

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire de Master

En Mathématiques appliquées

Spécialité : Modélisation mathématique et techniques de décision

Présenté par : DRIES Thilleli
MECHERI Meriem

Sous le Thème

Modélisation pour l'aide à la décision dans la
gestion de la chaîne logistique : cas des huiles
Elio au niveau de Cevital

Soutenu à l'Université Abderrahmane Mira de Béjaia,
Le 04/07/2023, devant le jury composé de :

Président	L. Djerroud	M.C.A	UAMB - Bejaia.
Encadrants	F. Aoudia	Professeur	UAMB - Bejaia.
	Z. Aoudia	M.A.A	UAMB - Bejaia.
Examineurs	N. Lazari	M.A.A	UAMB - Bejaia
	S. Ziani	M.C.B	UAMB - Bejaia
Invité	K. Cherchour		Encadrant Cevital

Année Universitaire 2022 – 2023

Remerciements

Louange A Dieu, le miséricordieux, sans Lui rien de tout cela n'aurait pu être.

Nous tenons tout d'abord à remercier nos promotrices Mlle Z. Aoudia et Mme F. Aoudia, d'avoir accepté de nous encadrer, pour leurs orientations, conseils qui nous ont prodigué tout au long de ce travail.

Nous tenons également à remercier l'équipe de la direction logistique de l'entreprise Cevital agro-industrielle pour leurs accueils et aides en particulier Mr K. Cherchour , Mr S. Chahboune et Mr F. Soltana.

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail, et pour le temps qu'ils consacrent pour lire ce travail.

Enfin, nos remerciements et grâces vont aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents à qui je doit tout et à qui je rendrais jamais assez

Moi même pour célébrer mon parcours et me féliciter de mon succès suprême

Mes très chères soeurs Tinhinane et Massissilia

Mes très chers frères Messipsa et Massyl

Mes grands pères et mes grandes mères

Toute ma famille et tous mes amis

THILLELI

Table des matières

Liste des figures	5
Liste des tables	6
Introduction générale	1
1 Présentation de l'entreprise	4
1.1 Historique	4
1.1.1 Les étapes d'évolution du groupe Cevital	4
1.2 Situation géographique	5
1.3 Structure et Organisation de l'entreprise	6
1.4 Les produits et la flexibilité de conditionnement de Cevital	6
1.4.1 Les produits de Cevital	7
1.5 La flexibilité de conditionnement	9
1.6 Missions et objectifs	9
1.7 L'activité de Cevital au niveau de la ville de Bejaia	10
1.8 Les plateformes	10
1.8.1 Centre de Livraison Régional(CLR)	10
1.9 Type de la clientèle de Cevital	10
1.9.1 Clients hors CLR :	11
1.9.2 Clients CLR	11
1.10 Présentation de la filiale Numilog	11
1.11 Position de problème	11
2 Concepts de base de la chaîne logistique	13
2.1 Introduction	13
2.2 La logistique	13
2.2.1 Le rôle de la logistique	14
2.2.2 Types de logistique	14
2.3 La chaîne logistique (Supply chain)	15
2.3.1 Définitions	15
2.3.2 Les flux d'une chaîne logistique	16
2.4 Gestion de la chaîne logistique	17
2.5 Optimisation des fonctions de la chaîne logistique	17
2.5.1 Optimisation séquentielle	17
2.5.2 Optimisation intégrée	18
2.6 Approches découplées de la gestion de la chaîne logistique	19
2.6.1 Production	19
2.6.2 Stockage	20

2.6.3	Transport	22
2.7	Approches couplées	22
2.7.1	Production-Stockage	22
2.7.2	Production - Transport	23
2.7.3	Transport - Stockage	23
2.8	Les niveaux de décision	24
2.8.1	Le niveau stratégique	24
2.8.2	Le niveau tactique	24
2.8.3	Le niveau opérationnel	24
2.9	La planification de la production	25
3	Problème de dimensionnement de lots et problème de transport	26
3.1	Introduction	26
3.2	Classification des critères du lot sizing	26
3.3	Classification du problème de lot sizing	29
3.4	Formulation Mathématique du problème de lot sizing :	29
3.4.1	Problème de transport	30
3.5	Méthodes de résolution	32
3.5.1	Méthodes exactes	32
3.5.2	Méthodes Approchées	33
3.6	Outils et logiciels d'optimisation	34
3.6.1	Solveur	34
3.6.2	Les langages de modélisation	34
3.6.3	Présentation du logiciel IBM ILOG CPLEX	35
3.7	Conclusion	35
4	Modélisation et résolution du problème	36
Introduction	36
4.1	Description Et Modélisation du Problème	36
4.1.1	Description du problème	36
4.2	Récoltes des données	37
4.2.1	Données liées à la production	37
4.2.2	Données récoltées auprès du service logistique	38
4.2.3	Données récoltées auprès du service logistique, Bejaia	39
4.2.4	Formulation du problème	39
4.3	Modèle Mathématique du problème	41
4.3.1	Fonction objectif :	41
4.4	La résolution du problème	43
4.5	Interprétation des résultats	57
4.6	Comparaison des résultats	57
Conclusion	58
	Conclusion générale et perspectives	59
	Annexe	60

