

E. N. S. T

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
Ecole Nationale Supérieure de Technologie
The National Higher School of Technology



Department of Industrial
Engineering & Maintenance

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا المتقدمة

Ecole Nationale Supérieure de Technologie Avancée

Department : Génie Industriel et Maintenance

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Génie Industriel

Spécialité

Génie Industriel

Intégration d'une Chaîne Logistique Inverse à un Réseau de Distribution Régulier

Réalisé par

HASSANI Rania

Présenté et soutenue publiquement le (03/07/2023)

Composition du Jury :

MERADI Samir	Président
AGGUINI Chafik	Promoteur
BOUDHAR Hamza	Examineur

Année universitaire 2022/2023

Alger, le 03/07/2023 .

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا المتقدمة
Ecole Nationale Supérieure de Technologie Avancée
Département : Génie Industriel et Maintenance

Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Génie Industriel
Spécialité
Génie Industriel

Intégration d'une Chaîne Logistique Inverse à un Réseau de Distribution Régulier

Réalisé par

HASSANI Rania

Présenté et soutenu publiquement le (03/07/2023)

Composition du Jury :

MERADI Samir	Président
AGGUINI Chafik	Promoteur
BOUDHAR Hamza	Examineur

Année universitaire 2022/2023

Alger, le 03/07/2023 .

Remerciements

Je remercie Allah, notre créateur pour m'avoir accordé le courage, la force et la volonté pour mener à bien ce travail.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements et ma reconnaissance à mon encadrant AGGUINI Chafik, qui m'a guidé tout au long de ce projet avec ses précieux conseils.

J'aimerais également exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude envers Monsieur BOUDHAR Hamza, et Madame GHOMARI Leila pour leurs enseignements, leurs expertises et leurs conseils qui ont joué un rôle déterminant dans mon parcours académique.

Mes remerciements s'étendent à tous les enseignants qui ont contribué, de près ou de loin, à l'enrichissement de ma formation.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers Monsieur AISSI Nacer, ainsi qu'envers les membres du personnel de Naftal Batna, notamment HEBARI Yassine, BELMIHOUB Mounir, YAHIAOOUI Med Lotfi et LAIB Bilal, pour leur accueil chaleureux et leur contribution essentielle à la réalisation de ce travail. Leur confiance en moi a été inestimable.

J'exprime également mes remerciements à Monsieur Ben Hammouda Azeddine pour ses conseils éclairés et son soutien précieux.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers moi-même pour mon engagement, ma persévérance et les efforts que j'ai déployés tout au long de ce parcours.

Dédicace

À mes parents, qui sont les personnes les plus chères au monde pour moi. Aucune dédicace ne peut exprimer pleinement l'amour, l'estime, et le respect que j'ai pour eux. Leur soutien constant et leur encouragement inébranlable ont été les fondements de ma réussite.

À mes sœurs et à mon frère, mes compagnons de vie, qui ont toujours été présents pour moi.

À la mémoire de ma grand-mère et de mon grand-père.

À tous les membres de ma famille, qui ont toujours été là pour moi, apportant leur soutien, leurs encouragements et leur affection. Leur présence a été une source de réconfort et de bonheur tout au long de mon parcours.

À mes très chères amies, Maroua, Aya, Malak, Ikram, Yousra, Sofia, je vous aime. Merci pour votre soutien pendant cette période stressante, merci d'avoir rendu cette expérience inoubliable et d'avoir apporté tant de positivité dans ma vie.

Table des matières

List of figures	I
List of tables	II
Introduction générale	1
I Etat de l’art	3
I.1 Logistique traditionnelle et économie linéaire	4
I.1.1 Chaîne logistique traditionnelle	4
I.1.2 L’économie linéaire	4
I.1.3 Les limites de l’économie linéaire	5
I.2 La logistique inverse	6
I.2.1 Définition	6
I.2.2 Concepts liés à la logistique inverse	7
I.3 Logistique inverse et logistique traditionnelle	9
I.4 les différentes étapes de la logistique inverse	11
I.4.1 Barrière	11
I.4.2 La collecte	12
I.4.3 Le Tri	12
I.4.4 Le traitement	12
I.4.5 Types de retours	14
I.4.6 Motivations	17
I.5 Optimisation : Principes fondamentaux	19
I.5.1 Définition de l’optimisation	19
I.6 Problème de l’optimisation	19
I.7 Le Problème de transport	19

I.8	Formulation mathématique du VRP	20
I.9	Les méthodes de résolution	21
II	Cas d'étude CDD 2058 (Centre de distribution Naftal Batna)	23
II.1	Introduction	24
II.2	Historique de Naftal	24
II.3	Les trois grandes branches de Naftal	25
II.3.1	Présentation du branche GPL	25
II.4	L'infrastructure de NAFTAL	25
II.5	L'organisation de la société Naftal	26
II.6	Le district logistique de Naftal Batna	28
II.6.1	Présentation du CDS 058	28
II.6.2	Centre Distribution des dépôts carburants :	28
II.7	Stratégie de distribution de Naftal	30
II.8	Flux de produits dans le réseau de distribution	30
II.9	Processus de traitement de commande : étapes à suivre	30
II.9.1	Réception de commande	30
II.9.2	Dispatching	31
II.9.3	Facturation	31
II.9.4	Circuit de distribution	32
II.10	Les huiles usagées	32
II.10.1	Les huiles usagées en Algérie	33
II.10.2	Utilisation des huiles usagées et leurs impacts environnementaux	33
II.11	Stratégies pour la récupération des huiles usagées	34
II.11.1	La collecte	34
II.11.2	Processus de collecte actuel	34
III	Optimisation de la chaîne logistique inverse	35
III.1	Introduction	36
III.2	Présentation de problème	36
III.3	Modélisation mathématique et méthodes de résolution	37
III.3.1	Modélisation mathématique du VRP	37

III.4	Application du modèle	39
III.4.1	Préparation des données	39
III.4.2	Résultats de l'optimisation	41
III.4.3	Application du modèle sur CPLEX	41
III.4.4	Les résultats obtenus	43
III.5	Analyse et conception d'un système d'aide à la décision (Modèle business Intelligence)	47
III.5.1	Visualisation des données de collecte	47
III.6	Conception d'un système de suivi de la collecte	51
	Conclusion Générale	55
IV	Annexes	57
	Bibliographie	67

Table des figures

I.1	Le flux des matériaux, des composants et des produits dans une économie linéaire , source : Rémy le moigne, 2018	5
I.2	La logistique inverse	7
I.3	Relation entre la logistique inverse et la logistique verte , source : Rogers and Tibben-Lembke, 2001	8
I.4	Illustration du problème des tournées de véhicules, source : Hani Guenoune and Abdelmadjide Boukra, 2014	21
I.5	Exemple de méthodes de résolution d'un problème d'optimisation, source : Alain brero, 2001	22
II.1	Organigramme de l'entreprise Naftal (source : documentation Naftal)	27
II.2	Organigramme centre distribution 058 (source : documentation Naftal)	29
II.3	Schéma de distribution directe de Naftal	32
III.1	Le fichier des données sur Cplex	41
III.2	Le fichier modèle sur Cplex -1-	43
III.3	Le fichier modèle sur Cplex -2-	43
III.4	La solution du Cplex	44
III.5	Résultats de l'affectation	44
III.6	Schéma représente le plus court chemin déterminé	45
III.7	Distances parcourues dans l'état actuel et l'état optimal	46
III.8	Quantité collectée par rapport à client	48
III.9	Classement des client selon la méthode de Pareto	51
III.10	Représentation du modèle BI en flocon	54

Liste des tableaux

I.1	Distinction entre logistique inverse et logistique traditionnelle	11
I.2	les caractéristiques des différents types de flux associés à la logistique inversée. Fleischmann (2001)	16
II.1	Capacité de stockage des différents produits du centre distribution 058	29
II.2	Répartition des huiles usagées en Algérie	33
III.1	Les points de collecte des huiles usagées	40
III.2	Matrice des distances entre l'entrepôt et les clients	41
III.3	Quantité collectée par point de collecte	42
III.4	Proposition d'un nouveau système de zonage	45
III.5	Comparaison des distances totales entre l'état actuel et l'état optimal	46
III.6	Informations de la collecte	47
III.7	Analyse Pareto : Quantité collectée	50
III.8	Table de dimensions	53
III.9	Table des faits	53
IV.1	Liste des clients	58
IV.2	Liste des camions	58
IV.3	Date	59
IV.4	Données de trajet et quantités collectées	60
IV.5	Itinéraire	61
IV.6	Clients visités	62
IV.7	Prévision de collecte	64

Introduction générale

Dans un monde confronté à des défis environnementaux croissants, la gestion efficace des déchets industriels est devenue une préoccupation majeure pour les gouvernements, les entreprises et la société en général. Les déchets industriels, tels que les huiles usagées, sont particulièrement préoccupants en raison de leur potentiel de pollution et de leur impact sur l'environnement.

Les huiles usagées sont générées par diverses industries, notamment l'automobile, la production d'énergie, la fabrication et d'autres activités industrielles. Ces huiles sont utilisées comme lubrifiants, fluides hydrauliques ou agents de refroidissement dans les machines et les équipements. Cependant, au fil du temps, ces huiles subissent une dégradation physique et chimique, ce qui les rend inutilisables pour leur application d'origine.

Dans le contexte spécifique de l'entreprise NAFTAL en Algérie, la gestion des huiles usagées revêt une importance particulière. En tant qu'entreprise de distribution de carburants, NAFTAL joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en carburants et lubrifiants du pays. Cependant, en raison de l'activité de vente de carburants, NAFTAL génère également une quantité significative d'huiles usagées, il devient donc impératif pour NAFTAL de mettre en œuvre des pratiques de gestion efficaces pour collecter ces huiles usagées de manière responsable.

Depuis 1986, NAFTAL s'est engagé de manière déterminée dans la collecte des huiles usagées en Algérie, atteignant des progrès notables dans ce domaine. Jusqu'à présent, l'entreprise a réussi à collecter plus de 250 000 tonnes de lubrifiants, représentant approximativement 20% à 25% de la quantité générée annuellement [1], toutefois, malgré ces réalisations, il est important de souligner que la quantité collectée par NAFTAL à travers toutes les wilayas du pays demeure insuffisante par rapport aux volumes de lubrifiants usagés produits.

D'après les données fournies par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, l'Algérie génère chaque année environ 90 000 tonnes d'huiles usagées, Parmi ces déchets, on compte 72 000 tonnes d'huiles de moteurs (également appelées huiles noires), et 18 000 tonnes d'huiles industrielles (également appelées huiles claires) [1].

Le processus de collecte des huiles usagées est devenu une tâche très difficile pour l'entreprise, nécessitant une réflexion approfondie sur la réorganisation de la chaîne logistique inverse dédiée à cette collecte. Ce mémoire vise à apporter des contributions significatives à cette réflexion en adoptant une approche théorique suivie d'une application concrète dans l'industrie.

La question à laquelle nous essayons de répondre est la suivante : "Comment optimiser l'intégration d'une chaîne logistique réversible dans le réseau de distribution de l'entreprise NAFTAL à Batna, en utilisant une approche de Vehicle Routing Problem (VRP), afin de réduire les distances parcourues lors de la collecte des huiles usagées et minimiser les coûts associés ?"

Le travail entrepris pour répondre à cette problématique est organisé en trois chapitres.

Chapitre I : est consacré à l'état de l'art et offre une revue de littérature sur les concepts généraux de la logistique traditionnelle, la logistique inverse, ainsi que les méthodes d'optimisation.

Chapitre II : offre un aperçu de l'entreprise Naftal Batna, en abordant son état actuel, ses activités, le processus de traitement des commandes, ainsi que la situation des huiles usagées en Algérie. Enfin, il présente la problématique à résoudre.

Chapitre III : se focalise sur la modélisation du problème, en définissant la fonction objectif, les contraintes et les variables de décision, dans le but d'offrir une assistance à la prise de décision dans l'entreprise en réduisant les distances parcourues lors de la collecte des huiles usagées. Une simulation du modèle développé est réalisée, suivie d'une analyse approfondie des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principales étapes et contributions de ce projet.

Chapitre I

Etat de l'art

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer en détail les concepts fondamentaux de la logistique inverse. Nous débuterons en définissant la logistique inverse et en examinant les concepts qui lui sont associés, ensuite nous mettrons en évidence les distinctions entre la logistique inverse et la logistique traditionnelle. Nous passerons en revue les étapes clés de la logistique inverse, notamment les barrières, la collecte, le tri et le traitement. Enfin, nous aborderons les avantages de la logistique inverse en nous attardant sur les types de retours et les motivations qui incitent les entreprises à adopter cette approche.

I.1 Logistique traditionnelle et économie linéaire

I.1.1 Chaîne logistique traditionnelle

Dans la littérature, on trouve de nombreuses définitions qui traitent de la chaîne logistique à long terme, selon Pirard [2], les différentes définitions de la chaîne logistique sont synthétisées de la manière suivante : il s'agit d'un réseau d'entités réparties géographiquement, engagées dans la création de valeur et la vente de produits, collaborant pour assurer l'approvisionnement, la production et la distribution, tout en maximisant leurs profits et en répondant aux exigences des clients finaux.

Selon Beamon [3], la chaîne logistique peut être décrite comme un réseau d'entreprises interconnectées qui coopèrent pour la transformation des matières premières en produits finis, tout en assurant leur livraison aux détaillants.

La mission fondamentale de la chaîne logistique consiste à générer de la valeur. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel d'identifier clairement le cœur de compétences et de mettre en place une infrastructure réseau compétitive, exploitée de manière optimale, afin d'assurer les performances les plus élevées possibles pour l'ensemble de la chaîne logistique.

I.1.2 L'économie linéaire

L'économie linéaire est un modèle économique qui consiste à " extraire, fabriquer, utiliser puis jeter " . Ce modèle consomme des quantités importantes de ressources naturelles et d'énergie, ce qui entraîne une production de déchets importante [4].

Les matériaux, les composants et les produits circulent dans cette économie linéaire sous forme de flux unidirectionnels comme le montre la figure suivante [4] :

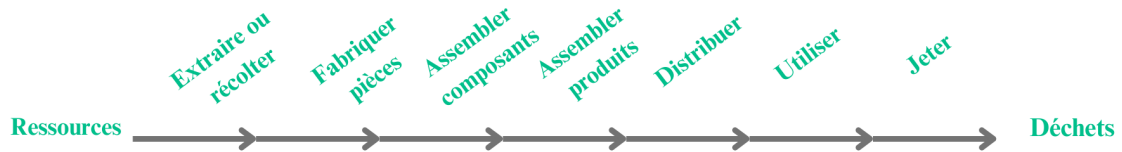


FIGURE I.1 – Le flux des matériaux, des composants et des produits dans une économie linéaire , source : Rémy le moigne, 2018

L'économie linéaire repose sur un modèle de consommation et de production linéaire, où les ressources sont extraites, transformées en produits et finalement éliminées. Ce modèle a un impact direct sur la logistique traditionnelle, qui est chargée de gérer les flux de marchandises à travers les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement.

La logistique traditionnelle est influencée par les contraintes et les exigences imposées par l'économie linéaire, ce qui peut entraîner des défis tels que la gestion des déchets.

I.1.3 Les limites de l'économie linéaire

L'économie linéaire présente plusieurs limitations, notamment :

Épuisement des ressources : L'économie linéaire repose sur l'idée que les ressources naturelles sont illimitées ou facilement remplaçables. Cependant, de nombreuses ressources, telles que le pétrole, le gaz naturel et certains minéraux, sont finies et non renouvelables, leur exploitation excessive peut entraîner leur épuisement, ce qui pose des défis majeurs pour les générations futures.

Pollution et dégradation de l'environnement : Le modèle de production et de consommation linéaire génère une quantité importante de déchets et de polluants, l'élimination de ces déchets, qu'il s'agisse de décharges ou d'incinération, a un impact négatif sur l'environnement, entraînant une dégradation des écosystèmes et des problèmes de santé publique.

L'utilisation inefficace des ressources : L'économie linéaire implique souvent une utilisation inefficace des ressources, notamment dans le domaine des métaux, de nombreux métaux, tels que l'aluminium, le cuivre et le fer, sont extraits et utilisés qu'une seule fois dans les produits, puis sont souvent jetés plutôt que d'être recyclés ou réutilisés.

Vulnérabilité aux fluctuations du marché : Les industries linéaires sont souvent vulnérables aux fluctuations des prix des matières premières. Par exemple, les fluctuations du prix du pétrole peuvent avoir un impact significatif sur les coûts de production et de transport, affectant la rentabilité des entreprises dépendantes des énergies fossiles.

Externalités négatives non assumées : Dans l'économie linéaire, les entreprises ne supportent souvent pas les coûts réels des externalités négatives qu'elles génèrent, laissant la société dans son ensemble faire face à ces conséquences, si les entreprises étaient tenues responsables de ces coûts, cela pourrait entraîner des difficultés financières majeures, voire des faillites [4].

I.2 La logistique inverse

I.2.1 Définition

La logistique inverse fait référence au processus de gestion du retour et de l'élimination des produits après leur vente aux clients. Cela inclut des activités telles que les retours de produits, les rappels, les réparations et le recyclage. L'émergence du concept de la logistique inverse remonte aux années 1970, lorsque les chercheurs ont commencé à explorer l'idée de flux inverses et de canaux de distribution inverses [5].

Guiltinan et Nwokoye [6] ont été parmi les premiers à discuter du concept de flux inverses, qui faisait référence au flux de marchandises et de matériaux du consommateur vers le fabricant ou le fournisseur. Ginter et Starling [7] ont introduit le terme "distribution inverse", qui faisait référence au processus de déplacement des produits de leur point de consommation vers leur point d'origine.

Au cours des années 1980, le concept de logistique inverse a attiré plus d'attention alors que les entreprises ont commencé à réaliser les avantages potentiels de la gestion des retours de produits et du recyclage. À mesure que les préoccupations environnementales ont augmenté, les entreprises ont commencé à mettre en place des pratiques de logistique inversée pour réduire les déchets et améliorer la durabilité.

En 1981, Lambert et Stock [8] ont fourni l'une des premières descriptions de la logistique inverse, la décrivant comme étant la direction opposée au flux principal dans une rue (Flow in a one-way street) à sens unique en raison de la majorité des expéditions de produits s'écoulant dans une direction. De même, Murphy [9] et Poist [10] ont défini la logistique inverse comme étant le mouvement de marchandises du consommateur vers le producteur dans un canal de distribution. Dans les années 1980, la logistique inverse était principalement axée sur le mouvement de matériaux dans la direction opposée au flux principal, spécifiquement du client vers le producteur. La portée de la logistique inverse au cours de cette période était principalement limitée à ce type de flux inverse dans le canal de distribution.

