

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
Ecole national supérieur de technologie
Département : Génie Logistique Et Transport

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état

Spécialité

Ingénierie de la chaîne logistique

Thème

**Optimisation du réseau de récupération des huiles
usagées Étude de cas :**

Centre lubrifiants NAFTAL Alger

Réalisé par

MATMAT Malak et REBAH Soulef

Les membres du jury

| | |
|---------------------------------|-------------|
| BADJARA Mohamed El Amine | Président |
| TALBI Tayeb | Promoteur |
| AGGUINI Chafik | Copromoteur |
| AKNINE Mohamed | Examineur |
| BOUZID Mouaouia Cherif | Examineur |

Alger, le 04/07/2023

Année universitaire : 2022 / 2023

Dédicaces

Je dédie ce travail.

A ma très chère grand-mère MA, qu'elle m'a soutenue avec ses prières toute ma vie.

A mes chers parents, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me conseiller, un merci ou une dédicace ne suffira jamais pour exprimer mes gratitude.

A mes chères sœurs Maissa, Chaima, Houyam et Djoumana, ma force et mon bonheur, je ne saurais pas quoi faire sans vous.

A Yazan, la cerise qui vient couronner le gâteau.

A toutes mes amies, Aya, Riham, Mouna, Amina, Zineb, Hanine et Ines.

A mon amie, mon binôme et mon partenaire en crime Soulef.

A toute ma famille et mes amis.

A toute personne ayant m'aider de près ou de loin à réaliser ce projet et à tous mes enseignants qui m'ont enseigné et encadré durant ma formation.

A l'âme de mon cher grand-père que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

Je vous remercie tous.

Malak

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma très chère mère, une femme exceptionnelle qui a été une source d'inspiration et de soutien tout au long de ma vie.

A mon précieux père, qui a été constamment présent pour me soutenir et me donner des encouragements, ce travail est une expression de ma reconnaissance profonde et de mon amour envers lui.

A la mémoire de mon très cher cousin Mohamed paix à son âme.

A mes frères Alaaeddine, Housseem Eddine, Fouad et ma petite sœur Kawter.

A mes meilleurs amies Fouzia, Amina, Chaimaa, Kenza, Selsabil, Amel.

A mon binôme et ma meilleure amie Malak.

A mon encadrant Mr TALBI Tayeb, et mes professeurs.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

A Imad pour son aide précieuse.

Merci à vous tous.

Soulef

Remerciements

« On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination »

Nous remercions Allah de nous avoir donné la capacité d'écrire et de penser, de faire confiance à son pouvoir et d'avoir la patience de terminer nos études.

La réalisation de ce mémoire est avant tout grâce à Allah, et à certaines personnes à qui nous tenons à exprimer nos remerciements pour leur aide.

Nous tenons tout d'abord à remercier M. Tayeb TALBI, notre promoteur, et M. Chafik AGGUINI, notre copromoteur, pour leur patience, leur prompte coopération et surtout, leurs conseils avisés.

Nous tenons à remercier Monsieur Abdelaziz TIRECHE pour ses conseils et son aide tout au long du stage.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont été acceptés d'évaluer ce travail.

Enfin, nos sincères remerciements à tous les enseignants, conférenciers et tous ceux qui nous ont guidés à travers leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques, et ont proposé de nous rencontrer et de répondre à nos questions à tout moment.

Nous vous resterons, chers maîtres, à jamais reconnaissants, sincèrement respectueux et toujours dévoués.

Table des matières

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE I LA LOGISTIQUE INVERSE

Introduction 4

I.1 Les déchets..... 4

I.2 Le classement des déchets 4

I.3 La gestion des déchets 5

I.4 La logistique inverse..... 5

I.5 Les différents types de réseaux de la logistique inverse 6

I.5.1 La logistique inverse en boucle ouverte 6

I.5.2 La logistique inverse en boucle fermé 7

I.6 Les types de retours 8

I.7 Les étapes de la logistiques inverses..... 10

I.7.1 Etape barrière..... 11

I.7.2 Etape collecte..... 12

I.7.3 Etape tri..... 13

I.7.4 Etape traitement..... 14

I.8 Les activités de la logistique inverse 15

I.8.1 La réparation..... 15

I.8.2 La réutilisation..... 16

I.8.3 La ré-fabrication 16

I.8.4 Le recyclage..... 16

I.8.5 L'élimination 17

I.9 Les huiles usagées 17

I.10 La logistique inverse des huiles usagées 17

I.11 La gestion des huiles usagées 19

Conclusion 20

CHAPITRE II CAS D'ETUDE, CENTRE LUBRIFIANTS ET PNEUMATIQUES D'EL-HARRACH

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 21 |
| II.1 L'historique de NAFTAL | 21 |
| II.2 La présentation de l'organisme d'accueil "centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach" | 21 |
| II.2.1 Les missions et les activités principales du centre | 22 |
| II.2.2 Les moyens du centre | 25 |
| II.2.3 Les clients du centre | 28 |
| II.2.4 Les principaux concurrents..... | 29 |
| II.3 Les huiles usagées en Algérie | 30 |
| II.4 Le problème de la collecte au niveau du centre LP | 31 |
| II.5 Le problème de tournée des véhicules | 33 |
| II.5.1 Le problème de voyageur de commerce..... | 33 |
| II.5.2 Vehicle routing problem (VRP) | 34 |
| II.5.3 Les méthodes de résolution | 41 |
| Conclusion | 43 |

CHAPITRE III RESULTATS ET INTERPRETATIONS

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 44 |
| III.1 L'implémentation et l'analyse de données | 44 |
| III.1.1 Les fournisseurs des huiles usagées..... | 44 |
| III.1.2 La sélection des grands fournisseurs | 44 |
| III.1.3 La méthode de choix..... | 45 |
| III.1.4 Les prévisions | 47 |
| III.1.5 Les matrices de distances | 49 |
| III.2 La modélisation du problème | 51 |
| III.3 La résolution par une méthode exacte | 54 |
| III.4 La résolution par une méthode approchée | 54 |
| III.4.1 Les critères de choix | 54 |
| III.4.2 La résolution par l'heuristique NNA | 56 |
| III.4.3 L'amélioration par la recherche locale | 57 |
| III.4.4 Calcul du taux d'amélioration | 59 |
| III.4.5 Discussion de résultats..... | 62 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| III.5 | La résolution par Systèmes d'informations Géographique | 62 |
| III.5.1 | TransCAD | 63 |
| III.5.2 | ArcGIS | 63 |
| III.5.3 | Les données d'entrée | 64 |
| III.6 | Conclusion | 69 |
| | CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES | 70 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 71 |
| | ANNEXE | 74 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Les flux de la logistique directe et inverse..... | 6 |
| Figure 2 : Exemple du réseau d'une chaîne d'approvisionnement inversée en boucle ouverte adapté..... | 7 |
| Figure 3 : Illustration d'un réseau de logistique inverse en boucle fermée adapté | 8 |
| Figure 4 : Processus générique de la logistique inverse | 11 |
| Figure 5 : Processus de l'étape barrière..... | 12 |
| Figure 6 : Processus de l'étape collecte..... | 13 |
| Figure 7 : Processus de l'étape tri..... | 14 |
| Figure 8 : Processus de l'étape traitement..... | 15 |
| Figure 9 : Répartition CLP & CMP..... | 22 |
| Figure 10 : Les H.U en Algérie | 30 |
| Figure 11 : Processus de la logistique inverse chez NAFTAL..... | 32 |
| Figure 12 : Exemple d'un PVC..... | 34 |
| Figure 13 : Exemple d'un VRP avec un dépôt et 3 tournées | 35 |
| Figure 14 : Les méthodes de résolution du VRP | 41 |
| Figure 15 : Classement des fournisseurs selon la méthode ABC..... | 45 |
| Figure 16 : Répartition géographique des fournisseurs des H.U du centre LP d'El-Harrach . | 46 |
| Figure 17 : lissage d'une série chronologique stationnaire..... | 47 |
| Figure 18 : Lissage d'une série chronologique avec tendance..... | 48 |
| Figure 19 : exemple de calcul de distance avec l'API entre le dépôt F0 et le fournisseur F1 . | 49 |
| Figure 20 : Matrice des distances | 65 |
| Figure 21 : Exemple de la simulation de résolution d'un VRPTW | 65 |
| Figure 22 : Base de données des fournisseurs | 66 |
| Figure 23 : Lignes origines/destinations..... | 67 |
| Figure 24 : Réseau généré par la matrice Origine/Destination..... | 68 |
| Figure 25 : Exemple d'une tournée générée par ArcGIS | 68 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques de différentes catégories de flux de la logistique inverse..... | 9 |
| Tableau 2 : Liste de matériels du centre..... | 26 |
| Tableau 3 : Stockage au niveau du centre LP | 28 |
| Tableau 4 : Problème de voyageur de commerce | 33 |
| Tableau 5 : Problème de tournée de véhicules..... | 34 |
| Tableau 6 : la méthode ABC | 45 |
| Tableau 7 : Extrait de la matrice de distance des grands fournisseurs | 50 |
| Tableau 8 : Extrait de la matrice des distances pour les fournisseurs d'H.U (janvier 2023)... | 50 |
| Tableau 9 : les résultats obtenus générés par le code qui applique l'heuristique NNA (mois de janvier 2023)..... | 56 |
| Tableau 10 : les résultats générés par le code qui applique l'heuristique de la recherche locale (mois de janvier 2023) :..... | 58 |
| Tableau 11 : les résultats obtenus générés par le code qui applique l'heuristique NNA (mois de Juillet 2023) | 60 |
| Tableau 12 : les résultats générés par le code qui applique l'heuristique de la recherche locale (mois de juillet 2023) :..... | 61 |

Liste des abréviations

API : Interface de programmation d'application

BTPH : Bâtiments, Travaux Publics et Hydrauliques

CLP : Centre Lubrifiants et pneumatiques

CMP : Centre Multi-Produits

CRC : Centre de collecte centralisé

CVRP : VRP avec contrainte de Capacité

DCVRP : CVRP avec contrainte de longueur

DLP : Distributeur lubrifiants et Pneumatiques

ERDP : Entreprise nationale de Raffinage et de la commercialisation et Distribution des produits Pétroliers

FIFO: First In First Out

GD: Gestion Direct

GL: Gestion libre

GMM: Google My Maps

H.U : Huiles Usagées

LP : Lubrifiants et Pneumatiques

MDN : Ministère de la Défense Nationale

NAA : Nearest Neighbor Algorithm

ONG : Organisations Non Gouvernementales

ONS : Office Nationale des Statistiques

PCL : points de collecte locaux

PVA : Point de Vente Agrée

PVC : Problème de Voyageur de Commerce

RO : Revendeur Ordinaire

RLP : Revendeur Lubrifiants et Pneumatiques

SIG : Système d'Information Géographique

SLG : Station Lavage et Graissage

TM : Tonne Métrique

TCD : Tableau Croisé Dynamique

TSP : Traveling Salesman Problem

VRP : Vehicle Routing Problem

VRPTW : VRP avec fenêtre du temps

Introduction générale

Les déchets sont fréquemment négligés ou sous-évalués par rapport à d'autres aspects de leurs activités. Ils peuvent nuire à l'environnement et la santé publique et contribuer à la diminution des ressources naturelles, de la pollution de l'air, de l'eau et du sol, et à la production de gaz à effet de serre.

Dans le but de réduire ces déchets et son impact sur l'environnement, les gouvernements et les organisations non gouvernementales (ONG) du monde entier, ont pris des mesures sur le plan environnemental par la mise en place des réglementations et des lois strictes pour assurer la gestion adéquate de ces substances, ainsi que sur le plan économique pour motiver les entreprises et les individus à valoriser ces déchets en se basant sur le principe de l'économie circulaire qui vise à maximiser l'utilisation des ressources naturelles en favorisant les différentes activités de la logistique inverse .

La logistique inverse est un processus par lequel ils peuvent devenir plus respectueux de l'environnement et écologiques en recyclant, en réutilisant et en réduisant la quantité de matériaux utilisés.

Les huiles usagées font partie des déchets qui requiert une logistique inverse spécifique. Ce sont des produits pétroliers en fin de vie, elles peuvent provenir de diverses sources, y compris les moteurs de véhicules, les machines industrielles, les équipements mécaniques, les transformateurs électriques ...etc. « 1 litre d'huile usagée peut contaminer 1 million de litres de l'eau » (BOUOUDINA, 2010), elles sont considérées comme des déchets très dangereux et doivent être transportées de manière séparée et conformément aux exigences environnementales.

Face aux réglementations, il existe plusieurs collecteurs agréés par l'état responsables de l'activité de collecte des huiles usagées, tels que la société de distribution et de commercialisation des produits pétroliers NAFTAL, elle est tenue pour l'instant de collecter ces huiles et les transporter aux terminaux portuaires pour les exporter.

Introduction générale

Au fil du temps, la quantité d'huile usagée générée en Algérie augmente avec l'augmentation du parc automobile sur le territoire national (6 577 188 véhicules selon l'office national des statistiques (ONS, 2019)) et de l'évolution du secteur industriel (ONS, 2022).

Dans notre cas, le centre lubrifiant & pneumatique LP d'El-Harrach joue un rôle essentiel en assurant la couverture de l'intégralité de la région d'Alger, qui s'étend sur une superficie de 363 km². Pour ce faire, il déploie deux camions citernes homogènes (un troisième étant actuellement en panne) spécifiquement destinés à la collecte de ces huiles usagées.

Grace à un stage effectué au niveau du centre, il s'est avéré que l'opération de la collecte se réalise d'une manière archaïque, elle se base sur les demandes des détenteurs des huiles usagées par le biais d'appels téléphoniques ou de visites sur le terrain, en se fiant à l'expérience des chauffeurs, sans aucune planification ni organisation des itinéraires.

Face à l'ampleur de la zone à couvrir et à la présence de seulement deux camions, se pose un problème d'optimisation du réseau de la collecte. Pour illustrer cette problématique, prenons l'exemple d'une tournée effectuée par l'un des camions selon l'historique de la collecte au niveau de l'entreprise :

Centre → Cheraga → Rouiba → Port → Centre

La distance totale parcourue lors de cette tournée s'élève à 101 km pour collecter une quantité de 6000 litres, ce qui met en évidence le caractère non optimal à la fois en termes de distance parcourue et de coûts engendrés.

L'objectif de notre travail consiste à élaborer une méthode d'aide à la décision visant à optimiser les itinéraires de collecte des huiles usagées, dans le but de minimiser les distances parcourues et les coûts associés.

Afin de parvenir à nos objectifs, nous avons procédé à la collecte de données sur une période allant de 2019 à 2022. Ensuite, en utilisant Excel, plus spécifiquement le tableau croisé dynamique, nous avons été en mesure d'identifier les fournisseurs d'huile les plus pertinents au cours de ces quatre années en appliquant la méthode ABC. Par la suite, nous avons réalisé des prévisions avec R en vue de planifier le mois de juillet 2023.

Introduction générale

Pour résoudre ce problème d'optimisation des tournées de véhicules (vehicle routing problem VRP) en tenant compte de la contrainte de capacité, nous ferons appel à des outils informatiques :

- Résolution par application de l'algorithme de plus proche voisin et la recherche locale sous python.
- Résolution avec des outils de système d'information géographique SIG ; ArcGis et Transcad.

Le manuscrit de ce mémoire s'articule autour de trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons des définitions et des généralités sur les déchets et leur gestion, la logistique inverse, ses étapes et ses activités et la logistique inverse des huiles usagées.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation de l'organisme d'accueil, la présentation du problème de collecte au niveau du centre et l'aspect théorique du modèle mathématique de tournée de véhicule VRP

Le troisième chapitre représente la partie pratique de notre travail, l'implémentation et l'analyse des données collectées, les prévisions effectuées, la modélisation mathématique, la résolution avec des différents outils et les résultats.

Chapitre I

La logistique inverse

Chapitre I : La logistique inverse

Introduction

Le présent chapitre constitue une étape essentielle de notre étude, il est consacré à introduire la logistique inverse d'une façon générale et globale.

Nous commencerons par une définition des déchets conformément à la réglementation en vigueur en Algérie, et comment elle les classe en fonction de leur nature et leur composition,

Ensuite, nous approfondirons notre compréhension de la logistique inverse en explorant ses types, ses étapes et ses activités.

Enfin, nous examinerons l'une des principales sources de la pollution à l'échelle mondiale, à savoir les huiles usagées, et la logistique inverse associée à leur gestion.

I.1 Les déchets

Selon L'article 3 de la loi n°01-19 du 12/12/2001 « un déchet est défini par tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer » (Journal officiel de la republique algerienne democratique et populaire N°77)

I.2 Le classement des déchets

Les déchets sont divers et différents, ils sont classés en trois grandes catégories selon l'article 05 de la loi n° 01-19 du 12/12/2001 (Journal officiel de la republique algerienne democratique et populaire N°77) :

- **Les Déchets spéciaux, y compris les déchets spéciaux dangereux** « Tous déchets dangereux ou non dangereux, issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autre activité qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes »
- **Déchets ménagers et assimilés** « Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et

Chapitre I : La logistique inverse

autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers
»

- **Déchets inertes** « tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et/ou à l'environnement »

I.3 La gestion des déchets

La gestion des déchets joue un rôle très important pour la protection de l'environnement et la santé publique. Les déchets doivent être collectés, triés, traités et éliminés de manière appropriée pour minimiser leur impact sur l'environnement. Il est également important de réduire la quantité de déchets produits en adoptant des pratiques de consommation responsables et en recyclant autant que possible.

Il existe plusieurs stratégies de gestion des déchets, telles que la réduction à la source, le recyclage, la réutilisation, la valorisation énergétique et l'écoconception des produits. Ces initiatives permettent aux entreprises de minimiser leur impact environnemental, de réaliser des économies de coûts, d'améliorer leur efficacité opérationnelle et de renforcer leur réputation en matière de développement durable.

I.4 La logistique inverse

Contrairement à la logistique traditionnelle qui consiste à acheminer les produits de leur lieu de production à leur lieu de consommation, la logistique inverse implique le mouvement des produits dans le sens inverse, elle est apparue pour faire face aux défis économiques, sociaux et environnementaux.

Dans la littérature académique, la logistique inverse apparaît comme un processus permettant de retourner des produits refusés par le consommateur, des produits invendus, des produits défectueux à échanger ou à réparer, mais aussi, des produits en fin de vie. (Carneiro, J., Monnet, M., & Noireaux, V. (s. d.), 2013)

Chapitre I : La logistique inverse

Après avoir énoncé et analysé tant de définitions académiques, (RIOPEL et al, 2011) suggèrent celui-ci dans leur livre :

“ Processus de planification, d’implantation, de suivi et de contrôle qui vise à maximiser la création de valeur et l’élimination propre des flux inverses de produits, par une gestion efficiente des matières premières, des en cours de production, des produits finis et de l’information pertinente, du point de consommation au point d’origine ”.

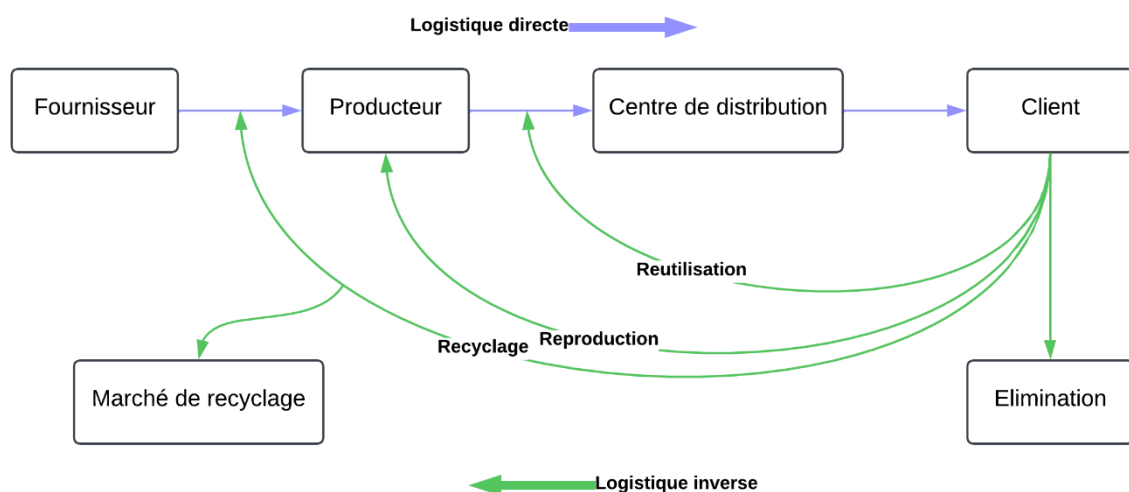


Figure 1 : Les flux de la logistique directe et inverse

Source : (LEE, 2009)

I.5 Les différents types de réseaux de la logistique inverse

Selon : (CAMARA, Lassana, 2019), il existe deux types de réseaux de la logistique inverse : la logistique inverse en boucle fermée et la logistique inverse en boucle ouverte

I.5.1 La logistique inverse en boucle ouverte

« Dans la logistique en boucle ouverte, les produits en fin de vie ne sont pas directement retournés au producteur initial. Les produits récupérés sont utilisés par une autre entreprise ou par l’entreprise elle-même. Dans ce cas, les matériaux récupérés pourront être réutilisés pour créer un produit similaire à celui conçu à l’origine ou un produit différent. En guise d’exemple, nous présentons le réseau que (Qinglong Gou, Liang Liang, Zhimin Huang, Chuanyong Xu,

Chapitre I : La logistique inverse

2008) ont étudié dans leurs travaux de recherche. Ils ont étudié une chaîne d'approvisionnement inversée en boucle ouverte qui comprend un seul centre de retour centralisé CRC et plusieurs points de collecte locaux PCL »

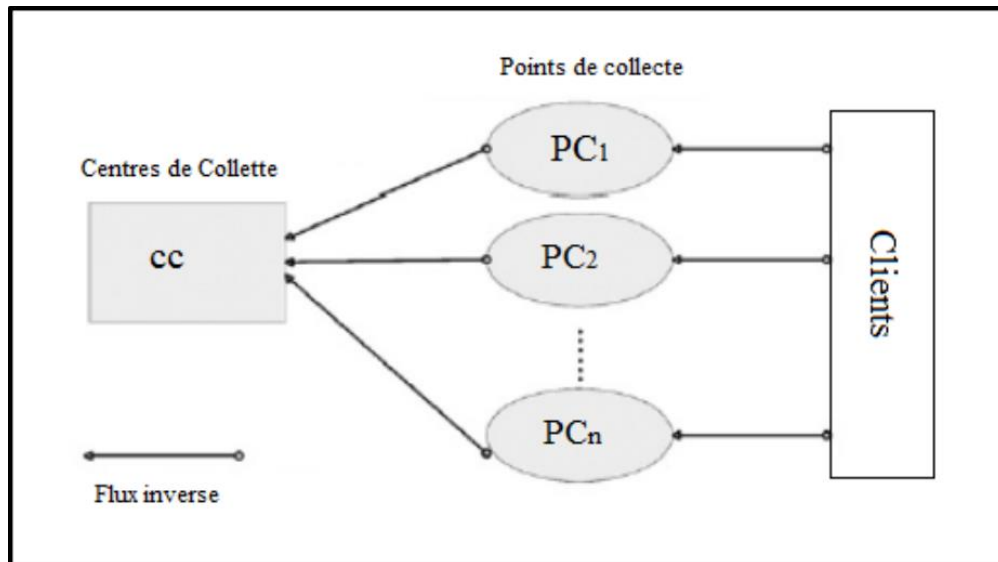


Figure 2 : Exemple du réseau d'une chaîne d'approvisionnement inversée en boucle ouverte adapté

Source : (Qinglong Gou, Liang Liang, Zhimin Huang, Chuanyong Xu, 2008)

I.5.2 La logistique inverse en boucle fermée

« Pour sa part, la logistique inverse en boucle fermée définit un réseau dans lequel les produits retournés seront recyclés pour donner un nouveau produit dans la même entreprise. Il peut également s'agir d'une entreprise ayant un rôle qui s'ajoute à la chaîne d'approvisionnement afin de valoriser les produits usagés collectés dans la chaîne.

