

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

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
en Mathématiques Appliquées

Spécialité : Modélisation Optimisation et Aide à la Décision

*Contribution à l'optimisation du plan de transport
des produits secs au sein de l'entreprise Cevital
Béjaïa*

Présenté par :

Mlle. **Baya Maouchi**
Mlle. **Wissal Khenchoul**

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

M ^r MO. Bibi	Professeur	Président	UAMB - Bejaia
M ^{me} K. Bouibed	M.C. B	Encadrante	UAMB - Bejaia
M ^{me} A. Anzi	M.C.A	Examinatrice	UAMB - Bejaia
M ^{me} K. Bouchebbah	M.C. B	Examinatrice	UAMB - Bejaia
M ^{me} N. Djerroud	Doctorante	Examinatrice	UAMB - Bejaia
M ^r A. Chikh	Ingénieur	Invité	Cadre à l'entreprise Cevital

Année Universitaire 2024 – 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Allah le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant universitaire **Dr. Karima Bouibed**, enseignant-chercheur au sein du Département de Recherche Opérationnelle de l'Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, pour sa disponibilité, ses orientations précieuses, son accompagnement constant et sa bienveillance tout au long de ce travail.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent également à **Monsieur Atmane Chikh**, directeur du transport chez **CEVITAL**, pour nous avoir encadrés durant notre stage avec professionnalisme. Son implication, ses conseils concrets et son expérience sur le terrain ont été déterminants dans l'aboutissement de ce projet.

Nos remerciements vont tout particulièrement à **Monsieur MO.Bibi**, Professeur à l'Université de Béjaïa, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de soutenance et pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail. Nous lui exprimons toute notre reconnaissance.

Nous remercions également **Madame A. Anzi** et **Madame K.Bouchebbah** pour avoir bien voulu consacrer de leur temps à la lecture et à l'évaluation de notre mémoire. Leurs remarques et suggestions ont enrichi notre réflexion.

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants du Département de Recherche Opérationnelle, pour la qualité de l'enseignement reçu tout au long de notre formation universitaire.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos familles et à nos amis, pour leur soutien indéfectible, leur patience et leurs encouragements constants, qui ont été une source précieuse de motivation durant tout notre parcours.

Dédicace

Je dédie ce mémoire, avec tout mon amour et ma gratitude :

À mon père bien-aimé, **Nacir**, pour sa force, sa sagesse et son soutien inébranlable.

À ma mère, **Bouanani Hedjila**, pour son amour inconditionnel, ses prières et sa tendresse qui m'ont portée tout au long de ce parcours.

À mes frères, **Hakim** et **Yahya**, pour leur affection, leur présence et leur encouragement constant.

À ma belle-sœur, **Salima**, pour sa gentillesse et son soutien discret.

À mes sœurs adorées, **Linda**, **Souhila** et **Chahrazed**, pour leur amour sincère, leur patience et leur présence constante à mes côtés.

À leurs époux respectifs, pour leur respect et leur bienveillance.

À mes chers neveux : **Younes**, **Fawzi**, **Abderrahmane**, **Ghiles** et **Abd Araouf**,
et à mes nièces : **Imane** et **Asma**, qui remplissent nos vies de lumière et de joie.

À tous mes oncles, tantes, cousins et cousines, pour leur affection et leurs encouragements.

À mes amies chères, **Aïda**, **Hafida**, **Tilelli** , **Assia** et **Lylia** pour leur fidélité, leur gentillesse et leur présence précieuse.

À toute la **promotion MOAD**, pour les moments partagés, les sourires, les efforts collectifs et l'entraide tout au long de ces années.

À ma binôme, **Wissal**.

Et tout particulièrement, à mon fiancé **Rafik Maouchi**, pour son amour inestimable, sa patience et son soutien constant. À sa famille, que je remercie du fond du cœur pour leur chaleur humaine, leur gentillesse et l'affection avec laquelle ils m'ont toujours entourée.

Baya Maouchi

Dédicace

Je dédie ce mémoire, avec tout mon amour et une gratitude infinie :

À ma mère, **Guergah Soulef**, cette femme extraordinaire qui a été à la fois une mère et un père pour moi. Son amour inépuisable, ses prières silencieuses, ses sacrifices discrets mais immenses ont été la force et la lumière de mon chemin. Rien de tout cela n'aurait été possible sans elle.

À ma petite sœur **Malak**, mon éclat de rire, mon refuge et mon énergie douce dans les tempêtes. Merci d'avoir toujours su essuyer mes larmes avec ton humour et ta tendresse.

À mes amis, **Laura, Ilicia, Dihia, Faouzi et Imen** des cœurs sincères, des âmes lumineuses. Vous n'avez pas seulement été des amis, vous avez été ma deuxième famille. Merci pour vos éclats de rire, vos silences complices, vos mots réconfortants et cette belle folie qui a adouci le poids de ce parcours.

À la promotion **MOAD**, cette tribu de souvenirs, de sourires, de nuits blanches et d'entraide. Ensemble, nous avons grandi, lutté et surtout partagé des moments gravés à jamais.

Enfin, à ma binôme **Baya**, pour cette belle alliance, son sérieux, son soutien et cette complicité qui ont rendu ce travail plus agréable et plus solide.

Wissal Khenchoul

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 l'entreprise	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique et Présentation de l'Entreprise	3
1.3 Situation géographique de Cevital	4
1.4 Structure et organisation de l'entreprise	4
1.4.1 Direction Générale	5
1.5 Aperçu des installations industrielles de Cevital	8
1.6 Unités de production :	8
1.6.1 Unité de Béjaia	8
1.6.2 Unité COJEK	10
1.6.3 Unité Lalla Khedidja(LLK)	11
1.6.4 Unité plastique	12
1.7 La flexibilité de conditionnement	12
1.8 Missions et objectifs	13
1.9 Infrastructure de la base logistique	13
1.9.1 Plateformes	13
1.9.2 Centres de livraison régionaux (CLRs)	13
1.10 Type de la clientèle de Cevital	14
1.11 Position du problème	16
1.12 Conclusion	16
2 Introduction à la logistique et au problème de transport	17
2.1 Introduction	17
2.2 Logistique	17
2.2.1 Le rôle de la logistique	18
2.2.2 Types de la logistique	18
2.3 La chaîne logistique (Supply chain)	19
2.3.1 Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)	19
2.4 Optimisation logistique	20
2.4.1 Optimisation du transport	20

2.4.2	Optimisation du stockage	20
2.4.3	Optimisation des itinéraires	20
2.4.4	Optimisation de la gestion des stocks	21
2.4.5	Optimisation du réseau logistique	21
2.5	Problème de transport	21
2.5.1	Formulation mathématique du problème de transport	21
2.5.2	Planification des transports :	22
2.5.3	La place du transport routier	23
2.5.4	Les différentes offres de transport	23
2.6	Méthodes de résolution du problème de transport	24
2.6.1	Méthodes exactes	24
2.6.2	Méthodes heuristiques et métaheuristiques	24
2.7	Optimisation combinatoire	25
2.7.1	Outils de modélisation des problèmes d'optimisation combinatoire	25
2.7.2	Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation linéaires en nombres entiers	26
2.8	Le langage Python pour la résolution des problèmes de transport	27
2.8.1	Avantages de Python pour l'optimisation logistique	28
2.8.2	Bibliothèques Python pour la résolution des problèmes de transport	28
2.8.3	Applications de Python en optimisation logistique	28
2.9	Conclusion	29
3	Optimisation du plan de transport des produits secs de l'entreprise Cevital : modélisation et résultats	30
3.1	Introduction	30
3.2	Description de la problématique	30
3.3	Récoltes des données	31
3.3.1	Données liées à la production	31
3.3.2	Données récoltées auprès du service logistique	31
3.3.3	Temps moyen de trajet depuis Béjaïa	39
3.3.4	Données collectées auprès du planificateur de transport	42
3.4	Modèle mathématique proposé	44
3.5	Résolution du problème et interprétation des résultats	47
3.5.1	Outils de résolution	47
3.5.2	Présentation des résultats	49
3.6	Discussion des résultats	51
3.6.1	Analyse des coûts	51
3.6.2	Satisfaction de la demande	52
3.6.3	Utilisation des prestataires	52
3.7	Conclusion	53
	Conclusion générale	54
	Annexes	54
	Bibliographie	59

Table des figures

1.1	Situation géographique de Cevital	4
1.2	L'organigramme général de Cevital	5
1.3	Fleurial	9
1.4	ELIO	9
1.5	Les margarines et graisses végétales	10
1.6	Sucre	10
1.7	Sauces, Mayonnaise et Harissa produites par Cevital	11
1.8	Confiture	11
1.9	Eau minérale "Lalla khedidja"	12
1.10	Jus "Tchina"	12
1.11	Plastique	12
2.1	Logistique	18
2.2	La chaîne logistique ou supply chain	19
2.3	Bibliothèque PULP sur Python	28
3.1	Comparaison des coûts entre le plan réel et le plan optimisé	52

Liste des tableaux

1.1	Formats des produits finis	12
3.1	Capacités de production journalières par produit	31
3.2	Capacité de chargement des camions par type de produit	31
3.3	Liste des prestataires et leur nombre de camions	32
3.4	Répartition des prestataires selon le type	32
3.5	Liste des CLR's avec les coûts depuis Béjaïa	32
3.6	Liste des plateformes avec les coûts depuis Béjaïa	33
3.7	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les différents clients	34
3.8	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations CLR's	35
3.9	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations Plateformes	35
3.10	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations clients	37
3.11	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations CLR's	37
3.12	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations plateforme	37
3.13	Coûts de transport depuis Béjaïa vers les différentes clients	39
3.14	Liste des CLR's avec temps de trajet depuis Béjaïa	40
3.15	Liste des plateformes avec temps de trajet depuis Béjaïa	40
3.16	Liste des clients avec temps de trajet depuis Béjaïa	42
3.17	Demandes des CLR's en produit sec par camion	42
3.18	Demandes des plateformes en produit sec par camion	42
3.19	Demandes des clients en produit sec par camion	43
3.20	Demandes des CLR's en produit sec par camion	43
3.21	Demandes des plateformes en produit sec par camion	43
3.22	Demandes des clients en produit sec par camion	44
3.23	Plan de transport pour la journée du 19 mai 2025	50
3.24	Plan de transport pour la journée du 27 mai 2025	51
3.25	Comparaison des coûts entre les plans réel et optimal	51
3.26	Plan de transport pour la journée du 19 mai 2025 donnés par l'entreprise	56
3.27	Plan de transport pour la journée du 27 mai 2025 donnés par l'entreprise	58

Liste des abréviations

SPA : Société Par Actions

CLR : Centre Logistique Régional

B2B : Business to Business

B2C : Business to Consumer

RN : Route Nationale

PL : Programmation Linéaire

PLNE : Programmation Linéaire en Nombres Entiers

SCM : Supply Chain Management

Python : Langage de programmation

PULP : Bibliothèque Python d'optimisation linéaire

LLK : Unité Lalla Khedidja

DA : Dinar Algérien

EOQ : Economic Order Quantity (Quantité Économique de Commande)

Introduction générale

Dans un monde marqué par une rapide évolution technologique et une complexification des dynamiques économiques, les entreprises doivent agir dans un environnement concurrentiel où l'efficacité logistique est devenue un facteur clé de succès [2]. La gestion optimale des flux, qu'il s'agisse de marchandises, de ressources ou d'informations, est essentielle pour réduire les coûts tout en répondant aux attentes croissantes des clients [12]. Cette complexité croissante impose une prise de décision rigoureuse, prenant en compte de multiples paramètres interdépendants, que ce soit dans l'organisation de la production, la gestion des stocks ou la planification des transports. Pour répondre à ces défis, la Recherche Opérationnelle, une science intégrative combinant les mathématiques, l'informatique, l'ingénierie et l'économie, offre des outils puissants pour modéliser et résoudre des problèmes décisionnels complexes [33].

Le problème de transport est l'un des modèles les plus étudiés en Recherche Opérationnelle, en raison de sa pertinence concrète et des solutions performantes qui ont été élaborées pour le résoudre [11]. Il consiste à déterminer la meilleure façon de transporter des marchandises de plusieurs sources vers plusieurs destinations, tout en minimisant les coûts de transport et en respectant les contraintes de capacité disponibles et les besoins à satisfaire. Ce type de problème est lié aux choix stratégiques des entreprises en matière de logistique, de gestion des ressources et d'optimisation des flux [15]. Ce mémoire est consacré à une application concrète de ce problème à travers l'optimisation du plan de transport de l'entreprise Cevital, l'un des principaux groupes industriels privés en Algérie, particulièrement actif dans le secteur agroalimentaire. La logistique chez Cevital, caractérisée par un réseau de distribution complexe, représente un enjeu stratégique où une planification optimisée des tournées et de l'affectation des camions peut entraîner des économies significatives tout en maintenant un service de qualité.

Ce travail combine la modélisation mathématique et les outils informatiques pour proposer une solution adaptée au contexte de Cevital. En exploitant les capacités des bibliothèques Python dédiées à l'optimisation, nous formulons le problème de transport sous forme d'un programme linéaire, puis implémentons une résolution numérique pour analyser et améliorer le plan logistique actuel.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres, chacun abordant une dimension spécifique de cette étude.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté l'entreprise Cevital, en détaillant son organisation logistique, ses infrastructures de production et les défis associés au transport de ses produits finis. Cette analyse pose le cadre opérationnel de l'étude et met en évidence les spécificités du réseau de distribution.

Le deuxième chapitre explore les fondements théoriques de la logistique moderne et du problème de transport. À travers une revue des concepts de la chaîne logistique et des méthodes de résolution en Recherche Opérationnelle, il établit les bases nécessaires à la compréhension des approches d'optimisation.

Le troisième chapitre contient notre contribution essentielle dans ce travail. Il porte sur une étude de cas appliquée à l'entreprise Cevital. Le problème de transport est modélisé à partir de données réelles, résolu numériquement à l'aide d'outils Python, et les résultats sont analysés pour proposer des améliorations concrètes au plan logistique actuel de l'entreprise.

La conclusion de ce mémoire met en évidence les apports essentiels de l'étude et suggère quelques axes de recherche pour approfondir l'optimisation des systèmes logistiques.

1

Présentation de l'entreprise

1.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'entreprise Cevital, un acteur majeur de l'industrie agroalimentaire en Algérie. Nous y abordons son historique, son organisation interne, ses unités de production, ainsi que ses infrastructures logistiques. Cette présentation vise à fournir une compréhension globale du fonctionnement de l'entreprise, dans le but de mieux situer le contexte du problème de transport étudié lors de notre stage.

1.2 Historique et Présentation de l'Entreprise

Fondée en 1998 par Issad Rebrab sous la forme d'une Société Par Actions (SPA), Cevital s'est imposée comme le premier groupe industriel privé en Algérie. Initialement spécialisée dans l'agroalimentaire, notamment le raffinage des huiles végétales et la transformation du sucre, l'entreprise a diversifié ses activités vers des secteurs stratégiques tels que la grande distribution, la sidérurgie, l'électronique et la plasturgie [1]. Avec un chiffre d'affaires estimé à 105 milliards de dinars (environ 1,6 milliard de dollars) en 2007 et un effectif d'environ 6 500 employés, Cevital est un acteur clé du marché national et international [20].

Depuis sa création, Cevital a marqué son développement par des initiatives industrielles et des lancements de produits innovants :

- **1998** : Lancement de l'huile alimentaire **Elio**, consolidant la position de Cevital dans le secteur des huiles végétales ;
- **2001–2002** : Introduction des margarines **Fleurial**, **Matina**, du beurre tendre **Gourmand**, et du produit sucré **Skor**, élargissant l'offre agroalimentaire ;
- **2006–2007** : Entrée dans le secteur des boissons avec les jus **Tchina** et l'eau minérale **Lalla Khedidja**, renforçant la diversification ;
- **2010–2016** : Lancement du **sucre liquide**, de la **chaux calcique**, du **CO2 alimentaire** et du **sucre roux**, répondant à des besoins industriels et alimentaires variés ;

- **2018–2023** : Expansion vers les **saucés et condiments**, la **plasturgie**, et la **trituration des graines oléagineuses**, marquant une diversification industrielle stratégique ;

Ces étapes, combinées à des acquisitions stratégiques, ont permis à Cevital de renforcer sa présence sur le marché algérien et de s'ouvrir à l'exportation, tout en consolidant son rôle de leader industriel.

1.3 Situation géographique de Cevital

Cevital est installé dans la zone portuaire de Béjaïa, à environ 3 kilomètres du centre-ville, au sud-ouest, tout près de la route nationale RN 26. Une partie des installations se trouve à seulement 200 mètres du quai, tandis que le reste est construit sur des terrains situés à proximité du port.

