

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire Présenté en vue d'obtention du Diplôme de Master
en Mathématiques Appliquées

Spécialité : Modélisation Optimisation et Aide à la Décision

Optimisation du plan de transport et réduction des
trajets à vide : Cas de l'entreprise Béjaïa Logistique

Présenté par :

Mlle Kherbouche Lyliya

Mlle Mechkour Amel

Défendu le 29/06/2025, devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------------------------|------------|--------------|----------------------------|
| M ^r MO. Bibi | Professeur | Président | UAMB - Bejaia. |
| M ^{me} A. Anzi | M.C.A | Promotrice | UAMB - Bejaia. |
| M ^{lle} K. Bouibed | M.C.B | Examinatrice | UAMB - Bejaia |
| M ^{lle} K. Bouchebbah | M.C.B | Examinatrice | UAMB - Bejaia. |
| M ^{lle} N. Djerroud | Doctorante | Examinatrice | UAMB - Bejaia. |
| M ^r B. Akil | Ingénieur | Invité | Cadre à Béjaïa Logistique. |

Année Universitaire 2024 – 2025

Remerciements

Nous remercions d'abord Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir donné la force et le courage d'accomplir ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Mme A. Anzi**, Docteure à l'Université de Béjaïa, pour l'honneur qu'elle nous a fait en étant la rapporteure de notre mémoire de Master. Nous la remercions pour ses grandes qualités humaines, sa précieuse attention, et particulièrement pour ses conseils et orientations qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent également à **Mr B. Akil**, chef de service d'exploitation au sein de l'entreprise **Béjaïa Logistique**, pour nous avoir encadrées durant notre stage avec professionnalisme. Son implication, ses conseils concrets et son expérience sur le terrain ont été déterminants dans la réalisation de ce projet.*

*Nous exprimons également notre reconnaissance à **Mr MO. Bibi**, Professeur à l'Université de Béjaïa, pour avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.*

*Nous remercions aussi les autres membres du jury, **Mlle K. Bouibed** et **Mlle K. Bouchebbah**, pour avoir bien voulu consacrer de leur temps à la lecture et à l'évaluation de notre mémoire.*

*Nous adressons un grand merci à tous les enseignants du **Département de Recherche Opérationnelle** de l'Université de Béjaïa pour leur dévouement et leur accompagnement tout au long de notre formation universitaire.*

Nous avons une pensée particulière pour nos chères familles. Leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants ont été pour nous une source inestimable de force et de motivation tout au long de nos études. Leur présence et leur appui inconditionnel ont été essentiels pour surmonter les défis et atteindre nos objectifs académiques. Nous leur sommes profondément reconnaissants pour tout ce qu'ils ont fait pour nous.

Enfin, merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Leur expertise et leur soutien moral ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents, véritables piliers de ma vie, pour leur amour inconditionnel, leur patience infinie et leurs innombrables sacrifices. Rien de tout cela n'aurait été possible sans vous ;

À mon seul frère bien-aimé, qui est un frère et un père à la fois, et un soutien indéfectible dans toutes les situations ;

À ma seule et chère sœur Katia, mon modèle dans la vie, compagne de chaque étape, qui a toujours su être à la fois une sœur et une véritable amie ;

À toute ma famille, pour leur soutien, leur affection et leur présence rassurante ;

À la personne la plus chère à mon cœur, mon fiancé Oussama, pour son amour sincère, sa patience, sa confiance en moi et sa motivation sans faille ;

À mes amies fidèles Baya et Souad, pour leur soutien moral inestimable et leur loyauté ;

À ma binôme Amel, pour son engagement et la belle complicité professionnelle que nous avons partagée ;

À tous mes camarades et collègues de la promotion Recherche Opérationnelle 2024/2025, avec qui j'ai partagé des moments riches en émotions, en apprentissage et en amitié.

Lylia Kherbouche

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur patience infinie, leurs prières silencieuses, leur soutien indéfectible et les innombrables sacrifices qu'ils ont consentis pour me voir réussir ;

Mes frères Aymane, Lyes et Rayane, dont la force et le courage ont toujours été une source d'inspiration ;

Mes sœurs Mouna, Zahra et Imane, ainsi que mes belles-sœurs, pour leur soutien, leur tendresse, leur bienveillance et leur précieuse présence à mes côtés ;

La personne la plus chère à mon cœur, mon mari Mahdi, pour son amour profond, sa patience, sa confiance en moi et sa motivation constante qui m'a portée tout au long de ce parcours ;

Mes amies Yasmina, Tinhinane et Nadjat, pour leur bienveillance, leur écoute et leur amitié sincère tout au long de cette aventure ;

Ma binôme Lylia, pour sa détermination, son esprit de collaboration et tous les moments enrichissants que nous avons partagés cette année ;

Tous mes amies et collègues de la promotion Recherche Opérationnelle 2024/2025.

Mechkour Amel

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Table des matières | III |
| Liste des figures | VI |
| Liste des tables | VII |
| Liste d'abréviations | VIII |
| Introduction générale | 1 |
| 1 Présentation de Béjaia Logistique | 3 |
| Introduction | 3 |
| 1.1 Présentation de l'entreprise | 4 |
| 1.1.1 Historique de l'entreprise | 4 |
| 1.1.2 Structure organisationnelle de BL | 5 |
| 1.1.3 Description de la flotte de BL | 6 |
| 1.1.4 Produits transportés par Béjaia Logistique | 7 |
| 1.1.5 Les clients de BL | 7 |
| 1.1.6 Missions et objectifs de BL | 8 |
| 1.1.7 Objectifs stratégiques de BL | 9 |
| 1.1.8 Organisation des ressources humaines de BL | 9 |
| 1.1.9 Les activités de l'entreprise BL | 9 |
| 1.1.10 Les systèmes d'informations logistiques | 10 |
| 1.1.11 Procédure de validation des commandes | 12 |
| 1.2 Position du problème | 13 |
| Conclusion | 13 |
| 2 Notions de logistique et de transport | 14 |
| Introduction | 14 |
| 2.1 La logistique | 15 |
| 2.1.1 Rôle de la logistique dans l'entreprise | 15 |
| 2.1.2 Types de logistique | 15 |
| 2.1.3 Les enjeux d'optimisation | 15 |
| 2.1.4 Les objectifs de la logistique | 16 |
| 2.2 Le transport | 17 |
| 2.2.1 Le transport de marchandise | 17 |
| 2.2.2 Type de transport | 17 |
| 2.2.3 Types et acteurs du transport routier des marchandises | 18 |
| 2.2.4 Rôle du transport | 19 |
| 2.2.5 La relation entre la logistique et le transport | 19 |
| 2.2.6 Le transport à Vide | 19 |
| 2.3 Problème de tournée de véhicule | 23 |
| 2.3.1 Problèmes d'optimisation | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3.2 | Problème du Voyageur de Commerce (TSP) | 24 |
| 2.3.3 | Problème de tournées de véhicules (VRP) | 25 |
| | Conclusion | 29 |
| 3 | Modélisation et résolution du problème étudié | 30 |
| | Introduction | 30 |
| 3.1 | Description de la problématique | 31 |
| 3.2 | Présentation des données | 31 |
| 3.2.1 | Sources des données | 31 |
| 3.2.2 | Collecte des données | 31 |
| 3.3 | Formulation mathématique du modèle | 33 |
| 3.3.1 | Modèle général | 35 |
| 3.4 | Résolution du problème | 36 |
| 3.4.1 | Méthodologie de résolution | 37 |
| 3.4.2 | Présentation des résultats | 37 |
| 3.5 | Discussion des résultats | 38 |
| | Conclusion | 39 |
| | Conclusion générale | 40 |
| | Annexes | 42 |
| | Bibliographie | 45 |

Table des figures

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Architecture organisationnelle | 5 |
| 1.2 | Semi remorque | 7 |
| 1.3 | Quelques clients de Béjaïa Logistique. | 8 |
| 1.4 | Système de géolocalisation | 10 |
| 1.5 | Logiciel de gestion UTRANX | 11 |
| 1.6 | TIBCO | 11 |
| 2.1 | Flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients | 20 |
| 2.2 | Interactions des acteurs du TAV | 21 |
| 2.3 | Impacts négatifs du transport de marchandises et du retour à vide | 23 |
| 3.1 | Comparaison des coûts entre le plan réel et plan optimisé | 39 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | La flotte de Béjaïa Logistique. | 6 |
| 3.1 | Types de véhicules de Béjaïa Logistique | 32 |
| 3.2 | Principaux clients de Béjaïa logistique | 32 |
| 3.3 | Correspondance entre les distances parcourues et les délais de route estimés | 33 |
| 3.4 | Plan de transport optimal | 38 |
| 3.5 | Comparaison entre le plan réel et le plan optimisé | 38 |
| 3.6 | Les commandes du 1 ^{er} au 2 février 2025 | 41 |
| 3.7 | Planification des trajets | 42 |

Liste d'abréviations

| | |
|--------------|---|
| RO | Recherche Opérationnelle |
| ISO | Organisation Internationale de Normalisation |
| BL | Béjaïa Logistique |
| BTP | Bâtiments et Travaux Publics |
| PME | Petite et Moyenne Entreprise |
| SARL | Société à Responsabilité Limitée |
| RH | Ressources Humaines |
| GPS | Global Positioning System |
| API | Application Programming Interface |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| CRM | Customer Relationship Management |
| VRP | Vehicle Routing Problem |
| TAV | Transport à Vide |
| TSP | Traveling Salesman Problem |
| CVRP | Capacitated Vehicle Routing Problem |
| VRPB | Vehicle Routing Problem with Backhauls |
| DVRP | VRP à Demande Déterministe |
| VRPPD | Vehicle Routing Problem with Pick-up and Deliveries |
| MDVRP | Multi-Depot Vehicle Routing Problem |
| VRPTW | Vehicle Routing Problem with Time Windows |
| PLNE | Programmation Linéaire en Nombres Entiers |
| MILP | Programmation Linéaire Mixte en Nombres Entiers |

Introduction générale

La Recherche Opérationnelle est la discipline des mathématiques appliquées qui traite l'optimalité des ressources dans l'industrie. Depuis une dizaine d'années, le champ d'application de la RO s'est élargi à des domaines comme l'économie, la finance, le marketing et la planification d'entreprise. Plus récemment, la RO a été utilisée pour la gestion des systèmes de santé et d'éducation, pour la résolution de problèmes environnementaux [34].

La Recherche Opérationnelle est née pendant la Seconde Guerre mondiale des efforts conjugués d'éminents mathématiciens (dont von Neumann, Kantorovich, Dantzig, Blackett) [11, 22] à qui il avait été demandé de fournir des techniques d'optimisation des ressources militaires. Le premier succès de cette approche a été obtenue en 1940 par le physicien Patrick Blackett qui a résolu un problème d'implantation optimale de radars de surveillance. Le qualificatif **opérationnelle** vient du fait que les premières applications de cette discipline avait trait aux opérations militaires. La dénomination est restée par la suite, même si le domaine militaire n'est plus le principal champ d'application de cette discipline, le mot opérationnelle a alors pris le sens d'effectif. Ce sont donc ces mathématiciens qui ont créé une nouvelle méthodologie caractérisée par les mots clés Modélisation et Optimisation [34].

Au quotidien, des problèmes combinatoires complexes, particulièrement, relatifs à la gestion des ressources des systèmes étudiés émergent lors des phases de planification et de gestion. Ces problèmes présentent des caractéristiques communes en termes de problématiques et de contraintes, liées à une forte limitation des ressources disponibles, du temps et à la dynamique des systèmes. De plus en plus, les approches de résolution de ces problèmes font appel aux méthodes et techniques issues des domaines de la Recherche Opérationnelle et de l'intelligence artificielle. Parmi ces problèmes, on cite les problèmes d'affectation et de transport [34].

L'entreprise Béjaïa Logistique, spécialisée dans le transport routier de marchandises en Algérie, fait face à des défis liés à la planification efficace de ses tournées, notamment la minimisation des trajets à vide, qui engendrent des coûts significatifs sans générer de revenus.

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la Recherche Opérationnelle (RO) et vise à proposer une solution d'optimisation pour le problème de tournées de véhicules (VRP) adapté aux spécificités de cette entreprise. En s'appuyant sur une modélisation mathématique et des outils comme le solveur PuLP en Python, ce travail cherche à maximiser la rentabilité des trajets tout en respectant les contraintes opérationnelles, telles que les limites de temps de conduite et la continuité géographique des trajets.

Ce mémoire est structuré comme suit :

Le chapitre 1 est consacré à la présentation de l'entreprise Béjaïa Logistique, à travers son historique, son organisation, ses activités et ses outils logistiques.

Le chapitre 2 expose les outils théoriques nécessaires à notre étude, notamment les concepts clés de la logistique, du transport, du transport à vide et des problèmes d'optimisation de tournées.

Le chapitre 3 présente la modélisation mathématique du problème ainsi que la méthode de résolution adoptée au sein de l'entreprise Béjaïa Logistique, en utilisant le langage Python. Les résultats obtenus ainsi que leur interprétation sont exposés en fin de chapitre.

Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les apports de ce travail et ouvrir des perspectives d'amélioration.

1

Présentation de Béjaïa Logistique

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 3 |
| 1.1 Présentation de l'entreprise | 4 |
| 1.2 Position du problème | 13 |
| Conclusion | 13 |

Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation de Béjaïa Logistique, une entreprise spécialisée dans le transport routier de marchandises.

Nous débuterons par un aperçu historique retraçant les principales étapes de développement de l'entreprise, avant d'en dresser la fiche signalétique. Nous nous attarderons ensuite sur sa mission, sa vision ainsi que ses objectifs stratégiques. Une attention particulière sera portée à son organisation interne, ses activités principales, ses clients et partenaires, ainsi que les systèmes d'information logistiques qu'elle utilise pour optimiser la gestion de ses flux. Cette présentation permettra de mieux appréhender les enjeux logistiques de l'entreprise et de contextualiser la problématique traitée dans ce mémoire.

1.1 Présentation de l'entreprise

Béjaïa Logistique est une entreprise algérienne spécialisée dans le transport routier de marchandises et les services logistiques intégrés, fondée en 2008. Elle est une filiale de « **SARL IBRAHIM ET FILS IFRI** » et se distingue par son engagement envers la qualité, la santé et la sécurité au travail et l'environnement, selon les normes **ISO 9001 :2015**, **ISO 45001 : 2018** et **ISO 14001 :2015**. Elle est inscrite au registre de commerce sous le numéro 07B0185663 et elle possède un capital de 250000000.00 DA [3].