(Kuan Siew Khor, Zulkifli Mohamed Udin, 2012) ont défini un graphe décrivant le réseau d'une chaîne d'approvisionnement en boucle fermée. Ce graphe définit la circulation du produit dans un système manufacturier en boucle fermée. Il montre la ligne directe et les différents niveaux de recyclage. »

Chapitre I : La logistique inverse

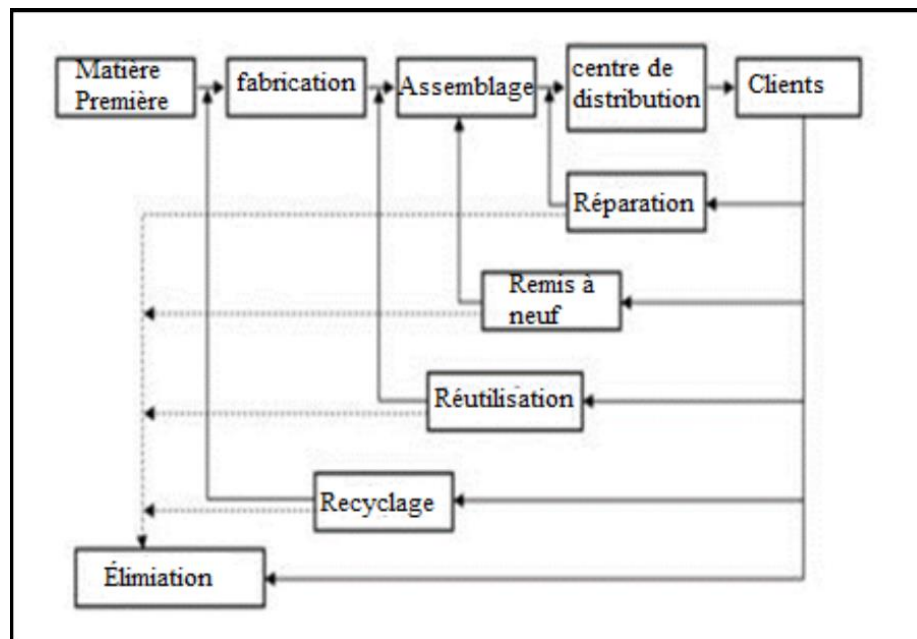


Figure 3 : Illustration d'un réseau de logistique inverse en boucle fermée adaptée

Source : (Kuan Siew Khor, Zulkifli Mohamed Udin, 2012)

I.6 Les types de retours

Selon (RIOPEL et al, 2011) les retours de produits sont généralement associés au service après-vente offert par les détaillants afin de permettre l'échange ou le remboursement de marchandises non conformes aux attentes des clients. Ce sont les retours commerciaux. Bien qu'il s'agisse du type de retour le plus visible aux yeux des consommateurs, le rendant ainsi mieux connu, les entreprises peuvent toutefois être confrontées à différents autres types de flux inverses de produits. (Fleischmann, 2001) distingue cinq types de retours de produits :

- Retours des produits inutilisés ;
- Retours commerciaux ;
- Retours de produits sous garantie ;
- Rebus et produits dérivés des activités du réseau (chaînes logistiques et logistiques inverses ;
- Emballages.

Chacune de ces situations présente ses propres particularités. En effet, les produits peuvent être retournés à l'une des unités d'affaires de la chaîne logistique à l'intérieur d'une certaine période

Chapitre I : La logistique inverse

de temps qui leur sont propres Le produit retourné provient de l'un des acteurs de la chaîne logistique ou encore du consommateur lui-même. Selon le contexte du retour, la condition du produit retourné peut différer de celle présente à l'origine. Le produit retourné peut ensuite être dirigé vers l'un des acteurs de la chaîne logistique originale ou encore vers un acteur d'une chaîne alternative en vue de son traitement pour sa réutilisation éventuelle. Diverses considérations économiques ou environnementales poussent les entreprises à s'intéresser aux retours de marchandises. Le tableau (adapté de (Fleischmann, 2001)) résume les caractéristiques des divers types de flux propres à la logistique inverse.

Tableau 1 : Caractéristiques de différentes catégories de flux de la logistique inverse.

| Description | Considérations | Exemples |
|--|--------------------------|---|
| Récupération de produits inutilisés | Economie Marketing | Equipements électroniques valorisés, recyclage de tapis, rehaussement de pneus |
| | Législation | Décret des biens bancs et bruns (pays bas) |
| | Récupération de valeur | Collecte de cartouches d'encre, récupération de composants d'ordinateurs |
| Retours commerciaux | Marketing | Surplus de pièces de détaillants, vêtements, cosmétiques, retours d'achat par catalogue |
| Retours de produits sous garantie | Marketing Législation | Appareils ménagers défectueux, pièces de rechange |
| Produits dérivés et rebuts de production | Economie Législation | Industrie pharmaceutiques, composants d'acier |

Chapitre I : La logistique inverse

| | | |
|------------|-------------|----------------------------------|
| Emballages | Economie | Palettes, caisses, bouteilles |
| | Législation | « Green dot system » (Allemagne) |

I.7 Les étapes de la logistique inverse

Selon (RIOPEL et al, 2011) plusieurs auteurs dont Giuntini et Andel , Rogers et Tibben-Lembke , Schwartz et Giuntini et Andel, ont proposé un modèle comprenant quatre étapes clés de la logistique inverse. Ces étapes sont la barrière (ou porte d'entrée), la collecte, le tri et le traitement. La figure présente une représentation visuelle de la relation entre ces différentes étapes. De plus, la figure montre un acteur externe au système de logistique inverse, l'initiateur du retour (le consommateur ou le client) qui exprime un besoin de retourner un produit (besoin d'un retour). Sans lui, le système n'a pas une grande utilité. A ces quatre étapes, deux éléments doivent être ajoutés pour compléter le système de logistique inverse : un système d'information et un système d'expédition (aussi appelé de redistribution). Un système d'information est nécessaire pour assurer une bonne communication tout au long du processus. Un système d'expédition des extrants du système de logistique inverse est intégré au processus générique. Ces extrants peuvent prendre la forme de produits, de pièces de rechange, de matières premières ou de rebuts.

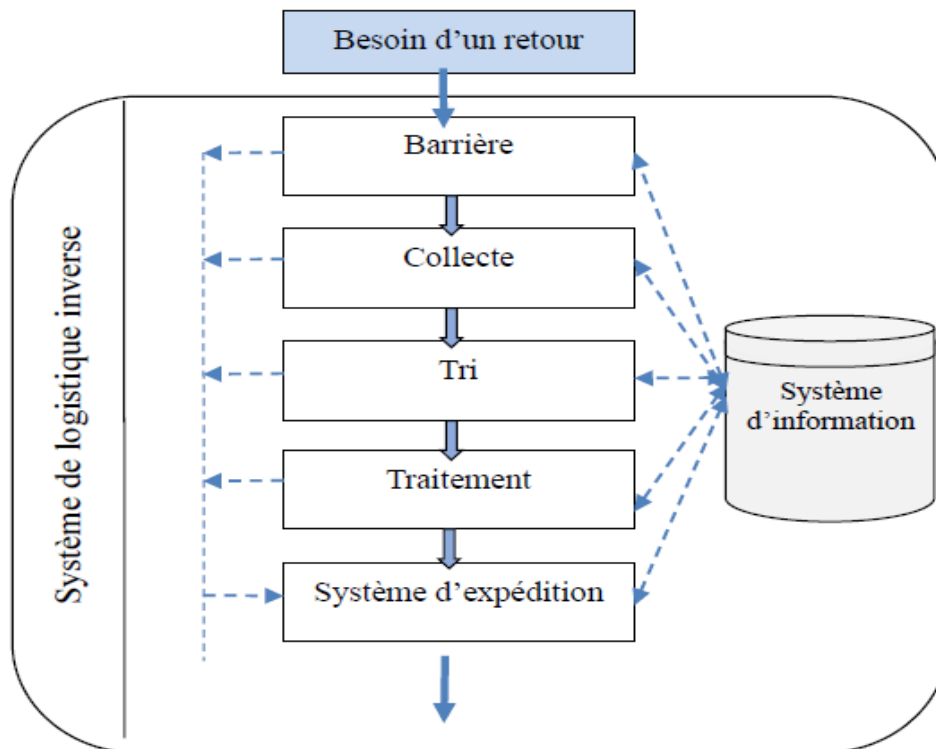


Figure 4 : Processus générique de la logistique inverse

I.7.1 Etape barrière

C'est la première étape du système de coordination de la logistique inverse. La barrière contrôle l'entrée des produits dans le système de logistique inverse. Elle filtre les retours vers l'entreprise. Elle cherche à éviter que des produits ne lui appartenant pas ou envers lesquels elle n'a pas d'obligation, contractuelle ou légale, ne lui soit retournés. Normalement, cette étape conduit à l'acceptation du retour ou à son refus. C'est souvent le service après-vente qui reconnaît le besoin d'un retour.

L'étape Barrière peut ne pas être nécessaire. Par contre, le client doit avoir l'information nécessaire pour diriger le retour vers le bon endroit à l'étape collecte.

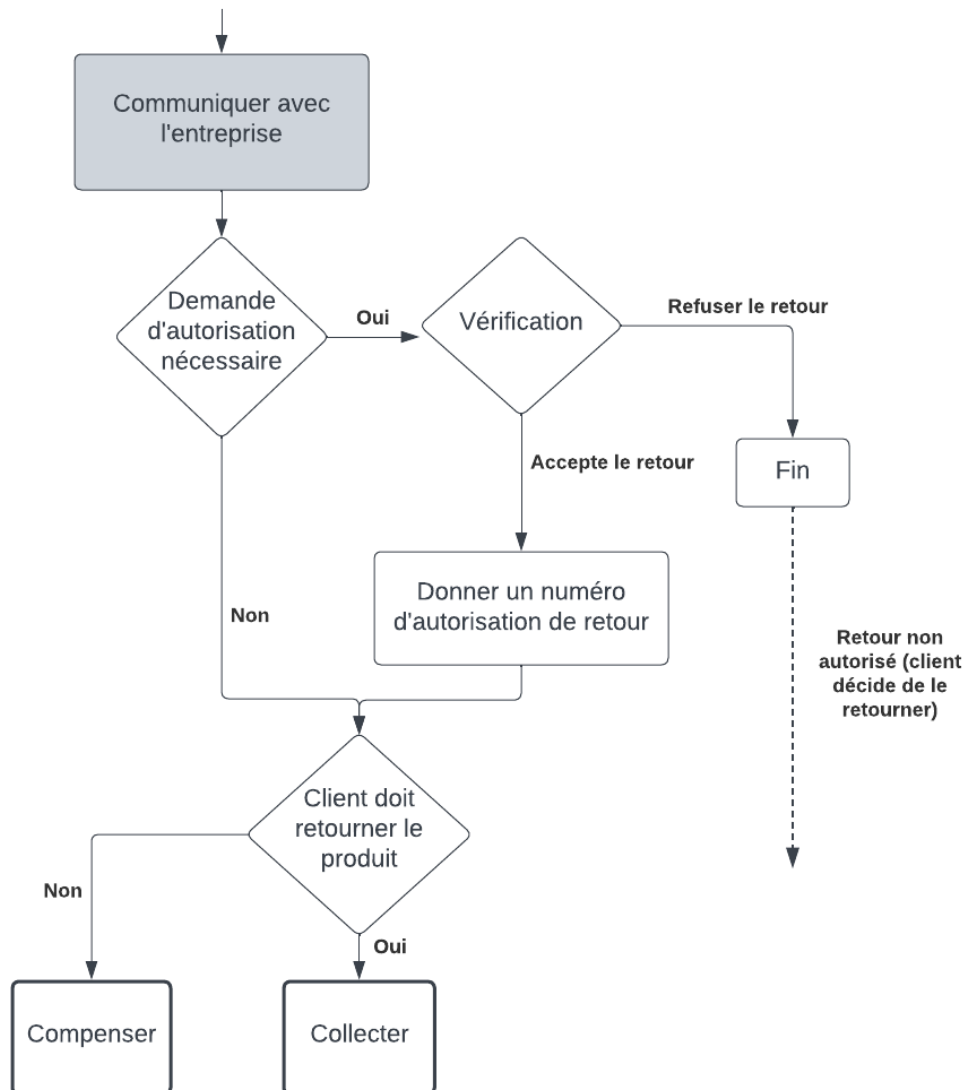


Figure 5 : Processus de l'étape barrière

I.7.2 Etape collecte

L'étape collecte comporte deux volets : la reprise et le transport des produits retournés. La responsabilité de la collecte du produit retourné peut être prise en charge par le client, par un tiers ou par l'entreprise. Dans le cas des produits complexes ou dispendieux, l'entreprise met généralement en place un réseau de distribution et de réparation afin de desservir chacun de ces territoires. La raison du retour influence directement l'approche à privilégier. La figure 1-6 montre le processus de l'étape collecte :

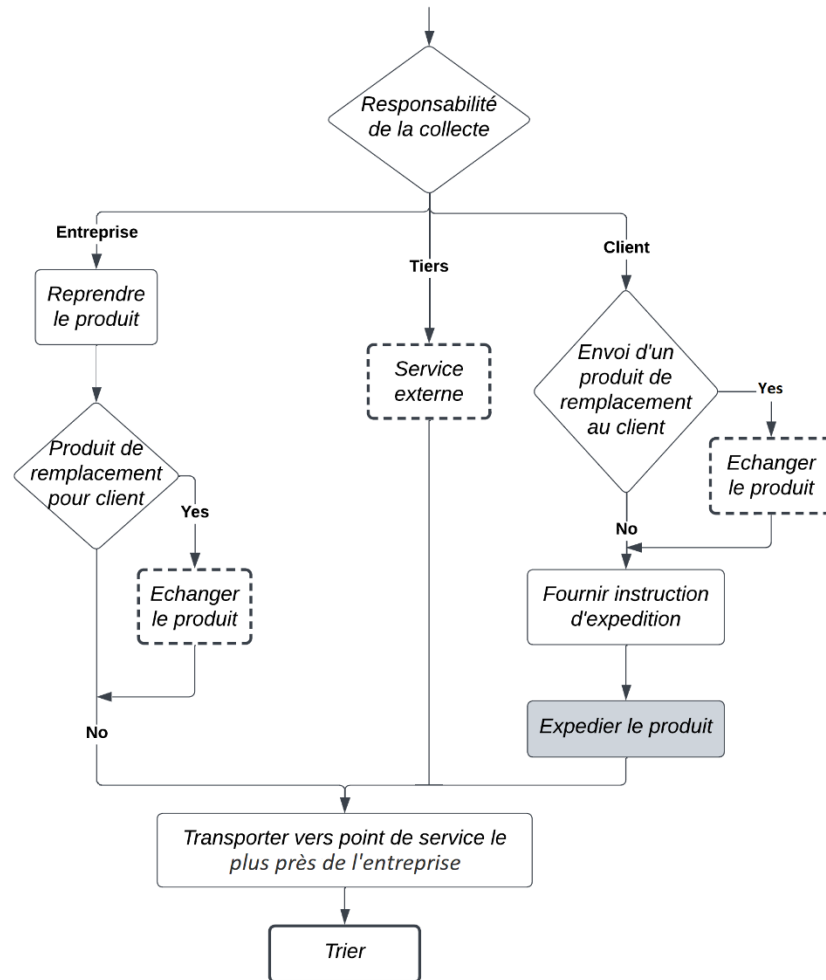


Figure 6 : Processus de l'étape collecte

I.7.3 Etape tri

L'étape Tri consiste, lors de la réception du produit, à valider les renseignements obtenus à l'étape Barrière afin d'autoriser son entrée au sein de toutes les autres étapes du processus. Si un tri préliminaire a été effectué à l'étape Barrière, il s'agit alors de le confirmer. Cette étape est généralement présente dans les systèmes de logistique inverse qui comportent plusieurs sites et plusieurs activités de traitement. Elle requiert, bien entendu, que le produit ait été préalablement reçu. La figure 7 montre les activités de l'étape tri du processus de la logistique inverse

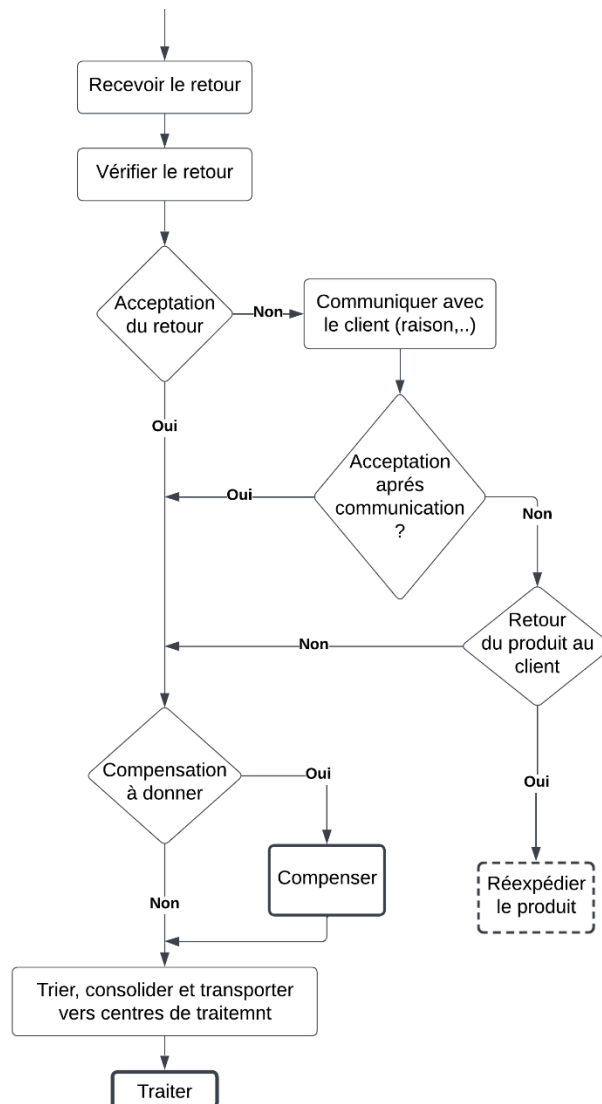


Figure 7 : Processus de l'étape tri

I.7.4 Etape traitement

L'étape Traitement comporte trois sous-étapes. Premièrement, il faut choisir parmi une liste d'activités de traitement que l'entreprise considérée qu'elle a mis en place. Le choix est contraint par les niveaux de stock des produits ainsi que leurs possibilités de vente. Les options de traitement dépendent de la nature, des caractéristiques, de l'âge et de l'état de produits retournés. Finalement, les produits sont traités. L'étape Traitement est un processus des plus exigeants. La figure 8 présente les trois principales activités de l'étape traitement des retours.