La localisation du complexe, à proximité du port de Béjaïa et à environ 280 km d'Alger, constitue un avantage logistique important. Elle facilite les opérations de transport, d'approvisionnement et de distribution à l'échelle nationale. Le complexe s'étend sur une superficie impressionnante de 45 000 m², ce qui en fait l'un des plus vastes du pays. Il dispose aussi d'une capacité de stockage de 182 000 tonnes par an, avec un terminal capable de décharger jusqu'à 200 000 tonnes par heure.

Grâce à son réseau de distribution couvrant plus de 52 000 points de vente à travers le pays, Cevital conforte sa position de leader dans le secteur agroalimentaire en Algérie.



FIGURE 1.1 – Situation géographique de Cevital

1.4 Structure et organisation de l'entreprise

L'organigramme de Cevital Agro-Industrie illustre la structure hiérarchique de l'un des principaux acteurs de l'agro-industrie en Algérie. Il met en évidence les relations entre les différentes entités du groupe, en précisant leurs rôles, leurs responsabilités ainsi que leur organisation interne. Cette structuration vise à renforcer la cohérence, à optimiser la coordination entre les services et à assurer une gestion efficace de l'ensemble des activités de l'entreprise. La présentation détaillée de ces structures organisationnelles est exposée comme suit :

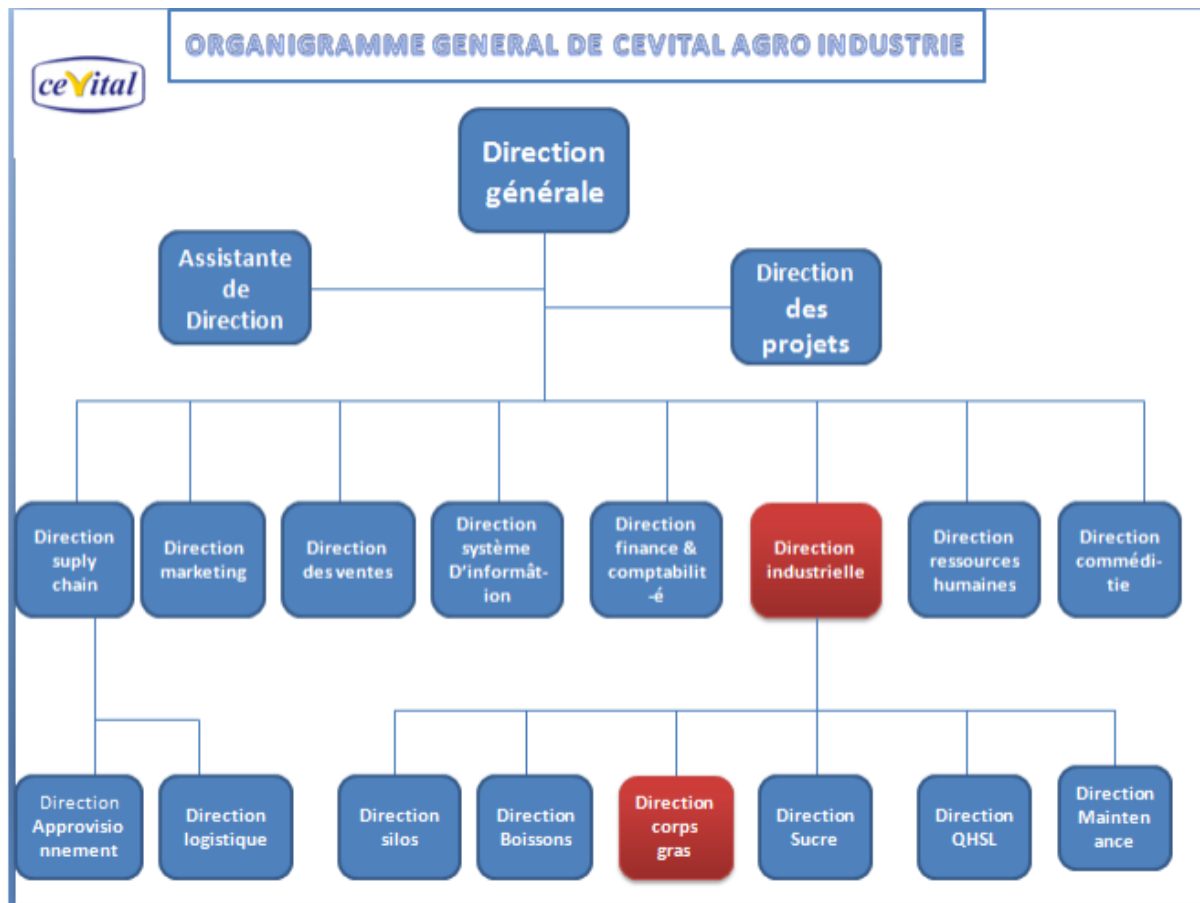


FIGURE 1.2 – L'organigramme général de Cevital

1.4.1 Direction Générale

Elle est présidée par un président directeur général (PDG) qui est l'actionnaire majoritaire. Elle s'occupe de l'établissement des plans stratégiques et prend les décisions sur les politiques marketing à adopter en collaboration avec la direction du siège d'Alger.

Elle a également pour mission la coordination, l'orientation et la motivation des autres directions. Ainsi, la direction générale est composée de 19 directions :

Direction des Projets

La Direction des Projets a pour principale mission la gestion et le pilotage des projets industriels de grande envergure. Elle veille à leur bon déroulement depuis l'étude jusqu'à la réalisation. En parallèle, elle supervise les travaux de maintenance lourde sur les unités de production déjà en exploitation, garantissant leur bon fonctionnement et leur durabilité.

Assistante de Direction

L'Assistante de Direction constitue un appui administratif et organisationnel permanent pour la Direction Générale. Elle facilite la gestion de l'agenda, la préparation des réunions stratégiques, le traitement de la correspondance et assure un lien efficace entre la Direction Générale et les autres services.

Direction Supply Chain (Chaîne Logistique)

La Direction Supply Chain joue un rôle central dans la gestion des flux entre fournisseurs, entreprise et clients. Elle veille à l'intégrité, la fluidité et l'optimisation des circuits logistiques, depuis l'approvisionnement jusqu'à la distribution des produits finis. Elle s'articule autour de deux sous-directions principales :

Sous-direction Approvisionnement

Cette sous-direction assure la disponibilité des matières premières et des services nécessaires à la production, tout en optimisant les coûts et les délais. Elle met en place les mécanismes de commande et de suivi pour garantir un flux d'approvisionnement constant et fiable.

Sous-direction Logistique

La sous-direction logistique est chargée de l'expédition des produits finis tels que l'huile, la margarine ou encore l'eau minérale. Elle coordonne les opérations de transport qu'il s'agisse de moyens propres, affrétés ou liés aux clients et gère les stocks dans les différents dépôts répartis à travers le territoire, notamment à Bejaïa, Alger, Oran et Sétif.

Direction Marketing

Cette direction a pour mission de développer les marques et les gammes de produits de l'entreprise. Elle s'appuie sur des études approfondies des marchés et du comportement des consommateurs pour proposer des actions d'innovation, de rénovation ou d'animation produit. Elle travaille en collaboration avec d'autres départements pour concrétiser ces initiatives.

Direction des Ventas

Cette direction est responsable de la commercialisation des produits et services, elle développe le portefeuille client en mettant en place des actions promotionnelles et technologiques, tout en maintenant un contact direct avec la clientèle.

Direction des Systèmes d'Information

Cette direction garantit le bon fonctionnement des technologies de l'information au sein de l'entreprise. Elle déploie, sécurise et maintient les systèmes informatiques en adéquation avec la stratégie globale. Elle assure leur disponibilité, leur cohérence et leur mise à jour en continu.

Direction Finance et Comptabilité

La Direction Finance et Comptabilité s'occupe de l'élaboration et de la mise à jour des budgets. Elle veille à la conformité des opérations comptables aux normes en vigueur, assure le contrôle de gestion interne et élabore des rapports financiers périodiques pour éclairer les prises de décisions stratégiques.

Direction des Silos

Elle gère les opérations de réception des matières premières à leur arrivée sur les sites de production. Elle est en charge du déchargement, du stockage et de la préparation logistique de ces matières en vue de leur traitement.

Direction des Ressources Humaines

La Direction des Ressources Humaines gère l'ensemble du cycle de vie des employés : recrutement, gestion des carrières, rémunérations, retraite. Elle met également un accent particulier sur la formation continue afin d'assurer l'amélioration des compétences du personnel et la qualité des produits finis.

Direction des Commodities

Elle est responsable des importations de matières premières telles que l'huile brute et le sucre roux, ainsi que de l'exportation du sucre raffiné. Elle supervise les contrats d'achat et de vente, depuis l'arrivée des navires jusqu'au paiement des fournisseurs, en assurant le respect des engagements commerciaux et logistiques.

Direction Industrielle

La Direction Industrielle est le pilier de la production au sein de Cevital Agro-Industrie. Elle définit les objectifs industriels et les budgets à respecter. Elle encadre la mise en œuvre des politiques de qualité, sécurité, environnement et productivité. Elle anticipe les besoins en matériel et pilote les études de faisabilité pour l'introduction de nouveaux produits. Elle est structurée autour de plusieurs départements spécialisés :

Direction Corps Gras

Ce département comprend trois unités principales :

- **Unité de Raffinage** avec trois lignes de production : deux lignes de 400 tonnes/jour et une ligne de 1000 tonnes/jour.
- **Unité de Conditionnement** dotée de lignes pour bouteilles de différents formats (1L, 2L, 3L et 5L).
- **Unité Margarinerie** d'une capacité de 600 tonnes/jour, équipée de technologies SCHRODER et NOVA.

Direction Sucre

Elle regroupe :

- Trois raffineries ayant des capacités respectives de 1600, 2000 et 3000 tonnes/jour,
- Une unité de production de sucre liquide destinée à un usage interne,
- Une unité de conditionnement du sucre cristallisé.

Direction Boissons

Ce département produit des boissons sous la marque *Cojek*, situées à El-Kseur, ainsi que de l'eau minérale commercialisée sous le nom *Lala Khedidja*.

Direction des Expéditions

Responsable de la logistique des produits finis, cette direction gère les expéditions, l'établissement des bons de livraison et la gestion des consignes. Elle coordonne également la restitution et l'achat des palettes.

Direction QHSE

Ce département s'occupe de tout ce qui concerne la qualité, l'hygiène, la sécurité et l'environnement. Il veille au respect des normes et à la prévention des risques dans tous les processus industriels.

Direction Maintenance

Elle assure la maintenance préventive et corrective de l'ensemble des équipements industriels. Elle garantit ainsi la continuité de la production dans des conditions optimales.

1.5 Aperçu des installations industrielles de Cevital

Cevital, grâce à une croissance annuelle de 50 % depuis sa première année d'exploitation, s'est imposée comme un leader de l'agro-industrie en Algérie. Elle couvre une part importante des besoins du marché national et contribue à la création de plus de 600 emplois par an. Dans une dynamique continue de développement, l'entreprise mène une stratégie de croissance et de diversification à travers plusieurs projets [1].

La branche agro-industrielle de Cevital regroupe plusieurs unités de production, parmi lesquelles :

- Une raffinerie d'huile,
- Deux raffineries de sucre,
- Une unité de sucre liquide,
- Une margarinerie,
- Une unité de conditionnement d'eau minérale,
- Une unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes sans alcool,
- Une conserverie,
- Une unité de fabrication de chaux calcinée.

1.6 Unités de production :

L'entreprise possède quatre unités de production situées à différents endroits, Bejaia, El Kseur, Setif et Agouni Gueghrane dans la wilaya de Tizi Ouzou.

1.6.1 Unité de Béjaia

Installée au port de Béjaïa, cette unité assure la production et le conditionnement du sucre, de la margarine et de plusieurs types d'huiles.

Huiles végétales

Les huiles produites par **Cevital** sont issues d'un processus de fabrication certifié **ISO 22000** par le bureau **Veritas Certification**. L'entreprise propose deux catégories d'huiles de table, chacune ayant ses propres qualités et appellations.

- **Fleurial** : huile 100% tournesol, sans cholestérol, enrichie en vitamines A, D et E, ainsi qu'en acides gras essentiels.



FIGURE 1.3 – Fleurial [1]

- **ELIO** : cette huile, entièrement végétale et sans cholestérol, est enrichie en vitamine F. Elle est principalement issue de graines de tournesol, de soja et de palme. Après un processus rigoureux de raffinage et de contrôles qualité répétés, elle est conditionnée dans des bouteilles de différentes contenances, allant de 1 à 5 litres.



FIGURE 1.4 – ELIO [1]

Margarinerie et graisses végétales :

L'entreprise propose une large gamme de margarines enrichies en vitamines A, D et E. Certaines sont destinées à la consommation directe, à l'image des marques **MATINA**, **ELIO**, **Beurre Gourmand** et **FLEURIAL**. D'autres, en revanche, sont spécialement élaborées pour répondre aux besoins de la pâtisserie traditionnelle ou moderne, comme **La Parisienne** ou **MEDINA "Smen"**.



FIGURE 1.5 – Les margarines et graisses végétales [1]

Sucre

Le sucre raffiné de Cevital est obtenu à partir du sucre roux de canne, naturellement riche en saccharose. Ce sucre est conditionné sous différents formats, notamment en sacs de 50 kg pour les besoins industriels, et en sachets ou boîtes de 500 g pour la vente au détail. Grâce à un processus de fabrication maîtrisé, Cevital garantit un sucre blanc conforme aux normes de qualité, assurant une sécurité optimale à chaque étape de production. En complément, l'entreprise propose également du sucre sous forme liquide, spécialement conçu pour les industriels souhaitant optimiser la qualité de leurs produits finis tout en améliorant la rentabilité de leurs processus.



FIGURE 1.6 – Sucre [1]

1.6.2 Unité COJEK

Située dans la zone industrielle d'El Kseur, la société COJEK, filiale du groupe Cevital, est spécialisée dans la transformation de fruits et légumes frais en jus, nectars et conserves. Grâce à un ambitieux plan de développement, le groupe vise à devenir un acteur de référence dans ce secteur.



FIGURE 1.7 – Sauces, Mayonnaise et Harissa produites par Cevital [1]



FIGURE 1.8 – Confiture [1]

1.6.3 Unité Lalla Khedidja(LLK)

Située à Agouni Gueghrane dans la wilaya de Tizi Ouzou, elle est dédiée à la fabrication d'eau minérale naturelle et de boisson.

Eau minérale et boisson fruitée (jus)

L'eau minérale LALLA KHEDIDJA, pure et naturelle, est puisée directement à la source, au cœur du massif montagneux du Djurdjura. Grâce à une expertise reconnue, Cevital propose aux consommateurs des boissons fruitées contenant jusqu'à 25 % de pulpe d'orange, produites sur un site équipé d'une ligne de fabrication de dernière génération.



FIGURE 1.9 – Eau minérale "Lalla khedidja" [1]



FIGURE 1.10 – Jus "Tchina"[1]

1.6.4 Unité plastique

Implantée dans la wilaya de Sétif, cette unité est chargée de la fabrication des emballages pour les produits de margarine et d'huiles, avec pour objectif futur de produire également des palettes et des étiquettes.

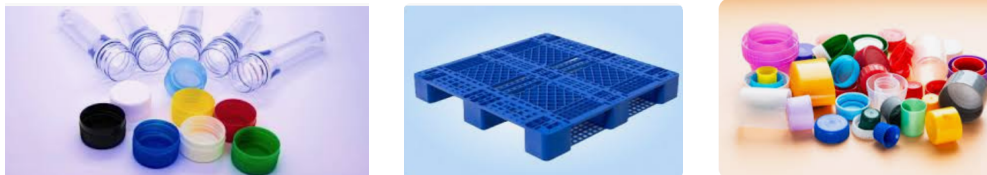


FIGURE 1.11 – Plastique [1]

1.7 La flexibilité de conditionnement

Cevital fabrique elle-même les emballages nécessaires au conditionnement de ses produits finis. Elle propose différents formats comme des préformes, des poignées, des bouchons, des bouteilles et des étiquettes (Table 1. 1) .

