

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

Département de Recherche Opérationnelle



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

Spécialité : Modélisation ,Optimisation et Aide à la Décision

*Modélisation et résolution d'un problème de
redimensionnement partiel des centres de
distribution : cas de Cevital Béjaïa*

Présenté par :
Tahir Cylia
Azzoun Roza

Sous la direction de : Mme RAHMOUNE Fazia
Et de : Mme Kendi Salima

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

M ^e Y. Djabali	M.C.A	Présidente du jury	UAMB - Béjaïa
M ^e F.RAHMOUNE	Professeur	Rapportrice	UAMB - Béjaïa
M ^e S. KENDI	M.C.B	Co-promoteur	UAMB - Béjaïa
Mlle Z. Aoudia	M.A.A	Examinatrice	UAMB - Béjaïa
M ^r R. Ait Ouakli	Doctorant	Examineur	UAMB - Béjaïa
M ^r Benyoub Ghilas	Invité	Gérant	Département Logistique – Cevital

Année Universitaire 2024 – 2025

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Madame RAHMOUNE Fazia**, Professeuse à l'Université de Béjaïa, ainsi qu'à **Madame KENDI Salima**, docteur à l'Université de Béjaïa, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail en qualité de rapporteuses. Nous leur sommes profondément reconnaissantes pour leur disponibilité leurs qualités humaines, et la bienveillance avec laquelle elles ont accompagné l'évaluation de notre mémoire. Leurs remarques, orientations et conseils ont été d'une grande valeur et ont largement contribué à l'enrichissement de ce travail.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à **Madame DJABALI Yasmina**, docteure à l'Université de Béjaïa, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et de présider le jury de soutenance. Nous lui témoignons toute notre reconnaissance pour le temps et l'attention qu'elle a consacrés à l'examen de notre mémoire.*

*Je remercie également Monsieur **Aït Ouakli Riadh** pour avoir consacré de son temps à la lecture de ce mémoire et pour l'avoir évalué avec attention.*

*Nos remerciements les plus sincères vont à Mademoiselle **AOUDIA Zohra**, docteure à l'Université de Béjaïa, pour avoir accepté de faire partie du jury de soutenance. Au-delà de ce rôle, nous tenons à souligner et à saluer son accompagnement précieux tout au long de notre travail. Sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur **Ghiles BENYOUB**, encadrant de stage au sein de l'entreprise **CEVITAL**, pour son accompagnement, sa disponibilité et ses conseils tout au long de cette expérience. Ses orientations, sa rigueur et son engagement ont été déterminants dans la réussite de ce travail.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À mon père, Exemple de droiture, de force et de sérieux dans le travail,
C'est auprès de toi que j'ai appris la valeur de l'effort, de la rigueur et de
l'engagement. Merci pour ton soutien et ton inspiration.*

*À ma mère, Pour ton amour, ta patience et ton soutien de chaque instant.
Merci d'avoir toujours cru en moi.*

À une personne très chère, Merci... .

À ma soeur, Merci... Pour tout,

À mon frère, Merci pour ton soutien discret.

*À mon neveu Daniel, petit rayon de lumière, dont la joie et l'innocence ont
illuminé mes journées .*

*À ma binôme, Pour chaque moment partagé , chaque doute surmonté, Merci
pour cette belle aventure partagée.*

*À toutes les personnes, de près ou de loin, qui, par un mot, un geste ou une
pensée, ont contribué à l'aboutissement de ce travail, Merci du fond du cœur.*

Dédicaces

Je dédie ce travail à toutes les personnes chères qui ont été à mes côtés, avec amour et bienveillance, dans les moments les plus difficiles.

*À mon père, **Lounes Azzoun**, véritable pilier dans les épreuves de la vie ton soutien m'a portée bien au delà des mots.*

Je ne l'oublierai jamais.

*À ma mère, **Aïcha Azoune**, source de vie et d'amour inconditionnel, ton affection coule dans mes veines et donne à mon cœur sa force.*

*À mes frères et sœurs : **Sami, Melissa et Houssam**, ainsi qu'à toute ma grande famille, merci pour votre présence et votre soutien constants, aussi bien moral que matériel.*

*À ma binôme **Cylia**, avec qui j'ai réalisé ce travail merci pour les bons moments partagés tout au long de ce parcours.*

*Et enfin, à mon amie chère, **Dida** merci du fond du cœur pour ta précieuse amitié.*

A. Roza 

Table des matières

Remerciements	I
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste d'abréviations	IX
Introduction générale	1
1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE CEVITAL	4
Introduction	4
1.1 Présentation de l'entreprise	4
1.1.1 L'historique de l'entreprise	5
1.1.2 Situation géographique	5
1.1.3 Structure organisationnelle du complexe :	6
1.1.4 Missions et objectifs	7
1.1.5 Activités	8
1.1.6 Le Développement Exceptionnel de Cevital	8
1.1.7 Chronologie d'un Déploiement Produit Réussi	9
1.1.8 Les unités de production	10
1.2 Le processus de distribution de Cevital	13
1.2.1 Définitions fondamentales	13
1.2.2 Bases des installations logistiques	13
1.2.3 Le schéma logistique de distribution de CEVITAL	15
1.2.4 Évolution de la stratégie de distribution – Du modèle DIAPASON 1 à DIAPASON 2	15
1.3 Typologie ou Catégories de la clientèle de Cevital	16
1.4 position du problème	17
Conclusion	18
2 Réseaux logistiques de la distribution	19
Introduction	19
2.1 La logistique	19
2.1.1 Historique	20
2.1.2 Les activités de la logistique	21
2.1.3 Les principaux types de la logistique	22
2.1.4 Rôle et importance de la logistique	23
2.2 La chaîne logistique (Supply Chain)	23
2.2.1 Définition	23
2.2.2 Les flux d'une chaîne logistique	24
2.3 Optimisation des fonctions de la chaîne logistique	25
2.3.1 Optimisation du transport	25

2.3.2	Optimisation du stockage	25
2.3.3	Optimisation de la gestion des stocks	26
2.3.4	Optimisation des réseaux logistiques	26
2.3.5	Optimisation des routes et des itinéraires	26
2.4	Conception des chaînes logistiques (Supply Chain Design)	26
2.4.1	Décisions au niveau stratégique	27
2.4.2	Décisions au niveau tactique	27
2.4.3	Décisions au niveau opérationnel	27
2.5	Les outils de modélisation	28
2.5.1	Programmation Linéaire en Nombres Entiers(PLNE)	28
2.5.2	Programmation Non Linéaire Mixte	29
2.5.3	L'optimisation multicritère (multi-objectifs)	30
2.6	Le problème de localisation-allocation	31
2.6.1	Influence de certains facteurs sur le problème de localisation-allocation	31
2.6.2	Les principaux types de problèmes de localisation-allocation	32
2.6.3	Les méthodes de résolution d'un problème localisation allocation	35
2.6.4	Le modèle mathématique de localisation	35
2.7	La relation entre la distribution et le problème de localisation	36
3	Modélisation du réseau logistique et approche de résolution	38
	Introduction	38
3.1	Description du problème	38
3.2	Acquisition et structuration des données	39
3.2.1	Données liées au stockage	39
3.2.2	Données liées aux clients des deux CLR (Sidi Bel Abbès et Mascara)	40
3.2.3	Données liées aux distances	41
3.2.4	Données liées aux Demandes journalières des clients des CLR	41
3.2.5	Données liées aux coûts	42
3.2.6	Données liées aux coordonnées géographiques (les coordonnées latitude-longitude)	44
3.3	Formulation du modèle	45
3.3.1	Le modèle	47
3.4	Résolution du problème et interprétation des résultats	48
3.4.1	Choix de la méthode de résolution	48
3.4.2	Outils de la résolution	49
3.5	Résultats obtenus	49
3.5.1	Coût total optimal et centre sélectionné	49
3.5.2	Affectation des clients au CLR Z	49
3.5.3	Localisation optimale du CLR Z	50
3.5.4	Analyse visuelle	50
3.6	Discussion des résultats	51
3.6.1	Analyse comparative des coûts mensuels totaux	51
3.6.2	Analyse des distances avant et après le redimensionnement	52
3.6.3	Analyse des coûts de transport de la plateforme aux CLR	53
3.7	Analyse sensitive	53
3.7.1	Analyse des distance et coûts de transport	53
3.7.2	Résumé des coûts totaux pour les clients et l'entreprise	57

3.8 L'impact du redimensionnement sur la stratégie de distribution (diapason 1 et 2)	59
3.8.1 Analyse comparative des configurations logistiques	62
Conclusion	63
Conclusion générale	64
Bibliographie	68
Résumé	69

Table des figures

1.1	Organisation international de normalisation	5
1.2	logo de l'entre- prise	5
1.3	Situation géographique de Cevital	6
1.4	L'organigramme général de Cevital	6
1.5	Les produits réussi.	9
1.6	Huile	11
1.7	Sucre	11
1.8	Margarine	11
1.9	Tchina	12
1.10	Sauces, Mayonnaise,harissa	12
1.11	L'eau minérale	12
1.12	les différentes plateformes de l'entreprise CEVITAL	14
1.13	les différents CLR de l'entreprise CEVITAL	15
1.14	Le schéma logistique de distribution	15
1.15	Modèles de distribution <i>DIAPASON 1</i> et <i>DIAPASON 2</i>	16
1.16	Circuit direct B to B	17
1.17	Circuit indirect B to C	17
2.1	Les activités de la logistique	22
2.2	Les flux d'une chaîne logistique	25
3.1	Carte du réseau logistique Après redimensionnement	51
3.2	Représentation graphique des coûts client et entreprise en fonction du paramètre λ	58
3.3	Évolution comparative des coûts client et entreprise en fonction du paramètre de pondération λ	59

Liste des tableaux

1.1	Gamme de produits – Huile	10
1.2	Gamme de produits – Sucre	10
1.3	Gamme de produits – Margarine	11
2.1	Historique de l'évolution de la logistique	21
3.1	Capacités de stockage des plateformes	39
3.2	Capacités de stockage des CLR par ville et région	40
3.3	Clients des CLR de Sidi Bel Abbès et Mascara	40
3.4	Distances entre la plateforme d'Oran et les CLR	41
3.5	Distance entre les centres logistiques régionaux	41
3.6	Distances entre chaque CLR et ses clients principaux	41
3.7	Détail des livraisons quotidiennes des clients via les centres de livraison entre le 1 ^{er} et le 7 janvier 2025	42
3.8	Demandes moyennes journalières des clients des CLR	42
3.9	Résumé mensuel CLR Mascara - 2025	42
3.10	Résumé mensuel CLR Sidi Bel Abbès - 2025	42
3.11	Détail du calcul estimatif du coût d'ouverture du nouveau CLR (centre Z)	43
3.12	Coordonnées GPS des différentes localisations	44
3.13	Affectation des clients au CLR Z	50
3.14	Comparaison des distances client-CLR avant et après redimensionnement	52
3.15	Comparaison des distances entre la plateforme et les centres de livraison	52
3.16	Comparaison des coûts de transport mensuels de la plateforme aux CLR	53
3.17	Évolution des coûts en fonction du paramètre λ (pondération bicritère)	57
3.18	Distances et coûts de transport des flux logistiques (Diapason 1)	60
3.19	Coût de transport entre la plateforme de Hassi Ameer et le centre fusionné (CLR Z)	60
3.20	Distances et coûts de transport directs des unités de production vers les CLR (Diapason 2)	60
3.21	Distances et coûts de transport — Diapason 2 (CLR existants vs Centre Z)	60
3.22	Distances et coûts de transport — Diapason 2	61
3.23	Bilan synthétique des coûts avant et après le redimensionnement (les trois unités de production)	62

Liste des abréviations

- **CLR** : Centre de Distribution Logistique Régionale.
- **PLNE** : Programmation linéaire en nombres entiers .
- **MINLP** :Mixed-Integer Nonlinear Programming.
- **python** :Langage de programmation
- **LLK** :Unité Lalla Khedidja

Introduction générale

Dans un contexte économique en mutation rapide, où la maîtrise des coûts logistiques est devenue un levier stratégique de compétitivité, les entreprises sont amenées à repenser la configuration de leurs réseaux de distribution. C'est particulièrement le cas du secteur agroalimentaire, où les volumes transportés sont importants et les contraintes de délai sont fortes.

L'entreprise CEVITAL, leader privé de l'agroalimentaire en Algérie, dispose d'un vaste réseau logistique structuré autour de plateformes régionales et de centres logistiques régionaux (CLR), répartis sur l'ensemble du territoire national. Toutefois, la structure actuelle montre certains limites, notamment en termes de coûts et de redondances entre centres proches géographiquement. Cela soulève la question de l'opportunité d'un redimensionnement partiel du réseau, dans l'optique de simplifier la distribution tout en maintenant la qualité de service.

La distribution des produits alimentaires en Algérie a déjà fait l'objet de plusieurs études antérieures qui mettent en évidence des insuffisances structurelles : inefficacité opérationnelle, coûts élevés, qualité de service hétérogène. Ces faiblesses impactent directement les performances économiques des entreprises ainsi que la satisfaction des clients. Dans le cas de CEVITAL, certaines travaux ont proposé une reconfiguration globale de sa chaîne logistique, afin d'optimiser la couverture territoriale, en proposant un redéploiement des centres logistiques sur l'ensemble du territoire national. Ces approches ont montré l'intérêt de réduire les distances entre les centres d'approvisionnement et les clients grossistes dans une logique de rationalisation des flux.

Parmi les travaux récents consacrés à la logistique agroalimentaire en CEVITAL, une étude publiée en 2020 (Kendi et al., 2020[25]), s'est attachée au redimensionnement des réseaux de distribution des produits agroalimentaires. S'appuyant sur un modèle de localisation formulé en programmation linéaire mixte, elle a comparé quatre scénarios de restructuration du réseau de distribution du groupe agroalimentaire Algérien CEVITAL. L'objectif était d'identifier des choix d'implantation capables d'améliorer l'infrastructure logistique, de générer des retombées économiques pour le secteur privé, et d'élever la qualité de service. Une analyse de sensibilité a complété l'exercice afin d'isoler la configuration la plus robuste face à la variation des paramètres clés, débouchant sur un ensemble de recommandations managériales destinées aux décideurs. Dans la même perspective, un mémoire de fin d'études a été consacré à l'optimisation de la chaîne de distribution des produits agroalimentaires de l'entreprise CEVITAL en 2024 (C.Mahtout, 2024[30]). Dans cette étude, les auteurs ont proposé une réorganisation globale du réseau logistique dans le but de réduire les coûts de distribution et d'améliorer l'efficacité opérationnelle.

Cependant, peu d'études abordent spécifiquement la problématique d'un redimensionnement partiel du réseau existant, ciblant un sous-ensemble bien défini de centres logistiques. Encore plus rares sont celles qui s'appuient sur des données réelles provenant d'une entreprise industrielle algérienne. Le présent travail se propose de développer un modèle d'aide à la décision permettant d'évaluer différents scénarios de reconfiguration logistique, dans un cadre réaliste et opérationnel.

L'objectif de notre étude est de proposer un modèle mathématique d'optimisation permettant d'identifier différents scénarios de distribution, en se basant sur les données réelles de CEVITAL : volumes journaliers de la demande, distances routières, capacités de stockage et coûts de transport. Ce modèle vise à comparer la situation actuelle avec celle qui résulterait de l'implantation d'un centre unique de remplacement (*centre Z*), dont la localisation optimale est déterminée par le modèle, dans le but d'évaluer les impacts sur le coût logistique global, les distances parcourues et le niveau de service offert.

La démarche adoptée repose sur une modélisation mathématique multicritères en programmation non linéaire en nombres mixtes, résolue à l'aide du solveur Gurobi, intégré dans un environnement Python. La constitution de la base de données a nécessité un travail rigoureux d'analyse géographique, de traitement des distances routières réelles et de conversion des volumes mensuels en flux journaliers. En complément, une analyse de sensibilité relative aux poids attribués aux critères par l'entreprise est réalisée afin d'étudier l'impact sur les résultats obtenus. Ce travail établit ainsi un pont entre les modèles théoriques issus de la recherche opérationnelle et les problématiques concrètes rencontrées sur le terrain par une entreprise industrielle.

Le premier chapitre présente l'entreprise CEVITAL et son organisation logistique actuelle. Il met en lumière les caractéristiques du réseau de distribution, les plateformes et centres logistiques régionaux (CLR), ainsi que les contraintes opérationnelles rencontrées. Ce chapitre permet de situer clairement le problème étudié dans son contexte réel et industriel, en identifiant les points de tension logistique qui motivent le redimensionnement partiel proposé.

Le deuxième chapitre est consacré aux fondements théoriques et outils de modélisation mobilisés dans ce présent mémoire. Il présente les concepts clés de la chaîne logistique et les approches d'optimisation, avec un accent particulier sur les problèmes de localisation-allocation. Sont également introduits les outils mathématiques utilisés, notamment la programmation en nombres entiers (linéaire et non linéaire) et l'optimisation multicritère, permettant de modéliser des systèmes logistiques complexes intégrant plusieurs objectifs simultanés..

Le troisième chapitre illustre la modélisation et l'application pratique du modèle au cas réel de l'entreprise CEVITAL. Un modèle mathématique d'optimisation est construit à partir des données réelles (demandes, distances, coûts, capacités), afin d'évaluer différents scénarios logistiques. La résolution est effectuée à l'aide du solveur Gurobi sous Python, permettant une simulation rigoureuse et une comparaison précise entre la structure actuelle et les alternatives envisagées. L'analyse des résultats débouche sur des recommandations concrètes en matière de reconfiguration du réseau de distribution.

Le document se termine par une conclusion générale citant les différents perspectives pertinentes.

1

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE CEVITAL

Introduction

Dans un contexte économique en perpétuelle mutation où la capacité d'adaptation et d'innovation conditionne la compétitivité des entreprises, l'étude des modèles industriels performants est incontournable. CEVITAL, premier groupe privé algérien et acteur majeur de l'agroalimentaire, illustre parfaitement cette dynamique grâce à un système logistique complexe et efficace, ainsi qu'à un rôle stratégique dans la distribution nationale.

Dans ce chapitre nous présentons d'abord l'entreprise CEVITAL à travers son historique, sa structure et ses principales activités. Il décrit ensuite le processus de distribution mis en place, en s'appuyant sur ses plateformes et centres logistiques. Un aperçu des clientèles desservies permet de mieux comprendre les enjeux logistiques. Enfin, la problématique centrale liée à l'optimisation du réseau logistique est exposée, servant de point de départ à l'étude menée dans ce mémoire.

1.1 Présentation de l'entreprise

Le groupe CEVITAL est un conglomérat algérien de l'industrie agroalimentaire, créé et fondé par l'entrepreneur Issad RABRAB en 1998 sous la forme juridique d'une société par action (SPA), Il fait partie des premières entreprises algériennes à avoir vu le jour avec l'entrée du pays dans l'économie de marché. Cevital est classée parmi les trois plus grandes entreprises algériennes après Sonatrach et Naftal, et constitue indéniablement la première entreprise privée à capitaux algériens en Algérie, avec un chiffre d'affaires estimé à environ 4 milliards dollar et près de 18 000 employés. Le groupe se compose de vingt-cinq sociétés, réparties dans cinq secteurs d'activité : l'industrie métallurgique, l'information et la communication, la distribution automobile, le transport terrestre et maritime, ainsi que l'industrie agroalimentaire [9].



FIGURE 1.1 – Organisation internationale de normalisation



FIGURE 1.2 – logo de l'entreprise

1.1.1 L'historique de l'entreprise

Le groupe CEVITAL est la première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle.

1971 : Lancement de la construction métallique.

1988 : Création de META SIDER (SIDERURGIE).

1991 : Reprise, des activités I.B.M en Algérie et création du quotidien Liberté.