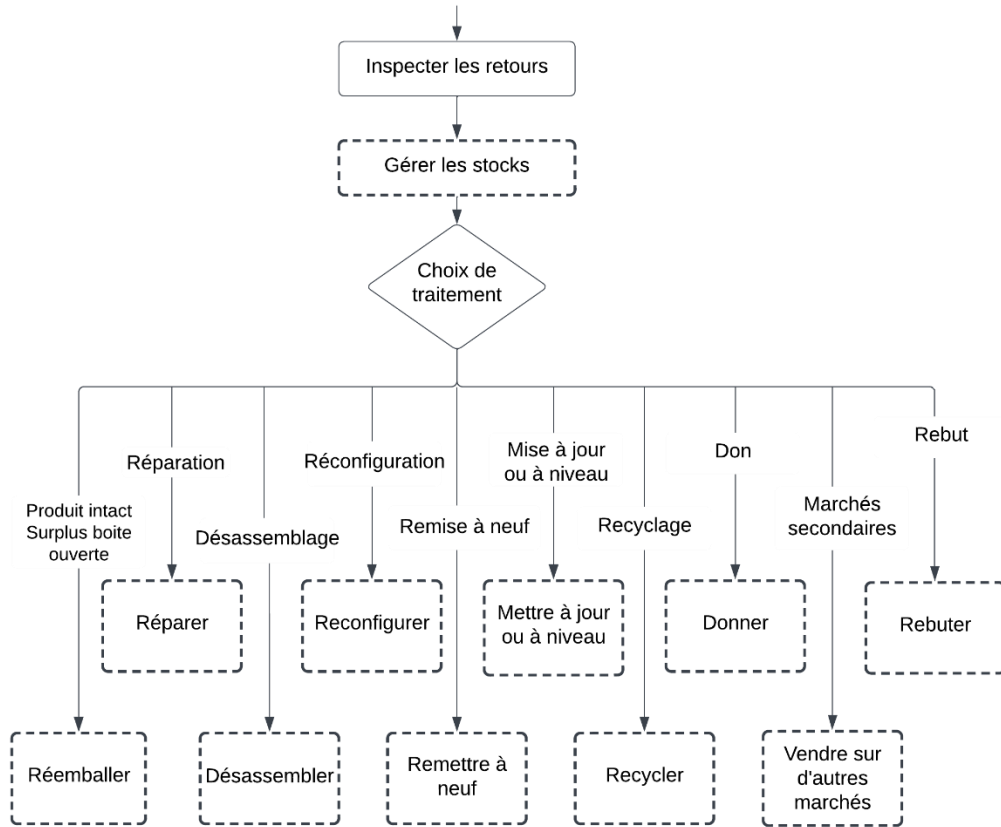


Figure 8 : Processus de l'étape traitement

I.8 Les activités de la logistique inverse

Selon l'étude de (BENRAHOU Fatma Zohra, 2020), il est fréquent de retrouver le même ensemble d'activités dans la littérature.

I.8.1 La réparation

L'activité de la réparation consiste à restaurer un produit défectueux à son état de fonctionnement normal, en passant par une étape de diagnostic afin de l'évaluer et déterminer la faisabilité de réparation de ce produit. Lorsque la réparation est réussie, le produit est emballé, dirigé en stock ou alors retourné au client.

Chapitre I : La logistique inverse

I.8.2 La réutilisation

Dans le cadre de la logistique inverse, la réutilisation des produits inversés permet de prolonger leur durée de vie et à cet effet réduire les coûts, les déchets et leur impact sur l'environnement.

Cela se fait par des opérations mineures telles que le nettoyage ou la maintenance, ainsi que par la récupération des composantes utilisables comme des pièces de rechange.

Le produit contrôlé est remis en stock si aucune action n'est requise. Par contre, si le produit ne peut être réutilisé immédiatement, il doit être réparé ou remis en état, et si la réparation n'est pas possible le produit est recyclé.

I.8.3 La ré-fabrication

La ré-fabrication est un processus de désassemblage des produits utilisés, d'inspection, de réparation / remplacement des composants et leur utilisation pour fabriquer un nouveau produit.

Ce processus est similaire au processus de réparation sauf que le premier ne change plus que les pièces ou les composants défectueux du produit, il change une série de pièces et de composants afin de remettre le produit à l'état neuf ou presque.

I.8.4 Le recyclage

Le but du recyclage est de réutiliser les matières constituant le produit usé. Par ce procédé, l'entreprise réduit l'épuisement des ressources, crée des valeurs économiques et environnementales. Ce processus permet de démonter les produits et de séparer les matériaux (métaux ferreux ou non ferreux, plastique, verre, papier, etc.). Chacun des matériaux séparés est mis dans des contenants appropriés pour la revente ou pour une réutilisation ultérieure. Plus la séparation des matériaux est fine, plus la valeur augmentera. Les matériaux non recyclables sont rebutés.

On parle de recyclage par revalorisation des matériaux lorsque les matières sont dirigées vers des procédés de broyage ou de fonte et de recyclage par revalorisation énergétique si les matières peuvent être transformées en énergie, par des processus d'incinération.

Chapitre I : La logistique inverse

I.8.5 L'élimination

C'est l'activité la moins désirable pour l'environnement, rebuter ces envoyés à l'enfouissement, ou à l'incinération les produits qui ne peuvent être ni réutilisés ni ré-fabriqués, ni recyclés pour des raisons techniques ou pécuniaires.

I.9 Les huiles usagées

Les huiles usagées H.U sont des huiles qui ont perdu leurs propriétés d'origine à cause de l'usure et de la contamination par des impuretés et des produits chimiques, peuvent provenir des sources différentes, comme les moteurs véhicules, les équipements industriels, les huiles de transmission, les huiles hydrauliques...etc.

Selon (AUDIBERT, 2002) on distingue deux types d'huiles usagée

- Les huiles industrielles sont des huiles claires, contiennent moins d'impuretés, il s'agit d'huiles faciles à récupérer, en provenance de secteurs divers :
 - Industrie du travail des métaux ;
 - Agriculture ;
 - Engins de travaux publics ;
 - Engrenage et transmission, etc.
- Les huiles moteur (noires) sont des huiles noires, indiquant une contamination très importante et fortement dégradées.

I.10 La logistique inverse des huiles usagées

Les H.U sont considérées comme un déchet très dangereux, leur rejet peut causer une dégradation importante de l'environnement naturel, ce qui peut entraîner une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère.

La logistique inverse des H.U implique les étapes suivantes :

- **La collecte**

Chapitre I : La logistique inverse

C'est l'activité de regroupement et ramassage des H.U par des entreprises et des collecteurs agréés par l'état, destinés aux différents terminaux (recyclage, valorisation énergétique, élimination), tout en prenant les précautions nécessaires.

François AUDIBERT a cité dans sa publication les précautions suivantes à prendre au niveau de ramassage (AUDIBERT, 2002) :

- Eviter de pomper l'eau et les boues de fond de cuves ;
- Eviter impérativement le mélange avec des huiles solubles qui contiennent des paraffines chlorées et amènent de l'eau bien inutilement (l'huile de coupe peut contenir 2 à 4% de chlore) ;
- Eviter les solvants chlorés qui abaissent le pouvoir calorifique et surtout libèrent du chlore lors de la combustion de l'huile.

- **Le transport**

Une fois collectées, les H.U doivent être transportées de manière sûre et sécurisée vers sa destination par des véhicules spécialement conçus et équipés pour le transport des H.U afin de prévenir les fuites ou les déversements accidentels.

- **Stockage temporaire**

L'entreprise collectrice doit avoir une zone de stockage spécifique des H.U conçue pour éviter toute contamination supplémentaire, mais elle doit être considérée comme solution temporaire, il est recommandé de collecter et de traiter les H.U dès que possible.

- **Destination finale**

La destination des H.U se diffère d'un pays à un autre, elle dépend de leur qualité, degré de contamination et les réglementations du pays, ces huiles peuvent être régénérées, recyclées, valorisées et être utilisées comme une source d'énergie sinon éliminées d'une manière sûre et conforme aux réglementations environnementales.

Chapitre I : La logistique inverse

I.11 La gestion des huiles usagées

La gestion des H.U se diffère d'un pays à un autre, elle est régie par des lois et des réglementations spécifiques. Le respect de ces réglementations est important pour prévenir les impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

François AUDIBERT nous donne un aperçu sur la gestion des H.U dans certains pays européens (AUDIBERT, 2002) :

- **Allemagne** : les détenteurs d'H.U et les producteurs d'huile neuve participent au financement de la collecte. Un complément est apporté par le ré-raffineur, ou l'utilisateur de l'huile en combustible, l'objectif étant que cette organisation permette in fine au ré-raffineur de maintenir son activité malgré les variations de prix des huiles de base. Cependant, comme la voie combustion est exempte de taxation (cette situation risque de ne pas durer), une véritable concurrence s'est établie entre les deux voies de valorisation
- **Angleterre** : encouragé également par l'exonération de la taxe sur les combustibles, l'huile est essentiellement brûlée chez des industriels agréés : postes d'enrobés, centrales électriques, etc. Une fraction importante de l'huile est néanmoins brûlée dans les garages et les ateliers sans prétraitements particuliers. Le ramasseur principal « Orcol » collecte environ 200000 t/a et pratiquerait le ré-raffinage pour quelques milliers de tonnes annuelles.
- **Italie** : l'Italie est le pays, sans doute encouragé par une détaxation de 50% de l'huile régénérée par rapport aux huiles neuves, qui applique le mieux les directives de la communauté économique européenne selon lesquelles la priorité doit être donnée à la régénération. La collecte est effectuée par un consortium groupant les producteurs de lubrifiants qui assurent son financement par le biais d'une taxe qui, en 1995, était de 54 liras/kg (1 €= 1936,27 liras) de lubrifiants vendus. On rappelle que 83% des huiles collectées sont ré-raffinées.
- **Espagne** : les régions nombreuses et relativement autonomes ont freiné l'instauration d'une politique globale de la gestion des huiles usagées. Seule la Catalogne aurait imposé une taxe sur les lubrifiants pour financer la collecte.
- **Autriche et Suisse** : la valorisation dominante est la combustion en cimenteries.

Chapitre I : La logistique inverse

- **Grèce** : le pays géographiquement très compartimenté (montagnes et îles) se prête mal à une collecte globale. Une partie de l'huile ré-raffinée par Lube Oil Processing Corporation est importée.
- **Belgique, Pays-Bas, Danemark, Finlande et Norvège** : l'huile est valorisée en combustible avec la préoccupation de démétalliser celle-ci, soit en amont, soit en aval de la combustion.

En Algérie, NAFTAL détenait autrefois le monopole de la collecte des huiles usagées. Elle est responsable de la gestion complète de ces huiles, y compris de leur collecte gratuite et de leur acheminement jusqu'à leur destination finale, qui est l'exportation.

Cependant, au fil du temps, des collecteurs privés agréés par l'état ont émergé sur le marché en achetant ces H.U auprès des pollueurs, certains se spécialisent dans le recyclage, tandis que d'autres les exportent également. Cette évolution a introduit une plus grande diversité d'acteurs dans le secteur de la collecte et de la gestion des H.U en Algérie.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, notre étude nous a permis de dresser un aperçu général de la logistique inverse et de ses principales activités, notamment la collecte qui constitue le cœur de notre étude.

Dans le prochain chapitre, nous examinerons spécifiquement la collecte des H.U par NAFTAL. Ensuite, nous aborderons théoriquement le problème que nous cherchons à résoudre.

Chapitre II

Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Introduction

Ce chapitre représente l'étude de notre cas, il est subdivisé en trois parties

En premier lieu, nous représentons l'entreprise d'accueil, son historique, ses principaux missions et activités, et son processus actuel de collecte des huiles usagées.

Par la suite, nous aborderons la problématique de la collecte des H.U au sein du centre LP, ainsi que la méthode actuellement mise en œuvre par l'entreprise pour effectuer cette activité.

Enfin, nous allons explorer l'aspect théorique de notre problème, en le définissant clairement et en exposant les méthodes de résolution disponibles.

II.1 L'historique de NAFTAL

Créée le 6 avril 1981 par le décret N°80/101, et entrée en activité en janvier 1982 sous le nom « entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétroliers » (E.R.D.P), chargée de l'industrie du raffinage et de la commercialisation et distribution des produits pétroliers.

En 1987, ces deux activités ont été séparées, et l'entreprise est désormais chargée de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers et dérivées et placées sous la tutelle du ministère de l'énergie et des mines.

A partir de 1998 ; NAFTAL change de statut est devient à 100% filiale de SONATRACH.

II.2 La présentation de l'organisme d'accueil "centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach"

Le centre LP fait partie de la branche commercialisation de NAFTAL, il est chargé des activités de l'approvisionnement, la commercialisation et la vente des produits lubrifiants, graisses, produits d'entretien et batteries sur la région d'Alger.

Sur le territoire national, il existe 21 centres lubrifiants et pneumatiques (CLP) et 27 centres multi-produits (CMP). En utilisant l'outil en ligne Google My Maps (GMM) et le fichier Excel contenant les coordonnées de chaque centre, nous avons créé une carte représentant la répartition géographique de ces centres.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach



Figure 9 : Répartition CLP & CMP

Source : Carte créée avec l'outil en ligne " Google My Maps "

II.2.1 Les missions et les activités principales du centre

II.2.1.1 L'approvisionnement

Le centre LP suit un programme de ravitaillement émis par la direction générale des lubrifiants de CHERAGA. La direction transmet un programme chaque mois (Annexe 2) des produits lubrifiants locaux et un programme de soutien pour les produits importés en fonction de leur arrivée au port.

En ce qui concerne les produits d'entretien, ils sont soumis à une certaine saisonnalité. Par exemple, la demande de glaciol (liquide de refroidissement) est plus élevée en été, tandis que le lave-glace est davantage sollicité pendant l'hiver. Ainsi, l'approvisionnement de ces produits est adapté en fonction de cette saisonnalité.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Et quant aux batteries, c'est un nouveau produit compliqué, se distribue généralement dans les stations de services secteur gestion directe GD, et pour les autres clients le centre approvisionne selon la demande.

II.2.1.2 Le stockage

Le stockage des lubrifiants est très important pour maintenir leur qualité et leur efficacité, ils doivent être stockés dans les bonnes conditions pour assurer une durée de vie plus longue et une meilleure qualité.

Le centre LP dispose de trois espaces de stockage, une zone à l'air libre pour les lubrifiants en fûts, un hangar pour tout ce qui est produit d'entretien, batterie, et les lubrifiants avec emballage divisionnaire et une citerne avec une capacité de stockage de 100 m³ pour stocker les huiles usagées.

En matière de gestion des stocks, le centre s'appuie sur le principe FIFO (First In First Out), c'est une méthode efficace pour aider à éviter les pertes et les gaspillages en s'assurant que les produits les plus anciens sont utilisés ou vendus en premier.

II.2.1.3 La vente

NAFTAL propose sept gammes de produits aux différents clients, à des prix différenciés en fonction des quantités achetées. Cette politique de tarification encourage les clients à acheter en gros, ce qui leur permet de bénéficier de prix avantageux.

Cette opération suit un processus comprenant plusieurs étapes :

- Demande de commande
- Préparation d'une facture pro-forma
- Paiement à la banque
- Confirmation de paiement
- Préparation et récupération de la commande

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

II.2.1.4 Le transport et distribution

NAFTAL assure le transport et la distribution de ses produits aux clients des secteurs GD et de la gestion libre GL.

Selon les préférences et les besoins des autres clients, NAFTAL propose deux options de distribution :

- Livraison par les propres moyens de NAFTAL
- Récupération de la commande par le client

Ces options offrent une flexibilité aux clients, lui permettant de choisir la méthode de distribution qui convient le mieux à ses besoins spécifiques.

II.2.1.5 La collecte

Conformément aux réglementations suivantes :

- Décret N° 04-88 : (Journal officiel de la republique Algerienne democratique et populaire N°18, 2004) portant sur la réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usées.
- Décret N° 93-161 : (Journal officiel de la republique Algerienne democratique et populaire N°46, 1993) réglementations du déversement des huiles lubrifiantes dans le milieu naturel.
- Décret N° 93-162 : (Journal officiel de la republique Algerienne democratique et populaire N°46, 1993) fixant les conditions et des modalités de récupération et de traitement des huiles usagées

Et dans le cadre de la logistique inverse, NAFTAL se trouve sous l'obligation de collecter les H.U sur le territoire national.

Le centre LP d'El-Harrach assure l'activité de la collecte et le transport des H.U des détenteurs sur la Wilaya d'Alger

Les détenteurs sont :

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

- Station GD
- Stations GL
- Point de vente agréé PVA
- Station lavage graissage SLG
- Gros consommateurs

Deux camions citernes sont affectés à cette activité avec une capacité de 6000 L par camion, équipés d'une pompe d'aspiration et refoulement des huiles usagées.

II.2.2 Les moyens du centre

II.2.2.1 Humaines

Le centre LP dispose d'un effectif total de 70 employés permanents et 25 temporaires répartis comme suit :

- Chef de centre
- Service commerciale : 5
- Service exploitation : 37
- Service administration et finance : 12
- Agent d'intervention et prévention : 15
- Agent de sûreté interne : 25

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

II.2.2.2 Matériels

Tableau 2 : Liste de matériels du centre

| Véhicules | Photos | Nombre |
|-----------------------|--|--------|
| Camions semi-remorque |  | 4 |
| Camions plateaux |  | 4 |
| Fourgons |  | 2 |

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

| | | |
|--|---|---|
| chariots élévateurs |  | 3 |
| Camions citernes 6 m ³ (récupération des huiles usagées) |  | 2 |



Source : Photos prises par les auteurs

II.2.2.3 Stockage

Le centre LP d'El Harrach dispose d'une capacité de stockage à l'air libre de 1500 tonnes métriques TM pour les fûts et d'une capacité de stockage couverte de 120 TM pour les produits avec emballage divisionnaire, et 100 m³ pour les huiles usagées.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Tableau 3 : Stockage au niveau du centre LP

| | Superficie (m ²) | Capacité | Produits stockés | Stockage |
|--|---------------------------------|--------------------|---|--|
| Stockage ouvert | 5617 | 1500 TM | Lubrifiants en fûts |  |
| Stockage couvert | 219 | 120 TM | Lubrifiants Batteries Produits d'entretien | 114 palettes dimension (100*130) 118 palettes dimension (110*100) |
| Stockage des huiles usagées | / | 100 m ³ | Huiles usagées |  |

Source : Photos prises par les auteurs

II.2.3 Les clients du centre

Les clients du centre LP NAFTAL peuvent être divisés en 3 types, chaque type contient des secteurs d'activité :

- **Les revendeurs**
 - GD
 - GL

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

- PVA
- Revendeur Ordinaire (RO)
- SLG
- Revendeurs lubrifiants pneumatiques (RLP)

- **Les consommateurs**
 - Agronomie
 - Energie
 - Industrie
 - Commerce
 - Administration
 - Ministère de la Défense Nationale (MDN)
 - Transport
 - Domestique
 - Bâtiment Travaux Publics et Hydrauliques (B T P H)
 - Intra-groupe

- **Les distributeurs**
 - Distributeur lubrifiants pneumatiques DLP

Principaux clients par secteur

- GD CHERAGA (Secteur GD)
- COSIDER TP (Secteur BTPH)
- GL BOUAMAR (Secteur GL)
- PVA BENMESSAOUD (secteur PVA)
- RLP KHODJA (Secteur RLP)
- SLG KHERFI (Secteur SLG)
- DLP SARL SMD (Secteur DLP)

II.2.4 Les principaux concurrents

Les principaux concurrents des centres lubrifiants de NAFTAL au niveau national sont TotalEnergy, Castrol, Liqui moly, Elf ... Dans le domaine de la commercialisation des produits lubrifiants.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Et pour ce qui est de l'activité de collecte des huiles usagées, il y a d'autres collecteurs sur le terrain agréés par le ministère d'environnement, nous pouvons mentionner : SAM industrie-SARL, REBEX Lubrifiant Algérie, SARL SIPLA, SARL CENTRAL PARK OIL...

II.3 Les huiles usagées en Algérie

Au plan national, le marché est de l'ordre de 150.000 tonnes par an, se répartissant comme suit (BOUOUDINA, 2010):

- Huiles moteurs 75%
- Huiles industrielles (ateliers, entreprises industrielles) 19%
- Graisses et paraffines 3%
- Huiles aviation et marine 3%



Figure 10 : Les H.U en Algérie

Source : (BOUOUDINA, 2010)

Plusieurs activités sont susceptibles de produire des huiles usagées. On peut citer notamment (BOUOUDINA, 2010):

- Les garages, concessionnaires, stations de vidange, stations-service
- Les transports (routiers, fluviaux, aériens, ferroviaires)
- Les usines, ateliers, entreprises industrielles

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

En 2020, ils ont trouvé que 180 000 tonnes d'H.U sont générées annuellement pour seulement une capacité de collecte de 50 000 tonnes/an. Ce marché est partagé par seulement 39 collecteurs agréés par le ministère de l'environnement (Baaziz, 2020)

II.4 Le problème de la collecte au niveau du centre LP

Chaque année, le nombre de collecteurs d'H.U autorisé par le ministère de l'environnement augmente. Ces collecteurs achètent ces huiles, tandis que NAFTAL les collecte gratuitement, ce qui rend cette mission plus difficile à mesure que la quantité des huiles collectées diminue au fil des années.

Le centre LP a pour objectif de collecter 84 m³ par mois, ce qui équivaut à un rapport de collecte de 3,8 m³ par jour. Toutefois, il est important de noter que le centre dispose de deux camions citernes homogènes, chacun ayant une capacité de 6 m³(en supposant en moyenne 22 jours de travail/mois).

L'opération de la collecte se passe comme suit :

- Généralement, lorsqu'un détenteur souhaite que NAFTAL collecte ses huiles usagées, il appelle par téléphone le centre et l'informe de la quantité d'huile et l'emplacement de l'entreprise. NAFTAL organisera et fournira les instructions nécessaires pour le ramassage.
- Si aucun détenteur n'a fait une demande de récupération, quand même les deux camions citernes sortent du centre afin de récupérer les huiles auprès des stations GD et GL de NAFTAL. Cette opération s'appuie sur le savoir-faire des conducteurs grâce à leur expérience.
- Le centre LP a pour objectif de collecter 84 m³ d'H.U par mois, cet objectif dépend de l'historique des quantités collectées auparavant.
- La quantité des huiles collectées est destinée aux terminaux portuaires (Alger, Oran, Annaba), chacun de ces ports sont aménagés pour le stockage des H.U destinées à l'exportation avec une capacité de stockage de :
 - Port d'Alger : 9000 m³ (les huiles de la région du centre et Sahara)
 - Port d'Oran : 3000 m³ (les huiles de la région Ouest d'Algérie)
 - Port d'Annaba : 3000 m³ (les huiles de la région Est d'Algérie)

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

L'opération de l'exportation est effectuée une fois par an

- Si les bacs d'H.U du port sont trop remplis pour accueillir de nouvelles collectes, les H.U peuvent être conservées pour stockage intermédiaire au centre de NAFTAL. Le stockage intermédiaire permet de conserver les H.U en attendant leur transport aux terminaux portuaires.