Elle est implantée dans la zone industrielle AHRİK IGHZER AMOKRANE, elle-même située dans la commune d'Ouzellaguen. Ce territoire appartient à la wilaya de Béjaïa et se trouve au nord-est de l'Algérie [28].

« **BL** » tente d'apporter des solutions adaptées et performantes à une clientèle professionnelle très diversifiée : entreprises du BTP, collectivités et administrations, industries, services, PME, ainsi qu'à une clientèle de particuliers.

Cette entreprise a commencé par assurer uniquement le transport pour sa maison mère, mais aujourd'hui, elle collabore avec divers clients à l'échelle nationale et avec la Tunisie sur le plan international [26].

1.1.1 Historique de l'entreprise

À l'origine, l'entreprise, avant d'adopter le statut juridique de SARL, fonctionnait en tant que service parc et transport au sein d'une autre société spécialisée dans la production d'eau minérale et de boissons diverses, nommée « **SARL IBRAHIM ET FILS IFRI** ». La création de ce service remonte à l'année 2002. Sa mission principale était d'assurer le transport de la marchandise produite par l'entreprise vers l'ensemble du territoire national.

Au fil des années, la production de cette dernière a connu une augmentation significative, dépassant les limites initialement fixées. Son système de distribution a également été impacté par divers problèmes, notamment en ce qui concerne la maintenance de ses moyens de transport, dont les coûts se sont révélés particulièrement élevés, surtout durant la période hivernale.

La **SARL IFRI** s'est trouvée dans une situation très délicate. Elle se préoccupait du transport plus que de l'amélioration de sa production principale, qui est l'eau minérale et les boissons, ainsi que de la qualité de ses produits. De peur que sa gamme ne se rabaisse sur le marché face à ses concurrents, très nombreux, la **SARL IFRI** décida de décentraliser son service parc et transport et de l'externaliser, afin d'alléger la charge sur ses ressources humaines et de se focaliser sur sa production.

Comme perspective, les gérants ont alors envisagé de créer une entreprise de transport pour éviter les coûts engendrés par l'utilisation de ces véhicules, surtout durant la période hivernale, et avoir le droit de les louer. Cette entreprise, qu'elle a nommée Béjaïa Logistique, a été créée au mois d'octobre de l'année 2008.

Au début, « **BL** » n'était qu'une petite entreprise qui se chargeait uniquement du transport de la marchandise de son entreprise mère. Au fil des années, elle s'est développée et a réalisé de très grands bénéfices, ce qui a permis à son activité d'évoluer progressivement, au même rythme que sa performance.

Elle est devenue une entreprise à part entière, qui pense et agit par elle-même. Avec un parcours inattendu, l'entreprise a réussi à se transformer d'une petite structure en 2008 à une grande entreprise aujourd'hui, et ce, grâce à sa bonne gestion [26].

1.1.2 Structure organisationnelle de BL

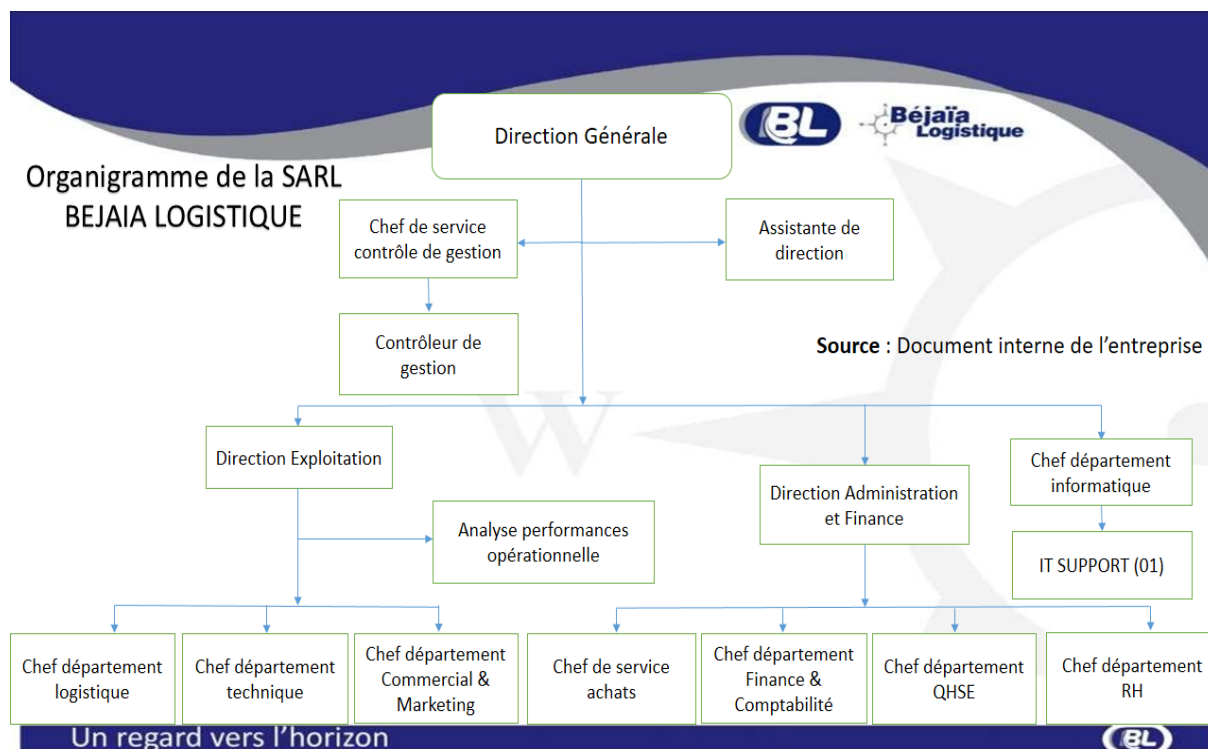


FIGURE 1.1 – Architecture organisationnelle.

L'organigramme présente une structure hiérarchique fonctionnelle qui reflète la répartition des responsabilités au sein de l'entreprise. Il se divise en plusieurs secteurs dirigés par :

1. Direction Générale :

est un centre de pilotage stratégique de l'entreprise, il supervise l'ensemble des services et départements. Elle prend les décisions majeures liées à la vision, la croissance, et les investissements de l'entreprise.

2. Service Contrôle de gestion :

Le service de contrôle de gestion, directement rattaché à la direction générale, joue un rôle central dans la maîtrise des performances économiques de l'entreprise. Il est composé d'un chef de service contrôle de gestion et d'un contrôleur de gestion. Ce service supervise l'ensemble des activités liées au contrôle de gestion, analyse les résultats financiers, identifie les écarts et propose des actions correctives.

3. Assistante de direction :

Elle assiste la direction générale dans les tâches administratives, la coordination des agendas, l'organisation des réunions, et le traitement des documents sensibles.

4. Département Informatique :

Responsable de la gestion du système d'information et des équipements IT (Information Technology)

5. Direction Exploitation :

dirige les activités opérationnelles et veille à la mise en œuvre efficace des opérations de transport et de logistique. Elle supervise les départements suivants :

- **Analyse performances opérationnelles** : sert à mesurer l'efficacité des opérations en temps réel : indicateurs de qualité, taux de service, retards, consommation,... Il aide à la prise de décision rapide.
- **Département Logistique** : assure la gestion des flux, du suivi des livraisons, de la disponibilité des moyens logistiques (camions, remorques), et de la coordination sur le terrain des chauffeurs.
- **Département Technique** : chargé de la maintenance et du suivi technique des équipements.
- **Département Commercial et Marketing** : développe le portefeuille clients, gère les appels d'offres, les négociations commerciales et la communication externe (publicité, partenariats).

6. La Direction Administrative et Financière :

gère l'ensemble des fonctions de support administratif et de gestion financière. Elle regroupe les services suivants :

- **Service Achats** : Assure les achats stratégiques et opérationnels (pièces, services, fournitures). Il négocie avec les fournisseurs et suit les stocks critiques.
- **Département Finance et Comptabilité** : assure la gestion comptable, les paiements et l'établissement des bilans.
- **Département QHSE** : s'occupe des aspects Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement. Il veille au respect des normes ISO.
- **Département Ressources Humaines (RH)** : responsable de la gestion du personnel, du recrutement et de la formation.

1.1.3 Description de la flotte de BL

Afin de mieux comprendre les capacités opérationnelles de Béjaïa Logistique, il est essentiel de dresser un aperçu de l'ensemble des véhicules composant sa flotte. Celle-ci est constituée de différents types de matériels roulants, adaptés à la diversité des missions de transport assurées par l'entreprise, allant des semi-remorques pour le transport de grandes quantités de marchandises, aux véhicules utilitaires pour des livraisons plus légères. La TABLE 1.1 présente la répartition détaillée de ces véhicules selon leur type et leur nombre.

| Matériels de l'entreprise | Nombre de véhicules |
|---------------------------|---------------------|
| Semi remorque | 531 |
| Remorque(30 T) | 535 |
| Plateau | 05 |
| 10 T | 18 |
| 15 T | 05 |
| Engin | 68 |
| Porte engin | 01 |
| Véhicule léger | 175 |
| véhicule utilitaire(5T) | 14 |
| Citerne | 05 |
| Citerne gazoile | 01 |

TABLE 1.1 – La flotte de Béjaïa Logistique.

Source : Réalisé par nous mêmes à partir des données collectées dans l'entreprise .

La FIGURE 1.2 illustre l'un des véhicules appartenant à la flotte de Béjaïa Logistique.



FIGURE 1.2 – Semi remorque

1.1.4 Produits transportés par Béjaïa Logistique

Béjaïa Logistique assure le transport de diverses marchandises à travers l'Algérie (58 wilayas). Selon les informations disponibles, l'entreprise prend en charge des produits tels que :

- **Produits pharmaceutiques et médicaments** : Béjaïa Logistique répond aux exigences réglementaires relatives au transport de ces produits sensibles.
- **Équipements médicaux** : L'entreprise assure le transport fiable et adaptable de ces équipements, en garantissant une visibilité totale des flux et une traçabilité complète.
- **Produits alimentaires** : L'entreprise assure le transport de denrées alimentaires en respectant les normes d'hygiène et de sécurité, garantissant ainsi la chaîne du froid et la qualité des produits livrés.

1.1.5 Les clients de BL

« BL » possède une quarantaine de clients, parmi lesquels figurent plusieurs entreprises de renom, tant au niveau national qu'international. Ses principaux clients incluent notamment **Ifri, Candia, GRD Labelle, Sanx, Hayat, Wafadoux, Général Emballage, Fruital, Beko, Caraju, Garedo, SARL Knauf, General Plast, Sopimama, Saffec et Dolomite**. Cette diversité de partenaires témoigne de la capacité de Béjaïa Logistique à répondre aux exigences de multiples secteurs d'activités.



FIGURE 1.3 – Quelques clients de Béjaïa Logistique.

1.1.6 Missions et objectifs de BL

1.1.6.1 Missions

- Assurer l'arrivée au bon état des marchandises transportées ;
- Mettre en place des programmes d'investissement ;
- Fidéliser ses clients et essayer d'en acquérir d'autres ;
- Améliorer son système de distribution ;
- Assurer un bon climat de travail pour les employés ;
- Gérer le développement des RH et les moyens matériels nécessaires au bon fonctionnement de l'entreprise ;
- Assurer une représentativité nationale et faire face aux concurrents [31] ;

1.1.6.2 Objectifs

- **Satisfaction des parties prenantes** : Répondre aux besoins et attentes des clients, partenaires et autres parties concernées ;
- **Promotion d'une culture de confiance et d'intégrité** : Instaurer un environnement de travail basé sur la transparence et le respect mutuel ;
- **Implication du personnel** : Créer un environnement interne, où les employés sont engagés dans la réalisation des objectifs de l'entreprise ;
- **Optimisation des ressources** : Utiliser efficacement toutes les ressources disponibles pour améliorer la performance ;
- **Préservation de la notoriété et de l'image de marque** : Maintenir et renforcer la réputation de l'entreprise sur le marché ;
- **Proposition de solutions logistiques adaptées** : Offrir des services personnalisés répondant aux besoins spécifiques des clients ;
- **Développement des compétences des collaborateurs** : Investir dans la formation et la fidélisation du personnel ;

- **Préservation de la santé et de la sécurité** : Assurer un environnement de travail sûr pour tous les employés ;
- **Protection de l'environnement** : Mettre en œuvre des pratiques respectueuses de l'environnement dans toutes les activités [3] ;

1.1.7 Objectifs stratégiques de BL

A ce jour, le professionnalisme et la performance de la SARL BEJAIA LOGISTIQUE s'appuient sur les compétences des collaborateurs formés pour répondre au mieux et sans relâche aux clients les plus exigeants. Conscient de sa responsabilité en tant qu'acteur majeur du marché de la location, Béjaïa Logistique investit pour concilier :

- **Dynamisme et développement durables** : respect de l'environnement par le choix de matériels non polluants, le tri sélectif et le traitement des déchets industriels via les professionnels du recyclage, tels que les huiles usées, batteries ... ;
- **Ethique sociale** : en protégeant et en respectant ses équipiers par leur formation en contribuant au progrès collectif, le partage des résultats et la promotion interne. Parce qu'une vie professionnelle saine repose sur un environnement de travail adapté et agréable ;
- **Responsabilité sociétale** : en s'impliquant dans les projets d'intérêt commun au niveau local, en créant des emplois, en soutenant les initiatives ayant pour finalité d'améliorer les conditions sociales, sanitaires ou environnementales locales [3] ;

1.1.8 Organisation des ressources humaines de BL

Béjaïa Logistique (BL) est structurée autour de plusieurs services, notamment l'administration, la maintenance et la gestion du parc roulant. Au total, 886 employés ont été enregistrés au cours du mois de janvier 2025. L'entreprise dispose d'une organisation des ressources humaines formelle, avec des postes dédiés tels que Responsable du personnel et Responsable Formation. La gestion stratégique des ressources humaines est supervisée par la Direction Générale, actuellement assurée par M. Hocine AZZOUG. Cette structure permet à BL de répondre efficacement aux besoins en compétences et de garantir un suivi rigoureux du capital humain.