Dans les années 1990 et 2000, plusieurs auteurs se sont intéressés à la logistique inverse [11], [12]. Ils ont cherché à élargir la définition de la logistique inverse en s'appuyant sur celles définissant la chaîne d'approvisionnement traditionnelle. Rogers et Tibben-Lembke [13] ont proposé une définition basée sur celle du Council of Logistics Management (aujourd'hui le

Council of Supply Chain Management Professionals) : " Le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle de l'efficacité et de la rentabilité du flux et du stockage des matières premières, des produits en cours de fabrication, des produits finis et des informations connexes du point de consommation au point d'origine dans le but de récupérer de la valeur ou d'en disposer de manière appropriée ".

Aujourd'hui, la logistique inverse est devenue une partie intégrante de la gestion de la chaîne d'approvisionnement et les entreprises investissent dans des technologies et des processus pour optimiser leurs opérations de logistique inverse. En gérant efficacement les retours de produits et le recyclage, les entreprises peuvent réduire les coûts, améliorer la satisfaction des clients et améliorer leur empreinte environnementale.

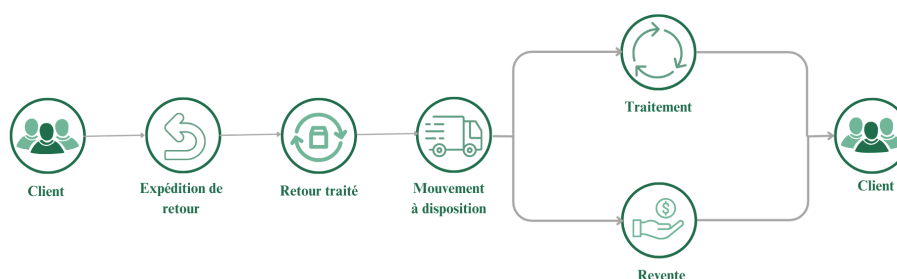


FIGURE I.2 – La logistique inverse

I.2.2 Concepts liés à la logistique inverse

La logistique verte

Le terme "logistique verte" a été introduit pour la première fois dans les années 1980 pour décrire un système logistique et des méthodes utilisant des technologies et équipements avancés afin de minimiser l'impact négatif sur l'environnement [14]. Aujourd'hui, la définition de la logistique verte s'est élargie pour englober tous les efforts visant à minimiser l'impact environnemental des activités logistiques. En d'autres termes, la logistique verte est un type de logistique qui cherche à atteindre un équilibre entre l'efficacité économique et la durabilité environnementale. Les principales problématiques environnementales abordées par la logistique verte comprennent la réduction de la consommation de ressources non renouvelables, la minimisation des émissions et de la pollution sonore, la réduction de la congestion routière pendant le transport et la gestion sûre des déchets. La relation entre la logistique verte et la logistique inverse est illustrée dans la Figure 3 [15].

La logistique inverse est souvent confondue avec la logistique verte, car les deux concepts partagent plusieurs similitudes, telles que leur intérêt pour le recyclage, la remanufacturation et l'emballage réutilisable. Cependant, une distinction fondamentale entre les deux est que tandis que la logistique verte met l'accent sur l'impact environnemental de toutes les activités logistiques (avec une attention particulière portée sur la logistique en amont, c'est-à-dire de la production aux clients), la logistique inverse se concentre sur la récupération de la valeur des biens, plutôt que sur la réduction de l'impact environnemental des opérations logistiques.

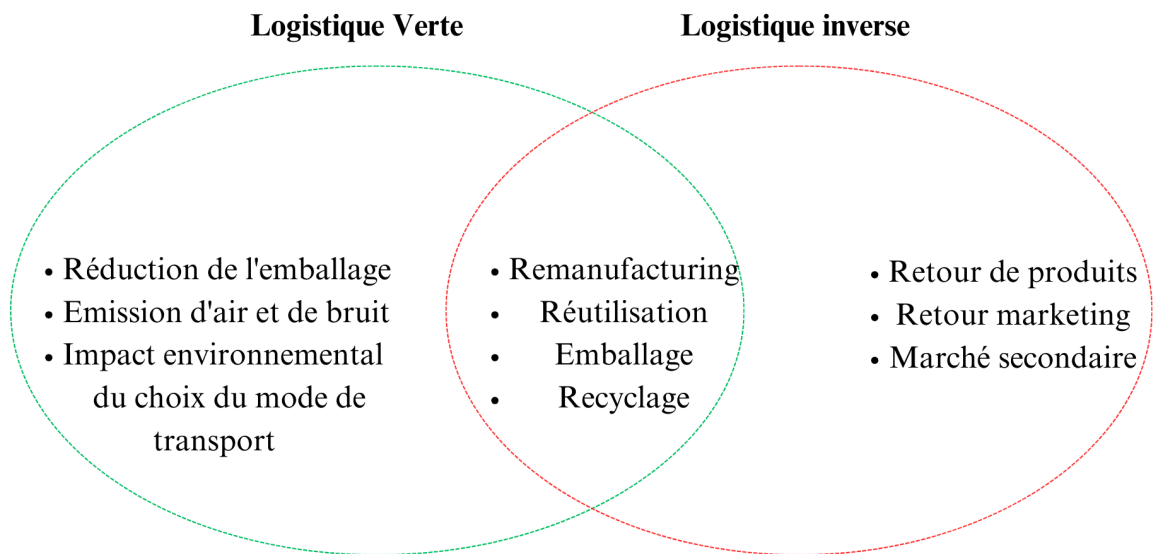


FIGURE I.3 – Relation entre la logistique inverse et la logistique verte , source : Rogers and Tibben-Lembke, 2001

La gestion des déchets

Dans cette section, il est essentiel de définir le concept de gestion de la récupération des produits en raison de son étroite relation avec la gestion des déchets et la logistique inverse.

La gestion de la récupération des produits englobe toutes les activités liées à la gestion des produits, des composants et des matériaux utilisés et mis au rebut, qui relèvent de la responsabilité d'une entreprise manufacturière. L'objectif de la gestion de la récupération des produits est de maximiser la valeur économique et écologique en réduisant au maximum les quantités de déchets finaux, conformément à l'étude menée par Thierry et al[16].

Les auteurs définissent la gestion de la récupération des produits en examinant différentes options de récupération, telles que la réutilisation directe y compris la revente, la gestion des

produits récupérés (réparation, remise à neuf, remanufacturation, cannibalisation, recyclage) et la gestion des déchets (incinération et mise en décharge).

La mise en place de la gestion de la récupération des produits et de la réutilisation directe nécessite la mise en place d'une infrastructure logistique adaptée pour le flux des produits utilisés et récupérés, ce qu'on appelle communément la logistique inverse [17].

Les déchets font référence aux matériaux rejetés par la production, les entreprises, les services, la vie quotidienne ou d'autres activités. En revanche, la gestion des déchets est le processus visant à prévenir, réduire, surveiller, classer, collecter, transporter, réutiliser, recycler et manipuler les déchets. Bien que la logistique inverse et la gestion des déchets partagent certains processus tels que la collecte, le transport, la classification, ainsi que des solutions telles que le recyclage et la réutilisation, il existe plusieurs différences entre elles.

Tout d'abord, les objets de la gestion des déchets sont des produits qui ont été éliminés car ils n'ont plus ou très peu de valeur. En revanche, les objets de la logistique inversée sont des matières premières, des produits à vendre, des produits, des emballages, etc., tant qu'ils ont encore une certaine valeur récupérable. [18]. Par conséquent, les résultats de la logistique inverse peuvent être réintroduits dans la chaîne d'approvisionnement ou entrer dans une autre chaîne d'approvisionnement. Ensuite, une autre différence entre la gestion des déchets et la logistique inverse est leur objectif. La gestion des déchets traite principalement de la gestion des déchets après leur production. En revanche, la logistique inverse vise à prévenir ou à minimiser la génération de déchets dans le processus de production, plutôt que de simplement le gérer après sa création, son objectif ultime est de réduire la consommation de ressources et les déchets.

I.3 Logistique inverse et logistique traditionnelle

La logistique inverse est un système qui est apparu dans les entreprises pour mieux gérer les retours de produits. Selon Lu et al [19], la logistique inverse est née pour répondre à ce besoin des entreprises. La logistique traditionnelle n'est souvent pas conçue pour gérer les retours, car ils ne sont pas considérés comme une priorité pour l'entreprise [20]. Witt [21] mentionne également que le nombre de ventes hors magasin va augmenter dans les années à venir et que 15% de ces achats seront retournés. Le taux de retour varie selon l'industrie, avec des taux allant de 2 à 3% pour les produits domestiques chimiques à 50% pour les revues de publication, selon les résultats d'un sondage mené par Rogers et Tibben-Lembke [13].

Le tableau 1, adapté de Rogers et al [15], illustre les principales distinctions entre la logistique traditionnelle et la logistique inverse.. L'une des premières différences est la difficulté à prévoir les retours, qui sont souvent aléatoires. La distribution se fait de manière inverse, c'est-à-dire qu'elle part de plusieurs points vers un seul point. La qualité et l'emballage des retours ne sont pas uniformes, et les options de disposition ne sont pas bien définies. La fixation du prix est complexe, car elle dépend de nombreux facteurs. La vitesse de traitement n'est pas consi-

dérée comme une priorité, contrairement à la logistique traditionnelle. Les coûts de distribution sont plus difficiles à identifier et la gestion des stocks est complexe. Les entreprises doivent également tenir compte du cycle de vie plus court des produits. En ce qui concerne la négociation avec le client, d'autres considérations doivent être prises en compte. Sur le plan marketing, la revente des produits retournés est plus complexe, et la visibilité sur le processus est moins transparente.

TABLE I.1 – Distinction entre logistique inverse et logistique traditionnelle

Aspects	Logistique inverse	Logistique traditionnelle
Prévision	plus difficile	relativement simple
Points de distribution	Plusieurs à un	un à plusieurs
Qualité des produits	Non uniforme	uniforme
Emballage des produits	Non uniforme	uniforme
Destination / route	Indéfinie	définie
Options de disposition	mal définies	claires
Prix	dépend de plusieurs facteurs	relativement uniforme
Importance de la vitesse de disposition	pas considérée comme priorité	reconnue
Coût de distribution	moins facilement identifiable	facilement identifiable
Gestion des stocks	incohérence	cohérence
Cycle de vie du produit	plus complexe à gérer	facile à gérer
Négociation	compliquée	directe entre les parties
Méthode de marketing	compliquées par plusieurs facteurs	bien connues
Visibilité processus	moins transparent	plus transparent

En résumé, la logistique inverse est un système réactif qui est déclenché par le retour d'un produit. La gestion des retours est plus complexe que la logistique traditionnelle en raison de la difficulté à prévoir les retours, de la qualité et de l'emballage des produits retournés, des coûts de distribution difficiles à identifier et du cycle de vie plus court des produits. La fixation du prix et la négociation avec le client sont également plus complexes, tout comme la revente des produits retournés.

I.4 les différentes étapes de la logistique inverse

I.4.1 Barrière

Cette phase implique le tri des produits retournés à l'entreprise. Selon Rogers et Tibben Lemcke [15], cette étape consiste à décider quels produits peuvent être acceptés dans le système de logistique inverse de l'entreprise. L'objectif est d'éviter que des produits qui n'appartiennent pas à l'entreprise ou pour lesquels elle n'a aucune obligation contractuelle ou légale ne soient retournés. Habituellement, cette étape conduit à l'approbation du retour et est suivie par la collecte du produit. Lorsqu'une demande de retour est faite, des informations sur le produit retourné doivent être fournies.

I.4.2 La collecte

Selon Rogers et Tibben-Lembke [15], la collecte est le processus de regroupement des produits en vue de les acheminer vers le système de logistique inverse. Cette étape implique deux phases distinctes : la récupération des produits ainsi que leur transport de retour.

La récupération : La prise en charge de l'enlèvement des produits à retourner peut être attribuée au client, à une tierce partie ou à l'entreprise elle-même. Dans le cas de produits coûteux ou complexes, il est courant que l'entreprise mette en place un réseau de distribution et de réparation pour couvrir toutes les zones géographiques. Il convient de prendre en compte la raison du retour pour déterminer les mesures à mettre en place.

Le transport de retour : Selon la complexité du réseau de distribution inverse, l'entreprise doit trier et consolider les retours avant de les acheminer vers leurs destinations finales. Les produits retournés sont dirigés dans différentes directions en fonction de la raison de leur retour ou de leur état, comme l'indiquent Rogers et Tibben-Lembke [15]. Dans certains cas, le produit ne doit pas être transporté plus loin en raison de son état ou de sa nature, et il est recyclé immédiatement. Lorsque le produit retourné arrive à destination, il est mis en attente pour l'étape suivante, le tri.

I.4.3 Le Tri

Selon Rogers et Tibben-Lembke [15], l'étape du tri dans la logistique inverse englobe plusieurs activités. Tout d'abord, la réception du produit retourné doit être effectuée et vérifiée afin de s'assurer que les conditions de retour sont respectées (produit, quantité, numéro d'autorisation, état visuel, etc.). Si une divergence est constatée entre la demande de retour et le produit retourné, l'entreprise doit communiquer avec le client pour trouver une solution. Dans certains cas, un produit de remplacement est expédié ou un crédit est accordé au client. Une fois triés, les produits sont consolidés et expédiés vers le traitement approprié en fonction de leur état et de la raison de leur retour. La complexité de cette étape varie en fonction de la taille et de la complexité du réseau de l'entreprise. Dans le cas d'un seul centre de traitement, l'étape consiste à trier, consolider et acheminer les produits vers les traitements appropriés sur place. Cependant, dans le cas d'un réseau complexe, la gestion des stocks en transit et le transport entre les différents sites deviennent des activités importantes à cette étape.

I.4.4 Le traitement

La quatrième étape du processus de gestion des retours est la décision de disposition, qui implique de déterminer le type de traitement approprié pour chaque produit retourné. Cette étape se compose de trois activités. Tout d'abord, une inspection approfondie du produit est effectuée pour s'assurer que celui-ci est dirigé vers le traitement adéquat. Bien que le choix préliminaire de traitement ait été effectué lors de l'étape précédente de tri, il peut encore être

modifié à ce stade. Ensuite, la gestion des stocks est assurée pour vérifier que le produit peut être inclus dans le traitement sélectionné. Enfin, la dernière activité est le traitement proprement dit. Il existe plusieurs choix de traitements possibles pour les produits retournés, tels que le reconditionnement, la réparation, la réutilisation, la remise à neuf, la mise à niveau, le recyclage, la donation, la revalorisation, la vente sur d'autres marchés ou l'élimination.

Le choix de Traitement

Réemballer : Le traitement de réemballage consiste à réemballer les produits retournés, principalement des retours commerciaux, tels que les excès de stocks des revendeurs ou les produits non ouverts. L'objectif est de remettre rapidement le produit en stock pour une future vente. Lors de l'inspection, si l'emballage ne répond pas aux critères de qualité, le produit est envoyé vers ce traitement. Toutefois, si l'état du produit est incertain, il est plutôt envoyé pour un test fonctionnel et, si nécessaire, dirigé vers un traitement approprié, tel que la réparation. L'entreprise peut également choisir de mettre à niveau le produit afin d'optimiser les profits lors de la revente.

Réparer : Le traitement de réparation consiste à remettre un produit endommagé ou non fonctionnel en état de marche. Avant la réparation, une étape de diagnostic est effectuée pour déterminer si le produit est réparable ou s'il doit être recyclé. Si la réparation est réussie, un test fonctionnel est effectué pour s'assurer de la qualité du produit. Si le produit est de qualité suffisante, il peut être remis en stock ou vendu sur d'autres marchés. Cependant, l'entreprise ne doit pas tenter de réparer le produit plus d'un nombre limité de fois pour minimiser les coûts. Si le nombre limite de tentatives de réparation est atteint, le produit est recyclé ou rebuté.

Remise à neuf : La remise à neuf est un processus qui consiste à réusiner une pièce ou un composant défectueux en vue de leur réutilisation. L'objectif est de remettre le produit à l'état neuf ou presque en remplaçant une série de pièces et de composants. Le processus est similaire à celui de la réparation, sauf que la remise à neuf implique le remplacement de plus de pièces. Le processus commence par un diagnostic pour déterminer si le produit est réparable ou s'il doit être envoyé au recyclage. Après la remise à neuf, un test fonctionnel est effectué pour confirmer que le produit fonctionne correctement. Si le produit ne répond pas aux standards de qualité de l'entreprise, il peut être vendu sur d'autres marchés. Si le produit est défectueux, il peut être envoyé pour réparation. Si la réparation n'est pas possible, le produit est mis au rebut ou recyclé. Une fois que la remise à neuf est réussie, le produit est emballé pour remettre en stock ou pour être retourné au client en fonction de la situation.

Mettre à niveau : La mise à niveau consiste à moderniser un produit en remplaçant ses pièces, composants ou modules obsolètes par ceux de la version courante, si cela est possible. Ce processus permet à un ancien produit de bénéficier des améliorations du modèle actuel, augmentant ainsi sa valeur de revente. Bien que similaire à la remise à neuf, la mise à niveau n'a pas pour objectif de prolonger la durée de vie du produit, mais

plutôt d'améliorer ses performances ou son apparence.

Réutiliser : Le processus de réutilisation consiste à remettre en stock le produit ou ses composants pour une utilisation ultérieure. Cela permet de réduire les coûts et l'impact sur l'environnement en réutilisant les biens. Le terme "récupérer" est synonyme de "réutiliser". Avant de procéder à la réutilisation d'un bien, il est important de vérifier son état. Si le produit est en bon état, il peut être remis en stock immédiatement. Si le produit nécessite une action, il doit être réparé ou remis en état avant d'être réutilisé.

Recycler : Le recyclage consiste à récupérer la matière première des produits, permettant ainsi à l'entreprise de réduire l'épuisement des ressources naturelles. Ce processus implique la décomposition des produits et la séparation des différents matériaux tels que les métaux ferreux ou non ferreux, les plastiques, les verres, les papiers, etc. Les matériaux séparés sont placés dans des contenants appropriés pour leur revente ou leur réutilisation future. La qualité du tri des matériaux est un facteur déterminant pour leur valeur marchande. Toutefois, les matériaux non recyclables sont rejetés

Donner : Le don consiste à offrir des produits encore fonctionnels à des organismes sans but lucratif afin de leur donner une seconde vie plutôt que de les recycler. L'objectif de cette pratique est de maximiser l'utilisation des produits et de soutenir des organisations caritatives. Un exemple de donner serait de donner des vêtements en bon état à une organisation caritative qui les redistribuera à des personnes dans le besoin. Ou encore, donner un ancien ordinateur qui fonctionne encore à une école ou une association qui en a besoin pour leurs activités.