PROCESSUS : COLLECTE, TRANSPORT, STOCKAGE et EXPORTATION

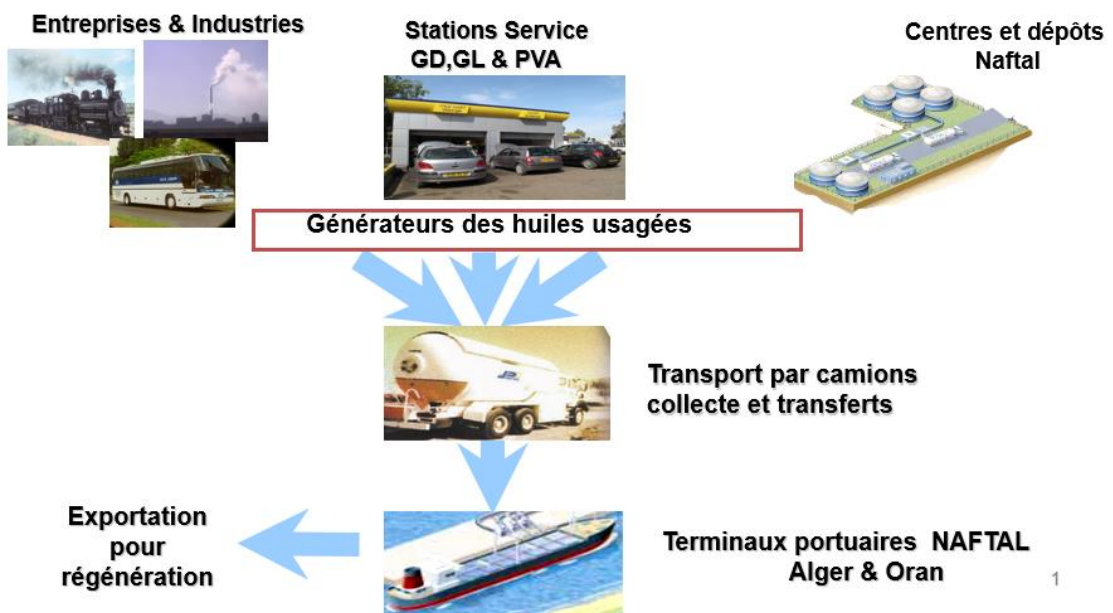


Figure 11 : Processus de la logistique inverse chez NAFTAL

Source : Direction générale des lubrifiants NAFTAL, Cheraga

Pour organiser et planifier les flux de transport, les mathématiciens ont développé des modèles et des algorithmes basés sur l'optimisation combinatoire pour améliorer les itinéraires et les tournées de livraison et/ou ramassage.

Ces méthodes permettent de minimiser les distances parcourues et les coûts, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'optimiser l'utilisation des ressources soit humaines ou matérielles.

L'une de ces méthodes est le problème de tournée de véhicule VRP

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

II.5 Le problème de tournée des véhicules

II.5.1 Le problème de voyageur de commerce

Selon (Gutin, G., & Punnen, A. P. (Eds.), 2006) le problème de voyageur de commerce PVC (en anglais Travelling Salesman Problem TSP) est défini comme « un problème d'optimisation combinatoire qui implique la recherche du chemin le plus court permettant à un voyageur de visiter un ensemble de villes données, en partant d'un point de départ spécifique et en revenant au même point de départ ».

On peut le définir simplement comme le montre ce tableau (Malapert, 2006) :

Tableau 4 : Problème de voyageur de commerce

| | |
|------------|---|
| Données | Un ensemble de nœuds et d'arêtes munis de poids. |
| Trouver | Un circuit hamiltonien, c'est-à-dire le circuit passant par tous les nœuds une et une seule fois. |
| Minimisant | Le coût total de transport lié aux arcs empruntés par le voyageur. |

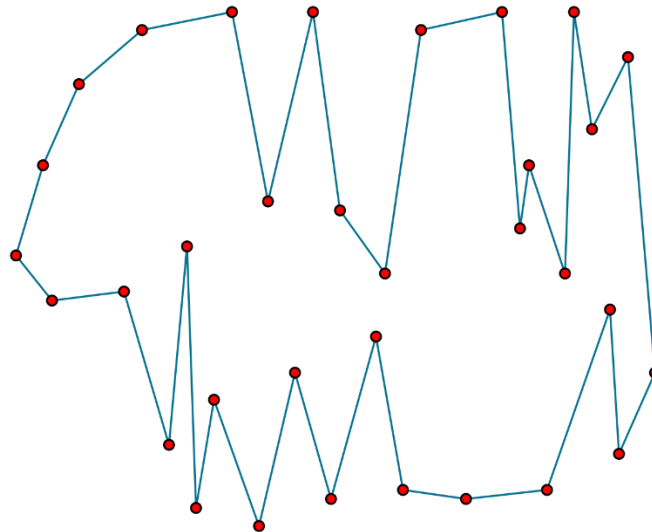


Figure 12 : Exemple d'un PVC

II.5.2 Vehicle routing problem (VRP)

Ce problème est considéré comme une généralisation du problème PVC avec un ensemble de voyageurs appelés véhicules. (Grellier.É, 2008)

Selon (Teghem, 2012) la classe des problèmes de tournées de véhicules consiste à gérer de manière optimale une flotte de véhicules, stationnés en un ou plusieurs dépôts, de façon à satisfaire les demandes d'un ensemble de clients ; il convient de déterminer le circuit -appelé tournée- visitant un sous ensemble de clients en débutant et finissant aux dépôts, que doit effectuer chaque véhicule de manière à minimiser une fonction de coût.

Pareil au TSP, on peut définir le VRP comme suit : (Malapert, 2006)

Tableau 5 : Problème de tournée de véhicules

| | |
|---------|---|
| Données | Un ensemble de nœuds client et d'arêtes (munies de coûts) et une flotte illimitée de véhicules partant d'un unique dépôt. |
| Trouver | Un ensemble de routes (tournées de véhicules) recouvrant tous les nœuds clients qui partent et reviennent au dépôt. |

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

| | |
|------------|---|
| Minimisant | Le coût total de transport lié aux arcs empruntés par les véhicules et/ou les coûts fixes associés à l'utilisation des véhicules. |
|------------|---|

On peut représenter ce problème avec un graphe orienté ou non $G = (V, A)$, où $V = \{v_0, \dots, v_n\}$ serait l'ensemble des $n+1$ sommets du graphe représentant les clients ou les dépôts et $A = \{(v_i, v_j) \mid i \neq j, v_i, v_j \in V\}$ l'ensemble d'arcs les reliant, (Paschos, Optimisation Combinatoire : 3 Applications., 2006) en général dans l'ensemble V , le v_0 représente le dépôt et (v_1, \dots, v_n) les clients (Grellier.É, 2008)

La figure ci-dessous illustre un exemple d'un VRP avec un dépôt et 15 clients.

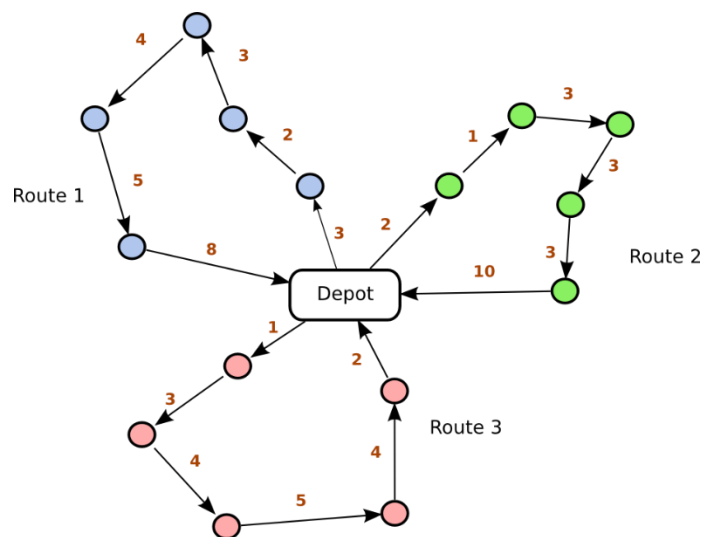


Figure 13 : Exemple d'un VRP avec un dépôt et 3 tournées

II.5.2.1 La complexité algorithmique d'un VRP

La complexité algorithmique d'un problème se définit comme une séquence d'opérations élémentaires qui sert à évaluer son efficacité. Elle se calcule en prenant en compte l'espace mémoire utilisé et le temps d'exécution, qui dépend du nombre d'instructions effectuées. Le facteur le plus déterminant dans la complexité algorithmique est le temps. Plus le nombre d'instructions est élevé, plus le temps d'exécution augmente, ce qui indique que le problème est plus complexe. Par conséquent, un problème plus complexe est moins efficace.

Selon (Paschos, 2005) il y a principalement quatre classes de problèmes :

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

- **La classe Polynomial P (Facile) :** P problèmes sont ceux pour lesquels il y a un algorithme capable de les résoudre en un temps polynomial.
- **La Classe NP "Non-deterministic Polynomial" (Moyen) :** Cette classe de problèmes, appelée NP (Non-deterministic Polynomial), ne peut pas être résolue en temps polynomial de manière certaine. Cependant, une fois qu'une solution est proposée, il est possible de la vérifier en temps polynomial.
- **La Classe NP-Complet (Difficile) :** La classe NP-Complète regroupe les problèmes de la classe NP qui peuvent être transformés (réduits) en tout autre problème NP à l'aide d'un algorithme polynomial en temps.
- **La Classe NP-Hard (Très difficile) :** Les problèmes les plus difficiles et complexes de l'informatique se trouvent dans cette dernière série. Ils sont à la fois difficiles à résoudre et difficiles à vérifier.

Comme mentionné précédemment, le VRP est considéré comme une généralisation du problème PVC dans lequel on introduit un ensemble de voyageurs appelés véhicules, et étant donné que le PVC lui-même est reconnu comme l'un des problèmes NP-difficile les plus connus en raison de sa complexité (Letchford, A. N., & Pardalos, P. M, 2007) , le VRP est également classé comme un problème NP-difficile

II.5.2.2 Les paramètres du VRP

Selon (Teghem, 2012), on peut résumer les paramètres du VRP en :

- **Les dépôts**
 - Possibilité d'existence de plusieurs.
 - Il est possible aussi de stocker et transporter plusieurs produits et chaque client a une demande spécifique pour chacun de ces produits.
- **Les véhicules**

L'ensemble de la flotte qu'une entreprise x dispose, est caractérisé par :

- La taille de la flotte.
- Sa capacité, soit homogène ou hétérogène ; ce qui offre une plus grande flexibilité en termes de livraison et de distribution.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

- **Les clients**
 - Chaque client est caractérisé par sa géolocalisation. (Mahiaoui, 2022)
 - Ces clients peuvent non seulement avoir une quantité de produits à livrer, mais également une quantité à récupérer (application du principe de la logistique inverse).
 - La visite d'un client x peut être soumise à une fenêtre de temps spécifique.
 - Dans le cas où tous les clients ne peuvent pas être desservis et qu'une priorité est associée à chaque client, la fonction objective intègrera l'optimisation des priorités des clients desservis.
- **La fonction objective**

Selon les situations, la fonction objective peut correspondre à :

- La minimisation du coût variable des tournées.
- La minimisation du coût fixe lié au nombre de véhicules utilisés.
- La minimisation du coût total (combinant coût variable et coût fixe).
- L'optimisation de l'homogénéisation des tournées, par exemple en minimisant l'écart entre la longueur de la plus longue et de la plus courte des tournées.
- L'optimisation des priorités des clients desservis.
- Une somme pondérée de plusieurs de ces termes, permettant de prendre en compte différents objectifs simultanément.

En plus des variations mentionnées précédemment, il est également possible de rencontrer des variations plus fondamentales des données telles que :

- Des demandes aléatoires : Les demandes des clients peuvent varier de manière aléatoire, ce qui nécessite une adaptation dynamique des tournées en fonction des demandes en constante évolution.
- Des durées de service ou temps de parcours aléatoires : Les durées de service chez les clients ou les temps de parcours entre les emplacements peuvent varier de manière aléatoire, ce qui nécessite une planification robuste pour s'adapter aux incertitudes.
- Des livraisons périodiques à répartir sur un horizon de temps : certains clients peuvent nécessiter des livraisons périodiques régulières sur une période de temps donnée, par exemple des clients qui ont des besoins de livraisons hebdomadaires ou mensuelles.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Ces variations plus fondamentales des données ajoutent une dimension de complexité supplémentaire au VRP.

II.5.2.3 Les variantes du VRP

Les variantes du VRP sont des versions modifiées ou étendues du problème classique, ils peuvent être définis en modifiant les paramètres du problème, c'est-à-dire en supprimant, ajoutant ou combinant les contraintes du VRP classique.

Voici quelques-unes des variantes du VRP les plus courantes d'après (Teghem, 2012) et (Paschos, 2006):

- **VRP avec contrainte de capacité CVRP**

Le CVRP est la version standard du VRP. Dans ce problème, on associe à chaque véhicule une capacité Q fixe, et pour chaque client $v_i \in V \setminus \{v_0\}$ un volume q_i de marchandises et la somme de ces q_i pour chaque tournée ne peut dépasser la capacité Q .

- **CVRP avec contrainte de longueur totale DCVRP**

Dans ce problème, on introduit des temps de service pour chaque client et des temps de parcours pour chaque arête. Par rapport au CVRP, le DCVRP ajoute la contrainte supplémentaire selon laquelle la longueur de chaque tournée ne doit pas dépasser une valeur prédéfinie L .

- **VRP avec fenêtres de temps VRP/TW**

Dans le VRPTW, les véhicules doivent livrer des marchandises à un ensemble de clients dans des plages horaires spécifiques. C'est-à-dire que chaque client est associé à une fenêtre de temps (a, b) et doit être visité pendant cette période

Ces trois sont les plus classiques et les plus courantes, mais il en existe beaucoup d'autres.

II.5.2.4 La modélisation mathématique générale d'un VRP

La modélisation la plus utilisée prend en considération la contrainte de capacité CVRP. Après avoir consulté plusieurs modèles généraux du VRP, on a opté pour celle basée sur les travaux de (Fisher, M. L., & Jaikumar, R, 1981)

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

Les constantes

n : Nombre de clients auxquels une livraison doit être effectuée.

K : Le nombre de véhicules.

Q : Capacité des véhicules.

qi : La demande du client *i*.

c_{ij} : Le coût du voyage direct du *i* vers le client *j*.

Les variables :

$y_i^k = \begin{cases} 1, & \text{si le client } i \text{ est visité par le véhicule } k. \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{si le véhicule } k \text{ part directement du client } i \text{ vers le client } j. \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$

$$\text{minimize } \sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

Sous contraintes :

$$\sum_{i=1}^n qy_i^k \leq Q \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (2)$$

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

$$\sum_{k=1}^K y_i^k = 1 \quad \forall i \in (1, \dots, n) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K y_1^k = K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k = y_i^k \quad \forall j \in (1, \dots, n) \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^k = y_i^k \quad \forall i \in (1, \dots, n) \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (6)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^k \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V; 2 \leq |S| \leq n-2 \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad i \neq j \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (8)$$

$$y_i^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \quad \forall k \in (1, \dots, K) \quad (9)$$

La formule (1) représente la fonction objective, son but est de minimiser le coût total des tournées.

Les formules (2) à (8) représente les contraintes de ce modèle :

- La formule (2) garantit le respect strict de la capacité de chargement de chaque véhicule.
- La formule (3) vérifie que chaque sommet du graphe est visité une fois (à l'exception du dépôt)
- La formule (4) vérifie qu'on construit K tournées.

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

- Les formules (5) et (6) assurent que le véhicule k visite un sommet i , y effectue le service requis, puis quitte ce même sommet.
- La formule (7) est conçue pour prévenir la formation de sous-tours au sein d'une tournée.
- Les formules (8) et (9) assurent la binarité des deux variables.

II.5.3 Les méthodes de résolution

La figure ci-dessous illustre les méthodes utilisées pour la résolution du VRP, ils peuvent être regroupées en deux catégories principales : les méthodes exactes et les méthodes approchées, qui sont ensuite subdivisées en sous-groupes : les heuristiques et les métaheuristiques :

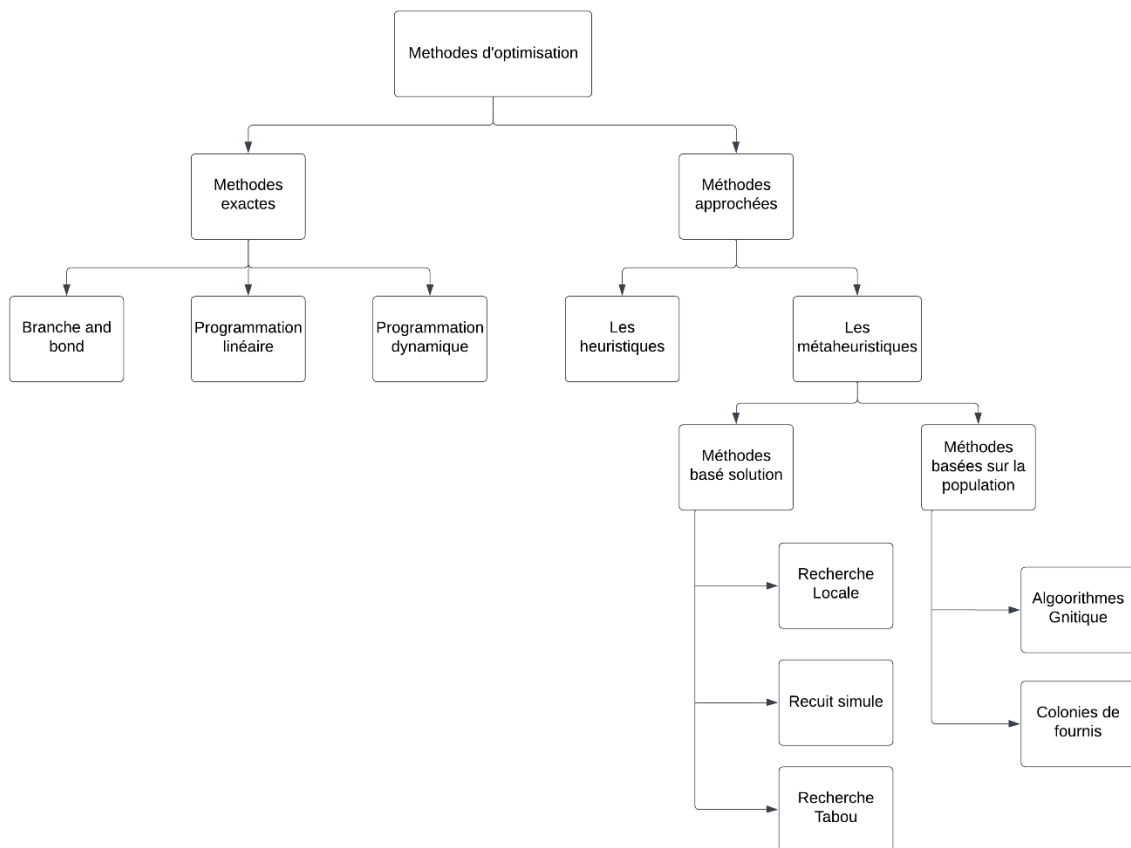


Figure 14 : Les méthodes de résolution du VRP

Source : (Kherbouche ,L, Oubahri ,Z, 2017)

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

II.5.3.1 Les méthodes exactes

Les méthodes exactes fournissent une solution optimale pour un problème d'optimisation donné. Elles se basent généralement sur la recherche arborescente et l'énumération partielle de l'espace de solutions. Ces méthodes explorent de manière systématique toutes les combinaisons possibles pour identifier la solution qui optimise le plus la fonction objective. Cependant, le temps nécessaire pour avoir une solution augmente exponentiellement avec la taille du problème. Parmi ces méthodes :

- **Branch and Bound** : Selon (Messaoudi, 2020) « la méthode de Branch-and-Bound est une méthode de résolution reposant sur l'exploration récursive d'un arbre de branchement. L'algorithme est exact et garantit l'obtention de la solution optimale, mais en pratique cela peut entraîner un temps de calcul considérable. »
- **Branch and Cut** : La méthode de Branch and Cut est une approche performante pour résoudre de façon exacte les problèmes de VRP. Elle est spécialement conçue pour traiter les problèmes d'optimisation linéaire en nombres entiers (P. Toth and D. Vigo, 2002).

II.5.3.2 Les méthodes approchées

Ces méthodes donnent une solution de bonne qualité en temps raisonnable.

- **Les heuristiques** :
 - **Les heuristiques constructives** en prenant l'algorithme des économies de Clarke & Wright comme la première heuristique proposée pour le VRP
 - **Les heuristiques d'amélioration** se regroupent sous le nom de la recherche locale
- **Les métaheuristiques** : Ces méthodes s'adaptent à la résolution de n'importe quel problème d'optimisation. On cite quelques algorithmes :
 - **La recherche taboue** repose sur l'idée de maintenir une liste de mouvements interdits afin d'éviter de revisiter les solutions déjà explorées.
 - **Les algorithmes génétiques** simulent l'évolution naturelle en utilisant la sélection, le croisement et la mutation sur une population d'individus. Les

Chapitre II : Cas d'étude, centre lubrifiants et pneumatiques d'El-Harrach

individus les plus adaptés, ceux ayant un meilleur fitness, ont plus de chances de contribuer à la génération suivante.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'organisme d'accueil et examiné le problème de la collecte des huiles au niveau du centre.