Table des figures

1.1	Situation géographique	5
1.2	L'organigramme général de Cevital	6
1.3	Fleuriel	7
1.4	Elio	8
1.5	Margarinerie et graisses végétales	8
1.6	Sucre	9
2.1	Logistique	14
2.2	La chaîne logistique ou supply chain	16
2.3	Les niveaux de décisions	25
3.1	Exemple de classification des critères du lot sizing	28
4.1	schéma de distribution Cevital	37
4.2	Implémentation du modèle sous CPLEX	44
4.3	Implémentation du modèle sous CPLEX , suite1	45
4.4	implémentation du modèle sous CPLEX , suite2	45
4.5	implémentation du modèle sous CPLEX , suite3	46
4.6	Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 1L sous CPLEX	46
4.7	Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 2L sous CPLEX	50
4.8	Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 5L sous CPLEX	54

Liste des tableaux

1.1	Les productions de Cevital	9
4.1	Capacité de Production	38
4.2	Coût de Production et lancement par palette	38
4.3	Capacité de stockage des plateformes en palettes	38
4.4	Coût de transport usine plateformes en DA/semaine/palette	39
4.5	Les coûts moyens de stockage des plateformes	39
4.6	Quantité produite de produit Elio 1L	47
4.7	Quantité à envoyer de l'usine aux CLR	48
4.8	Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes	49
4.9	Quantité stockée dans les plateformes	49
4.10	Quantité stockée dans CLR chaque fin de période	50
4.11	Quantité produite de produit Elio 2L	51
4.12	Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes	51
4.13	Quantité à envoyer de l'usine vers CLR	52
4.14	Quantité stockée dans les plateformes	53
4.15	Quantité stockée dans CLR chaque fin de période	53
4.16	Quantité produite de produit Elio 5L	54
4.17	Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes	55
4.18	Quantité stockée dans les plateformes	55
4.19	Quantité à envoyer de l'usine vers CLR	56
4.20	Quantité stockée dans CLR chaque fin de période	57
4.21	Comparison des résultats	58
4.22	Les distances entre usine et CLR	65
4.23	les distances entre l'usine et les plateformes	65
4.24	Les coûts de transport usine-CLR(aller+retour) en DA	65
4.25	Coût de transport plateformes- CLR	66

Introduction générale

Dans un environnement de plus en plus concurrentiel, l'enjeu essentiel des entreprises est l'amélioration continue de leurs performances. Celles-ci dépendent essentiellement de la production des biens et services devant satisfaire les exigences des clients dans les meilleurs délais et aux moindres coûts, tout en maximisant les profits. L'amélioration des performances engage toutes les entreprises qui participent dans le processus globale allant de l'approvisionnement des matières premières, en passant par la transformation de ces matières en produits finis, en arrivant à la distribution des produits finis aux clients. Cela pousse ces entreprises ayant des intérêts communs à se regrouper dans un réseau appelé chaîne logistique.

La gestion de la chaîne logistique ou Supply Chain Management (SCM), s'est imposée aujourd'hui comme un concept clé et un domaine d'intérêt croissant aussi bien pour les entreprises que pour les chercheurs. Son objectif est l'optimisation globale des fonctions de la chaîne et l'intégration des niveaux de décision et les différentes activités qui en découlent [16].

Les principales fonctions de la chaîne logistique sont la production, le stockage et la distribution. Traditionnellement, ces fonctions sont gérées indépendamment les unes des autres. Dans ce type de gestion, chaque fonction est responsable de l'optimisation de sa propre activité. La tendance vers le JIT (Just In Time) , et par conséquent vers la réduction des stocks entraîna une interaction plus étroite entre ces fonctions. L'idée d'intégrer ces fonctions pour optimiser la chaîne logistique s'est imposée. On parle alors de de l'optimisation intégrée.