1997 : Création de Hyundai Motors en Algérie.

1998 : Création de CEVITAL SPA (industrie agroalimentaires).

2006 : Création de Numidis et Immobis; acquisition de COJEK.

2007 : Lancement de SAMHA (production et distribution de produits Samsung) et création de MFG (verre plat).

2008 : Création de Nolis (transport maritime), lancement de la commercialisation du verre plat en Europe, et création de Numilog. de Numilog.

2009 : Augmentation de la production de sucre.

2013 : Acquisition de OXXO et ALAS (Italie).

2014 : Acquisition de BRANDT (France) et d'AFFERPI (Italie), ex-LUCCHINI PIOMBINO [9].

1.1.2 Situation géographique

Cevital est l'un des plus importants groupes privés d'Algérie et un acteur de référence dans le secteur agroalimentaire. Son complexe de production est implanté sur le Nouveau Quai du port de Béjaïa, à environ 3 km au sud-ouest du centre-ville, à proximité directe des routes nationales RN 26 et RN 9. Cette position stratégique lui confère un avantage économique significatif, notamment grâce à sa proximité avec les infrastructures portuaires et aéroportuaires de la région.

S'étendant sur une superficie de 45 000 m², il s'agit du plus grand complexe privé en Algérie. Il dispose d'une capacité de stockage annuelle de 182 000 tonnes via ses silos portuaires, et d'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité impressionnante de 200 000 tonnes par heure pour la réception des matières premières. En parallèle, Cevital bénéficie d'un vaste réseau de distribution, couvrant plus de 52 000 points de vente à travers le territoire national [32].



FIGURE 1.3 – Situation géographique de Cevital

1.1.3 Structure organisationnelle du complexe :

Le complexe Cevital adopte une structure à la fois hiérarchique et fonctionnelle, alliant commandement vertical, circulation fluide de l'information et spécialisation accrue.

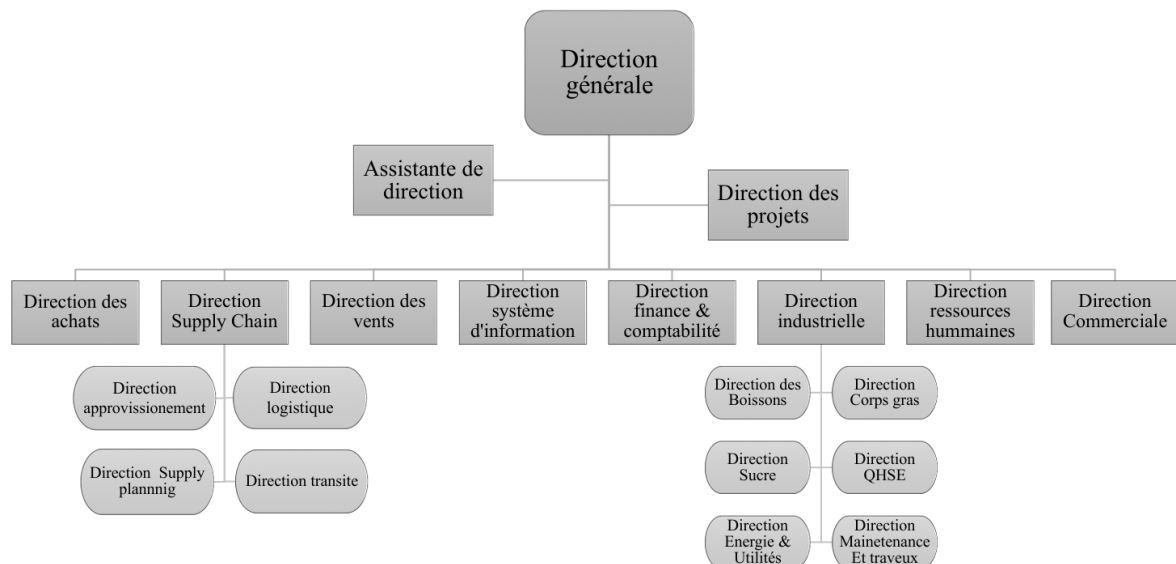


FIGURE 1.4 – L'organigramme général de Cevital

1. **Direction Générale** : Sous la responsabilité du PDG, elle définit la stratégie globale de l'entreprise, fixe les orientations marketing en coordination avec le siège à Alger et assure la coordination des autres directions.
2. **Direction des Ressources Humaines (DRH)** : Elle gère l'administration du personnel (paie, sécurité sociale, congés), le recrutement, la formation et les relations sociales au sein de l'entreprise.
3. **Direction Technique et Contrôle Qualité** : Elle supervise quatre laboratoires spécialisés (huile, margarine, sucre, conditionnement) pour assurer un contrôle qualité rigoureux et continu, sous l'autorité d'un laboratoire central.
4. **Direction des Projets** : Responsable du suivi et de la réalisation des projets d'infrastructure et d'équipement technique, en collaboration avec la direction générale.
5. **Direction Financière et Comptable** : Elle établit les budgets, assure le suivi comptable quotidien et fournit les données financières nécessaires à une bonne gestion.
6. **Direction Commerciale** : Chargée de la vente des produits finis et du suivi des clients à l'échelle nationale et internationale, elle participe à la définition de la stratégie commerciale.
7. **Direction de la Production** : Organisée en trois unités : huile, margarine et sucre . Elle veille à optimiser la production dans le respect des normes de qualité.
8. **Direction du Conditionnement** : Fonctionnant en continu (3 équipes par jour), elle est responsable de la fabrication des emballages et assure le conditionnement final des produits.
9. **Direction Logistique** : Créée en 2003, elle fournit un appui logistique et matériel aux autres services, en facilitant la circulation des ressources.
10. **Direction Supply Chain** : Elle pilote l'ensemble de la chaîne logistique, depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la distribution, dans le but de maximiser la valeur ajoutée.

1.1.4 Missions et objectifs

L'entreprise a pour mission principale de développer sa capacité de production tout en assurant la qualité et le conditionnement de ses produits, notamment les huiles, les margarines et le sucre, à des prix hautement compétitifs. L'objectif est de satisfaire pleinement le client et de renforcer sa fidélité.

Les objectifs stratégiques visés par Cevital se déclinent comme suit :

- Diversifier et élargir sa gamme de produits.
- Étendre la distribution de ses produits sur l'ensemble du territoire national.
- Mettre en place une filière locale d'oléagineux pour l'extraction directe d'huiles brutes.
- Encourager la production locale de graines oléagineuses à travers un soutien financier destiné aux agriculteurs.
- Moderniser ses installations industrielles afin d'augmenter les capacités de production.
- Positionner ses produits sur le marché international par le biais des exportations [26].

1.1.5 Activités

1. Agroalimentaire :

- Raffinage d'huiles végétales (tournesol, soja, colza).
- Production de margarines, sucre, boissons, conserves et autres produits alimentaires.
- Conditionnement et distribution des produits alimentaires.

2. Distribution :

- Gestion de grandes surfaces et de magasins à travers sa filiale Numidis (enseigne UNO).
- Importation et distribution de biens de consommation.

3. Industrie et construction :

- Fabrication de verre plat (à travers l'ex-entreprise italienne Mediterranean Float Glass).
- Production d'équipements ménagers et électroménagers via Brandt Algérie.
- Projets dans la sidérurgie, l'aluminium, et les matériaux de construction.

4. Logistique et transport :

- Gestion d'une plateforme logistique intégrée.
- Activités portuaires et de transport maritime pour ses produits.

5. Énergies renouvelables (en développement) :

- projet de dessalement de l'eau de mer .
- Investissements dans les technologies propres et les énergies vertes [26].

1.1.6 Le Développement Exceptionnel de Cevital

Depuis ses débuts, Cevital Agro-industrie a connu une croissance soutenue de 50 % par an, lui permettant de devenir un acteur incontournable dans le domaine agroalimentaire en Algérie. En satisfaisant une large part de la demande nationale, l'entreprise joue également un rôle clé dans la création d'emplois, avec environ 600 postes générés chaque année. Elle continue d'élargir ses activités en menant une stratégie dynamique de diversification et de mise en œuvre de projets innovants.

Cevital Agro-industrie est constitué de diverses unités de fabrication, notamment [9] :

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

1.1.7 Chronologie d'un Déploiement Produit Réussi

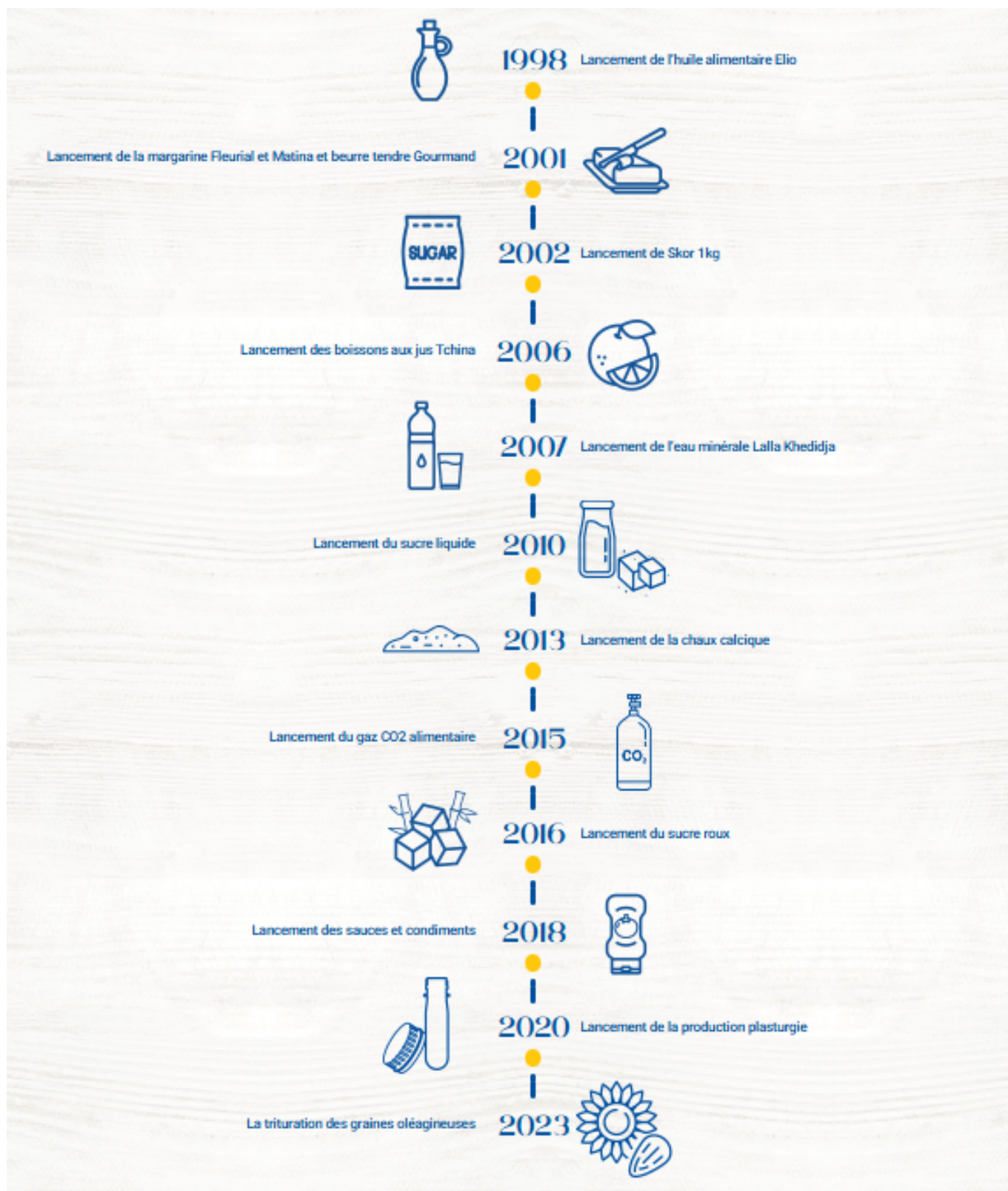


FIGURE 1.5 – Les produits réussis.

1.1.8 Les unités de production

Afin de mieux illustrer la diversité et la richesse de l'offre de Cevital Agro-industrie, les tableaux suivants présentent une classification détaillée des principales familles de produits commercialisés par l'entreprise. Cette classification regroupe les produits par grandes famille (huile, margarine, sucre, etc.), puis par sous-familles ou marques. Cette structuration permet non seulement de mieux comprendre l'organisation de la gamme, mais aussi de mettre en évidence la stratégie de segmentation mise en œuvre par Cevital pour répondre aux besoins variés du marché algérien [32].

1.1.8.1 Le complexe Bejaia :

Le complexe agro-industriel de Béjaïa, appartenant au groupe Cevital, est l'un des plus grands et modernes d'Algérie. Situé près du port de Béjaïa, il regroupe plusieurs unités stratégiques de production alimentaire, contribuant fortement à l'autosuffisance du pays [9].

- **Raffinerie d'huile** : la capacité de production est 1800 tonnes/jour.
- **Raffinerie de sucre** : la capacité de production 5000 tonnes/jour
- **Margarinerie** : la capacité de production est de 1200 litres/jour.

Famille	Code sous-famille	Désignation
Huile	ELIO	H.Elio II 1L
		H.Elio II 2L Ronde
		H.Elio II 3L Ronde
		H.Elio II 5L
	FLEURIAL	H.Fleurial 1L
		H.Fleurial 2L Ronde H.Fleurial 5L
FRIDOR	H.Fridor 1L	
	H.Fridor 2L Ronde	
	H.Fridor 3L Ronde	
	H.Fridor 5L	

TABLE 1.1 – Gamme de produits – Huile

Famille	Code sous-famille	Désignation
Sucre	Sucre blanc SKOR	Sachet 1kg, 2kg, 5kg, 10kg
		1kg verseur 750gr morceau
	Sucre roux SKOR	Sachet 1kg 700gr sachet zippé
	Sucre glace SKOR	700gr sachet zippé

TABLE 1.2 – Gamme de produits – Sucre

Famille	Code sous-famille	Désignation
Margarine	GRAISSE	Graisse 31/33 Graisse 34/36 Graisse 38/40 Graisse à 96 M.G Graisse Stearine de Palme
	MARGARINE	Marg. Feuilletage 500 grs Marg. Fleurial 250 grs Marg. Fleurial 500 grs Marg. Matina 400 grs Marg. Matina 500 grs
	Smen	Medina 1.8kg

TABLE 1.3 – Gamme de produits – Margarine



FIGURE 1.6 – Huile



FIGURE 1.7 – Sucre



FIGURE 1.8 – Margarine

1.1.8.2 COJEK El-kseur :

COJEK, unité du groupe Cevital depuis 2006 (situé à El Kseur (Béjaïa)), est spécialisée dans la production de jus de fruits **Tchina**, de conserves et de sauces à base de produits 100 % algériens, dans le respect des normes de qualité.



FIGURE 1.9 – Tchina



FIGURE 1.10 – Sauces, Mayonnaise, harissa

1.1.8.3 LLK Tizi – Ouzou :

LLK (Lalla Khedidja) est une unité de conditionnement d'eau minérale du groupe Cevital, située à Agouni Gueghrane (Tizi-Ouzou) et inaugurée en 2007. Elle exploite une source à plus de 2300 m d'altitude et produit jusqu'à 1600 palettes/jour d'eau minérale naturelle, embouteillée selon des normes strictes de qualité.



FIGURE 1.11 – L'eau minérale

1.2 Le processus de distribution de Cevital

La stratégie de distribution de CEVITAL dans le secteur agroalimentaire repose sur une approche de couverture maximale, essentielle pour les produits de grande consommation tels que les huiles végétales, le sucre et les boissons. Cette approche permet une grande visibilité des produits et assure leur large diffusion grâce à leur proximité avec les consommateurs.

Les objectifs de CEVITAL agro-alimentaire visent à garantir la disponibilité de l'ensemble de ses produits sur tout le territoire national. Pour atteindre cet objectif, l'entreprise a structuré le pays en trois zones géographiques (Est, Centre et Ouest), chacune dotée d'une plateforme. Ces zones ont ensuite été subdivisées en secteurs, chacun étant desservi par au moins un Centre Logistique Régional (CLR).

1.2.1 Définitions fondamentales

Avant de plonger spécifiquement dans le processus de distribution, il est important de définir certains termes couramment utilisés dans le domaine de la distribution au sein de CEVITAL.

- **Plateformes logistique :**

Une plateforme logistique est un site de transit où les marchandises sont reçues, triées et rapidement réexpédiées vers leur destination finale. Elle agit comme un nœud de coordination des flux entre fournisseurs et clients, avec un objectif de réduction des délais, flexibilité logistique et optimisation des coûts [8].

- **L'entrepôt :**

Un entrepôt est défini comme une installation logistique où sont stockées des marchandises en attente de distribution ou de transformation. Il joue un rôle crucial dans la chaîne d'approvisionnement en assurant la réception, le stockage, la préparation des commandes et l'expédition des produits [38].

- **Les CLR (centres logistiques régionaux) :**

Un Centre de Livraison Régional (CLR) est une plateforme logistique intermédiaire, située à proximité d'une zone géographique ciblée, dont le rôle principal est d'assurer la répartition rapide et efficace des marchandises vers les clients ou points de vente de cette région [38].

- **Le cross-docking :**

Le cross-docking est une stratégie logistique qui réduit le stockage en transférant directement les marchandises des quais de réception aux quais d'expédition, accélérant ainsi leur circulation et minimisant le temps passé en entrepôt [15].

- **keep contact**

Il s'agit d'un prestataire de services doté d'un centre d'appel, chargé de la gestion des commandes des clients de ses propres donneurs d'ordre, principalement CEVITAL [15].

1.2.2 Bases des installations logistiques

CEVITAL agro-alimentaire vise à assurer la disponibilité de ses produits à l'échelle nationale. Pour ce faire, le pays est divisé en trois zones géographiques (Est, Centre, Ouest), chacune disposant d'une plateforme. Chaque zone est ensuite subdivisée en secteurs, desservis par au moins un Centre Logistique Régional (CLR).

- **Plateformes :**

Les plateformes de stockage de **Cevital** sont des installations externes qui appartiennent exclusivement à l'entreprise. Elles sont réparties stratégiquement sur trois zones géographiques afin de garantir une couverture logistique efficace :

- **Centre** : la plateforme de Bouira, d'une capacité de 50000 palettes, dont 9 000 palettes sont réservées aux produits secs agroalimentaires.
- **Ouest** : la plateforme de Hassi Amer à Oran, avec une capacité 25000 palettes, dont 12000 palettes dédiées aux produits agroalimentaires.
- **Est** : la plateforme de El Khroub à Constantine, également dotée d'une capacité de 25000 palettes.