Éliminer : Le processus de rebut consiste à envoyer des produits ou des matériaux à l'enfouissement ou à l'incinération, ce qui est très préjudiciable à l'environnement. Il est donc essentiel de s'assurer qu'aucune substance dangereuse n'est présente dans les déchets. Si tel est le cas, il est nécessaire de traiter ces substances conformément aux lois et politiques environnementales de l'entreprise. Enfin, les déchets sont envoyés vers un site d'enfouissement ou d'incinération.

I.4.5 Types de retours

Actuellement, les échanges ou remboursements de produits ne répondant pas aux attentes des clients sont généralement gérés par les détaillants à travers leur service après-vente. Ces échanges ou remboursements sont considérés comme des retours commerciaux et sont le type de retour le plus connu des consommateurs. Cependant, il existe d'autres types de flux inverses de produits auxquels les organisations peuvent être confrontées. Ces catégories de retours de produits ont été identifiées par Fleischmann [22] comme suit :

Retours de produits inutilisés : Ces retours se produisent lorsqu'un client retourne un produit qui n'a pas été utilisé ou ouvert.

Retours commerciaux : Ces retours sont liés à des produits qui ont été achetés par un client mais qui ne répondent pas à ses attentes.

Retours de produits sous garantie : Ces retours se produisent lorsque des produits sont retournés parce qu'ils ne fonctionnent pas correctement pendant la période de garantie.

Rebuts et produits dérivés des activités du réseau : Ces retours se réfèrent aux produits qui ne peuvent plus être vendus en raison de dommages ou de défauts, ainsi qu'à des produits qui ont été retirés du marché pour des raisons de sécurité. Par exemple, des produits périmés ou endommagés, des appareils électroniques qui doivent être éliminés en toute sécurité ou des produits rappelés en raison d'un défaut de fabrication.

Emballages : Les emballages peuvent être retournés lorsqu'ils ne sont pas nécessaires ou lorsqu'ils sont endommagés.

Chaque situation impliquant le retour de produits comporte des spécificités uniques. Il est possible de retourner les articles à l'une des unités d'affaires de la chaîne logistique dans un délai spécifique, que ce soit par un acteur de la chaîne d'approvisionnement ou par le consommateur lui-même. En fonction du contexte du retour, la condition de l'article peut différer de celle d'origine. Les articles retournés peuvent être acheminés vers l'un des acteurs de la chaîne d'approvisionnement d'origine ou vers un acteur d'une chaîne alternative pour être traités en vue de leur réutilisation éventuelle. Les organisations ont différentes raisons, comme des considérations économiques ou environnementales, de s'intéresser à leurs retours de marchandises. L'objectif ultime est de maintenir la rentabilité de leur fonctionnement tout en respectant les contraintes et les capacités auxquelles elles sont confrontées. Fleischmann [22] présente un tableau, résumant les caractéristiques des différents types de flux associés à la logistique inversée.

TABLE I.2 – les caractéristiques des différents types de flux associés à la logistique inversée.
Fleischmann (2001)

Description	Temps de cycle	Incitants	Traitement	Acteurs	Exemples
Retours de produits utilisés	Long	Economie, Marketing	Reconditionnement, recyclage	Chaîne originale, chaîne alternative	Équipements électroniques valorisés, recyclage de tapis, rehaussement de pneus
		Législation	Recyclage	Chaîne originale	Décret des biens blancs et bruns (Pays-Bas)
		Récupération de valeur	Reconditionnement, recyclage, élimination	Chaîne originale	Collecte de cartouches d'encre, récupération de composants d'ordinateur
Retours commerciaux	Court, moyen	Marketing	Réutilisation, reconditionnement, recyclage, élimination	Chaîne originale	Surplus de pièces détaillants, vêtements, cosmétiques, retours d'achats pour catalogue
Retours de produits sous garantie	Moyen	Marketing, législation	Réparation, recyclage, élimination	Chaîne originale	Appareils ménagers défectueux, pièces de rechange
Produits dérivés et rebuts de production	Très court	Économie, législation	Reconditionnement, recyclage	Chaîne originale, chaîne alternative	Industrie pharmaceutique, composants d'acier
Emballage	Court	Économie	Réutilisation	Chaîne originale, chaîne alternative	Palettes, caisses, bouteilles
		Législation	Recyclage	Chaîne originale	Système Green Dot (Allemagne)

I.4.6 Motivations

Les raisons qui poussent à s'engager dans la logistique inverse sont diverses selon les travaux de Rogers et Tibben-Lembke [13], Carter et Ellram [23], Langnau [24] et Dowlatshahi . La littérature identifie les motivations principales suivantes : les réglementations, la stratégie marketing, la demande des consommateurs pour des produits respectueux de l'environnement, les considérations économiques, ainsi que les préoccupations écologiques et environnementales.

Réglementation : Une des raisons pour lesquelles les entreprises pratiquent la logistique inverse est liée aux lois et réglementations en vigueur dans plusieurs pays visant à réduire la quantité de produits envoyés vers les sites d'enfouissement. Par exemple, la directive de la Communauté européenne sur le matériel d'emballage stipule que le client peut laisser les emballages au détaillant qui se charge du recyclage. Cependant, pour les entreprises, être à jour vis-à-vis des lois et règlements environnementaux est un défi majeur. Des bases de données telles que celle proposée par Stasiak et al [25], facilitent la recherche et la mise à jour des réglementations environnementales. Les produits électroniques ayant un court cycle de vie sont souvent jetés, mais des programmes tels que CARE VISION 2000 [26] cherchent à augmenter la valeur du recyclage en développant des méthodes de démontage, de séparation de matériaux et de récupération de produits. Le recyclage des véhicules automobiles est également en place depuis plusieurs années. Il consiste en deux étapes :

la première consiste à démonter les pièces de valeur pour les réutiliser, tandis que la deuxième consiste à envoyer le reste de la carcasse au recyclage pour les matériaux.

Les constructeurs automobiles comme BMW conçoivent des voitures faciles à désassembler et les pièces reconditionnées peuvent être réutilisées dans de nouveaux véhicules.

la demande des produits respectueux de l'environnement : En Allemagne, une initiative appelée "Green Dot" [27] a été mise en place pour encourager les entreprises à prendre en charge le recyclage de leurs emballages. Les entreprises membres peuvent apposer un logo représentant un rond vert sur leurs produits pour signaler aux clients que le matériau d'emballage sera recyclé par Duals System Deutschland. Cette pratique s'est étendue à d'autres pays membres de l'Union européenne. Selon Byrne et Deeb [28], l'intérêt croissant du public pour des produits respectueux de l'environnement a également incité les entreprises à s'engager dans la logistique inverse. En effet, une enquête menée par Transportation et Distribution en 1993 a révélé que 80% des personnes interrogées étaient disposées à payer un prix plus élevé pour des produits ayant un impact environnemental réduit.

Facteur économique : Le facteur économique joue également un rôle clé dans la mise en place de programmes de logistique inverse. Dans de nombreux secteurs, les entreprises sont contraintes par des réglementations qui les obligent à adopter une approche efficace en matière de gestion des retours, même si cela n'est pas toujours rentable. Selon Byrne

et Deeb [28], le principal obstacle pour les entreprises qui souhaitent s'engager dans la logistique inverse réside dans le calcul du retour sur investissement. Cependant, si la reprise de produits usagés peut générer des économies par rapport à la production de produits neufs ou à l'achat de matières premières neuves, alors un système de logistique inverse peut être mis en place [22].

Impact environnemental : Le quatrième aspect important de la logistique inverse concerne l'impact environnemental et écologique, qui a été renforcé par l'introduction de la norme ISO 14000. Selon Murphy et al[9], les publications récentes en logistique traitent désormais de l'environnement et du recyclage, soulignant que la personne responsable de la logistique joue un rôle clé dans la gestion de la pollution, de la congestion, de la gestion des déchets et de la préservation des ressources naturelles.

Selon Wu et Dunn [29], une gestion efficace et une sensibilisation aux implications environnementales des activités de logistique peuvent considérablement réduire leur impact négatif. Carter et Ellram [23] soulignent que, même sans pressions externes, les dirigeants peuvent avoir du mal à convaincre les membres de l'organisation de l'importance d'un programme respectueux de l'environnement, ils concluent que des pressions internes et externes sont nécessaires pour stimuler l'implantation de pratiques de logistique inverse écologiques et durables.

I.5 Optimisation : Principes fondamentaux

I.5.1 Définition de l'optimisation

L'optimisation consiste à sélectionner le meilleur élément parmi plusieurs options favorables dans un ensemble donné.

Un problème d'optimisation est caractérisé par un espace de recherche, une ou plusieurs fonctions objectifs et un ensemble de contraintes .

I.6 Problème de l'optimisation

Un problème d'optimisation selon Patrick et Petrowski [30] est noté $P(X, f)$, se compose d'un ensemble réalisable ou admissible X (qui n'est pas vide) et d'une fonction objectif f qui attribue à chaque élément x de l'ensemble X une valeur scalaire dans R . Les éléments de X sont appelés solutions réalisables.

La résolution du problème $P(X, f)$ consiste à trouver, parmi les solutions réalisables, celle qui minimise ou maximise f .

Dans le cas d'un problème de minimisation, cela revient à trouver une solution $x^* \in X$ telle que $f(x) \geq f(x^*)$ pour tout élément x dans X . Une telle solution est qualifiée d'optimale et sera notée $x(X, f)$.

I.7 Le Problème de transport

le problème de transport est un défi qui existe depuis longtemps et de nombreuses entreprises y sont confrontées quotidiennement, le problème de base consiste à attribuer chaque client à une seule route, mais cela ne représente qu'une minorité d'entreprises.

Dans la plupart des cas, les entreprises doivent prendre plusieurs décisions, telles que l'ordre de desserte des clients, l'utilisation d'une flotte de véhicules à partir d'un ou plusieurs entrepôts, ainsi que l'affectation des clients et des camions à différentes routes.

Parmi les problèmes de transport les plus couramment rencontrés, on retrouve le problème du voyageur de commerce (Traveling Salesman Problem - TSP) et le problème de tournée de véhicules (Vehicle Routing Problem - VRP).

Le TSP (Traveling Salesman Problem), ou problème du voyageur de commerce, est un problème mathématique d'optimisation combinatoire qui vise à trouver la tournée optimale pour un commerçant devant visiter un ensemble spécifique de villes. Cette tournée doit respecter la

contrainte selon laquelle chaque ville doit être visitée exactement une fois, en plus de revenir à la ville de départ, l'objectif de résoudre ce problème est de minimiser la distance totale parcourue.

Le VRP (Vehicle Routing Problem), un problème de tournées de véhicules, fait partie des problèmes d'optimisation. Son objectif est de déterminer les itinéraires à suivre pour un ensemble de véhicules devant passer par plusieurs positions géographiques dispersées, que ce soit pour des livraisons, des interventions ou des visites, l'objectif est de minimiser les coûts associés à ces itinéraires, notamment en termes de distance. [31]

I.8 Formulation mathématique du VRP

La formulation formelle la plus couramment utilisée dans la littérature pour le problème de tournée de véhicules est définie par une variable binaire x , qui est définie comme 1 si le véhicule k parcourt l'arc (v_i, v_j) et est notée x_{ijk} . Cette formulation, qui a été adoptée par Laporte [32], s'exprime de la manière suivante :

Considérons un graphe complet $G = (V, A)$ composé de $|V|$ nœuds, où chaque nœud représente une position géographique.

Soit $d \in V$ représentant le nœud du dépôt où n véhicules de capacités identiques Q sont stationnés. Pour chaque i allant de 1 au nombre de clients, le nœud $v_i \in V \setminus \{d\}$ désigne le client i , chaque client est caractérisé par une demande de quantité q_i , pour chaque paire $\{i, j\} \in V$, l'arc $a_{ij} \in A$ représente le chemin entre les clients i et j , permettant ainsi un trajet entre les deux clients, chaque arc a_{ij} est caractérisé par une distance (coût du trajet) c_{ij} .

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si } (i, j) \text{ est parcouru par le véhicule } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{I.1})$$

Avec les contraintes suivantes :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m X_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq j \leq n \quad (\text{I.2})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m X_{ijk} = 1 \quad \forall 1 \leq j \leq n \quad (\text{I.3})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n X_{ilk} = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ljk} \quad (\text{I.4})$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0jk} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (\text{I.5})$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i0k} = 1 \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (\text{I.6})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ijk} \cdot q_i \leq Q_k, \quad \forall 1 \leq k \leq m \quad (\text{I.7})$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall 0 \leq i, j \leq n; 1 \leq k \leq m \quad (\text{I.8})$$

Les contraintes (I.2) et (I.3) exigent que chaque client soit servi exactement une fois par un et un seul camion, tandis que la contrainte (I.4) garantit la conservation du flot.

Les contraintes (I.5) et (I.6) assurent que chaque tournée commence et se termine par dépôt.

La contrainte (I.7) représente la contrainte de capacité des véhicules et la contrainte (I.8) concerne la binarité de la variable de décision.

L'objectif du problème de tournées de véhicules (VRP) est de déterminer un ensemble de tournées (séquences d'arcs) pour satisfaire la demande de tous les clients, tout en respectant les contraintes de capacité des véhicules, et de minimiser le coût total du déplacement (la somme des distances $c_{i,j}$ associées aux arcs constituant les tournées).

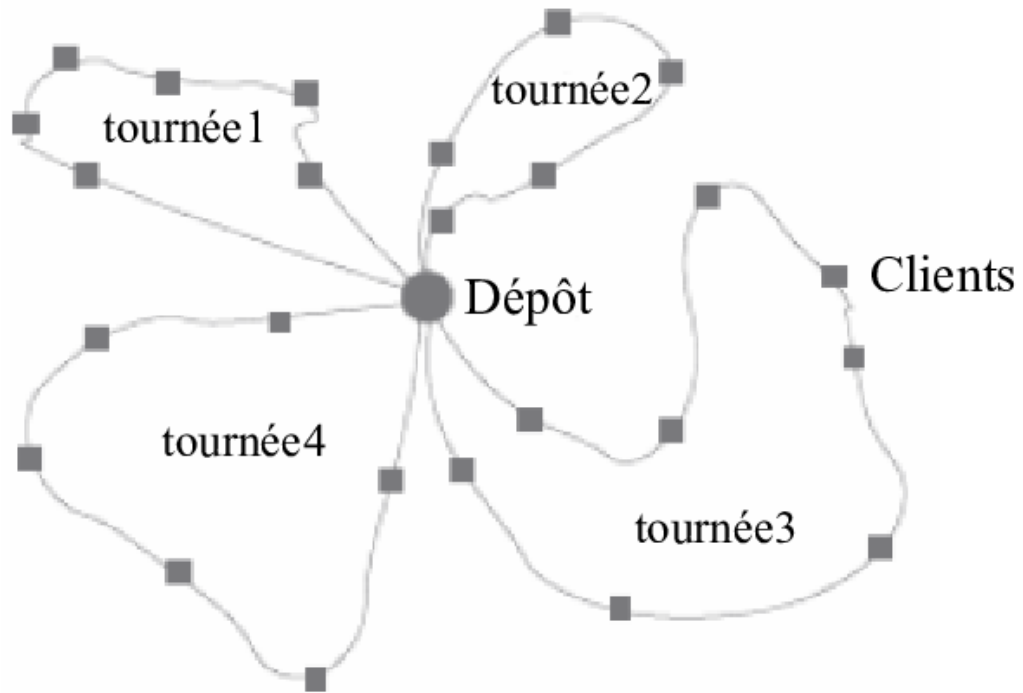


FIGURE I.4 – Illustration du problème des tournées de véhicules, source : Hani Guenoune and Abdelmadjide Boukra, 2014

I.9 Les méthodes de résolution

On peut distinguer deux grandes familles de méthodes [31] : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques.

Les méthodes exactes : se caractérisent par une exploration systématique de l'espace de recherche, ce qui leur permet de trouver la solution optimale en examinant chaque solution potentielle de manière méthodique. Bien que ces méthodes aient été utilisées avec succès pour résoudre divers problèmes, elles rencontrent des difficultés lorsque la taille du problème devient importante, car le temps nécessaire pour obtenir un bon résultat augmente de manière exponentielle.

Les méthodes approchées : se caractérisent par une exploration aléatoire de l'espace de recherche, cela leur permet de trouver rapidement une bonne solution au problème, mais sans garantir l'optimalité. Les méthodes stochastiques sont généralement composées d'heuristiques et de métaheuristiques, qui utilisent des techniques d'optimisation probabiliste pour trouver des solutions de qualité dans un temps réduit.

La figure ci-dessous montre un exemple de méthodes de résolution [33] :

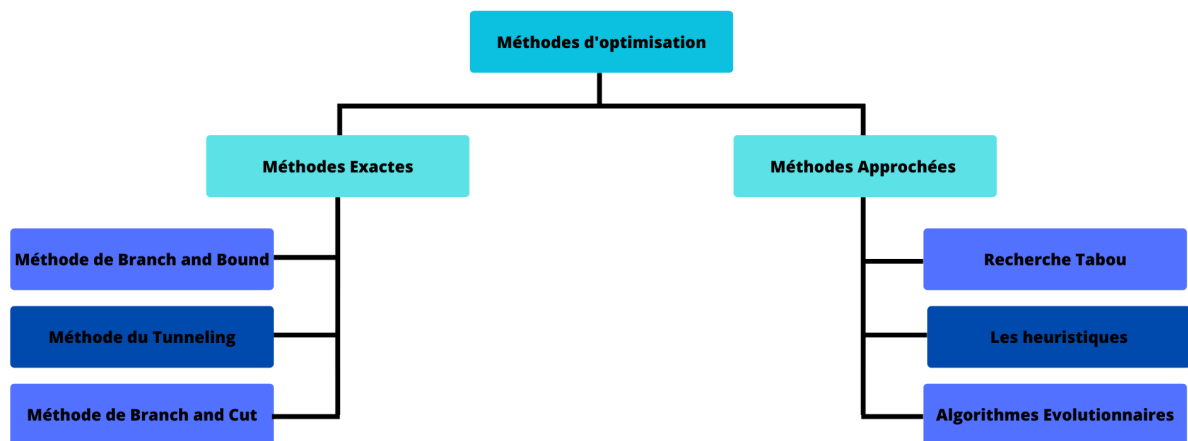


FIGURE I.5 – Exemple de méthodes de résolution d'un problème d'optimisation, source : Alain brero, 2001

Conclusion

À travers cette étude de l'état de l'art, nous avons identifié les principes fondamentaux de la logistique inverse. Nous avons également abordé les limites de l'économie linéaire, de plus nous avons examiné en détail les différentes étapes clés du processus de logistique inverse, et enfin nous avons exploré les notions d'optimisation et le problème de transport, en nous appuyant notamment sur le problème du VRP (Vehicle Routing Problem), le chapitre suivant abordera l'étude de l'existant à travers le cas d'étude du CDD 2058 (Centre de Distribution Naftal Batna).