Au sein d'une chaîne logistique, il y'a trois niveaux de prise de décision : le niveau stratégique, le niveau tactique, et le niveau opérationnel. Ces problèmes sont rencontrés au quotidien dans, par exemple, les ateliers de production ou d'assemblage, ou l'on doit être capable à tout moment de décider quelles sont les opérations à exécuter, dans quel ordre et en utilisant quelles ressources[2].

Notre thème de recherche s'inscrit dans la gestion de la chaîne logistique au sein de l'entreprise Cevital cas des huiles. Pour cette thématique plusieurs travaux ont été réalisés.

La première étude qui a été réalisée en 2015 [13] , avait pour objectif d'établir un plan de distribution optimal des palettes d'huile transportées au niveau de l'entreprise Cevital agro-alimentaire afin de couvrir la demande de sa clientèle d'une part et de minimiser les coûts engendrés d'une autre part.

La deuxième étude a été réalisée en 2016 [5] et avait pour objectif de déterminer un plan de distribution optimal afin de livrer des produits à des clients en bonne quantité et à minimiser la distance parcourue par l'ensemble des véhicules de la filiale NUMILOG.

La troisième étude a été réalisée en 2019 [2] et avait pour objectif à la planification de la distribution des produits de l'entreprise CEVITAL, réduire les coûts. Dans ce travail, les auteurs ont opté en premier lieu pour un plan appelé "DIAPASON 1" utilisé depuis 2014 jusqu'à 2018, où les produits sont expédiés de l'unité de production vers les plateformes avant de les envoyer aux CLR. Puis, les auteurs décrivent le deuxième plan "DIAPASON 2" utilisé depuis début 2019, où les produits sont expédiés de l'usine vers les CLR sans passer par les plateformes. Finalement, ils terminent par proposer leur propre modèle optimal qui réduit les coûts engendrés, où il propose d'éliminer la plateforme de Bouira.

Notre travail consiste à optimiser la chaîne de distribution des palettes d'huiles Elio au sein de l'entreprise agro-alimentaire Cevital et à déterminer les quantités à produire et à livrer à chaque période, de manière à satisfaire les demandes de chaque CLR dans chaque période et à respecter les capacités de production, de stockage aux plateformes et aux CLR, tout en le combinant avec le problème de transport. Un autre point fort de notre modèle est qu'il combine les deux "DIAPASONS" relatifs à l'alimentation des CLR (soit de l'unité de production soit en passant par les plateformes, en fonction de la disponibilité du produit). L'objectif est de minimiser le coût total de la chaîne logistique. Ceci nécessite la récolte de différentes données, suite à un stage de durée d'un mois réalisé au sein de l'entreprise Cevital. Nous avons établi un modèle mathématique à variables mixtes que nous avons résolu avec une méthode exacte à l'aide du solveur CPLEX. Nous terminons par la comparaison des résultats obtenus avec les données de l'entreprise.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons l'entreprise Cevital. Dans le deuxième chapitre, on donne quelques définitions et concepts de base sur la chaîne logistique et on termine avec les approches couplées et découplées.

Le troisième chapitre est réservé à la présentation du problème de lot sizing, où on retrouve une formulation mathématique du problème de lot sizing de base également le problème de transport et sa formulation mathématique, on terminera par donner les méthodes de résolution.

Dans le dernier chapitre on retrouve notre propre contribution où nous proposons un modèle de lot sizing combiné avec le problème de transport résolu avec une méthode exacte à l'aide du solveur CPLEX. Nous terminons par la comparaison des résultats obtenus avec les données de l'entreprise.

Le document se termine par une conclusion générale où sont exposées également certaines perspectives de recherche. Cette dernière est suivie par une annexe où

on retrouve l'ensemble des données collectées nécessaires pour l'accomplissement de notre travail. Finalement, on retrouve une bibliographie des différentes références utilisées le long de notre travail de recherche.

1

Présentation de l'entreprise

1.1 Historique

Cevital est un conglomérat industriel axé sur l'agroalimentaire. Fondée en mai 1998 sous la forme d'une société par actions (SPA) avec un capital initial de 68 760 milliards de dinars algériens, l'entreprise est financée par des investissements privés. Première entreprise privée algérienne à investir dans des secteurs diversifiés, a connu plusieurs étapes importantes de son histoire pour atteindre sa taille et sa renommée actuelles. Grâce à la qualité de ses produits et à sa compétitivité, elle s'est imposée comme leader sur le marché national. Les principaux actionnaires de l'entreprise sont Isaad REBRAB et ses fils[4].