1.1.9 Les activités de l'entreprise BL

Les activités de la SARL Béjaïa Logistique sont clairement définies et reflétées dans le nom même de l'entreprise, on trouve :

- Transport public de marchandises ;
- Location d'engin ;
- Location de véhicules avec et sans chauffeur ;
- Location du matériel pour bâtiments et travaux public ;
- Vente de pneus en gros ;

1.1.10 Les systèmes d'informations logistiques

Dans un contexte logistique exigeant, Béjaïa Logistique utilise des systèmes d'information performants pour optimiser la gestion de ses flux. Ces outils assurent le suivi, la traçabilité, la coordination et la sécurité des opérations. Ils facilitent l'automatisation des échanges d'informations et améliorent la qualité du service client. Les principales solutions utilisées sont TIBCO, UTRANX et Geoflotte. Chacune contribue à la performance globale de l'entreprise.

1. Geoflotte

Geoflotte est une solution de géolocalisation GPS et de gestion de flotte de tous types de véhicules, d'engins et d'équipements mobiles en temps réel, qui permet aux entreprises de suivre, de maîtriser, de gérer et de sécuriser leur flotte pour augmenter leur productivité tout en optimisant leurs charges logistiques avec assistance technique et commerciale 7jours/7.

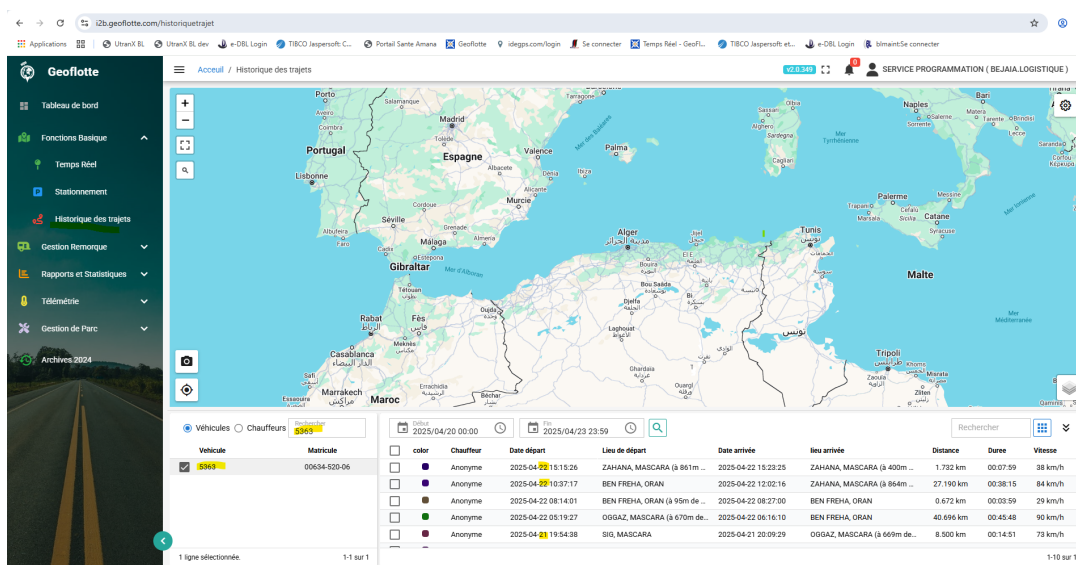


FIGURE 1.4 – Système de géolocalisation

Ce progiciel permet d'assurer plusieurs opportunités à BL :

- Une communication efficace entre les directions internes et externes, ainsi que les services, avec des chiffreurs et une localisation précise de leurs positionnements ;
- Un échange de données informatisées entre les parties prenantes du processus, via l'automatisation des messages ;
- Une sécurité, une traçabilité et une fiabilité de l'information au sein de l'organisme **BL** ;
- Une optimisation des mouvements liés aux demandes d'entretien des moyens logistiques, et des interventions sur ces moyens en cas de panne ;
- Une réduction des parcours et des temps de maintenance ;
- Une baisse des coûts administratifs, grâce à la suppression de la paperasse (bons ...) [3] ;

2. UTRANX

Cet outil de gestion informatisée permet la communication efficace et la flexibilité entre les responsables logistiques de l'entreprise et leurs clients, en collectant des données, puis en les analysant, et ensuite en les diffusant. De plus, ce support logistique permet de suivre les clients en traitant leurs réclamations en temps réel.

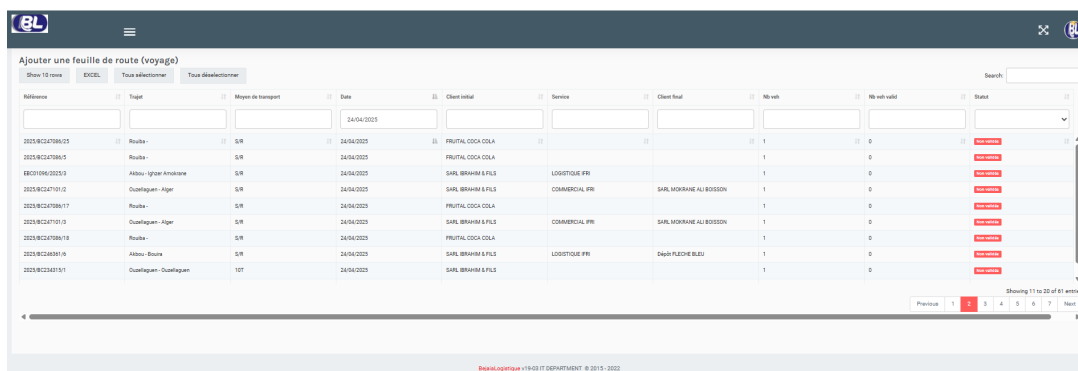


FIGURE 1.5 – Logiciel de gestion UTRANX

Ce progiciel offre plusieurs opportunités à l'entreprise, comme :

- Organiser la flotte de transport de façon rationnelle ;
- Obtenir des rendements élevés pour l'exploitation ;
- Assurer une prestation de service de qualité en réduisant le taux de retard lors de la prise des commandes ;
- Offrir une communication très efficace, tant à l'intérieur de l'entreprise (entre les différentes directions et services) qu'à l'extérieur (avec les clients) [28] ;

3. TIBCO

TIBCO fournit des fonctionnalités d'intégration d'applications d'entreprise, d'intégration de données, de messagerie, de traitement d'événements, de virtualisation de données, de gestion des données de référence, de gestion des API et d'automatisation des processus métiers.

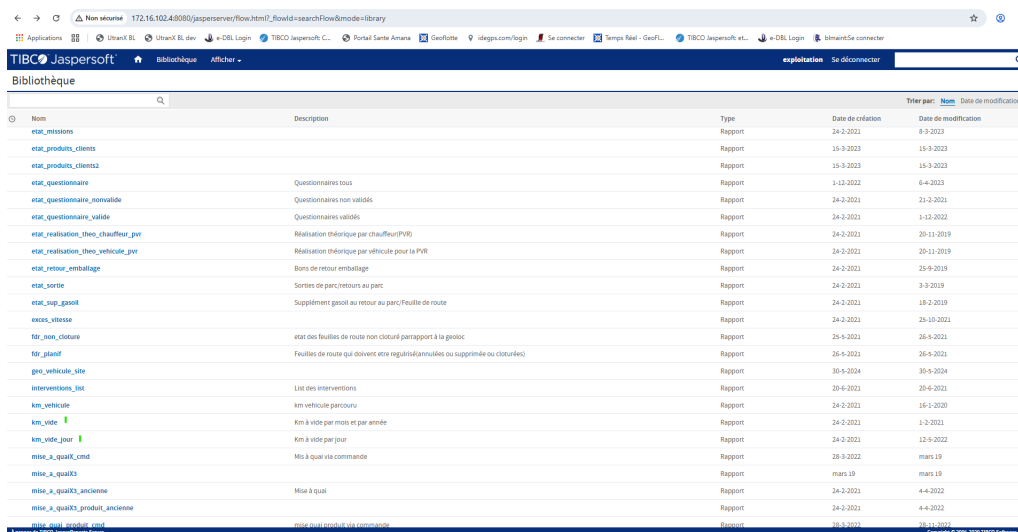


FIGURE 1.6 – TIBCO

Ce logiciel offre plusieurs opportunités à l'entreprise, comme :

- connecter différents logiciels (ERP, CRM, gestion de flotte...) afin de centraliser les données et automatiser les échanges entre services ;
- Traitement des données en temps réel grâce à ses outils d'analyse en continu ;
- Améliorer la prise de décision : en analysant les données issues de différents canaux (transport, production, stock, etc.) et en permettant une prise de décision rapide et efficace ;
- Le logiciel garantit des échanges sécurisés d'informations tout en assurant une traçabilité complète des flux logistiques ;
- Amélioration de l'expérience client en optimisant le suivi des commandes et la gestion des réclamations [3] ;

1.1.11 Procédure de validation des commandes

La gestion efficace des commandes constitue un maillon essentiel dans la chaîne logistique de « Béjaïa Logistique ». Le processus suit une séquence bien définie allant de la réception de la commande jusqu'à la livraison et la gestion des réclamations éventuelles. Ci-dessous les différentes étapes détaillées :

1. Réception de la commande

Lieu : Service commercial ou centre de relation client

Les commandes sont réceptionnées par téléphone, e-mail ou via le système informatique **UTRANX**. Les données clients et les détails de la commande sont saisis dans le système, qui attribue un numéro de suivi.

2. Vérification et validation commerciale

Lieu : Département commercial ou bureau de gestion des commandes

Le personnel vérifie la disponibilité des ressources, la conformité des documents, ainsi que la solvabilité du client avant de valider la commande.

3. Planification logistique

Lieu : Service logistique / planification transport

L'équipe logistique attribue les camions, planifie les itinéraires avec **Geo Flotte**, affecte les chauffeurs et édite une feuille de route.

4. Préparation et lancement

Lieu : Dépôt ou centre de distribution

Les marchandises sont préparées, contrôlées et chargées. Les documents de transport sont fournis au chauffeur.

5. Suivi et traçabilité en temps réel

Lieu : Salle de contrôle ou bureau logistique

Grâce au système de géolocalisation, les déplacements sont suivis. Les retards ou incidents sont anticipés et les clients sont informés en temps réel.

6. Livraison et confirmation

Lieu : Site client

Le chauffeur remet les marchandises, fait signer le bon de livraison (papier ou électronique), et l'information est automatiquement remontée au siège.

7. Traitement des réclamations / retour

Lieu : Service après-vente ou qualité

En cas de litige, une enquête est lancée. Les retours sont gérés via un outil numérique et des solutions correctives sont proposées (remplacement, remboursement, etc.) [3].

1.2 Position du problème

Dans un contexte où la compétitivité des entreprises de transport et de logistique dépend fortement de leur capacité à gérer efficacement leurs ressources, l'optimisation des opérations devient un enjeu stratégique majeur. Pour l'entreprise Béjaïa Logistique, spécialisée dans le transport de marchandises, plusieurs défis opérationnels se posent, notamment la réduction des trajets à vide, l'affectation optimale des ressources, ainsi que la planification efficace des itinéraires.

Actuellement, une part importante des trajets réalisés par la flotte de l'entreprise se fait sans chargement, ce qui engendre des coûts logistiques élevés. De plus, la gestion des contraintes opérationnelles, telles que les capacités des véhicules ou encore les réglementations en vigueur, complique davantage l'organisation optimale des opérations de transport.

Dans ce contexte, l'entreprise est confrontée à une problématique centrale : Comment optimiser l'utilisation de sa flotte et améliorer la planification des trajets afin de réduire les trajets à vide et minimiser les coûts, tout en assurant un niveau de service élevé ?

Conclusion

Béjaïa Logistique s'est imposée comme un acteur incontournable dans le domaine du transport routier et des services logistiques en Algérie. Grâce à une organisation solide, des choix stratégiques judicieux et des investissements continus, elle assure une croissance durable. Son recours à des outils technologiques avancés optimise ses opérations, tandis que la diversité de sa clientèle et l'implication de son personnel renforcent sa compétitivité. Engagée dans une démarche de qualité et de responsabilité, elle se projette avec confiance dans l'avenir.

2

Notions de logistique et de transport

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 14 |
| 2.1 La logistique | 15 |
| 2.2 Le transport | 17 |
| 2.3 Problème de tournée de véhicule | 23 |
| Conclusion | 29 |

Introduction

Ce deuxième chapitre a pour ambition de dresser un état de l'art des principaux concepts et approches méthodologiques mobilisés dans notre étude. Nous commencerons par définir et situer la logistique dans son contexte historique et opérationnel, puis nous aborderons le rôle et les enjeux du transport, en insistant tout particulièrement sur la problématique des retours à vide. Enfin, nous présenterons le Vehicle Routing Problem (VRP) et ses variantes les plus courantes, avant de montrer comment l'intégration de contraintes spécifiques au transport à vide peut enrichir les modèles classiques de tournées de véhicules. Cette revue de la littérature permettra de mettre en évidence les lacunes existantes et de positionner notre contribution dans le cadre des travaux antérieurs.

2.1 La logistique

Le terme "logistique" vient d'un mot grec "**LOGISTIKOS**" qui signifie l'art du raisonnement et du calcul. La logistique est apparue pour la première fois dans le contexte militaire, elle représente tout ce qui est nécessaire (physiquement) pour permettre l'application sur le terrain des décisions stratégiques et tactiques (transports, stocks, fabrication, achats, manutention) [36].

La logistique est l'activité qui a pour objet de gérer les flux physiques d'une organisation. La gestion logistique implique la mise à disposition de ressources adaptées aux besoins, aux conditions économiques et à un niveau de qualité de service déterminé. En outre, elle a un impact significatif sur certains postes de coûts, ce qui en fait un élément essentiel de la gestion globale de l'entreprise [13].