Chapitre II

Cas d'étude CDD 2058 (Centre de distribution Naftal Batna)

II.1 Introduction

Le cas d'étude abordé concerne une entreprise opérant dans le secteur de l'énergie en Algérie : Naftal, qui est une entreprise nationale spécialisée dans la distribution et la commercialisation de produits pétroliers.

II.2 Historique de Naftal

Naftal est une entreprise algérienne qui a été créée le 6 avril 1981 sous la dénomination "ERDP". Au moment de sa création, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers en Algérie étaient entièrement dominées par les grandes sociétés multinationales telles que ESSOS, SHELL et BRITISH PETROLEUM. À partir du 1er janvier 1982, l'ERDP est devenue responsable de l'ensemble des activités liées à l'industrie pétrolière en Algérie, y compris la commercialisation et la distribution des produits pétroliers. Toutefois, en 1987, l'activité de raffinage a été séparée de l'activité de distribution par le décret N°87199 du 27 août, créant ainsi deux entreprises distinctes :

NAFTEC : chargée du raffinage du pétrole

NAFTAL : chargée de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers

NAFTEC et NAFTAL sont toutes deux des entreprises algériennes créées pour répondre aux besoins en hydrocarbures du pays. En 1998, Naftal a été transformée en Société par actions au capital social de 6 650 000 000 DA et est devenue une filiale à 100% du holding Sonatrach Valorisation des Hydrocarbures (SVH).

En 1999, Naftal a créé STPE, une société chargée du transport des produits énergétiques par chemin de fer, en partenariat avec SNTF. Le capital social de Naftal a été augmenté de 6,65 milliards de DA à 40 milliards de DA en 2023, conformément à la résolution de l'Assemblée Générale Extraordinaire (AGEX).

La mission principale de Naftal est la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national, ainsi que la conception, l'élaboration et la distribution de lubrifiants pour moteurs de deux-roues, automobiles et autres véhicules. Naftal distribue également du gaz butane et propane et a pour objectif de développer la distribution de gaz pour les véhicules GPL et des combustibles pour l'industrie et le chauffage. Naftal a su s'imposer comme leader incontesté de la distribution de produits pétroliers en Algérie et en Tunisie, grâce à un réseau de distribution bien développé et des produits de qualité.

II.3 Les trois grandes branches de Naftal

NAFTAL est une entreprise publique qui comprend trois grandes divisions, à savoir :

- la branche GPL (Gaz du Pétrole Liquéfié)
- la branche carburants,
- la branche commercialisation.

Le rôle de ces divisions est de travailler avec la direction générale pour élaborer une stratégie de distribution et de commercialisation de produits pétroliers tout en garantissant une bonne gestion des centres opérationnels de la société.

II.3.1 Présentation du branche GPL

En 1998, la Branche GPL a été créée pour gérer toutes les activités liées aux GPL (Gaz du Pétrole Liquéfié) de NAFTAL sur le territoire national, notamment :

- le transport, le stockage, l'enfûtage, la distribution, la promotion et le développement.

Les objectifs principaux de la branche sont :

- d'organiser et de promouvoir l'activité d'enfûtage et de distribution des GPL (transport du GPL vrac par cabotage, canalisation et camion, stockage primaire et secondaire, transport par route des GPL conditionnés),
- de commercialiser les GPL vrac et de conditionner leurs emballages et accessoires,
- de veiller au respect des normes et des consignes de sécurité de toute la chaîne des GPL (transport, installations d'enfûtage et de stockage, bouteilles, citernes, accessoires, etc.).

II.4 L'infrastructure de NAFTAL

Potentiel humain et matériel

NAFTAL dispose d'une ressource considérable en termes de personnel et de matériel pour mener à bien ses missions, qui se présente de la manière suivante :

- Le personnel de NAFTAL : composé de 33000 agents, dont :
 - Agents permanents : 20 189 (60,9%)
 - Cadres permanents : 2 615 (12,9%)
 - Maîtrises permanentes : 7 394 (36,6%)
 - Exécutions permanentes : 10 180 (50,4%)
 - Agents temporaires : 12 811 (39,1%)
 - Cadres temporaires : 437 (3,4%)

- Maîtrises temporaires : 1 149 (9,0%)
- Exécutions temporaires : 6 140 (47,7%)

Potentiel matériel

Afin d'assurer la distribution et la commercialisation de carburants, NAFTAL dispose d'un important parc de transport composé de :

- 67 centres de dépôts pour la distribution et le stockage de carburants, lubrifiants et pneumatiques.
- 44 usines d'emplissage de GPL.
- 16 unités de production de bitume.
- 55 dépôts de ravitaillement pour les aéronefs et les centres marins.
- 59 dépôts relais pour le stockage de GPL.
- 576 stations-service, dont 901 sont privées, représentent 80% de la consommation nationale de produits pétroliers.
- 3250 véhicules de distribution et 1750 engins de manutention et de maintenance.
- 14550 points de vente de GPL.
- 380 km de pipelines pour les différents produits et pour le GPL.

II.5 L'organisation de la société Naftal

Le schéma d'organisation de NAFTAL, présenté dans la Figure 4, se divise en plusieurs niveaux hiérarchiques. Le niveau le plus élevé est :

La Direction Générale : dont la responsabilité est de définir la stratégie globale de l'entreprise et d'assurer la cohérence de ses activités. Cette direction est dirigée par un président directeur général, qui est épaulé par :

- Un comité exécutif
- Un comité directeur
- Des conseilles
- Chef de projet

La direction exécutive : est responsable de plusieurs domaines d'activités, notamment :

- La définition de la politique et de la stratégie de la société,
- La prise en compte des tendances futures,
- La conception et la mise en place d'outils de pilotage et de contrôle, La coordination et la cohérence du groupe.
- La responsabilité de la gestion des structures opérationnelles, telles que la branche commercialisation, la branche carburant et la branche GPL.

La Direction centrale : remplit une fonction d'expertise pour les activités de marketing, de recherche et développement, ainsi que d'audit pour l'analyse et le contrôle de la gestion et de la comptabilité de l'entreprise.

La Direction de soutien : se charge de la gestion administrative du siège social de la société.

Les différentes structures opérationnelles de l'entreprise reposent sur trois branches principales :

- La branche carburant, qui comprend 10 districts composés d'un nombre défini de dépôts de carburant, ainsi que des dépôts d'aviation et des centres marins.
- La branche commercialisation, qui est constituée de 12 districts regroupant un nombre défini de centres de distribution, de centres de lubrification/pneumatique et d'un réseau de stations-service.
- La branche GPL, qui est constituée de 19 districts regroupant un nombre défini de centres de vrac, de centres d'emplissage et de dépôts relais.

L'organigramme de l'entreprise est illustré dans le schéma présenté dans la figure 1.

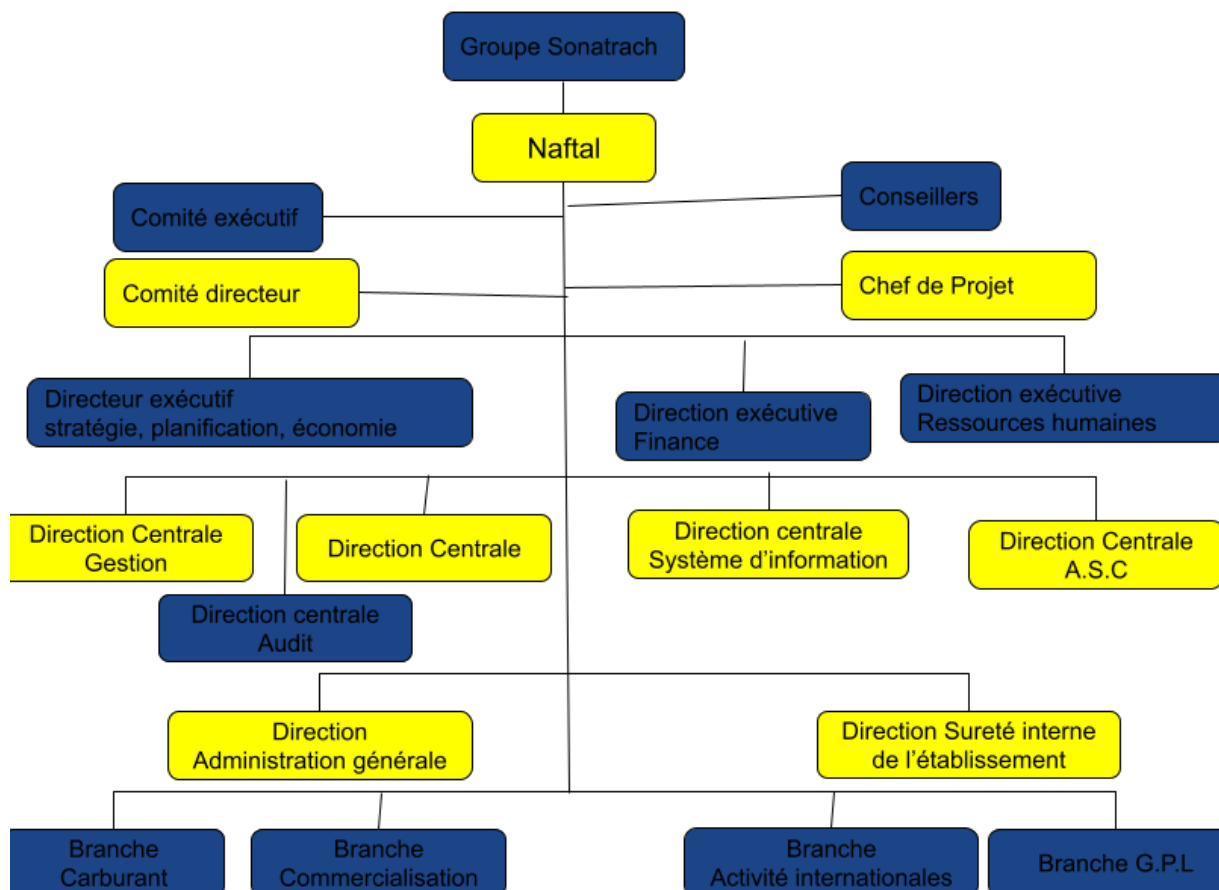


FIGURE II.1 – Organigramme de l'entreprise Naftal (source : documentation Naftal)

II.6 Le district logistique de Naftal Batna

II.6.1 Présentation du CDS 058

Le centre logistique de Batna est situé dans la zone industrielle de la ville de Batna et a été mis en service en 1998. Il s'étend sur une superficie de 18 hectares et emploie un total de 371 agents, dont 36 cadres universitaires et 27 femmes. Sa mission consiste à gérer les approvisionnements, le stockage et la distribution des produits carburants dans les wilayas de Batna, Biskra et Khenchela. Les produits carburants sont restitués à partir de trois centres logistiques situés dans les chefs-lieux des trois wilayas.

Le centre logistique, inauguré en 1998 et situé sur une superficie de 18 hectares, dispose d'une capacité totale de stockage de 40 000 m³. Cette capacité est répartie entre plusieurs types de carburants : 24 000 m³ pour le gasoil dans 3 bacs, 4 000 m³ pour l'essence super dans 2 bacs, et 6 000 m³ chacun pour deux bacs de l'essence normale. Le centre est également équipé d'un réseau de lutte anti-incendie à base d'eau et de mousse, dont la pomperie a une capacité de 400 m³/h.

II.6.2 Centre Distribution des dépôts carburants :

Le centre de distribution, inauguré en 1998 sur une superficie de 18 hectares, dispose d'une capacité totale de stockage de 40 000 m³ pour plusieurs types de carburants. L'organigramme de ce centre est illustré dans la figure 2.

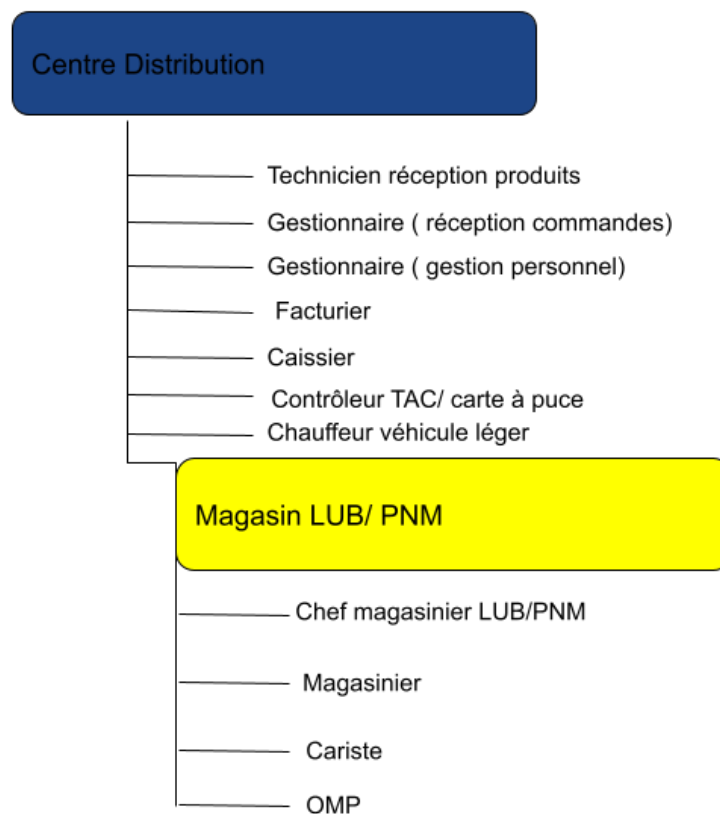


FIGURE II.2 – Organigramme centre distribution 058 (source : documentation Naftal)

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des capacités de stockage de différents types de carburants et huiles au centre de stockage et de distribution

TABLE II.1 – Capacité de stockage des différents produits du centre distribution 058

Type de carburant	Capacité de stockage (m ³)	Nombre de bacs
Gasoil	24,000	3
Essence Super	4,000	2
Essence Normale	6,000	2
Huiles neuves	500	1
Huiles usagées	200	1

Il y a également une place de chargement et de déchargement des camions à benne, ainsi qu'un autre endroit pour vider les réservoirs et la reconstruction des chemins de fer. Il y a également une place de chargement et de déchargement des camions à benne, ainsi qu'un autre endroit pour vider les réservoirs et la reconstruction des chemins de fer.

II.7 Stratégie de distribution de Naftal

NAFTAL est une entreprise spécialisée dans la distribution et la commercialisation de produits pétroliers, qui vise à rapprocher ses produits de ses clients, en utilisant ses propres moyens de distribution ou ceux de partenaires privés. La clientèle de l'entreprise est divisée en deux grandes catégories :

La clientèle réseaux constituée de plusieurs catégories en fonction de ses relations juridiques avec NAFTAL.

- Les stations-services en Gestion Directe (GD) : sont exploitées directement par NAFTAL grâce à un personnel salarié.
- Stations-services en Gestion Libre (GL) : il s'agit de stations-service appartenant à NAFTAL, mais dont l'exploitation est confiée en location-gérance à des particuliers.
- Les Points de Ventes Agréés (PVA) : sont des stations-services construites et exploitées par des investisseurs indépendants en accord avec NAFTAL.

Gros consommateurs : il s'agit principalement de clients ayant une grande capacité de stockage (comme ceux qui disposent de cuves ou de réservoirs pour stocker le produit).

- Les entreprises publiques et privées, (SCIMAT, EPTR SUD EST)
- Les administrations et les collectivités locales,
- La défense nationale,
- Les hôpitaux
- Le secteur agricole

II.8 Flux de produits dans le réseau de distribution

Les carburants et lubrifiants sont distribués depuis les sites de production (Skikda-Berrahal) vers les sites de stockage et les entrepôts (Naftal Batna). Les produits sont ensuite acheminés vers les stations-service et les points de vente, où ils sont disponibles pour les clients finaux. Les flux de produits se déroulent de manière continue pour répondre à la demande, avec des réapprovisionnements réguliers et des livraisons planifiées. Les flux de produits peuvent également inclure les retours de produits, tels que les produits endommagés, les huiles usagées, qui sont récupérés dans le réseau de distribution inverse .

II.9 Processus de traitement de commande : étapes à suivre

II.9.1 Réception de commande

Le traitement des commandes chez Naftal commence chaque jour à 8h00 et se termine à 12h00. Les clients peuvent passer leur commande en utilisant plusieurs canaux tels que le télé-

phone, le fax, le bon de commande ou en se présentant directement dans les locaux de l'entreprise. Actuellement, Naftal propose un logiciel en période d'essai appelé My Naftal qui permet aux clients d'enregistrer leur commande de manière simple et rapide. Pour aider les clients à utiliser efficacement ce logiciel, Naftal prévoit d'organiser des formations. Les informations relatives aux clients, telles que leur nom, prénom, code client, quantité demandée, date de commande, nom du transporteur, nom de la station, désignation du produit, unité de mesure (L ou kg), quantité et observation sont enregistrées dans un formulaire de réception de commande appelé FRC. Les commandes sont satisfaites le jour suivant leur enregistrement, c'est-à-dire que les clients reçoivent leur commande dans un délai d'un jour.

II.9.2 Dispatching

Une étape importante après la réception des commandes est le dispatching, qui consiste à élaborer un plan de distribution optimal des produits. Cette tâche est confiée au dispatcher, qui est responsable de la planification et de l'organisation de la livraison. Pour élaborer ce plan, plusieurs facteurs doivent être pris en compte. Lors de la phase de dispatching, le dispatcher doit tenir compte de plusieurs éléments afin d'élaborer un plan de distribution optimal des produits. Parmi ces éléments, il est important de considérer :

- la situation des stations et leurs capacités,
- la disponibilité des chauffeurs et des camions.

De plus, il est essentiel de vérifier :

- la quantité de produits disponible dans le stock, ainsi que les compartiments de chaque véhicule disponible.

Ces différents éléments permettront de planifier la livraison de manière efficace et de garantir la satisfaction des clients.

Pour élaborer le plan de distribution, il est courant d'utiliser un logiciel de dispatching qui permet d'affecter les camions aux stations-services de manière automatique. Cependant, bien que ce logiciel soit utile, il peut parfois ne pas être optimal, ce qui nécessite alors une intervention humaine pour l'ajuster et le corriger. En effet, l'expertise humaine peut être nécessaire pour prendre en compte certains éléments qui ne sont pas pris en compte par le logiciel, tels que des contraintes spécifiques liées aux routes ou aux horaires de livraison. Cette intervention humaine permettra d'optimiser la planification et d'assurer une livraison efficace des produits.