1.1.1 Les étapes d'évolution du groupe Cevital

L'entreprise Cevital est passé par plusieurs étapes a savoir [4] :

- 1971 prise de la participation dans SO.CO.MEG : construction métallique.
- 1985 création d'ENALUX : Construction métallique.
- création NORD METAL : Fabrication de grillage et toile à tamis et création de METALOR : Fabrication de tubes en acier.
- 1987 Acquisition de SACM : Construction métallique.
- 1997 création de HYUNDAI MOTORS ALGERIE : Distribution de véhicules et services après-ventes (distribution officiel de la marque Coréenne en Algérie).
- 2008 Création de NUMILOG.
- 2009 Augmentation de la production de sucre de M T/AN.

1.2 Situation géographique

Cevital se situe à l'arrière port de Bejaia à 200 ML (mètre linéaire) du quai à 3km Sud-Ouest de la ville, à proximité de la RN 26 et la RN 9. Cette situation géographique de l'entreprise lui profite bien étant donné qu'elle lui confère l'avantage de la proximité économique. Le complexe s'étend sur une superficie de 45 000m² (le plus grand complexe privé en Algérie), il a une capacité de stockage de 182 000 tonnes/an (silos portuaire), et un terminal de déchargement portuaire de 200 000 tonnes/heure (réception de matière première). Elle possède un réseau de distribution de plus de 52 000 points de vente sur tout le territoire national également :



FIGURE 1.1 – Situation géographique

1.3 Structure et Organisation de l'entreprise

La structure organisationnelle de la Direction Générale repose sur plusieurs directions distinctes, qui se présentent comme suit :