2.1.1 Rôle de la logistique dans l'entreprise

La logistique joue un rôle essentiel dans l'entreprise en coordonnant de manière efficace l'offre et la demande, les plans stratégiques et tactiques, ainsi que l'entretien à long terme de la chaîne logistique. Elle repose sur des rapports fournisseur-client de qualité. Son objectif est de faciliter :[27]

- La gestion économique de la production en évitant les ruptures de stocks coûteuses grâce à une surveillance régulière du marché ;
- La diminution des stocks grâce à une rotation accélérée des marchandises entreposées ;
- La réponse adaptée à une demande très fluctuante ;
- La distribution facilitée du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût ;
- L'amélioration continue de la qualité de la chaîne logistique, du producteur au consommateur, pour garantir un service rendu sans défaut [25] ;

2.1.2 Types de logistique

Les différents types de logistique peuvent être résumés selon le domaine d'application [14] :

- **Logistique d'approvisionnement** : achat et recherche de nouveaux fournisseurs.
- **Logistique de production** : conception et optimisation de la production.
- **Logistique de distribution** : transport et dispatching.
- **Logistique de soutien** : prévision, entretien et réparation des produits.
- **Logistique de service** : poste et télécommunication, systèmes bancaires.
- **Logistique inverse** : recyclage, et retour des produits.

2.1.3 Les enjeux d'optimisation

La logistique constitue un enjeu de taille pour l'entreprise. La performance, et parfois même la pérennité de l'entreprise, dépend de la maîtrise du processus logistique, qui a pour tâche de [29] :

- Optimiser les coûts logistiques au global (sans pour autant dégrader les délais) ;
- Optimiser la configuration logistique (pour gagner sur les coûts de transport et de stockage) ;
- Optimiser les coûts de distribution (des usines vers entrepôts, des usines vers clients, d'entrepôts vers clients) ;
- Optimiser les processus et organisations qui contribuent à livrer les produits à la date promise ;
- Optimiser les délais de fabrication et de distribution des produits ;
- Optimiser le coût, le délai, la qualité ;
- Optimiser les niveaux de stocks [27].

2.1.4 Les objectifs de la logistique

L'objectif traditionnel d'un système logistique est d'atteindre un niveau de service donné pour un coût minimum, mais cet objectif ne doit pas masquer les autres objectifs opérationnels de la logistique. Ces derniers déterminent la performance logistique :

- Répondre aux exigences des clients dans les meilleurs délais pour favoriser une meilleure coopération entre l'industrie et le commerce ;
- Réduire la variabilité dans le processus logistique qui engendre des coûts élevés et des clients insatisfaits ;
- Réduire les stocks afin de maîtriser les coûts logistiques sans sacrifier le niveau de service client ;
- Favoriser la massification des flux, recherchée par les industriels et les distributeurs, via la consolidation des transports pour optimiser les volumes transportés ;
- Assurer la surveillance et l'amélioration de la qualité de la chaîne reliant le producteur au consommateur, en visant le « zéro défaut » du produit servi et du service rendu ;
- Évaluer le coût du cycle de vie d'un produit ou d'un équipement, de sa conception à son retrait ;
- Réduire les coûts de transport et de stockage des matières premières.

La logistique a ainsi pour finalité de coordonner les produits en circulation de manière à garantir une continuité des flux, réduire les délais de livraison et diminuer les coûts via le regroupement des produits [37].

2.2 Le transport

Le transport est un élément fondamental de toute activité humaine, qu'il s'agisse d'activité économique, de loisirs, de sport, de secours ou d'action militaire. Il se réalise par le déplacement d'engins mobiles (voitures, trains, bateaux, avions ...), généralement motorisés, sur une installation qu'on appelle infrastructure [19].

Selon le dictionnaire Robert, le transport est « le fait de porter pour faire parvenir en un autre lieu, moyen de déplacer ou de faire parvenir par un procédé particulier, véhicule, récipient » [1].

Le transport est le moyen d'acheminement des hommes et des marchandises échangées par voie terrestre, maritime, aérienne. Les transports incluent la nature des produits transportés (marchandises, hommes, informations). Le mode de transport concerné (rail, route, tubes) les flux (déplacements) l'espace de déplacement qui en résulte, et les conditions d'exploitation [30] [18].

2.2.1 Le transport de marchandise

Le transport de marchandises comprend tout mouvement de marchandises à bord d'un mode de transport quel qu'il soit : ferroviaire, routier, fluvial, maritime, aérien... Il se mesure en tonnes-kilomètre ou sur un trajet donné. Il est effectué en compte propre ou par des tiers, les transporteurs publics de marchandises. Quand le transport de marchandises est assuré par des tiers, il s'effectue dans le cadre d'un contrat de transport. La nature du contrat de transport est commerciale. Ce contrat énonce jusqu'où et par quel moyen la marchandise sera livrée (et dont le transporteur aura la responsabilité). Le transporteur est soumis à l'obligation de résultat. Le transport de marchandises est étroitement lié à la logistique [26].

2.2.2 Type de transport

Il existe plusieurs moyens de transport. On distingue :

- Le transport aérien.
- Le transport maritime.
- Le transport ferroviaire.
- Le transport routier.

Dans cette étude, nous allons nous focaliser uniquement sur le transport routier [5].

2.2.2.1 Le transport routier

Le transport routier est le plus important type de transport de marchandises. Il s'agit d'une grande souplesse au réseau d'infrastructure routier, il permet de réaliser des expéditions de PORTE à PORTE, ce qui fait un complément essentiel aux autres modes de transport pour le pré-acheminement. Il peut assurer plusieurs opérations : transport de personnes, transport de marchandises, transport urbain, transport de rase campagne sur des distances courtes, moyennes et longues avec des unités de changements allant jusqu'à 40 tonnes [19] [28].

Il existe trois types de véhicules assurant le transport routier de marchandises :

- Les véhicules isolés (camions) .

- Les véhicules articulés, composés d'un tracteur et d'une semi-remorque, souvent utilisés pour des transports internationaux .
- Les trains routiers constitués d'un camion et d'une remorque [37].

2.2.3 Types et acteurs du transport routier des marchandises

1. Types :

Le transport routier de marchandises se divise entre deux grandes catégories : le **transport pour compte d'autrui**, exercé par des professionnels du secteur, et le **transport pour compte propre**, pratiqué par les entreprises pour leurs propres besoins.

- **Transport pour compte propre** : concerne le déplacement de biens appartenant à l'entreprise, soit parce qu'elle les a produits, soit parce qu'elle les a acquis. Le transport est assuré avec ses propres véhicules (ou loués), avec ou sans chauffeur. Cette activité doit rester accessoire pour l'entreprise.
- **Transport pour compte d'autrui** : concerne le transport de biens appartenant à des tiers. Il est assuré par un prestataire de transport avec ses propres moyens, en échange d'une rémunération.

2. Acteurs :

On distingue deux principaux acteurs dans ce secteur : le **chargeur** (client) et le **transporteur** (prestataire).

— Les chargeurs

Ce sont les entreprises (industriels ou distributeurs) qui ont besoin de transporter des marchandises. Le chargeur est la personne ou l'entité chargée de préparer la marchandise et les documents de transport. Il cherche à :

- Réduire les coûts et les délais.
- Diminuer les stocks.
- Améliorer le service rendu au client.
- Renforcer la flexibilité logistique.

— Les transporteurs

Ce sont les entreprises ou individus dont l'activité principale est le transport de marchandises. Ils s'engagent à acheminer les biens dans les délais convenus, contre rémunération. Le transport routier se distingue par sa rapidité, sa souplesse, son faible coût et sa bonne adaptation aux courtes et moyennes distances, ce qui en fait un maillon essentiel de la chaîne logistique [18].

2.2.4 Rôle du transport

Le transport joue un rôle essentiel dans le développement économique et commercial des pays et partant, dans le bien-être de leur population [18].

Le transport occupe une place stratégique dans la logistique, car il relie les différents acteurs de la chaîne d’approvisionnement. Ses principales fonctions sont les suivantes :

- **Acheminement des marchandises** : Garantir que les produits arrivent au bon endroit, au bon moment, en bon état.
- **Réduction des délais** : Optimiser les flux pour améliorer la satisfaction client.
- **Soutien à la compétitivité** : Un transport efficace réduit les coûts logistiques globaux.
- **Flexibilité de la chaîne logistique** : Permet de s’adapter aux variations de la demande.
- **Amélioration du service client** : Fiabilité et rapidité du transport influencent directement la perception du client [17].

2.2.5 La relation entre la logistique et le transport

La relation entre la logistique et le transport est plutôt familiale, puisque le transport est un maillon important de la circulation des opérations logistiques. Donc, il s’avère nécessaire de souligner que cette relation est une relation de complémentarité, puisque le transport constitue un service indispensable de la chaîne logistique [4].

2.2.6 Le transport à Vide

On a défini le transport et les types de transports. De plus, on prendra en compte deux systèmes de flux : les transports qui livrent de la marchandise et ceux qui retournent au dépôt après la livraison. En d’autres mots, l’objectif de cette étude est de minimiser les trajets à vide et les coûts associés à ce dernier.

Ce retour à vide comprend l’ensemble des transports qui sont à destination du transport de marchandises décrit précédemment mais qui font un déplacement dit « à vide », donc qui ne transportent plus de marchandises. La FIGURE 2.1 représente les flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients.

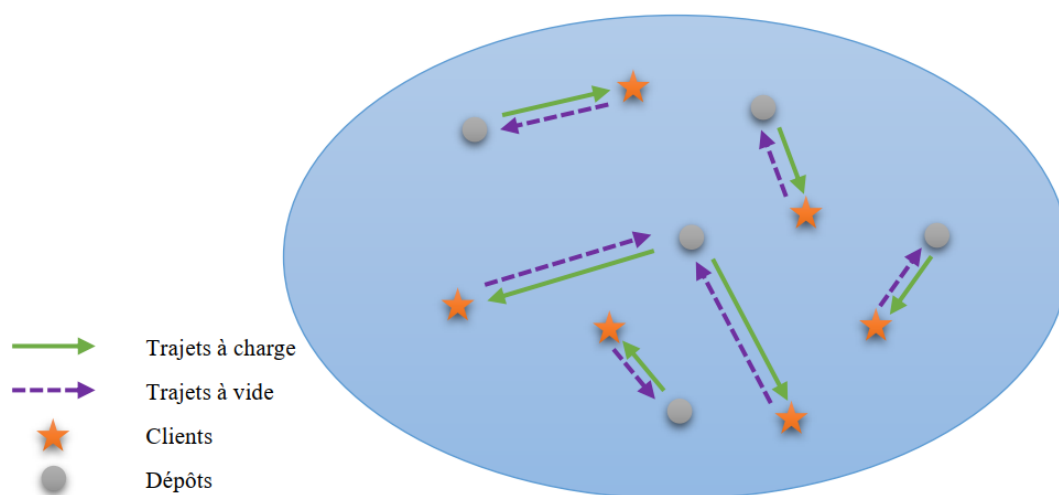


FIGURE 2.1 – Flux des transports à charge et à vide entre entrepôts et clients [2].

Nous retiendrons le TAV comme étant : « Le déplacement à vide de véhicules destinés aux transports de marchandises qui n'ont pas pour objectif premier le déplacement de personnes » [5].

Un grand nombre d'acteurs interviennent dans le transport à vide (TAV). Ils sont en général les mêmes que ceux du transport de marchandises industrielles. La littérature identifie quatre grandes catégories d'acteurs dans le transport de marchandises [5] :

- **Les représentants** : ces acteurs sont les maillons de la chaîne logistique par lesquels les marchandises transitent. Ils peuvent avoir une fonction double : une fonction d'expéditeur et une fonction de destinataire. Nous appellerons ces représentants respectivement des entrepôts et des clients.
- **Les opérateurs de transport** : ce sont les acteurs directement impliqués dans le flux physique des marchandises. Ils organisent les trajets, assurent le chargement, la gestion des stocks, etc. Ce sont les prestataires de la chaîne logistique.
- **Les habitants et usagers** : ce sont les utilisateurs de l'infrastructure routière. Ils n'ont pas d'impact direct sur la chaîne logistique, mais influencent les prestataires logistiques par leur présence sur les voies de circulation. Ils interagissent aussi avec les maillons de la chaîne logistique via leurs achats ou leur activité professionnelle.
- **Les institutions** : cette catégorie inclut le gouvernement, les organisations régionales, les services techniques, les forces de l'ordre, etc. Ce sont les acteurs qui définissent les contraintes réglementaires, techniques et environnementales du transport.

Tous ces acteurs ont des interactions les uns par rapport aux autres, comme le montre la FIGURE 2.2, ce qui engendre des difficultés logistiques telles que la congestion [5].

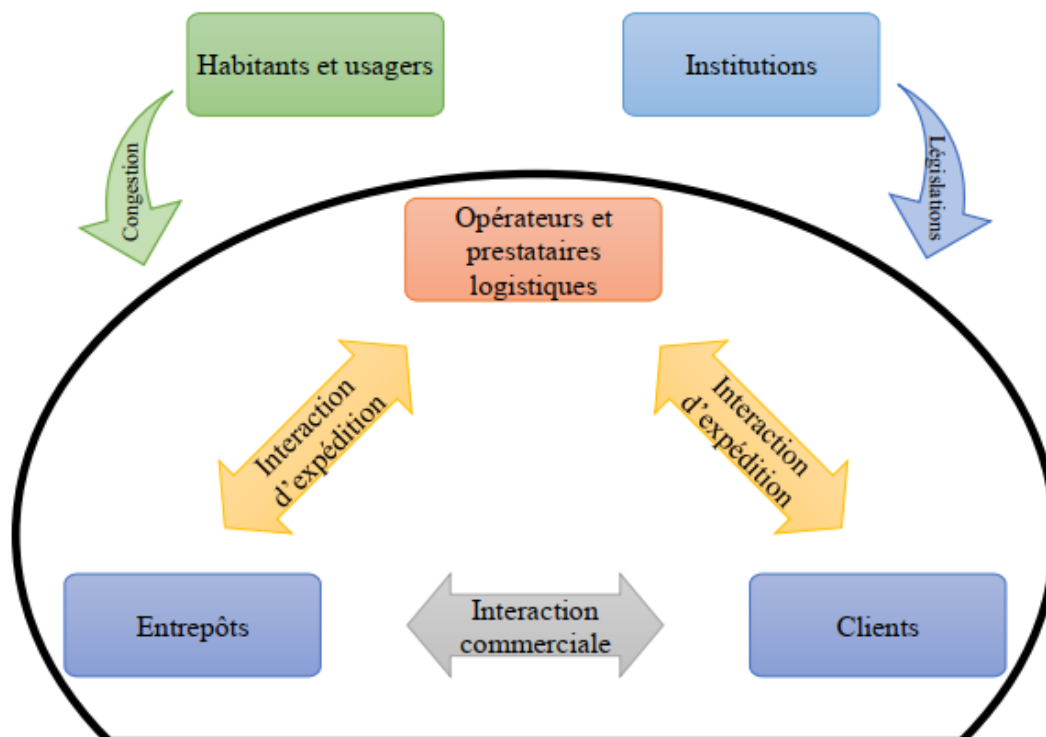


FIGURE 2.2 – Interactions des acteurs du TAV [5].