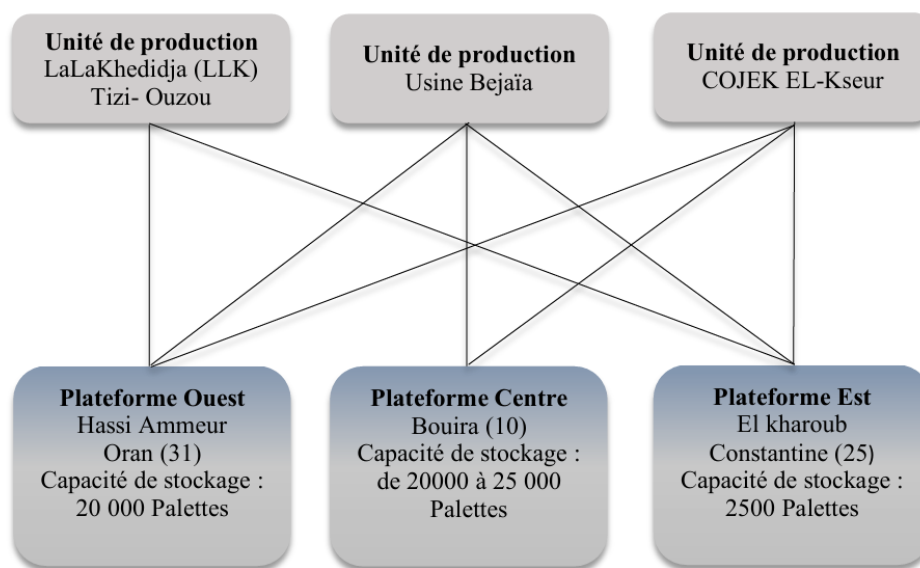


FIGURE 1.12 – les différentes plateformes de l'entreprise CEVITAL

- **Les CLR (centres logistiques régionaux) :**

Les Centres de Livraison Régionaux (CLR) font partie des stratégies mises en place par Cevital dès 2014. Leur objectif était de réduire la pression sur le complexe principal, de rapprocher la marchandise des clients et de renforcer la compétitivité de l'entreprise face au marché.

En 2019, le nombre de CLR est passé de 18 à 13. Chaque CLR dispose d'un représentant chargé de la gestion d'un portefeuille clients spécifique, ce qui signifie que chaque centre dessert sa propre clientèle.

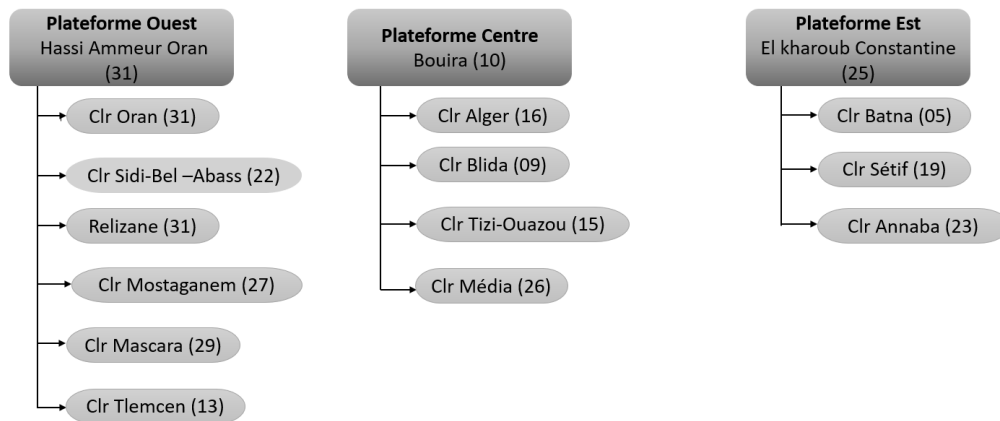


FIGURE 1.13 – les différents CLR de l'entreprise CEVITAL

1.2.3 Le schéma logistique de distribution de CEVITAL

Dans le système logistique de Cevital, les produits finis issus des trois unités de production sont d'abord transférés vers des plateformes de stockage régionales situées à Bouira (centre), Oran (ouest) et El Kharroub à Constantine (est). Ces plateformes servent de points de transit pour alimenter les (CLR), qui assurent ensuite la distribution finale aux différents distributeurs à travers le pays. Ce schéma logistique vise à optimiser les flux industriels et de distribution, en réduisant les délais de livraison et en améliorant la disponibilité des produits sur le marché national [15].

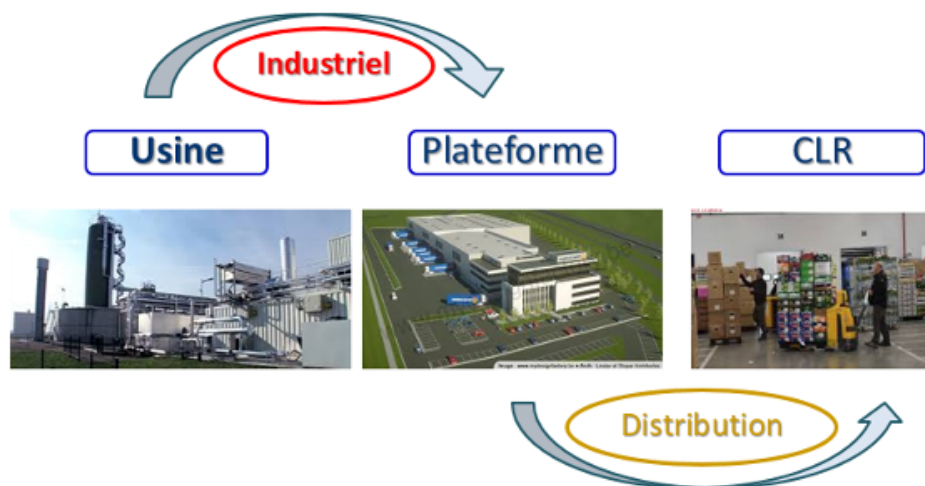


FIGURE 1.14 – Le schéma logistique de distribution

1.2.4 Évolution de la stratégie de distribution – Du modèle DIAPASON 1 à DIAPASON 2

Dans le cadre de sa politique logistique, l'entreprise a successivement adopté deux modèles distincts de distribution : **DIAPASON 1** et **DIAPASON 2**, illustrés dans la figure 1.15.

DIAPASON 1 Ce modèle s'appuie sur une stratégie en deux phases : dans un premier temps, les unités de production alimentent les plateformes logistiques, qui ont pour rôle de constituer un stock de sécurité. Ces plateformes assurent ensuite la redistribution des marchandises vers les *centres de distribution régionaux (CLR)*. Ce système permettait une meilleure réactivité face aux commandes clients, une réduction des délais grâce à la proximité avec les zones desservies, ainsi qu'une disponibilité constante des produits.

Cependant, ce modèle présentait des inconvénients majeurs, notamment des *coûts logistiques élevés* dus à la multiplication des opérations de transport et de stockage intermédiaire.

Pour y remédier, l'entreprise a mis en place une nouvelle organisation :

DIAPASON 2. Ce second modèle vise à *supprimer l'étape des plateformes logistiques* en réorganisant les flux. Les produits sont désormais acheminés *directement des unités de production vers les centres de distribution régionaux*, éliminant ainsi les coûts liés aux stocks tampons et à la manutention intermédiaire. Cette révision du circuit logistique permet de réduire les coûts globaux tout en maintenant une qualité de service satisfaisante.

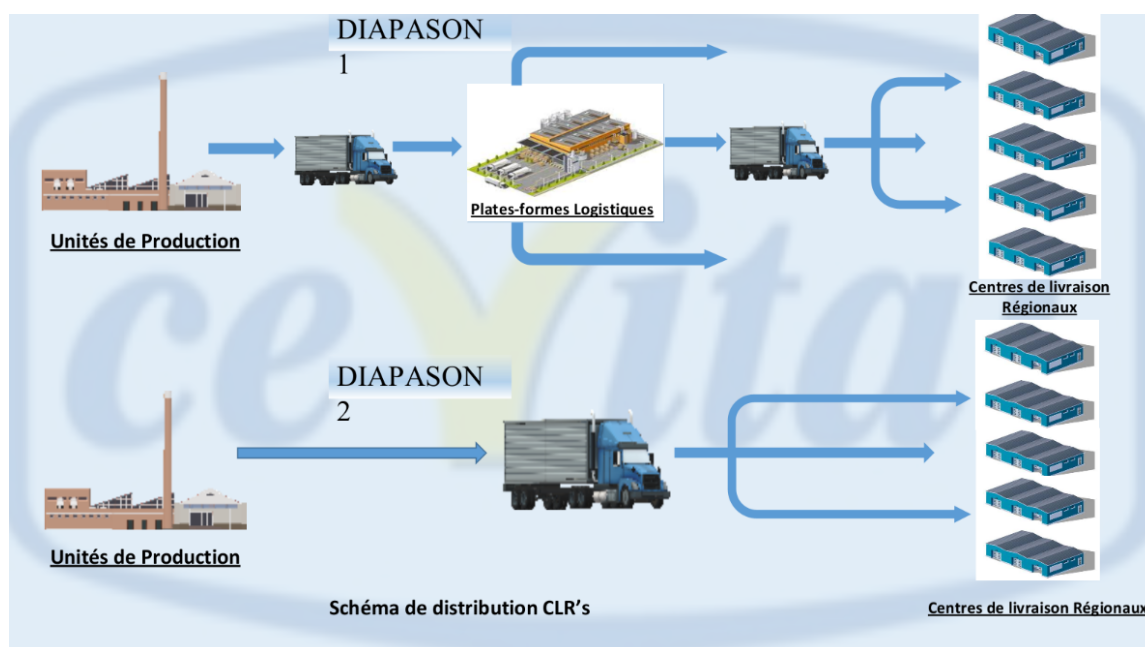


FIGURE 1.15 – Modèles de distribution *DIAPASON 1* et *DIAPASON 2*

1.3 Typologie ou Catégories de la clientèle de Cevital

1. Les clients CLR :

Ils désignent les clients qui se procurent directement leurs produits auprès des CLR auxquels ils sont rattachés. Cela inclut les grossistes ainsi que les détaillants.

Les Grossistes : Ils agissent comme des intermédiaires entre le producteur et le détaillant. Leur rôle est de réduire les coûts logistiques en simplifiant l'approvisionnement des détaillants.

Le Détaillant : Il se trouve entre le grossiste et le consommateur final. Dans ce système de distribution, c'est au détaillant de se procurer les produits auprès des grossistes.

Les grossistes sont représentés par **Keep Contact**, un prestataire de **CEVITAL**, qui dispose d'une base de données incluant l'ensemble des clients de l'entreprise. Ses principales missions sont les suivantes :

- La gestion quotidienne des commandes des grossistes.
- La transmission du carnet de commandes ou de l'IA (intention d'achat) aux structures concernées.
- La communication des actions promotionnelles aux clients.
- La transmission des réclamations et doléances des clients.

2. Les clients hors CLR :

Il s'agit de l'ensemble des entreprises et commerçants qui se fournissent en produits, soit directement à partir du complexe, soit au niveau des plateformes. Dans ce contexte, deux types de programmes existent : le B to B (Business to Business) et le B to C (Business to Customer).

B to B : Ce sont des entreprises qui utilisent les produits de **CEVITAL** comme matières premières. Par exemple, le sucre utilisé pour la fabrication de chocolat ou de boissons.

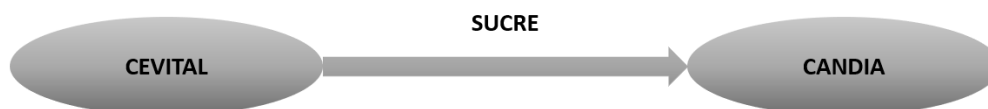


FIGURE 1.16 – Circuit direct B to B

B to C : Il s'agit des clients finaux qui consomment ces produits, souvent en raison de l'indisponibilité des CLR dans leur région. Un exemple est celui des grossistes de Boussaâda.



FIGURE 1.17 – Circuit indirect B to C

1.4 position du problème

Au cours de notre stage , nous avons été confrontées à un enjeu logistique majeur : *réduire significativement les coûts, tout en assurant une réponse efficace aux besoins des clients finaux.*

Face à des données initiales incomplètes, nous avons orienté notre démarche vers une modélisation rigoureuse, capable de guider les décisions en matière d'organisation logistique

au sein de l'entreprise.

Notre travail a ainsi consisté à concevoir une stratégie d'allocation optimale des demandes clients aux centres logistiques régionaux, en intégrant la possibilité d'un redimensionnement partiel de ces derniers. Ce redimensionnement inclut :

- L'ajustement des capacités existantes,
- La consolidation éventuelle des ressources,
- La création d'un nouveau centre de distribution, si cela s'avère pertinent.

L'objectif principal est d'optimiser la distribution des produits, en minimisant les coûts de transport et d'exploitation, tout en respectant les contraintes de capacité et en assurant une couverture territoriale efficace.

Les principales problématiques que nous avons abordées sont :

- **Quels centres logistiques faut-il maintenir, fermer ou ouvrir pour optimiser la structure du réseau ?**
- **Quelle localisation permettrait serait la plus adéquate pour implanter un nouveau centre logistique si sa création engendre une réelle valeur ajoutée ?**
- **Est-il économiquement pertinent de remplacer deux centres existants par un seul centre de fusion (centre Z)**
- **Où implanter géographiquement le centre Z pour minimiser les coûts logistiques tout en respectant les contraintes opérationnelles ?**

Conclusion

L'analyse conduite autour de l'entreprise CEVITAL nous a permis de mettre en évidence ses caractéristiques structurelles ainsi que les défis logistiques auxquels elle fait face. Cette mise en contexte a constitué une base solide pour la formulation et l'implémentation d'une approche méthodologique d'optimisation partielle du réseau logistique .

L'objectif final de notre travail est de fournir des recommandations concrètes, durables et économiquement justifiées ,permettant à l'entreprise :

- d'améliorer sa performance logistique,
- de mieux maîtriser ses coûts,
- et d'accroître sa réactivité face aux fluctuations de la demande

2

Réseaux logistiques de la distribution

Introduction

La logistique est un domaine stratégique qui assure la gestion efficace des flux de matériaux, d'informations et de ressources entre les sites de production et les points de consommation, dans le but de satisfaire les besoins des clients finaux. Elle joue un rôle clé dans la performance des chaînes d'approvisionnement, en contribuant simultanément à la réduction des coûts, à l'amélioration de la qualité de service et à l'augmentation du niveau de satisfaction client [35].

Dans cette perspective, ce chapitre explore les différents types de logistique, les principes fondamentaux de la gestion de la chaîne logistique (supply chain), ainsi que les approches d'optimisation des systèmes logistiques. Une attention particulière est portée aux problématiques de localisation, et notamment à la détermination des emplacements optimaux des installations logistiques.

Pour modéliser ces problématiques complexes, nous utilisons des outils mathématiques puissants, notamment la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) et la programmation non linéaire mixte en nombres entiers (MINLP). On introduit également la logique de l'optimisation multicritère, qui permet de prendre en compte plusieurs objectifs parfois conflictuels (coût, distance, couverture, ...).

2.1 La logistique

Le terme **logistique** tire son origine du grec (LOGISTIKOS), évoquant à la fois l'art du raisonnement, du calcul et de la gestion. Il reflète les notions essentielles de réflexion, de stratégie, de planification et d'optimisation.

À l'origine, la logistique est un concept militaire désignant l'organisation des opérations hors combat : gestion des troupes, des approvisionnements et des déplacements. Elle

visait à garantir la présence des forces au bon moment et au bon endroit, en assurant la coordination des moyens physiques comme le transport, le stockage et la manutention [42].

Définition 2.1.1. *La logistique*

La logistique est l'activité ayant pour but la bonne gestion des flux physiques de marchandises entre les acteurs économiques [32].

2.1.1 Historique

La logistique, qui trouve ses origines dans le domaine militaire, a d'abord été utilisée pour approvisionner les forces armées pendant les guerres mondiales, en assurant la fourniture des moyens nécessaires à leur survie, leur déplacement et leur combat. Après la seconde guerre mondiale, ce concept s'est élargi au secteur industriel et est devenu un élément clé pour améliorer les performances des entreprises.

De 1950 à 1970, l'économie était centrée sur l'offre, avec des entreprises produisant principalement sur stock pour réduire les coûts de production. Cependant, cette approche avait des inconvénients majeurs, comme la gestion de stocks coûteux et le manque d'innovation produit. Entre 1970 et 1975, la demande a dépassé l'offre, poussant les entreprises à se focaliser essentiellement sur la production, sans accorder une attention suffisante aux délais de livraison ni aux besoins spécifiques du marché.

De 1975 à 1980, les entreprises ont commencé à intégrer leurs activités en réponse à la concurrence croissante. Dans les années 1980, avec la mondialisation, l'intensification de la concurrence et les nouvelles exigences de performance. Les entreprises ont dû produire des produits de qualité à des prix compétitifs. Elles ont alors adopté des méthodes comme le "juste à temps" pour réduire les stocks tout en optimisant l'approvisionnement et la gestion de la relation client-fournisseur, marquant ainsi l'émergence de la Supply Chain Management (SCM).

Aujourd'hui, la SCM englobe une gestion intégrée des fonctions logistiques, incluant le transport, la distribution physique et la gestion des relations avec les fournisseurs. Le champ d'étude des chercheurs s'est progressivement élargi, passant de l'atelier à l'usine, puis à l'ensemble de la chaîne logistique, dans le but d'optimiser globalement les systèmes grâce aux avancées technologiques. La SCM moderne inclut la conception de la chaîne logistique, la gestion des risques, la planification des activités, ainsi que la gestion des stocks et des transports, et utilise des outils d'aide à la décision pour maximiser les performances [11].

Période	Événements historiques et économiques	Évolution logistique
1940–1945	Seconde guerre mondiale	Logistique militaire appliquée au débarquement : coordination des activités dans un système unique
1950–1960	Développement du marketing aux USA et en Europe	Le service à la clientèle devient un outil de rentabilité des entreprises

1970–1980	Développement des techniques logistiques telles que MRP et JAT	Intégration des opérations logistiques Relations étroites entre la logistique et les autres fonctions de l'entreprise
1990	Accroissement significatif du recours à l'informatique dans le management logistique	L'informatique permet d'intégrer les opérations logistiques et d'assurer des prises de décision rapides et optimales

TABLE 2.1 – Historique de l'évolution de la logistique

2.1.2 Les activités de la logistique

La logistique englobe un large éventail de flux, aussi bien internes à l'entreprise (liés à la production et au stockage) qu'externes (liés à la distribution et à la relation avec les clients). Les activités logistiques sont variées. Une entreprise doit assurer la gestion de ses principales fonctions logistiques, en coordonnant, d'une part, l'approvisionnement avec ses fournisseurs, et d'autre part, la distribution de ses produits vers ses points de vente. Les activités logistiques essentielles comprennent donc : l'approvisionnement, la production et la distribution [35].

- **Approvisionnement**

C'est une activité logistique visant à répondre aux besoins de l'entreprise en matières premières et en produits nécessaires à son fonctionnement. Il établit un lien entre le demandeur (l'entreprise) et les fournisseurs.

- **Production**

La fonction production consiste à produire les quantités de produits demandées par les clients, au moindre coût, avec une qualité optimale et dans les délais requis. Une bonne prévision des demandes des clients et l'amélioration des outils de production sont donc essentielles.

- **Distribution**

C'est une activité essentielle de la logistique, car elle permet à une entreprise de mettre ses produits à la disposition de ses clients, là où la demande existe. Elle a pour but de faire arriver les produits aux bons endroits, en quantités suffisantes, de manière efficace et économique.