Produit	Format
Huile	0,75L ; 1L ; 1,8L ; 2L ; 4L ; 5L ; 10L (forme ronde ou boxée)
Margarine	Plaquette : 200g, 250g, 500g ; Barquette : 400g, 500g, 900g (à poignée), 1,8kg
Sucre	Cristallisé : 1kg, 10kg, 50kg, BigBag 1000kg ; Liquide : camion-citerne, Flexy Tank aseptique 18000L, BIBO (navire vraquier)
Eau minérale et boisson fruitée	Bouteilles : 0,33L ; 0,5L ; 1L ; 1,5L ; 2L

TABLE 1.1 – Formats des produits finis

1.8 Missions et objectifs

L'objectif principal de l'entreprise est de renforcer sa capacité de production tout en garantissant la qualité et le bon conditionnement de ses huiles, margarines et sucre. Elle veille également à proposer des prix plus attractifs afin de satisfaire ses clients et renforcer leur fidélité. Les principaux objectifs sont résumés comme suit :

- Diversifier sa gamme de produits ;
- Assurer la disponibilité de ses produits sur l'ensemble du territoire national ;
- Développer la culture de graines oléagineuses pour produire directement des huiles brutes ;
- Soutenir les agriculteurs par des aides financières afin d'encourager la production locale de graines oléagineuses ;
- Moderniser ses installations industrielles pour accroître sa capacité de production ;
- Exporter ses produits afin de se positionner sur le marché international.

1.9 Infrastructure de la base logistique

Les infrastructures logistiques représentent un élément central dans la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise. Elles permettent d'assurer une distribution rapide et efficiente des produits finis. Ce dispositif repose notamment sur des plateformes de distribution et des centres logistiques régionaux (CLRs), chacun jouant un rôle bien défini au sein du réseau logistique.

1.9.1 Plateformes

Cevital dispose de trois plateformes de stockage externes implantées de manière stratégique.

- La première, située à Bouira (région Centre), offre une capacité de **50 000 palettes**, dont **20 000** sont dédiées aux produits agroalimentaires.
- La deuxième, implantée à Hassi Amer près d'Oran (région Ouest), peut accueillir jusqu'à **25 000 palettes**, avec **12 000** réservées à l'agroalimentaire.
- La troisième se trouve à El-Kharoub, dans la wilaya de Constantine (région Est), et dispose d'une capacité de **3 000 palettes**.

L'implantation de ces plateformes résulte d'une analyse approfondie visant à optimiser la couverture logistique du territoire national. Leur répartition à l'Est, au Centre et à l'Ouest permet de desservir efficacement l'ensemble des régions du pays, en assurant une distribution rapide et équilibrée des produits de Cevital.

1.9.2 Centres de livraison régionaux (CLRs)

L'année 2014, , Cevital a adopté une nouvelle stratégie logistique en mettant en place les **Centres de Livraison Régionaux (CLRs)**. Cette initiative visait à désengorger ses infrastructures principales, à rapprocher les produits des clients, et à renforcer sa position face à la concurrence. Grâce à cette approche, l'entreprise a pu améliorer la rapidité et l'efficacité de la distribution sur l'ensemble du territoire national.

En 2019, Cevital comptait **13 CLR**s (contre 18 auparavant), chacun géré par un représentant disposant de son propre portefeuille clients. Ces centres sont connectés aux trois grandes plateformes de stockage régionales :

- **Plateforme d’Oran (Ouest)** : alimente 6 CLR
- Sidi-Bel-Abbès (22),
- Oran (31),
- Relizane (48),
- Mostaganem (27),
- Mascara (29),
- Tlemcen (13).
- **Plateforme de Bouira (Centre)** : alimente 4 CLR
- Alger (16),
- Blida (09),
- Tizi-Ouzou (15),
- Médéa (26).
- **Plateforme de Constantine (Est)** : alimente 3 CLR
- Batna (05),
- Sétif (19),
- Annaba (23).

Cette organisation permet à Cevital de mieux couvrir le territoire national et de répondre plus efficacement aux besoins de ses clients.

1.10 Type de la clientèle de Cevital

En tant qu’acteur majeur de l’industrie en Algérie, Cevital s’adresse à une large variété de clients répartis sur l’ensemble du territoire national. Sa clientèle se divise principalement en deux grandes catégories :

1. Clients desservis par les CLR :

Les clients des CLR sont ceux qui se fournissent directement auprès des centres de livraison régionaux auxquels ils sont rattachés. Chaque CLR dispose d’une équipe dédiée qui se charge de collecter les commandes des clients [13].

En raison de la capacité limitée de stockage au sein du complexe et afin de ne pas perturber la production qui fonctionne 24 heures sur 24, Cevital a mis en place une stratégie d’acquisition de plateformes de stockage.

La clientèle de Cevital se compose de grossistes et de détaillants :

- **Les grossistes** : Ce sont des intermédiaires entre le producteur et le détaillant, leur rôle étant de réduire les coûts logistiques.

Voici la répartition des clients grossistes par wilaya :

Wilaya	Nombre de Clients
ADRAR	1
AIN DEFLA	3
AIN TEMOUCHENT	1
ALGER	26
ANNABA	2
BATNA	4
BECHAR	1
BEJAIA	18
BISKRA	1
BLIDA	6
BORDJ BOU ARRERIJ	7
BOUIRA	3
BOUMERDES	4
BORDJ BOU ARRERIDJ	3
CHLEF	5
CONSTANTINE	9
DJELFA	2
EL BAYADH	1
EL M'GHAIR	1
EL-OUED	4
GHARDAIA	1
GUELMA	2
HYDRA	1
ILLIZI	1
IJEL	1
LAGHOUAT	1
MASCARA	2
MEDEA	2
MILA	3
M'SILA	3
NAAMA	1
ORAN	8
OUARGLA	6
OULED DJELLAL	1
OUM EL BOUAGHI	2
RELIZANE	3
SAIDA	2
SETIF	10
SIDI BEL ABBES	2
SKIKDA	5
SOUK AHRAS	2
TEBESSA	2
TIARET	2
TINDOUF	1
TIPAZA	1

TISSEMSILT	1
TIZI OUZOU	2
TLEMCEN	3
TOUGGOURT	1
Total général	174

- **Les détaillants** : Ils se trouvent entre les grossistes et le consommateur final. Dans ce modèle de distribution, il revient au détaillant de se procurer les produits auprès des grossistes.

2. Clients hors CLR :

Les clients hors CLR comprennent les entreprises et commerçants se fournissant soit depuis le complexe de Béjaïa, soit depuis les plateformes. Deux programmes sont proposés :

2. 1. B to B (Business to Business) : ce programme s'adresse aux entreprises qui utilisent les produits de Cevital comme matières premières dans leur production, par exemple, le sucre liquide pour fabriquer des boissons.

2. 2. B to C (Business to Customer) : ce programme cible les consommateurs finaux, c'est-à-dire les personnes physiques qui achètent les produits pour leur consommation directe.

1.11 Position du problème

Lors de notre stage au sein de l'entreprise Cevital, nous avons été amenés à travailler sur un enjeu important : l'optimisation du transport dans la chaîne logistique. Dans un contexte marqué par une forte concurrence, les entreprises doivent maîtriser leurs coûts tout en organisant efficacement leurs livraisons. Le vrai défi, c'est de trouver un bon équilibre entre la **réduction des coûts de transport** et le respect des délais de livraison afin de satisfaire les clients. Donc notre objectif est d'établir un plan de transport efficace permettant à la fois de réduire les coûts de transport et de garantir un niveau de service satisfaisant aux clients. Par conséquent, par quels outils d'optimisation peut-on mobiliser pour atteindre cet objectif en tenant compte des observations réalisées et les informations obtenues au niveau de l'entreprise Cevital.

1.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une description générale de l'entreprise Cevital, dans le but d'aborder mieux le problème de transport analysé au cours de notre stage, et afin de comprendre l'ensemble des caractéristiques de l'environnement dans lequel cette problématique s'inscrit, nous avons jugé essentiel de présenter en détail l'entreprise d'accueil, ses activités principales au sein de la direction concernée par le transport, ainsi que les enjeux logistiques auxquels elle est confrontée. Cette mise en contexte permettra de mieux cerner les difficultés rencontrées et de proposer des solutions adaptées pour y remédier.

2

Introduction à la logistique et au problème de transport

2.1 Introduction

La logistique moderne repose sur une gestion efficace des flux de marchandises, d'informations et de ressources. Parmi les enjeux majeurs de la logistique figure la gestion optimale du transport, qui joue un rôle central dans la performance de la chaîne logistique globale. L'étude des problèmes de transport constitue ainsi une composante essentielle de la recherche opérationnelle appliquée à la logistique. Ce chapitre a pour objectif de présenter les fondements théoriques des problèmes de transport, leurs différentes variantes, leur lien avec la chaîne logistique, ainsi que leur modélisation mathématique.

2.2 Logistique

La logistique est l'ensemble des activités ayant pour objectif de gérer le flux des biens, des services et des informations, depuis leur origine jusqu'à leur point de consommation, en optimisant les coûts, les délais, et la qualité. Elle inclut des fonctions telles que le stockage, le transport, la gestion des stocks, et la distribution des produits [2].



FIGURE 2.1 – Logistique

2.2.1 Le rôle de la logistique

La logistique au sein de l'entreprise a pour objectif d'assurer une coordination efficace entre l'offre et la demande, tout en maintenant des relations durables avec les fournisseurs et les clients. Elle vise une coordination stratégique et tactique qui soit rentable pour l'ensemble des acteurs de la chaîne [18]. À ce titre, elle permet de :

- Optimiser la gestion de la production en évitant les ruptures de stock coûteuses, grâce à une information continue sur l'évolution du marché ;
- Réduire les stocks en accélérant la rotation des marchandises entreposées ;
- Réagir efficacement face à une demande très fluctuante ;
- Mettre le produit à disposition du client final dans les délais les plus courts et au coût de distribution le plus avantageux ;
- Contrôler et améliorer la qualité de la chaîne logistique, du producteur au consommateur, afin de garantir un niveau maximal de conformité du produit livré et du service rendu.

2.2.2 Types de la logistique

La logistique d'entreprise se structure autour de plusieurs grands types, chacun répondant à un maillon spécifique de la chaîne de valeur.

- **La logistique d'approvisionnement** : elle gère les flux entrants de matières premières et composants depuis les fournisseurs.
- **La logistique de production** : elle est consacrée à l'organisation des flux internes nécessaires au bon déroulement des opérations de fabrication.
- **La logistique de distribution** : il s'occupe de l'acheminement des produits finis vers les clients ou les points de vente.
- **La logistique inverse**, enfin, prend en charge les flux de retour liés au recyclage, à la réparation ou à la gestion des produits en fin de vie.

Cette classification permet de mieux coordonner les ressources, de limiter les coûts et d'assurer une réactivité adaptée aux exigences du marché [22].

2.3 La chaîne logistique (Supply chain)

Avant de discuter plus en détail du concept de Supply Chain Management (SCM), il est utile de clarifier le terme anglais "supply", qui désigne "offre" en tant que substantif et "fournir" ou "approvisionner" en tant que verbe. Les expressions "chaîne de l'offre" ou "chaîne d'approvisionnement" sont souvent utilisées pour traduire "supply chain".

Définition 2.3.1 (Définition de la chaîne logistique). *Il n'existe pas de définition universelle de la chaîne logistique, et la littérature propose plusieurs approches. Certaines se focalisent sur le produit, d'autres sur l'entreprise ou encore sur les processus en jeu dans l'identification des acteurs de la chaîne.*

Parmi les définitions fréquemment citées, on trouve :

- Selon M. Christopher 2006[8] : la chaîne logistique est un réseau d'entreprises qui participent aux processus et activités, en amont et en aval, créant de la valeur sous forme de produits et services destinés au consommateur final.
- D'après S.Tayur et M. al 1999 [34] : une chaîne logistique pour un produit donné est un système de sous-traitants, producteurs, distributeurs, détaillants et clients entre lesquels circulent des flux matériels (des fournisseurs vers les clients) et des flux d'informations dans les deux sens.
- Pour G.Genin [14], S.Mentzar et J.al 2000. [23] et H.Stadtler et C.Kilger 2008 [32] : la chaîne logistique se concentre principalement sur l'entreprise, définie comme un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées qui coopèrent pour réduire les coûts et améliorer la vitesse des processus entre fournisseurs et clients.

La figure ci-après illustre les principales composantes de la chaîne logistique.

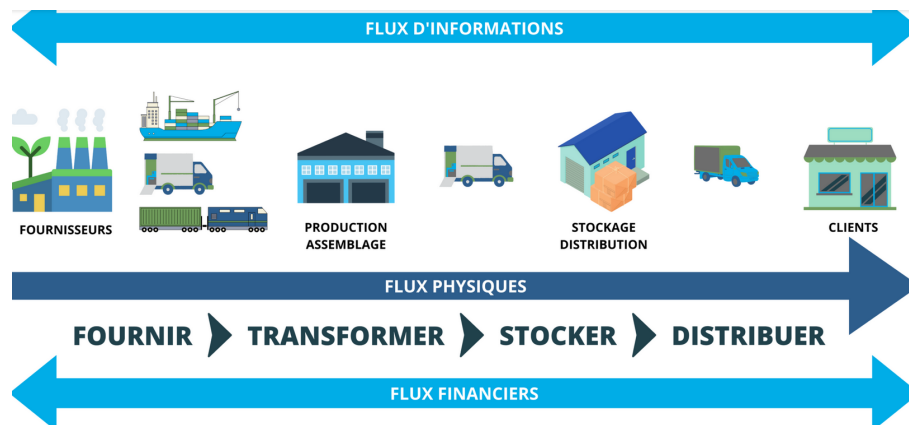


FIGURE 2.2 – La chaîne logistique ou supply chain

2.3.1 Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)

La notion de *Supply Chain Management* (SCM), ou gestion de la chaîne logistique, a émergé dans les années 1980. Initialement centrée sur la gestion interne des flux de produits, elle a souvent été assimilée à la logistique. Son champ d'action s'est élargi par la suite pour couvrir l'ensemble de la chaîne, de l'approvisionnement à la distribution, avec une logique d'intégration et de collaboration entre les différents acteurs.

Définition 2.3.2 (Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)). *Le Supply Chain Management (SCM) est un ensemble d'approches destinées à intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les entrepôts et les centres de distribution, de manière à fabriquer et livrer les produits finis dans les conditions requises de qualité et de délai, tout en minimisant le coût global et en respectant le niveau de service attendu d'après .Simichi-Levi et al 2003[30].*

Selon Thomas et Griffin 1996[35] , le SCM englobe la gestion des flux de matières et d'informations, à la fois au sein des entreprises et entre les entités de la chaîne logistique, telles que les fournisseurs, les unités de production et les sites de distribution.

Enfin, Stadler et Kilger 2008 [31] considèrent le SCM comme une tâche d'intégration et de coordination entre les différents acteurs de la chaîne logistique, visant à gérer de manière cohérente les flux de matières, d'informations et financiers, afin de répondre efficacement à la demande des clients tout en renforçant la compétitivité globale de la chaîne.

2.4 Optimisation logistique

L'optimisation logistique vise à organiser de manière efficace l'ensemble des activités logistiques, telles que l'approvisionnement, le stockage et le transport. Elle a pour objectif d'améliorer la gestion des flux, de réduire les coûts logistiques et de renforcer la performance globale de l'organisation 2004[7].

Les défis liés à l'optimisation en logistique sont divers et cruciaux afin d'améliorer l'efficacité des opérations et de diminuer les dépenses. Voici quelques-uns des principaux types de défis d'optimisation en logistique :

2.4.1 Optimisation du transport

Cette problématique consiste à choisir les moyens de transport les plus rentables (camion, train, avion, bateau) tout en minimisant les coûts globaux liés au carburant, aux péages et à la main-d'œuvre. Le respect des délais de livraison et des capacités de chargement constitue également un enjeu majeur pour satisfaire les exigences des clients.

L'objectif est donc de réduire les coûts de transport tout en respectant les contraintes de temps et de capacité, afin d'optimiser à la fois la performance logistique et la satisfaction des clients.

2.4.2 Optimisation du stockage

L'optimisation du stockage vise à limiter les coûts associés à la conservation des marchandises, tout en utilisant efficacement l'espace disponible. Cela implique une gestion rigoureuse des niveaux de stock afin d'éviter à la fois les excédents et les ruptures, ce qui nécessite une bonne maîtrise des prévisions de la demande et des cycles de réapprovisionnement. Le but principal est de minimiser les coûts d'entreposage tout en assurant la disponibilité des produits.

2.4.3 Optimisation des itinéraires

Il s'agit de déterminer les trajets les plus efficaces ou les chemins optimaux pour acheminer les marchandises, en tenant compte des distances, des conditions de circulation,

des coûts de carburant et des délais de livraison. L'enjeu est de réduire les temps de trajet et les dépenses tout en assurant le respect des engagements.

2.4.4 Optimisation de la gestion des stocks

Cette étape d'optimisation consiste à définir les niveaux de stock adéquats pour chaque produit, en vue de minimiser les coûts sans compromettre le service client. Des modèles comme celui de la quantité économique de commande (EOQ) ou des systèmes de gestion à double seuil sont souvent utilisés pour atteindre cet équilibre afin de réduire les niveaux de stock tout en évitant les ruptures.