II.9.3 Facturation

Après la réception des commandes, une copie du formulaire FRC est envoyée au poste de programmation. Là-bas, un bon de sortie est généré et transmis au poste de facturation pour l'obtention d'un bon de livraison. Les opérations de facturation sont réalisées à l'aide d'un logiciel GreenWorld qui fournit un formulaire en deux parties.

La partie facturation du formulaire : se compose des informations relatives au client.

La partie caisse : utilisée pour le paiement de la facture par le client.

II.9.4 Circuit de distribution

NAFTAL accorde une grande importance à la satisfaction du consommateur final. Pour atteindre cet objectif, l'entreprise a opté pour la distribution directe de ses produits, garantissant ainsi leur disponibilité sur le marché. Pour ce faire, elle a mis en place une politique de réapprovisionnement basée sur un circuit de distribution directement au client final, comme le montre la Figure 3. Ce circuit de distribution permet à l'entreprise d'avoir un contrôle total et direct sur toutes les fonctions de distribution. Les produits NAFTAL sont vendus directement aux clients finaux via ses GD, GL et PVA. Pour pouvoir acheter un produit NAFTAL, le consommateur doit exprimer sa volonté en passant une commande (processus de prise de commande).

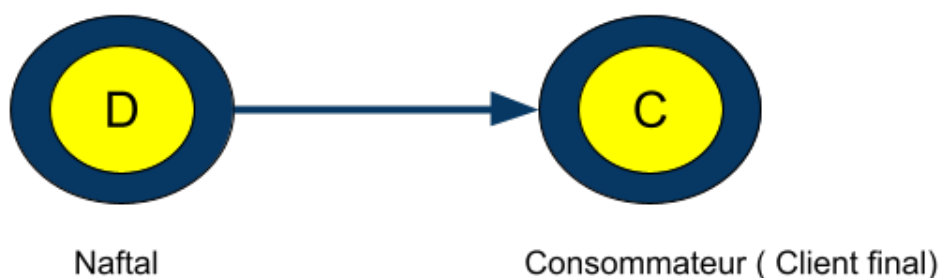


FIGURE II.3 – Schéma de distribution directe de Naftal

Le circuit de distribution direct adopté par Naftal offre des avantages pour l'entreprise et pour ses clients. Il permet à Naftal de maintenir un contrôle direct sur la distribution, de mettre en place la stratégie de distribution de son choix et de réagir rapidement aux fluctuations du marché. De plus, il assure une rapidité de distribution pour les clients. Toutefois, ce type de circuit implique des coûts financiers élevés liés à la mise en place de moyens logistiques importants pour garantir la distribution de carburant à chaque station-service individuellement.

II.10 Les huiles usagées

Les huiles usagées minérales sont considérées comme des déchets spéciaux et spéciaux dangereux, conformément au décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006. Selon la définition du

décret n°93-162 du 10 juillet 1993, les huiles usagées sont des huiles minérales qui deviennent inaptes à l'usage auquel elles étaient destinées après utilisation [34].

Il existe deux grandes catégories d'huiles usagées en fonction de leur origine, qu'elle soit minérale ou synthétique :

Les huiles noires : Cette catégorie englobe les huiles de moteurs et certaines huiles industrielles telles que les huiles de trempe, de laminage, de tréfilage et d'usinage des métaux. Ces huiles sont souvent fortement dégradées et contaminées.

Les huiles claires : Cette catégorie concerne les huiles provenant de transformateurs, de circuits hydrauliques et de turbines. Elles sont généralement moins contaminées, mais peuvent contenir des quantités significatives d'eau et de particules.

Cette distinction permet de classer les huiles usagées en fonction de leur composition et de leur niveau de contamination, sans emprunter de formulation directe aux sources mentionnées.

II.10.1 Les huiles usagées en Algérie

Les huiles usagées en Algérie se répartissent comme suit au niveau national, avec un marché total d'environ 150 000 tonnes par an :

TABLE II.2 – Répartition des huiles usagées en Algérie

Catégorie	Pourcentage
Huiles moteurs	75%
Huiles industrielles	19%
Graisses et paraffines	3%
Huiles aviation et marine	3%

Plusieurs activités sont susceptibles de générer des huiles usagées, notamment :

- Garages, concessionnaires, stations de vidange, stations-service.
- Transports (routiers, fluviaux, aériens, ferroviaires).
- Usines, ateliers, entreprises industrielles.
- Entreprises traitant des déchets contenant des huiles usagées (comme la démolition automobile, le traitement de filtres à huiles, les emballages souillés par des huiles, etc.)

II.10.2 Utilisation des huiles usagées et leurs impacts environnementaux

Les huiles usagées, telles que les huiles de moteur, les huiles de transmission et les huiles industrielles, sont générées en grande quantité dans divers secteurs.

L'élimination incorrecte des huiles usagées dans l'environnement est strictement prohibé. Leur présence peut entraîner une dégradation significative des écosystèmes, se manifestant par

une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère. Il est important de noter qu'un (01) litre d'huile usagée a le potentiel de contaminer jusqu'à 1 000 m³ d'eau [35].

Cependant, les huiles usagées peuvent également être valorisées et réutilisées, ce qui réduit leur impact environnemental global.

II.11 Stratégies pour la récupération des huiles usagées

II.11.1 La collecte

L'entreprise Naftal a instauré un système de collecte efficace, ce qui a permis de récupérer environ 24 875 tonnes d'huiles usagées en 1990. Pour Naftal Batna, la capacité de collecte s'élève à 36 000 tonnes par mois, tandis que la capacité de stockage est de 20 000 tonnes.

II.11.2 Processus de collecte actuel

L'entreprise de distribution de carburants, NAFTAL, a mis en place un système de collecte des huiles de vidange. Cependant, seule une petite quantité est actuellement récupérée pour être envoyée à Alger, puis exportée vers des pays tels que la Grèce et la Belgique, où les huiles usagées sont recyclées.

NAFTAL dispose d'un seul camion-citerne d'une capacité de 6 000 litres pour la collecte des huiles usagées. Malheureusement, le nombre de camions disponibles est insuffisant pour répondre pleinement à la demande. L'entreprise compte également sur une base de clients comprenant des garages, des stations-service, des concessionnaires automobiles, des centres de lavage, etc.

Pour planifier la collecte, l'entreprise fixe un objectif mensuel minimal de 36 000 litres d'huiles collectées, en prenant en compte la quantité stockée au niveau du dépôt primaire (stockage intermédiaire) à Batna et la quantité stockée au dépôt portuaire à Alger (stockage terminal).

Une fois que la quantité requise est atteinte à la fin du mois, généralement 27 000 litres pour permettre le transport depuis Batna vers Alger (puisque la capacité du camion dédié est de 27 000 litres), l'huile est ensuite expédiée par navire vers les destinations désignées.

Conclusion

Pour résumer, ce chapitre a couvert plusieurs aspects clés de Naftal, tels que son historique, ses branches, son infrastructure, son organisation et sa stratégie de distribution. Nous avons également examiné en détail les huiles usagées, leur utilisation et leurs impacts environnementaux, ainsi que les stratégies de récupération mises en œuvre. Le prochain chapitre se concentrera sur un sujet essentiel : l'optimisation de la chaîne logistique réversible.

Chapitre III

Optimisation de la chaîne logistique inverse

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons la modélisation de notre problème de collecte d'huiles usagées pour Naftal Batna. Notre objectif principal est d'optimiser les opérations de collecte en minimisant la distance totale parcourue et en respectant la contrainte de capacité du camion.

Pour atteindre cet objectif, nous utiliserons une approche basée sur la programmation mathématique en nombres entiers.

La modélisation mathématique nous permettra de formuler le problème de manière précise et de définir les variables, les contraintes et la fonction objectif nécessaires à la résolution. Une fois le modèle mathématique établi, nous passerons à la résolution du programme linéaire à l'aide de l'outil CPLEX. Cela nous permettra d'obtenir des solutions optimales ou proches de l'optimal en utilisant des techniques avancées d'optimisation. Nous analyserons ensuite les résultats obtenus à partir des simulations et nous examinerons la sensibilité de certains paramètres du modèle. En fin nous aborderons la conception d'un système décisionnel dédié au suivi de la collecte des huiles usagées.

III.2 Présentation de problème

La problématique que nous abordons dans notre mémoire concerne le Vehicle Routing Problem (VRP) appliqué à la collecte d'huiles usagées pour Naftal Batna. Notre objectif est d'optimiser les tournées de collecte en utilisant un seul camion avec une capacité maximale de 6000L.

Nous cherchons à déterminer les itinéraires les plus efficaces pour le camion, afin de récupérer l'huile usagée auprès de nos clients. L'accent est mis sur la minimisation de la distance totale parcourue tout en respectant la contrainte de capacité du camion.

La principale difficulté réside dans la recherche de la meilleure combinaison d'itinéraires qui permettra de couvrir tous nos clients de manière optimale. Nous devons prendre en compte divers facteurs tels que la distance à parcourir, la capacité du camion, les contraintes de temps, ainsi si c'est possible, les heures d'ouverture spécifiques de nos clients.

Afin de résoudre ce problème complexe, nous utiliserons des techniques d'optimisation telles que les modèles mathématiques. Notre objectif est de trouver les itinéraires les plus optimaux qui permettront de minimiser la distance totale parcourue par le camion, tout en respectant les contraintes de capacité et les autres contraintes pertinentes spécifiées.

En résumé, notre étude se concentre sur la résolution du VRP pour la collecte d'huiles usagées. Nous nous appuierons sur des techniques d'optimisation pour trouver les solutions les plus efficaces et recommander des stratégies de planification adaptées à notre contexte spécifique.

III.3 Modélisation mathématique et méthodes de résolution

Dans cette section, nous allons développer le modèle mathématique du Vehicle Routing Problem (VRP) adapté à notre problème de collecte d'huiles usagées pour Naftal Batna. Nous identifierons les variables, les contraintes et la fonction objectif nécessaires pour formuler le problème de manière mathématique.

III.3.1 Modélisation mathématique du VRP

La modélisation mathématique du VRP vise à décrire de manière précise les caractéristiques du problème et à représenter les décisions à prendre pour optimiser les tournées de collecte. Nous allons définir les éléments suivants : Ensembles et paramètres, Variables de décision, Fonction objectif.

Les paramètres :

- K : Le nombre de camions disponibles pour la collecte.
- L : Le nombre de tournées pour la collecte.
- H : Le nombre de dépôts, qui sont les points de départ ou de retour des camions, avec $h = \text{card}(h)$.
- n : Le nombre total de clients et de dépôts, représenté par un ensemble de nœuds, avec $n = \{0, 1, 2, \dots, h, \dots, N\}$.
- D_{ij} : La distance en kilomètres entre les nœuds i et j , avec $i, j \in N$.
- C_{ij}^{kl} : Le coût de transport entre les nœuds i et j par le camion k , à la tournée l , avec $i, j \in N, k \in K, l \in L$.
- q_j : La quantité collectée j , représentant la quantité d'huile usagée à collecter, avec $j \in N$.
- Q_k : La capacité maximale du camion k , indiquant la quantité maximale d'huile que le camion peut transporter, avec $k \in K$.

Les variables de décision :

X_{ij}^{kl} : Cette variable indique si le camion k visite le client j après le client i . Elle prend la valeur 1 si le camion k effectue cette visite dans la tournée l , et 0 sinon.

La fonction objectif

Cette fonction minimise la distance totale parcourue par le camion. Cela permet de trouver un plan de routage qui réduit les distances de déplacement, ce qui peut conduire à des économies de temps, et de coûts de transport.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L D_{ij} X_{ij}^{kl} C_{ij}^{kl} \quad (\text{III.1})$$

Les contraintes

Contrainte 1 Cette contrainte assure que chaque demande client doit être transportée par un seul camion dans une seule tournée .

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ij}^{kl} = 1; \forall j \in N, j \neq 0, j \neq i \quad (\text{III.2})$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ij}^{kl} = 1; \forall i \in N, i \neq 0, i \neq j \quad (\text{III.3})$$

Contrainte 2 Cette contrainte garantit la continuité des tournées de récupération.

$$\sum_{i=0}^n x_{ic}^{kl} - \sum_{j=0}^n x_{cj}^{kl} = 0; \forall c \in N, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (\text{III.4})$$

Contrainte 3 Cette contrainte garantit que la capacité des camions est respectée.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n q_j^{kl} x_{ij}^{kl} \leq Q_k; \forall l \in L, \forall k \in K \quad (\text{III.5})$$

Contrainte 4 Cette contrainte garantit que chaque tournée commence par le dépôt.

$$\sum_{j=1}^n X_{0j}^{kl} = 1; , \forall l \in L, \forall k \in K \quad (\text{III.6})$$

Contrainte 5 Cette contrainte assure le retour au dépôt.

$$\sum_{i=1}^n X_{i0}^{kl} \geq 1; \forall l \in L, \forall k \in K \quad (\text{III.7})$$

Les hypothèses de simplification

- Les coûts de transport sont uniformes pour le camion, et ils sont basés sur la distance.
Donc, $C_{ij}^{kl} = C_{\text{cste}}$.
- Capacité du camion : La capacité du camion de collecte de Naftal est de 6000 litres ($Q_k = Q = 6000$). Cela signifie que le camion peut transporter jusqu'à 6000 litres d'huile usagée.
- Nombre de camions : Il y a un seul camion disponible pour la collecte, $k = 1$.

— Nombre de dépôts : Il y a un seul dépôt à partir duquel le camion part et revient, $h = 1$.

Dans le cadre de la collecte d'huile usagée pour Naftal, notre objectif principal est de minimiser la distance parcourue lors de la collecte, tout en respectant la capacité du camion. Malgré l'absence de données sur les coûts fixes d'utilisation des camions, nous cherchons à optimiser l'efficacité de la collecte en réduisant les trajets et en optimisant l'utilisation du camion disponible. Notre priorité est donc de trouver la meilleure configuration de tournée qui permet de minimiser la distance totale parcourue, tout en satisfaisant les demandes de collecte des clients et en respectant la capacité maximale du camion Naftal. Cela nous permettra d'optimiser la collecte d'huile usagée en réduisant les coûts de transport et en améliorant l'efficacité opérationnelle de l'entreprise.

Notre modèle simplifié sera formulé comme suit :

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{l=1}^L D_{ij} X_{ij}^l \quad (\text{III.8})$$

III.4 Application du modèle

III.4.1 Préparation des données

Pour l'implémentation de notre modèle d'optimisation de la collecte d'huiles usagées pour Naftal Batna, nous avons utilisé deux types de données clés : la matrice de distance entre les clients et le dépôt, ainsi que les quantités d'huiles usagées à collecter auprès de chaque client.

Matrice de distance

Le tableau suivant présente les points de collecte des huiles usagées sélectionnés pour notre étude. Chaque client est identifié par un numéro (P1, P2, etc.) et est associé à son nom d'entreprise ou d'organisation. :

La matrice de distances présentée ci-dessous représente les distances entre l'entrepôt et les clients, ainsi que les distances entre les différents clients sélectionnés pour la collecte d'huiles usagées. Chaque valeur dans la matrice représente la distance en kilomètres entre deux points.

TABLE III.1 – Les points de collecte des huiles usagées

Numéro	Client
P1	BOUSSAD Kamel Vidnage Auto
P2	EURL PROTIMGAD
P3	Spa EL-FATH
P4	BAG Batna
P5	Défense National
P6	Travaux Publics
P7	Station de pompage, Sp4- Boumaguer
P8	Station UTS Batna
P9	Société nationale Ain Touta
P10	Cleen BAT, EPIC
P11	Police Batna
P12	ERGR. AURES, DRP Batna
P13	ETUS Batna
P14	RENAULT Batna
P15	SNTR
P16	LAMIN BRIK, Vente et Vidange
P17	SARL KDA EMBALLAGE
P18	SARL GROUPE TAKOUA

Quantités d’huiles usagées à collecter

Nous avons également recueilli les quantités d’huiles usagées à collecter auprès de chaque client. Ces quantités sont spécifiques à chaque client et déterminent la capacité de collecte requise pour chaque site.

TABLE III.2 – Matrice des distances entre l'entrepôt et les clients

0	15	43	86	2	8.1	3.7	86	8	35	2.1	9	2	54	1.6	2	5.5	15	14
15	0	33	105	17	16	13	105	4.4	53	15	11	4	33	16	17	8.2	11	27
43	33	0	133	44	45	44	133	35	81	43	40	29	60	44	45	37	38	54
86	105	133	0	86	81	94	31	89	53	94	84	104	75	94	85	86	100	104
2	17	44	86	0	7.8	1.7	86	6.2	33	2.3	4.3	15	13	2.8	1	4.7	11	15
8.1	16	45	81	7.8	0	8.2	80	10	28	10	6.1	15	8.1	8.4	7.1	8.1	18	22
3.7	13	44	94	1.7	8.2	0	93	5.4	41	0.6	4.1	14	21	0.5	3.6	4	10	15
86	105	133	31	86	80	93	0	88	53	86	84	103	74	93	85	86	99	103
8	4.4	35	89	6.2	10	5.4	88	0	37	5.5	6.2	5.5	17	6.1	7.4	3	12	20
35	53	81	53	33	28	41	53	37	0	34	32	51	22	41	33	34	47	51
2.1	15	43	94	2.3	10	0.6	86	5.5	34	0	3.7	14	14	0.8	4	3.7	9.9	15
9	11	40	84	4.3	6.1	4.1	84	6.2	32	3.7	0	11	11	4	4.5	3.3	13	19
2	4	29	104	15	15	14	103	5.5	51	14	11	0	21	14	16	7.4	9	25
54	33	60	75	13	8.1	21	74	17	22	14	11	21	0	51	58	50	64	68
1.6	16	44	94	2.8	8.4	0.5	93	6.1	41	0.8	4	14	51	0	3.4	4	9.8	14
2	17	45	85	1	7.1	3.6	85	7.4	33	4	4.5	16	58	3.4	0	5.4	11	16
5.5	8.2	37	86	4.7	8.1	4	86	3	34	3.7	3.3	7.4	50	4	5.4	0	8	18
15	11	38	100	11	18	10	99	12	47	9.9	13	9	64	9.8	11	8	0	27
14	27	54	104	15	22	15	103	20	51	15	19	25	68	14	16	18	27	0

III.4.2 Résultats de l'optimisation

Pour résoudre ce modèle, nous avons utilisé le logiciel IBM CPLEX Optimizer, un outil puissant d'optimisation mathématique offrant des fonctionnalités avancées pour résoudre des problèmes de programmation mathématique en nombres entiers. CPLEX utilise des techniques d'optimisation linéaire et non linéaire pour trouver des solutions optimales ou proches de l'optimal, tout en respectant les contraintes du problème.