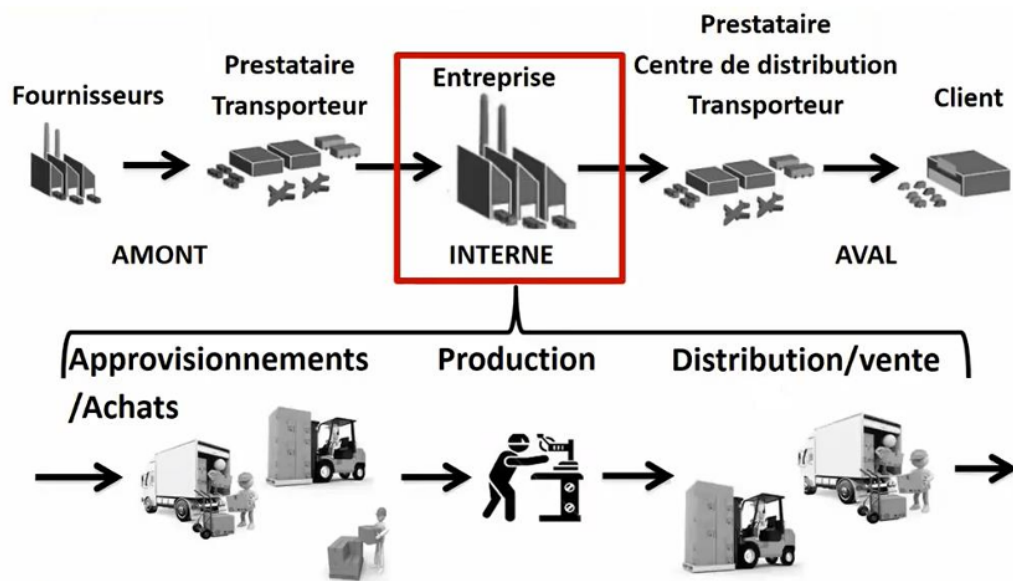


FIGURE 2.1 – Les activités de la logistique

2.1.3 Les principaux types de la logistique

Il existe plusieurs types de la logistique :

- **Logistique d’approvisionnement industriel** : il s’agit d’organiser l’acheminement des matières premières, des pièces et des sous-ensembles nécessaires vers les sites de production.
- **Logistique d’approvisionnement général** : elle concerne l’approvisionnement en biens courants (comme les fournitures de bureau) pour les entreprises de services et les administrations.
- **Logistique de production** : cette logistique vise à livrer les composants directement sur les lignes de production, tout en s’intégrant de plus en plus dans la planification globale de la production.
- **Logistique de distribution** : elle prend en charge la livraison des produits finis jusqu’au client final, que ce soit en point de vente ou en livraison à domicile. elle peut être mise en œuvre selon deux approches :
 - **Distribution directe** : les produits sont livrés directement par le fabricant aux consommateurs finaux, sans passer par des intermédiaires.
 - **Distribution indirecte** : les produits transitent d’abord par des intermédiaires tels que les grossistes ou les détaillants, qui se chargent ensuite de les vendre au client final.
- **Logistique militaire** : elle gère le déplacement des troupes et de leur matériel vers les zones d’opérations.
- **Logistique de soutien** : issue du domaine militaire, elle regroupe toutes les activités nécessaires au maintien opérationnel d’équipements complexes, et s’applique aujourd’hui aussi à des secteurs comme l’aéronautique ou l’énergie.
- **Service après-vente (SAV)** : c’est une forme de logistique de soutien orientée vers le client, souvent externalisée auprès de spécialistes appelés Third Party Maintenance (prestataires de maintenance tiers).

- **Reverse logistics (logistique inverse)** : elle couvre la gestion des flux de retour, que ce soit pour des produits défectueux, des réparations, ou encore des déchets industriels [35].

2.1.4 Rôle et importance de la logistique

La logistique vise à :

- Assurer une gestion économique de la production en évitant les ruptures de stock coûteuses, grâce à une information continue sur l'état du marché.
- Réduire les niveaux de stock en accélérant la rotation des marchandises entreposées.
- Répondre de manière efficace à une demande caractérisée par une forte volatilité.
- Garantir la disponibilité du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût possible de distribution.
- Surveiller et améliorer la qualité de la chaîne logistique, de la production à la consommation, afin d'atteindre l'objectif de « zéro défaut », aussi bien pour le produit livré que pour le service associé [2].

2.2 La chaîne logistique (Supply Chain)

2.2.1 Définition

Le terme chaîne logistique provient de l'anglais "*Supply Chain*". Dans la littérature, de nombreuses définitions de la chaîne logistique ont été proposées :

Définition 2.2.1. « Une chaîne logistique est une série d'activités et d'organisations par lesquelles passent des matériaux dans leurs parcours, à partir des fournisseurs initiaux jusqu'aux clients finaux » [16].

Définition 2.2.2. « Une chaîne logistique représente l'ensemble des acteurs économiques qui fournissent des produits ou des services aux marchés » [5].

Définition 2.2.3. « Une chaîne logistique est un réseau regroupant toutes les organisations impliquées dans l'approvisionnement, la production, la distribution ou la vente d'un produit au client final. Elle constitue un réseau complexe de flux, à la fois physiques (matériels et financiers) et non physiques (informations). Une décision prise en un point du réseau peut entraîner des répercussions imprévisibles sur d'autres parties du système » [16].

Définition 2.2.4. « Les chaînes logistiques sont des systèmes complexes en raison de la présence de multiples organisations (semi-) autonomes, de fonctions variées et de groupes de personnes évoluant dans un environnement dynamique. Étant donné les ressources limitées des entreprises en termes de temps et d'efforts, la gestion doit déterminer le niveau de partenariat le plus adapté pour chaque acteur au sein de la chaîne logistique » [?].

Elle peut être définie comme un réseau d'installations chargé d'assurer l'approvisionnement en matières premières, leur transformation en composants puis en produits finis, ainsi que la distribution de ces produits vers le client final [Lee et al., 1993]. Selon l'AFNOR, la chaîne logistique correspond à une succession d'événements, incluant des transformations, des déplacements ou des mises en place, chacun contribuant à la création de valeur [27].

Giard souligne que la chaîne logistique repose sur trois principes fondamentaux :

- La satisfaction du client résulte de l'exécution coordonnée de processus tels qu'approvisionner, produire et livrer.
- La performance logistique dépend autant de la gestion des flux physiques que de celle des flux d'information. Ces derniers circulant généralement en sens inverse des flux physiques.
- Les flux financiers remontent la chaîne en sens opposé aux flux physiques [20].

2.2.2 Les flux d'une chaîne logistique

On distingue trois types de flux échangés entre les membres d'une même chaîne logistique : le flux d'information, le flux physique et le flux financier [39].

1. **Flux d'information** : Le flux d'information, essentiel à la chaîne logistique, englobe les données échangées et les décisions prises. Il permet aux gestionnaires de mieux coordonner leurs actions en comprenant le fonctionnement des autres maillons. Des outils comme les ERP et les EDI facilitent ces échanges entre les partenaires.
2. **Flux physique** : Les flux physiques, ou flux de produits, désignent la circulation des matières (composants, produits finis ou semi-finis) au sein de la chaîne logistique. Ils se structurent autour de trois étapes clés : production, stockage et transport, souvent assurées par des acteurs spécialisés. Ces flux sont essentiels au fonctionnement global de la chaîne.
3. **Flux financier** : Les Flux financiers constituent les échanges des valeurs monétaires. Ces flux sont créés avec les différentes activités que subissent les flux physiques, tel que la production, le transport, le stockage, le recyclage, etc. Ils sont également utilisés comme un indicateur de performance du fonctionnement de ces activités.

La notion de chaîne logistique implique que les entreprises tiennent compte de leur environnement à travers ces trois types de flux essentiels. Cet environnement peut évoluer ou se transformer en fonction des objectifs poursuivis et des alliances établies entre les différents acteurs.

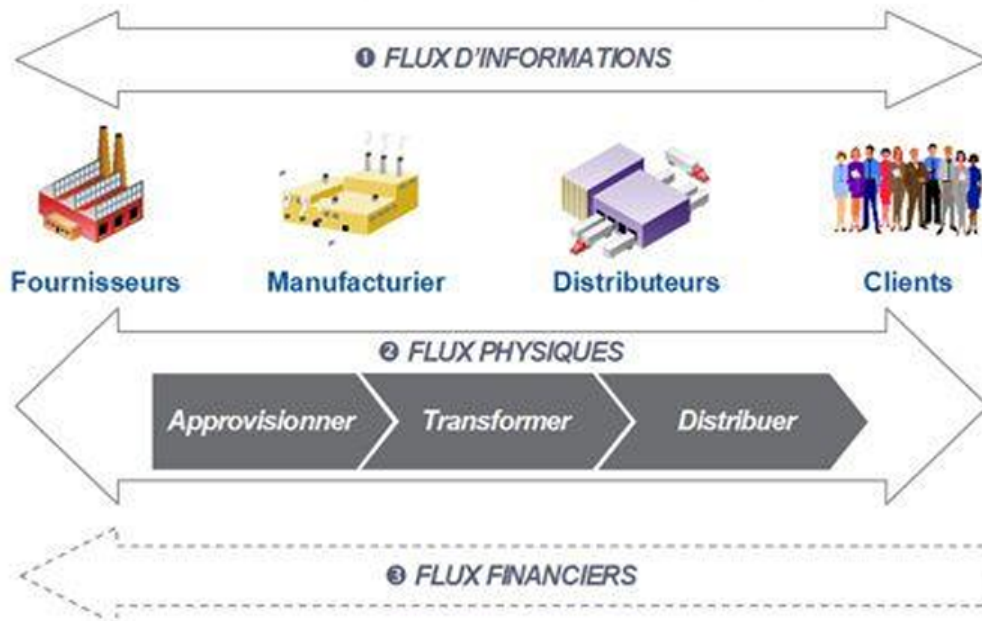


FIGURE 2.2 – Les flux d'une chaîne logistique

2.3 Optimisation des fonctions de la chaîne logistique

L'optimisation de la chaîne logistique vise à coordonner et à assurer une gestion efficace de l'ensemble des étapes logistiques telles que l'approvisionnement, le stockage ou le transport dans le but d'améliorer la maîtrise des flux, de réduire les coûts logistiques et de renforcer les performances de l'organisation. Cependant, cette optimisation se heurte à plusieurs défis majeurs, essentiels pour accroître l'efficacité opérationnelle et limiter les dépenses. Ci-dessous, quelques principaux enjeux auxquels elle doit faire face [12].

2.3.1 Optimisation du transport

Ce défi consiste souvent à choisir les modes de transport les plus économiques (camion, train, avion, bateau), tout en minimisant les coûts globaux, notamment ceux liés au carburant, aux péages et à la main-d'œuvre. Il est impératif de prendre en compte des contraintes telles que les délais de livraison et les capacités de chargement afin d'assurer la satisfaction des clients. Il s'agit donc d'optimiser les coûts de transport tout en respectant les contraintes temporelles et logistiques [12].

2.3.2 Optimisation du stockage

L'optimisation du stockage vise à minimiser les coûts associés à la conservation des produits tout en maximisant l'utilisation de l'espace disponible. Cela implique un suivi rigoureux des stocks afin d'éviter à la fois les excédents et les ruptures, ce qui nécessite une gestion précise des prévisions de la demande et des cycles de réapprovisionnement. Il s'agit donc de réduire les coûts de stockage tout en garantissant la disponibilité des produits [12].

2.3.3 Optimisation de la gestion des stocks

Cela consiste à déterminer les niveaux de stock optimaux pour chaque produit afin de limiter les coûts globaux tout en maintenant un bon niveau de service client. Pour ce faire, des modèles tels que le modèle de réapprovisionnement continu (EOQ) ou le modèle de gestion des stocks à deux niveaux sont couramment utilisés. L'objectif est donc de réduire les niveaux de stock tout en évitant les ruptures [12].

2.3.4 Optimisation des réseaux logistiques

L'optimisation des réseaux logistiques vise à concevoir des systèmes d'approvisionnement et de distribution efficaces, en tenant compte des sites de production, des entrepôts, des centres de distribution et des points de vente. Des modèles mathématiques sont utilisés pour déterminer les emplacements optimaux des installations ainsi que les flux de produits entre elles, dans le but de minimiser les coûts globaux de la chaîne logistique.

Il s'agit de concevoir et configurer des réseaux logistiques de manière à maximiser leur efficacité opérationnelle [12].

2.3.5 Optimisation des routes et des itinéraires

L'objectif est de sélectionner les itinéraires les plus efficaces pour la livraison des marchandises, en optimisant les distances, les coûts (carburant, temps) et les conditions de circulation, afin de réduire les déplacements et les dépenses opérationnelles dans le respect des délais [12].

2.4 Conception des chaînes logistiques (Supply Chain Design)

La conception d'une chaîne logistique s'étend généralement sur plusieurs étapes, allant de l'approvisionnement jusqu'à la distribution finale. Dans la phase d'approvisionnement, le décideur doit identifier et sélectionner les fournisseurs capables de fournir les matières premières, les composants et les produits semi-finis nécessaires à l'alimentation des usines. Au niveau de la production, il est essentiel de choisir les emplacements optimaux pour les usines afin d'assurer des activités performantes et rentables. Quant à la distribution, une organisation efficace impose de déterminer le nombre et les localisations des centres de distribution, en respectant des contraintes économiques, sociales et environnementales, tout en cherchant à minimiser les coûts, maximiser la satisfaction des clients et réduire l'impact écologique (par exemple, en limitant la consommation de carburant liée au transport).

La conception d'une chaîne logistique implique la prise de décisions à différents horizons temporels (court, moyen et long terme) et se décline en trois niveaux :

- Décisions stratégiques.
- Décisions tactiques.
- Décisions opérationnelles.

L'objectif principal est d'optimiser les investissements, réduire les coûts opérationnels tout au long de la chaîne et satisfaire au mieux les besoins des clients. Tout cela sous des contraintes économiques, sociales et environnementales [3].

2.4.1 Décisions au niveau stratégique

La **gestion stratégique** joue un rôle clé dans la conception de la chaîne logistique. Elle inclut des décisions essentielles telles que la *localisation des sites*, la *définition des rôles* et des *missions* des différents sites, le choix des *modes de transport*, les *choix technologiques* et l'*affectation des produits* aux différents sites. Ce niveau décisionnel se concentre principalement sur plusieurs axes importants :

- Le *choix des fournisseurs*.
- Le *nombre*, les *localisations* et les *capacités des sites manufacturiers*.
- L'*affectation des produits* aux installations ouvertes dans la chaîne.
- L'*ouverture* ou la *fermeture* de certaines installations.
- Les *moyens de transport* à utiliser.
- La *quantité de matières* à allouer à chaque site (fournisseur, usine, stock, client, etc.).

2.4.2 Décisions au niveau tactique

Les décisions **tactiques** portent sur des horizons de temps à moyen et long terme (quelques semaines à quelques mois). Elles sont prises par les *cadres de production* et les *chefs d'ateliers* pour déployer la stratégie définie par l'entreprise. Elles concernent notamment la coordination des opérations et la gestion des stocks, réparties en trois interfaces :

Interface client/fournisseur :

- Taille des lots d'approvisionnement.
- Points de commande associés à chaque fournisseur.
- Délais d'approvisionnement.
- Niveaux de stocks.

Interface production/distribution :

- Taille des lots de production.
- Délais de production.
- Délais de stockage des produits semi-finis.

Interface stock/distribution :

- Taille optimale des lots d'expédition.
- Politique de distribution optimale (directe ou via les centres de distribution).

2.4.3 Décisions au niveau opérationnel

Les décisions **opérationnelles** visent à assurer le fonctionnement quotidien de la chaîne. Elles comprennent :

- La gestion des *stocks*.

- La gestion de la *main-d'œuvre*.
- La gestion des *équipements*.
- L'*ordonnancement de la production*.

2.5 Les outils de modélisation

Pour résoudre efficacement les problèmes complexes liés à l'optimisation des réseaux logistiques, il est essentiel de recourir à des outils de modélisation mathématique adaptés. Ces outils permettent de formaliser les décisions à prendre (ouverture de centres, affectation des clients, dimensionnement des capacités, etc.) sous forme de modèles d'optimisation, qui peuvent ensuite être résolus à l'aide de méthodes exactes ou approchées. Dans cette section, nous présentons les principales approches utilisées, notamment la Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE), la Programmation Non Linéaire Mixte (MINLP), ainsi que les fondements de l'optimisation multicritère.

2.5.1 Programmation Linéaire en Nombres Entiers(PLNE)

La **programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)** est une méthode de la recherche opérationnelle utilisée pour modéliser des problèmes d'optimisation dans lesquels certaines ou l'ensemble des variables de décision doivent prendre des valeurs entières. Contrairement à la programmation linéaire classique, qui autorise des variables continues, la PLNE impose une restriction discrète, rendant le problème plus difficile à résoudre [34].

Une formulation générale d'un problème de PLNE s'écrit comme suit [6] :

$$\begin{aligned} & \text{Minimiser} && c^T x \\ & \text{sous les contraintes} && Ax \leq b \\ & && x_i \in \mathbb{Z}, \quad \forall i \in I \\ & && x_j \in \mathbb{R}, \quad \forall j \notin I \end{aligned}$$

où :

x : le vecteur des variables de décision,

c : le vecteur des coefficients de la fonction objectif,

A : la matrice des contraintes,

b : le vecteur des ressources disponibles,

I : l'ensemble des indices des variables entières.

La PLNE est particulièrement adaptée à des problèmes où les décisions sont de nature binaire (par exemple : ouvrir/fermer un site, affecter ou non un client à un centre, choisir une route ou non), comme c'est le cas dans les problèmes de localisation-allocation, d'ordonnancement ou de tournées de véhicules [36].

2.5.1.1 Les Méthodes de résolution de PLNE

- **Méthodes Exactes** : Branch-and-Bound, Branch-and-Cut, Cutting Planes (Plans de coupe), sont des techniques d'optimisation garantissant une solution optimale globale en un temps fini, grâce à une exploration systématique de l'espace des solutions [34].
- **Méthodes Heuristiques** : méthode gloutonne (greedy), recherche locale simple, algorithmes constructifs. Les heuristiques sont des méthodes de résolution qui visent à produire rapidement une solution satisfaisante (mais pas nécessairement optimale) pour des problèmes d'optimisation complexes [19].
- **Méthodes Métaheuristiques** : recuit simulé, algorithmes génétiques, recherche tabou, recherche à voisinage variable (VNS), Les métaheuristiques sont des heuristiques avancées qui explorent l'espace de recherche de manière intelligente, en équilibrant l'exploration globale et l'exploitation locale, souvent inspirées par des phénomènes naturels, afin d'éviter les minima locaux et améliorer les solutions [40].

2.5.2 Programmation Non Linéaire Mixte

La **programmation Non linéaire Mixte** est une classe de problèmes d'optimisation qui combine des variables entières et des variables continues, avec des fonctions objectif et/ou des contraintes non linéaires [34].

Une formulation générale d'un problème de MINLP s'écrit comme suit [21] :

$$\begin{aligned} \min_{x \in \mathbb{R}^n, y \in \mathbb{Z}^p} \quad & f(x, y) \\ \text{sous contraintes} \quad & g_i(x, y) \leq 0 \quad \forall i \in I \\ & h_j(x, y) = 0 \quad \forall j \in J \\ & x \in X \subseteq \mathbb{R}^n, \quad y \in Y \subseteq \mathbb{Z}^p \end{aligned}$$

où :

$f(x, y)$: Fonction objectif non linéaire (souvent continue, parfois non convexe).

$g_i(x, y)$: Contraintes d'inégalités non linéaires,

$h_j(x, y)$: Contraintes d'égalités non linéaires,

x : Variables continues,

y : Variables entières (binaires ou générales),

X, Y : Ensembles admissibles des variables, souvent bornés.

2.5.2.1 Les Méthodes de résolution de MINLP

- **Méthodes exactes** : Branch-and-Bound non linéaire, Branch-and-Cut, Outer Approximation (OA), Generalized Benders Decomposition (GBD).
- **Méthodes hybrides (exacte + heuristique)** : Successive Linear Programming avec Branch-and-Bound, méthodes basées sur le Lagrangien augmenté.
- **Méthodes métaheuristiques** : Recuit simulé, recherche tabou, algorithmes génétiques, etc. Elles sont utilisées pour obtenir des solutions approchées en un temps raisonnable [7].