2.4.5 Optimisation du réseau logistique

Elle consiste à structurer de manière optimale les réseaux d'approvisionnement et de distribution. Cela inclut le positionnement stratégique des sites de production, des entrepôts et des centres de distribution. Des outils de modélisation permettent d'identifier la configuration la plus efficace dans le but de réduire les coûts logistiques globaux et de concevoir un réseau logistique à la fois performant et rentable.

2.5 Problème de transport

Le transport routier de marchandises constitue un maillon essentiel de la chaîne logistique. Il désigne l'acheminement de produits finis ou de matières premières à l'aide de véhicules motorisés (camions, remorques, etc.), entre différents points du réseau logistique tels que les sites de production, les plateformes intermédiaires, les centres de distribution ou les clients finaux. Dans le contexte de l'entreprise, ce mode de transport joue un rôle stratégique en garantissant la continuité des flux, la ponctualité des livraisons et la maîtrise des coûts. Afin d'optimiser ces opérations, le transport peut être modélisé sous forme d'un problème mathématique connu sous le nom de **problème de transport**. Il s'agit d'un cas particulier de la programmation linéaire, dont l'objectif est de déterminer un plan optimal d'acheminement des marchandises depuis plusieurs sources vers plusieurs destinations. Chaque source dispose d'une offre limitée, et chaque destination a une demande spécifique. Le but est de satisfaire l'ensemble des besoins tout en minimisant les coûts totaux de transport, et en respectant les contraintes de capacité [4].

2.5.1 Formulation mathématique du problème de transport

Le problème de transport peut être exprimé sous la forme d'un problème d'optimisation linéaire. En voici une formulation générale :

1. **Constantes :**

- n : nombre de sources (ou unités d'approvisionnement)
- m : nombre de destinations (ou centres de demande)

2. **Indices :**

- $i = 1, \dots, n$: sources
- $j = 1, \dots, m$: destinations

3. Variables de décision :

— x_{ij} : quantité de biens transportée de la source i vers la destination j

4. Paramètres :

— a_i : offre disponible à la source i

— b_j : demande à satisfaire à la destination j

— c_{ij} : coût unitaire de transport de la source i à la destination j

5. Fonction objectif : Minimiser le coût total de transport :

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \times x_{ij}$$

6. Contraintes :

(a) **Capacité des sources (offre) :**

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i \quad , i = 1, \dots, n$$

(b) **Satisfaction des demandes :**

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j \quad , j = 1, \dots, m$$

(c) **Non-négativité :**

$$x_{ij} \geq 0 \quad , i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

Le modèle général peut être décrit comme suit :

Fonction objectif : Minimiser le coût total de transport :

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \times x_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i \quad , \forall i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j \quad , \forall j = 1, \dots, m \\ x_{ij} \geq 0 \quad , \forall i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \end{cases}$$

2.5.2 Planification des transports :

La planification du transport consiste à organiser les quantités, les dates et les lieux de livraison des marchandises, en tenant compte des véhicules disponibles et de leur taux de chargement.

2.5.3 La place du transport routier

Depuis la révolution industrielle, le secteur des transports connaît une évolution constante. Les déplacements et les échanges se sont intensifiés, devenant plus variés et couvrant des distances de plus en plus longues.

Le transport de marchandises s'effectue désormais sur des zones géographiques très diverses, en combinant différents modes : aérien, maritime, ferroviaire et, surtout, routier. Ce dernier demeure le mode de transport le plus utilisé pour la distribution des marchandises, en raison de sa flexibilité, de sa rapidité d'exécution et de sa capacité à assurer les livraisons de porte à porte [9].

Le transport routier joue un rôle stratégique dans la performance des entreprises. Il constitue un levier essentiel de compétitivité et doit être intégré à la fois dans la structure organisationnelle (planification stratégique) et dans la chaîne logistique globale de l'entreprise en amont, en aval, en logistique inverse, ainsi qu'à l'intérieur même des processus internes.

2.5.3.1 Types et acteurs du transport routier des marchandises

Dans le secteur du transport routier de marchandises, deux grands types d'acteurs se partagent le marché : d'une part, les professionnels opérant pour le compte d'autrui, clairement identifiés au sein de la branche du transport ; d'autre part, les entreprises utilisant le transport pour leurs propres besoins, quel que soit leur domaine d'activité.

2.5.3.2 Typologie du transport routier

Depuis la réglementation mise en place en France dès 1934, le transport routier de marchandises est juridiquement divisé en deux catégories, selon la propriété des moyens de transport (véhicules et chauffeurs) : le transport pour compte propre et le transport pour compte d'autrui [29].

Transport pour compte propre

Le transport pour compte propre concerne les entreprises qui assurent elles-mêmes l'acheminement de leurs marchandises, qu'elles en soient les productrices ou les acheteuses. Cette activité est généralement réalisée avec les véhicules et les chauffeurs de l'entreprise, ou bien avec des moyens loués (avec ou sans conducteur). Elle constitue une activité accessoire par rapport à l'activité principale de l'entreprise [10].

Transport pour compte d'autrui

Le transport pour compte d'autrui est assuré par des entreprises spécialisées dont l'activité principale consiste à transporter des biens appartenant à d'autres. Ces transporteurs effectuent les livraisons à l'aide de leurs propres moyens ou de véhicules loués. Cette activité repose sur une prestation de service commerciale, généralement tarifée selon des critères contractuels.

2.5.4 Les différentes offres de transport

Le transport routier de marchandises propose plusieurs types d'offres, qui varient selon divers critères tels que : la taille des colis à transporter, la complexité des services fournis,

la rapidité exigée, ou encore la méthode de tarification.

Voici quelques exemples courants d'offres de transport [27] :

1. **L'affrètement (ou transport en lot complet)** : dans ce type d'organisation, un véhicule est entièrement dédié à une seule commande. Le transport s'effectue directement entre le lieu de chargement et celui de livraison, sans rupture de charge. Cela garantit un acheminement rapide et direct.
2. **Le groupage** : le transport par groupage consiste à rassembler plusieurs petits envois, émis par différents expéditeurs, à destination de divers destinataires. Ces marchandises sont regroupées dans une plateforme logistique avant d'être transportées ensemble jusqu'à une plateforme de dégroupage. C'est là qu'elles sont à nouveau triées puis acheminées vers les destinataires finaux.

2.6 Méthodes de résolution du problème de transport

La résolution des problèmes de transport repose sur l'identification de la meilleure stratégie permettant de satisfaire la demande des destinations à partir des sources disponibles, tout en minimisant les coûts logistiques. Plusieurs méthodes de résolution, classiques ou avancées, ont été développées en recherche opérationnelle pour résoudre ce type de problème. On peut les regrouper en deux grandes catégories : les méthodes exactes et les méthodes heuristiques ou approchées.

2.6.1 Méthodes exactes

Les méthodes exactes permettent de trouver la solution optimale d'un problème de transport. Elles sont généralement efficaces pour des instances de taille modérée. Parmi les approches classiques, on peut citer :

- **Méthode du coin nord-ouest** : fournit une solution initiale réalisable en respectant les contraintes d'offre et de demande [4].
- **Méthode du plus bas coût** : génère une solution initiale réalisable en minimisant les coûts de transport [33].
- **Méthode d'approximation de Vogel** : propose une solution initiale proche de l'optimum en tenant compte des pénalités liées aux coûts alternatifs [19].
- **Méthode MODI (MODified Distribution Method)** : améliore une solution de base réalisable vers l'optimum en réévaluant les coûts de manière itérative [33].
- **Algorithme du simplexe en réseau** : adapté aux problèmes de flot, il permet de résoudre efficacement les grands réseaux de transport [3].

2.6.2 Méthodes heuristiques et métaheuristiques

Lorsque la taille du problème devient importante ou que certaines contraintes complexes rendent la modélisation difficile, les méthodes exactes peuvent devenir inefficaces en temps de calcul. On a alors recours à des approches heuristiques ou métaheuristiques :

- **Méthodes heuristiques classiques** : telles que la méthode du plus proche voisin ou l'insertion séquentielle, elles fournissent des solutions rapides et simples à implémenter pour des problèmes bien structurés, notamment dans les problèmes de tournées de véhicules ou d'affectation [36].

- **Recherche tabou, recuit simulé ou algorithmes génétiques** : ces méthodes permettent d'explorer efficacement un vaste espace de solutions pour approcher l'optimal, notamment dans des problèmes de transport complexes ou multi-produits [32].
- **Programmation par colonies de fourmis ou algorithmes inspirés de la nature** : ces techniques bio-inspirées sont adaptées aux problèmes dynamiques ou stochastiques, et offrent des solutions robustes dans des environnements incertains [34].
- **Décomposition de Benders, méthodes de Lagrange** : ce sont des approches hybrides combinant modélisation mathématique et optimisation par décomposition, adaptées aux grands problèmes de transport intégrés dans une chaîne logistique globale [33, 19].

Le choix de la méthode dépend donc de plusieurs facteurs : la taille du problème, la nature des contraintes, le niveau de précision requis, et les ressources computationnelles disponibles. Dans le cadre industriel, une solution approximative obtenue rapidement peut parfois être préférable à une solution optimale obtenue avec un temps de calcul très élevé.

2.7 Optimisation combinatoire

L'optimisation combinatoire joue un rôle central en recherche opérationnelle. Elle constitue un domaine à l'intersection de la théorie des graphes, de la programmation linéaire et de la programmation en nombres entiers. Sa pertinence découle à la fois de la complexité des problèmes qu'elle permet de modéliser et de la diversité des situations concrètes où elle offre des résultats efficaces, notamment dans les domaines de la logistique, de la planification ou encore du transport.

Définition 2.7.1 (Optimisation combinatoire). *L'optimisation combinatoire est un outil indispensable qui combine différentes techniques issues des mathématiques discrètes et de l'informatique pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation rencontrés dans des situations concrètes. Il s'agit, en général, de maximiser ou de minimiser une fonction objectif tout en respectant un ensemble de contraintes. L'objectif est de déterminer une solution optimale dans un temps de calcul raisonnable [25].*

2.7.1 Outils de modélisation des problèmes d'optimisation combinatoire

2.7.1.1 Programmation linéaire en nombres entiers ou mixtes

Un problème d'optimisation combinatoire peut souvent être formulé sous forme d'un Programmation linéaire en nombres entiers ou mixtes (PLNE). Il s'agit alors de maximiser ou de minimiser une fonction objectif linéaire, soumise à un ensemble de contraintes également linéaires. La forme générale d'un tel programme est la suivante [25] :

$$\begin{aligned} \text{Max(ou min)} \quad Z &= \sum_{j=1}^n c_j \times x_j \\ \text{sous les contraintes :} \quad &\sum_{j=1}^n a_{ij} \times x_j \leq b_i \quad , i = 1, \dots, m \\ &x_j \geq 0 \quad , j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

où :

- x_j représente les variables de décision ;
- c_j sont les coefficients de la fonction objectif ;
- a_{ij} sont les coefficients des contraintes ;
- b_i sont les ressources disponibles pour chaque contrainte.

2.7.1.2 Programmation linéaire en nombres entiers

La programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) est une extension de la programmation linéaire dans laquelle certaines ou toutes les variables de décision sont contraintes à prendre des valeurs entières. Ce type de modélisation est particulièrement pertinent pour les problèmes où les quantités ne peuvent pas être fractionnées, comme le nombre de camions ou de produits.

La formulation générale d'un tel programme est la suivante [25] :

$$\begin{aligned} \text{Max(ou min)} \quad z &= c^T x \\ \text{sous les contraintes :} \quad &A \times x \leq b \\ &x_j \in \mathbb{N} \quad , j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

avec :

- z : la fonction objectif à minimiser ;
- x : le vecteur des variables de décision ;
- c : le vecteur des coefficients de la fonction objectif ;
- A : la matrice des coefficients techniques ;
- b : le vecteur représentant les ressources disponibles.

Le programme linéaire obtenu en relâchant les contraintes d'intégrité (en autorisant les variables à prendre des valeurs continues) est appelé **relaxation continue** du problème initial. Il fournit une borne utile pour l'approximation ou la résolution exacte du problème entier.

2.7.2 Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation linéaires en nombres entiers

Les problèmes d'optimisation linéaire en nombres entiers (PLNE) peuvent être résolus à l'aide de différentes méthodes exactes et approchées. Voici un aperçu des approches les plus courantes :

2.7.2.1 Méthodes exactes

Les méthodes exactes garantissent la solution optimale en explorant l'espace des solutions de manière exhaustive.

- **Branch-and-Bound (B&B)** : cette méthode divise l'espace des solutions en sous-espaces et les explore de manière systématique pour éliminer les solutions qui ne peuvent pas être optimales [6].
- **Branch-and-Cut** : Extension de la méthode *Branch-and-Bound*, qui utilise des coupes pour renforcer la relaxation linéaire [26].

2.7.2.2 Méthodes heuristiques et métaheuristiques

Ces méthodes ne garantissent pas une solution optimale, mais elles sont efficaces pour trouver des solutions approximatives, particulièrement dans les problèmes de grande taille ou complexes.

- **Algorithmes génétiques** : ces algorithmes s'inspirent du processus de sélection naturelle pour explorer un vaste espace de solutions [17].
- **Recuit simulé** : cette méthode s'inspire du processus de refroidissement d'un métal, elle permet de trouver des solutions approximatives en s'échappant des minima locaux [21].
- **Recherche tabou** : une méthode de recherche qui utilise une mémoire pour éviter de revisiter les mêmes solutions et favoriser l'exploration [16].

2.7.2.3 Méthodes hybrides

Les méthodes hybrides combinent des techniques exactes et heuristiques pour optimiser les performances de recherche des solutions.

- **Décomposition de Benders** : utilisée dans les grands problèmes d'optimisation pour décomposer le problème en sous-problèmes plus gérables [5].
- **Méthodes de Lagrange relaxées** : approches qui combinent des modèles mathématiques avec des techniques d'optimisation de type Lagrangien [33].

2.8 Le langage Python pour la résolution des problèmes de transport

Python est un langage de programmation interprété, polyvalent et de haut niveau, connu pour sa lisibilité et sa simplicité syntaxique. Créé par Guido van Rossum et publié pour la première fois en 1991, Python encourage l'utilisation de paradigmes de programmation structurée, orientée objet et fonctionnelle. Il est largement utilisé dans divers domaines industriels et académiques, et est souvent choisi pour les projets nécessitant une rapidité de développement, une clarté du code et une grande flexibilité [28]. Dans le contexte de la logistique et de la résolution des problèmes de transport, Python se distingue comme un langage de programmation de choix pour la modélisation et la résolution de problèmes complexes d'optimisation .

2.8.1 Avantages de Python pour l'optimisation logistique

Python présente de nombreux avantages qui en font un outil particulièrement adapté à l'analyse et à la résolution des problèmes de transport.

- **Lisibilité et simplicité** : sa syntaxe claire réduit le temps de développement et facilite la mise à jour des modèles d'optimisation.
- **Flexibilité** : Python supporte de multiples paradigmes, permettant de s'adapter à divers types de problèmes logistiques, qu'ils soient linéaires ou non linéaires.
- **Écosystème riche** : un large éventail de bibliothèques spécialisées, telles que PuLP, NumPy, ou SciPy, facilite la mise en œuvre de solutions d'optimisation.
- **Communauté et portabilité** : une communauté active et des outils portables garantissent une intégration aisée dans des environnements variés, académiques ou industriels.

2.8.2 Bibliothèques Python pour la résolution des problèmes de transport

Plusieurs bibliothèques Python sont particulièrement adaptées à l'optimisation logistique :

- **PULP** : une bibliothèque Python utilisée pour modéliser et résoudre des problèmes de programmation linéaire et de programmation linéaire en nombres entiers. Elle offre une interface intuitive pour formuler des problèmes d'optimisation, notamment dans le domaine du transport [24].