Nous avons également étudié le VRP et sa dimension théorique, y compris ses différentes variantes, ainsi qu'une vue d'ensemble des méthodes de résolution existantes.

Nous avons conclu que le CVRP avec une flotte de véhicules homogènes est le modèle le plus approprié pour notre problème.

Par la suite, nous allons rechercher une solution réalisable qui permettra de minimiser la distance parcourue lors de la collecte à l'aide des outils informatiques.

Chapitre III

Résultats et interprétations

Chapitre III : Résultats et interprétations

Introduction

Le dernier chapitre de notre travail comprend plusieurs étapes clés. Pour commencer, nous allons utiliser le tableau croisé dynamique (TCD) afin de préparer les données requises pour notre étude. Cette préparation nous permettra de sélectionner les principaux fournisseurs d'H.U. en utilisant la méthode ABC. Après avoir effectué cette sélection, nous allons utiliser le langage de programmation R pour réaliser des prévisions des quantités collectées d'H.U. pour le mois de juillet.

Ensuite, nous allons procéder à la formulation du modèle mathématique approprié à notre problème. Cela nécessite une compréhension approfondie du contexte, des objectifs et des contraintes de notre projet.

Une fois notre modèle mathématique est défini, nous utiliserons des méthodes approchées ainsi que d'autres outils ; ArcGIS et TransCAD ; pour trouver des solutions optimales. Enfin, nous concluons par une interprétation des résultats obtenus et les perspectives attendues suite à ce travail.

III.1 L'implémentation et l'analyse de données

III.1.1 Les fournisseurs des huiles usagées

En exploitant des données sur une période de quatre ans, de 2019 à 2022, nous avons établi une base de données qui rassemble les informations sur les fournisseurs d'H.U ainsi que les quantités collectées par jour.

NAFTAL a pu collecter avec succès auprès de 450 fournisseurs au cours de ces 4 ans (Annexe 3).

III.1.2 La sélection des grands fournisseurs

Pour la sélection des fournisseurs on a opté pour la méthode ABC (Pandya, 2016) et la fréquence d'apparition de ces fournisseurs pendant les 4 années d'analyse des données

Chapitre III : Résultats et interprétations

Tableau 6 : la méthode ABC

| | | |
|----------|------------------|---------------------------------|
| Classe A | 20% fournisseurs | 80% du volume des HU collectées |
| Classe B | 30% fournisseurs | 15% du volume des HU collectées |
| Classe C | 50% fournisseurs | 5% du volume des HU collectées |

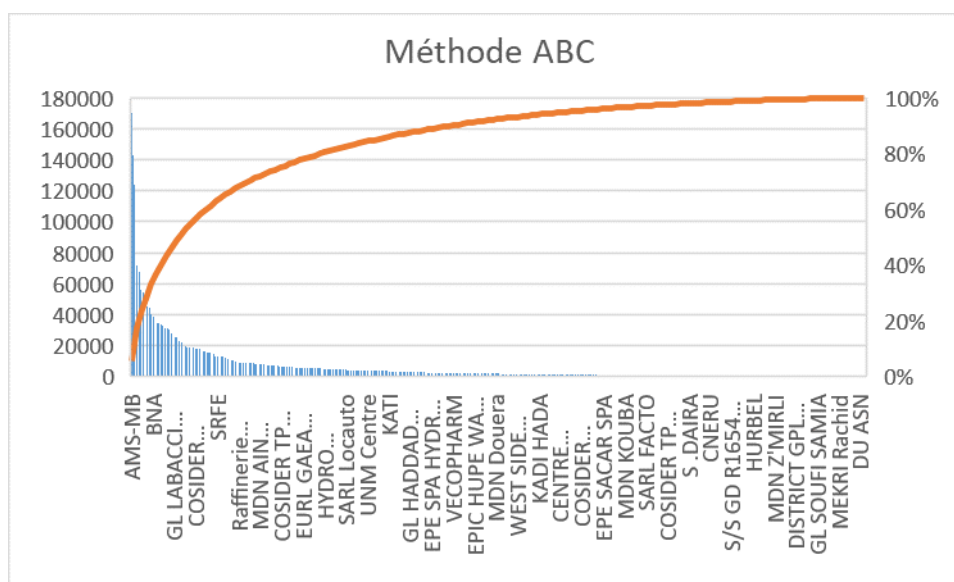


Figure 15 : Classement des fournisseurs selon la méthode ABC

III.1.3 La méthode de choix

A l'aide du TCD (annexe 4), on a pu mettre avec la méthode ABC en ordre décroissant ces fournisseurs par rapport à la quantité d'huile collectée pendant 4 ans (annexe 5).

Après cette classification, on a choisi de travailler avec la classe A qui représente 80% de la quantité des huiles totale générée pendant les 4 ans (80% représentent 123 fournisseurs).

Une analyse simple a été effectuée pour déterminer la fréquence d'apparition des fournisseurs durant ces années. En sélectionnant uniquement les fournisseurs qui apparaissent pendant 4 ou 3 ans, nous avons identifié 51 fournisseurs principaux parmi les 123 de la classe A. Ces 51 fournisseurs génèrent en moyenne 51,18% par an de la quantité totale des huiles collectées pendant ces 4 ans.

Chapitre III : Résultats et interprétations

Les autres fournisseurs de la classe A, ont été regroupés en 4 grands fournisseurs en utilisant la méthode du barycentre. Ces fournisseurs sont localisés dans les régions centre, est, ouest et sud d'Alger (voir figure 16 ; pins en jaune).

En gros, on a obtenu 57 points qui représentent les 55 fournisseurs ainsi que le dépôt et le port codifiés de F0 à F56.

La création de la carte ci-dessous a été réalisée en utilisant l'outil précédemment mentionné le GMM. Elle illustre la répartition géographique des fournisseurs d'huiles usagées. Les pins de couleur bleue indiquent les 51 principaux fournisseurs, tandis que les pins de couleur jaune représentent les fournisseurs regroupés selon la méthode du barycentre.

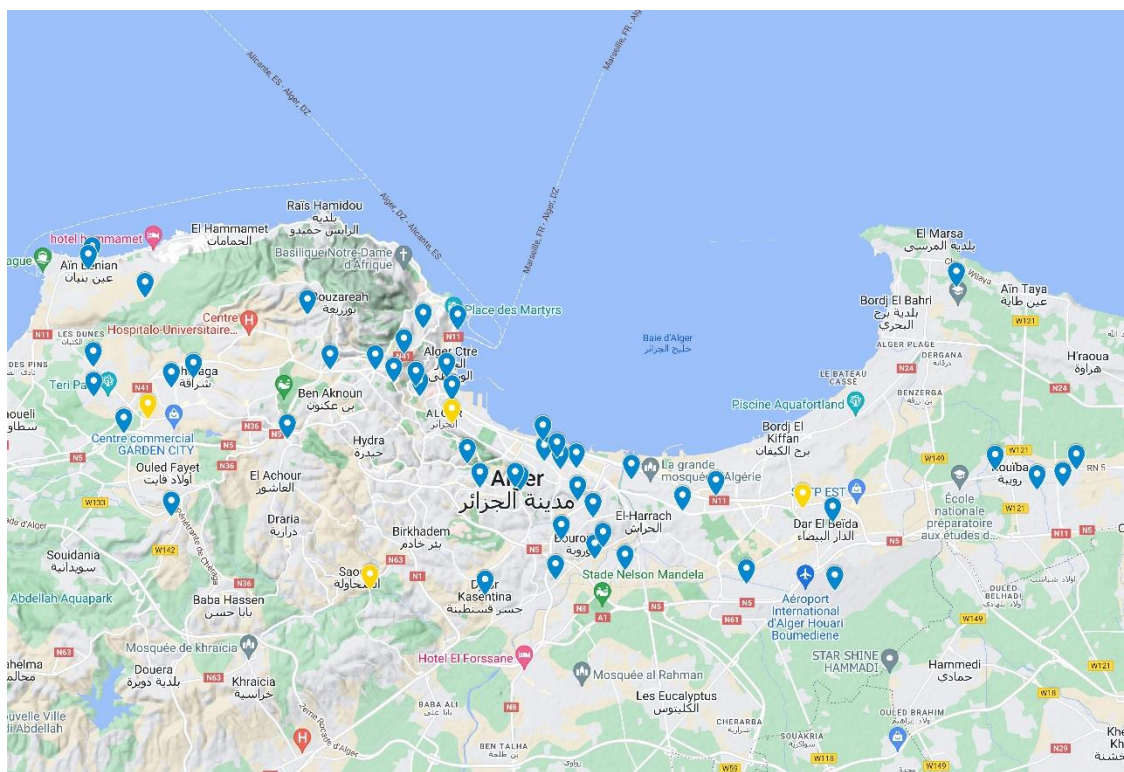


Figure 16 : Répartition géographique des fournisseurs des H.U du centre LP d’El-Harrach

Source : Carte créée par l’outil en ligne Google My Maps

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.1.4 Les prévisions

Pour effectuer les prévisions, nous avons utilisé le langage de programmation R. Notre première démarche a été de prédire les quantités d'huiles usagées pour chaque mois de l'année 2023. Cependant, les fluctuations et l'instabilité de la clientèle, ainsi que la variabilité de la fréquence des vidanges pour les moteurs de véhicules et les machines industrielles, ont engendré un grand nombre de valeurs nulles au sein de nos séries de données, ce qui rend leur prévision particulièrement complexe et difficile.

Pour surmonter cette problématique, nous avons adopté une approche consistant à regrouper les données en trimestres, ce qui permet de réduire le nombre des valeurs nulles.

Par la suite, nous avons effectué une analyse approfondie de la tendance et de la saisonnalité de chaque série chronologique associée à chaque fournisseur.

Sur la base de ces résultats, nous avons appliqué une méthode de lissage adaptée afin d'obtenir des prévisions :

- **Lissage exponentiel simple** : si la série est stationnaire.

Exemple pour le fournisseur GD R1657 EL MADANIA

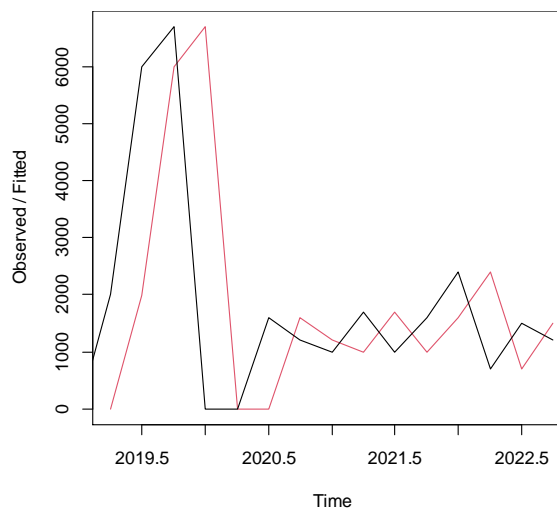


Figure 17 : lissage d'une série chronologique stationnaire

Source : Graphique obtenu par R

Chapitre III : Résultats et interprétations

- **Lissage exponentiel double** : si la série dispose uniquement d'une tendance.

Exemple pour le fournisseur GD R1648 CHERAGA

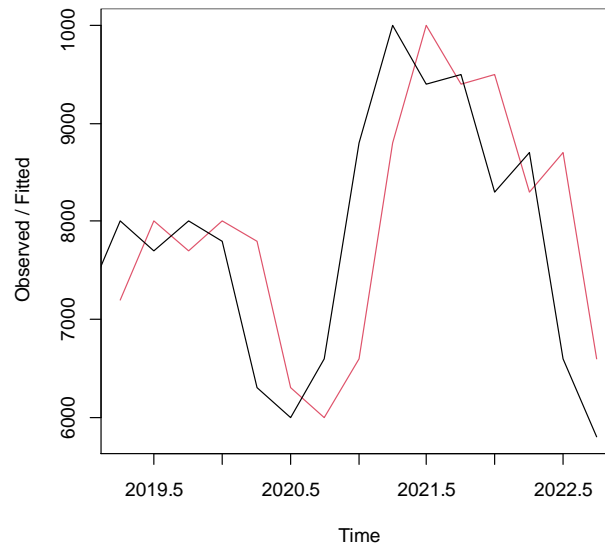


Figure 18 : Lissage d'une série chronologique avec tendance.

Source : Graphique obtenu par R

- **Lissage exponentiel de Holt-Winters** : si la série dispose d'une tendance et d'une saisonnalité.

Une fois les prévisions trimestrielles établies, on les divise par trois afin d'obtenir des prévisions pour le mois de juillet 2023. Il convient de noter que les itinéraires proposés pour le mois de juillet seront identiques pour les mois d'août et de septembre par rapport à ces prévisions.

La planification des itinéraires que nous proposons repose sur les prévisions calculées précédemment, ainsi que sur la matrice des distances entre les 55 fournisseurs sélectionnés au préalable. Cependant, compte tenu du fait que l'entreprise ne collecte que des quantités supérieures à 200 litres, le nombre de fournisseurs pour lesquels il est nécessaire de planifier les itinéraires se réduit à 44.

En annexe 6 les prévisions pour les fournisseurs sélectionnés.

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.1.5 Les matrices de distances

Notre travail se concentre sur la minimisation des distances entre les différents nœuds, ainsi que le dépôt et le port. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une interface de programmation d'application (API) en ligne, ainsi que les fonctionnalités d'Excel pour calculer ces distances et créer une matrice des grands fournisseurs et une matrice pour les clientes du mois de janvier 2023.

Dans notre cas, nous avons utilisé l'API Distance Matrix pour obtenir les distances et les durées entre différentes paires d'adresses. Cette API nous permet d'obtenir une réponse structurée au format XML, contenant les détails nécessaires pour nos calculs.

Pour utiliser l'API Distance Matrix, nous devons fournir trois types d'entrées : l'adresse d'origine, l'adresse de destination et une clé d'API ; c'est un identifiant unique qui nous permet d'accéder aux fonctionnalités de l'API Distance Matrix ; la figure ci-dessous illustre un exemple de calcul de la distance entre le dépôt et le premier grand fournisseur, ainsi que la réponse générée par l'API.

| | | |
|---|---------|---------|
| <pre><?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <DistanceMatrixResponse> <status>OK</status> <origin_address>P46M+3RR , Rue Kadour MENAD, El- Harrach, Algeria</origin_address> <destination_address>P8P5+ QHJ, Rouiba, Algeria</destination_address > <row> <element> <status>OK</status> <duration></pre> | 21.4 km | 22 mins |
|---|---------|---------|

Figure 19 : exemple de calcul de distance avec l'API entre le dépôt F0 et le fournisseur F1

Les matrices générées sont des matrices asymétriques, c'est-à-dire que la distance parcourue du nœud i au nœud j n'est pas la même parcourue du nœud j au nœud i. Cette asymétrie est due

Chapitre III : Résultats et interprétations

aux itinéraires empruntés, où l'itinéraire aller peut différer de l'itinéraire retour, entraînant ainsi des distances et des durées différentes dans les deux directions.

Tableau 7 : Extrait de la matrice de distance des grands fournisseurs

| | F0 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 | F10 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| F0 | 0 | 21.4 | 7.4 | 16.2 | 1.0 | 9.4 | 16.2 | 8.5 | 25.7 | 15.5 | 20.6 |
| F1 | 24.0 | 0 | 19.4 | 31.8 | 24.2 | 31.5 | 31.8 | 25.9 | 47.8 | 20.0 | 6.6 |
| F2 | 6.3 | 16.9 | 0 | 20.6 | 6.5 | 13.9 | 20.7 | 12.9 | 30.2 | 11.0 | 16.1 |
| F3 | 18.2 | 30.3 | 22.6 | 0 | 18.8 | 10.5 | 2.1 | 9.8 | 16.3 | 15.5 | 29.5 |
| F4 | 1.0 | 21.5 | 7.5 | 16.7 | 0 | 10.0 | 16.8 | 9.1 | 26.3 | 15.7 | 20.7 |
| F5 | 10.7 | 27.4 | 15.4 | 8.2 | 11.4 | 0 | 6.5 | 8.0 | 19.3 | 12.6 | 26.6 |
| F6 | 16.0 | 28.1 | 20.3 | 1.6 | 16.6 | 8.2 | 0 | 7.5 | 17.2 | 13.3 | 27.3 |
| F7 | 9.6 | 26.6 | 14.2 | 6.9 | 10.2 | 6.1 | 5.1 | 0 | 23.1 | 11.8 | 25.9 |
| F8 | 25.2 | 43.8 | 29.8 | 16.3 | 25.8 | 18.2 | 16.8 | 25.6 | 0 | 30.0 | 43.0 |
| F9 | 13.3 | 20.0 | 12.3 | 11.9 | 14.0 | 11.4 | 12.0 | 6.0 | 28.4 | 0 | 19.2 |
| F10 | 19.5 | 2.6 | 14.9 | 27.2 | 19.7 | 27.0 | 27.3 | 21.4 | 43.3 | 15.5 | 0 |

Tableau 8 : Extrait de la matrice des distances pour les fournisseurs d'H.U (janvier 2023)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0 | 18.7 | 8.1 | 25.7 | 18.3 | 17.8 | 4.2 | 15.5 | 31.8 | 31.1 | 6.3 |
| 1 | 18.8 | 0 | 15.4 | 10.0 | 34.4 | 12.5 | 19.4 | 23.7 | 16.1 | 15.4 | 14.5 |
| 2 | 8.8 | 15.2 | 0 | 22.2 | 22.5 | 8.1 | 3.6 | 10.7 | 28.3 | 27.6 | 4.4 |
| 3 | 25.2 | 8.7 | 21.8 | 0 | 40.8 | 18.9 | 25.8 | 30.0 | 5.8 | 5.2 | 20.9 |
| 4 | 17.8 | 34.6 | 23.2 | 41.6 | 0 | 27.2 | 20.3 | 13.8 | 47.7 | 47.0 | 22.3 |
| 5 | 17.5 | 11.0 | 7.3 | 17.9 | 26.5 | 0 | 10.8 | 14.8 | 24.0 | 23.4 | 13.1 |
| 6 | 3.7 | 19.2 | 3.6 | 26.2 | 20.0 | 11.9 | 0 | 8.2 | 32.3 | 31.6 | 3.1 |
| 7 | 13.3 | 21.4 | 9.6 | 28.4 | 17.0 | 13.6 | 6.6 | 0 | 34.5 | 33.8 | 8.9 |
| 8 | 32.7 | 16.2 | 29.3 | 5.8 | 48.2 | 26.3 | 33.2 | 37.5 | 0 | 0.9 | 28.4 |
| 9 | 32.0 | 15.6 | 28.6 | 5.2 | 47.6 | 25.7 | 32.6 | 36.9 | 0.9 | 0 | 27.7 |
| 10 | 7.8 | 14.9 | 4.4 | 21.9 | 23.3 | 14.4 | 3.4 | 10.8 | 28.0 | 27.3 | 0 |

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.2 La modélisation du problème

Le problème que nous étudions est un problème de tournée de véhicules avec contrainte de capacité et fenêtre de temps CVRPTW, il s'agit d'un problème de VRP déterministe puisque toute forme de stochasticité est éliminée grâce aux prévisions de l'année 2023.

La modélisation concrète de toutes les contraintes liées à ce problème nous conduit à un modèle comportant deux variables de décision, ce qui en fait un problème quadratique. Afin de simplifier et de le formuler en un problème linéaire, nous avons décidé de ne pas prendre en compte la contrainte selon laquelle la quantité d'huiles usagées peut être répartie sur plusieurs véhicules. Nous supposons donc qu'un fournisseur est desservi une seule fois par un unique véhicule.

En outre, nous avons choisi de ne pas prendre en compte les contraintes relatives aux fenêtres de temps, au temps de service et à la durée des trajets pour raison de simplification.

Les paramètres

n : Nombre de fournisseurs auxquels une livraison doit être effectuée.

K : Le nombre de camions.

Q : Capacité (homogène) des véhicules.

q_i : La demande du client *i*.

d_{ij} : La distance entre le client *i* et le client *j*.

Chapitre III : Résultats et interprétations

Les variables

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ traverse l'arc}(i, j) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ij}^k \quad (10)$$

Sous contraintes:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in (1, \dots, n) \quad (11)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in (1, \dots, n) \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^{n+1} x_{ic}^k - \sum_{j=0}^{n+1} x_{cj}^k = 0 \quad \forall c = \overline{0, n+1}, \forall k = \overline{1, K} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_i x_{ij}^k \leq Q \quad \forall k = \overline{1, K} \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k = 1 \quad \forall k = \overline{1, K} \quad (15)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n q_i x_{ij}^e = Q \quad \forall e = \overline{1, K} \quad (16)$$

Chapitre III : Résultats et interprétations

$$\sum_{i=0}^n x_{i n+1}^e = 1 \quad \forall e = \overline{1, K} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i n+1}^k \leq x_{n+1 0}^k \quad \forall k = \overline{1, K} \quad (18)$$

$$\text{(Contraintes de connexité)} \quad (19)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, q_i \geq 0 \quad \forall i,j \in (1, \dots, n+1) \quad (20)$$

$$\forall k = \overline{1, K}$$

La formule (10) représente la fonction objective.

Les formules (11) à (19) représente les contraintes de notre modèle mathématique :

- Les formules (11) et (12) assure que chaque demande des fournisseurs est transportée par un et seul camion.
- La formule (13) assure la continuité des tournées et le véhicule k quitte le nœud i après effectuer le service.
- La formule (14) respecte la capacité des camions Q.
- La formule (15) assure que chaque tournée commence par le dépôt.
- Les formules (16) et (17) assurent que chaque tournée qui atteint une capacité 6000 L passe par le port.
- La formule (18) assure qu'on doit passer du port vers le dépôt.
- La formule (19) assure l'élimination des sous-tours.
- La formule (20) représente la contrainte d'intégralité.