III.4.3 Application du modèle sur CPLEX

```

huileusagee.mod  *huileusagee.dat  Valeur de x
1 /*****
2  * OPL 22.1.1.0 Data
3  * Author: HASSANI Rania
4  * Creation Date: 8 juin 2023 at 10:47:42
5  *****/
6 n=19;
7 c=18;
8 k=1;
9 L=7;
10
11 SheetConnection data("DistanceMatrix.xlsx");
12
13 distance from SheetRead(data, "Feuille1Matrice!B4:T22");
14
15 quantite from SheetRead(data, "Feuille2quantitehuile!B1:B19");
16
17

```

FIGURE III.1 – Le fichier des données sur Cplex

TABLE III.3 – Quantité collectée par point de collecte

Point de collecte	Quantité collectée
P0	0
P1	550
P2	750
P3	3825
P4	2750
P5	3600
P6	4550
P7	1900
P8	1500
P9	1750
P10	625
P11	2100
P12	4200
P13	1611.6667
P14	966.666667
P15	100
P16	320
P17	1300
P18	3800

```

* Authen... MACCAMT...
* Crea... huileusage/huileusage.mod 10:47:42
*****
6 int c =...; // nombre de client
7 int k =...; // nombre de camion
8 int l =...; // nombre de tournée
9 int n =...; // client+entrepot
10 range camion = 1..k;
11 range client = 0..n;
12 range tournée = 1..l;
13
14 float distance[client][client]=...;
15 float quantite[client]=...;
16
17 //Variables
18 dvar boolean x[client][client][camion][tournée];
19
20 //Objectif function
21
22 minimize sum (i in client, j in client, k in camion, l in tournée ) distance[i][j]*x[i][j][k][l];
23
24 // Contraintes
25
26 subject to {
27 // Contrainte_1
28 forall (j in client)
29 huilettransporte:
30 sum (i in client, k in camion, l in tournée: j!=0 && j!=n && i!=j && i!=n)x[i][j][k][l]==1;
31
32 forall (i in client)
33 huilettransporte:
34 sum (j in client, k in camion, l in tournée: i!=0 && i!=n && i!=j && j!=n)x[i][j][k][l]==1;
35
36 // Containte_2
37 forall (c in client, k in camion, l in tournée)
38 Continuitetournée:
39 ( sum (i in client) x[i][c][k][l]) - (sum (j in client) x[c][j][k][l]) == 0 ;
40
41

```

FIGURE III.2 – Le fichier modèle sur Cplex -1-

```

41
42 // Contrainte_3
43 forall (k in camion, l in tournée )
44 capacite_camion:
45 sum (i in client, j in client : i!=n && j!=n) quantite[j]*x[i][j][k][l] <= 6000;
46
47 // Contrainte_4
48 forall (j in client )
49 respect_quantite:
50 sum (k in camion, l in tournée : j!=0 && j!=n ) quantite[j] <= quantite[j];
51
52 // Contrainte_5
53
54 forall (l in tournée, k in camion )
55 debut_depot:
56 sum (j in client : j!=0 && j!=n) x[0][j][k][l] == 1;
57
58 // Contrainte_6
59 forall (k in camion, l in tournée)
60 tournée_passage:
61 sum (i in client: i!=0 && i!=n ) x[i][n][k][l] == 1;
62
63
64 }

```

FIGURE III.3 – Le fichier modèle sur Cplex -2-

III.4.4 Les résultats obtenus

La figure ci-dessous représente la solution obtenue à l'aide du logiciel CPLEX pour notre problème. Cependant, il est important de noter que cette solution n'est pas optimale, mais elle est tout de même réalisable.



FIGURE III.4 – La solution du Cplex

Les résultats d’affectation obtenus grâce à l’utilisation de CPLEX sont présentés dans la figure ci-dessous.

client (taille 19)	client (taille 19)	camion (taille 1)	tournee (taille 7)	Valeur
18	10	1	3	1
17	15	1	3	1
16	11	1	2	1
15	0	1	3	1
14	0	1	2	1
13	2	1	4	1
12	0	1	3	1
11	14	1	2	1
10	12	1	3	1
9	0	1	4	1
8	13	1	4	1
7	0	1	6	1
6	0	1	7	1
5	0	1	1	1
3	7	1	6	1
2	9	1	4	1
1	0	1	5	1
0	18	1	3	1
0	17	1	3	1
0	16	1	2	1
0	8	1	4	1
0	6	1	7	1
0	5	1	1	1
0	3	1	6	1
0	1	1	5	1

FIGURE III.5 – Résultats de l’affectation

Les résultats obtenus en utilisant CPLEX et en appliquant notre modèle ont initialement fourni une solution faisable comprenant 7 tournées. Cependant, nous avons remarqué que le client numéro 4 n’était pas inclus dans cette solution. Pour trouver une solution alternative incluant ce client, nous avons effectué plusieurs itérations de simulations de tournées, en testant différentes configurations, allant jusqu’à 13 tournées. Par conséquent, nous avons pu déterminer qu’une 8ème tournée devait être ajoutée spécifiquement pour inclure le client numéro 4, Donc les clients seront répartis en huit zones distinctes.

Voici la figure illustrant le schéma du plus court chemin déterminé :

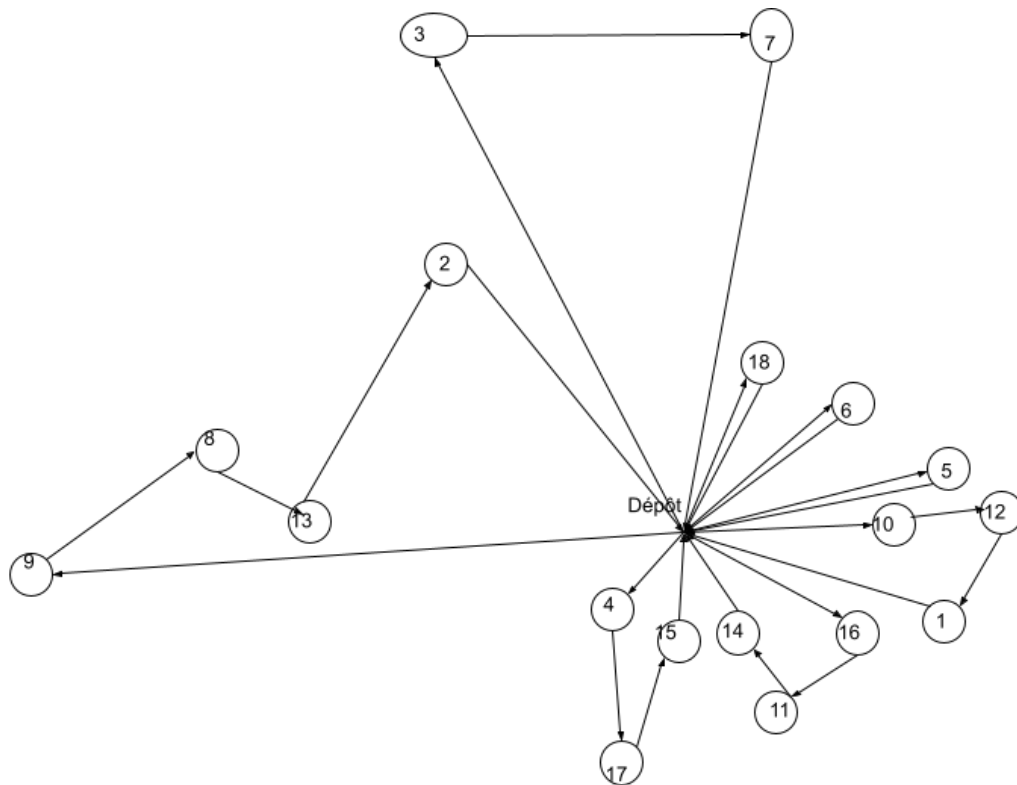


FIGURE III.6 – Schéma représente le plus court chemin déterminé

Proposition de nouveau système de zonage

Suite à l'analyse des résultats du modèle, nous avons élaboré un nouveau système de zonage, présenté dans le tableau ci-dessous.

TABLE III.4 – Proposition d'un nouveau système de zonage

Zone	Client
1	5
2	16, 11, 14
3	4, 17, 15
4	9, 8, 13, 2
5	10, 12, 1
6	3, 7
7	6
8	18

Évaluation des avantages : Résultats du modèle mathématique par rapport à la situation actuelle

Le modèle mathématique vise à optimiser la distribution inverse en termes de distances et de coûts de livraison. Le tableau suivant illustre les gains en termes de distances de livraison entre l'état actuel et les résultats obtenus grâce au modèle.

TABLE III.5 – Comparaison des distances totales entre l'état actuel et l'état optimal

État	Valeur	Comparaison
L'état actuel	765.3	235.3 (30.8%)
L'état optimal	530	

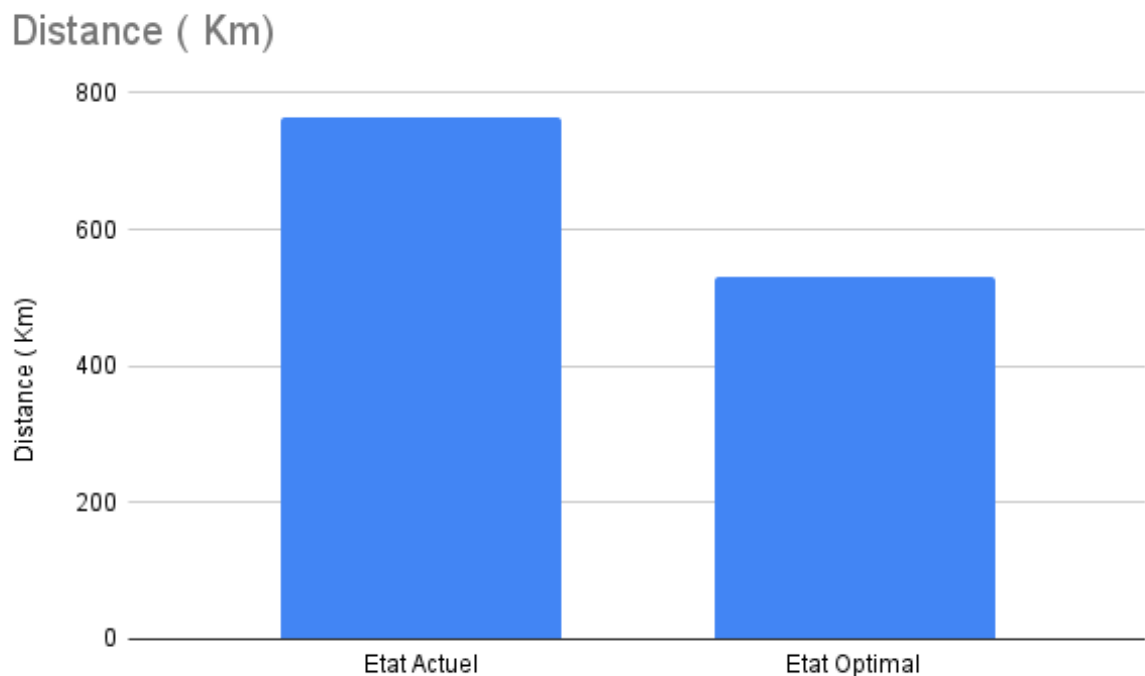


FIGURE III.7 – Distances parcourues dans l'état actuel et l'état optimal

À partir du figure ci-dessus, il est observé que dans l'état actuel de Naftal, les distances parcourues s'élèvent à 765.3 km. En revanche, dans l'état optimal obtenu grâce à l'utilisation de CPLEX, les distances parcourues sont de 530 km, ce qui représente un écart de 235.3 km. Cela se traduit par un gain de 30.8% en termes de distances parcourues.

III.5 Analyse et conception d'un système d'aide à la décision (Modèle business Intelligence)

III.5.1 Visualisation des données de collecte

Pour améliorer la gestion de la collecte d'huile usagée, il est essentiel de visualiser les données de collecte existantes. Cela nous permettra d'identifier les schémas actuels, les quantités collectées par client, et les fréquences de collecte. Grâce à cette visualisation, nous pourrions mieux comprendre les inefficacités actuelles et mettre en place des mesures d'optimisation pour améliorer la chaîne logistique réversible.

Dans le tableau ci-dessous, des informations sur les clients et les quantités collectées :

TABLE III.6 – Informations de la collecte

Indice client	Client	Quantité collectée (L)	Fréquence de collecte
P1	BOUSSAD Kamel Vidnage Auto	500	Mensuelle
P2	EURL PROTIMGAD	750	Mensuelle
P3	Spa EL-FATH	3825	Mensuelle
P4	BAG Batna	2750	Mensuelle
P5	Défense National	3600	Mensuelle
P6	Travaux public	4550	Mensuelle
P7	Station pompage, Sp4-Boumager	1900	Mensuelle
P8	Station UTS Batna	1500	Mensuelle
P9	Société nationale Ain touta	1750	Mensuelle
P10	Cleen BAT, EPIC	625	Mensuelle
P11	Police Batna	2100	Mensuelle
P12	ERGR. AURES, DRP Batna	4200	Mensuelle
P13	ETUS Batna	1611	Mensuelle
P14	RENAULT Batna	966,67	Mensuelle
P15	SNTR	100	Mensuelle
P16	LAMIN BRIK, Vente et vidnage	320	Mensuelle
P17	SARL KDA EMBALLAGE	1300	Mensuelle
P18	SARL GROUPE TAKOUA	3800	Mensuelle

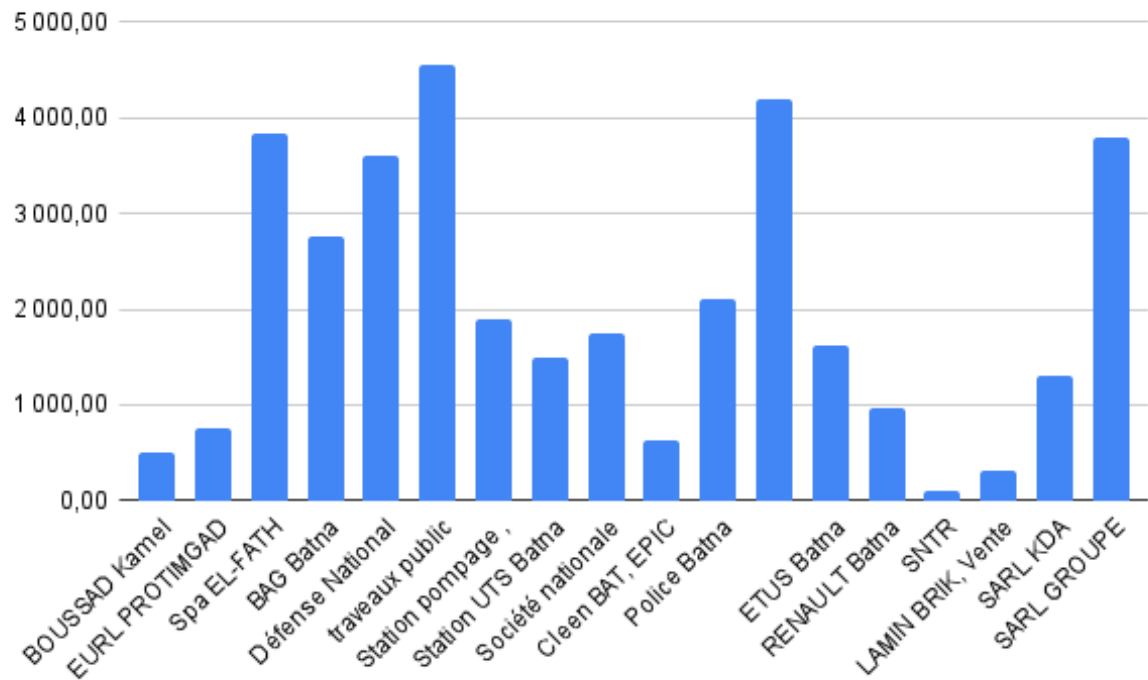


FIGURE III.8 – Quantité collectée par rapport à client

On applique la formule de l'écart-type à nos données de quantités collectées :
Calculons la moyenne des quantités collectées :

$$\begin{aligned}
 \text{moyenne} &= \frac{500 + 750 + 3825 + 2750 + 3600 + 4550 + 1900 + 1500 + 1750 + 625}{18} \\
 &+ \frac{2100 + 4200 + 1611 + 966.67 + 100 + 320 + 1300 + 3800}{18} \\
 &\approx 2008.20
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{écart}_1 &= (500 - 2008.20)^2 \approx 2274667.24 \\
 \text{écart}_2 &= (750 - 2008.20)^2 \approx 1583067.24 \\
 \text{écart}_3 &= (3825 - 2008.20)^2 \approx 3300762.24 \\
 \text{écart}_4 &= (2750 - 2008.20)^2 \approx 550267.24 \\
 \text{écart}_5 &= (3600 - 2008.20)^2 \approx 2533827.24 \\
 \text{écart}_6 &= (4550 - 2008.20)^2 \approx 6460747.24 \\
 \text{écart}_7 &= (1900 - 2008.20)^2 \approx 11707.24 \\
 \text{écart}_8 &= (1500 - 2008.20)^2 \approx 258267.24 \\
 \text{écart}_9 &= (1750 - 2008.20)^2 \approx 66667.24 \\
 \text{écart}_{10} &= (625 - 2008.20)^2 \approx 1913242.24 \\
 \text{écart}_{11} &= (2100 - 2008.20)^2 \approx 8427.24 \\
 \text{écart}_{12} &= (4200 - 2008.20)^2 \approx 4803987.24 \\
 \text{écart}_{13} &= (1611 - 2008.20)^2 \approx 157767.84 \\
 \text{écart}_{14} &= (966.67 - 2008.20)^2 \approx 1084784.74 \\
 \text{écart}_{15} &= (100 - 2008.20)^2 \approx 3641227.24 \\
 \text{écart}_{16} &= (320 - 2008.20)^2 \approx 2850019.24 \\
 \text{écart}_{17} &= (1300 - 2008.20)^2 \approx 501547.24 \\
 \text{écart}_{18} &= (3800 - 2008.20)^2 \approx 3210547.24
 \end{aligned}$$

Calculons la moyenne des carrés des écarts à la moyenne (variance) :

$$\text{variance} = 27366932.435 \text{ L}$$

$$\text{Donc écart-type} \approx 5231.341$$

L'écart-type est une mesure de la dispersion ou de la variabilité des données par rapport à la moyenne. Plus l'écart-type est élevé, plus les données sont dispersées, dans ce cas, un écart-type de 5231.34 indique une dispersion importante des quantités collectées d'huile usagée.

Cela indique que les quantités collectées varient d'un client à l'autre, ce qui peut être dû à des facteurs tels que les volumes de production, les habitudes de consommation, les fluctuations saisonnières, etc.