2.5.2.2 Les solveurs de résolution

- **CPLEX (IBM ILOG CPLEX)** : solveur commercial très performant pour les PLNE, PLMI, et l'optimisation quadratique. Il se base sur des méthodes exactes avancées telles que Branch-and-Bound, Branch-and-Cut et les plans de coupe. Des API sont disponibles en C++, Python et Java. CPLEX est largement utilisé dans l'industrie et la recherche opérationnelle [24].
- **Gurobi** : solveur commercial rapide et efficace pour les PLNE, PLMI, problèmes quadratiques et coniques. Il utilise des méthodes exactes avancées ainsi que des heuristiques intégrées. Interfaces disponibles en Python, C++, Java, Matlab [23].
- **GLPK (GNU Linear Programming Kit)** : solveur open source destiné aux PLNE et PLMI. Moins performant sur les problèmes de grande taille. Principalement utilisé dans l'enseignement et les projets open source [31].
- **SCIP** : solveur académique performant pour les PLNE et MINLP (Mixed-Integer Nonlinear Programming). Implémente un Branch-and-Cut avancé. Gratuit pour un usage académique [1].
- **Xpress-MP** : solveur commercial concurrent de CPLEX et Gurobi. Supporte les PLNE, PLMI et l'optimisation quadratique. Dispose de multiples interfaces de programmation (APIs) [18].
- **BARON** : solveur très performant pour les MINLP, garantissant l'optimalité globale. Utilise des techniques de branchement, de réduction et de convexification [41].

2.5.3 L'optimisation multicritère (multi-objectifs)

Un problème est qualifié de multiobjectif lorsqu'il implique plusieurs fonctions objectifs à optimiser simultanément. L'optimisation multicritère vise à identifier des solutions qui équilibrent plusieurs objectifs souvent conflictuels, en recherchant des compromis acceptables plutôt qu'une solution unique optimale. Contrairement à l'optimisation classique, elle prend en compte plusieurs fonctions objectif simultanément [14]. Un problème d'optimisation multiobjectif peut être formulé comme suit [10] :

$$\begin{aligned} \min F(x) \quad \text{où } F(x) = (f_0(x), f_1(x), \dots, f_m(x)) \\ \text{sous contraintes : } G(x) \leq 0 \end{aligned} \tag{1.1}$$

avec

- $x \in \mathbb{R}^n$: vecteur des variables de décision,
- $F(x) \in \mathbb{R}^m$: vecteur des fonctions objectifs à minimiser, avec $m \geq 2$,
- $G(x) \in \mathbb{R}^p$: ensemble des contraintes.

À chaque solution x dans l'espace de décisions est associé un vecteur objectif z dans l'espace des objectifs tel que :

$$z = F(x) = (f_0(x), f_1(x), \dots, f_m(x))$$

2.5.3.1 Méthodes de résolutions multicritère (multi-objectifs)

- 1 - **Méthode de pondération** : Cette méthode consiste à combiner tous les objectifs en une seule fonction à optimiser, en affectant à chacun un poids représentant son importance relative. Le problème multicritère devient ainsi un problème mono-objectif. En faisant varier les poids, on peut obtenir différentes solutions, chacune représentant un compromis entre les critères.
- 2 - **Méthode par contraintes (*méthode ε -contrainte*)** : Cette approche consiste à choisir un objectif principal à optimiser, tandis que les autres objectifs sont considérés comme des contraintes assorties de seuils fixés. En modifiant ces seuils, il est possible d'explorer plusieurs compromis et d'approcher le front de Pareto.
- 3 - **Méthodes évolutionnaires** : Ces méthodes s'appuient sur des algorithmes inspirés des mécanismes de l'évolution, comme les algorithmes génétiques. Elles permettent de générer un ensemble de solutions optimales (solutions de Pareto) dans un seul processus d'exploration. Elles sont particulièrement adaptées aux problèmes complexes et non linéaires impliquant plusieurs objectifs logistique [33].

2.6 Le problème de localisation-allocation

Dans la gestion des chaînes logistiques, la recherche opérationnelle aborde divers problèmes, parmi lesquels se trouvent le problème de localisation et d'allocation. Les décisions relatives à ces deux aspects jouent un rôle crucial dans la planification stratégique de nombreuses entreprises, qu'elles soient privées ou publiques. Ces deux décisions sont souvent prises simultanément.

- **Localisation** : où faut-il mettre les sites ? (et éventuellement de quel nombre et de quelle taille) [?]. Autrement dit Il s'agit de décider où placer des ressources ou des installations (par exemple, des centres de production, des entrepôts, des magasins) pour desservir une demande donnée [28].
- **Allocation** : à partir de chaque site, quel sous-ensemble de demande devrait être servi ? (une fois les installations sont localisées). Autrement dit, il faut déterminer comment allouer la demande de manière optimale à ces installations . Cela peut concerner des clients, des zones géographiques ou des marchés spécifiques [28].

L'objectif des modèles de localisation-allocation est donc de déterminer le nombre et les emplacements optimaux des points de vente, tout en affectant les consommateurs aux magasins correspondants, afin de définir les capacités de service les plus efficaces [4].

2.6.1 Influence de certains facteurs sur le problème de localisation-allocation

Certains facteurs clés influencent la structure et la complexité du problème de localisation-allocation, ainsi que sur la qualité des solutions obtenues.

Facteurs liés au clients

Le problème de localisation-allocation s'appuie sur des données liées à la position, au nombre et aux caractéristiques de la demande des clients qui sont :

- Déterministe.

- Statique
- Stochastique.
- Dynamique.

Facteurs liés aux installations

- Nombre et capacités des installations.
- Systèmes hiérarchiques englobant différents types d'installations qui offrent collectivement un service

Facteurs liés à l'espace de Localisation

C'est l'espace dans lequel les clients et les installations sont situées.

Facteurs liés aux décisions de Localisation

- Coûts (Maximisation du profit, Minimisation des coûts).
- Qualité de service (Amélioration de la qualité de service, Maximisation de la couverture de demande).

2.6.2 Les principaux types de problèmes de localisation-allocation

2.6.2.1 Le problème de p -mediane

Le problème de p -médiane consiste à localiser exactement p établissements parmi un ensemble de sites candidats, de manière à minimiser la somme des distances pondérées entre chaque zone de demande et l'établissement le plus proche [13]. Sa formulation mathématique est comme suit :

Paramètres

N : Nombre total de zones de demande et de sites candidats.

p : Nombre d'établissements (médianes) à implanter.

$D_{i,j}$: Distance (ou coût) entre la zone de demande i et le site j .

Variables de décision

$X_{i,j}$ Variable binaire qui vaut :

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si la demande } i \text{ est affectée au site } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Y_j Variable binaire qui vaut :

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{si un établissement est ouvert sur le site } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Fonction objectif :

$$\text{Min } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{i,j} \times D_{i,j}$$

Sous contraintes :

- Chaque client doit être affecté à un et un seul site :

$$\sum_{j=1}^N X_{i,j} = 1 \quad \forall i$$

- Le nombre d'installations doit être égal à p :

$$\sum_{j=1}^N Y_j = p$$

- Les clients ne sont affectés qu'à un site ouvert :

$$\sum_{i=1}^N X_{i,j} \leq Y_j \times N \quad \forall j$$

Les variables $X_{i,j}$ et Y_j sont binaires.

2.6.2.2 Le problème de p -centre

Le problème des p -centres appartient à la famille des problèmes de localisation dont le but est de placer p centres dans un réseau afin de minimiser la distance maximale entre un client et un centre [29]. Sa formulation mathématique est comme suit :

Paramètres :

N : Nombre total de zones de demande et de sites candidats.

p : Nombre d'établissements (médianes) à implanter.

$D_{i,j}$: Distance (ou coût) entre la zone de demande i et le site j .

Variables de décision :

$X_{i,j}$: Variable binaire qui vaut :

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si la demande } i \text{ est affectée au site } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Y_j : Variable binaire qui vaut :

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{si un établissement est ouvert sur le site } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

$T \geq 0$: Variable continue représentant la distance maximale entre un client et le centre auquel il est affecté.

Fonction objectif :

$$\text{Min } T$$

Sous contraintes :

- Chaque client doit être affecté :

$$\sum_{j=1}^N X_{i,j} = 1 \quad \forall i$$

- Le nombre d'installations doit être égal à p :

$$\sum_{j=1}^N Y_j = p$$

- Les clients ne sont affectés qu'à un site ouvert :

$$\sum_{i=1}^N X_{i,j} \leq Y_j \times N \quad \forall j$$

- assure que la distance T soit minimale :

$$\sum_j D_{i,j} \times X_{i,j} \leq T \quad \forall i$$

Les variables $X_{i,j}$ et Y_j sont binaires

2.6.2.3 Le problème de couverture maximale (maximum coverage problem)

Le problème de couverture vise à implanter un nombre limité d'installations (centres de service, dépôts, magasins, etc.) de manière à couvrir un maximum de demande dans un territoire. On dit qu'un point de demande est "couvert" s'il se trouve à une distance (ou un temps) inférieure à un seuil prédéfini d'au moins une installation [28]. Sa formulation mathématique est comme suit :

Paramètres du problème de couverture maximale

N : Nombre total de zones de demande (clients).

M : Nombre total de sites candidats.

p : Nombre maximal d'installations à implanter.

D_i : Demande (ou poids) associée à la zone de demande i .

$A_{i,j}$: Paramètre binaire défini comme :

$$A_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si le site } j \text{ peut couvrir la demande } i \text{ (i.e. } d_{i,j} \leq \text{seuil),} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Variabes de décision

Y_j : Variable binaire définie comme :

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{si une installation est implantée sur le site } j, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Z_i : Variable binaire définie comme :

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{si la demande } i \text{ est couverte par au moins un site ouvert,} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

Fonction objectif :

$$\text{Max } \sum_{i=1}^N D_i \times Z_i$$

Contraintes :

- Au maximum on a p sites :

$$\sum_{j=1}^M Y_j \leq p$$

- Un site fermé ne peut pas couvrir de clients :

$$Z_i \leq \sum_{j=1}^M A_{i,j} \times Y_j$$

2.6.3 Les méthodes de résolution d'un problème localisation allocation

Les problèmes de localisation-allocation consistent à choisir les meilleurs sites pour implanter des installations et affecter les clients de manière optimale. Ils sont complexes et modélisés en programmation mathématique. Leur résolution repose sur trois types de méthodes : exactes, heuristiques et méta-heuristiques, selon un classement largement reconnu dans la littérature [37].

1. Méthodes exactes

Ces méthodes garantissent une solution optimale en explorant systématiquement l'ensemble des solutions possibles. Elles incluent :

- **Programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)** : utilisée pour modéliser et résoudre des problèmes de localisation-allocation avec des contraintes spécifiques.
- **Branch and Bound** : méthode qui explore l'espace des solutions en éliminant des sous-espaces non prometteurs.
- **Branch and Cut / Branch and Price** : amélioration du Branch and Bound utilisant des coupes (inégalités valides) ou une décomposition.

2. Méthodes heuristiques

Elles fournissent des solutions approximatives en un temps réduit, sans garantie d'optimalité. Parmi les plus courantes :

- **Méthodes gloutonnes (greedy algorithms)** : sélectionnent les meilleurs choix locaux en espérant une bonne solution globale.
- **Clustering** (ex. : K-means, K-medoids) : regroupent les clients par proximité, puis sélectionnent un centre pour chaque groupe.
- **Algorithmes de balayage (sweep algorithm)** : utilisés dans des cas géographiques pour regrouper les clients autour de centres.

3. Méta-heuristiques

Ces méthodes sont conçues pour résoudre de grands problèmes complexes en améliorant les solutions au fil du temps. Elles comprennent :

- **Recuit simulé (Simulated Annealing)** : explore l'espace des solutions en acceptant parfois des solutions moins bonnes pour éviter les minima locaux.
- **Algorithmes génétiques (Genetic Algorithms)** : simulent l'évolution naturelle pour combiner et muter des solutions.
- **Recherche tabou (Tabu Search)** : empêche de revenir en arrière en mémorisant les dernières solutions explorées.
- **Colonies de fourmis, essaims particuliers, etc.** : inspirées de comportements naturels pour explorer efficacement de grands espaces de solutions [43].

2.6.4 Le modèle mathématique de localisation

Le problème de localisation des installations peut être formulé selon différentes approches mathématiques, selon les caractéristiques propres au contexte étudié et les objectifs visés. Une des modélisations les plus classiques repose sur la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), permettant de représenter de manière rigoureuse les décisions

d'ouverture, de fermeture ou d'affectation des sites tout en tenant compte des contraintes opérationnelles et économiques [17].

Ensembles

I : Ensemble des clients (ou zones de demande).

J : Ensemble des installations potentielles (usines, entrepôts, centres de distribution).

Paramètres

d_{ij} : Coût de transport (ou distance) entre l'installation j et le client i .

f_j : Coût fixe d'ouverture de l'installation j .

D_i : Demande du client i .

C_j : Capacité maximale de l'installation j .

Variables de décision

$x_{ij} \geq 0$: Quantité transportée de l'installation j vers le client i .

$y_j \in \{0, 1\}$: Variable binaire : vaut 1 si l'installation j est ouverte, 0 sinon.

La fonction objectif :

Minimiser le coût total :

$$\text{Min} \left(\sum_{j \in J} f_j y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij} \right)$$

Contraintes :

- Satisfaction de la demande :

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = D_i, \quad \forall i \in I$$

- Respect des capacités :

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq C_j y_j, \quad \forall j \in J$$

- Non-négativité :

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in I, j \in J$$

- Ouverture binaire :

$$y_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J$$

2.7 La relation entre la distribution et le problème de localisation

La distribution et le problème de localisation sont étroitement liés, car la performance du système de distribution dépend directement des emplacements des installations logistiques. Le problème de localisation vise à déterminer les emplacements optimaux des entrepôts, des plateformes ou des centres de distribution afin de minimiser les coûts logistiques globaux, incluant le transport, le stockage et la gestion des flux. Une bonne localisation permet de réduire les distances entre les centres et les clients, d'optimiser les délais de livraison, de mieux répartir la charge de travail et de garantir une couverture efficace du territoire. Ainsi, une stratégie de distribution efficace repose sur des décisions de localisation judicieuses, qui conditionnent la rentabilité et la réactivité de toute la chaîne [22].

Coclusion

Ce chapitre pose les bases essentielles pour comprendre les enjeux et les méthodes d'optimisation en logistique. Les approches mathématiques présentées, combinées à l'analyse multicritère, offrent un cadre rigoureux pour résoudre les défis complexes liés à la localisation et à la gestion efficace des chaînes logistiques.

3

Modélisation du réseau logistique et approche de résolution

Introduction

Dans ce chapitre, nous développons une modélisation rigoureuse du problème logistique identifié au sein de l'entreprise Cevital, en vue d'optimiser partiellement la structure de son réseau de distribution. L'objectif est de proposer une reconfiguration logistique partielle permettant de satisfaire la demande des clients tout en minimisant les coûts de transport et en respectant les contraintes opérationnelles.

Le problème est formulé sous forme d'un modèle mathématique de localisation-allocation, intégrant les paramètres réels du système : quantités demandées, capacités des centres logistiques, distances entre les sites et coûts associés. Cette modélisation permet de structurer le problème de manière formelle et d'en faciliter la résolution à l'aide d'outils d'optimisation.

La résolution du modèle est effectuée à l'aide du solveur Gurobi, via une implémentation en langage Python. Cette approche garantit une solution exacte.

3.1 Description du problème

Le problème étudié concerne la reconfiguration partielle du réseau logistique du groupe agroalimentaire algérien Cevital. Ce réseau comprend deux centres de livraison régionaux (CLRs) situés respectivement à Mascara et Sidi Bel Abbès, desservant des clients répartis dans plusieurs localités avoisinantes (notamment Chiraz prodis, Mouhaouche et Hattal). Ces centres sont eux-mêmes alimentés par une plateforme principale située à Oran (Hassi Ameer).

Dans sa configuration actuelle, les deux centres de livraison présentent une rentabilité insuffisante, notamment en raison de coûts d'exploitation élevés et d'une répartition sous-optimale de la demande. Cette situation soulève une problématique centrale : comment

réorganiser la structure logistique afin de mieux desservir les clients tout en améliorant la performance économique du réseau ?

La présente étude a pour objectif de déterminer quel centre de livraison régional (CLR) unique l'entreprise conservera, sachant que deux CLR cibles sont en activité. Trois scénarios sont envisagés : maintenir l'un de ces deux centres existants, ou fermer les deux pour ouvrir un nouveau centre (centre Z) dont la localisation serait optimisée. L'objectif est d'identifier la reconfiguration partielle qui minimise le coût total, comprenant :

- Le coût de transport entre la plateforme et le centre de livraison.
- Le coût de transport entre le centre de livraison et les clients finaux.
- Les coûts fixes liés à l'ouverture, ou le maintien des centres.

Le modèle mathématique obtenu est un modèle de localisation-allocation avec contraintes de capacité. Il détermine la localisation optimale du centre de livraison à maintenir ou à ouvrir.

Les données du problème incluent :

- Les distances approximatives entre les emplacements (clients, clrs et plateforme).
- Les quantités journalières demandées par les clients.
- Les coûts de transport par kilomètre .
- Les capacités maximales des centres.
- Les coûts fixes liés aux installations (Fermeture et ouverture).

3.2 Acquisition et structuration des données

Dans le cadre de notre stage au sein de l'entreprise, nous avons pu recueillir et organiser un ensemble de données logistiques essentielles à la modélisation. Cette phase d'acquisition et de structuration des données permet de représenter fidèlement le fonctionnement du réseau de distribution, notamment à travers les capacités de stockage des différentes plateformes et centres logistiques régionaux, les différents clients des clrs étudiés et les distances qui constituent des paramètres clés dans l'optimisation du système étudié.

3.2.1 Données liées au stockage

Capacités de stockage des plateformes

Plateforme	Stockage (palettes/jour)
Bouira	25 000
Hassi Aneur	20 000
El Kheroub	2500

TABLE 3.1 – Capacités de stockage des plateformes

Capacité de stockage des centres de livraison (clrs)

Code Dépôt	Fonction Dépôt	Ville	Région	Capacité (palettes)
R0501	CLR	Batna	Est	700
R0902	CLR	Blida	Centre	500
R1301	CLR	Tlemcen	Ouest	500
R1502	CLR	Tizi Ouzou	Centre	550
R1601	CLR	Alger	Centre	900
R1901	CLR	Sétif	Est	450
R2201	CLR	Sidi Bel Abbès	Ouest	500
R2302	CLR	Annaba	Est	500
R2601	CLR	Médéa	Centre	600
R2701	CLR	Mostaganem	Ouest	300
R2901	CLR	Mascara	Ouest	750
R3101	CLR	Oran	Ouest	1000
R4801	CLR	Oued Rhiou	Ouest	1250

TABLE 3.2 – Capacités de stockage des CLR par ville et région

Capacité maximale de stockage du nouveau centre de livraison (Z) : Afin de dimensionner la capacité du futur centre de livraison Z, l'analyse s'est basée sur une demande maximale estimée à 200 palettes par jour, correspondant aux besoins potentiels des clients à desservir. Compte tenu du fonctionnement en flux tendu, où les marchandises transitent rapidement sans stockage prolongé, une capacité maximale de 300 palettes a été retenue. Cette capacité inclut une marge de sécurité de quelques palettes supplémentaires, permettant de faire face à d'éventuels aléas logistiques (retards, pics de livraison, etc.), tout en maintenant un équilibre entre la performance opérationnelle et la rationalité économique.