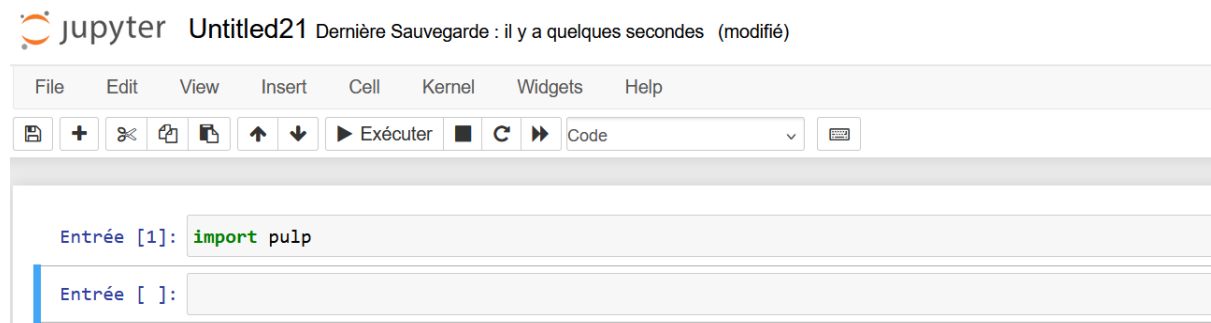


FIGURE 2.3 – Bibliothèque PULP sur Python

- **NumPy et SciPy** : ces bibliothèques permettent de manipuler des matrices et de résoudre des systèmes d'équations, souvent nécessaires dans les modèles de transport.
- **Pandas** : utilisée pour l'analyse et le prétraitement des données logistiques, elle facilite la gestion des flux d'information.
- **Matplotlib** : permet de visualiser les résultats d'optimisation, comme les flux de transport ou les coûts, sous forme graphique.

2.8.3 Applications de Python en optimisation logistique

Python, grâce à des bibliothèques comme PuLP, offre une grande flexibilité pour modéliser des problèmes de transport avec des contraintes spécifiques, telles que les capacités des véhicules ou les fenêtres horaires. Sa capacité à intégrer des données réelles

issues de systèmes d'information logistique facilite l'application des modèles théoriques à des cas pratiques. Python est un outil performant pour appliquer les méthodes d'optimisation au problème de transport logistique, en assurant la transition entre la modélisation théorique et la résolution pratique.

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les concepts fondamentaux de la logistique, qui permet de gérer efficacement les flux de marchandises et d'informations dans le but d'optimiser l'efficacité et de réduire les coûts. Nous avons ensuite abordé le problème de transport, centré sur l'optimisation de l'acheminement des produits, en détaillant sa formulation mathématique ainsi que les différentes méthodes de résolution. Un aperçu des problèmes d'optimisation combinatoire a également été fourni. Enfin, le langage Python a été présenté, en tant qu'outil que nous exploiterons pour résoudre le problème de transport que nous développerons dans le troisième chapitre.

3

Optimisation du plan de transport des produits secs de l'entreprise Cevital : modélisation et résultats

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la modélisation du problème d'optimisation du transport des produits secs au sein de l'entreprise Cevital. L'objectif principal est de concevoir un modèle mathématique permettant de réduire les coûts de transport tout en respectant les contraintes liées aux capacités de la production et les moyens utilisés pour transporter les quantités des produits demandés par les différents clients dans les délais requis. Afin d'atteindre cet objectif, nous commençons d'abord par identifier les données nécessaires à la modélisation, puis nous développons un modèle d'optimisation adapté aux besoins spécifiques de l'entreprise.

3.2 Description de la problématique

Dans un contexte où la performance logistique constitue un facteur clé de compétitivité, l'entreprise Cevital cherche à améliorer l'organisation de son transport des produits secs (huile et sucre) à partir de l'unité de production de Béjaïa. Ces produits doivent être livrés vers trois types de destinations : les plateformes logistiques intermédiaires, les centres logistiques régionaux (CLRs), et les clients finaux répartis à travers le territoire national.

Le schéma logistique global de l'entreprise prévoit plusieurs itinéraires possibles, y compris des acheminements indirects, tels que le transfert de marchandises de l'usine vers les plateformes, puis des plateformes vers les CLRs. Toutefois, dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de limiter notre étude aux flux directs suivants :

- de l'usine vers les plateformes,
- de l'usine vers les centres logistiques régionaux (CLRs),
- de l'usine vers les clients finaux.

Le schéma adopté dans cette étude a été défini en concertation avec l'entreprise d'accueil, conformément à ses recommandations. Cette simplification permet de se concentrer sur les éléments essentiels du problème tout en réduisant la complexité du modèle, sans compromettre la pertinence de l'analyse.

L'enjeu principal consiste à réduire les coûts de transport tout en respectant plusieurs contraintes opérationnelles : les capacités de production disponibles, la disponibilité et la capacité des camions pour chaque prestataire, les délais de livraison à ne pas dépasser, ainsi qu'un taux minimal de satisfaction de la demande fixé à 95 %.

Ainsi, la question centrale consiste à concevoir un plan de transport optimal qui minimise les coûts logistiques, tout en respectant les capacités de production, les contraintes liées aux prestataires, les délais de livraison et un niveau minimal de satisfaction de la demande.

Pour répondre à cette problématique, un modèle mathématique d'optimisation a été conçu. Il prend en compte les données réelles collectées au cours de notre stage, telles que les quantités à transporter, les coûts des trajets, la capacité des camions, ainsi que les contraintes liées à la qualité du service rendu aux clients. Ce modèle permet de déterminer le nombre optimal de camions à mobiliser en fonction de chaque destination, produit et prestataire, dans le but de proposer un plan logistique cohérent, économique et applicable sur le terrain.

3.3 Récoltes des données

Il convient de noter que les informations et les données collectées sont à interpréter avec prudence, car elles restent approximatives.

3.3.1 Données liées à la production

Au cours de notre stage, nous avons recueilli auprès du service production les données essentielles concernant la capacité de production des différents produits secs de l'entreprise, présentées dans le tableau ci-dessous.

Produit	Capacité (palettes/jour)
Huile	2 400
Sucre	2 200

TABLE 3.1 – Capacités de production journalières par produit

3.3.2 Données récoltées auprès du service logistique

1. Capacité de chargement des camions par type de produit

Produit	Capacité (palettes/camion)
Huile	24
Sucre	20

TABLE 3.2 – Capacité de chargement des camions par type de produit

2. Liste des prestataires et leur nombre de camions

Prestataire	Nombre de camions
Numilog	100
MTP	20
Benhamma	25
Hadji	20
Yaya	20
Meramur	10
CK	6
World Trans	4
MMK	20
MNS	20
Chachi	20
Lahya	10
Zemm	10

TABLE 3.3 – Liste des prestataires et leur nombre de camions

3. Regroupement des prestataires par type

Type	Nom(s) du Prestataire
1	Numilog
2	Benhama, Hadji, Yaya, Meramur, CK, World Trans, MMK, MNS, Zemm, Lahya, Chachi
3	MTP

TABLE 3.4 – Répartition des prestataires selon le type

4. Les coûts pour chaque destination par type de prestataires

— Prestataire du type 1

1. Pour les CLR's :

Départ	Destination	coûts(DA)
BEJAIA	CLR05BATNA	18653
BEJAIA	CLR09BLIDA	22369
BEJAIA	CLR13TLEMCEN	60372
BEJAIA	CLR15TIZI OUZOU	19660
BEJAIA	CLR16ALGER	20047
BEJAIA	CLR19SETIF	16650
BEJAIA	CLR22SBA	53561
BEJAIA	CLR23ANNABA	29567
BEJAIA	CLR26MEDEA	21672
BEJAIA	CLR27MOSTAGANEM	45666
BEJAIA	CLR29MASCARA	47911
BEJAIA	CLR31ORAN	52477
BEJAIA	CLR48RELIZANE (OUED R'HIOU)	42725

TABLE 3.5 – Liste des CLR's avec les coûts depuis Béjaïa

2. Plateformes

Départ	Destination	coût (DA)
Béjaia	Plateforme Bouira	12500
Béjaia	Plateforme El Khroub	17647
Béjaia	Plateforme Hassi Ameur	52477

TABLE 3.6 – Liste des plateformes avec les coûts depuis Béjaïa

3. Clients

Départ	Destination	coûts (DA)
Béjaïa	Adrar	116 410
Béjaïa	Ain Amenas	132 354
Béjaïa	Ain Defla	33 979
Béjaïa	Ain Guezzam	183 902
Béjaïa	Ain Mila	23 994
Béjaïa	Ain Oussara	28 638
Béjaïa	Ain Salah	154 800
Béjaïa	Akbou	11 700
Béjaïa	Alger	20 047
Béjaïa	Annaba	29 567
Béjaïa	Batna	18 653
Béjaïa	Bechar	69 660
Béjaïa	Béjaïa	11 700
Béjaïa	Béni Abbès	101 471
Béjaïa	Béni Thour	56 192
Béjaïa	Bir El Arch (Merad)	18 963
Béjaïa	Bir El Djir	52 477
Béjaïa	Biskra	29 412
Béjaïa	Blida	22 369
Béjaïa	Bordj Badji Mokhtar	170 512
Béjaïa	Bordj Bou Arrérij	13 158
Béjaïa	Boumerdès	17 415
Béjaïa	Boussaâda	21 672
Béjaïa	Chelghoum Laïd	15 480
Béjaïa	Chlef	35 217
Béjaïa	CLR Sétif	16 650
Béjaïa	Constantine	17 647
Béjaïa	Djanet	166 797
Béjaïa	Djelfa	28 638
Béjaïa	El Attaf	33 979
Béjaïa	El Biayadh	49 459
Béjaïa	El Khroub	17 647
Béjaïa	El Meniaa	72 369
Béjaïa	El M'Ghair	38 777
Béjaïa	El Oued	44 350
Béjaïa	Fort Lotfi	170 280
Béjaïa	Fouka	23 994
Béjaïa	Frenda	36 378
Béjaïa	Ghardaïa	51 781
Béjaïa	Guelma	25 619
Béjaïa	Hassi Messaoud	57 353

Départ	Destination	Tarifs (DA)
Béjaia	Illizi	132 354
Béjaia	Irara	57 353
Béjaia	Jijel	12 384
Béjaia	Khemis Miliana	33 979
Béjaia	Khenchela	24 304
Béjaia	Koléa	23 994
Béjaia	Laghouat	36 920
Béjaia	Maghnia	60 372
Béjaia	Manaa	29 412
Béjaia	Mascara	47 911
Béjaia	Mechria	65 867
Béjaia	Médéa	21 672
Béjaia	Menaa	29 412
Béjaia	Mila	15 480
Béjaia	Mostaganem	45 666
Béjaia	M'Sila	14 783
Béjaia	Naâma	65 867
Béjaia	Oran	52 477
Béjaia	Ouargla	56 192
Béjaia	Oued R'hiou	42 725
Béjaia	Oued Smar	20 047
Béjaia	Oueld Djellal	30 496
Béjaia	Oum El Bouaghi	23 994
Béjaia	Rabouni	170 280
Béjaia	Relizane	42 725
Béjaia	Saïda	53 561
Béjaia	Sétif	18 963
Béjaia	Sidi Aïssa	14 783
Béjaia	Sidi Belabass	53 561
Béjaia	Sidi Khaled	29 412
Béjaia	Skikda	23 994
Béjaia	Souk Ahras	30 960
Béjaia	Tamenrasset	154 800
Béjaia	Taref	32 198
Béjaia	Tassala	53 561
Béjaia	Tébessa	32 895
Béjaia	Ténès	35 217
Béjaia	Tessala El Merdja	20 047
Béjaia	Tiaret	36 378
Béjaia	Timimoun	99 227
Béjaia	Tindouf	170 280
Béjaia	Tipaza	23 994
Béjaia	Tissemsilt	29 257
Béjaia	Tizi Ouzou	19 660
Béjaia	Tlemcen	60 372
Béjaia	Touggourt	46 285

TABLE 3.7 – Coûts de transport depuis Béjaia vers les différents clients

— Prestataire du type 2

1. CLR's

Départ	Destination	Coûts (DA)
Béjaia	CLR05Batna	23 400
Béjaia	CLR09Blida	22 950
Béjaia	CLR13Tlemcen	49 500
Béjaia	CLR15Tizi Ouzou	17 550
Béjaia	CLR16Alger	22 500
Béjaia	CLR19Sétif	17 100
Béjaia	CLR22SBA	41 400
Béjaia	CLR23Annaba	34 200
Béjaia	CLR26Médéa	24 750
Béjaia	CLR27Mostaganem	36 000
Béjaia	CLR29Mascara	37 800
Béjaia	CLR31Oran	40 950
Béjaia	CLR48Relizane (Oued R'hiou)	33 300

TABLE 3.8 – Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations CLR's

2. Plateformes

Départ	Destination	Coûts (DA)
Béjaia	Plateforme Bouira	15 120
Béjaia	Plateforme El Khroub	22 500
Béjaia	Plateforme Hassi Aneur	40 950

TABLE 3.9 – Coûts de transport depuis Béjaïa vers les destinations Plateformes

3. Clients

Départ	Destination	Coûts (DA)
Béjaia	Adrar	105 581
Béjaia	Ain Amenas	120 042
Béjaia	Ain Defla	30 818
Béjaia	Ain Oussara	27 000
Béjaia	Ain Salah	92 875
Béjaia	Ain Temouchent	50 333
Béjaia	Akbou	12 600
Béjaia	Alger	22 500
Béjaia	Annaba	34 200
Béjaia	Batna	23 400
Béjaia	Bechar	81 000
Béjaia	Bejaia	9 900
Béjaia	Beni Abbes	89 154
Béjaia	Beni Thour	50 965
Béjaia	Biskra	34 200
Béjaia	Blida	23 400
Béjaia	Bordj Badji Mokhtar	154 651
Béjaia	Bordj Bou Arrerij	18 000
Béjaia	Bordj Bou Arrerij - Bir Kasd Ali	20 700
Béjaia	Bouira	14 850

Départ	Destination	Tarifs (DA)
Béjaia	Boumerdes	20 700
Béjaia	Boussaada	24 300
Béjaia	Chelghoum Laid	20 700
Béjaia	Chlef	31 941
Béjaia	Chorfa	13 500
Béjaia	Constantine	21 600
Béjaia	Djanet	150 719
Béjaia	Djelfa	32 400
Béjaia	El Attaf	33 300
Béjaia	El Bayadh	44 858
Béjaia	El Khroub	23 400
Béjaia	El Meniaa	65 637
Béjaia	El M'Ghair	35 170
Béjaia	El Oued	40 225
Béjaia	El-Kseur	10 800
Béjaia	Fort Lotfi	154 440
Béjaia	Fouka	23 400
Béjaia	Frenda	32 994
Béjaia	Ghardaia	49 500
Béjaia	Guelma	27 000
Béjaia	Hassi Messaoud	52 018
Béjaia	Hassi Messaoud Berkine	52 018
Béjaia	Ighram	12 600
Béjaia	Ighze Amokrane	11 700
Béjaia	Illizi	135 000
Béjaia	In Guezzam	166 795
Béjaia	Irara	52 018
Béjaia	Jijel	16 200
Béjaia	Khemis Miliana	30 818
Béjaia	Khenchela	27 000
Béjaia	Laghouat	36 000
Béjaia	Manaa	28 800
Béjaia	Mascara	43 454
Béjaia	Mechria	63 000
Béjaia	Medea	25 200
Béjaia	Meghnia	54 756
Béjaia	Mila	21 600
Béjaia	Mostaganem	41 418
Béjaia	M'Sila	19 800
Béjaia	Naama	59 740
Béjaia	Oran	47 596
Béjaia	Ouargla	50 965
Béjaia	Ouargla (Hassi Messaoud)	52 018
Béjaia	Ouled Djellal	34 200
Béjaia	Oum El Bouaghi	21 762
Béjaia	Ouzelagene	11 700
Béjaia	Rabouni(Tindouf)	154 440
Béjaia	Relizane	38 750
Béjaia	Saida	48 578
Béjaia	SBA	48 578

Départ	Destination	Tarifs (DA)
Béjaia	Setif	17 199
Béjaia	Sidi Aissa	18 900
Béjaia	Sidi Khaled	34 200
Béjaia	Skikda	25 200
Béjaia	Souk Ahras	30 600
Béjaia	Tamanrasset	140 400
Béjaia	Taref	33 300
Béjaia	Tazmalt	13 500
Béjaia	Tebessa	36 000
Béjaia	Tenes	33 300
Béjaia	Tiaret	34 200
Béjaia	Timimoun	89 996
Béjaia	Tindouf	154 440
Béjaia	Tissemsilt	33 330
Béjaia	Tizi Ouzou	17 831
Béjaia	Tlemcen	52 159
Béjaia	Touggourt	41 980

TABLE 3.10 – Coûts de transport depuis Béjaia vers les destinations clients

— Prestataire du type 3

1. CLR's

Départ	Destination	Coûts (DA)
Béjaia	CLR05Batna	21 060
Béjaia	CLR09Blida	20 655
Béjaia	CLR13Tlemcen	44 550
Béjaia	CLR15Tizi Ouzou	15 795
Béjaia	CLR16Alger	20 250
Béjaia	CLR19Sétif	15 390
Béjaia	CLR22SBA	37 260
Béjaia	CLR23Annaba	30 780
Béjaia	CLR25Constantine (El-Khroub)	19 440
Béjaia	CLR26Médéa	22 275
Béjaia	CLR27Mostaganem	32 400
Béjaia	CLR29Mascara	34 020
Béjaia	CLR31Oran	36 855
Béjaia	CLR48Relizane (Oued R'hiou)	29 970