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.3 La résolution par une méthode exacte

Afin de parvenir à une résolution pour notre problème, nous avons tenté de le résoudre en faisant appel aux solveurs de programmation linéaire ; GUSEK et CPLEX. Cependant, la complexité de notre problème, avec sa grande taille, rend la génération d'une solution optimale et en temps réel extrêmement difficile pour ces solveurs.

Selon (Nabila Azi, Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin, 2009), les algorithmes exacts ; prenant comme exemple l'algorithme de Branch and Price ; sont limités par la taille du problème VRP et certaines de ses caractéristiques.

Face à cette complexité, il est parfois nécessaire d'envisager des approches alternatives, telles que des méthodes heuristiques ou des techniques d'optimisation approximative. Bien que ces méthodes ne garantissent pas une solution optimale, elles peuvent fournir des solutions satisfaisantes dans des délais plus courts et en utilisant moins de mémoire.

III.4 La résolution par une méthode approchée

Les méthodes d'approximation sont des stratégies employées pour résoudre des problèmes complexes dans des délais raisonnables, même si la qualité de la solution obtenue peut ne pas être optimale. Dans le cadre de notre problème CVRP, différentes approches sont disponibles. Notre choix s'est orienté vers l'utilisation de l'heuristique du voisin le plus proche (Nearest neighbour algorithm NNA) pour générer une solution initiale, que nous améliorons ensuite à l'aide d'une recherche locale.

III.4.1 Les critères de choix

- **L'heuristique NNA (construction)**

Selon (Teghem, 2012), « l'heuristique de construction la plus élémentaire est celle du plus proche voisin, en partant d'une ville initiale quelconque, elle consiste, à chaque itération, à visiter la ville – non encore visité – la plus proche de celle fixée précédemment (ou la plus proche d'une des deux extrémités de la solution courante. Lorsqu'un chemin constitué de toutes les villes est formé, on relie ces deux extrémités pour former un tour. »

Chapitre III : Résultats et interprétations

Parmi les avantages de cette approche, on cite :

- Simplicité de l'algorithme : l'algorithme est facile à comprendre et à manipuler, ne nécessitant pas d'estimation de paramètres. Il s'agit d'un algorithme non paramétrique.
 - Interprétation des résultats : les résultats obtenus sont facilement interprétables, permettant ainsi une compréhension claire des prédictions.
 - Adaptabilité aux nouveaux échantillons : l'algorithme est facilement adaptable à de nouveaux échantillons, ce qui le rend flexible et utilisable dans différents contextes.
- **L'heuristique de la recherche locale :**

Partant d'une solution initiale, et étant donné un voisinage, les itérations de l'heuristique de recherche locale consistent à explorer le voisinage de la solution courante x pour trouver une solution y qui est (si possible) meilleure que x . Si oui, y devient la nouvelle solution actuelle et le processus se répète.

La recherche locale a été choisie pour résoudre CVRP en raison de son efficacité, de sa facilité de mise en œuvre, de la flexibilité des résultats et de son interprétabilité. Il fournit une approche pragmatique pour trouver une solution de qualité acceptable dans un délai raisonnable.

La méthode k-Opt est l'une des heuristiques de recherche locale, elle est généralement utilisée dans des problèmes de planification de trajectoire, comme les problèmes de tournées de véhicules (Gardeux, Vincent., 2011). Selon (Lin, 1965), pour limiter le temps de calcul, la valeur de k est généralement limitée à 2 ou 3.

Cependant, et selon (SCHNETZLER, 1992) « Un tour est dit λ -OPT (λ -optimal) si on ne peut obtenir un tour plus court en remplaçant λ arcs du tour par un autre ensemble de λ arcs. Un tour λ -optimal est donc λ' -optimal si $\lambda' \leq \lambda$. »

Pour cela on a opté pour l'algorithme 3-opt de recherche locale, il effectue des échanges de triplets d'arêtes tout en permettant d'explorer un espace de recherche plus large. Cela peut conduire à des améliorations plus significatives de la solution et potentiellement à des solutions de meilleure qualité.

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.4.2 La résolution par l'heuristique NNA

En utilisant le langage de programmation Python, nous avons développé un code permettant de résoudre notre problème. Tout d'abord, nous avons implémenté l'heuristique du plus proche voisin dans le but de résoudre le CVRP (résultats en annexe 7, 8, 9 et 10). Il se constitue de plusieurs fonctions, en premier lieu, nous avons créé une fonction permettant de calculer la distance parcourue lors d'une tournée spécifique, ainsi qu'une fonction permettant de déterminer la quantité d'huile transportée au cours de cette même tournée. Par la suite, nous avons élaboré une fonction qui recourt à l'heuristique du plus proche voisin afin de construire les itinéraires des véhicules. Cette fonction ajoute le voisin le plus proche à l'itinéraire en tenant compte de la capacité du camion. Ultérieurement, nous avons introduit une boucle qui vérifie la contrainte stipulant que chaque fois que le camion atteint sa capacité (c'est-à-dire à la fin de chaque tournée réalisée), il doit obligatoirement se rendre au port pour se vider avant de retourner au dépôt. Enfin, nous procédons à l'introduction de nos données, lesquelles englobent la matrice des distances, les quantités d'huile ainsi que la capacité des véhicules.

Après l'introduction des données du mois de janvier, la matrice des distances et des quantités collectées, le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Tableau 9 : les résultats obtenus générés par le code qui applique l'heuristique NNA (mois de janvier 2023)

| Tournées | Distance (Km) | Quantité (L) |
|--|---------------|--------------|
| [0, 39, 6, 34, 17, 36, 2, 35, 44, 45, 0] | 41.4 | 6000 |
| [0, 20, 26, 27, 12, 45, 0] | 62.696 | 5850 |
| [0, 32, 43, 38, 7, 14, 25, 45, 0] | 91.4 | 5900 |
| [0, 10, 33, 23, 45, 0] | 45.6 | 6000 |

Chapitre III : Résultats et interprétations

| | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| [0, 18, 22, 24, 30, 13, 45, 0] | 73.8 | 5900 |
| [0, 31, 28, 29, 5, 11, 4, 45, 0] | 112.601 | 5600 |
| [0, 15, 40, 41, 42, 45, 0] | 76.9 | 6000 |
| [0, 37, 21, 45, 0] | 66.0 | 5400 |
| [0, 1, 16, 45, 0] | 66.399 | 5650 |
| [0, 3, 9, 8, 45, 0] | 77.699 | 4200 |
| [0, 19, 45, 0] | 75.6 | 2700 |
| Total | 790.1 | 59200 |

III.4.3 L'amélioration par la recherche locale

Nous avons procédé à une amélioration de cette solution initiale en utilisant l'algorithme 3-opt. Cet algorithme (3-opt) effectue des échanges locaux de segments de la tournée pour tenter de trouver des améliorations. Cela se fait en identifiant trois points (indices) dans la tournée et en inversant les segments correspondants pour obtenir une nouvelle tournée. Si cette nouvelle tournée a une distance plus courte que la tournée précédente, elle devient la nouvelle tournée améliorée.

L'algorithme 3-opt est appliqué itérativement tant qu'il y a des améliorations possibles. Cela permet de rechercher des configurations de tournées plus optimales en explorant différentes permutations des segments, le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Chapitre III : Résultats et interprétations

Tableau 10 : les résultats générés par le code qui applique l'heuristique de la recherche locale (mois de janvier 2023) :

| Tournées | Distance (Km) | Quantité (L) |
|--|----------------------|---------------------|
| [0, 39, 6, 34, 17, 36, 2, 35, 44, 45, 0] | 41.4 | 6000 |
| [0, 20, 26, 27, 12, 45, 0] | 62.696 | 5850 |
| [0, 32, 43, 38, 7, 14, 25, 45, 0] | 91.4 | 5900 |
| [0, 10, 33, 23, 45, 0] | 45.6 | 6000 |
| [0, 18, 22, 24, 30, 13, 45, 0] | 73.8 | 5900 |
| [0, 11, 31, 28, 29, 5, 4, 45, 0] | 102.399 | 5600 |
| [0, 15, 40, 41, 42, 45, 0] | 76.9 | 6000 |
| [0, 37, 21, 45, 0] | 66.0 | 5400 |
| [0, 1, 16, 45, 0] | 66.399 | 5650 |
| [0, 3, 9, 8, 45, 0] | 77.699 | 4200 |
| [0, 19, 45, 0] | 75.6 | 2700 |
| Total | 779.9 | 59200 |

Chapitre III : Résultats et interprétations

Selon les résultats obtenus, les inversions qui ont été effectuée correspondent à ce qui suit :

Tournée avant amélioration :

[0, 31, 28, 29, 5, 11, 4, 45, 0]

Tournée après amélioration :

[0, 11, 31, 28, 29, 5, 4, 45, 0]

III.4.4 Calcul du taux d'amélioration

En utilisant l'algorithme du plus proche voisin sur le mois de janvier 2023, nous avons obtenu une solution initiale avec une distance totale parcourue de 790.1 km. D'après les tournées réelles de l'entreprise la distance totale parcourue en mois de janvier est de 1081.1 km. Cette solution génère une amélioration de 36.83%.

$$\text{Taux d'amélioration} = \frac{Dist_{totale_reelle} - Dist_{totale_optimisé}}{Dist_{totale_optimisé}} * 100$$

$$\text{Taux d'amélioration} = \frac{1081,1 - 790,1}{790,1} * 100 = 36,83\%$$

Pour le deuxième algorithme d'amélioration, ce taux s'élève à 38,62%

$$\text{Taux d'amélioration} = \frac{1081,1 - 779,9}{779,9} * 100 = 38,62\%$$

En prenant en considération l'efficacité de ces algorithmes, nous envisageons de les appliquer pour planifier les tournées du mois de juillet 2023.

Suite à la génération d'une solution initiale, il a été observé que la distance totale parcourue durant le mois de juillet 2023 s'élevait à 545,9 km. Toutefois, grâce à l'application de l'algorithme d'amélioration, il a été possible de réduire cette distance à 540,8 km, ce qui correspond à une amélioration de 0,9% de la solution initiale. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Chapitre III : Résultats et interprétations

- Avec l'heuristique NNA :

Tableau 11 : les résultats obtenus générés par le code qui applique l'heuristique NNA (mois de Juillet 2023)

| Tournées | Distance (Km) | Quantité (L) |
|--|----------------------|------------------------|
| [0, 4, 28, 34, 20, 36, 26, 7, 23, 11, 12, 45, 0] | 39.9 | 5974.49369 |
| [0, 35, 17, 33, 41, 5, 25, 6, 3, 15, 22, 45, 0] | 49.304 | 5912.4318793333005 |
| [0, 2, 38, 14, 9, 21, 31, 27, 39, 40, 45, 0] | 95.6 | 5960.9054337 |
| [0, 42, 45, 0] | 40.8 | 6000 |
| [0, 44, 29, 43, 19, 8, 16, 30, 37, 45, 0] | 147.9 | 5983.55846 |
| [0, 18, 13, 10, 24, 32, 45, 0] | 106.399 | 5714.306994 |
| [0, 1, 45, 0] | 66.0 | 3562.5 |
| Total | 545.9 | 39108.196457033 |

Chapitre III : Résultats et interprétations

- Avec la recherche locale

Tableau 12 : les résultats générés par le code qui applique l'heuristique de la recherche locale (mois de juillet 2023) :

| Tournées | Distance (Km) | Quantité (L) |
|--|---------------|------------------------|
| [0, 4, 28, 34, 20, 36, 26, 7, 23, 11, 12, 45, 0] | 39.9 | 5974.49369 |
| [0, 35, 17, 33, 41, 5, 25, 6, 3, 15, 22, 45, 0] | 49.304 | 5912.4318793333005 |
| [0, 2, 38, 14, 9, 21, 31, 27, 39, 40, 45, 0] | 95.6 | 5960.9054337 |
| [0, 42, 45, 0] | 40.8 | 6000 |
| [0, 44, 29, 8, 19, 43, 30, 16, 37, 45, 0] | 142.7 | 5983.55846 |
| [0, 18, 13, 10, 24, 32, 45, 0] | 106.399 | 5714.306994 |
| [0, 1, 45, 0] | 66.0 | 3562.5 |
| Total | 540,8 | 39108.196457033 |

Selon les résultats obtenus, les inversions qui ont été effectuée correspondent à ce qui suit :

Tournée avant amélioration :

[0, 44, 29, 43, 19, 8, 16, 30, 37, 45, 0]

Tournée après amélioration :

[0, 44, 29, 8, 19, 43, 30, 16, 37, 45, 0]

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.4.5 Discussion de résultats

Initialement, une méthode exacte a été utilisée en faisant appel aux solveurs GUSEK et CPLEX. Cependant, il a été constaté que cette méthode demandait beaucoup de temps et de mémoire en raison de la complexité du problème. Par conséquent, des méthodes approchées ont été explorées.

Grâce à l'application des deux heuristiques NNA et la recherche locale 3_Opt, nous avons pu obtenir une amélioration de 38,62%. Ce facteur d'amélioration a été calculé en se basant sur des données réelles fournies par l'entreprise pour le mois de janvier 2023. La distance a été diminuée par 301,2 km, avec une quantité de 59 200 litres.

Suite à cette amélioration, nous avons appliqué ces heuristiques pour la planification du mois de juillet (résultats similaires pour août et septembre). La solution initiale a donné une distance de 545,9 km répartie en 8 tournées, ensuite cette distance a pu être réduite par 5,1 km en effectuant des inversions au niveau de la 5^{ème} tournée.

III.5 La résolution par Systèmes d'informations Géographique

Un système d'information géographique (SIG) est un système qui est conçu pour collecter, stocker, traiter, analyser et présenter des données géographiques. Il offre la possibilité d'analyser différentes informations numériques disponibles sur un territoire géoréférencé en utilisant des "couches" superposées. Ces couches représentent des données spécifiques liées à des coordonnées géographiques. Organisées sous forme de bases de données, ces informations peuvent être extraites, triées et traitées en fonction des requêtes formulées par l'utilisateur. (Système d'information géographique (SIG) — Géoconfluences, 2002)

Dans le cadre de notre étude et dans le but d'obtenir des résultats plus approfondis, nous avons choisi d'exploiter les fonctionnalités des systèmes d'information géographique (SIG) tels que TransCAD et ArcGIS. Ces outils ont été sélectionnés pour enrichir notre analyse et faciliter la présentation de données de manière conviviale.

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.5.1 TransCAD

TransCAD est le premier et unique système d'information géographique (SIG) conçu spécifiquement pour être utilisé par des professionnels du transport, afin de stocker, afficher, gérer et analyser des données de transport. TransCAD combine les fonctionnalités des SIG et de la modélisation des transports au sein d'une plateforme intégrée, offrant des capacités inégalées par tout autre logiciel.

TransCAD intègre entièrement les SIG avec la modélisation de la demande et la fonctionnalité logistique. Il dispose d'une procédure appelée « Routing/Logistics », avec laquelle on peut résoudre le problème de tournée de véhicules en tenant compte la fenêtre de temps (VRPTW).

Sur cette base, nous avons choisi TransCAD pour fournir une optimisation plus réaliste et déterministe dans la planification des itinéraires de camions de collecte des H.U pour le mois de juillet 2023.

III.5.2 ArcGIS

ArcGIS, développé par Esri, est une plateforme complète dédiée à la gestion, à l'analyse et à la visualisation des données géographiques. Il offre une gamme étendue de fonctionnalités géographiques, telles que la cartographie, l'analyse spatiale, la gestion des données, l'analyse des données géographiques, ainsi que l'intégration et le partage de données.

Dans le contexte spécifique du problème de tournées de véhicules, ArcGIS propose une fonctionnalité permettant d'intégrer les contraintes et les données nécessaires à la résolution du problème. Cette fonctionnalité repose sur un ensemble d'outils dédiés à la modélisation et à la résolution efficace de ce problème complexe.

Pareil à TransCAD, ArcGIS aussi dispose des outils pour résoudre le VRPTW.

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.5.3 Les données d'entrée

Les deux logiciels fournissent un ensemble riche d'outils pour modéliser les diverses contraintes qu'un VRP peut avoir.

Pour générer une solution pour le VRP, on doit introduire des Inputs :

1. Une carte réseau routier d'Alger.
2. L'ensemble des fournisseurs (et le dépôt) avec leurs coordonnées géographiques, la quantité à collecter (demande) et leurs fenêtres de temps.
3. L'ensemble des véhicules avec leur capacité.

III.5.3.1 La résolution

- **TransCAD**

Avant de générer une solution, il est essentiel de tester la connectivité des nœuds du réseau routier en utilisant une carte téléchargée du site OpenStreetMap, sur laquelle on superpose une couche représentant le réseau routier d'Alger, nous avons identifié 278 problèmes de connectivité. Afin de remédier à cette situation, nous avons choisi de simplifier notre réseau, ce qui a nécessité le repositionnement de nos 44 fournisseurs sur les nœuds les plus proches du réseau pour garantir une meilleure connectivité.

Pour se faire :

La première étape consiste à charger le réseau routier auquel on ajoute des couches ; l'ensemble des fournisseurs et le dépôt.

Ensuite, dans la fenêtre de planification des itinéraires de véhicules, on attribue différents paramètres pour le choix du mode (dans notre cas, il s'agit de la collecte), et pour le dépôt et les arrêts (les fournisseurs), on accorde les paramètres avec les champs de la base de données.

Passant maintenant à la création de la matrice des distances, celle-ci est construite en utilisant les coordonnées x et y des clients ainsi que le réseau routier.

Chapitre III : Résultats et interprétations

| Matrix1 - VRP Distance Matrix File (Distance) | 1223 | 1326 | 1334 | 1337 | 1338 | 1342 | 1347 | 1511 | 1512 | 1515 | 1519 | 1521 | 1522 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1223 | 0.00 | 14.38 | 17.62 | 11.46 | 12.26 | 8.37 | 8.25 | 11.09 | 11.70 | 13.57 | 12.99 | 16.57 | 17.58 |
| 1326 | 14.38 | 0.00 | 3.29 | 3.27 | 4.07 | 6.28 | 6.30 | 3.29 | 2.84 | 5.38 | 1.55 | 2.24 | 3.76 |
| 1334 | 17.62 | 3.29 | 0.00 | 6.23 | 7.03 | 9.24 | 9.36 | 6.58 | 5.98 | 7.77 | 4.69 | 1.05 | 2.39 |
| 1337 | 11.46 | 3.27 | 6.23 | 0.00 | 0.80 | 3.08 | 3.20 | 3.87 | 3.16 | 2.11 | 2.60 | 5.18 | 6.12 |
| 1338 | 12.26 | 4.07 | 7.03 | 0.80 | 0.00 | 3.88 | 4.00 | 4.67 | 3.96 | 1.32 | 3.40 | 5.98 | 5.32 |
| 1342 | 8.37 | 6.28 | 9.24 | 3.08 | 3.88 | 0.00 | 0.12 | 3.13 | 3.74 | 5.20 | 5.03 | 8.20 | 9.21 |
| 1347 | 8.25 | 6.30 | 9.36 | 3.20 | 4.00 | 0.12 | 0.00 | 3.01 | 3.62 | 5.32 | 4.91 | 8.32 | 9.33 |
| 1511 | 11.09 | 3.29 | 6.58 | 3.87 | 4.67 | 3.13 | 3.01 | 0.00 | 0.70 | 5.98 | 1.99 | 5.53 | 7.05 |
| 1512 | 11.70 | 2.84 | 5.98 | 3.16 | 3.96 | 3.74 | 3.62 | 0.70 | 0.00 | 5.28 | 1.29 | 4.93 | 6.45 |
| 1515 | 13.57 | 5.38 | 7.77 | 2.11 | 1.32 | 5.20 | 5.32 | 5.98 | 5.28 | 0.00 | 4.72 | 6.89 | 5.37 |
| 1519 | 12.99 | 1.55 | 4.69 | 2.60 | 3.40 | 5.03 | 4.91 | 1.99 | 1.29 | 4.72 | 0.00 | 3.64 | 5.16 |
| 1521 | 16.57 | 2.24 | 1.05 | 5.18 | 5.98 | 8.20 | 8.32 | 5.53 | 4.93 | 6.89 | 3.64 | 0.00 | 1.52 |
| 1522 | 17.58 | 3.76 | 2.39 | 6.12 | 5.32 | 9.21 | 9.33 | 7.05 | 6.45 | 5.37 | 5.16 | 1.52 | 0.00 |

Figure 20 : Matrice des distances

Ensuite, nous chargeons les caractéristiques de nos véhicules et le réseau des routes.

Lorsque nous lançons la simulation, nous sommes confrontés à une limitation en raison de l'inadéquation et de la non-connectivité de la couche de réseau. Cela nous restreint en termes de connectivité des nœuds, mais cela ne signifie pas que l'outil n'est pas adapté à la résolution du VRPTW.