3.2.2 Données liées aux clients des deux CLR (Sidi Bel Abbès et Mascara)

CLR	Client	Localisation
Sidi Bel Abbès	MOUHAOUCHE MEHADJI	Sfises, Wilaya de Sidi Bel Abbès
Sidi Bel Abbès	EURL CHIRAZ PRODIS	Centre-ville, Sidi Bel Abbès
Mascara	HATTAL KARIM	Froha, Wilaya de Mascara

TABLE 3.3 – Clients des CLR de Sidi Bel Abbès et Mascara

3.2.3 Données liées aux distances

La distance entre la plateforme d'Oran et les deux clr (Mascara et Sidi Bel Abbès)

Plateforme	CLR	Distance (km)
Oran (Hassi Ameer)	CLR Mascara	95
Oran (Hassi Ameer)	CLR Sidi Bel Abbès	94

TABLE 3.4 – Distances entre la plateforme d'Oran et les CLR

La distance entre les deux CLR

Centre A	Centre B	Distance (km)
CLR Sidi Bel Abbès	CLR Mascara	85

TABLE 3.5 – Distance entre les centres logistiques régionaux

Distances entre chaque CLR et ses principaux clients

CLR	Client principal	Distance (km)
Sidi Bel Abbès	MOUHAUCHE MEHADJI (Sfisef)	45
Sidi Bel Abbès	EURL CHIRAZ PRODIS (Centre-ville)	5
Mascara	HATTAL KARIM (Froha)	12

TABLE 3.6 – Distances entre chaque CLR et ses clients principaux

3.2.4 Données liées aux Demandes journalières des clients des CLR

Client	Date	Quantité(palettes)	Centre logistique (CLR)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	01/01/2025	89,18	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	01/01/2025	58,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	01/01/2025	11,00	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	02/01/2025	75,26	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	02/01/2025	69,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	02/01/2025	18,00	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	03/01/2025	81,35	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	03/01/2025	64,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	03/01/2025	14,00	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	04/01/2025	138,13	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	04/01/2025	69,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	04/01/2025	22,43	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	05/01/2025	111,12	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)

Client	Date	Quantité(palettes)	Centre logistique (CLR)
MOUHAUCHE MEHADJI	05/01/2025	72,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	05/01/2025	26,43	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	06/01/2025	98,25	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	06/01/2025	64,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	06/01/2025	24,56	CLR Mascara (R2201)
HATTAL KARIM DISTRIBUTION EURL	07/01/2025	82,50	CLR Sidi Bel Abbès (R2901)
MOUHAUCHE MEHADJI	07/01/2025	56,00	CLR Mascara (R2201)
EURL CHIRAZ PRODIS	07/01/2025	21,34	CLR Mascara (R2201)

TABLE 3.7 – Détail des livraisons quotidiennes des clients via les centres de livraison entre le 1^{er} et le 7 janvier 2025

CLR	Client	Demande (palettes/jour)
Sidi Bel Abbès	MOUHAUCHE MEHADJI (Sfises)	62
Sidi Bel Abbès	EURL CHIRAZ PRODIS (Centre-ville)	20
Mascara	HATTAL KARIM (Froha)	53

TABLE 3.8 – Demandes moyennes journalières des clients des CLR

3.2.5 Données liées aux coûts

CLR MASCARA					
Mois	N°FAC	IN PLT	MNT FAC	LOY/MENS	TOT
janv-25	900012036	2881,46	1 662 094,58	690 000,00	2 352 094,58
févr-25	900012296	3065,64	1 721 658,08	690 000,00	2 411 658,08
mars-25	900012522	2988,381	1 670 622,63	690 000,00	2 360 622,63
avr-25	900012756	2943,34	1 648 933,76	690 000,00	2 338 933,76

TABLE 3.9 – Résumé mensuel CLR Mascara - 2025

CLR SBA					
Mois	tbfN°FAC	IN PLT	MNT FAC	LOY/MENS	TOT
janv-25	900012038	2078	1 134 177,80	776 250,00	1 910 427,80
févr-25	900012299	2409	1 262 761,20	776 250,00	2 039 011,20
mars-25	900012521	2608	1 367 656,00	776 250,00	2 143 906,00
avr-25	900012736	2343	1 225 039,20	776 250,00	2 001 289,20

TABLE 3.10 – Résumé mensuel CLR Sidi Bel Abbès - 2025

Coûts de maintien des CLR de Mascara et de Sidi Bel Abbès, et coût d'ouverture d'un nouveau CLR

Les coûts de maintien des centres de livraison régionaux (CLR) de Mascara et de Sidi Bel Abbès ont été estimés à partir des données comptables disponibles sur une période de quatre mois (de janvier jusqu'à avril 2025). Pour chaque CLR, la moyenne mensuelle du coût total a été calculée, puis extrapolée afin d'estimer le coût global associé à la fermeture du site, intégrant les frais fixes tels que le loyer mensuel.

- Le coût de maintien estimé du CLR de **Mascara** est de **2 365 827,26 DA**.
- Le coût de maintien estimé du CLR de **Sidi Bel Abbès** est de **2 023 658,55 DA**.
- Le coût d'ouverture du nouveau CLR a été estimé à **2 000 000 DA**.

Estimation du coût d'ouverture du nouveau centre de livraison régional

Le coût d'ouverture du nouveau centre de livraison régional (CLR) a été estimé à **2 000 000 DA**.

Cette estimation a été générée par l'entreprise à partir d'une analyse comparative des coûts totaux observés dans les CLR existants de Mascara et Sidi Bel Abbès. Elle intègre les frais de location mensuelle, les coûts de stockage ainsi que les charges opérationnelles.

La valeur retenue correspond à une moyenne pondérée des dépenses observées sur une période de quatre mois, ajustée proportionnellement à la capacité maximale projetée du nouveau centre (**300 palettes**), légèrement inférieure à celle des centres actuellement en service.

Cette approche permet de refléter de manière réaliste et contextualisée les exigences financières associées à l'ouverture d'un CLR de taille et de fonction similaires, tout en tenant compte des spécificités propres à l'entreprise.

Élément	Détail / Justification
Capacité du nouveau CLR (Z)	300 palettes
Capacité CLR Mascara	750 palettes
Capacité CLR Sidi Bel Abbès	500 palettes
Coût moyen mensuel CLR Mascara (sur 4 mois)	2 366 327 DA
Coût moyen mensuel CLR Sidi Bel Abbès (sur 4 mois)	2 023 658 DA
Méthode d'estimation	Moyenne pondérée selon la capacité
Calcul simplifié	$\left(\frac{2\,366\,327 + 2\,023\,658}{2} \right) \times \frac{300}{625}$
Résultat arrondi	2 000 000 DA
Nature du coût	Estimation interne à l'entreprise

TABLE 3.11 – Détail du calcul estimatif du coût d'ouverture du nouveau CLR (centre Z)

Ces valeurs représentent des moyennes mensuelles des coûts totaux (montant facturé + loyer mensuel) observés durant les quatre mois analysés. Elles sont utilisées comme para-

mètres d'entrée dans le modèle de localisation-allocation pour simuler l'impact économique d'une éventuelle fermeture de ces CLR.

Coûts unitaires du transport

- Coût unitaire (DA/km) du transport de la plateforme au clr :
coût = 130 Da/km.
- Coût unitaire (DA/km) du transport du clr au client :
coût = 800 Da/km.

3.2.6 Données liées aux coordonnées géographiques (les coordonnées latitude-longitude)

Les coordonnées en latitude et longitude que nous utilisons dans le modèle proviennent de données géographiques réelles, généralement issues de systèmes de positionnement mondial comme le GPS ou des bases de données cartographiques publiques (ex : Google Maps, OpenStreetMap).

Latitude : indique la position nord-sud par rapport à l'équateur (qui est à 0° latitude). Les valeurs positives indiquent une position dans l'hémisphère nord, les négatives dans l'hémisphère sud.

Longitude : indique la position est-ouest par rapport au méridien de Greenwich (0° longitude). Les valeurs positives indiquent une position à l'est, les négatives à l'ouest. Ces coordonnées sont exprimées en degrés décimaux (par exemple, 35.7042° de latitude, -0.4714° de longitude).

Cela signifie que nous travaillons dans un système géographique mondial standard, où chaque point a une position unique et précise sur la surface terrestre, mesurée en degrés de latitude et longitude.

Lieu	Latitude	Longitude
Plateforme Oran	35.7042728	-0.4714694
clr Mascara	35.3966	0.1400
clr Sidi Bel Abbès	35.2000	-0.6333
client HATTAL KARIM (Froha)	35.3035	0.1270
client MOUHAUCHE MEHADJI (Sfisef)	35.2344	-0.2434
EURL CHIRAZ PRODIS (Centre-ville)	35.2450	-0.6333

TABLE 3.12 – Coordonnées GPS des différentes localisations

3.3 Formulation du modèle

Indices et ensembles

p : Plateforme de distribution située à Oran.

I : Ensemble des clients.

$J = J_1 \cup \{Z\}$: Ensemble des centres logistiques régionaux (CLRs), comprenant :

J_1 : CLRs existants : {Mascara, Sidi Bel Abbès}.

Z CLR potentiel.

Paramètres

Demande

D_i : Demande journalière du client $i \in I$ (en palettes).

Capacité

C_j : Capacité maximale du centre logistique régional (CLR) $j \in J_1$.

C_Z : Capacité maximale du CLR potentiel Z .

Coûts

c_1 : Coût unitaire de transport (en DA/km) de la plateforme p vers un CLR $j \in J$.

c_2 : Coût unitaire de transport (en DA/km) d'un CLR $j \in J$ vers un client $i \in I$.

F_j : Coût fixe d'ouverture du CLR $j \in J$.

Coordonnées

(X_p, Y_p) : Coordonnées géographiques de la plateforme.

(X_i, Y_i) : Coordonnées géographiques du client $i \in I$.

(X_j, Y_j) : Coordonnées du CLR existant $j \in J_1$.

$(X_Z, Y_Z) \in \mathbb{R}^2$: Coordonnées (à déterminer) du CLR potentiel Z .

Distances

d_{ij} : distance entre le client i et le CLR j , $i \in I$, $j \in J$.

d_{pZ} : Distance entre la plateforme et le centre Z .

d_{iZ} : Distance entre le client i et le CLR Z , $i \in I$.

D_{\max}^{pZ} : distance maximale autorisée entre la plateforme p et le CLR Z

D_{\min}^{pZ} : distance minimale autorisée entre la plateforme p et le CLR Z

D_{\max}^{iZ} : distance maximale autorisée entre le client $i \in I$ et le CLR Z

Variables de décision

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si le client } i \text{ est affecté au centre logistique régional (CLR) } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{si le CLR } j \text{ est maintenu, avec } j \in J \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$(X_Z, Y_Z) \in \mathbb{R}^2$: coordonnées du CLR potentiel Z

$d_{pZ} \in \mathbb{R}^+$: distance de la plateforme p au clr Z , avec :

$$d_{pZ} = \sqrt{(X_Z - X_p)^2 + (Y_Z - Y_p)^2}$$

$d_{iZ} \in \mathbb{R}^+$: distance du client i au CLR Z , avec :

$$d_{iZ} = \sqrt{(X_Z - X_i)^2 + (Y_Z - Y_i)^2}, \quad \forall i \in I$$

Fonctions objectif

Objectif 1 : Minimiser les coûts de transport de la plateforme au CLR et les coûts fixes d'ouvertures

$$\min Z_1 = \underbrace{\sum_{j \in J} c_1 \cdot d_{pj} \cdot y_j}_{\text{Transport de la plateforme au CLR}} + \underbrace{\sum_{j \in J} F_j \cdot y_j}_{\text{cout d'ouverture}}$$

Objectif 2 : Minimiser les coûts de transport client

$$\min Z_2 = \underbrace{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_2 \cdot d_{ij} \cdot x_{ij}}_{\text{Coût de transport entre CLR et client}}$$

Contraintes

1. Chaque client est affecté à un seul CLR :

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I$$

2. Un client ne peut être affecté qu'à un CLR actif :

$$x_{ij} \leq y_j, \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

3. Capacité des CLR :

$$\sum_{i \in I} D_i \cdot x_{ij} \leq C_j \cdot y_j, \quad \forall j \in J$$

4. Un seul CLR peut être actif :

$$\sum_{j \in J} y_j = 1$$

5. Distances admissibles plateforme \rightarrow CLR potentiel Z :

$$D_{\min}^{pZ} \cdot y_Z \leq d_{pZ} \leq D_{\max}^{pZ} \cdot y_Z$$

6. Distances admissibles CLR potentiel $Z \rightarrow$ clients :

$$d_{iZ} \leq D_{\max}^{iZ} \cdot x_{iZ}, \quad \forall i \in I$$

7. Non-négativité des distances :

$$d_{pZ} \geq 0, \quad d_{iZ} \geq 0, \quad \forall i \in I$$

3.3.1 Le modèle

$$\min Z_1 = \sum_{j \in J} c_1 \cdot d_{pj} \cdot y_j + \sum_{j \in J} F_j \cdot y_j$$

$$\min Z_2 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_2 \cdot d_{ij} \cdot x_{ij}$$

Sous contraintes (s.c.) :

$$\text{s.c.} \left\{ \begin{array}{ll} \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 & \forall i \in I \\ x_{ij} \leq y_j & \forall i \in I, j \in J \\ \sum_{i \in I} D_i \cdot x_{ij} \leq C_j \cdot y_j & \forall j \in J \\ \sum_{j \in J} y_j = 1 & \\ D_{\min}^{pZ} \cdot y_Z \leq d_{pZ} \leq D_{\max}^{pZ} \cdot y_Z & \\ d_{iZ} \leq D_{\max}^{iZ} \cdot x_{iZ} & \forall i \in I \\ x_{ij}, x_{iZ} \in \{0, 1\} & \forall i \in I, j \in J_1 \\ y_j \in \{0, 1\} & \forall j \in J \\ d_{pZ} \geq 0 & \\ d_{iZ} \geq 0 & \forall i \in I \end{array} \right.$$

3.4 Résolution du problème et interprétation des résultats

3.4.1 Choix de la méthode de résolution

Dans le cadre de notre étude, le problème à résoudre se présente comme un modèle de **programmation non linéaire en nombres mixtes**, avec une **formulation bicritère**, intégrant deux objectifs à optimiser simultanément.

Plus précisément, il s'agit d'un problème multicritère visant à concilier, d'une part, la satisfaction de l'entreprise (via la minimisation des coûts logistiques globaux) et, d'autre part, la satisfaction des clients (à travers la réduction des distances ou des coûts de transport associés).

Ce type de problème, correspondant à un *modèle MINLP bicritère (Mixed Integer Nonlinear Programming)*, est connu pour sa complexité, notamment en raison de la combinaison de **non-linéarité**, de **variables discrètes** et de **multiples objectifs**. Sa résolution requiert généralement l'usage de solveurs spécialisés non disponibles dans les bibliothèques standards.

Afin de résoudre le problème, nous avons opté pour la transformation en un **modèle monoobjectif**, en adoptant l'approche de **pondération des deux critères**. Plus précisément, nous avons agrégé les deux objectifs dans une fonction unique, en affectant à chacun un coefficient de pondération reflétant son importance relative. Ainsi, le coût logistique total et la satisfaction des clients (via la réduction des distances) sont combinés dans une même fonction à minimiser :

$$\min Z = \lambda \cdot \text{Coût}_{\text{entreprise}} + (1 - \lambda) \cdot \text{Coût}_{\text{client}} \quad (3.1)$$

où :

$\lambda \in \{0, 1\}$: Coefficient de pondération associé au coût logistique de l'entreprise (coût de transport plateforme \rightarrow CLR + coût fixe d'ouverture).

$1 - \lambda$: Coefficient complémentaire associé à la satisfaction client (coût de transport CLR \rightarrow client).

Cette simplification permet de mobiliser des solveurs classiques tels que *Gurobi*, tout en préservant l'équilibre entre les dimensions économiques et opérationnelles du problème. Par ailleurs, la satisfaction client reste prise en compte à la fois dans la fonction objectif pondérée et via des contraintes spécifiques, telles que la limitation des distances maximales admissibles entre la plateforme, les centres logistiques régionaux (CLR) et les clients finaux.

3.4.2 Outils de la résolution

Ce modèle, formulé en programmation non linéaire à variables mixtes (entières et continues), a été simplifié en un modèle monocritère adapté à la résolution avec Python. Nous avons modélisé les décisions, les contraintes et la fonction objectif, puis mobilisé exclusivement le solveur **Gurobi** afin d'obtenir une solution efficace, en identifiant précisément :

- Le nouveau CLR si il ya lieu d'ouvrir ou de maintenir l'un des CLR existants.
- La distance entre la plateforme et le CLR ouvert .
- La distance entre le nouveau CLR ouvert et le client .
- Le coût total minimal .

3.5 Résultats obtenus

La résolution du modèle d'optimisation, réalisée avec une pondération des deux critères en fixant $\lambda = 0,5$, a permis d'identifier la configuration la plus efficace pour l'organisation des centres logistiques régionaux. Les paramètres λ et $(1 - \lambda)$ représentent, respectivement les poids attribués aux deux objectifs du modèle : la *minimisation du coût de l'entreprise* et *du coût des clients*. En fixant $\lambda = 0,5$, les deux critères sont considérés de manière **équilibrée**, ce qui signifie qu'aucun n'est priorisé au détriment de l'autre. Cette approche a permis d'obtenir une solution optimisée qui respecte à la fois les contraintes de capacité et de distance, tout en maîtrisant les coûts d'exploitation.

3.5.1 Coût total optimal et centre sélectionné

Le modèle a conclu qu'il est optimal d'ouvrir un nouveau centre logistique potentiel Z , que de garder l'un des deux CLR existants. Cette décision résulte de l'analyse combinée des coûts fixes et variables, où l'ouverture du CLR Z offre un meilleur compromis global.

Le coût total minimal obtenu est de **1 008 761,37DA**, intégrant à la fois les frais de transport et les coûts fixes associés.

La distance entre la plateforme principale (située à Oran) et le CLR Z est de **80 km**, ce qui engendre un coût de transport plateforme \rightarrow CLR Z de **10 400 DA**.

3.5.2 Affectation des clients au CLR Z

Tous les clients ont été affectés au CLR Z , ce qui simplifie la chaîne logistique tout en respectant les contraintes du modèle. Les distances entre le CLR Z et chaque client ainsi que les coûts de transport associés sont indiqués dans le tableau 3.13 :

Client	CLR affecté	Distance du CLR au client (km)	Coût transport (DA)
Hattal	Z	41,63	3 319,04
Mouhaouche	Z	16,32	1 305,68
ChirazProdis	Z	31,23	2 498,01

TABLE 3.13 – Affectation des clients au CLR Z

3.5.3 Localisation optimale du CLR Z

Le modèle a également déterminé la localisation géographique optimale du CLR Z pour réduire les coûts et assurer une bonne couverture des clients. Les coordonnées optimales obtenues sont :

- **Latitude** : 35.36570
- **Longitude** : -0.32327

Cette position correspond approximativement à la région de *Boudjebha El Bordj, Daïra Sfifef, Sidi Bel Abbès, Algérie*. Ce choix géographique est stratégique car il minimise les distances totales entre la plateforme, le CLR et les clients, tout en respectant les contraintes de capacité et de distance maximale imposées.

3.5.4 Analyse visuelle

L'analyse visuelle de la localisation optimale du centre Z met en évidence une implantation stratégique, située entre la plateforme principale et l'ensemble des clients à desservir. Plus précisément, le centre Z est positionné à **Boudjebha El Bordj**, une commune relevant de la **Daïra de Sfifef**, dans la **wilaya de Sidi Bel Abbès**. Cette localisation permet d'optimiser les distances de transport tout en satisfaisant les contraintes imposées par le modèle de localisation-allocation, notamment en termes de distances maximales autorisées et de capacités logistiques.

Pour appuyer cette analyse, une carte interactive a été générée à l'aide de la bibliothèque Python **Folium**. Cette bibliothèque, basée sur *Leaflet.js*, permet de créer facilement des cartes dynamiques dans un environnement Python, notamment dans un notebook Jupyter. Dans notre cas, **Folium** a été utilisé pour visualiser les différentes entités du réseau logistique :

- La **plateforme principale** (située à Hassi Ameer, Oran) est représentée par un marqueur **rouge**, indiquant clairement son rôle central.
- Le **centre logistique régional Z** est affiché en **orange**, afin de le distinguer visuellement des autres centres.
- Les **clients finaux** (Froha, Sfises et ChirazProdis) sont représentés en **bleu**, facilitant l'identification de leurs positions géographiques respectives.