TABLE 3.11 – Coûts de transport depuis Béjaia vers les destinations CLR's

2. Plateformes

Départ	Destination	Coûts (DA)
Béjaia	Plateforme Bouira	13 608
Béjaia	Plateforme El Khroub	20 250
Béjaia	Plateforme Hassi Ameur	36 855

TABLE 3.12 – Coûts de transport depuis Béjaia vers les destinations plateforme

3. Clients

Départ	Destination	coûts (DA)
Béjaia	Adrar	95 023
Béjaia	Ain Amenas	108 038
Béjaia	Ain Defla	27 736
Béjaia	Ain Oussara	24 300
Béjaia	Ain Salah	83 587
Béjaia	Ain Temouchent	45 300
Béjaia	Akbou	11 340
Béjaia	Alger	20 250
Béjaia	Annaba	30 780
Béjaia	Batna	21 060
Béjaia	Bechar	72 900
Béjaia	Bejaia	8 910
Béjaia	Beni Abbes	80 239
Béjaia	Beni Thour	45 869
Béjaia	Biskra	30 780
Béjaia	Blida	21 060
Béjaia	Bordj Badji Mokhtar	139 186
Béjaia	Bordj Bou Arrerij	16 200
Béjaia	Bordj Bou Arrerij - Bir Kasd Ali	18 630
Béjaia	Bouira	13 365
Béjaia	Boumerdes	18 630
Béjaia	Boussaada	21 870
Béjaia	Chelghoum Laid	18 630
Béjaia	Chlef	28 747
Béjaia	Chorfa	12 150
Béjaia	Constantine	19 440
Béjaia	Djanet	135 647
Béjaia	Djelfa	29 160
Béjaia	El Attaf	29 970
Béjaia	El Bayadh	40 372
Béjaia	El Khroub	21 060
Béjaia	El Meniaa	59 073
Béjaia	El M'Ghair	31 653
Béjaia	El Oued	36 202
Béjaia	El-Kseur	9 720
Béjaia	Fort Lotfi	138 996
Béjaia	Fouka	21 060
Béjaia	Frenda	29 695
Béjaia	Ghardaia	44 550
Béjaia	Guelma	24 300
Béjaia	Hassi Messaoud	46 816
Béjaia	Hassi Messaoud Berkine	46 816
Béjaia	Ighram	11 340
Béjaia	Ighze Amokrane	10 530
Béjaia	Illizi	121 500
Béjaia	In Guezzam	150 116
Béjaia	Irara	46 816
Béjaia	Jijel	14 580

Départ	Destination	Tarifs (DA)
Béjaia	Khemis Miliana	27 736
Béjaia	Khenchela	24 300
Béjaia	Laghouat	32 400
Béjaia	Manaa	25 920
Béjaia	Mascara	39 108
Béjaia	Mechria	56 700
Béjaia	Medea	22 680
Béjaia	Meghnia	49 280
Béjaia	Mila	19 440
Béjaia	Mostaganem	37 276
Béjaia	M'Sila	17 820
Béjaia	Naama	53 766
Béjaia	Oran	42 836
Béjaia	Ouargla	45 869
Béjaia	Ouargla (Hassi Messaoud)	46 816
Béjaia	Ouled Djellal	30 780
Béjaia	Oum El Bouaghi	19 586
Béjaia	Ouzelagene	10 530
Béjaia	Rabouni(Tindouf)	138 996
Béjaia	Relizane	34 875
Béjaia	Saida	43 721
Béjaia	SBA	43 721
Béjaia	Setif	15 479
Béjaia	Sidi Aissa	17 010
Béjaia	Sidi Khaled	30 780
Béjaia	Skikda	22 680
Béjaia	Souk Ahras	27 540
Béjaia	Tamanrasset	126 360
Béjaia	Taref	29 970
Béjaia	Tazmalt	12 150
Béjaia	Tebessa	32 400
Béjaia	Tenes	29 970
Béjaia	Tiaret	30 780
Béjaia	Timimoun	80 997
Béjaia	Tindouf	138 996
Béjaia	Tissemsilt	29 970
Béjaia	Tizi Ouzou	16 048
Béjaia	Tlemcen	46 943
Béjaia	Touggourt	37 782

TABLE 3.13 – Coûts de transport depuis Béjaïa vers les différents clients

3.3.3 Temps moyen de trajet depuis Béjaïa

1. Centres logistiques régionaux (CLRs)

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
BEJAIA	CLR05BATNA	4h 01min
BEJAIA	CLR09KOLEA	4h 49min

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
BEJAIA	CLR13TLEMCEN	13h 00min
BEJAIA	CLR15TIZI OUZOU	4h 14min
BEJAIA	CLR16ALGER	4h 19min
BEJAIA	CLR19SETIF	4h 05min
BEJAIA	CLR22SBA	11h 32min
BEJAIA	CLR23ANNABA	6h 22min
BEJAIA	CLR26MEDEA	4h 40min
BEJAIA	CLR27MOSTAGANEM	9h 50min
BEJAIA	CLR29MASCARA	10h 19min
BEJAIA	CLR31ORAN	11h 18min
BEJAIA	CLR48RELIZANE (OUED R'HIOU)	9h 12min

TABLE 3.14 – Liste des CLR avec temps de trajet depuis Béjaïa

2. Plateformes

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
Béjaïa	Plateforme Bouira	2h 20min
Béjaïa	Plateforme El Khroub	3h 59min
Béjaïa	Plateforme Hassi Ameur	11h 18min

TABLE 3.15 – Liste des plateformes avec temps de trajet depuis Béjaïa

3. Clients

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
Béjaïa	Adrar	25h 04min
Béjaïa	Ain Amenas	28h 30min
Béjaïa	Ain Defla	6h 21min
Béjaïa	Ain Oussara	5h 30min
Béjaïa	Ain Salah	22h 03min
Béjaïa	Ain Témouchent	11h 57min
Béjaïa	Akbou	1h 10min
Béjaïa	Alger	4h 19min
Béjaïa	Annaba	6h 22min
Béjaïa	Batna	4h 01min
Béjaïa	Béchar	18h 37min
Béjaïa	Béjaïa	0h 10min
Béjaïa	Beni Abbes	21h 10min
Béjaïa	Beni Thour	12h 06min
Béjaïa	Biskra	6h 20min
Béjaïa	Blida	4h 49min
Béjaïa	Bordj Badji Mokhtar	36h 43min
Béjaïa	Bordj Bou Arreridj	2h 55min
Béjaïa	Bordj Bou Arreridj (Bir Kasd Ali)	3h 13min
Béjaïa	Bouira	1h 12min

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
Béjaia	Boumerdes	3h 45min
Béjaia	Boussaada	4h 40min
Béjaia	Chelghoum Laid	3h 20min
Béjaia	Chlef	7h 35min
Béjaia	Chorfa	2h 20min
Béjaia	Constantine	3h 48min
Béjaia	Djanet	35h 47min
Béjaia	Djelfa	6h 10min
Béjaia	El Attaf	7h 19min
Béjaia	El Bayadh	10h 39min
Béjaia	El Khroub	3h 59min
Béjaia	El Meniaa	15h 35min
Béjaia	El M'Ghair	8h 21min
Béjaia	El Oued	10h 04min
Béjaia	El-Kseur	0h 25min
Béjaia	Fort Lotfi	25h 53min
Béjaia	Fouka	5h 10min
Béjaia	Frenda	7h 50min
Béjaia	Ghardaïa	11h 09min
Béjaia	Guelma	5h 31min
Béjaia	Hassi Messaoud	12h 21min
Béjaia	Hassi Messaoud (Berkiné)	12h 21min
Béjaia	Ighram	1h 20min
Béjaia	Ighzer Amokrane	1h 10min
Béjaia	Illizi	28h 30min
Béjaia	In Guezzam	39h 36min
Béjaia	Irara	12h 21min
Béjaia	Jijel	1h 28min
Béjaia	Khemis Miliana	2h 46min
Béjaia	Khenchela	5h 14min
Béjaia	Laghouat	7h 57min
Béjaia	Manaa	6h 20min
Béjaia	Mascara	10h 19min
Béjaia	Mechria	14h 11min
Béjaia	Medea	4h 40min
Béjaia	Maghnia	13h 00min
Béjaia	Mila	3h 20min
Béjaia	Mostaganem	9h 50min
Béjaia	M'sila	3h 11min
Béjaia	Naama	14h 11min
Béjaia	Oran	10h 42min
Béjaia	Ouargla	12h 06min
Béjaia	Ouargla (Hassi Messaoud)	12h 21min
Béjaia	Ouled Djellal	6h 34min
Béjaia	Oum El Bouaghi	5h 10min
Béjaia	Ouzellaguen	1h 10min
Béjaia	Rabouni (Tindouf)	36h 40min

Départ	Destination	Temps de trajet (h :min)
Béjaia	Relizane	9h 12min
Béjaia	Saida	11h 32min
Béjaia	SBA	8h 07min
Béjaia	Setif	3h 51min
Béjaia	Sidi Aïssa	3h 11min
Béjaia	Sidi Khaled	6h 20min
Béjaia	Skikda	5h 10min
Béjaia	Souk Ahras	6h 40min
Béjaia	Tamanrasset	33h 20min
Béjaia	Tarf	6h 56min
Béjaia	Tazmalt	1h 10min
Béjaia	Tebessa	7h 05min
Béjaia	Tenes	7h 35min
Béjaia	Tiaret	7h 50min
Béjaia	Timimoun	21h 22min
Béjaia	Tindouf	34h 05min
Béjaia	Tipaza	5h 10min
Béjaia	Tissemsilt	7h 35min
Béjaia	Tizi Ouzou	4h 14min
Béjaia	Tlemcen	12h 23min
Béjaia	Touggourt	9h 58min

TABLE 3.16 – Liste des clients avec temps de trajet depuis Béjaïa

3.3.4 Données collectées auprès du planificateur de transport

D'après les données collectées auprès du planificateur de transport, sachant que la demande est exprimée quotidiennement et en nombre de palettes, nous avons obtenu les informations suivantes :

— Les demandes de la journée 19 Mai 2025

1. Demandes des CLR

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
CLR ALGER (16)	10	3	7
CLR TIZI OUZOU (15)	6	2	4

TABLE 3.17 – Demandes des CLR en produit sec par camion

2. Demandes des plateformes

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
plateforme BOUIRA	35	17	18

TABLE 3.18 – Demandes des plateformes en produit sec par camion

3. Demandes des clients

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
Alger	22	22	0
Akbou	2	2	0
Annaba	4	2	2
Batna	6	4	2
Béjaia	3	1	2
Blida	6	6	0
Boumerdes	9	7	2
Djelfa	2	1	1
El Bayadh	1	0	1
El Oued	4	2	2
Guelma	2	1	1
Mascara	4	2	2
Medea	2	1	1
Meghnia	1	0	1
Mostaganem RP	4	3	1
Naama	2	1	1
Oran	7	4	3
Ouargla	1	0	1
Relizane	3	1	2
Saida	3	2	1
Setif RP	6	5	1
Sidi Bel Abbes RP	3	2	1
Souk Ahras	2	1	1
Tebessa	3	1	2
Tipaza	8	4	4
Tlemcen	5	3	2

TABLE 3.19 – Demandes des clients en produit sec par camion

— Les demandes de la journée 27 Mai 2025

1. Demandes des CLR

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
CLR16ALGER	8	3	5
CLR05BATNA	3	0	3
CLR22SBA	3	2	1
CLR19SETIF	5	2	3
CLR26MEDEA	2	1	1
CLR27MOSTAGANEM	5	3	2
CLR31ORAN	4	3	1
CLR29MASCARA	3	1	2
CLR13TLEMEN	7	4	3
CLR09BLIDA	4	1	3
CLR23ANNABA	4	2	2
CLR15Tizi OUZOU	5	1	4

TABLE 3.20 – Demandes des CLR

2. Plateforme

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
plateforme BOUIRA	27	11	16

TABLE 3.21 – Demandes des plateformes en produit sec par camion

3. Clients

Adresse	Total	Sucre (SCP)	Huile (HCP)
Alger	31	30	1
Akbou	1	1	0
Béjaia	2	0	2
Bouira	6	5	1
Boumerdes	3	1	2
Djelfa	1	0	1
El Bayadh	2	1	1
El Oued	4	2	2
Guelma	2	1	1
Mascara	3	1	2
Medea	2	1	1
Naama	2	1	1
Relizane	2	2	0
Saida	2	1	1
Setif	1	1	0
Souk Ahras	1	0	1
Tebessa	2	1	1
Tipaza	2	2	0
Tlemcen	3	2	1
Tiaret	1	1	0
TIZI OUZOU	2	2	0

TABLE 3.22 – Demandes des clients en produit sec par camion

3.4 Modèle mathématique proposé

Dans cette section, nous développons un modèle mathématique visant à optimiser les coûts de transport liés à la distribution des produits secs de l'entreprise vers ses clients répartis sur les 58 wilaya, en prenant en compte la capacité de production, ainsi que la disponibilité et la capacité des camions, afin d'assurer la livraison des quantités demandées dans les délais prévus.

Indices et ensembles

- $i = \{1\}$: indice de l'usine de production. Ici, on considère uniquement l'unité de production de Béjaia .
- $j = \{1, 2, 3\}$: ensemble des plateformes logistiques externes.
- $l = \{1, 2, \dots, 13\}$: ensemble des centres logistiques régionaux (CLRs).
- $h = \{1, 2, \dots, 58\}$: ensemble des clients finaux (répartis sur les 58 wilayas).
- $p = \{1, 2\}$: indice des produits secs (sucre et huile).
- $k = \{1, 2, 3\}$: prestataires de transport.

Paramètres

Coûts

- C_{ijpk} : coût de transport des produits secs p de i vers j par le prestataire k .
- C_{ilpk} : coût de transport des produits secs p de i vers l par le prestataire k .
- C_{ihpk} : coût de transport des produits secs p de i vers h par le prestataire k .

Capacité de production

- p_1 : capacité de production de l'unité du sucre.
- p_2 : capacité de production de l'unité de l'huile .

Demande

- DPS_j : demande en produits secs de la plateforme j .
- DPS_l : demande en produits secs du CLR l .
- DPS_h : demande en produits secs du client h .

Capacité des camions

- q_1 : capacité maximale d'un camion destiné au transport du sucre pour le prestataire k .
- q_2 : capacité maximale d'un camion destiné au transport de l'huile pour le prestataire k .

Disponibilité des camions

- A_k : nombre de camions disponibles pour le prestataire k .

Temps de trajet

- T_{ij} : temps de trajet entre l'unité i et la plateforme j .
- T_{il} : temps de trajet entre l'unité i et le CLR l .
- T_{ih} : temps de trajet entre l'unité i et le client h .
- T_{\max} : durée maximale autorisée pour livrer un produit (en heures).

Variables de décision

- N_{ijpk} : nombre de camions transportant le produit p de i à la plateforme j par le prestataire k .
- N_{ilpk} : nombre de camions transportant le produit p de i au CLR l par le prestataire k .
- N_{ihpk} : nombre de camions transportant le produit p de i au client h par le prestataire k .

Fonction objectif

L'objectif est de minimiser le coût total de transport des produits secs depuis l'unité de production vers les Plateformes et CLR et clients finaux.

$$\begin{aligned} \text{Minimiser } Z = & \sum_j \sum_p \sum_k C_{ijpk} \times N_{ijpk} + \sum_l \sum_p \sum_k C_{ilpk} \times N_{ilpk} \\ & + \sum_h \sum_p \sum_k C_{ihpk} \times N_{ihpk} \end{aligned}$$

Contraintes

Le modèle impose des contraintes de satisfaction de la demande, garantissant que les quantités transportées répondent à au moins 95% des besoins exprimés pour chaque destination. De plus, les capacités maximales des camions et les capacités de production

de l'unité sont également prises en compte pour s'assurer que les quantités transportées ne dépassent pas ces limites.

1. Taux de service minimal (95%) :

Il est nécessaire d'assurer un taux de service minimal, afin de garantir que chaque client soit livré conformément à ses attentes en termes de quantité et de délai, ce qui contribue directement à la satisfaction des clients et à la performance de la chaîne logistique.