Voici un exemple d'optimisation d'un VRPTW avec TransCAD

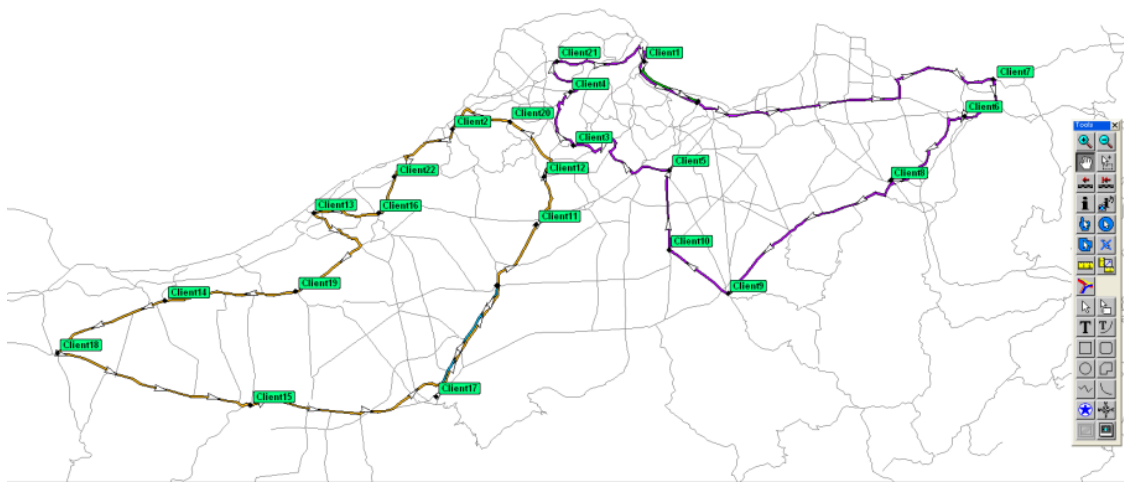


Figure 21 : Exemple de la simulation de résolution d'un VRPTW

Chapitre III : Résultats et interprétations

- ArcGIS

Pour générer une solution à l'aide d'ArcGIS ou tout autre logiciel du SIG il faut tout d'abord choisir une carte adéquate, nous avons opté pour une carte Open Street Map sur laquelle on va superposer notre réseau routier et importer nos données.

- Création et implémentation de la base de données "Fournisseurs"

Après génération des coordonnées de fournisseurs à l'aide de l'API on les géolocalise sur ArcGis pour définir l'emplacement de nos fournisseurs et dépôt. Une table d'attributs va être générée, On procède à son remplissage comme suit :

| FID | Shape * | Id | Name | Demand | ServiceTim |
|-----|---------|----|--------------------------------|-------------|------------|
| 0 | Point M | 0 | AMS-MB | 3562.5 | 89.0625 |
| 1 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA OS | 576.677667 | 14.416942 |
| 2 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA SM | 999.926667 | 24.998167 |
| 3 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA H | 407.914 | 10.19785 |
| 4 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA BMR | 459.108 | 11.4777 |
| 5 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA HBB | 398.92833 | 9.973208 |
| 6 | Point M | 0 | ETUSA EX RSTA HDEY | 579.759667 | 14.493992 |
| 7 | Point M | 0 | S/S GD R1648 CHERAGA | 1205.62233 | 30.140558 |
| 8 | Point M | 0 | S/S GD R1645 EL BAHDJA | 1961.554 | 49.03885 |
| 9 | Point M | 0 | RAIL Logistique | 1932.647667 | 48.316192 |
| 10 | Point M | 0 | S/S GD R1621 HUUSEIN DEY (ALN) | 1216.18033 | 30.404508 |
| 11 | Point M | 0 | GL CHEBREK ET BENKHELIL | 1226.26133 | 30.656533 |
| 12 | Point M | 0 | S/S GD R1651 SISSANE | 1870.34733 | 46.758683 |
| 13 | Point M | 0 | MDN DAR EL BEDA | 1027.334667 | 25.683367 |
| 14 | Point M | 0 | S/S GD R1622 DIDOUCHE MOURAD | 1047.376 | 26.1844 |
| 15 | Point M | 0 | SOVAC | 549.608 | 13.7402 |
| 16 | Point M | 0 | S/S GD R1640 LES LOISIRS | 998.383 | 24.959575 |
| 17 | Point M | 0 | BNA | 693.76433 | 17.344108 |
| 18 | Point M | 0 | HAOUACHE MOHAMED | 733.58533 | 18.339633 |
| 19 | Point M | 0 | TRANSMEX | 890.67233 | 22.266808 |
| 20 | Point M | 0 | KAHRAKIB | 451.054 | 11.27635 |
| 21 | Point M | 0 | EPAL DTM | 500.70133 | 12.517533 |
| 22 | Point M | 0 | AIT LAOUSSINE MOHAMED | 425.897667 | 10.647442 |
| 23 | Point M | 0 | MDN REGHAIA | 763.684667 | 19.092117 |
| 24 | Point M | 0 | S/S GD R1657 EL MADANIA | 400.006667 | 10.000167 |
| 25 | Point M | 0 | GL KHALEF NOUREDINE | 235.6389 | 5.890973 |
| 26 | Point M | 0 | GL LABACCI ABDELKADER | 401.834 | 10.04585 |
| 27 | Point M | 0 | SEAAL | 484.679 | 12.116975 |
| 28 | Point M | 0 | PVA OUADI ATHMANE | 655.14133 | 16.378533 |
| 29 | Point M | 0 | MDN Zerakda | 296.946033 | 7.423651 |
| 30 | Point M | 0 | GL METOUCHI MUSTAPHA | 514.646 | 12.86615 |
| 31 | Point M | 0 | MDN ROUBA | 453.863 | 11.346575 |
| 32 | Point M | 0 | GL BELOGBI DJAMEL | 344.742 | 8.61855 |
| 33 | Point M | 0 | NEGACHE MOHAMED | 200.507733 | 5.012693 |
| 34 | Point M | 0 | COSIDER | 496.540667 | 12.413517 |
| 35 | Point M | 0 | SRFE | 306.982733 | 7.674568 |
| 36 | Point M | 0 | COSIDER ALREM | 275.1491 | 6.878728 |
| 37 | Point M | 0 | AIR ALGERIE | 453.739 | 11.343475 |

Figure 22 : Base de données des fournisseurs

Chapitre III : Résultats et interprétations

Dans cette table le field “Demand” se réfère à la quantité à collecter auprès de chaque fournisseur. Le “ServicTime ” c’est le field indiquant le temps de service pour chaque fournisseur ou plus précisément c’est le temps nécessaire pour l’aspiration des huiles.

○ Génération de la matrice origine destination sur ArcGIS

On a décidé d'utiliser une matrice origine destination sur ArcGIS pour remédier au problème de connectivité du réseau. Grâce à cette matrice, il est possible de créer un réseau de fournisseurs en utilisant des distances euclidiennes, ce qui permet une simplification du réseau.

Exemple des lignes générées entre le premier fournisseur et tous les autres fournisseurs :

| FID | Shape * | ObjectID | Name | OriginID | Destinatio | Total Leng |
|-----|----------|----------|---|----------|------------|--------------|
| 0 | Polyline | 1937 | AMS-MB - AMS-MB | 1 | 1 | 0 |
| 1 | Polyline | 1938 | AMS-MB - COSIDER ALREM | 1 | 37 | 1299.960957 |
| 2 | Polyline | 1939 | AMS-MB - RAIL Logistique | 1 | 10 | 2569.934071 |
| 3 | Polyline | 1940 | AMS-MB - S/S GD R1651 SISSANE | 1 | 13 | 2977.914566 |
| 4 | Polyline | 1941 | AMS-MB - MDN REGHAIA | 1 | 24 | 4903.074837 |
| 5 | Polyline | 1942 | AMS-MB - MDN DAR EL BEIDA | 1 | 14 | 9588.392633 |
| 6 | Polyline | 1943 | AMS-MB - MDN ROUBA | 1 | 32 | 9806.695158 |
| 7 | Polyline | 1944 | AMS-MB - BR-est | 1 | 42 | 10856.962102 |
| 8 | Polyline | 1945 | AMS-MB - AIR ALGERIE | 1 | 38 | 12593.168198 |
| 9 | Polyline | 1946 | AMS-MB - S/S GD R1645 EL BAHDJA | 1 | 9 | 13113.557727 |
| 10 | Polyline | 1947 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA OS | 1 | 2 | 14145.299042 |
| 11 | Polyline | 1948 | AMS-MB - COSIDER | 1 | 35 | 16527.399632 |
| 12 | Polyline | 1949 | AMS-MB - NEGACHE MOHAMED | 1 | 34 | 17588.890309 |
| 13 | Polyline | 1950 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA H | 1 | 4 | 17729.446837 |
| 14 | Polyline | 1951 | AMS-MB - SEAAL | 1 | 28 | 18148.980886 |
| 15 | Polyline | 1952 | AMS-MB - GL KHALEF NOUREDINE | 1 | 26 | 18211.738294 |
| 16 | Polyline | 1953 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA HDEY | 1 | 7 | 18334.345712 |
| 17 | Polyline | 1954 | AMS-MB - AIT LAOUSSINE MOHAMED | 1 | 23 | 19103.768305 |
| 18 | Polyline | 1955 | AMS-MB - SRFE | 1 | 36 | 19186.5616 |
| 19 | Polyline | 1956 | AMS-MB - GL CHEBREK ET BENKHELIL | 1 | 12 | 19519.128023 |
| 20 | Polyline | 1957 | AMS-MB - S/S GD R1640 LES LOISIRS | 1 | 17 | 19561.106302 |
| 21 | Polyline | 1958 | AMS-MB - TRANSMEX | 1 | 20 | 19678.752179 |
| 22 | Polyline | 1959 | AMS-MB - S/S GD R1621 HUUSEIN DEY (ALN) | 1 | 11 | 19748.228207 |
| 23 | Polyline | 1960 | AMS-MB - GL BELOGBI DJAMEL | 1 | 33 | 21321.011354 |
| 24 | Polyline | 1961 | AMS-MB - GL KHOUS REDOUANE | 1 | 41 | 21499.963249 |
| 25 | Polyline | 1962 | AMS-MB - S/S GD R1657 EL MADANIA | 1 | 25 | 22678.789003 |
| 26 | Polyline | 1963 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA BMR | 1 | 5 | 22704.841983 |
| 27 | Polyline | 1964 | AMS-MB - KAHRAKIB | 1 | 21 | 22808.396787 |
| 28 | Polyline | 1965 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA HBB | 1 | 6 | 23197.252417 |
| 29 | Polyline | 1966 | AMS-MB - EPAL DTM | 1 | 22 | 23853.784188 |
| 30 | Polyline | 1967 | AMS-MB - ETUSA EX RSTA SM | 1 | 3 | 24596.428055 |
| 31 | Polyline | 1968 | AMS-MB - S/S GD R1622 DIDOUCHE MOURAD | 1 | 15 | 24762.386406 |
| 32 | Polyline | 1969 | AMS-MB - BNA | 1 | 18 | 25759.773633 |
| 33 | Polyline | 1970 | AMS-MB - GL LABACCI ABDELKADER | 1 | 27 | 26452.623635 |
| 34 | Polyline | 1971 | AMS-MB - MDN ALGER | 1 | 39 | 26485.97687 |
| 35 | Polyline | 1972 | AMS-MB - BR-sud | 1 | 44 | 27951.58959 |
| 36 | Polyline | 1973 | AMS-MB - GL METOUCHI MUSTAPHA | 1 | 31 | 28344.689459 |
| 37 | Polyline | 1974 | AMS-MB - PVA OUADI ATHMANE | 1 | 29 | 30535.582053 |

Figure 23 : Lignes origines/destinations

Nous procédons maintenant à la résolution du problème VRP sur ce réseau généré à l'aide de la matrice :

Chapitre III : Résultats et interprétations

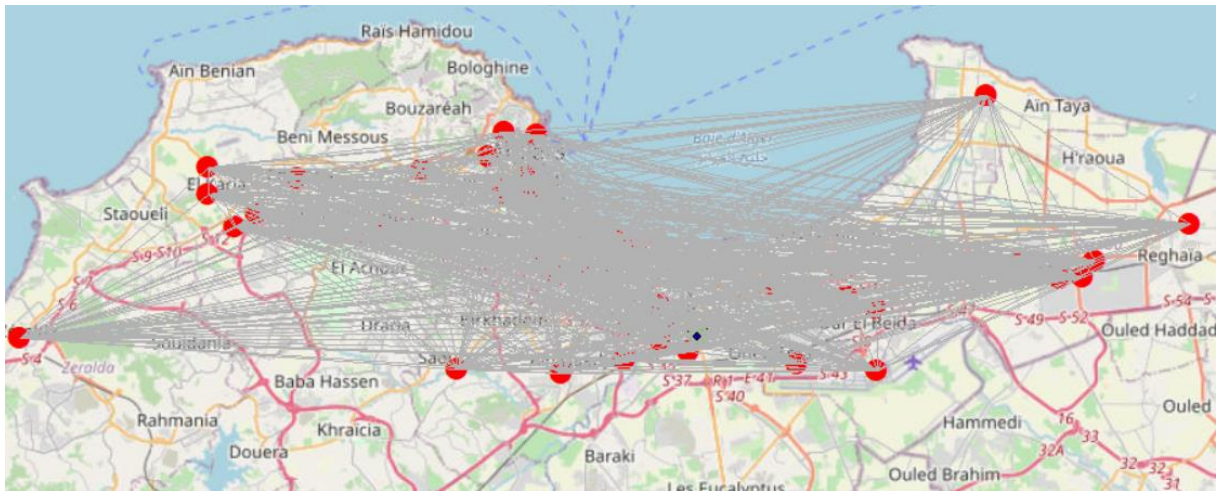


Figure 24 : Réseau généré par la matrice Origine/Destination.

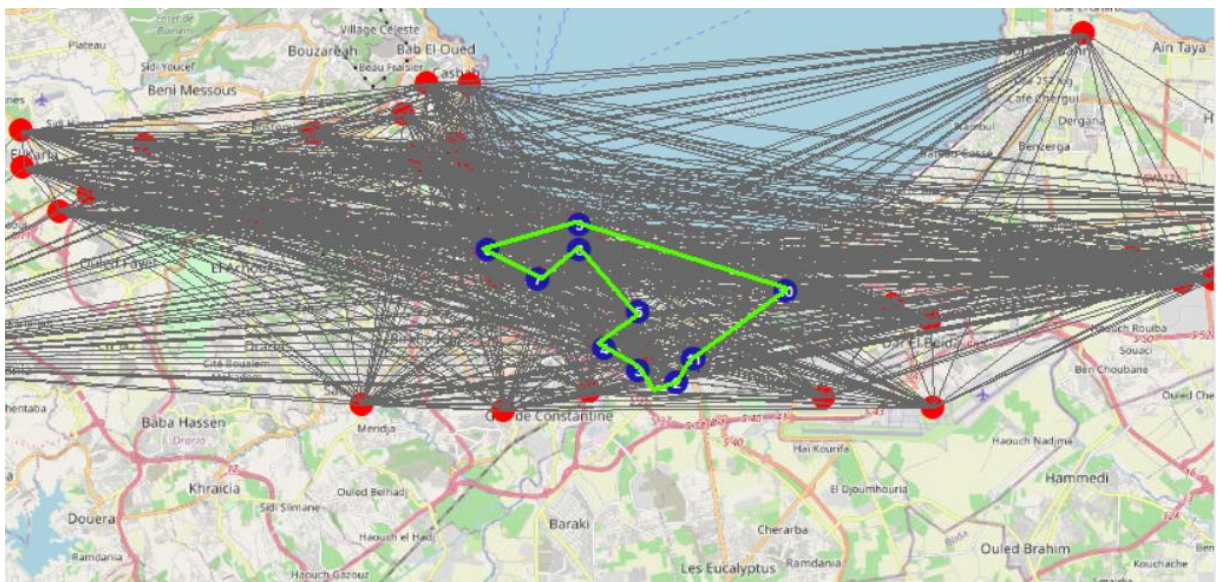


Figure 25 : Exemple d'une tournée générée par ArcGIS

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.6 Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons procédé à la préparation des données nécessaires à la résolution de notre problème, notamment les informations relatives aux principaux fournisseurs, les distances et les prévisions.

Par la suite, nous avons formulé le problème mathématique, qui correspond à CVRP.

Après avoir formulé le problème, nous avons d'abord exploré les méthodes exactes pour sa résolution. Toutefois, nous avons constaté que ces méthodes étaient onéreuses en termes de temps et de mémoire, en raison de la complexité et de la taille du problème. Par conséquent, nous avons opté pour des méthodes approximatives.

Dans cette partie, nous avons appliqué des méthodes sélectionnées en nous basant sur la littérature. Nous les avons évaluées en utilisant les données réelles fournies par l'entreprise.

Par la suite, nous avons utilisé ces améliorations pour planifier les itinéraires pour le mois de juillet 2023.

Des autres outils de SIG ont été testés, mais aucune solution n'est générée à cause des cartes réseau routier non adéquates.

Enfin, nous avons conclu ce chapitre en discutant des résultats obtenus.

Conclusion générale et perspectives

Dans le contexte de la logistique inverse, il est attendu des entreprises qu'elles possèdent un réseau de logistique inverse performant, susceptible de générer des bénéfices significatifs, l'objectif principal consiste à minimiser les coûts associés à la collecte, au tri, au traitement et à la valorisation des déchets.

En Algérie, NAFTAL est soumise à l'obligation de collecter les huiles usagées, ce qui confère à l'optimisation du réseau de récupération une importance primordiale dans les activités de l'entreprise.

Notre travail a abouti au développement d'une méthode d'aide à la décision visant à optimiser les distances (les coûts) tout en améliorant l'efficacité de la collecte des huiles usagées. En nous basant sur une analyse des données relatives aux tournées de ramassage, nous avons réussi à identifier les principaux facteurs qui influencent ces opérations, tels que les emplacements de collecte, les quantités à récupérer et les contraintes de capacité des véhicules.

Notre solution proposée pour résoudre le problème du CVRP avec une flotte de véhicule homogène, consiste en une heuristique du plus proche voisin pour générer une solution initiale, suivie d'une heuristique de recherche locale pour l'améliorer. Pour ce faire, nous avons implémenté ces deux algorithmes en utilisant le langage Python.

Grâce à l'application de ces heuristiques, nous avons réussi à améliorer et optimiser le réseau de collecte des huiles usagées de manière significative, en diminuant la distance totale parcourue par 38,62%. Cette diminution présente des avantages considérables pour l'entreprise en termes de réduction des coûts et des charges variables liées à la distance.

Par ailleurs, d'autres outils SIG tels que TransCAD et ArcGIS, qui disposent de fonctionnalités permettant de résoudre le problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps, ont été testés. Cependant, en raison de l'absence d'une carte réseau routière adéquate, ces deux logiciels ne peuvent pas générer une solution.

En conclusion de ce mémoire, on recommande vivement à NAFTAL d'adopter des logiciels de Système d'Information Géographique (SIG) afin de résoudre ses problèmes de routage des Véhicules (VRP) et d'optimiser ses tournées de véhicules. L'intégration de solutions SIG de pointe permettra de rationaliser les opérations, d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts, conduisant ainsi l'entreprise vers une plus grande réussite.

Bibliographie

Bibliographie

AUDIBERT, F. (2002). *Les huiles usagées: reraffinage et valorisation énergétique* (éd. Editions Technip).

Baaziz, A. (2020). Economie circulaire, logistique inversée et le recyclage. In Webinaire: préservation de notre planète terre.

BENRAHOU Fatma Zohra. (2020). *Développement d'un outil d'aide à la décision pour la logistique inverse cas des huiles usagées en Algérie*. Thèse de doctorat , Université M'hamed Bougara Boumerdes.

BOUOUDINA, M. (2010). Séminaire international journée d'étude sur les « Huiles usagées ».

CAMARA, Lassana. (2019). *Planification tactique-opérationnelle des chaînes d'approvisionnement durables en boucle fermée (logistique inverse)*. Thèse de doctorat, École de technologie supérieure, Montreal.

Carneiro, J., Monnet, M., & Noireaux, V. (s. d.). (2013). *Quelle maturation de la logistique inversée ?*. © Presses universitaires de Provence: Licence OpenEdition Books.

DAMIEN, A. (2004). *Guide du traitement des déchets*. Paris: Dunod.

Fisher, M. L., & Jaikumar, R. (1981). *A generalized assignment heuristic for vehicle routing. Networks* (Vol. 11).

Fleischmann, M. (2001). *Reverse Logistics Network Structures and Design*. Université d'Erasmus.

Gaerner, J., Bavant, L., & Marchal, A. (2018). *Supply Chain Management : Logistique globale*. (éd. 2e édition). paris.

Gardeux, Vincent. (2011). *Conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension. Application à l'analyse de données de puces à ADN*. Thèse de doctorat : informatique, Université de paris-est Créteil.

Bibliographie

- Grellier,É. (2008). *Optimisation de tournées de véhicules dans le cadre de la logistique inverse: modélisation et résolution par des méthodes hybrides* . Doctoral dissertation, Université de Nantes, France .
- Gutin, G., & Punnen, A. P. (Eds.). (2006). *The traveling salesman problem and its variations* (éd. Springer Science & Business Media., Vol. 12).
- Journal officiel de la republique Algerienne democratique et populaire N°18. (2004, mars 24).
- Journal officiel de la republique Algerienne democratique et populaire N°46. (1993, Juillet 14).
- Journal officiel de la republique algerienne democratique et populaire N°77. (s.d.).
- Kherbouche ,L, Oubahri ,Z. (2017). *Mémoire de master en mathématiques spécialité recherche opérationnelle : méthode d'aide à la décision*. université Mouloud Mammeri.
- Kuan Siew Khor, Zulkifli Mohamed Udin. (2012). Impact of Reverse Logistics Product Disposition towards Business Performance in Malaysian E&E Companies . *Journal of Supply Chain and Customer Relationship Management*.
- LEE, J.-E. G.-G. (2009). *Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm*. *Computers & industrial engineering* (Vol. 56).
- Letchford, A. N., & Pardalos, P. M. (2007). *The traveling salesman problem : a book review*. *4OR* (Vol. 5). Récupéré sur <https://doi.org/10.1007/s10288-007-0058-0>
- Lin, S. (1965). Computer solutions of the traveling salesman problem. *Bell System Technical Journal*.
- Mahiaoui, M. B. (2022). *Résolution efficace du problème de tournée de véhicules au profit de Béjaia-Logistique*. Mémoire de fin d'étude, ENST.
- Malapert, A. (2006). *Optimisation de tournées de véhicules pour l'exploitation de Réseau Telecom*. Rapp. Stage Diplôme Master , Univ. Paris, 6., Intell. Artif. Décision.