Grâce à cette visualisation, il est possible d'observer la cohérence spatiale de la solution optimale. Elle permet de vérifier que le centre Z est bien situé à une distance raisonnable

de la plateforme et des clients, tout en respectant les contraintes de distance maximale définies dans le modèle. Cette représentation cartographique constitue ainsi un outil de validation qualitative complémentaire aux résultats quantitatifs obtenus par l'optimisation.

Remarque : Boudjehba El Bordj constitue un site idéal pour le centre Z , combinant la viabilité théorique et la faisabilité opérationnelle grâce à son statut de zone industrielle.

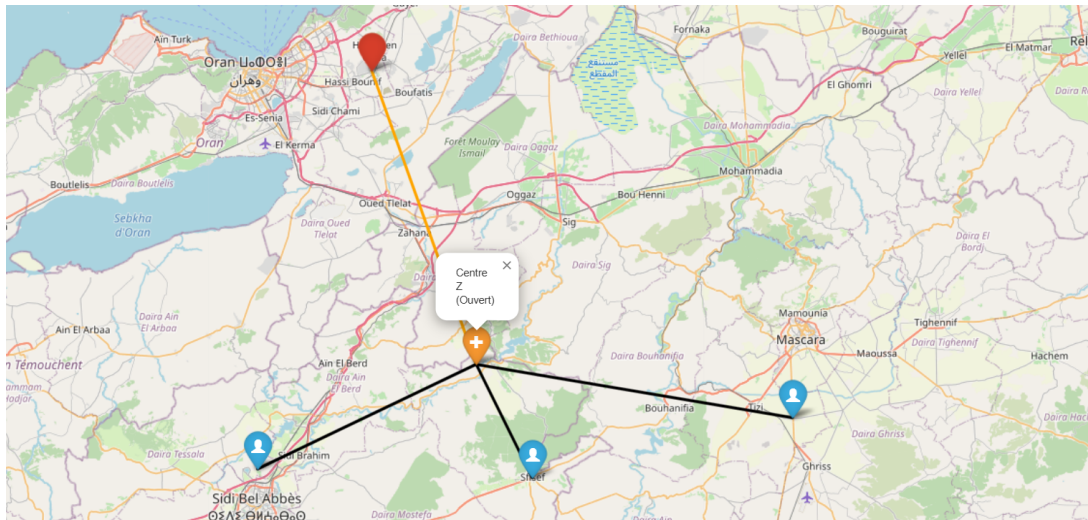


FIGURE 3.1 – Carte du réseau logistique Après redimensionnement

3.6 Discussion des résultats

3.6.1 Analyse comparative des coûts mensuels totaux

- Avant le redimensionnement, les **coûts mensuels totaux** associés aux centres logistiques régionaux (CLRs) de Mascara et Sidi Bel Abbès s'élevaient à **2379137,26 DA pour le CLR de Mascara et à 2039878,55 DA pour le CLR de Sidi Bel Abbès**. Ces coûts comprenaient notamment les loyers des infrastructures ainsi que les charges opérationnelles récurrentes nécessaires à leur fonctionnement.
- La mise en place d'un **centre de livraison régional unique Z** dans le cadre du redimensionnement permettrait une **réduction significative des coûts fixes**, en concentrant les activités dans une seule installation. Cette démarche conduit à la rationalisation des espaces loués, à la diminution du nombre de contrats locatifs et à une meilleure mutualisation des ressources humaines et matérielles.
- Par ailleurs, ce redimensionnement entraînerait une **optimisation des coûts de transport** grâce à la centralisation des livraisons et des approvisionnements autour d'un point de distribution géographiquement mieux positionné. La réduction des distances parcourues, la diminution des trajets redondants ainsi que la meilleure planification des flux logistiques contribuent à cette économie.

3.6.2 Analyse des distances avant et après le redimensionnement

Entre les clients et les CLR

Client	Centre logistique	Avant (km)	Après (km)
HATTAL KARIM	Mascara	12	41,49
EURL CHIRAZ PRODIS	Sidi Bel Abbès	5	31,23
MOUHAUCHE MEHADJI	Sidi Bel Abbès	45	16,32

TABLE 3.14 – Comparaison des distances client-CLR avant et après redimensionnement

L'analyse comparative des distances met en évidence les effets du redimensionnement du réseau logistique. Si les clients **HATTAL KARIM** à Froha et **EURL CHIRAZ PRODIS** au centre-ville de Sidi Bel Abbès, voient leurs distances au centre logistique augmenter (passant respectivement de 12 km à 41,49 km, et de 5 km à 31,23 km), le client **MOUHAUCHE MEHADJI** à Sfifef, bénéficie d'une **réduction significative** (de 45 km à 16,32 km).

Globalement, le nouveau centre Z se positionne de manière **équilibrée** entre les différents clients, limitant les écarts extrêmes et permettant une meilleure desserte de la zone. Cette redistribution des distances s'accompagne d'une optimisation globale du transport, en tenant compte des volumes affectés à chaque client. Malgré une hausse de distance pour certains, la **réduction des coûts totaux de transport** et la **meilleure mutualisation logistique** justifient pleinement ce repositionnement.

Afin d'accompagner cette transition, l'entreprise prévoit de compenser partiellement les clients concernés par une hausse de distance. Une aide financière, sous forme de prise en charge d'un pourcentage des surcoûts de transport, sera ainsi proposée.

Entre la plateforme et les CLR

Trajet plateforme → CLR	Distance (km)
Hassi Ameer → CLR Mascara	95
Hassi Ameer → CLR Sidi Bel Abbès	94
Hassi Ameer → CLR Z (nouveau CLR)	80

TABLE 3.15 – Comparaison des distances entre la plateforme et les centres de livraison

La position du CLR Z , à seulement 80 km de la plateforme de Hassi Ameer, réduit significativement la distance logistique par rapport aux centres existants de Mascara et Sidi Bel Abbès. Cette proximité favorise une baisse sensible des coûts de transport amont, tout en améliorant la réactivité et la flexibilité des approvisionnements vers le CLR.

3.6.3 Analyse des coûts de transport de la plateforme aux CLR

Connexion plateforme → CLR	Coût (DA)
Hassi Ameur → Mascara	13 000
Hassi Ameur → Sidi Bel Abbès	12 000
Hassi Ameur → Z (nouveau site)	10 400

TABLE 3.16 – Comparaison des coûts de transport mensuels de la plateforme aux CLR

Avant le redimensionnement, les coûts de transport mensuels entre la plateforme principale de Hassi Ameur (Oran) et les centres de livraison régionaux (CLR) de Mascara et Sidi Bel Abbès s'élevaient à **13 000 DA** et **12 000 DA**, respectivement. Ces montants reflétaient des distances importantes et des flux répartis sur deux axes logistiques distincts.

Avec la mise en place du nouveau centre Z , stratégiquement positionné à environ 80 km de la plateforme, le coût de transport est désormais réduit à **10 400 DA**. Cette baisse significative, de plus de 50%, illustre l'intérêt économique du nouveau positionnement : il permet non seulement de diminuer la distance logistique principale, mais également de concentrer les expéditions vers un point unique de réception, simplifiant ainsi la planification des flux et générant des économies récurrentes.

3.7 Analyse sensitive

Après avoir effectué une première résolution du modèle avec un paramètre de pondération $\lambda = 0,5$, une analyse sensitive a été menée afin d'évaluer l'impact de la variation de ce paramètre sur la localisation optimale du centre logistique régional (CLR Z). Le paramètre λ représente l'importance relative accordée aux coûts de l'entreprise par rapport aux coûts de transport des clients.

En faisant varier λ entre 0,1 et 0,9, la position géographique optimale du CLR Z ainsi que les distances et les coûts de transport associés entre la plateforme, le CLR et les clients ont été identifiées pour chaque scénario.

Les tableaux ci-dessous synthétisent les résultats obtenus, en présentant pour chaque valeur de λ , les coordonnées géographiques du CLR Z , les distances entre les clients et le CLR, ainsi que la distance entre la plateforme (Hassi Ameur, Oran) et le CLR, accompagnées des coûts de transport correspondants. Cette analyse permet d'observer comment la variation dans la pondération (valeur λ) influe sur la localisation optimale et les coûts logistiques.

3.7.1 Analyse des distance et coûts de transport

$$\lambda = 0.1$$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client–CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35,23440 ; -0,24340)	34,52	2 761,64
Mouhaouche	(35,23440 ; -0,24340)	0,00	0,00
Chiraz	(35,23440 ; -0,24340)	35,47	2 837,60

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme– Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.23440, -0.24340)	89.22	11 598,6

$$\lambda = 0.2$$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client–CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.23440, -0.24340)	34.52	2 761,6
Mouhaouche	(35.23440, -0.24340)	0.00	0
Chiraz	(35.23440, -0.24340)	35.47	2 837,60

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme– Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.23440, -0.24340)	89.22	11 598,6

$$\lambda = 0.3$$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client–CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.23440, -0.24340)	34.52	2 761,6
Mouhaouche	(35.23440, -0.24340)	0	0.00
Chiraz	(35.23440, -0.24340)	35.47	2 837,60

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme– Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.23440, -0.24340)	89.22	11 598,6

$\lambda = 0.4$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client-CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.28647, -0.27000)	36.12	2 889,37
Mouhaouch	(35.28647, -0.27000)	6.28	502,45
Chiraz	(35.28647, -0.27000)	33.35	2 667,97

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme- Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur (Oran)	(35.28647, -0.27000)	85.95	11 173,5

 $\lambda = 0.6$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client-CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.36570, -0.32327)	41.49	3 319,04
Mouhaouche	(35.36570, -0.32327)	16.32	1 305,68
Chiraz	(35.36570, -0.32327)	31.23	2 498,01

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme- Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.36570, -0.32327)	80	10 400

 $\lambda = 0.7$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client-CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.36695, -0.31902)	41.13	3 290,50
Mouhaouche	(35.36695, -0.31902)	16.28	1 302,28
Chiraz	(35.36695, -0.31902)	31.63	2 530,66

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme- Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.36695, -0.31902)	80	10 400

$\lambda = 0.8$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client–CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.36570, -0.32327)	41.49	3 319,04
Mouhaouche	(35.36570, -0.32327)	16.32	1 305,68
Chiraz	(35.36570, -0.32327)	31.23	2 498,01

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme– Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.36570, -0.32327)	80	10 400

 $\lambda = 0.9$

Client	Coordonnées du CLR Z	Distance Client–CLR Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hattal	(35.36570, -0.32327)	41.49	3 319,04
Mouhaouche	(35.36570, -0.32327)	16.32	1 305,68
Chiraz	(35.36570, -0.32327)	31.23	2 498,01

plateforme	Coordonnées du CLR Z	Distance plate- forme– Z (km)	Coût de trans- port (DA)
Hassi Ameuur(Oran)	(35.36570, -0.32327)	80	10 400

L'analyse des distances et des coûts de transport selon différentes valeurs du paramètre de pondération multicritère λ , révèle une évolution progressive des localisations optimales du centre de livraison régional (CLR) Z.

Pour les faibles valeurs de λ (de 0.1 à 0.3), la position de CLR Z reste inchangée, ce qui traduit une forte priorité donnée à la minimisation du coût client. Cette localisation permet de réduire au maximum la distance et donc le coût entre le CLR et certains clients (notamment Sfises à distance nulle).

À partir de $\lambda = 0.4$, on observe un déplacement notable des coordonnées du CLR Z, avec une augmentation des distances clients–CLR Z, mais une réduction sensible de la distance entre la plateforme et CLR Z, traduisant un arbitrage vers la réduction du coût de l'entreprise (transport plateforme–CLR).

Pour des valeurs plus élevées de λ (de 0.6 à 0.9), la position du CLR Z se stabilise à une localisation qui favorise la réduction du coût de transport entre la plateforme et le CLR, au détriment d'un coût client plus élevé. Cette configuration reflète un compromis où la réduction des coûts fixes et de transport liés à la plateforme prime, au prix d'une augmentation modérée des coûts entre le CLR et les clients.

Ainsi, cette analyse montre que la variation de λ influence directement la localisation optimale du CLR Z et les coûts associés aux deux segments de transport. Le choix de λ doit donc refléter les priorités stratégiques de l'entreprise, entre l'optimisation du service client et la maîtrise des coûts internes de la chaîne logistique.

3.7.2 Résumé des coûts totaux pour les clients et l'entreprise

λ	Coût client (DA)	Coût entreprise (DA)	Coût total (DA)
0,1	5 038,94	201 040,00	206 078,94
0,2	4 479,06	402 080,00	406 559,06
0,3	3 919,18	603 120,68	607 039,86
0,4	3 635,87	804 160,33	807 796,20
0,5	3 561,37	1 005 200,00	1 008 761,37
0,6	2 849,09	1 206 240,00	1 209 089,09
0,7	2 137,03	1 407 280,00	1 409 417,03
0,8	1 424,55	1 608 320,00	1 609 744,55
0,9	712,27	1 809 360,00	1 810 072,27

TABLE 3.17 – Évolution des coûts en fonction du paramètre λ (pondération bicritère)

Le tableau ci-dessus, illustre l'évolution des coûts en fonction du paramètre de pondération bicritère λ , qui permet de minimiser une combinaison pondérée de deux critères : le coût entreprise (intégrant les coûts fixes d'ouverture et de transport entre la plateforme et le CLR) et le coût client (transport entre le CLR et les clients).

Lorsque λ est faible (proche de 0,1), la minimisation privilégie fortement la réduction du coût client, ce qui conduit à un coût client plus élevé mais à un coût entreprise relativement faible. À l'inverse, lorsque λ s'approche de 0,9, la minimisation favorise la réduction du coût entreprise, entraînant un coût client très faible mais un coût entreprise beaucoup plus élevé.

Ainsi, la fonction objectif bicritère permet d'explorer le compromis entre ces deux coûts à minimiser. Le coût total, somme des coûts client et entreprise, augmente globalement avec λ , ce qui reflète la difficulté d'optimiser simultanément ces deux composantes souvent antagonistes. Cette analyse met en évidence que le choix de la pondération λ influence fortement la localisation optimale du CLR Z, et qu'un équilibre doit être recherché

pour minimiser efficacement les coûts logistiques globaux tout en maintenant un niveau acceptable de service client.

3.7.2.1 Évolution des coûts client et entreprise selon λ

Afin d'illustrer l'impact de la pondération λ sur la répartition des coûts, la figure 3.2 présente l'évolution conjointe des coûts supportés par l'entreprise et par les clients pour différentes valeurs de $\lambda \in [0.1, 0.9]$.

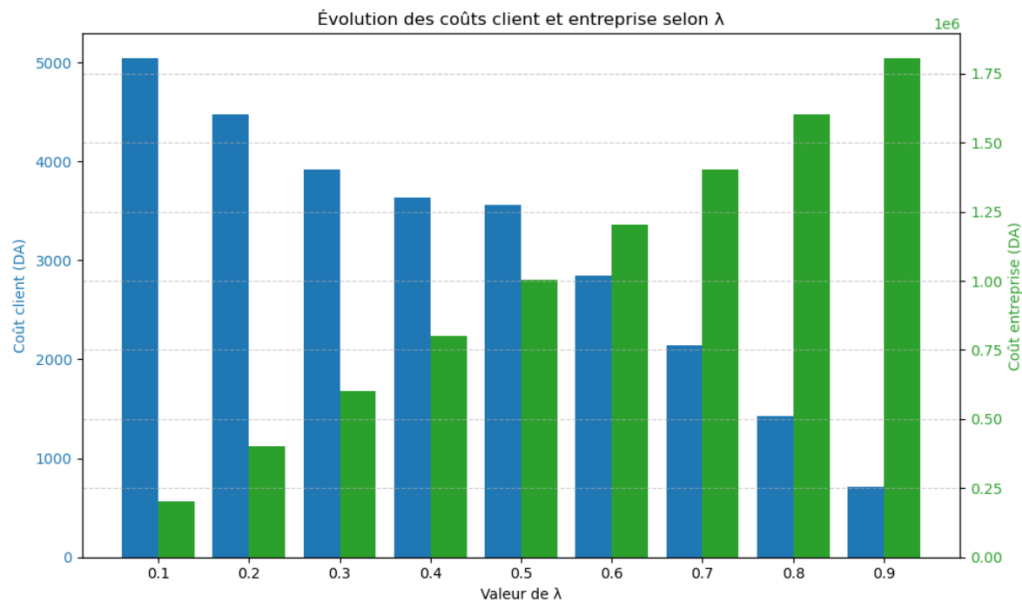


FIGURE 3.2 – Représentation graphique des coûts client et entreprise en fonction du paramètre λ

On observe un effet inversement proportionnel : plus λ est faible, plus l'optimisation privilégie les clients (réduction de leur coût), au détriment des charges logistiques de l'entreprise. À l'inverse, des valeurs élevées de λ réduisent considérablement le coût pour l'entreprise, mais augmentent la charge supportée par les clients.

Une schématisation de l'évolution des coûts client et entreprise selon λ est présentée dans la figure 3.3, ci-dessous.

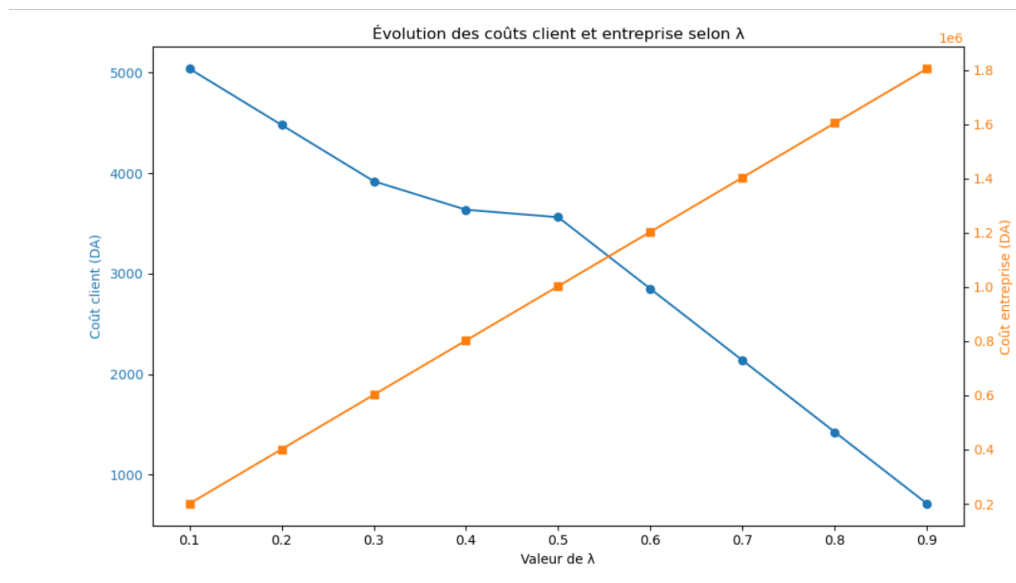


FIGURE 3.3 – Évolution comparative des coûts client et entreprise en fonction du paramètre de pondération λ

La courbe met en évidence un **compromis inverse** entre le coût client et le coût entreprise en fonction de la valeur du paramètre de pondération λ . Plus λ augmente, plus le modèle privilégie l'optimisation des coûts internes à l'entreprise, ce qui entraîne une *augmentation progressive du coût entreprise*, tandis que le *coût supporté par le client diminue sensiblement*. Ce comportement reflète la logique d'un modèle multicritère cherchant à équilibrer deux objectifs souvent opposés.