(a) Plateformes

$$\sum_k N_{ijpk} \times q_1 \geq 0.95 \times DPS_{jp}, \quad \forall j, p$$

$$\sum_k N_{ijpk} \times q_2 \geq 0.95 \times DPS_{jp}, \quad \forall j, p$$

(b) CLR

$$\sum_k N_{ilpk} \times q_1 \geq 0.95 \times DPS_{lp}, \quad \forall l, p$$

$$\sum_k N_{ilpk} \times q_2 \geq 0.95 \times DPS_{lp}, \quad \forall l, p$$

(c) Clients

$$\sum_k N_{ihpk} \times q_1 \geq 0.95 \times DPS_{hp}, \quad \forall h, p$$

$$\sum_k N_{ihpk} \times q_2 \geq 0.95 \times DPS_{hp}, \quad \forall h, p$$

2. Capacité de production :

Il est essentiel de s'assurer que la capacité de production soit respectée, afin de garantir la faisabilité du plan de transport proposé.

$$\sum_j \sum_k N_{ijpk} \times q_1 + \sum_l \sum_k N_{ilpk} \times q_1 + \sum_h \sum_k N_{ihpk} \times q_1 \leq p_1$$

$$\sum_j \sum_k N_{ijpk} \times q_2 + \sum_l \sum_k N_{ilpk} \times q_2 + \sum_h \sum_k N_{ihpk} \times q_2 \leq p_2$$

3. Disponibilité des camions :

$$\sum_j \sum_p N_{ijpk} + \sum_l \sum_p N_{ilpk} + \sum_h \sum_p N_{ihpk} \leq A_k, \quad \forall k$$

4. Les délais de livraison doivent être respectés :

Il est important que les délais de livraison soient respectés, car cela garantit non seulement la satisfaction des clients, mais aussi l'efficacité globale du processus logistique de l'entreprise.

$$T_{ij} \leq T_{\max}, \quad \forall j$$

$$T_{il} \leq T_{\max}, \quad \forall l$$

$$T_{ih} \leq T_{\max}, \quad \forall h$$

où T_{\max} ne dépasse pas 48 heures d'après les exigences de l'entreprise.

5. Non-négativité des variables :

$$N_{ijpk}, N_{ilpk}, N_{ihpk} \in \mathbb{N}, \quad \forall j, l, h, p, k.$$

Le modèle général peut être décrit comme suit :

Dans le but de proposer une solution efficace ou optimale au problème étudié, nous avons développé un modèle d'optimisation permettant de formaliser et de structurer les différentes composantes du problème posé. Ce modèle repose sur une formalisation mathématique rigoureuse du problème, prenant en compte l'ensemble des contraintes ainsi que les objectifs à atteindre. La formulation suivante présente de manière détaillée les variables de décision, les contraintes du problème, ainsi que la fonction objectif qui oriente la recherche de la solution optimale. Ainsi le modèle général est donné comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Minimiser } Z = & \sum_j \sum_p \sum_k C_{ijpk} \times N_{ijpk} + \sum_l \sum_p \sum_k C_{ilpk} \times N_{ilpk} \\ & + \sum_h \sum_p \sum_k C_{ihpk} \times N_{ihpk} \end{aligned}$$

Sous les contraintes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_k N_{ijpk} \times q_1 \geq 0,95 \times DPS_{jp}, \quad \forall j, p \\ \sum_k N_{ijpk} \times q_2 \geq 0,95 \times DPS_{jp}, \quad \forall j, p \\ \sum_k N_{ilpk} \times q_1 \geq 0,95 \times DPS_{lp}, \quad \forall l, p \\ \sum_k N_{ilpk} \times q_2 \geq 0,95 \times DPS_{lp}, \quad \forall l, p \\ \sum_k N_{ihpk} \times q_1 \geq 0,95 \times DPS_{hp}, \quad \forall h, p \\ \sum_k N_{ihpk} \times q_2 \geq 0,95 \times DPS_{hp}, \quad \forall h, p \\ \sum_j \sum_p \sum_k N_{ijpk} \times q_1 + \sum_l \sum_p \sum_k N_{ilpk} \times q_1 + \sum_h \sum_p \sum_k N_{ihpk} \times q_1 \leq p_1 \\ \sum_j \sum_p \sum_k N_{ijpk} \times q_2 + \sum_l \sum_p \sum_k N_{ilpk} \times q_2 + \sum_h \sum_p \sum_k N_{ihpk} \times q_2 \leq p_2 \\ \sum_j \sum_p N_{ijpk} + \sum_l \sum_p N_{ilpk} + \sum_h \sum_p N_{ihpk} \leq A_k, \quad \forall k \\ T_{ij} \leq T_{\max}, \quad \forall j \\ T_{il} \leq T_{\max}, \quad \forall l \\ T_{ih} \leq T_{\max}, \quad \forall h \\ N_{ijpk}, N_{ilpk}, N_{ihpk} \in \mathbb{N} \quad \forall j, l, h, p, k. \end{array} \right.$$

3.5 Résolution du problème et interprétation des résultats

3.5.1 Outils de résolution

Le modèle développé correspond à un programme linéaire en nombres entiers de grande dimension. Bien que les outils informatiques actuels soient capables de traiter efficacement ce type de problème, leur complexité reste non négligeable, surtout lorsque les contraintes

sont nombreuses et interdépendantes. Cela peut rendre la recherche d'une solution optimale particulièrement exigeante sur le plan computationnel. Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé le solveur **PuLP** sous **Python**. Ce dernier s'appuie sur des algorithmes de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) afin de générer un plan de transport optimal, en prenant en compte les différentes contraintes liées à la production, aux capacités logistiques, aux besoins des centres de distribution et aux délais imposés.

3.5.2 Présentation des résultats

Les deux tableaux suivants présentent les résultats obtenus à l'aide de la modélisation et de la résolution du problème de transport logistique via Python.

Le premier tableau correspond au plan de transport optimal pour la journée du 19 mai 2025, avec un coût total de transport de **4. 013 128 DA**.

Le second tableau présente le plan de transport optimal établi pour la journée du 27 mai 2025, dont le coût total de transport est **3. 679 065 DA**.

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Plateforme Bouira	Sucre	Type 1	17.0
Plateforme Bouira	Huile	Type 1	18.0
CLR CLR15TIZI OUZOU	Sucre	Type 2	2.0
CLR CLR15TIZI OUZOU	Huile	Type 2	4.0
CLR CLR16ALGER	Sucre	Type 1	3.0
CLR CLR16ALGER	Huile	Type 1	7.0
Client Akbou	Sucre	Type 2	2.0
Client Alger	Sucre	Type 1	22.0
Client Annaba	Sucre	Type 1	2.0
Client Annaba	Huile	Type 1	2.0
Client Batna	Sucre	Type 1	4.0
Client Batna	Huile	Type 1	2.0
Client Bejaia	Sucre	Type 2	1.0
Client Bejaia	Huile	Type 2	2.0
Client Blida	Sucre	Type 1	5.0
Client Blida	Sucre	Type 2	1.0
Client Boumerdes	Sucre	Type 1	7.0
Client Boumerdes	Huile	Type 1	2.0
Client Djelfa	Sucre	Type 1	1.0
Client Djelfa	Huile	Type 1	1.0
Client El Bayadh	Huile	Type 3	1.0
Client El Oued	Sucre	Type 2	2.0
Client El Oued	Huile	Type 2	2.0
Client Guelma	Sucre	Type 1	1.0
Client Guelma	Huile	Type 1	1.0
Client Mascara	Sucre	Type 2	2.0
Client Mascara	Huile	Type 2	2.0
Client Medea	Sucre	Type 1	1.0
Client Medea	Huile	Type 1	1.0
Client Meghnia	Huile	Type 3	1.0
Client Mostaganem	Sucre	Type 2	3.0
Client Mostaganem	Huile	Type 2	1.0
Client Naama	Sucre	Type 3	1.0
Client Naama	Huile	Type 3	1.0
Client Oran	Sucre	Type 3	4.0
Client Oran	Huile	Type 3	3.0
Client Ouargla	Huile	Type 3	1.0
Client Relizane	Sucre	Type 2	1.0
Client Relizane	Huile	Type 2	2.0

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Client Saida	Sucre	Type 3	2.0
Client Saida	Huile	Type 3	1.0
Client SBA	Sucre	Type 2	2.0
Client SBA	Huile	Type 2	1.0
Client Setif	Sucre	Type 2	5.0
Client Setif	Huile	Type 2	1.0
Client Souk Ahras	Sucre	Type 2	1.0
Client Souk Ahras	Huile	Type 2	1.0
Client Tebessa	Sucre	Type 1	1.0
Client Tebessa	Huile	Type 1	2.0
Client Tipaza	Sucre	Type 2	4.0
Client Tipaza	Huile	Type 2	4.0
Client Tlemcen	Sucre	Type 3	3.0
Client Tlemcen	Huile	Type 3	2.0

TABLE 3.23 – Plan de transport pour la journée du 19 mai 2025

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Plateforme Bouira	Sucre	Type 1	11.0
Plateforme Bouira	Huile	Type 1	16.0
CLR05BATNA	Huile	Type 1	3.0
CLR09BLIDA	Sucre	Type 1	1.0
CLR09BLIDA	Huile	Type 1	3.0
CLR13TLEMCEN	Sucre	Type 3	4.0
CLR13TLEMCEN	Huile	Type 3	3.0
CLR15TIZI OUZOU	Sucre	Type 2	1.0
CLR15TIZI OUZOU	Huile	Type 2	4.0
CLR16ALGER	Sucre	Type 1	3.0
CLR16ALGER	Huile	Type 1	5.0
CLR19SETIF	Sucre	Type 1	2.0
CLR19SETIF	Huile	Type 1	3.0
CLR22SBA	Sucre	Type 3	2.0
CLR22SBA	Huile	Type 3	1.0
CLR23ANNABA	Sucre	Type 1	2.0
CLR23ANNABA	Huile	Type 1	2.0
CLR26MEDEA	Sucre	Type 1	1.0
CLR26MEDEA	Huile	Type 1	1.0
CLR27MOSTAGANEM	Sucre	Type 2	3.0
CLR27MOSTAGANEM	Huile	Type 2	2.0
CLR29MASCARA	Sucre	Type 2	1.0
CLR29MASCARA	Huile	Type 2	2.0
CLR31ORAN	Sucre	Type 2	3.0
CLR31ORAN	Huile	Type 2	1.0
Client Akbou	Sucre	Type 1	1.0
Client Alger	Sucre	Type 1	30.0
Client Alger	Huile	Type 1	1.0
Client Bejaia	Huile	Type 2	2.0

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Client Bouira	Sucre	Type 1	5.0
Client Bouira	Huile	Type 1	1.0
Client Boumerdes	Sucre	Type 1	1.0
Client Boumerdes	Huile	Type 1	2.0
Client Djelfa	Huile	Type 1	1.0
Client El Bayadh	Sucre	Type 3	1.0
Client El Bayadh	Huile	Type 3	1.0
Client El Oued	Sucre	Type 2	2.0
Client El Oued	Huile	Type 2	2.0
Client Guelma	Sucre	Type 1	1.0
Client Guelma	Huile	Type 1	1.0
Client Naama	Sucre	Type 3	1.0
Client Naama	Huile	Type 3	1.0
Client Oran	Sucre	Type 3	1.0
Client Relizane	Sucre	Type 2	2.0
Client Saida	Sucre	Type 3	1.0
Client Saida	Huile	Type 3	1.0
Client Setif	Sucre	Type 2	1.0
Client Souk Ahras	Huile	Type 2	1.0
Client Tebessa	Sucre	Type 1	1.0
Client Tebessa	Huile	Type 1	1.0
Client Tiaret	Sucre	Type 2	2.0
Client Tipaza	Sucre	Type 2	2.0
Client Tizi Ouzou	Sucre	Type 2	2.0
Client Tlemcen	Sucre	Type 3	2.0
Client Tlemcen	Huile	Type 3	1.0

TABLE 3.24 – Plan de transport pour la journée du 27 mai 2025

3.6 Discussion des résultats

La comparaison entre les plans de transport réels (**Annexes 1** et **Annexes 2**) adoptés par l'entreprise et ceux proposés par notre modèle d'optimisation (**Table 3.23** et **Table 3.24**) révèle plusieurs éléments intéressants, tant sur le plan économique que logistique.

3.6.1 Analyse des coûts

Le coût du plan de transport réel s'élève à **4 346 962 DA** pour la journée du 19 mai 2025, et à **3 963 239 DA** pour celle du 27 mai 2025. En comparaison, les plans optimisés générés par notre modèle, résolus à l'aide de Python, présentent des coûts respectifs de **4 013 128 DA** et **3 679 065 DA**.

Date	Coût réel (DA)	Coût optimal (DA)	Économie (DA)
19 mai 2025	4 346 962	4 013 128	333 834
27 mai 2025	3 963 239	3 679 065	284 174

TABLE 3.25 – Comparaison des coûts entre les plans réel et optimal

Ces résultats mettent en évidence une économie potentielle de **333 834 DA** pour le 19 mai et de **284 174 DA** pour le 27 mai. Ils confirment l'efficacité de notre modèle d'optimisation dans la réduction des coûts de transport, tout en respectant les contraintes logistiques définies par l'entreprise.

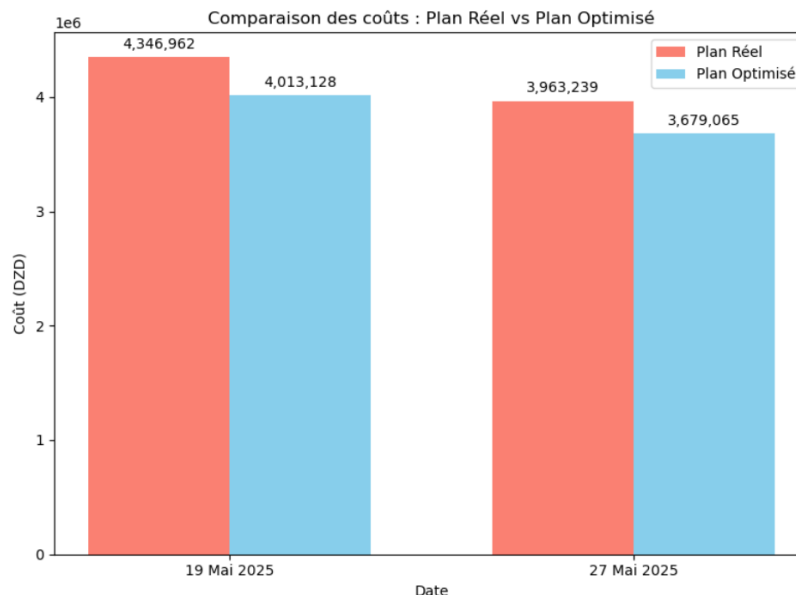


FIGURE 3.1 – Comparaison des coûts entre le plan réel et le plan optimisé

3.6.2 Satisfaction de la demande

Dans les deux cas, les plans optimaux assurent une couverture de la demande à hauteur de 95 % au minimum, conformément aux contraintes de taux de service imposées. Le nombre de camions mobilisés est ajusté de manière à satisfaire cette exigence tout en minimisant les coûts de transport.

3.6.3 Utilisation des prestataires

Notre modèle a donné une répartition meilleure des camions entre les différents types de prestataires. Alors que l'entreprise fait parfois appel de manière importante à certains prestataires coûteux (par exemple, Type 2 ou Type 3), le modèle cherche à maximiser l'utilisation des prestataires les plus avantageux (souvent de Type 1), dans la limite de leurs disponibilités. Cela se traduit par une réduction du coût moyen par trajet.

Notons que la mise en œuvre et la validation de ce modèle ont été contraintes par un accès limité aux données opérationnelles, ne disposant que de deux jours de données relatives à l'acheminement des produits. Cette restriction s'explique par les conditions d'obtention des données logistiques dans le cadre de notre stage, qui dépendaient de la disponibilité des responsables et des procédures internes de validation des informations sensibles. L'entreprise a ainsi choisi de ne partager que deux journées types, afin de garantir la fiabilité des données tout en respectant sa politique de confidentialité.

Malgré cette limitation, les résultats obtenus par notre modèle sur ces deux journées ont démontré une amélioration significative de l'efficacité logistique et une réduction des

coûts. Toutefois, une analyse plus approfondie et une validation robuste nécessiteraient un historique de données plus étendu, couvrant diverses périodes et scénarios logistiques.

3.7 Conclusion

Ce chapitre a permis de modéliser et de résoudre un problème concret d'optimisation du transport logistique au sein de l'entreprise Cevital, en se concentrant sur les produits secs (huile et sucre) expédiés depuis l'unité de production de Béjaïa. En s'appuyant sur des données réelles concernant les capacités de production, les demandes journalières, les prestataires disponibles et les coûts associés, un modèle mathématique a été construit pour proposer des plans de transport plus performants.