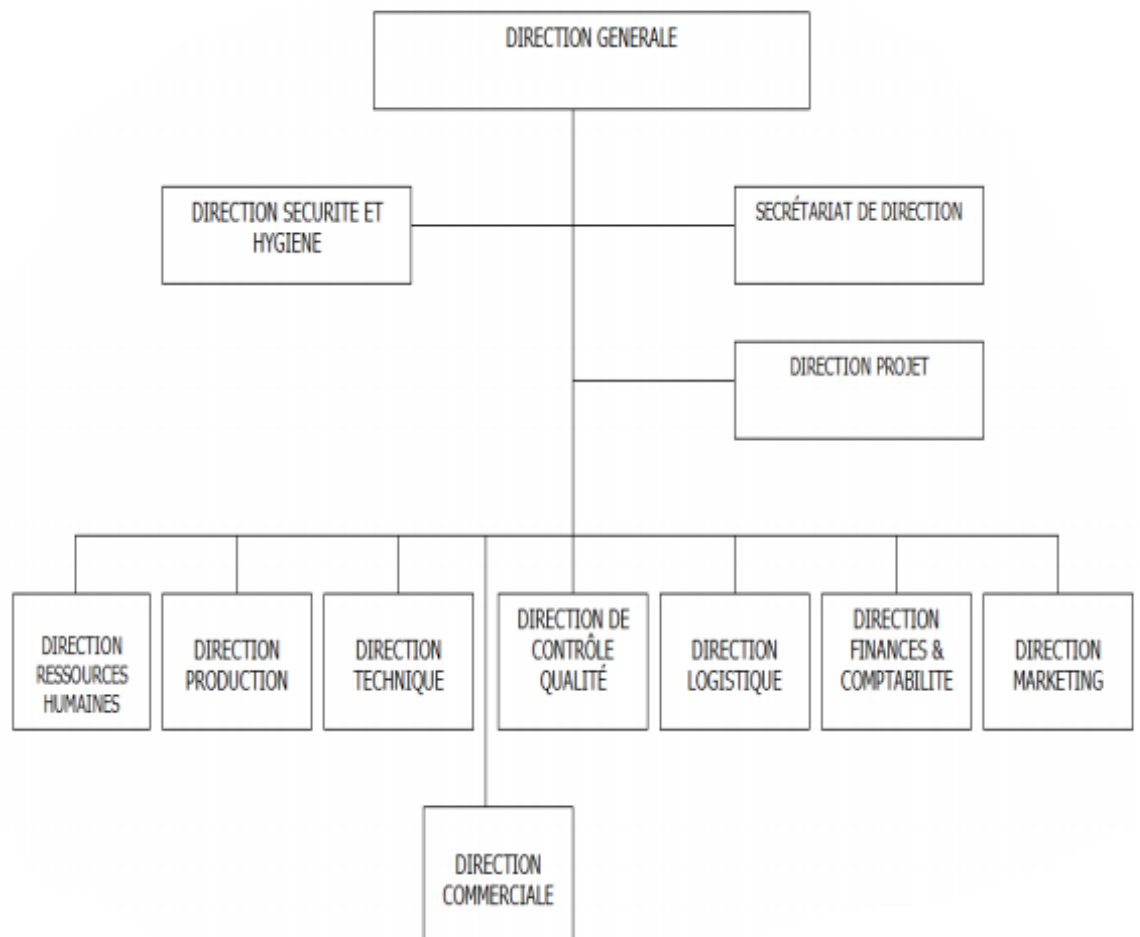


FIGURE 1.2 – L'organigramme général de Cevital

1.4 Les produits et la flexibilité de conditionnement de Cevital

Depuis sa première année d'exploitation, Cevital a enregistré une croissance annuelle de 50 %. Grâce à cette performance, l'entreprise est devenue un leader dans plusieurs secteurs agro-alimentaires, couvrant ainsi une part importante des besoins du marché national. De plus, Cevital a créé de nombreux emplois, soit 600 par an[4].

L'entreprise poursuit sa stratégie de croissance et de diversification en lançant plusieurs projets. Cevital Agro-Industrie comprend diverses unités de production

telles qu'une raffinerie d'huile, une raffinerie de sucre, une margarinerie, des unités de conditionnement d'eau minérale, une unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes sans alcool, une conserverie, des silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire.

1.4.1 Les produits de Cevital

Cevital contient dans l'output de son activité industrielle une gamme très diversifiée en matières de produits fabriqués, autres que les huiles alimentaires dans lesquelles elle est spécialisée. L'entreprise produit et commercialise plusieurs autres produits dérivés qu'on va aborder dans ce qui suit [4]. :

Les huiles végétales :

Cevital produit deux types d'huile de table de différentes qualités et appellations, dont le système de fabrication est certifié ISO 22000 par le bureau de certification VERITAS.

Les appellations spécifiques ainsi que les logos associés à ces huiles peuvent varier à savoir :

- **Fleuriel** : 100 % tournesol sans cholestérol, riche en vitamine (A,D,E) et en acides gras essentiels .



FIGURE 1.3 – Fleuriel

- **Elio** : c'est une huile 100 % végétale et sans cholestérol, contient la vitamine F.



FIGURE 1.4 – Elio

Elles sont issues essentiellement de la graine de tournesol, soja et de palme, conditionnées dans des bouteilles de diverses contenances allant de 1 à 5 litres, après qu'elles aient subis plusieurs étapes de raffinage et d'analyse.

Margarinerie et graisses végétales :

Cevital propose une gamme variée de margarines riches en vitamines A, D et E. Certaines margarines sont destinées à la consommation directe et portent des marques telles que MATINA, ELIO, la beurre gourmande et FLEURIAL. D'autres margarines sont spécialement conçues pour répondre aux besoins de la pâtisserie moderne ou traditionnelle, comme la parisienne et MEDINA "smen".



FIGURE 1.5 – Margarinerie et graisses végétales

Sucre :

Le sucre blanc de Cevital est fabriqué à partir du raffinage du sucre roux de canne, qui est naturellement riche en saccharose. Le sucre raffiné est conditionné dans des sachets de 50 kg et est également commercialisé au détail dans des boîtes ou des sachets de 500 g. Le sucre blanc de Cevital garantit la sécurité à toutes les étapes de fabrication et répond à toutes les exigences de qualité.

En plus du sucre blanc, Cevital produit également du sucre sous forme liquide pour répondre aux besoins des clients industriels soucieux de la rentabilité de leurs activités et de la qualité de leurs produits finis.



FIGURE 1.6 – Sucre

1.5 La flexibilité de conditionnement

Grâce à son savoir faire incontesté en plastique, Cevital produit ses propres emballages destinés au conditionnement de ses produits finis, offrant ainsi une large gamme de format : Préformes, poignées, bouchons, embouteillage et étiquetage (Table 1.5)

Produit	Format
Huile	0,75L ; 1L ; 1,8L ; 2L ; 4L ; 5L en forme ronde ou boxée

TABLE 1.1 – Les productions de Cevital

1.6 Missions et objectifs

L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs, et cela dans le but de satisfaire le client. Les objectifs visés par Cevital peuvent se présenter comme suit [4] :

- L'élargissement de sa gamme de produits.
- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.
- L'implantation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.
- L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses.
- La modernisation de ses installations industrielles pour augmenter le volume de sa production.
- Positionner ses produits sur le marché international par leurs exportations.