2.2.6.1 Problématique des retours à vide dans le transport de marchandises : causes et enjeux

Les entreprises ont de plus en plus d'objectifs de diminution des coûts, de rentabilité. Cette diminution de coût se retrouve également dans la chaîne logistique car les retours à vide sont une des plus grandes contraintes opérationnelles et commerciales dans le transport.

Les retours à vide sont une problématique à laquelle les entreprises font de plus en plus attention car le TAV représente un facteur coût non négligeable dans la chaîne logistique. En effet, un transport à vide ne génère pas de revenu au cours de son processus et son coût doit donc être absorbé.

1. Les causes

Selon Rodrigue J-P [33], cinq facteurs expliquent pourquoi des flux de transport sont vides :

- **Les flux déséquilibrés** : sont liés à la demande de transport entre deux sites. Pour la majorité des cas, cette demande n'est pas équilibrée. Lorsqu'un client commande de la marchandise à un entrepôt, il n'y a pas forcément de retour de marchandise. Ce déséquilibre peut aussi être temporel, lié à des différences de fréquence ou de besoins. Même si les flux semblent équilibrés sur une période longue, ils peuvent être déséquilibrés à des moments courts (par exemple : entrées le matin, sorties l'après-midi).
- **La spécialisation des véhicules** : limite les possibilités de retour chargé, car certains types de marchandises nécessitent des équipements spécifiques. Ainsi, même si un trajet retour est possible, le véhicule utilisé peut ne pas

être adapté.(par exemple : tôles d'acier en camion plateau, chutes en camion-benne).De plus, de nombreux transporteurs se spécialisent dans un type unique de marchandise, rendant le transport à vide inévitable dans certains cas.

- **Les trajets courts** : une grande partie des flux de transports couvre des petites distances avec une fréquence spécifique telles que les départs et les livraisons locales. Il est donc difficile d'associer à ces transports des opportunités qui pourraient être plus éloignées. Dans ces cas, le fait d'ajouter une étape, ou des nouveaux points de chargement et déchargement, entraînerait une incompatibilité et des retards pour son transport de départ.
- **L'aspect économique** : une fois la première livraison effectuée, l'opérateur a deux possibilités : chercher un chargement pour son voyage de retour ou retourner à vide. Il est souvent difficile de rentabiliser un second chargement, car les coûts supplémentaires (distance, temps de recherche, retour au dépôt) peuvent dépasser le revenu généré. Dans certains cas, un retour à vide s'avère plus économique.
- **Les contraintes liées aux législations** : les législations peuvent également empêcher des opportunités de retour non vide , si on prend le cas de transporteurs pour compte propre, ils ne peuvent pas transporter des marchandises d'une autre société. Ce transport ne fait pas partie de leurs corps business.

2. Les enjeux

Les facteurs précédents reflètent les différents enjeux du TAV. Selon Boudouin et Morel [24] repris par Delaître [8],les enjeux peuvent être classés selon quatre catégories :

- **Les enjeux économiques** : si on parvient à diminuer le TAV on pourra augmenter l'efficacité de la chaîne logistique,
- **Les enjeux de l'accessibilité et de la mobilité** : l'occupation des espaces et leurs fréquentations sont liées à leurs accessibilités du point de vue d'une marchandise mais également du point de vue des personnes,
- **Les enjeux fonctionnels** : ils sont liés principalement aux politiques d'entreprise,
- **Les enjeux environnementaux et sociétaux** : en 2020 il n'est plus concevable de ne pas tenir compte des impacts négatifs d'une activité sur son environnement et sur la société en général.

Chaque facteur et enjeu du TAV a des impacts sur la société. Ces impacts sont généralement négatifs du point de vue de la société bien que le TAV fasse partie du développement et de la croissance. Dans la FIGURE 2.3, nous tentons de reprendre les différents impacts négatifs du TAV.



FIGURE 2.3 – Impacts négatifs du transport de marchandises et du retour à vide[5].

2.3 Problème de tournée de véhicule

Afin de traiter efficacement la problématique du transport à vide, il est essentiel de combiner les concepts issus de la théorie du transport avec les outils d'optimisation développés dans le cadre du Vehicle Routing Problem (VRP). D'un côté, la théorie du transport permet de définir les différents types de flux (à charge et à vide), d'identifier les causes des trajets non rentabilisés, et de comprendre les enjeux économiques et logistiques liés à ces déplacements. D'un autre côté, le VRP constitue une base mathématique puissante pour organiser les tournées de véhicules en minimisant les coûts ou les distances. En intégrant dans le modèle VRP classique des contraintes et des variables spécifiques au transport à vide (comme la distinction entre arcs chargés et à vide ou la pénalisation des retours sans fret), on obtient un modèle capable de répondre aux enjeux concrets du terrain. Cette combinaison permet non seulement d'optimiser les itinéraires, mais aussi de réduire les trajets à vide, en maximisant l'utilisation des ressources disponibles et en améliorant la performance globale du système logistique.

2.3.1 Problèmes d'optimisation

L'optimisation en recherche opérationnelle se déroule en deux étapes : modélisation du problème, puis choix de la méthode de résolution. Elle s'applique à divers domaines comme la logistique, l'ordonnancement ou la planification. Cependant, il est parfois difficile de modéliser l'ensemble du système, ce qui peut conduire à une sous-optimisation. Cela peut alors perturber d'autres sous-systèmes liés.

La formulation mathématique de n'importe quel problème d'optimisation P peut être décrite comme suit :

$$(\mathbf{P}) \quad \begin{cases} (\min / \max) f(s), & (1) \\ \text{s.c. } s \in \Omega, & (2) \\ s \in \mathbb{R}^p / N^p / E, & (3) \end{cases}$$

où l'équation (1) représente la fonction objectif f , qui consiste à choisir une solution ou un sous-ensemble de solutions, parmi un ensemble de solutions possibles s , qui optimise le critère considéré soit par une minimisation ou une maximisation selon la définition du problème étudié. Les contraintes (2) assurent que la ou les solutions obtenues sont réalisables. Le domaine de faisabilité est noté Ω . Le domaine de variation de l'ensemble des variables s est défini par la contrainte (3). Ce dernier peut être réel, entier, ou un ensemble E de valeurs prédéfinies [6].

2.3.1.1 Classification des problèmes d'optimisation

Les problèmes d'optimisation diffèrent les uns des autres selon la forme de la fonction objectif et celle des contraintes, ainsi que le domaine de variation des variables du problème étudié. Ces derniers peuvent être classés en différentes catégories :

- **Optimisation linéaire** : étudie le cas où la fonction objectif et les contraintes définissant le problème sont linéaires.
- **Optimisation linéaire en nombres entiers** : étudie le cas où certaines ou toutes les variables sont contraintes de prendre des valeurs entières.
- **Optimisation quadratique** : étudie le cas où la fonction objectif est de forme quadratique avec des contraintes linéaires.
- **Optimisation non linéaire** : étudie le cas général dans lequel l'objectif ou les contraintes (ou les deux) contiennent des parties non linéaires, éventuellement non convexes.
- **Optimisation convexe** : étudie le cas où la fonction objectif et les contraintes sont convexes.
- **Optimisation multi-objectifs** : consiste à optimiser deux ou plusieurs objectifs simultanément [6].

2.3.2 Problème du Voyageur de Commerce (TSP)

Le problème du voyageur de commerce (*Traveling Salesman Problem*, TSP) est l'un des problèmes de tournées les plus simples, les plus anciens et les plus étudiés [9].

Un voyageur de commerce, ayant un ensemble de villes à visiter noté I avec $|I| = n$, souhaite établir une tournée lui permettant de passer par chaque station une et une seule fois, pour finalement revenir à son point de départ, tout en minimisant la distance totale parcourue.

Formulation mathématique du TSP

Notons C_{ij} le coût du déplacement de la ville i vers la ville j , $\forall i, j \in I, i \neq j$.

La variable de décision est définie par :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la ville } i \text{ précède la ville } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Le problème du voyageur de commerce se modélise comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} C_{ij} x_{ij} \\ \text{s.c. } \sum_{j \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (1) \\ \sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in I \quad (2) \\ \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset I, 1 \leq |S| \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor \quad (3) \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in I, i \neq j \quad (4) \end{array} \right.$$

Dans ce problème, l'objectif est de minimiser le coût total de déplacement. Les contraintes (1) et (2) assurent qu'à chaque station est associée exactement une station suivante et une station précédente, définissant ainsi un parcours unique. La contrainte (3) a pour rôle d'éliminer les sous-cycles afin de garantir la formation d'une seule tournée couvrant l'ensemble des stations. Enfin, la contrainte (4) précise que les variables de décision sont binaires, c'est-à-dire qu'une station est soit sélectionnée dans le parcours, soit non [23].

2.3.3 Problème de tournées de véhicules (VRP)

Le problème de tournées de véhicules est une classe de problèmes de recherche opérationnelle et d'optimisation combinatoire. Il s'agit d'une extension du problème classique du voyageur de commerce.

Une solution à ce problème consiste à confectionner l'ensemble des trajets assurant la visite des clients. Les trajets proposés doivent respecter les différentes capacités des véhicules et satisfaire les quantités demandées par les clients ou à livrer à ces derniers. Le critère le plus utilisé dans ce genre de problème est la minimisation de la distance totale parcourue par un nombre minimum de véhicules.

Soit $G = (S, A)$ un graphe orienté, où $S = \{1, \dots, n\}$ est un ensemble de sommets représentant des villes, avec le dépôt situé au sommet 1, et A est l'ensemble des arcs. À chaque arc (i, j) , on associe une valeur c_{ij} . Dans certains contextes, c_{ij} peut être interprétée comme un coût ou un temps de déplacement.

Soit $V = \{1, \dots, v\}$ l'ensemble de ces véhicules. Supposons que plusieurs véhicules sont disponibles pour assurer la desserte des clients.

Formulation mathématique du VRP

Les paramètres :

- n : le nombre de sommets.
- v : le nombre de véhicules.
- c_{ij} : le coût de déplacement de i vers j .

Les variables de décision :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si le camion } k \text{ part du sommet } i \text{ vers } j. \quad \forall i = \overline{1, n} \quad \forall j = \overline{1, n} \quad \forall k = \overline{1, v} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

$$u_i : \text{ordre de passage du client } i \quad \forall i = \overline{1, n}$$

La fonction objectif :

$$\min f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^v c_{ij} x_{ijk}$$

Le modèle mathématique s'écrit comme suit :

$$(A) \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^v c_{ij} x_{ijk} \quad (1) \\ \sum_{k=1}^v \sum_{j=0}^n x_{ijk} = 1 \quad \forall i = \overline{1, n} \quad (2) \\ \sum_{i=0}^n x_{ipk} - \sum_{j=0}^n x_{pjk} = 0 \quad \forall p = \overline{1, n}, \forall k = \overline{1, v} \quad (3) \\ u_i - u_j + n \cdot x_{ijk} \leq n - 1 \quad \forall i, j = \overline{1, n}, i \neq j, \forall k = \overline{1, v} \quad (4) \\ u_i \in \{1, \dots, n\} \quad \forall i = \overline{1, n} \quad (5) \\ x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = \overline{1, n}, \forall k = \overline{1, v} \quad (6) \end{array} \right.$$

Dans ce problème, la fonction objectif (1) vise à minimiser la somme des coûts de parcours effectués par l'ensemble des véhicules. La contrainte (2) garantit que chaque client soit servi une seule fois par un seul véhicule. La contrainte(3) assure la continuité de la tournée en imposant que le véhicule qui arrive chez un client soit le même que celui qui en repart. La contrainte (4) correspond à l'élimination des sous-tours : elle empêche la formation de cycles non connectés au dépôt en introduisant une relation d'ordre de visite entre les clients à l'aide de variables auxiliaires u_i . La contrainte (5) encadre les valeurs admissibles pour les variables u_i , qui représentent la position du client i dans la tournée. Enfin, la contrainte (6) définit la nature binaire des variables de décision, indiquant si un véhicule k passe ou non d'un sommet à un autre [15].

2.3.3.1 Variantes du VRP

La multitude d'applications du VRP dans de nombreux domaines, comme celui du transport et de la distribution, a donné naissance à de nombreuses variantes du VRP dans la littérature, en fonction des contraintes additionnelles au VRP classique.

Dans ce qui suit, on introduit quelques variantes du problème VRP [21] :

1. **CVRP** (Capacitated Vehicle Routing Problem)

Un problème **CVRP** est un problème de tournées de véhicules avec des contraintes de capacités. Les véhicules ont une capacité d'emport limitée (quantité, volume, poids, ...). Dans ce cas, une tournée réalisable est une tournée où la somme des demandes des clients ne dépasse pas la capacité du véhicule qui l'effectue, ce qui est exprimé par la contrainte suivante [32] :

$$\sum_{i=1}^n q_i \cdot \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq Q, \quad \forall k = \overline{1, v};$$

où :

- q_i représente la demande du client i ;
- Q désigne la capacité maximale du véhicule k .

2. **VRPB** (Vehicle Routing Problem with Back)

Chaque tournée commence et se termine au dépôt, ce qui est exprimé par les contraintes suivantes :

$$\sum_{j=0}^n x_{0jk} = 1, \quad \forall k = \overline{1, v};$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i0k} = 1, \quad \forall k = \overline{1, v};$$

3. **DVRP** (VRP à Demande Déterministe)

Le DVRP est un problème où la livraison se fait suite à une commande. En effet, le livreur connaît avant son départ du dépôt la quantité à livrer à chacun de ses clients.

4. **VRPPD** (Vehicle Routing Problem Pick-up and Deliveries)

Le problème de collecte et de livraison a les mêmes propriétés que le VRP. Dans le VRPPD, on prend en plus en considération le fait que chaque client introduit deux positions géographiquement différentes : la première pour le ramassage du produit et la deuxième pour la livraison de ce dernier.

5. **MDVRP** (Multi-Depot Vehicle Routing Problem)

Plusieurs dépôts géographiquement distribués existent, ce qui fait que les véhicules peuvent s'approvisionner dans plusieurs dépôts. Les véhicules partent de n'importe quel dépôt mais reviennent à leur dépôt de départ.