La résolution de ce modèle à l'aide de Python et du solveur PuLP a permis de générer des plans optimisés pour deux journées d'exploitation. Les résultats ont mis en évidence une réduction significative des coûts de transport, de l'ordre de 334 000 DA et 284 000 DA pour les journées 19 et 27 mai 2025 respectivement. Ces économies sont obtenues tout en respectant les contraintes logistiques de l'entreprise.

Les plans générés par le modèle se distinguent également par une meilleure allocation des ressources logistiques, en particulier par l'usage prioritaire des prestataires les plus économiques, dans la limite de leurs disponibilités. Cette approche permet une rationalisation des coûts tout en garantissant un niveau de service élevé.

Il est toutefois important de souligner que le modèle que nous avons proposé reste une simplification de la réalité et ne prend pas encore en compte certains paramètres opérationnels comme les retards, les contraintes contractuelles ou les priorités internes. Son extension future pourrait intégrer ces aspects pour le rendre plus robuste et plus proche des conditions réelles de l'entreprise.

Ce travail illustre ainsi le potentiel des outils de modélisation et d'optimisation dans l'amélioration des performances logistiques et dans le soutien à la prise de décision stratégique.

Conclusion générale et travaux futurs

Ce travail illustre comment une démarche scientifique rigoureuse, alliant modélisation, programmation et analyse, peut contribuer efficacement à la prise de décision logistique au sein d'une grande entreprise industrielle. Dans un contexte économique en constante évolution et une concurrence accrue, l'optimisation des processus logistiques, notamment du transport, est devenue un enjeu majeur pour améliorer la performance globale, réduire les coûts et garantir la satisfaction des clients.

Notre étude s'est focalisée sur l'optimisation du plan de transport des produits secs chez **Cevital**, leader de l'agro-industrie en Algérie. Après une analyse approfondie de la structure logistique et des enjeux liés à la distribution vers les centres de livraison régionaux (CLRs), plateformes logistiques et clients directs, un modèle mathématique d'optimisation linéaire a été développé. Ce modèle, implémenté en **Python** avec la bibliothèque **PULP**, vise à minimiser les coûts de transport tout en respectant les contraintes d'offre, de demande et de capacité.

Les résultats obtenus ont permis de proposer un plan de transport optimisé, générant une réduction significative des coûts par rapport au plan initial, sans compromettre la qualité du service client. Cette optimisation assure également une meilleure gestion des prestataires logistiques.

Cette approche démontre l'efficacité des outils de la **recherche opérationnelle** appliqués à des problématiques industrielles concrètes, et souligne l'importance d'une prise de décision fondée sur la modélisation mathématique et la résolution algorithmique dans un environnement logistique complexe.

Perspectives et travaux futurs :

Ce travail ouvre la voie à de nombreuses perspectives et pistes de recherche futures.

- Valider le modèle sur une période étendue (par exemple, un mois) afin d'évaluer sa robustesse face à la variabilité et la dynamique des données ;
- Intégrer les produits froids dans la modélisation, en tenant compte des contraintes spécifiques liées au transport sous température contrôlée ;
- Considérer les trajets de retour à vide pour optimiser davantage les itinéraires et réduire les coûts logistiques globaux ;
- Explorer des méthodes heuristiques ou métaheuristiques pour résoudre des instances de grande taille avec des temps de calcul réduits ;
- Développer une interface décisionnelle pour permettre à l'entreprise de simuler et d'adapter les plans de transport selon les besoins opérationnels.

Annexes

Plan de transport pour la journée du 19 mai 2025 donnés par l'entreprise

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Plateforme Bouira	Sucre	Type 1	1
Plateforme Bouira	Huile	Type 1	3
Plateforme Bouira	Huile	Type 2	15
Plateforme Bouira	Sucre	Type 2	16
CLR CLR15TIZI OUZOU	Sucre	Type 2	2.0
CLR CLR15TIZI OUZOU	Huile	Type 2	4.0
CLR CLR16ALGER	Sucre	Type 1	3.0
CLR CLR16ALGER	Huile	Type 1	7.0
Client Akbou	Sucre	Type 1	2.0
Client Alger	Sucre	Type 1	20.0
Client Alger	Sucre	Type 2	2
Client Annaba	Sucre	Type 2	2.0
Client Annaba	Huile	Type 2	2.0
Client Batna	Sucre	Type 1	3.0
Client Batna	Huile	Type 1	1.0
Client Batna	Sucre	Type 2	1.0
Client Batna	Huile	Type 2	1.0
Client Bejaia	Sucre	Type 1	1.0
Client Bejaia	Huile	Type 1	2.0
Client Blida	Sucre	Type 1	6
Client Boumerdes	Sucre	Type 1	6.0
Client Boumerdes	Huile	Type 2	2.0
Client Boumerdes	Sucre	Type 2	1.0
Client Djelfa	Sucre	Type 3	1.0
Client Djelfa	Huile	Type 2	1.0
Client El Bayadh	Huile	Type 1	1.0
Client El Oued	Sucre	Type 2	1.0
Client El Oued	Sucre	Type 3	1.0
Client El Oued	Huile	Type 1	2.0
Client Guelma	Sucre	Type 1	1.0
Client Guelma	Huile	Type 1	1.0
Client Mascara	Sucre	Type 1	2.0
Client Mascara	Huile	Type 1	2.0
Client Medea	Sucre	Type 1	1.0

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Client Medea	Huile	Type 1	1.0
Client Meghnia	Huile	Type 2	1.0
Client Mostaganem	Sucre	Type 2	3.0
Client Mostaganem	Huile	Type 2	1.0
Client Naama	Sucre	Type 1	1.0
Client Naama	Huile	Type 1	1.0
Client Oran	Sucre	Type 2	3.0
Client Oran	Sucre	Type 1	1.0
Client Oran	Huile	Type 2	3.0
Client Ouargla	Huile	Type 1	1.0
Client Relizane	Sucre	Type 2	1.0
Client Relizane	Huile	Type 1	2.0
Client Saida	Sucre	Type 1	2.0
Client Saida	Huile	Type 1	1.0
Client SBA	Sucre	Type 2	2.0
Client SBA	Huile	Type 2	1.0
Client Setif	Sucre	Type 2	3.0
Client Setif	Sucre	Type 1	2.0
Client Setif	Huile	Type 2	1.0
Client Souk Ahras	Sucre	Type 3	1.0
Client Souk Ahras	Huile	Type 1	1.0
Client Tebessa	Sucre	Type 1	1.0
Client Tebessa	Huile	Type 3	1.0
Client Tebessa	Huile	Type 1	1.0
Client Tipaza	Sucre	Type 2	4.0
Client Tipaza	Huile	Type 2	4.0
Client Tlemcen	Sucre	Type 1	1.0
Client Tlemcen	Sucre	Type 2	2.0
Client Tlemcen	Huile	Type 2	2.0

TABLE 3.26 – Plan de transport pour la journée du 19 mai 2025 donnés par l'entreprise

Plan de transport pour la journée du 27 mai 2025 donnés par l'entreprise

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Plateforme Bouira	Sucre	Type 2	10.0
Plateforme Bouira	Sucre	Type 1	1.0
Plateforme Bouira	Huile	Type 2	16.0
CLR05BATNA	Huile	Type 1	1.0
CLR05BATNA	Huile	Type 2	1.0
CLR05BATNA	Huile	Type 3	1.0
CLR09BLIDA	Sucre	Type 2	1.0
CLR09BLIDA	Huile	Type 2	3.0
CLR13TLEMCEN	Sucre	Type 2	4.0
CLR13TLEMCEN	Huile	Type 2	3.0
CLR15TIZI OUZOU	Sucre	Type 2	1.0
CLR15TIZI OUZOU	Huile	Type 2	4.0
CLR16ALGER	Sucre	Type 1	3.0
CLR16ALGER	Huile	Type 1	5.0
CLR19SETIF	Sucre	Type 2	2.0
CLR19SETIF	Huile	Type 2	3.0
CLR22SBA	Sucre	Type 2	2.0
CLR22SBA	Huile	Type 2	1.0
CLR23ANNABA	Sucre	Type 2	2.0
CLR23ANNABA	Huile	Type 2	2.0
CLR26MEDEA	Sucre	Type 3	1.0
CLR26MEDEA	Huile	Type 1	1.0
CLR27MOSTAGANEM	Sucre	Type 2	3.0
CLR27MOSTAGANEM	Huile	Type 2	2.0
CLR29MASCARA	Sucre	Type 2	1.0
CLR29MASCARA	Huile	Type 1	1.0
CLR29MASCARA	Huile	Type 3	1.0
CLR31ORAN	Sucre	Type 2	3.0
CLR31ORAN	Huile	Type 2	1.0
Client Akbou	Sucre	Type 1	1.0
Client Alger	Sucre	Type 1	28.0
Client Alger	Sucre	Type 2	2.0
Client Alger	Huile	Type 1	1.0
Client Bejaia	Huile	Type 1	2.0
Client Bouira	Sucre	Type 2	4.0
Client Bouira	Sucre	Type 1	1.0
Client Bouira	Huile	Type 1	1.0
Client Boumerdes	Sucre	Type 3	1.0
Client Boumerdes	Huile	Type 1	1.0
Client Boumerdes	Huile	Type 2	1.0
Client Djelfa	Huile	Type 3	1.0
Client El Bayadh	Sucre	Type 1	1.0
Client El Bayadh	Huile	Type 1	1.0
Client El Oued	Sucre	Type 3	2.0

Destination	Produit	Prestataire	Camions
Client El Oued	Huile	Type 1	2.0
Client Guelma	Sucre	Type 3	1.0
Client Guelma	Huile	Type 1	1.0
Client Naama	Sucre	Type 1	1.0
Client Naama	Huile	Type 1	1.0
Client Oran	Sucre	Type 2	1.0
Client Relizane	Sucre	Type 2	2.0
Client Saida	Sucre	Type 1	1.0
Client Saida	Huile	Type 1	1.0
Client Setif	Sucre	Type 1	1.0
Client Souk Ahras	Huile	Type 1	1.0
Client Tebessa	Sucre	Type 1	1.0
Client Tebessa	Huile	Type 1	1.0
Client Tiaret	Sucre	Type 1	1.0
Client Tiaret	Sucre	Type 3	1.0
Client Tipaza	Sucre	Type 2	2.0
Client Tizi Ouzou	Sucre	Type 2	1.0
Client Tizi Ouzou	Sucre	Type 1	1.0
Client Tlemcen	Sucre	Type 1	2.0
Client Tlemcen	Huile	Type 1	1.0

TABLE 3.27 – Plan de transport pour la journée du 27 mai 2025 donnés par l'entreprise

Bibliographie

- [1] Cevital. <https://www.cevital.com>, 2023. Consulté en 2025.
- [2] R. H. Ballou. *Business logistics/supply chain management : Planning, organizing, and controlling the supply chain*. Upper Saddle River, N.J., Pearson/Prentice Hall, 2004.
- [3] M. S. Bazaraa, J. J. Jarvis, and H. D. Sherali. *Linear programming and network flows*. John Wiley & Sons, New York, 1990.
- [4] M. Ben-Iken. Problème de transport : Modélisation et résolution. Mémoire de fin d'études, École Supérieure de Technologie de Fkih Ben Salah, 2017.
- [5] J. F. Benders. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische Mathematik*, 4 :238–252, 1962.
- [6] D. Bertsimas and R. Weismantel. *Introduction to linear optimization*. Athena Scientific, 1997.
- [7] M. Christopher. *Logistics and supply chain management : Strategies for reducing cost and improving service*. Pearson Education, Harlow, 2004.
- [8] M. Christopher. *Logistics and supply chain management*. Pearson Education, Harlow, 3 edition, 2006.
- [9] J. J. Coyle, R. A. Novack, B. Gibson, and E. J. Bardi. *Transportation : A global supply chain perspective*. Cengage Learning, 8 edition, 2016.
- [10] M. M. Damien. *Transport et logistique*. Dunod, Paris, 2004.
- [11] G. B. Dantzig. Application of the simplex method to a transportation problem. *Activity analysis of production and allocation*, pages 359–373, 1951.
- [12] S.-L. David, P. Kaminsky, and E. Simchi-Levi. *Designing and managing the supply chain : Concepts, strategies and case studies*. McGraw-Hill, 3 edition, 2007.
- [13] T. Dries and M. Mecheri. Modélisation pour l'aide à la décision dans la gestion de la chaîne logistique : cas des huiles elio au niveau de Cevital. Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, 2023.
- [14] R. Genin. *La gestion de la chaîne logistique*. Presses Universitaires de France, Paris, 2002.
- [15] G. Ghiani, G. Laporte, and R. Musmanno. *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons, 2004.
- [16] F. Glover. Tabu search—Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3) :190–206, 1989.
- [17] D. E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, Optimization, and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.
- [18] A. Gratacapa and P. Médan. *Logistique et supply chain management*. Dunod, Paris, 2008.

- [19] F. S. Hillier and G. J. Lieberman. *Introduction to operations research*. McGraw-Hill Education, New York, 11 edition, 2021.
- [20] M. Khelifi and T. Hafsi. Groupe Cevital - gestion stratégique (b) maîtriser la croissance, Cevital! Technical report, HEC Montréal, 2013.
- [21] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi. Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598) :671–680, 1983.
- [22] D. M. Lambert, J. R. Stock, and L. M. Ellram. *Logistique d'entreprise*. De Boeck Supérieur, Bruxelles, 2006.
- [23] S. Mentzar and J. Moon. *Supply chain management : Strategies, issues, and cases*. Pearson, New York, 2000.
- [24] S. Mitchell. Pulp : A linear programming toolkit for Python. *The University of Auckland, Auckland, New Zealand*, 2011.
- [25] R. Mostepha. Résolution de problèmes d'optimisation combinatoire par systèmes artificiels auto-organisés. Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2008.
- [26] M. Padberg and M. Rinaldi. *Branch-and-Cut algorithms for integer programming*. Springer, 2000.
- [27] D. Ripoché and P. Mangeard. *Transport et logistique : comprendre, décider, agir*. Éditions EMS, Issy-les-Moulineaux, 3 edition, 2019. Chapitre 4 : Les prestations de transport routier.
- [28] G. V. Rossum and F. L. Drake. *Python 3 reference manual*. CreateSpace, Scotts Valley, CA, 2009.
- [29] J. P. Saint-Eloi. *Pratique du transport routier de marchandises*. Presses académiques francophones, Sarrebruck, 3 edition, 2005.
- [30] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, and E. S. Levi. *Designing and managing the supply chain : Concepts, strategies and case studies*. McGraw Hill, 2003.
- [31] H. Stadtler and C. Kilger. *Supply chain Management and Advanced Planning*. Springer, 2008.
- [32] H. Stadtler and C. Kilger. *Supply chain management : Planning, optimization, and control*. Springer, Berlin, 2008.
- [33] H. A. Taha. *Operations research : An introduction*. Pearson Education, New York, 10 edition, 2017.
- [34] S. Tayur, M. Ganeshan, and L. Jacob. Quantitative models for supply chain management. *Springer-Verlag*, 1999.
- [35] D. Thomas and P. Griffin. Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 94 :1–15, 1996.
- [36] W. L. Winston. *Operations research : Applications and algorithms*. Thomson Brooks/Cole, 4 edition, 2004.

Résumé

Notre travail porte sur l'optimisation du plan de transport des produits secs au sein de l'entreprise agroalimentaire Cevital. Afin de répondre efficacement à la demande des centres logistiques régionaux, des plateformes et des clients finaux, tout en minimisant les coûts logistiques, nous avons modélisé ce problème sous forme d'un programme linéaire en nombres entiers.

Le modèle proposé prend en compte les contraintes liées à la production, à la capacité des camions et à la demande. Le problème a été résolu en utilisant le langage Python et des bibliothèques d'optimisation adaptées. Les résultats obtenus mettent en évidence une meilleure allocation des ressources de transport et une réduction significative des coûts par rapport à la situation réelle de l'entreprise.

Mots clés : Transport logistique, Optimisation, Programmation linéaire en nombres entiers, Python, Entreprise Cevital, Produits secs, Réduction des coûts.

Abstract

Our work focuses on optimizing the transportation plan for dry products within the agri-food company Cevital. In order to effectively meet the demand of regional logistics centers, distribution platforms, and end customers, while minimizing logistics costs, we modeled this problem as an integer linear programming problem.

The proposed model takes into account constraints related to production, truck capacity, and demand. The problem was solved using the Python programming language and suitable optimization libraries. The results highlight a better allocation of transportation resources and a significant cost reduction compared to the company's actual situation.

Keywords : Logistics transport, Optimization, Integer linear programming, Python, Cevital Group, Dry products, Cost reduction.