1.7 L'activité de Cevital au niveau de la ville de Bejaia

L'entreprise Cevital exerce une activité diversifiée et assure :

- Le raffinage du sucre avec une capacité de production de 1600tonnes/jour.
- La production des margarines avec une capacité de 600 tonnes /jour.
- Le raffinage des huiles avec une capacité de production de 1800 tonnes/jour .

1.8 Les plateformes

Cevital dispose de trois plateformes de stockage externes stratégiquement situées. La première plateforme, située au centre à Bouira, a une capacité de stockage de 50 000 palettes, dont 20 000 sont réservées aux produits agroalimentaires. La deuxième plateforme, située à l'Ouest à Hassi Amer à Oran, a une capacité de stockage de 25 000 palettes, dont 12 000 sont destinées aux produits agroalimentaires. La troisième plateforme, localisée à l'Est à EL-Kharoub (Constantine), a une capacité de 3 000 palettes.

Le choix de l'emplacement de ces plateformes n'a pas été fait au hasard, mais a été basé sur une étude approfondie. Les plateformes sont stratégiquement positionnées à l'Est, au Centre et à l'Ouest, ce qui permet d'alimenter la plupart des marchés du pays de manière efficace. Cette répartition géographique réfléchie facilite la distribution des produits de Cevital sur l'ensemble du territoire national.

1.8.1 Centre de Livraison Régional(CLR)

En 2014, Cevital a mis en place une nouvelle stratégie en introduisant les Centres de Livraison Régionaux (CLR). Cette initiative avait pour objectif de réduire la pression sur l'infrastructure de l'entreprise, d'améliorer la proximité entre les marchandises et les clients, et de maintenir sa compétitivité face à la concurrence.

Actuellement, Cevital possède 15 centres de livraison régionaux qui lui permettent d'assurer une distribution efficace de ses produits à travers le pays. Cette approche lui permet de répondre aux besoins des clients de manière plus rapide et efficace.

1.9 Type de la clientèle de Cevital

Cevital commercialise ses produits à la fois aux clients hors CLR et aux clients CLR .

1.9.1 Clients hors CLR :

Les clients hors Centres de Livraison Régionaux (CLR) regroupent toutes les entreprises et commerçants qui se fournissent en produits soit directement depuis le complexe de Bejaia, soit au niveau des plateformes de stockage. Pour ces clients, Cevital a mis en place deux types de programmes :

1. Un programme B to B (Business to Business) : Il s'adresse aux entreprises qui utilisent les produits de Cevital comme matières premières dans leurs propres processus de production. Par exemple, une entreprise utilisant le sucre liquide de Cevital pour la fabrication de boissons.
2. Un programme B to C (Business to Customer) : Il s'adresse aux consommateurs finaux, c'est-à-dire aux particuliers. Les produits sont destinés à leur consommation personnelle.

Ces clients hors CLR sont pris en charge par des représentants commerciaux, appelés démarcheurs, qui collectent l'ensemble de leurs commandes.

1.9.2 Clients CLR

Les Clients CLR sont ceux qui s'alimentent directement au niveau des CLR, auxquels ils appartiennent. Ces derniers sont représentés par une équipe contact, qui collecte les commandes des clients. Suite à la surface limitée du stock au niveau du complexe, et pour ne pas interrompre la production, qui se réalise 24/24, Cevital a adapté une stratégie, qui est l'acquisition des plateformes.

1.10 Présentation de la filiale Numilog

Avant la création de Numilog, le groupe Cevital dépendait de prestataires externes pour le transport de ses marchandises, ce qui engendrait des coûts élevés pour chaque filiale. En 2013, pour remédier à cette situation, le groupe a créé Numilog, une filiale spécialisée dans la logistique et le transport. Son objectif était d'apporter un soutien logistique à Numidis, la filiale dédiée à la grande distribution. Numilog dispose de trois agences nationales à Bouira, Oran et Béjaia. Cette initiative vise à améliorer la gestion logistique interne du groupe Cevital et à réduire les coûts associés au transport des marchandises.

1.11 Position de problème

Durant notre période de stage, on a constaté qu'optimiser la chaîne logistique de l'entreprise Cevital en réduisant les coûts est une problématique clé. Traditionnellement, les fonctions de production, de stockage et de distribution étaient gérées indépendamment les unes des autres. L'intégration de ces fonctions est devenue essentielle. L'optimisation intégrée de la chaîne logistique vise à améliorer la coordination entre ces fonctions pour maximiser l'efficacité globale. Cela permet d'optimiser la production, réduire les coûts de stockage et améliorer la distribution, contribuant

ainsi à minimiser les coûts. Ce qui nous ramène le long de ce mémoire à résoudre un problème de lot sizing combiné avec le problème de transport.