6. **VRPTW** (Vehicle Routing Problem with Time Windows)

Le VRPTW est l'un des problèmes les plus étudiés. Dans un VRPTW, de nouvelles contraintes temporelles sont ajoutées : chaque client doit être servi dans un intervalle de temps durant lequel il est disponible pour être visité, tout en respectant la durée totale d'une tournée (cette durée est la somme des temps des voyages entre les sommets et des temps d'arrêts à ces derniers), laquelle est exprimée dans les contraintes suivantes, avec :

- t_i^k : Variable représentant l'heure d'arrivée (ou le début du service) du véhicule k au sommet (ou client) i . Elle permet de vérifier que la visite respecte la fenêtre de disponibilité du client i , généralement notée $[a_i, b_i]$.
- t_{ij}^k : Paramètre représentant le temps de trajet du véhicule k entre les sommets i et j . Il peut varier selon le véhicule, notamment si les vitesses diffèrent.
- T^k : Paramètre représentant la durée maximale autorisée pour la tournée du véhicule k . Elle inclut à la fois les temps de trajet et les temps de service aux clients.

$$\sum_{i=0}^n t_i^k \left(\sum_{j=0}^n x_{ijk} \right) + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^k x_{ijk} \leq T^k, \quad \forall k = \overline{1, v}$$

Et toute violation de ces contraintes peut engendrer une pénalité [10]. IL peut aussi être dynamique DVRPTW, dans ce cas il assume la composante dynamique d'arrivées d'événements urgents (nouvelle demande, nouveau client, panne d'un véhicule...)[16].

2.3.3.2 Méthodes de résolution

Dans le cadre d'une démarche de résolution des problèmes de VRP, plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature. Ces méthodes ont été classées en deux grandes familles : les méthodes exactes, les méthodes approchées [32] [35] :

1. Méthode exactes

Les méthodes exactes sont des algorithmes qui aboutissent à des meilleures solutions. Elles consistent à rechercher de manière implicite une solution ou l'ensemble des solutions d'un problème [12] .

Il existe de nombreuses méthodes exactes dans la littérature, mais ces dernières ne sont pas efficaces pour la résolution des problèmes combinatoires avec des instances de très grande taille. Citons quelques méthodes exactes :

- **La programmation linéaire en nombres entiers** : La programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) est une classe de problèmes d'optimisation dans laquelle on cherche à optimiser (maximiser ou minimiser) une fonction objectif linéaire, soumise à des contraintes linéaires, sous la contrainte supplémentaire que certaines ou la totalité des variables doivent prendre des valeurs entières. Contrairement à la programmation linéaire continue, le domaine de solutions admissibles n'est pas convexe mais consiste en un ensemble discret de points entiers, ce qui rend le problème nettement plus difficile à résoudre sur le plan algorithmique [20] ;
- **La programmation dynamique** : est une méthode de résolution des problèmes complexes en les décomposant en sous-problèmes plus simples et en mémorisant leurs solutions pour éviter les calculs redondants. Elle est particulièrement efficace pour les problèmes qui possèdent une structure de sous-problèmes qui se recoupent. Cette technique permet d'optimiser les solutions globales en combinant les résultats des sous-problèmes ;
- **La méthode Branch and Bound** : est une technique d'optimisation qui explore de manière systématique l'ensemble des solutions possibles d'un problème, en les divisant (branching) et en éliminant (bounding) les solutions

non prometteuses pour réduire l'espace de recherche. Elle permet de trouver la solution optimale tout en évitant d'examiner toutes les possibilités ;

2. Méthodes approchées

Ces méthodes sont utilisées pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire pour lesquels on ne trouve pas de solution optimale en un temps raisonnable. On distingue différentes classes de méthodes approchées.

- Une heuristique est définie comme un algorithme qui fournit une solution réalisable, pas nécessairement optimale, en temps polynomial. Une heuristique est conçue pour un problème spécifique [7] ;
- Les métaheuristiques sont définies comme des méthodes génériques permettant d'optimiser différents problèmes, sans avoir besoin d'effectuer des changements profonds dans l'algorithme employé [7]. Les métaheuristiques sont considérées généralement comme des algorithmes non-déterministes, elles peuvent ne pas trouver la solution optimale ;

Conclusion

Ce chapitre a permis de poser les bases théoriques et méthodologiques essentielles à la compréhension des problématiques liées à la logistique et au transport, notamment en ce qui concerne les tournées de véhicules et la gestion des retours à vide. À travers la présentation des différents modèles du Vehicle Routing Problem et de leurs variantes, nous avons mis en lumière les défis et les limites des approches existantes. Cette analyse justifie l'intérêt de notre travail, qui vise à proposer un modèle plus adapté aux spécificités opérationnelles rencontrées dans le contexte de Béjaïa Logistique. Le chapitre suivant sera consacré à la présentation détaillée de notre modèle mathématique ainsi qu'à la formalisation des contraintes spécifiques à notre étude, et la résolution du notre problématique.

3

Modélisation et résolution du problème étudié

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 30 |
| 3.1 Description de la problématique | 31 |
| 3.2 Présentation des données | 31 |
| 3.3 Formulation mathématique du modèle | 33 |
| 3.4 Résolution du problème | 36 |
| 3.5 Discussion des résultats | 38 |
| Conclusion | 39 |

Introduction

Dans le cadre de la logistique de distribution, la planification optimale des tournées de véhicules constitue un enjeu majeur pour les entreprises de transport, notamment lorsqu'il s'agit de réduire les trajets à vide, qui engendrent des surcoûts considérables. Ce chapitre s'inscrit dans cette problématique en proposant une approche d'optimisation inspirée du fonctionnement réel de l'entreprise Béjaïa Logistique.

L'objectif est de modéliser un problème de tournées de véhicules adapté aux contraintes spécifiques de l'entreprise, en tenant compte de la flexibilité des trajets (qui ne commencent ni ne se terminent nécessairement au dépôt), de la limitation du temps de conduite, et surtout de la minimisation des kilomètres parcourus à vide. En intégrant ces dimensions, le modèle vise à améliorer l'efficacité globale du plan de transport tout en maximisant la rentabilité des livraisons.

Ce chapitre est structuré comme suit : nous commençons par présenter en détail la problématique étudiée et les données réelles collectées auprès de l'entreprise. Ensuite, nous

exposons la formulation mathématique du problème. Enfin, nous décrivons la méthodologie de résolution adoptée à l'aide de la programmation linéaire en nombres entiers, avant de discuter les résultats obtenus et de les comparer avec le plan de transport réellement mis en œuvre par l'entreprise.

3.1 Description de la problématique

L'entreprise Béjaïa Logistique fait face à une problématique récurrente liée aux trajets à vide, qui engendrent des coûts logistiques importants sans rentabilité. Contrairement aux modèles classiques, les tournées ne débutent ni ne se terminent forcément au dépôt, ce qui offre plus de flexibilité mais complique la planification. Le défi consiste à affecter efficacement les camions aux commandes tout en minimisant les déplacements non rémunérés. Le modèle développé intègre ces trajets à vide dans la fonction objectif, ainsi que les contraintes de capacité et de temps. L'objectif est de maximiser la rentabilité globale des opérations toutes en minimisant les trajets à vides. Cette approche se base sur des données réelles et reflète les contraintes opérationnelles de l'entreprise. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour améliorer la performance logistique.

3.2 Présentation des données

Dans le cadre de ce travail, l'attention a été particulièrement portée sur le service d'exploitation, principal point de collecte des données. Ce service nous a fourni une explication détaillée du fonctionnement opérationnel, depuis la réception des commandes jusqu'à la validation finale.

Pour aborder la résolution du problème de tournées de véhicules, nous présentons ci-après les données nécessaires à la modélisation et à l'implémentation du modèle.

3.2.1 Sources des données

Les données analysées dans cette étude proviennent de plusieurs sources distinctes. Ces sources comprennent des informations détaillées sur le coût de transport, la capacité des camions, les délais de route, ainsi qu'un fichier Excel sur l'analyse des trajets à vide, contenant la disponibilité des camions pour le mois de février, ainsi que les commandes des clients.

3.2.2 Collecte des données

Les paramètres utilisés dans la modélisation du problème de tournées de véhicules ont été définis à partir des données collectées et des contraintes opérationnelles observées sur le terrain. Ils sont décrits comme suit :

1. Données relatives aux véhicules

- T_{\max} : Représente le temps maximal de conduite autorisé pour un véhicule k sur une journée. Conformément à la réglementation en vigueur, ce temps est limité à **8 heures** (soit une journée), sans tenir compte du temps consacré au chargement ou au déchargement.

- Béjaïa Logistique dispose d'une flotte importante de véhicules. Le Tableau 3.1 ci-dessous présente l'ensemble des véhicules, en précisant leur nombre ainsi que leur capacité respective.

| LES VEHICULES DE BEJAIA LOGISTIQUE | | |
|---|---------------|------------------------|
| TYPE VEHICULE | NOMBRE | LA CAPACITE (T) |
| SEMI ROMORQUE | 531 | 30 |
| ROMORQUE | 535 | 30 |
| 10T | 18 | 10 |
| 15T | 5 | 15 |
| VEHICULE GERANT | 175 | |
| VEHICULE UTILITAIRE | 14 | 5 |

TABLE 3.1 – Types de véhicules de Béjaïa Logistique

2. Données relatives aux clients

Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible d'inclure l'ensemble des clients de l'entreprise Béjaïa Logistique, en raison de leur nombre relativement élevé, qui s'élève à 36. Afin de concentrer l'analyse sur les clients ayant le plus grand impact opérationnel, une classification ABC a été réalisée au mois de février 2025, en se basant sur deux critères : le chiffre d'affaires généré et le nombre de commandes traitées. Cette méthode a permis de hiérarchiser les clients selon leur contribution à l'activité logistique de l'entreprise.

L'analyse a révélé que seulement six clients représentent, à eux seuls, environ 80% de l'activité, que ce soit en termes de chiffre d'affaires ou de volume de commandes. Le Tableau 3.2 présente ces clients. Ils ont été retenus comme principaux objets de l'étude, dans la mesure où ils mobilisent une part importante de la flotte de Béjaïa logistique et influencent de manière significative l'efficacité du plan de transport mis en œuvre.

| N° | Client | Part de commandes |
|-----------|---------------------|--------------------------|
| 1 | SARL IBRAHIM & FILS | 67% |
| 2 | FRUITAL COCA COLA | 4% |
| 3 | SARL BIOLUX | 3% |
| 4 | SARL KNAUF | 2% |
| 5 | SARL Wafa DOUX | 2% |
| 6 | SOPI MAMA | 2% |

TABLE 3.2 – Principaux clients de Béjaïa logistique

3. Données relatives aux trajets

- β : Il s'agit de la pénalité appliquée lorsqu'un véhicule effectue un trajet à vide, sans chargement. Cette pénalité reflète l'impact économique négatif de ces déplacements non rentabilisés.
- t_{ij}^k : représente le délai de route, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'un véhicule k effectue le trajet entre l'origine de la commande i et sa destination j . Ce paramètre permet de s'assurer que les livraisons sont effectuées dans un délai acceptable. Le Tableau 3.3 présente pour chaque intervalle de distance, le délai de route maximal à ne pas dépasser.

| Distance minimale (km) | Distance maximale (km) | Délai de route (jours) |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | 90 | 0.5 |
| 91 | 420 | 1 |
| 421 | 720 | 1.5 |
| 721 | 1020 | 2 |
| 1021 | 1320 | 2.5 |
| 1321 | 1620 | 3 |
| 1621 | 1920 | 3.5 |
| 1921 | 2220 | 4 |
| 2221 | 2520 | 4.5 |
| 2521 | 2820 | 5 |
| 2821 | 3120 | 5.5 |

TABLE 3.3 – Correspondance entre les distances parcourues et les délais de route estimés

- d_{ij} : Représente la distance entre deux villes i et j . Elles constituent un paramètre essentiel pour l'estimation des coûts et des temps de parcours. Ces distances sont présentées sous forme de matrice dans le Tableau 3.6 consultable en **Annexe 1**.

3.3 Formulation mathématique du modèle

Dans cette section, nous présentons la formulation mathématique du problème de planification optimale des trajets de distribution, dans un contexte logistique réel. L'objectif principal est de **maximiser la rentabilité** des trajets réalisés en affectant efficacement les camions aux commandes, tout en **minimisant les trajets à vide** et en respectant les contraintes opérationnelles telles que la durée maximale de travail, la continuité des trajets et la disponibilité journalière des véhicules.

Le modèle repose sur les éléments suivants :

- l'affectation des camions aux **commandes de transport réelles**,
- la modélisation explicite des **trajets à vide** entre deux missions successives,
- la prise en compte de la **limitation du temps de conduite quotidien** pour chaque camion.

Ce modèle est formulé comme un **programme linéaire en variables binaires** et peut être résolu à l'aide de solveur d'optimisation pour produire un **plan de transport optimal sur plusieurs jours**, assurant une gestion efficace de la flotte et une réduction significative des trajets inutiles.

Indices et ensembles

- N : ensemble des villes.
- $i, j \in N$: ville de départ et d'arrivée, respectivement.
- C : ensemble des commandes, indexées par c , avec $c = (i, j)$
- K : ensemble des camions disponibles pour la distribution, indexées par k .
- J : ensemble des jours de planification, indexées par d .

Paramètres

- d_{ij} : Distance entre les villes i et j (en km).
- t_{ij}^k : Délai de route (Temps de trajet) entre i et j (en jours).
- T_{max} : Durée maximale autorisée pour le véhicule k (en jours).
- β : Pénalité générée par la non exploitation d'un véhicule (en dinars).
- r : revenu par kilomètre parcouru (en dinars/km).

Variables de décision

On définit les variables de décision suivantes :

- $x_c^{kd} = \begin{cases} 1 & \text{si la commande } c \text{ est affecté aux camion } k \text{ le jour } d, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $y_{ij}^{kd} = \begin{cases} 1 & \text{si le camion } k \text{ effectue un trajet à vide de } i \text{ vers } j \text{ au jour } d, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

Fonction Objectif

L'objectif de notre étude vise à équilibrer deux dimensions antagonistes de la planification logistique :

- Maximiser les revenus générés par les trajets chargés (commandes).
- Minimiser les pertes causées par les trajets à vide (coûts sans gain).

$$\text{Minimiser } Z = \beta \cdot \sum_{(i,j) \in N^2, i \neq j} \sum_{k \in K} \sum_{d \in J} d_{ij} \cdot y_{ij}^{k,d} - r \cdot \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{d \in J} d_{ij} \cdot x_c^{k,d}$$

Contraintes

1. Affectation unique :

$$\sum_{k \in K} \sum_{d \in J} x_c^{kd} = 1 \quad \forall c \in C$$

→ Chaque commande c doit être effectuée une seule fois, par un seul camion k et à un seul jour d . Cette contrainte garantit que toutes les demandes clients sont bien couvertes.

