESC - Licence 2009/2010
- [3] Optimisation de la distribution des produits pétroliers (les carburants) au niveau de l'entreprise NAFTAL de Tizi Ouzou. Mémoire d'ingénieur d'état en RO UMMTO 2011
- [4] Elaboration d'un plan de distribution des carburants cas : Entreprise NAFTAL-Bejaïa. Mémoire master en RO U. A/Mira Bejaïa 2013
- [5] Mme AROUSSI. HEURISTIQUES ET MÉTA-HEURISTIQUES cours master GSI (Génie des Systèmes Informatiques) Université Blida 1 2015/2016
- [6] Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat Université de Constantine 2 2013
- [7] Open classrom, introduction à la programmation dynamique. Consulter en Mai 2019.  
[https://openclassrooms.com/en/courses/1164481-introduction-a-la-programmation-dynamique#\\_ =](https://openclassrooms.com/en/courses/1164481-introduction-a-la-programmation-dynamique#_=)
- [8] Iri, cours programmation dynamique. Consulter en Mai 2019.  
<https://www.lri.fr/~jcohen/documents/enseignement/Cours-prog-dynamique.pdf>
- [9] Sidi Mohamed Douiri. Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Méta heuristiques cours master Cryptographie et sécurité de l'information Université Mohammed V Rabat.
- [10] Etude de cas d'un problème de tournées des véhicules à la société SNTL. Mémoire Licence Sciences et Techniques université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès 2014/2015.