Notre objectif consiste à optimiser le coût total de la chaîne constitué d'un coût de production, le coût de stockage et le coût de transport.

2

Concepts de base de la chaîne logistique

2.1 Introduction

La chaîne logistique (Supply Chain), qui englobe toutes les activités allant du fournisseur au client en passant par la fabrication et le stockage des produits, joue un rôle crucial dans le fonctionnement de l'entreprise. Afin de rester compétitive, chaque entreprise doit maîtriser ce processus pour disposer de toutes les informations nécessaires à la mise en place d'une politique commerciale visant à préserver ses parts de marché et à survivre dans un environnement concurrentiel.

Dans ce chapitre, nous présenterons les fondements théoriques de la logistique, son rôle et ses différents types. En mettant l'accent sur les approches couplées et découplées

2.2 La logistique

Le terme "logistique" vient d'un mot grec "LOGISTIKOS" qui signifie l'art du raisonnement et du calcul. La logistique est apparue pour la première fois dans le contexte militaire, elle représente tout ce qui est nécessaire (physiquement) pour permettre l'application sur le terrain des décisions stratégiques et tactiques (transports, stocks, fabrication, achats, manutention) [22]. La logistique est l'activité qui a pour objet de gérer les flux physiques d'une organisation, La gestion logistique implique la mise à disposition de ressources adaptées aux besoins, aux conditions économiques et à un niveau de qualité de service déterminé. En outre, elle a un impact significatif sur certains postes de coûts, ce qui en fait un élément essentiel de la gestion globale de l'entreprise.

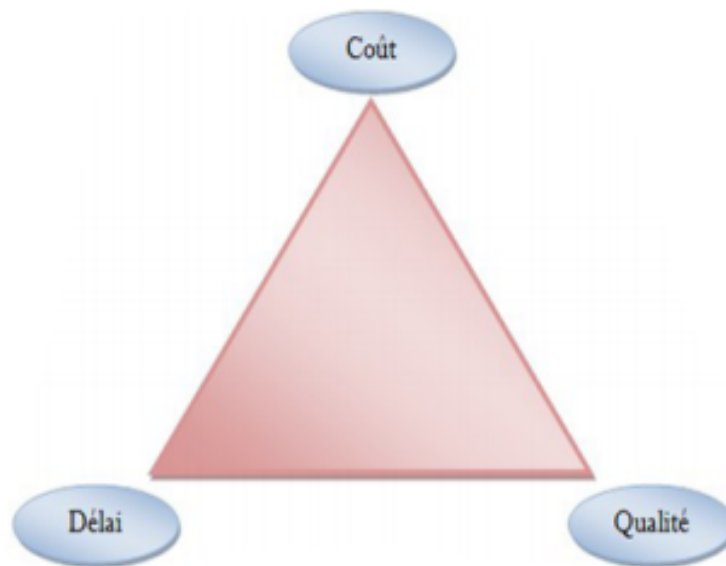


FIGURE 2.1 – Logistique

2.2.1 Le rôle de la logistique

La logistique dans l'entreprise vise à coordonner efficacement l'offre et la demande tout en maintenant des relations de qualité avec les fournisseurs et les clients. L'objectif ultime est de garantir une coordination stratégique et tactique rentable pour l'entreprise. Elle a pour but de permettre [11] :

- la gestion économique de la production, en supprimant les ruptures de stocks coûteuses, grâce à une information constante sur l'état du marché.
- la réduction des stocks grâce à une rotation accélérée des marchandises entreposées .
- La réponse adaptée à une demande très volatile.
- La mise à disposition du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût de distribution possible.
- la surveillance et l'amélioration de la qualité de la chaîne qui relie le producteur au consommateur pour parvenir au "zéro défaut" du produit servi et du service rendu.

2.2.2 Types de logistique

Les différents types de logistique peuvent être résumés selon le domaine d'application [8] :

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

L'objectif commun à toutes ces logistiques est d'atteindre une haute performance du système concerné, en assurant une meilleure qualité des produits, une meilleure disponibilité à moindre coût et une plus grande flexibilité lui permettant de s'adapter aux fluctuations éventuelles du marché .

2.3 La chaîne logistique (Supply chain)

2.3.1 Définitions

Il n'existe pas une définition universelle de la chaîne logistique. La littérature en propose un large panel, certaines adoptent la vision produit d'autres la vision entreprise ou encore la vision processus comme critère pour identifier les acteurs de la chaîne logistique.