2. Temps maximal de travail :

$$\sum_{c \in C} t_{ij}^k \cdot x_c^{kd} \leq T_{\max} \quad \forall k \in K, \forall d \in J$$

→ Cette contrainte impose que le temps total de conduite du camion k au jour d , cumulé sur toutes les commandes qui lui sont affectées, ne dépasse pas la durée maximale autorisée T_{\max} . Elle reflète la réglementation sur les temps de conduite des chauffeurs et les limites opérationnelles journalières.

3. Continuité logique du plan de transport :

$$y_{ji}^{kd} \geq x_{c_1}^{kd} + x_{c_2}^{kd} - 1 \quad \forall c_1 \neq c_2, \forall k \in K, \forall d \in J$$

→ Si un même camion effectue deux commandes différentes c_1 et c_2 au même jour d , et que la ville d'arrivée de c_1 est différente de la ville de départ de c_2 , alors un trajet à vide entre les deux doit être modélisé. Cette contrainte garantit la cohérence physique du plan de transport en tenant compte des repositionnements non rémunérés.

$$x_{c_1}^{kd} + x_{c_2}^{k(d+1)} \leq 1 \quad \text{si } j_{c_1} \neq i_{c_2}, \forall k \in K, \forall c_1, c_2 \in C, \forall d < \max(J)$$

→ Cette contrainte interdit qu'un camion k termine une commande dans une ville j au jour d , puis commence une autre commande depuis une ville différente $i \neq j$ le jour suivant $d + 1$, sans transition logique. Ici, j_{c_1} désigne la ville d'arrivée de la commande c_1 , et i_{c_2} la ville de départ de la commande c_2 . Cette contrainte vise à assurer une continuité géographique des trajets entre deux jours consécutifs, sauf si un repositionnement préalable du véhicule est explicitement modélisé.

4. Nature des variables :

$$x_c^{kd}, y_{ij}^{kd} \in \{0, 1\} \quad \forall c \in C, \forall (i, j) \in N^2, \forall k \in K, \forall d \in J$$

3.3.1 Modèle général

Dans le cadre de l'étude réalisée, un modèle d'optimisation a été développé afin de proposer une solution efficace au problème posé. Ce modèle s'appuie sur une formalisation mathématique, intégrant l'ensemble des contraintes et des objectifs à atteindre. La formulation détaillée ci-dessous présente les variables de décision, les contraintes du problème, ainsi que la fonction objectif guidant la recherche de la solution optimale.

$$\text{Minimiser } Z = \beta \cdot \sum_{(i,j) \in N^2, i \neq j} \sum_{k \in K} \sum_{d \in J} d_{ij} \cdot y_{ij}^{k,d} - r \cdot \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{d \in J} d_{ij} \cdot x_c^{k,d}$$

Sous contraintes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k \in K} \sum_{d \in J} x_c^{kd} = 1 \quad \forall c \in C \quad (3.1) \\ \sum_{c \in C} t_{ij}^k \cdot x_c^{kd} \leq T_{\max} \quad \forall k \in K, \forall d \in J \quad (3.2) \\ y_{j_1 i_2}^{kd} \geq x_{c_1}^{kd} + x_{c_2}^{kd} - 1 \quad \forall c_1 \neq c_2, \forall k \in K, \forall d \in J \quad (3.3) \\ x_{c_1}^{kd} + x_{c_2}^{k(d+1)} \leq 1 \quad \text{si } j_{c_1} \neq i_{c_2}, \forall c_1, c_2, \forall k \in K, \forall d < \max(J) \quad (3.4) \\ y_{ij}^{kd}, x_c^{kd} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N, \forall c \in C, \forall k \in K, \forall d \in J \quad (3.5) \end{array} \right.$$

Le modèle présenté repose sur un ensemble de contraintes visant à garantir une planification réaliste et optimisée des trajets de transport. La contrainte (3.1) impose que chaque commande $c \in C$ soit affectée exactement une fois à un véhicule $k \in K$ et à un jour $d \in J$, assurant ainsi une couverture complète de la demande sans redondance ni omission. La contrainte (3.2) limite le temps total de trajet journalier d'un véhicule k à un seuil maximal T_{\max} , conformément aux restrictions opérationnelles en matière de durée de conduite. La contrainte (3.3) permet de reconstituer les itinéraires journaliers en activant une liaison logique entre la ville d'arrivée j_1 d'une commande c_1 et la ville de départ i_2 d'une commande c_2 , lorsqu'elles sont affectées au même véhicule le même jour. La contrainte (3.4), quant à elle, garantit une continuité géographique entre les jours : un véhicule ne peut enchaîner deux commandes sur deux jours consécutifs que si la ville d'arrivée de la première coïncide avec la ville de départ de la seconde, évitant ainsi toute incohérence spatiale. Enfin, la contrainte (3.5) précise que les variables de décision x_c^{kd} et y_{ij}^{kd} sont binaires, indiquant, respectivement, si une commande est affectée ou non à un véhicule à une date donnée, et si un trajet entre deux points est effectué ou non.

3.4 Résolution du problème

Dans le but de rendre le problème plus traitable sur le plan computationnel, l'étude s'est focalisée sur le client **Fruital Coca Cola**, dont les itinéraires logistiques comportent un nombre significatif de trajets à vide. Ce client génère en effet une proportion notable des flux logistiques non rémunérés. En raison du volume important de commandes enregistrées tout au long du mois, une fenêtre temporelle réduite, allant du **1^{er} au 2 février 2025**, a été retenue. Ce sous-ensemble, composé de **24 commandes réelles**, constitue un échantillon représentatif permettant une modélisation réaliste. Ces commandes relient plusieurs villes de départ et d'arrivée, réparties principalement entre les wilayas du centre du pays (telles que : Alger, Blida, Boumerdes, Tizi Ouzou, Chlef, Médéa, etc.), avec des distances et délais de route .

L'objectif est de planifier l'ensemble de ces trajets sur une période de **deux jours**, en assurant une affectation optimale des véhicules disponibles tout en respectant les contraintes opérationnelles telles que la durée de route journalière, et la continuité géographique. Il est à noter que chaque véhicule est considéré comme initialement disponible dans la ville de départ de la commande qui lui est affectée, ce qui permet de simplifier le problème de repositionnement initial. Dans cette section, nous procédons à l'expérimentation du modèle d'optimisation proposé afin d'évaluer ses performances dans un contexte

opérationnel réel, en utilisant les données collectées auprès de l'entreprise **Béjaïa Logistique**. L'objectif principal est de générer un plan de transport efficace, minimisant les trajets à vide qui représentent une source majeure de coûts pour l'entreprise.

3.4.1 Méthodologie de résolution

Le modèle élaboré constitue un programme linéaire en variables binaires de grande échelle, caractérisé par une complexité importante en raison du nombre élevé et de l'interdépendance des contraintes. Bien que les outils informatiques modernes permettent de traiter efficacement ce type de problème, la recherche d'une solution optimale demeure exigeante en termes de ressources computationnelles. Pour cette étude, nous avons utilisé le solveur PuLP sous Python, qui repose sur des algorithmes de programmation linéaire mixte en nombres entiers (MILP). Ce choix nous a permis de générer un plan de transport optimal, minimisant les trajets à vide tout en respectant les contraintes liées aux capacités des véhicules, aux besoins des centres de distribution et aux délais imposés.

3.4.2 Présentation des résultats

À la suite de la modélisation mathématique du problème de transport et de son implémentation en Python, un plan optimal de répartition des trajets a été obtenu sur une période de deux jours. Cette planification concerne les 24 commandes réelles enregistrées entre le **1^{er} et le 2 février 2025**, issues des opérations logistiques du client **Fruital Coca Cola**.

Le Tableau 3.4 présente en détail les trajets planifiés, incluant les villes de départ et d'arrivée, les distances parcourues, la journée de livraison, les véhicules mobilisés ainsi que les distances à vide entre clients. L'objectif principal étant la minimisation des trajets à vide tout en maximisant la rentabilité, la solution proposée atteint un coût total de **160 600.00 DZD**, représentant une configuration économiquement optimale selon les paramètres du problème.

| Camion | Jour | Trajet | Délai de route (j) | Distance à vide (km) |
|--------|------|---------------------------------|--------------------|----------------------|
| 5008 | 1 | Alger → Blida | 0.5 | – |
| 5008 | 2 | Blida → Rahmania | 0.5 | 5 |
| 5009 | 1 | Tizi Ouzou → Khemis el Khechna | 0.5 | – |
| 5009 | 2 | Khemis el Khechna → Rouiba | 0.5 | 5 |
| 5184 | 1 | Alger → Rouiba | 0.5 | – |
| 5193 | 2 | Alger → Rouiba | 0.5 | – |
| 5204 | 1 | Alger → Khemis el Khechna | 0.5 | – |
| 5228 | 1 | Medea → Rouiba | 1.0 | – |
| 5231 | 2 | Alger → Khemis el Khechna | 0.5 | – |
| 5233 | 2 | Tipaza → Rouiba | 1.0 | – |
| 5269 | 1 | Bordj bou Arrerdij → Tizi Ouzou | 1.0 | – |
| 5269 | 2 | Tizi Ouzou → Rouiba | 0.5 | 5 |
| 5279 | 2 | Khemis El Kechna → Rouiba | 0.5 | – |
| 5301 | 1 | Alger → Blida | 0.5 | – |
| 5301 | 2 | Blida → Rouiba | 0.5 | 5 |
| 5303 | 2 | Boumerdes → Khemis el Khechna | 1.0 | – |
| 5304 | 1 | Bouira → Tazmalt | 0.5 | – |
| 5342 | 2 | Tipaza → Rouiba | 1.0 | – |
| 5343 | 2 | Alger → Rouiba | 0.5 | – |
| 5346 | 1 | Tizi Ouzou → Khemis El Khechna | 0.5 | – |
| 5361 | 2 | Tipaza → Rouiba | 1.0 | – |
| 5362 | 1 | Blida → Rouiba | 0.5 | – |
| 5362 | 2 | Rouiba → Mouzaia | 0.5 | 5 |
| 5390 | 2 | Tizi Ouzou → Rouiba | 0.5 | – |

TABLE 3.4 – Plan de transport optimal

3.5 Discussion des résultats

La comparaison entre le plan de transport réel (présenté en Annexe 2) adopté par l'entreprise et celui déterminé par notre modèle (Tableau 3.4) met en évidence plusieurs éléments intéressants. Cette comparaison est présentée dans le tableau suivant :

| Élément | Réel | Optimisé | Gain |
|--------------------------|------------|------------|-----------------------------|
| Distances à vide (km) | 201 | 25 | 176 |
| Coût à vide (DZD) | 201 000.00 | 25 000.00 | 176 000.00 |
| Coût total (DZD) (Z) | 208 740.00 | 160 600.00 | Gain net : 48 140.00 |

TABLE 3.5 – Comparaison entre le plan réel et le plan optimisé

Ces résultats mettent en évidence un gain potentiel entre le **plan réel** utilisé par l'entreprise et le **plan optimisé** généré par notre modèle. On observe :

- **Une réduction importante des trajets à vide**, passant de 201 km à seulement 25 km, soit une économie de 176 km.
- **Une diminution du coût des trajets à vide**, cette diminution des distances inutiles entraîne une forte baisse du coût associé aux trajets à vide, estimée à 201 000.00 DZD dans le plan réel contre 25 000.00 DZD dans le plan optimisé.

- **Une baisse du coût total**, en tenant compte à la fois des trajets utiles et des trajets à vide, le modèle permet de réduire le coût total de 208 740.00 DZD à 160 600.00 DZD, soit un gain net de 48 140.00 DZD pour la période considérée.

Ces résultats montrent l'efficacité du modèle d'optimisation dans la réduction des coûts logistiques tout en conservant une couverture complète des commandes réelles.

Le graphique de la figure 3.1 visualise la comparaison entre le plan de transport réel mis en œuvre par l'entreprise et le plan optimisé proposé par notre modèle.

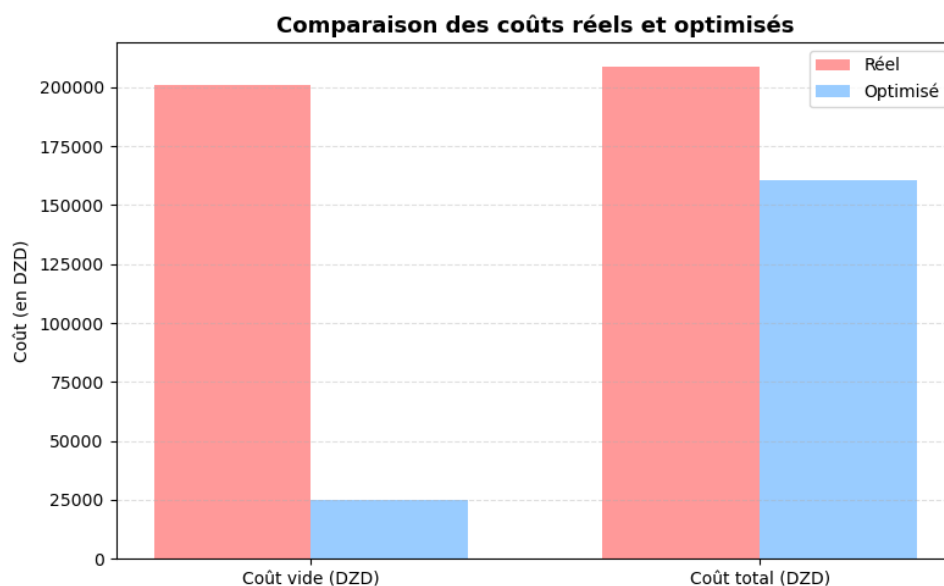


FIGURE 3.1 – Comparaison des coûts entre le plan réel et plan optimisé

Conclusion

Ce chapitre a permis de développer un modèle d'optimisation robuste répondant aux contraintes logistiques spécifiques de l'entreprise Béjaïa Logistique. En intégrant explicitement les trajets à vide dans la fonction objectif et en modélisant les contraintes opérationnelles (durée de conduite, continuité inter-jours), le modèle proposé a démontré sa capacité à générer des plans de transport plus efficaces.