Analyse des quantités collectées

En examinant les quantités collectées auprès de chaque client, nous pouvons observer des variations significatives. Par exemple, Spa EL-FATH contribue avec 3 825 litres d'huile usagée par mois, tandis que SNTR fournit seulement 100 litres.

Il est essentiel d'identifier les clients qui fournissent de grandes quantités d'huile usagée, car cela peut influencer l'affectation des ressources de collecte et permettre de maximiser les quantités collectées.

Méthode de Pareto

Alors pour identifier les grands distributeurs à partir de nos données, nous pouvons effectivement utiliser l'analyse de Pareto. Cette dernière est une méthode qui permet de classer les éléments en fonction de leur contribution relative à un effet ou à un résultat spécifique. Elle est basée sur le principe de la règle des 80/20.

Dans notre cas, nous pouvons appliquer l'analyse de Pareto pour extraire les grands distributeurs, c'est-à-dire les clients qui fournissent les quantités les plus importantes d'huile usagée.

TABLE III.7 – Analyse Pareto : Quantité collectée

Client	Quantité collectée (L)	Somme cumulée	Pourcentage
travaux public	4,550	4,550	12.59%
ERGR. AURES,DRP Batna	4,200	8,750	24.21%
Spa EL-Fath	3,825	12,575	34.79%
SARL GROUPE Takoua	3,800	16,375	45.30%
Défense Nationale	3,600	19,975	55.26%
BAG Batna	2,750	22,725	62.87%
Police Batna	2,100	24,825	68.68%
Station pompage, Sp4-Boumaguer	1,900	26,725	73.93%
Société nationale	1,750	28,475	78.77%
ETUS Batna	1,611	30,086	83.23%
Station UTS Batna	1,500	31,586	87.38%
EURL KDA EMBALLAGE	1,300	32,886	90.98%
RENAULT Batna	966.67	33,852.67	93.65%
EURL PROTIMGAD	750	34,602.67	95.73%
Cleen BAT, EPIC	625	35,227.67	97.45%
BOUSSAD KAMEL Vidange Auto	500	35,727.67	98.84%
Lamin BRIK, Vente et vidnage	320	36,047.67	99.72%
SNTR	100	36,147.67	100%

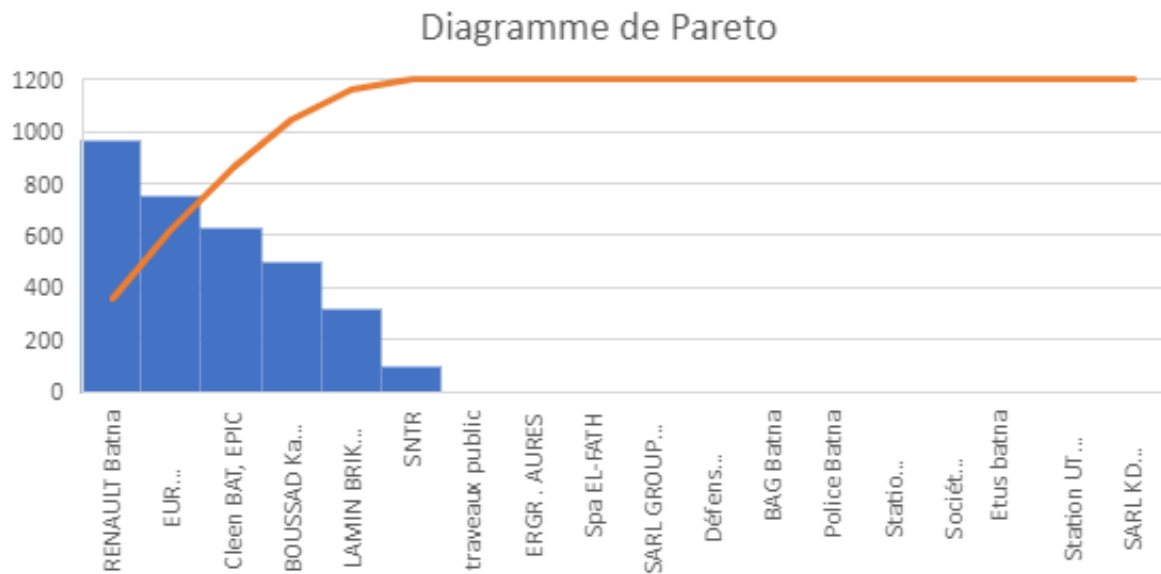


FIGURE III.9 – Classement des client selon la méthode de Pareto

Contribution des principaux clients

L'objectif de collecte mensuel de Naftal est de 36 000 litres d'huile usagée : La somme des quantités collectées des grandes distributeurs est donc :

$$3825 + 3600 + 4550 + 4200 + 3800 + 2750 + 2100 + 1900 + 1750 = 28475.00$$

Maintenant, calculons le pourcentage de cette somme par rapport à l'objectif de Naftal :

$$\text{Pourcentage} = \left(\frac{\text{Somme des quantités collectées des grandes distributeurs}}{\text{Objectif de collecte de Naftal}} \right) \times 100 \quad \text{Pourcentage} = \left(\frac{28475}{36000} \right) \times 100 \approx 79.1\%$$

En utilisant l'analyse des données extraites via le tableau de Pareto, nous identifions les principaux clients qui fournissent une grande quantité d'huile usagée, tels que "Travaux publics", "ERGR. AURES", "Spa EL-FATH", "SARL GROUPE" et "Défense Nationale, BAG Batna, Police Batna, Station de pompage, Sp4-Boumagueur, Société nationale Ain Touta".

Ces clients contribuent à plus de 79,1% du volume total d'huile usagée collectée. Par conséquent, il est crucial d'entretenir une relation étroite avec eux, de répondre efficacement à leurs besoins et de veiller à ce qu'ils soient régulièrement servis afin d'assurer le bon fonctionnement de la chaîne logistique réversible.

III.6 Conception d'un système de suivi de la collecte

Dans cette partie, nous explorerons le processus de conception d'un système décisionnel dédié au suivi de la de la collecte des huiles usagées. Nous détaillerons la conception

du modèle dimensionnel, en mettant l'accent sur les tables de dimension et les tables de faits.

La Business Intelligence (BI) englobe un ensemble de processus, d'outils et de méthodologies visant à collecter, traiter et analyser des données provenant de diverses sources.

L'objectif est de rendre les données disponibles au bon moment, afin de permettre la prise de décisions stratégiques opportunes et éclairées. La BI offre également une variété d'outils pour analyser rapidement les informations consolidées, présentées de différentes manières.

Pour concevoir notre système, nous avons adopté l'approche de Inmon, également connue sous le nom de "Top-Down", cette approche se focalise sur la création d'un data warehouse centralisé et intégré, connu sous le nom d'"enterprise data warehouse" (EDW). Son modèle de données est spécifiquement conçu pour représenter de manière complète les processus métier de l'organisation, le data warehouse central est établi en premier lieu, agissant comme une source unique de données pour toute l'entreprise.

Le modèle de données d'Inmon suit généralement une structure normalisée afin de prévenir les redondances grâce à la décomposition des entités en tables distinctes, ceci assure l'intégrité des données et facilite les mises à jour et modifications ultérieures. De plus, l'approche d'Inmon met une grande importance sur l'intégration des données provenant de diverses sources au sein du data warehouse central.

Les données sont extraites, transformées et chargées (ETL) dans le data warehouse, où elles subissent un processus de nettoyage, consolidation et intégration avant d'être mises à disposition des utilisateurs finaux.

Pour faire la table des faits et les tables de dimensions, nous allons suivre ces étapes :

Choix du processus : Le processus que nous avons choisi de suivre est le processus de collecte des huiles usagées.

Définition de la granularité : Nous déterminons le niveau de détail auquel nous souhaitons charger nos données dans chaque table, par exemple la date sera détaillée en année et mois.

Sélection des dimensions : Nous choisissons les axes d'analyse et de positionnement des faits.

TABLE III.8 – Table de dimensions

Dimension	Type de dimension	Attributs	Type	Désignation
Itinéraire	Dimension dé-générée ou factuelle	ID_itinéraire, Trajet	Dimension statique	Description
Date	Dimension statique	Année, Mois	Entier	Date
Client	Dimension à évolution lente	ID_Client, Adresse, Téléphone, Email	chaîne de caractères	Information
Prévision	Dimension statistique	ID_Client, Demande prévue , Année , Mois.	chaîne de caractères	Prévision
Camion	Dimension statique	Camion, Matricule	chaîne de caractères	Description
Client visité	Dimension statique	ID_itinéraire, Clints visités, Quantité récupérée	chaîne de caractères	Description

Identification du fait : Lors de cette étape, nous procédons à l'identification des faits, c'est-à-dire des éléments concrets à analyser en lien avec le processus de collecte.

TABLE III.9 – Table des faits

Fait	Attributs	Désignation
Données trajet	ID_itinéraire, camion, matricule de camion	Identification du trajet
	distance parcourue (km)	Distance parcourue
	temps de trajet	Temps de trajet
	Quantité collectée (L)	Quantité collectée
	Année, Mois	Période du trajet

Choix des mesures Nous identifions les éléments qui servent de mesures pour le fait donné. les mesures sont les attributs suivants :

- Distance parcourue (km)
- Temps de trajet
- Quantité collectée (L)

Ces mesures représentent des informations quantitatives liées à chaque trajet effectué, telles que la distance parcourue en kilomètres, le temps de trajet et la quantité des huiles usagées collectées en litres.

Modèle en flocon de l'activité " Suivi de la collecte"

Les données utilisées pour la réalisation de modèle BI ont été extraits à partir d'Excel et sont inclus en annexe.

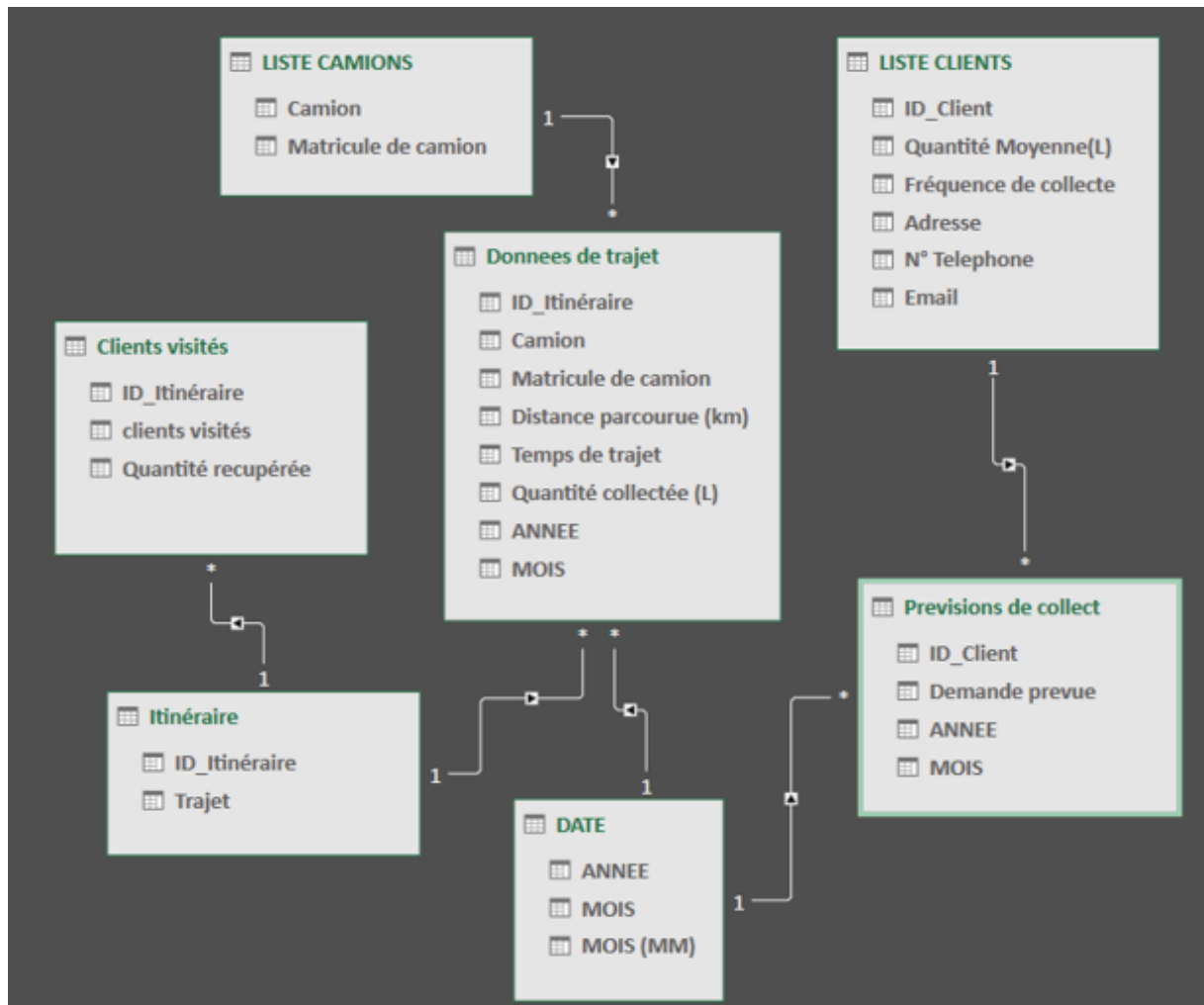


FIGURE III.10 – Représentation du modèle BI en flocon

Conclusion

Dans ce chapitre nous a vous présenté à la fois une approche de modélisation mathématique pour optimiser la collecte d'huiles usagées et une conception de système décisionnel pour le suivi de cette collecte. Ces deux approches complémentaires nous permettront de prendre des décisions éclairées et d'améliorer les performances de notre processus de collecte.

Conclusion Générale

Notre mémoire de projet de fin d'études s'est concentré sur l'intégration d'une chaîne logistique réversible dans le réseau de distribution de l'entreprise NAFTAL à Batna, en mettant l'accent sur la logistique inverse et la récupération des huiles usagées. L'objectif principal de notre étude était d'optimiser cette intégration afin de résoudre la problématique spécifique liée à la distribution inverse des huiles usagées.

Pour atteindre notre objectif, nous avons modélisé le problème sous forme linéaire, en prenant en compte les contraintes pertinentes de la chaîne logistique. Malheureusement, en raison du manque de données disponibles, nous avons dû nous limiter aux contraintes les plus significatives pour notre analyse.

En utilisant le logiciel IBM Cplex Optimizer, nous avons proposé une solution qui se rapproche de l'optimum. Cette solution offre à l'entreprise NAFTAL la possibilité de réaliser d'importants gains, avec une réduction significative des distances parcourues, passant de 765,3 km à 530 km, ce qui représente une amélioration de 30,8 %.

Notre étude offre des perspectives prometteuses en termes d'amélioration des performances opérationnelles de l'entreprise Naftal. En optimisant les tournées de collecte, nous pouvons contribuer à la réduction des distances parcourues, ce qui se traduit par une diminution des coûts de transport et une utilisation plus efficace des ressources et des véhicules, cette optimisation permettra à Naftal d'améliorer son efficacité opérationnelle, d'optimiser l'utilisation de ses ressources et de minimiser les dépenses.

Notre étude présente également une opportunité de réduire l'impact environnemental de l'entreprise, en réduisant les distances parcourues et les émissions de gaz à effet de serre associées à la collecte des huiles usagées, nous contribuons à la préservation de l'environnement et au développement durable. Cette approche permet à Naftal de renforcer sa responsabilité sociale en adoptant des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

En outre, cette étude offre une perspective d'optimisation des ressources de l'entreprise. En minimisant les déplacements inutiles, nous aidons Naftal à optimiser l'utilisation de ses véhicules et à éviter des coûts supplémentaires liés à l'acquisition de nouveaux véhicules. Une meilleure allocation des ressources existantes permet à l'entreprise d'atteindre une plus grande efficacité opérationnelle et de réaliser des économies significatives.

À la lumière des perspectives évoquées, certaines limites de notre étude ont été identifiées. Tout d'abord, la coordination avec les clients s'avère essentielle dans la planifi-

cation des tournées de collecte, en tenant compte de leur disponibilité et de leur coopération. Une coordination efficace des horaires de collecte est nécessaire pour garantir la ponctualité et éviter les retards ou les absences. De plus, il est important de considérer les coûts initiaux liés à la mise en œuvre de nouvelles méthodes ou technologies pour optimiser les tournées de collecte, malgré la possibilité de réduire les coûts à long terme. Cela peut impliquer des investissements dans des systèmes de suivi et de gestion de flotte, la formation du personnel et l'adaptation des processus opérationnels. En outre, il convient de noter que le contexte de la collecte des huiles usagées et de la distribution de carburants peut évoluer avec le temps, ce qui peut avoir un impact sur l'efficacité de la planification des tournées en raison de changements dans les demandes des clients, les réglementations environnementales ou les conditions du marché. Par conséquent, il est essentiel de revoir et d'ajuster régulièrement les stratégies de collecte afin de maintenir leur pertinence et leur efficacité.

En conclusion, bien que notre étude propose des perspectives intéressantes pour l'amélioration des performances opérationnelles de Naftal grâce à l'optimisation des tournées de collecte, il est important de prendre en compte les défis et les limites associés à ce problème. En abordant ces aspects, Naftal pourra mieux évaluer la faisabilité et la rentabilité de notre solution, tout en adaptant les stratégies de collecte en fonction de l'évolution du contexte.