Le **point d'intersection des deux courbes**, situé aux alentours de $\lambda \approx 0,5$, représente un *équilibre stratégique* : à ce niveau, *aucune des deux parties n'est particulièrement favorisée*, et les efforts sont partagés de manière relativement équitable entre l'entreprise et le client. Ce point peut être interprété comme une **valeur d'équilibre de pondération**, idéale pour concilier la *performance économique* de l'entreprise avec la *qualité de service* attendue par le client, et donc pertinente dans une logique d'**optimisation logistique globale**.

3.8 L'impact du redimensionnement sur la stratégie de distribution (diapason 1 et 2)

Dans le prolongement de l'analyse logistique menée, cette section évalue les effets concrets du redimensionnement partiel proposé des centres de livraison régionaux sur la performance globale de la distribution. En s'appuyant sur les deux configurations logistiques étudiées (l'actuelle et l'ajustée), nous comparons les coûts associés aux flux traditionnels et aux flux réorganisés, intégrant la possibilité de centralisation via un nouveau centre unique.

3.8 L'impact du redimensionnement sur la stratégie de distribution (diapason 1 et 2) 60

L'objectif est d'identifier les gains économiques réalisables, tant en termes de transport qu'en termes d'exploitation, et d'apporter des éléments chiffrés permettant de soutenir une prise de décision stratégique. L'approche adoptée repose sur une analyse comparative détaillée des distances parcourues, des coûts unitaires et des effets induits par la fermeture ou la création de centres.

Trajet	Distance (km)	Coût (DA)	Remarque
Béjaïa Centre → Hassi Ameer	642	43 500	Transport usine → plateforme
LLK → Hassi Ameer	573	49 278	Transport usine → plateforme
El-Kseur → Hassi Ameer	642	43 500	Transport usine → plateforme
Hassi Ameer → Mascara	95	13 000	Transport plateforme → CLR
Hassi Ameer → Sidi Bel Abbès	94	12 000	Transport plateforme → CLR

TABLE 3.18 – Distances et coûts de transport des flux logistiques (Diapason 1)

Trajet	Distance (km)	Coût (DA)	Remarque
Hassi Ameer → CLR Z	80	10 400	Transport plateforme → CLR fusionné

TABLE 3.19 – Coût de transport entre la plateforme de Hassi Ameer et le centre fusionné (CLR Z)

Trajet	Distance (km)	Coût de transport (DA)
(Béjaïa Centre / El-Kseur) → Mascara	619	43 000
LLK → Mascara	482	41 452
(Béjaïa Centre / El-Kseur) → Sidi Bel Abbès	692	46 900
LLK → Sidi Bel Abbès	566	48 676

TABLE 3.20 – Distances et coûts de transport directs des unités de production vers les CLR (Diapason 2)

Itinéraire	Distance (km)	Coût total (DA)
Béjaïa Centre, El-Kseur → Mascara	619	43 000
LLK → Mascara	482	41 452
Béjaïa Centre, El-Kseur → Sidi Bel Abbès	692	46 900
LLK → Sidi Bel Abbès	566	48 676
Béjaïa Centre, El kseur → Clr Z	600	40 800
LLK → Clr Z	510	43 860

TABLE 3.21 – Distances et coûts de transport — Diapason 2 (CLR existants vs Centre Z)

Itinéraire	Distance (km)	Coût total (DA)
Béjaïa Centre → Mascara	619	43 000
LLK → Mascara	482	41 452
El-Kseur → Mascara	619	43 000
Béjaïa Centre → Sidi Bel Abbès	692	46 900
LLK → Sidi Bel Abbès	566	48 676
El-Kseur → Sidi Bel Abbès	692	46 900
Béjaïa Centre → Centre Z	600	40 800
LLK → Centre Z	510	43 860
El-Kseur → Centre Z	600	40 800

TABLE 3.22 – Distances et coûts de transport — Diapason 2

Analyse des gains de coûts Avant la centralisation, les unités de production de Béjaïa Centre, EL kseur et LLK acheminaient leurs marchandises vers deux centres de livraison régionaux, Mascara et Sidi Bel Abbès. Le coût total combiné de transport était alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Béjaïa Centre} \rightarrow \text{Mascara} + \text{Béjaïa Centre} \rightarrow \text{Sidi Bel Abbès} = 43\,000 + 46\,900 = 89\,900 \text{ DA} \\ \text{LLK} \rightarrow \text{Mascara} + \text{LLK} \rightarrow \text{Sidi Bel Abbès} = 41\,452 + 48\,676 = 90\,128 \text{ DA} \\ \text{El-Kseur} \rightarrow \text{Mascara} + \text{El-Kseur} \rightarrow \text{Sidi Bel Abbès} = 43\,000 + 46\,900 = 89\,900 \text{ DA} \end{array} \right.$$

Avec l'ouverture du nouveau centre Z, les marchandises sont désormais transportées vers un seul centre, ce qui réduit les coûts :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Béjaïa Centre} \rightarrow \text{Centre Z} = 40\,800 \text{ DA} \\ \text{LLK} \rightarrow \text{Centre Z} = 43\,600 \text{ DA} \\ \text{El-Kseur} \rightarrow \text{Centre Z} = 40\,800 \text{ DA} \end{array} \right.$$

Le gain de coût réalisé est donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Gain pour Béjaïa Centre} = 89\,900 - 40\,800 = 49\,100 \text{ DA} \\ \text{Gain pour LLK} = 90\,128 - 43\,860 = 46\,268 \text{ DA} \\ \text{Gain pour El-Kseur} = 89\,900 - 40\,800 = 49\,100 \text{ DA} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Hassi Aneur} \rightarrow \text{Mascara} = 13\,000 \text{ DA} \\ \text{Hassi Aneur} \rightarrow \text{Sidi Bel Abbès} = 12\,000 \text{ DA} \end{array} \right. \Rightarrow \text{Total (avant)} = 25\,000 \text{ DA}$$

$$\left\{ \text{Hassi Aneur} \rightarrow \text{CLR Z} = 10\,400 \text{ DA} \right.$$

$$\text{Gain réalisé} = 25\,000 - 10\,400 = \boxed{14\,600 \text{ DA}}$$

Ainsi, la centralisation des flux vers le centre Z permet de réduire significativement les coûts de transport, avec des économies dépassant 45 000 DA pour chaque unité de production, ce qui constitue une amélioration majeure en termes d'efficacité logistique.

3.8.1 Analyse comparative des configurations logistiques

Catégorie de coût	Avant (DA)	Après (DA)	Gain (DA)
(Diapason 1) : Usines → Plateforme → CLR / Z	161 278	146 678	+14 600
(Diapason 2) : Usines → CLR / Z	269 928	125 200	+144 728
Transport total	431 206	271 878	+159 328
Économie : fermeture des deux CLR	—	—	+4 419 015
Investissement : ouverture du centre Z	—	2 000 000	-2 000 000
Gain net total	—	—	+2 419 015
Gain final total (transport + net)	—	—	+2 578 343

TABLE 3.23 – Bilan synthétique des coûts avant et après le redimensionnement (les trois unités de production)

L'analyse comparative entre les configurations logistiques *Diapason 1* et *Diapason 2* met en évidence l'intérêt stratégique d'un redimensionnement du réseau de distribution. En particulier, la centralisation des flux vers un centre unique (centre Z) permet non seulement de rationaliser les itinéraires de transport, mais également de réduire significativement les coûts opérationnels.

Les résultats chiffrés indiquent un gain de **159 328 DA** uniquement sur les coûts de transport, grâce à l'optimisation des trajets entre les usines, la plateforme de Hassi Ameur et le centre Z. À cela s'ajoute une **économie nette de 2 419 015 DA**, résultant de la fermeture des deux centres de livraison existants et de l'ouverture du nouveau centre Z.

Ainsi, le **gain final total s'élève à 2 578 343 DA**, ce qui illustre clairement les bénéfices économiques du scénario de centralisation. Ce redimensionnement logistique s'inscrit dans une logique d'optimisation à la fois économique et organisationnelle, avec des retombées positives attendues sur la performance globale de la chaîne d'approvisionnement.

Cette étude confirme la pertinence d'une approche intégrée de la distribution, capable d'adapter dynamiquement l'architecture logistique en fonction des coûts, des distances et des capacités disponibles.

Conclusion

Ce chapitre traite l'optimisation de la structure logistique régionale de l'entreprise Cevital à travers un modèle de localisation-allocation. L'analyse a montré que le maintien des centres actuels (Mascara et Sidi Bel Abbès) n'est pas toujours optimal, et qu'une fermeture ciblée accompagnée d'une réorganisation peut réduire significativement les coûts. L'introduction d'un centre unique (centre Z) s'est révélée économiquement avantageuse, notamment si son implantation respecte les contraintes de distance et de capacité. Le modèle permet également une adaptation stratégique grâce à un paramètre de pondération, offrant une flexibilité sur les décisions, selon les priorités de l'entreprise. En conclusion, la fermeture des centres existants au profit d'un nouveau centre unique s'impose comme une solution logistique performante et durable.

Conclusion générale et travaux futures

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'analyse et d'optimisation logistique appliquée à un réseau de distribution réel (entreprise CEVITAL). Face à des enjeux croissants de performance économique et de satisfaction client, la réorganisation partielle du réseau logistique, notamment à travers le redimensionnement des centres logistiques régionaux s'est imposée comme une problématique stratégique.

En nous appuyant sur une modélisation mathématique rigoureuse, fondée sur la programmation non linéaire en nombres mixtes et enrichie d'une approche bicritère, nous avons pu répondre à plusieurs questions fondamentales : quels centres maintenir, fermer ou ouvrir ? Quelle localisation est la plus pertinente pour implanter un nouveau centre ? Le remplacement de deux centres existants par un centre fusionné est-il économiquement justifié ? Quelle position géographique permet de minimiser les coûts sans nuire au service ?

Les résultats obtenus montrent qu'une solution centralisée autour d'un centre unique bien positionné permet d'atteindre un équilibre entre la réduction des coûts de transport et la limitation des investissements fixes. Cette stratégie, couplée à une analyse sensible du paramètre de pondération λ , offre une grande souplesse décisionnelle à l'entreprise, selon ses priorités à court ou moyen terme (service client, rentabilité, couverture territoriale, etc.).

Au-delà des considérations techniques, ce travail met en lumière l'importance de la logistique dans la transformation structurelle des organisations. Il témoigne également de la capacité des outils d'aide à la décision à soutenir des choix complexes, dans un contexte marqué par des incertitudes, des contraintes et des objectifs parfois contradictoires.

Sur le plan humain, cette expérience a été riche d'enseignements. Elle nous a permis de confronter les modèles théoriques aux réalités du terrain, de dialoguer avec les acteurs de la chaîne logistique, et de développer une réflexion stratégique rigoureuse. Elle nous a aussi rappelé que derrière chaque centre, chaque distance optimisée, se trouvent des équipes, des clients et une responsabilité collective envers l'efficacité économique et sociale.

Cependant, comme toute démarche scientifique, cette recherche présente certaines limites. Les données utilisées, bien que basées sur des observations réelles, couvrent une période limitée, ce qui peut affecter la robustesse des estimations à long terme. De plus, le modèle ne prend pas en compte certains paramètres dynamiques tels que les fluctuations saisonnières de la demande, les contraintes liées au foncier, ou encore les risques liés à la

chaîne d'approvisionnement. Enfin, des aspects qualitatifs comme l'impact social d'une fermeture de site n'ont pas été modélisés, bien qu'ils méritent une attention particulière dans une approche intégrée.

Ce mémoire constitue ainsi une base solide pour de futurs travaux, qui pourraient enrichir le modèle par des données dynamiques, intégrer des contraintes environnementales ou explorer des scénarios de croissance plus complexes. Il ouvre la voie à une logistique plus agile, plus intégrée et plus durable.

Bibliographie

- [1] T. Achterberg. Scip : Solving constraint integer programs. *Mathematical Programming Computation*, 1(1) :1–41, 2009. Solveur académique puissant pour PLNE et MINLP.
- [2] D. Barczk and R. Evrad. *Logistique et management*. Narthan / Universel, Paris, 2002.
- [3] M. Beaulieu and J. Roy. *Optimisation de la chaîne logistique et productivité des entreprises*. PUQ. Septembre 2009.
- [4] M. Bennekrouf. Problème de localisation–allocation dans une chaîne logistique inverse. Cours universitaire, Dec. Support de cours sur l’optimisation localisation–allocation, inspiré de la présentation à la CPI 2015, Tanger.
- [5] M. Bennekrouf. *Modélisation et simulation d’une chaîne logistique inverse en tenant compte de la robustesse*. Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2013.
- [6] D. Bertsimas and J. N. Tsitsiklis. *Introduction to Linear Optimization*. Athena Scientific, 1997.
- [7] P. Bonami et al. An algorithmic framework for convex mixed integer nonlinear programs. *Discrete Optimization*, 5(2) :186–204, 2008.
- [8] S. Carrera. *Planification et ordonnancement des plateformes logistiques*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine, July 2011.
- [9] Cevital. Site officiel de cevital. <http://www.cevital.com>, 2024. Consulté en avril 2025.
- [10] A. Cheriet. *Métaheuristique hybride pour l’optimisation multi-objectif*. Thèse de doctorat en sciences, Université Mohamed Khider Biskra, 2016.
- [11] M. Chikhi. Chaîne logistique. *Institut spécialisé en gestion et administration*, 2015.
- [12] M. Christopher and H. Lee. *Logistics and Supply Chain Management : Creating Value-Adding Networks*. 2004.
- [13] R. Colome et al. Consumer choice in competitive location models. Technical report, Universitat Pompeu Fabra, 2002.
- [14] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm : Nsga-ii. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 2002.
- [15] S. Djeroud. Étude de la logistique du transport au sein de cevital. Master’s thesis, Université de Bejaia, 2018.

- [16] S. M. Douiri, S. Elbernoussi, and H. Lakhbab. Cours des méthodes de résolution exactes, heuristiques et métaheuristiques, 2009. Université Mohammed V.
- [17] R. Z. Farahani and M. Hekmatfar. *Facility Location : Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Contributions to Management Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [18] FICO. *FICO Xpress Optimization Suite*, 2024. Solveur commercial d'optimisation.
- [19] M. Gendreau and J.-Y. Potvin. *Handbook of Metaheuristics*. Springer, New York, 2010.
- [20] V. Giard. *Gestion de la production et des flux*. Économica, Paris, 3^e édition edition, 2003.
- [21] I. E. Grossmann. Review of nonlinear mixed-integer and disjunctive programming techniques. *Optimization and Engineering*, 3(3), 2002.
- [22] Groupe GCL. Les avantages d'une analyse de réseau de distribution pour optimiser localisation et coûts logistiques, 2023. <https://www.gclgroup.com/avantages-reseau-distribution/>.
- [23] Gurobi Optimization, LLC. *Gurobi Optimizer Reference Manual*, 2024. Logiciel de résolution d'optimisation.
- [24] IBM Corporation. *IBM ILOG CPLEX Optimizer*, 2024. Logiciel de résolution d'optimisation.
- [25] S. Kendi, M. S. Radjef, and A. Hammoudi. Optimisation des réseaux de distribution des produits agroalimentaires : Modélisation et application. *New Medit : Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, 2020.
- [26] M. Khelifi and T. Hafsi. Groupe cevital, gestion stratégique : maîtriser la croissance, c'est vital! Technical report, HEC Montréal, 2013.
- [27] H. L. Lee and C. Billington. Material management in decentralized supply chains. *Operations Research*, 1993.
- [28] S. Lhomme. Les problèmes de localisation-allocation, 2023. Université Paris-Est Créteil, Maître de conférences en Géographie.
- [29] X. Liu and al. Effective approaches to solve p-center problem via set covering and sat. *IEEE Access*, 2020.
- [30] C. Mahtout. Modélisation pour l'optimisation de la chaîne de distribution des produits agroalimentaires au sein de l'entreprise cevital-béjaïa. Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, 2024.
- [31] A. Makhorin. *GNU Linear Programming Kit (GLPK) Manual*, 2024. Logiciel libre de programmation linéaire.
- [32] S. Mebarki and L. Tahiri. Optimisation du réseau logistique de distribution : cas des huiles au niveau de cevital. Master's thesis, Université de Bejaia, 2015.
- [33] K. Miettinen. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Springer, 1^{re} édition edition, 1999.

- [34] G. L. Nemhauser and L. A. Wolsey. *Integer and Combinatorial Optimization*. John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [35] Y. Pimor and M. Fender. *Logistique : production, distribution, soutien*. Dunod, Paris, 2005.
- [36] C. Prodhon. *Contribution à l'étude et à la résolution des problèmes de localisation et de tournées*. PhD thesis, Université de Technologie de Troyes, 2006.
- [37] C. ReVelle and H. A. Eiselt. Location allocation problem. *ResearchGate*, 2005. Available online : https://www.researchgate.net/publication/226827216_Location_Allocation_Problem.
- [38] M. Roux and S. T. Liu. Optimisez votre logistique d'entrepôt. *Article*, 2003.
- [39] H. Stadtler and C. Kilger. Supply chain management and advanced planning : Basic overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 2005.
- [40] E.-G. Talbi. *Metaheuristics : From Design to Implementation*. Wiley, Chichester, UK, 2009.
- [41] The Optimization Firm. *BARON Global Optimization Software*, 2024. Solveur commercial pour MINLP global.
- [42] D. Tixier, H. Mathee, and J. Colin. *La logistique au service de l'entreprise : Moyen, mécanismes et enjeux*. Dunod entreprise, Paris, 1983.
- [43] A. Weber and C. J. Friedrich. *Alfred Weber's Theory of the Location of Industries*. University of Chicago Press, Chicago, 1929.

Résumé : Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'optimisation logistique appliquée à un redimensionnement partiel du réseau de distribution de l'entreprise CEVITAL. L'étude porte spécifiquement sur la plateforme d'Oran (Hassi Ameer), reliée à deux centres de distribution régionaux (CLR), situés à Mascara et Sidi Bel Abbès respectivement, en vue d'analyser la pertinence de leur maintien, la fermeture ou la fusion à travers la création éventuelle d'un centre unique alternatif (centre Z). À partir de données réelles (demandes, distances, capacités et coûts), un modèle mathématique d'optimisation est formulé pour identifier la configuration optimale, respectant les contraintes opérationnelles. Ce modèle est résolu à l'aide du solveur Gurobi dans un environnement Python. L'approche permet de comparer les coûts logistiques avant et après le redimensionnement, en évaluant notamment l'impact sur les distances parcourues, les coûts de transport et la performance du service. Les résultats obtenus offrent des recommandations concrètes pour améliorer la configuration du réseau logistique à l'échelle régionale, tout en maintenant une efficacité économique et opérationnelle.

Mots-clés : Modélisation mathématique, Chaîne logistique, Localisation, Optimisation bicritère, Redimensionnement logistique.

Abstract : This dissertation adopts a logistics optimization approach applied to a partial resizing of the distribution network of the company CEVITAL. The study focuses specifically on the Oran platform (Hassi Ameer), connected to two regional delivery centers (CLR), located in Mascara and Sidi Bel Abbès respectively, with a view to analyzing the relevance of maintaining, closing, or merging them through the possible creation of a single alternative center (Z center). Using real data (demand, distances, capacities, and costs), a mathematical optimization model is formulated to identify the optimal configuration, respecting operational constraints. This model is solved using the Gurobi solver in a Python environment. The approach allows for a comparison of logistics costs before and after resizing, particularly by assessing the impact on distances traveled, transportation costs, and service performance. The results obtained offer concrete recommendations for improving the configuration of the logistics network at the regional level, while maintaining economic and operational efficiency.

Keywords : Mathematical modeling, Supply chain, Location, Bi-criteria optimization, Logistics resizing.