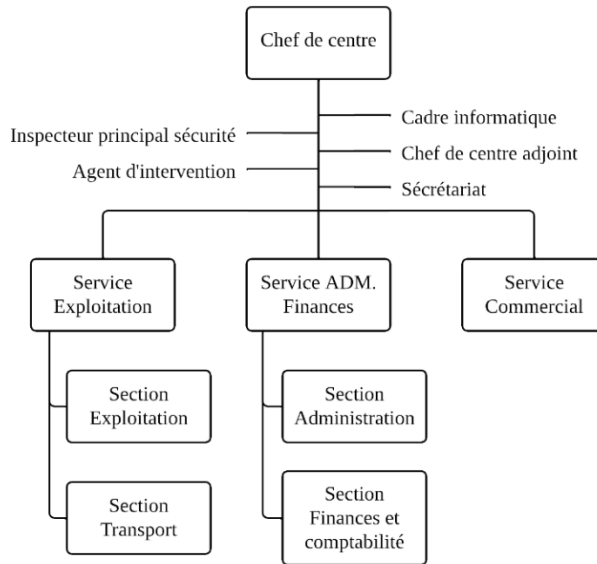
Bibliographie

- Messaoudi, M. (2020). *Programmation Primale en Nombres Entiers Pour la Résolution Efficace D'un Problème de Tournées de Véhicules Riche: Théorie et Pratique*. Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique, Montreal (Canada).
- Nabila Azi, Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin. (2009). An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. *European Journal of Operational Research*.
- ONS. (2019). *Répartition du parc national automobile*.
- ONS. (2022). *Enquête sur la situation et les perspectives dans l'industrie*.
- P. Toth and D. Vigo. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.
- Pandya, B. &. (2016). A review on inventory management control techniques: ABC-XYZ analysis. *REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing*, 2(3).
- Paschos, V. T. (2005). *Optimisation Combinatoire : 1 concepts fondamentaux*. Paris : Hermes science publications.
- Paschos, V. T. (2006). *Optimisation Combinatoire : 3 Applications*. Paris: Hermes science publications.
- Qinglong Gou, Liang Liang, Zhimin Huang, Chuanyong Xu. (2008). A joint inventory model for an open-loop reverse supply chain. *International journal of Production Economics*.
- RIOPEL et al. (2011). *Ingénierie et gestion de la logistique inverse: Vers des réseaux durables*. Lavoisier.
- SCHNETZLER, B. (1992). Des opérateurs d'échange et une méthode de relaxation pour le problème du voyageur de commerce. *RAIRO-Operations Research*.
- (2002). *Système d'information géographique (SIG) — Géoconfluences*. ENS de Lyon, Lyon.
- Teghem, J. (2012). *Recherche opérationnelle : Méthodes d'optimisation* (éd. Ellipses Marketing).

Annexe

Annexe

Annexe 1: Organigramme du centre LP.



Annexe 2 : Exemple d'un programme de ravitaillement du mois de mars 2023.

NAFTAL
 Branche Commercialisation
 Direction Lubrifiants & Pneumatiques
 N°906 /Dpt Dst/Sec. Dst/23

Chéraga, le 02 Mars 2023

Monsieur le Directeur du District Commercialisation Alger

Objet : Programme de ravitaillement du mois de Mars 2023.

Unité : Tm

| DISTRICT | CENTRE | NAFT 20WS0 | | NAFT VPS 15W40 | | CHEL/CHEL 40 15W40 | | CHEL 10W | | TISKA 32 | | TISKA 46 | | TISKA 68 | | TOTAL 5L | | TOTAL F68 | | TOTAL | | Assistance | | | |
|--------------|------------------|------------|----------|----------------|-----------|--------------------|----|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----|----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|-------|---------------|---|--|----------|
| | | Fdt | 5L | Fdt | 5L | Fdt | 5L | Fdt | Fdt | Fdt | Fdt | 5L | Fdt | Fdt | 5L | Fdt | Fdt | Général | Nbr Rot | Progr moyen | Moyen | Nbr Rotations | | | |
| ALGER | 16C LP Alger | | 6 | 100 | 42 | 10 | | 28 | 7 | 15 | 28 | 16 | | | | 42 | 220 | 236 | 16 | 16 | | | | | |
| | 16D LP Boumerdes | | | 28 | 7 | | | 7 | | | | | | | | 8 | 42 | 42 | 3 | 3 | | | | | |
| | 2108 CMP Bouira | 4 | 2 | 70 | 7 | | | 14 | | | | | | | | 7 | 2 | 102 | 104 | 7 | 4 | 16D Boumerdes | 3 | | |
| TOTAL | | 4 | 8 | 198 | 56 | 10 | | 49 | 7 | 15 | 35 | 16 | | | 18 | 364 | 382 | 26 | 23 | | | | | | 3 |

N.B : Ce programme doit être réalisé durant le mois en cours.

Cordiales salutations.

Le Directeur Lubrifiants & Pneumatiques
 A. LOUNIS

Annexe

Annexe 3: Une partie des fournisseurs des huiles usagées.

| | A | SECTEUR | CLIENT | LOCALITE | QUANTITE | CHAUFFEUR |
|-----|----------|---------|--------------------------------|---------------------------------------|----------|-----------|
| 445 | | ENTR | KAHRAKIB | ATIONALE N°38 COMMUNE GUE DE CONSTANT | 1400 | MIHOUBI |
| 446 | 22/01/20 | ENTR | COSIDER CONSTRUCTION POLE B116 | DJENANE SFARI BIRKHADEM W. ALGER | 6000 | MIHOUBI |
| 447 | 23/01/20 | ENTR | ETUSA EX RSTA | 21 RUE ALFRED DE MUSSET | 1800 | KADRI |
| 448 | | SLG | Lavage Du Tennis | LOT 51 Cité 488 logts bachdjarah | 1000 | MIHOUBI |
| 449 | 26/01/20 | GL | GL KHALEF NOUREDINE | CITE DES EUCALYPTUS BOUROUBA | 3000 | MIHOUBI |
| 450 | | GL | GL CHEBREK ET BENKHELIL | BOUROUBA | 2000 | MIHOUBI |
| 451 | 27/01/20 | ENTR | ETUSA EX RSTA | 21 RUE ALFRED DE MUSSET | 1700 | MIHOUBI |
| 452 | | SLG | abdellah mahiz | E 110 350 LOGTS LOT 10 MAG 4 BOUROUBA | 800 | MIHOUBI |
| 453 | 28/01/20 | DGSN | DGSN SDPA | B.EZZOUER | 400 | MIHOUBI |
| 454 | 30/01/20 | DGSN | DGSN SDPA | ALGER | 1700 | MIHOUBI |
| 455 | 02/02/20 | GD | S/S GD R1645 EL BAHDJA | Les Bananiers Mohammadia | 4000 | MIHOUBI |
| 456 | | DGSN | DGSN SDPA | ALGER | 800 | MIHOUBI |
| 457 | 03/02/20 | ENTR | ETUSA EX RSTA | 21 RUE ALFRED DE MUSSET | 3400 | MIHOUBI |
| 458 | | GD | S/S GD R1648 CHERAGA | GD CHERAGA | 2000 | MIHOUBI |
| 459 | 04/02/20 | SLG | SARL STATION BEAUSEJOUR | 5 CITE BEAUSEJOUR BOUZAREA | 2500 | MIHOUBI |
| 460 | | PVA | PVA S/S SACHE ABDELKADER | RTE N°36 BABA HACENE DOUERA | 1400 | MIHOUBI |
| 461 | 05/02/20 | GD | S/S GD R1622 DIDOUCHE MOURAD | 114 RUE DIDOUCHE MOURAD ALGER | 4000 | MIHOUBI |
| 462 | | ENTR | ETUSA EX RSTA | 21 RUE ALFRED DE MUSSET | 1200 | MIHOUBI |
| 463 | 06/02/20 | GL | GL TAIRI BRAHIM | 49 CHEMIN FERNANE HANAFI H.DEY | 2100 | MIHOUBI |
| 464 | | MDN | MDN Zeralda | ZERALDA | 544 | MIHOUBI |
| 465 | 09/02/20 | ENTR | SEAAL | 97 LOT PARC OMAR KOUBA | 3200 | KADRI |
| 466 | | ENTR | COSIDER TP METRO D'ALGER | SIS CHANTIER AIN NAADJA | 600 | KADRI |
| 467 | | MDN | MDN DAR EL BEIDA | BP 143.DAR EL BEIDA | 1678.2 | KADRI |

Annexe 4 : Tableau croisé dynamique.

| Étiquettes de lignes | Somme de QUANTITE |
|-------------------------------|-------------------|
| 162 | 300 |
| 1169 | 600 |
| 216C | 22502 |
| 2eme BPFA AHB | 1200 |
| A P M C(Divindus) EX Carriere | 3000 |
| ABDELLAH MAHDJOUBI CHERIFA | 2200 |
| abdellah mahiz | 5400 |
| ACTAC | 1000 |
| ADOUR Kocila | 200 |
| AFRO-PHARM | 300 |
| AGENT NAFTAL / BAG SPA | 2300 |
| AGS AUTOMOBILES | 1400 |
| AIR ALGERIE | 13400 |
| AIT BOUALI Mohamed | 23000 |
| AIT LAOUSSINE MOHAMED | 31900 |
| AIT MOHAMED RABEH | 800 |
| AL ELEC | 600 |
| AL ELEC SPA | 2500 |
| ALFEL FONDERIE | 7200 |
| ALGERIENNE DES FONDERIES | 2000 |
| Alieco | 800 |
| ALLAOUNA Fares | 1500 |
| AMAOUCHE ALI | 25600 |
| AME (ANEP) | 1500 |
| AMROUCHE YAHIA | 10740 |
| AMS-MB | 171000 |

Annexe

Annexe 5 : La sélection des principaux fournisseurs avec la méthode ABC.

| Étiquettes de lignes | Somme de QUANTITE | Pourcentage | Quantite cumulée | Pourcentage cumulé |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|--------------------|
| AMS-MB | 171000 | 5,41% | 171000 | 5,41% |
| ETUSA EX RSTA | 143380 | 4,54% | 314380 | 9,96% |
| S/S GD R1648 CHERAGA | 124700 | 3,95% | 439080 | 13,90% |
| S/S GD R1645 EL BAHDJA | 106700 | 3,38% | 545780 | 17,28% |
| RAIL Logistique | 72500 | 2,30% | 618280 | 19,58% |
| S/S GD R1621 HUUSEIN DEY (ALN) | 68300 | 2,16% | 686580 | 21,74% |
| MDN | 56325,65 | 1,78% | 742905,65 | 23,52% |
| GL CHEBREK ET BENKHELIL | 55000 | 1,74% | 797905,65 | 25,27% |
| S/S GD R1651 SISSANE | 52500 | 1,66% | 850405,65 | 26,93% |
| MDN DAR EL BEIDA | 52338,2 | 1,66% | 902743,85 | 28,59% |
| S/S GD R1622 DIDOUCHE MOURAD | 45400 | 1,44% | 948143,85 | 30,02% |
| SOVAC | 44700 | 1,42% | 992843,85 | 31,44% |
| S/S GD R1640 LES LOISIRS | 41160 | 1,30% | 1034003,85 | 32,74% |
| BNA | 38840 | 1,23% | 1072843,85 | 33,97% |
| HAOUACHE MOHAMED | 38000 | 1,20% | 1110843,85 | 35,18% |
| TRANSMEX | 35100 | 1,11% | 1145943,85 | 36,29% |
| SARL ALTUB | 35000 | 1,11% | 1180943,85 | 37,40% |
| KAHRAKIB | 34600 | 1,10% | 1215543,85 | 38,49% |
| EURL TREVI ALGERIE | 33900 | 1,07% | 1249443,85 | 39,56% |
| EPAL DTM | 32900 | 1,04% | 1282343,85 | 40,61% |
| AIT LAOUSSINE MOHAMED | 31900 | 1,01% | 1314243,85 | 41,62% |

Annexe 6 : Prévisions pour le mois de juillet 2023.

| Fournisseurs | Prévisions | Fournisseurs | Prévisions |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| F1 | 3562,5 | F23 | 425,897667 |
| F2 | 576,677667 | F25 | 763,684667 |
| F3 | 999,926667 | F26 | 400,006667 |
| F4 | 407,914 | F27 | 235,6389 |
| F5 | 459,108 | F28 | 401,834 |
| F6 | 398,92833 | F29 | 484,679 |
| F7 | 579,759667 | F30 | 655,14133 |
| F8 | 1205,62233 | F31 | 296,946033 |
| F9 | 1961,554 | F32 | 514,646 |
| F10 | 1932,647667 | F33 | 453,863 |
| F11 | 1216,18033 | F35 | 344,742 |
| F12 | 1226,26133 | F36 | 200,507733 |
| F13 | 1870,34733 | F37 | 496,540667 |
| F14 | 1027,334667 | F38 | 306,982733 |
| F15 | 1047,376 | F39 | 275,1491 |
| F16 | 549,608 | F40 | 453,739 |
| F17 | 998,383 | F41 | 310,297133 |
| F18 | 693,76433 | F42 | 263,7689667 |
| F19 | 733,58533 | F46 | 266,7192183 |
| F20 | 890,67233 | F53 | 6000 |
| F21 | 451,054 | F54 | 666,7966667 |
| F22 | 500,70133 | F55 | 1600,709667 |

Annexe

Annexe 7 : Résultat de NNA - janvier 2023

```
[Running] python -u "c:\Users\steve\Desktop\NNA finale.py"  
Tourne: [0, 39, 6, 34, 17, 36, 2, 35, 44, 45, 0]  
Distance= 41.4  
Quantite totale= 6000  
Tourne: [0, 20, 26, 27, 12, 45, 0]  
Distance= 62.699999999999996  
Quantite totale= 5850  
Tourne: [0, 32, 43, 38, 7, 14, 25, 45, 0]  
Distance= 91.4  
Quantite totale= 5900  
Tourne: [0, 10, 33, 23, 45, 0]  
Distance= 45.6  
Quantite totale= 6000  
Tourne: [0, 18, 22, 24, 30, 13, 45, 0]  
Distance= 73.8  
Quantite totale= 5900  
Tourne: [0, 31, 28, 29, 5, 11, 4, 45, 0]  
Distance= 112.60000000000001  
Quantite totale= 5600  
Tourne: [0, 15, 40, 41, 42, 45, 0]  
Distance= 76.9  
Quantite totale= 6000  
Tourne: [0, 37, 21, 45, 0]  
Distance= 66.0  
Quantite totale= 5400  
Tourne: [0, 1, 16, 45, 0]  
Distance= 66.39999999999999  
Quantite totale= 5650  
Tourne: [0, 3, 9, 8, 45, 0]  
Distance= 77.69999999999999  
Quantite totale= 4200  
Tourne: [0, 19, 45, 0]  
Distance= 75.6  
Quantite totale= 2700  
Distance totlae= 790.1  
Qauntite totale collecte= 59200
```

Annexe

Annexe 8 : Résultat de 3_opt - janvier 2023

```
[Running] python -u "c:\Users\steve\Desktop\NNA 3_Opt finale.py"
Tourne: [0, 39, 6, 34, 17, 36, 2, 35, 44, 45, 0]
Distance= 41.4
Quantite totale= 6000
Tourne: [0, 20, 26, 27, 12, 45, 0]
Distance= 62.699999999999996
Quantite totale= 5850
Tourne: [0, 32, 43, 38, 7, 14, 25, 45, 0]
Distance= 91.4
Quantite totale= 5900
Tourne: [0, 10, 33, 23, 45, 0]
Distance= 45.6
Quantite totale= 6000
Tourne: [0, 18, 22, 24, 30, 13, 45, 0]
Distance= 73.8
Quantite totale= 5900
Tourne: [0, 11, 31, 28, 29, 5, 4, 45, 0]
Distance= 102.39999999999999
Quantite totale= 5600
Tourne: [0, 15, 40, 41, 42, 45, 0]
Distance= 76.9
Quantite totale= 6000
Tourne: [0, 37, 21, 45, 0]
Distance= 66.0
Quantite totale= 5400
Tourne: [0, 1, 16, 45, 0]
Distance= 66.39999999999999
Quantite totale= 5650
Tourne: [0, 3, 9, 8, 45, 0]
Distance= 77.69999999999999
Quantite totale= 4200
Tourne: [0, 19, 45, 0]
Distance= 75.6
Quantite totale= 2700
Distance totale= 779.9
Qauntite totale collecte= 59200
```

Annexe

Annexe 9 : Résultat de NNA - juillet 2023

```
[Running] python -u "c:\Users\steve\Desktop\NNA finale.py"
Tourne: [0, 4, 28, 34, 20, 36, 26, 7, 23, 11, 12, 45, 0]
Distance= 39.9
Quantite totale= 5974.49369
Tourne: [0, 35, 17, 33, 41, 5, 25, 6, 3, 15, 22, 45, 0]
Distance= 49.300000000000004
Quantite totale= 5912.4318793333005
Tourne: [0, 2, 38, 14, 9, 21, 31, 27, 39, 40, 45, 0]
Distance= 95.6
Quantite totale= 5960.9054337
Tourne: [0, 42, 45, 0]
Distance= 40.8
Quantite totale= 6000
Tourne: [0, 44, 29, 43, 19, 8, 16, 30, 37, 45, 0]
Distance= 147.9
Quantite totale= 5983.55846
Tourne: [0, 18, 13, 10, 24, 32, 45, 0]
Distance= 106.39999999999999
Quantite totale= 5714.306994
Tourne: [0, 1, 45, 0]
Distance= 66.0
Quantite totale= 3562.5
Distance totale= 545.9
Quantite totale collecte= 39108.1964570333
```

Annexe 10 : Résultat de 3_opt - juillet 2023.

```
[Running] python -u "c:\Users\steve\Desktop\NNA 3_Opt finale.py"
Tourne: [0, 4, 28, 34, 20, 36, 26, 7, 23, 11, 12, 45, 0]
Distance= 39.9
Quantite totale= 5974.49369
Tourne: [0, 35, 17, 33, 41, 5, 25, 6, 3, 15, 22, 45, 0]
Distance= 49.300000000000004
Quantite totale= 5912.4318793333005
Tourne: [0, 2, 38, 14, 9, 21, 31, 27, 39, 40, 45, 0]
Distance= 95.6
Quantite totale= 5960.9054337
Tourne: [0, 42, 45, 0]
Distance= 40.8
Quantite totale= 6000
Tourne: [0, 44, 29, 8, 19, 43, 30, 16, 37, 45, 0]
Distance= 142.7
Quantite totale= 5983.558459999999
Tourne: [0, 18, 13, 10, 24, 32, 45, 0]
Distance= 106.39999999999999
Quantite totale= 5714.306994
Tourne: [0, 1, 45, 0]
Distance= 66.0
Quantite totale= 3562.5
Distance totale= 540.7
Quantite totale collecte= 39108.1964570333
```

Résumé

Les huiles usagées sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux. Leur rejet dans la nature est strictement interdit. Elles peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel, qui peut être traduit par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère d'une part et d'autres part, la rareté des ressources et la concurrence féroce dans le secteur industriel ont poussé les dirigeants à l'intégration des processus de récupération et de retraitement des produits en fin de vie et/ou à recycler dans la chaîne logistique de production.

Aujourd'hui, NAFTAL, fait partie des entreprises ayant mis en œuvre une logistique inverse dans le souci de récupérer ces huiles usagées. L'objectif de ce travail consiste à optimiser les tournées de camions collecteurs tout en minimisant la distance totale parcourue, pour ce faire, des outils de la recherche opérationnelle et du SIG seront appliqués au niveau du centre NAFTAL d'El Harrach.

Mots clés : logistique inverse, pollution, huiles usagées, NAFTAL, optimisation, CVRP, heuristique, SIG.

Abstract

Used oils are categorized as hazardous waste and their disposal in natural environments is strictly prohibited. Improper handling of used oils can lead to significant environmental degradation, causing pollution of water, soil, and air. The scarcity of resources and intense competition in the industrial sector have driven industry leaders to integrate recovery and reprocessing mechanisms for end-of-life products and recycling into their production supply chains.

Presently, NAFTAL is one of the companies that has implemented reverse logistics practices to recover used oils. This research aims to optimize the routes of collection trucks while minimizing the overall distance traveled. Operational research tools and GIS softwares will be applied at the NAFTAL center in El Harrach to achieve this objective.

Keywords : reverse logistics, pollution, used oils, NAFTAL, optimization, CVRP, heuristic, GIS.

ملخص

تصنف الزيوت الصناعية المستعملة ضمن النفايات الخطيرة التي يحظر وبشدة التخلص منها في البيئة بشكل عشوائي دون اتخاذ جملة من الإجراءات الوقائية نظرا للأضرار والتلوث الذي تلحقه بالبيئة.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى، أدت ندرة الموارد الأولية والمنافسة المتصاعدة بشكل متسارع القياديين في المجال الصناعي إلى خلق سياسة جديدة تعتمد على دمج عمليات جمع النفايات ومعالجتها بالإضافة إلى إعادة تدويرها ضمن سلاسل الإمداد الإنتاجية.

تعتبر نفضال من بين الشركات التي انتهجت سياسة سلاسل الإمداد العكسية لجمع هذه الزيوت الصناعية المستعملة. تهدف هذه المذكرة إلى تحسين عملية جمع الزيوت لشركة نفضال عن طريق اختصار المسافة الكلية المقطوعة، من أجل هذا سيتم تطبيق خوارزميات البحث العملي بالإضافة إلى برمجيات SIG.

كلمات مفتاحية : سلاسل الإمداد العكسية، التلوث، الزيوت الصناعية المستعملة، نفضال، تحسين، الاستمثال، مشكلة توزيع المركبات ذات السعة المحدودة، أنظمة المعلومات الجغرافية.