Chapitre IV

Annexes

TABLE IV.1 – Liste des clients

ID_Client	Quantité Moyenne	Fréquence de collecte	Adresse	N° Telephone	Email
Client P1	550	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P2	750	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P3	3825	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P4	2750	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P5	3600	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P6	4550	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P7	1900	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P8	1500	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P9	1750	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P10	625	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P11	2100	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P12	4200	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P13	1612	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P14	967	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P15	100	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P16	320	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P17	1300	Mensuelle	XX	XX	XX
Client P18	3800	Mensuelle	XX	XX	XX

TABLE IV.2 – Liste des camions

Camion	Matricule de camion
Camion 01	00876/318/05

TABLE IV.3 – Date

ANNEE	MOIS	MOIS (MM)
2023	1	JANVIER
2023	2	FEVRIER
2023	3	MARS
2023	4	AVRIL
2023	5	MAI
2023	6	JUIN
2023	7	JUILLET
2023	8	AOUT
2023	9	SEPTEMBRE
2023	10	OCTOBRE
2023	11	NOVEMBRE
2023	12	DECEMBRE

TABLE IV.4 – Données de trajet et quantités collectées

ID_Itinéraire	Camion	Matricule	Distance (km)	Temps	Quantité (L)	Année	Mois
Itinéraire 1	Camion 01	00876/318/05	16.2	0 :20	3600	2023	1
Itinéraire 2	Camion 01	00876/318/05	22.3	0 :26	3387	2023	1
Itinéraire 3	Camion 01	00876/318/05	26	0 :31	4150	2023	1
Itinéraire 4	Camion 01	00876/318/05	192	3 :30	5612	2023	1
Itinéraire 5	Camion 01	00876/318/05	35.1	0 :42	5375	2023	1
Itinéraire 6	Camion 01	00876/318/05	203	4 :03	5725	2023	1
Itinéraire 7	Camion 01	00876/318/05	7.4	0 :09	4550	2023	1
Itinéraire 8	Camion 01	00876/318/05	28	0 :21	3800	2023	1
Itinéraire 9	Camion 01	00876/318/05	16.2	0 :20	3600	2023	2
Itinéraire 10	Camion 01	00876/318/05	22.3	0 :26	3387	2023	2
Itinéraire 11	Camion 01	00876/318/05	26	0 :31	4150	2023	2
Itinéraire 12	Camion 01	00876/318/05	192	3 :30	5612	2023	2
Itinéraire 13	Camion 01	00876/318/05	35.1	0 :42	5375	2023	2
Itinéraire 14	Camion 01	00876/318/05	203	4 :03	5725	2023	2
Itinéraire 15	Camion 01	00876/318/05	7.4	0 :09	4550	2023	2
Itinéraire 16	Camion 01	00876/318/05	28	0 :21	4550	2023	2
Itinéraire 17	Camion 01	00876/318/05	16.2	0 :20	3,600	2023	3
Itinéraire 18	Camion 01	00876/318/05	22.3	0 :26	3,387	2023	3
Itinéraire 19	Camion 01	00876/318/05	26	0 :31	4,150	2023	3
Itinéraire 20	Camion 01	00876/318/05	192	3 :30	5,612	2023	3
Itinéraire 21	Camion 01	00876/318/05	35.1	0 :42	5,375	2023	3
Itinéraire 22	Camion 01	00876/318/05	203	4 :03	5,725	2023	3
Itinéraire 23	Camion 01	00876/318/05	7.4	0 :09	4,550	2023	3
Itinéraire 24	Camion 01	00876/318/05	28	0 :21	3,800	2023	3
Itinéraire 25	Camion 01	00876/318/05	16.2	0 :20	3,600	2023	4
Itinéraire 26	Camion 01	00876/318/05	22.3	0 :26	3,387	2023	4
Itinéraire 27	Camion 01	00876/318/05	26	0 :31	4,150	2023	4
Itinéraire 28	Camion 01	00876/318/05	192	3 :30	5,612	2023	4
Itinéraire 29	Camion 01	00876/318/05	35.1	0 :42	5,375	2023	4
Itinéraire 30	Camion 01	00876/318/05	203	4 :03	5,725	2023	4
Itinéraire 31	Camion 01	00876/318/05	7.4	0 :09	4,550	2023	4
Itinéraire 32	Camion 01	00876/318/05	28	0 :21	3,800	2023	4

TABLE IV.5 – Itinéraire

ID_Itinéraire	Trajet
Itinéraire 1	Client P5
Itinéraire 2	Client P16-Client P11-Client P14
Itinéraire 3	Client P4-Client P17-Client P15
Itinéraire 4	Client P9-Client P8-Client P13-Client P2
Itinéraire 5	Client P10-Client P12Client P1
Itinéraire 6	Client P3-Client P7
Itinéraire 7	Client P6
Itinéraire 8	Client P18
Itinéraire 9	Client P5
Itinéraire 10	Client P16-Client P11-Client P14
Itinéraire 11	Client P4-Client P17-Client P15
Itinéraire 12	Client P9-Client P8-Client P13-Client P2
Itinéraire 13	Client P10-Client P12Client P1
Itinéraire 14	Client P3-Client P7
Itinéraire 15	Client P6
Itinéraire 16	Client P18
Itinéraire 17	Client P5
Itinéraire 18	Client P16-Client P11-Client P14
Itinéraire 19	Client P4-Client P17-Client P15
Itinéraire 20	Client P9-Client P8-Client P13-Client P2
Itinéraire 21	Client P10-Client P12Client P1
Itinéraire 22	Client P3-Client P7
Itinéraire 23	Client P6
Itinéraire 24	Client P18
Itinéraire 25	Client P5
Itinéraire 26	Client P16-Client P11-Client P14
Itinéraire 27	Client P4-Client P17-Client P15
Itinéraire 28	Client P9-Client P8-Client P13-Client P2
Itinéraire 29	Client P10-Client P12Client P1
Itinéraire 30	Client P3-Client P7
Itinéraire 31	Client P6
Itinéraire 32	Client P18

TABLE IV.6: Clients visités

ID_Itinéraire	Clients visités	Quantité récupérée
Itinéraire 1	Client P5	3,600
Itinéraire 2	Client P16	320
Itinéraire 2	Client P11	2,100
Itinéraire 2	Client P14	967
Itinéraire 3	Client P4	2,750
Itinéraire 3	Client P17	1,300
Itinéraire 3	Client P15	100
Itinéraire 4	Client P9	1,750
Itinéraire 4	Client P8	1,500
Itinéraire 4	Client P13	1,612
Itinéraire 4	Client P2	750
Itinéraire 5	Client P10	625
Itinéraire 5	Client P12	4,200
Itinéraire 5	Client P1	550
Itinéraire 6	Client P3	3,825
Itinéraire 6	Client P7	1,900
Itinéraire 7	Client P6	4,550
Itinéraire 8	Client P18	3,800
Itinéraire 8	Client P5	3,600
Itinéraire 8	Client P16	320
Itinéraire 8	Client P11	2,100
Itinéraire 8	Client P14	967
Itinéraire 9	Client P4	2,750
Itinéraire 9	Client P17	1,300
Itinéraire 10	Client P15	100
Itinéraire 10	Client P9	1,750
Itinéraire 10	Client P8	1,500
Itinéraire 11	Client P13	1,612
Itinéraire 11	Client P2	750
Itinéraire 12	Client P10	625
Itinéraire 12	Client P12	4,200
Itinéraire 13	Client P1	550
Itinéraire 13	Client P3	3,825
Itinéraire 13	Client P7	1,900
Itinéraire 14	Client P6	4,550
Itinéraire 14	Client P18	3,800

La suite dans la page suivante

Table IV.6 – suite du tableau

ID_Itinéraire	Clients visités	Quantité récupérée
Itinéraire 15	Client P5	3,600
Itinéraire 15	Client P16	320
Itinéraire 15	Client P11	2,100
Itinéraire 15	Client P14	967
Itinéraire 16	Client P4	2,750
Itinéraire 16	Client P17	1,300
Itinéraire 17	Client P15	100
Itinéraire 17	Client P9	1,750
Itinéraire 17	Client P8	1,500
Itinéraire 18	Client P13	1,612
Itinéraire 18	Client P2	750
Itinéraire 19	Client P10	625
Itinéraire 19	Client P12	4,200
Itinéraire 20	Client P1	550
Itinéraire 20	Client P3	3,825
Itinéraire 20	Client P7	1,900
Itinéraire 21	Client P6	4,550
Itinéraire 21	Client P18	3,800
Itinéraire 22	Client P5	3,600
Itinéraire 22	Client P16	320
Itinéraire 22	Client P11	2,100
Itinéraire 22	Client P14	967
Itinéraire 23	Client P4	2,750
Itinéraire 23	Client P17	1,300
Itinéraire 24	Client P15	100
Itinéraire 24	Client P9	1,750
Itinéraire 24	Client P8	1,500
Itinéraire 25	Client P13	1,612
Itinéraire 25	Client P2	750
Itinéraire 26	Client P10	625
Itinéraire 26	Client P12	4,200
Itinéraire 27	Client P1	550
Itinéraire 27	Client P3	3,825
Itinéraire 27	Client P7	1,900
Itinéraire 28	Client P6	4,550
Itinéraire 28	Client P18	3,800

TABLE IV.7: Prévision de collecte

ID_Client	Demande prevue	ANNEE	MOIS
Client P1	550	2023	7
Client P2	750	2023	7
Client P3	3,825	2023	7
Client P4	2,750	2023	7
Client P5	3,600	2023	7
Client P6	4,550	2023	7
Client P7	1,900	2023	7
Client P8	1,500	2023	7
Client P9	1,750	2023	7
Client P10	625	2023	7
Client P11	2,100	2023	7
Client P12	4,200	2023	7
Client P13	1,612	2023	7
Client P14	967	2023	7
Client P15	100	2023	7
Client P16	320	2023	7
Client P17	1,300	2023	7
Client P18	3,800	2023	7
Client P1	550	2023	8
Client P2	750	2023	8
Client P3	3,825	2023	8
Client P4	2,750	2023	8
Client P5	3,600	2023	8
Client P6	4,550	2023	8
Client P7	1,900	2023	8
Client P8	1,500	2023	8
Client P9	1,750	2023	8
Client P10	625	2023	8
Client P11	2,100	2023	8
Client P12	4,200	2023	8
Client P13	1,612	2023	8
Client P14	967	2023	8
Client P15	100	2023	8
Client P16	320	2023	8
Client P17	1,300	2023	8
Client P18	3,800	2023	8

La suite dans la page suivante

Table IV.7 – suite du tableau

ID_Client	Demande prevue	ANNEE	MOIS
Client P1	550	2023	9
Client P2	750	2023	9
Client P3	3,825	2023	9
Client P4	2,750	2023	9
Client P5	3,600	2023	9
Client P6	4,550	2023	9
Client P7	1,900	2023	9
Client P8	1,500	2023	9
Client P9	1,750	2023	9
Client P10	625	2023	9
Client P11	2,100	2023	9
Client P12	4,200	2023	9
Client P13	1,612	2023	9
Client P14	967	2023	9
Client P15	100	2023	9
Client P16	320	2023	9
Client P17	1,300	2023	9
Client P18	3,800	2023	9
Client P1	550	2023	10
Client P2	750	2023	10
Client P3	3,825	2023	10
Client P4	2,750	2023	10
Client P5	3,600	2023	10
Client P6	4,550	2023	10
Client P7	1,900	2023	10
Client P8	1,500	2023	10
Client P9	1,750	2023	10
Client P10	625	2023	10
Client P11	2,100	2023	10
Client P12	4,200	2023	10
Client P13	1,612	2023	10
Client P14	967	2023	10
Client P15	100	2023	10
Client P16	320	2023	10
Client P17	1,300	2023	10
Client P18	3,800	2023	10
Client P1	550	2023	11
Client P2	750	2023	11

La suite dans la page suivante

Table IV.7 – suite du tableau

ID_Client	Demande prevue	ANNEE	MOIS
Client P3	3,825	2023	11
Client P4	2,750	2023	11
Client P5	3,600	2023	11
Client P6	4,550	2023	11
Client P7	1,900	2023	11
Client P8	1,500	2023	11
Client P9	1,750	2023	11
Client P10	625	2023	11
Client P11	2,100	2023	11
Client P12	4,200	2023	11
Client P13	1,612	2023	11
Client P14	967	2023	11
Client P15	100	2023	11
Client P16	320	2023	11
Client P17	1,300	2023	11
Client P18	3,800	2023	11
Client P1	550	2023	12
Client P2	750	2023	12
Client P3	3,825	2023	12
Client P4	2,750	2023	12
Client P5	3,600	2023	12
Client P6	4,550	2023	12
Client P7	1,900	2023	12
Client P8	1,500	2023	12
Client P9	1,750	2023	12
Client P10	625	2023	12
Client P11	2,100	2023	12
Client P12	4,200	2023	12
Client P13	1,612	2023	12
Client P14	967	2023	12
Client P15	100	2023	12
Client P16	320	2023	12
Client P17	1,300	2023	12
Client P18	3,800	2023	12

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Recyclage des huiles industrielles usagées : un créneau inexploité. *Algerie360*. Retrieved from <https://www.algerie360.com/recyclage-des-huiles-industrielles-usagees-un-creneau-inexploite>
- [2] P Rao and D Holt. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations & Production Management*, 25(9) :898–916, 2005.
- [3] Ben M Beamon. Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4) :332–342, 1999.
- [4] Le Moigne Rémy. *L'économie circulaire : Stratégie pour un monde plus durable*. Dunod, 2018.
- [5] Dennis W. Krumwiede and Chwen Sheu. A model for reverse logistics entry by third-party providers. *Omega*, 30(4) :325–333, 2002.
- [6] Joseph P. Guiltinan and N. N. Nwokoye. Reverse flows in marketing channels. *Journal of Marketing*, 38(4) :42–48, 1974.
- [7] James L. Ginter and David E. Starling. The distribution inverse : Determining its magnitude and significance. *Business Horizons*, 21(1) :77–84, 1978.
- [8] Douglas M. Lambert and James R. Stock. Reverse logistics : A framework for evaluating channel restructure. *Journal of Business Logistics*, 2(2) :1–27, 1981.
- [9] Paul R. Murphy. Reverse logistics : The art of backwards movement. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 16(5) :35–48, 1986.
- [10] Richard F. Poist. Developing the reverse logistics channel. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19(8) :3–13, 1989.
- [11] Sergio Rubio, Andrés Chamorro, and Francisco J. Miranda. Reverse logistics : A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 29(1) :129–162, 2008.
- [12] Shrikant Krupasindhu Panigrahi, Foo Weng Kar, Tan Ai Fen, Lam Kah Hoe, and Melvin Wong. A strategic initiative for successful reverse logistics management in retail industry. *Global Business Review*, 19(3S) :1–25, 2018.
- [13] Dale S. Rogers and Ronald S. Tibben-Lembke. *Going backwards : Reverse logistics trends and practices*, 1998.

- [14] Samir K. Srivastava. Network design for reverse logistics. *Omega*, 36(4) :535–548, 2008.
- [15] Dale S. Rogers and Ronald S. Tibben-Lembke. An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2) :129–148, 2001.
- [16] M. Thierry, M. Salomon, J. Van Nunen, and L. Van Wassenhove. Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2) :114–135, 1995.
- [17] P. Beullens. Reverse logistics in the european automotive industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5) :432–448, 2004.
- [18] Marisa P. De Brito and Rommert Dekker. Waste management. *Handbook of Operations Research in Natural Resources*, pages 729–754, 2003.
- [19] Chung-Shu Lu, Nathalie Bostel, and Susan V. Mondschein. A descriptive model of the consumer returns management process. *Journal of Business Logistics*, 22(1) :129–150, 2001.
- [20] Richard Dawe. Challenges of managing product returns. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(5) :35–47, 1995.
- [21] Carl A. Witt. Understanding and managing customer convenience in a service environment. *Journal of Services Marketing*, 9(6) :6–17, 1995.
- [22] Moritz Fleischmann. The reverse logistics network of a european third party logistics provider - a case study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(3) :174–192, 2001.
- [23] Craig R Carter and Lisa M Ellram. Reverse logistics : A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1) :85–102, 1998.
- [24] Andrew Langnau. The growing significance of reverse logistics. *Supply Chain Management Review*, 5(1) :30–37, 2001.
- [25] Andrzej Stasiak, Andrzej Hamrol, and Andrzej Ruciński. Environmental requirements in packaging regulations-a data system concept. *Packaging Technology and Science*, 9(1) :49–62, 1996.
- [26] CARE VISION 2000 - A Strategic Program for Recycling of Electronics, N/A. Accessed : June 26, 2023.
- [27] Green dot - dual system deutschland. Retrieved from <https://www.gruener-punkt.de/en/>. Accessed on June 26, 2023.
- [28] Michael S Byrne and Rami Deeb. The reverse logistics process : A framework for evaluating environmental effects. *Transportation Journal*, 32(4) :32–39, 1993.
- [29] Y. C. Wu and S. C. Dunn. Environmentally responsive logistics : A synthesis of key themes and issues. *Journal of Business Logistics*, 16(2) :93–121, 1995.
- [30] Patrick Siarry, Alain Petrowski, and Éric Taillard. *Metaheuristics for Hard Optimization*. Springer Verlag, 2005.

- [31] Hani Guenoune, Abdelmadjide Boukra, and Meriem Berghida. Résolution du problème de tournées de véhicules avec collecte et livraison simultanées avec une approche coopérative de métaheuristiques. June 2014.
- [32] Gilbert Laporte. The vehicle routing problem : An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3) :345–358, 1992.
- [33] Lain Brero. *Optimisation multiobjectif et strategie d'évolution en environnement dynamique*. PhD thesis, PhD thesis, 2001.
- [34] Agence N ational des déchets. la-gestion-des-huiles-usagees-alimentaires-et-minerales/. <https://and.dz/>. Accessed on March 25, 2023.
- [35] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), N/A.

Résumé

Résumé

ملخص :

تمت هذه الدراسة في إطار مشروع نهاية الدراسة، والذي يهدف إلى تحسين جمع الزيوت المستعملة في شركة نفطال باتنة، باستخدام نهج يعتمد على مشكلة توزيع المركبات (Vehicle Routing Problem - VRP). الهدف هو تحسين جمع الزيوت المستعملة لتقليل المسافات المقطوعة والتكاليف المرتبطة. تنتج نفطال كمية كبيرة من الزيوت المستعملة بسبب نشاطات بيع الوقود. توضح النتائج حلاً يقترب من الأمثل، مما يقلل المسافات المقطوعة من 765.3 كم إلى 530 كم، مما يشكل تحسناً بنسبة 30.8%.

كلمات مفتاحية: تحسين، لوجستيات عكسية، توزيع، إدارة النفايات الصناعية، زيوت مستعملة، البيئة، مشكلة توزيع المركبات، (VRP).

Abstract

Ce projet de fin d'étude se concentre sur l'optimisation de la collecte des huiles usagées dans l'entreprise NAFTAL à Batna, en utilisant une approche basée sur le problème de routage des véhicules (Vehicle Routing Problem - VRP). L'objectif principal est d'optimiser la collecte des huiles usagées afin de réduire les distances parcourues et les coûts associés. NAFTAL, en raison de ses activités de vente de carburants, génère une quantité significative d'huiles usagées. Les résultats obtenus démontrent une solution qui se rapproche de l'optimum, permettant de réduire les distances parcourues de 765,3 km à 530 km, soit une amélioration de 30,8%.

Mots clés : optimisation, logistique inverse, distribution, gestion des déchets industriels, huiles usagées, environnement, VRP.

Abstract

This study was conducted as part of a final project, aiming to optimize the collection of used oils in NAFTAL Batna company, using an approach based on the Vehicle Routing Problem (VRP). The main objective is to optimize the collection of used oils to reduce travel distances and associated costs. NAFTAL generates a significant quantity of used oils due to its fuel sales activities. The results demonstrate a solution that approaches optimality, reducing travel distances from 765.3 km to 530 km, representing an improvement of 30.8%.

Keywords: Optimization, Reverse logistics, Distribution, Industrial waste management, Used oils, Environment, VRP.