L'implémentation sur un cas réel, centré sur le client Fruitful Coca Cola, a mis en évidence des gains significatifs en matière de réduction des distances à vide, des coûts logistiques, et d'amélioration de la rentabilité. Par rapport au plan réel de l'entreprise, la solution optimisée réduit les distances à vide de plus de 77%, tout en assurant une couverture complète des commandes sur la période étudiée.

Les résultats obtenus confirment l'intérêt de l'approche proposée et ouvrent la voie à une généralisation du modèle à d'autres clients, périodes ou configurations. Ce travail pose ainsi les fondements d'un système de planification dynamique, capable de soutenir les prises de décision logistiques et de renforcer la performance opérationnelle de l'entreprise.

Conclusion générale

Ce mémoire a abordé avec la problématique de l'optimisation des tournées de véhicules pour l'entreprise Béjaïa Logistique, en mettant un accent particulier sur la minimisation des trajets à vide, qui représentent une source significative de coûts logistiques non rentabilisés. En s'inscrivant dans le cadre de la Recherche Opérationnelle, ce travail a permis de développer une approche adaptée aux contraintes spécifiques de l'entreprise, telles que la flexibilité des trajets, les limites de temps de conduite et la continuité géographique des itinéraires.

Grâce à une modélisation mathématique fondée sur la programmation linéaire en nombres entiers et implémentée à l'aide du solveur PuLP en Python, un plan de transport optimal a été conçu pour les données du client Fruital Coca Cola sur une période de deux jours. Ce modèle a démontré son efficacité en réduisant significativement les distances parcourues à vide et en améliorant l'efficacité globale des opérations logistiques. Il a permis d'assurer une couverture complète des commandes tout en maximisant la rentabilité et en rationalisant l'utilisation des ressources.

Au-delà des performances obtenues, ce travail pose des fondations solides pour une planification logistique plus performante et dynamique au sein de l'entreprise. Il ouvre des perspectives prometteuses pour une généralisation du modèle à d'autres clients, à des périodes plus longues ou à des configurations plus complexes. L'intégration de contraintes supplémentaires, telles que les fenêtres temporelles, les capacités hétérogènes des véhicules, ou encore les variations saisonnières de la demande, pourrait renforcer davantage l'efficacité du modèle. Par ailleurs, le recours à des outils avancés d'intelligence artificielle ou à des techniques d'optimisation hybrides pourrait permettre de traiter des problèmes à plus grande échelle, contribuant ainsi à une gestion logistique plus durable et compétitive.

En conclusion, ce mémoire illustre le potentiel des approches de Recherche Opérationnelle pour répondre aux défis logistiques contemporains. En fournissant un outil d'aide à la décision robuste et adaptable, il contribue à améliorer la performance opérationnelle de Béjaïa Logistique et à promouvoir une gestion plus efficace des ressources, tout en ouvrant la voie à de futures innovations dans le domaine de la logistique de transport.

Annexes

Annexe 1

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des trajets à planifier, en détaillant pour chaque commande les points de départ et d'arrivée, ainsi que la distance parcourue.

| Commande | Ville de départ | Ville d'arrivée | Distance (km) |
|----------|--------------------|-------------------|---------------|
| C1 | Khemis el Khechna | Rouiba | 18 |
| C2 | Bouira | Tazmalt | 54 |
| C3 | Alger | Blida | 50 |
| C4 | Blida | Rahmania | 36 |
| C5 | Tizi Ouzou | Rouiba | 80 |
| C6 | Tipaza | Rouiba | 98 |
| C7 | Boumerdes | Khemis el Khechna | 165 |
| C8 | Alger | Rouiba | 24 |
| C9 | Blida | Rouiba | 44 |
| C10 | Khemis el Khechna | Rouiba | 18 |
| C11 | Alger | Rouiba | 24 |
| C12 | Blida | Rouiba | 44 |
| C13 | Tipaza | Rouiba | 98 |
| C14 | Medea | Rouiba | 91 |
| C15 | Bordj Bou Arréridj | Tizi Ouzou | 206 |
| C16 | Tizi Ouzou | Rouiba | 80 |
| C17 | Alger | Rouiba | 24 |
| C18 | Tizi Ouzou | Khemis el Khechna | 81 |
| C19 | Alger | Blida | 50 |
| C20 | Tizi Ouzou | Khemis el Khechna | 81 |
| C21 | Tipaza | Rouiba | 98 |
| C22 | Alger | Khemis el Khechna | 31 |
| C23 | Rouiba | Mouzaia | 80 |
| C24 | Alger | Khemis el Khechna | 31 |

TABLE 3.6 – Les commandes du 1^{er} au 2 février 2025

Annexe 2

Ce tableau illustre le plan de tournées réellement appliqué par l'entreprise.

| Camion | Jour | Trajet | Durée (j) | Distance à vide (km) |
|--------|------|---------------------------------|-----------|----------------------|
| 5008 | 1 | Khemis el Khechna → Rouiba | 0,5 | – |
| 5009 | 1 | Bouira → Tazmalt | 0,5 | – |
| 5184 | 2 | Alger → Blida | 0,5 | – |
| 5193 | 1 | Blida → Rahmania | 0,5 | – |
| 5204 | 2 | Tizi Ouzou → Rouiba | 0,5 | – |
| 5228 | 1 | Tipaza → Rouiba | 1,0 | – |
| 5228 | 2 | Boumerdes → Khemis el Khechna | 1,0 | 24 |
| 5231 | 2 | Alger → Rouiba | 0,5 | – |
| 5233 | 2 | Blida → Rouiba | 0,5 | – |
| 5269 | 1 | Khemis el Khechna → Rouiba | 0,5 | – |
| 5269 | 2 | Alger → Rouiba | 0,5 | 24 |
| 5269 | 2 | Blida → Rouiba | 0,5 | 57 |
| 5279 | 1 | Tipaza → Rouiba | 1,0 | – |
| 5279 | 2 | Médéa → Rouiba | 1,0 | 91 |
| 5301 | 2 | Bordj Bou Arréridj → Tizi Ouzou | 1,0 | – |
| 5301 | 2 | Tizi Ouzou → Rouiba | 0,5 | 5 |
| 5303 | 2 | Alger → Rouiba | 0,5 | – |
| 5304 | 2 | Tizi Ouzou → Khemis el Khechna | 0,5 | – |
| 5342 | 1 | Alger → Blida | 0,5 | – |
| 5343 | 1 | Tizi Ouzou → Khemis el Khechna | 0,5 | – |
| 5346 | 1 | Tipaza → Rouiba | 1,0 | – |
| 5361 | 2 | Alger → Khemis el Khechna | 0,5 | – |
| 5362 | 1 | Rouiba → Mouzaïa | 0,5 | – |

TABLE 3.7 – Planification des trajets

Bibliographie

- [1] *Le Petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Dictionnaires Le Robert, Paris, 2011/2012 edition, 2012. Ouvrage de référence.
- [2] Faq logistique - portail d'information sur la logistique et le transport. <https://www.faq-logistique.com>, 2020. Consulté le 28 mars 2025.
- [3] Site officiel de béjaïa logistique. <https://www.bejaialogistique.com>, 2025. Consulté le 23 mars 2025.
- [4] Transport et logistique : quelle relation? <https://www.doc-etudiant.fr/Commerce/Logistique/Expose-Transport-et-logistiquequelle-relation-124002.html>, 2025. Consulté le 25 mars 2025.
- [5] A. Baeyens and D. Hainaut. Optimisation des synergies pour la réduction du transport à vide : Analyse des aspects géographiques, analyse de la coopération, modélisation de l'optimisation des bénéfiques et intégration des points de départ des tournées. Mémoire de master, Louvain School of Management, 2020.
- [6] H. Bederina. *Problèmes de tournées de véhicules robustes multi-objectifs*. Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne, École Doctorale en Sciences, Technologie et Santé (ED 585), 2022.
- [7] A. Belhouli. L'algorithme séquentiel (réduit simulé + algorithme 2-opt) pour la résolution du problème de routage de véhicules avec capacité (prvc). Mémoire de master, Université de Bordj Bou Arreridj, Faculté de Mathématiques et d'Informatique, 2021.
- [8] D. Boudouin and C. Morel. *Logistique urbaine. L'optimisation de la circulation des biens et services en ville*. La Documentation française, Paris, 2002.
- [9] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo. Distributed optimization by ant colonies. In *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, pages 134–142, 1991.
- [10] J.-F. Cordeau. The vrp with time windows. Technical report, Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions, Montréal, 2000.
- [11] G. B. Dantzig. *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton, N.J, 1963.
- [12] L. Deroussi. *Métaheuristiques pour la logistique*. ISTE Group, Londres, 2016.
- [13] T. Dries and M. Mecheri. Modélisation pour l'aide à la décision dans la gestion logistique : cas des huiles elio au niveau de cevital. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2023.

- [14] I. Elmahi. *Modélisation et commande des systèmes de chaîne logistique par les réseaux de Petri et l'algèbre des dioïdes*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort Montbéliard et Université de Franche-Comté, 2006.
- [15] I. F. Z. Ferfera. La conception et la mise en place d'un outil informatique d'aide à la décision pour l'optimisation des flux de transport. Mémoire de master, École Nationale Polytechnique, 2019.
- [16] M. Gendreau, F. Guertin, J.-Y. Potvin, and Taillard. Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. *Transportation Science*, 33(4) :381–390, 1999.
- [17] G. Ghiani, G. Laporte, and R. Musmanno. *Introduction to Logistics Systems Management*. Wiley, 2nd edition, 2013.
- [18] R. Guerroudj and S. Mazouzi. Le transport routier de marchandises dans la chaîne logistique : Cas de l'entreprise béjaïa logistique. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2019.
- [19] S. Harrar. *Transport de marchandises et l'impact sur l'activité économique régionale*. Mémoire de magister en Économie régionale et urbaine appliquée, Université d'Oran, 2012.
- [20] M. Hifi. *Contribution to the Integer Linear Programming : problems of cutting-packing and knapsack*. Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne, 2011.
- [21] R. Kammarti. *Approches évolutionnistes pour la résolution du 1-PDPTW statique et dynamique*. Thèse de doctorat, École Centrale de Lille, 2006.
- [22] L. V. Kantorovich. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science*, 6 :366–422, 1960. Originally publication : Publication House of the Leningrad State University ,1939.
- [23] R. Latreche. Gestion du système de transport de carburants : Cas de l'entreprise naftal, jijel. Mémoire de master, Université de Jijel, Jijel, Algérie, 2023.
- [24] D. Loïc. *Méthodologie pour optimiser le transport de marchandises en ville : application aux villes moyennes et dans le cadre de l'agglomération de la Rochelle*. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2008.
- [25] C. Mahtout. Modélisation pour l'optimisation de la chaîne de distribution des produits agroalimentaires au sein de l'entreprise cevital-béjaïa. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2024.
- [26] D. Maouchi and D. Ouaras. Le rôle et l'importance du transport routier de marchandise dans le développement de la chaîne logistique : cas béjaïa logistique. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2018.
- [27] S. Mebarki and L. Tahiri. Optimisation du réseau logistique de distribution : cas des huiles au niveau de cevital. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2015.
- [28] M. Meddour and L. Labdoussi. L'impact du couple marketing-logistique sur la gestion des réseaux logistiques. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2019.

- [29] O. Meziane and S. Mokrani. La gestion de la chaîne logistique internationale : Cas du transport de marchandises par voie maritime « port d'alger ». Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2020.
- [30] A. Nonjon. *Comprendre l'économie mondiale*. Éditions Ellipses, Paris, 1995.
- [31] C. Noui and S. Rabhi. L'analyse de l'efficacité de la logistique et distribution : Cas béjaïa logistiques. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2017.
- [32] A. Ouali and L. Roubiou. Résolution du problème de tournées de véhicules par une méta-heuristique : Application au transport universitaire à béjaia. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2019.
- [33] J.-P. Rodrigue. *The Geography of Transport Systems*. Routledge, New York, 5th edition, 2020.
- [34] A. Sekour and B. Meziani. Planification et application des méthodes de résolution du problème de transport dans l'entreprise onab nutrition. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2019.
- [35] Y. Smaili. *Optimisation des flux dans un système de distribution - Application à une entreprise*. Thèse de doctorat, Université de Batna 2 - Mustafa Ben Boulaïd, 2012.
- [36] D. Tixier, H. Mathee, and J. Colin. *La logistique au service de l'entreprise : Moyen, mécanisme et enjeux*. Dunod entreprise, Paris, 1983.
- [37] O. Yahiaoui. Analyse du processus d'exportation dans la chaîne logistique au sein d'une entreprise : Cas cevital. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2022.

Résumé

Ce mémoire traite de l'optimisation des tournées de transport dans le cadre des activités de Béjaïa Logistique. L'objectif principal est de réduire les trajets à vide à travers une planification plus efficace des flux. Pour ce faire, un modèle mathématique inspiré du problème de tournées de véhicules (VRP) a été élaboré, intégrant des contraintes opérationnelles telles que la durée des trajets et la continuité des déplacements, etc. Ce modèle a été résolu à l'aide du langage Python et du solveur PuLP, en s'appuyant sur des données réelles issues de l'entreprise. Les résultats obtenus démontrent la pertinence de l'approche adoptée et soulignent l'intérêt de l'optimisation pour améliorer la performance logistique globale.

Mots-clés : optimisation du transport, tournées de véhicules, trajets à vide, planification logistique, modélisation mathématique.

Abstract

This thesis focuses on optimizing transport routes within the operations of Béjaïa Logistique. The main objective is to reduce empty trips through more efficient flow planning. To achieve this, a mathematical model inspired by the Vehicle Routing Problem (VRP) was developed, incorporating operational constraints such as travel time and route continuity. The model was implemented using the Python programming language and the PuLP solver, based on real data provided by the company. The results obtained highlight the relevance of the proposed approach and underline the importance of optimization in enhancing overall logistics performance.

Keywords : transport optimization, vehicle routing, empty trips, logistics planning, mathematical modeling.