Avant de prolonger l'étude de la logistique par celle du concept de SCM (supply Chain management), revenons brièvement sur le sens du terme anglais (supply), il signifie « offre » en tant que substantif, employé comme verbe, il se traduit par « fournir » ou « approvisionnement », « Chaîne de l'offre » ou « chaîne d'approvisionnement » sont deux expressions acceptées pour traduire « supply Chain ».

Parmi les définitions existantes, nous en présentons trois :

Pour Christopher[6], la chaîne logistique peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final.

Selon Tayur et al [20], une chaîne logistique pour un produit donnée comme un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens.

Pour d'autres auteurs comme (Mentzar et al) [14], (Genin) [10], (Stadtler et Kilger) [19], la chaîne logistique est centrée sur l'entreprise. Elle est définie comme un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre.

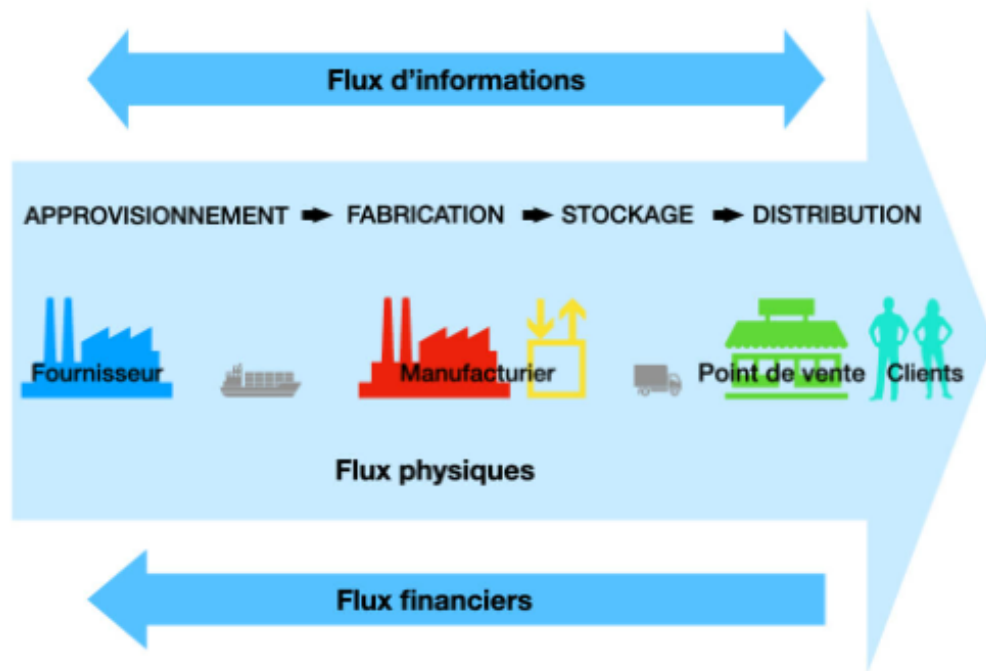


FIGURE 2.2 – La chaîne logistique ou supply chain

2.3.2 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 [15].

1. **Flux d'information :** Ce flux est composé d'un flux de donnée et d'un flux de décision qui sont essentiels au bon fonctionnement d'une chaîne logistique. En effet, c'est par la connaissance du fonctionnement des autres maillons de la chaîne qu'un gestionnaire peut prendre les meilleures décisions pour le fonctionnement de sa propre entreprise ou service. Des systèmes d'informations tels que les ERP (Entreprise Resource planning) ou les EDI (Electronic Data Interchange) ont été développés pour apporter un support technique qui assure les échanges d'informations entre les entreprises.
2. **Flux physique :** Appelés également le flux de produit, les flux physiques décrivent les matières qui circulent entre les différents maillons de la chaîne. Ces matières peuvent être des composants, des produits semi-finis, des produits finis ou des pièces de rechanges. Ces flux constituent le coeur d'une chaîne logistique, sans lesquels les autres flux n'existeraient pas. Ils peuvent être regroupés en trois étapes : produire(ou transformer), stocker et transporter. Ces activités sont généralement assurées par des acteurs différents spécialisés dans chacun des domaines.

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, ect. Ils sont également utilisés comme un indicateur de performance du fonctionnement de ces activités.

La notion de la chaîne logistique implique que les entreprises prennent en considération leur environnement à travers les trois flux mis en évidence . Cet environnement peut se déformer en fonction des objectifs et des alliances que les acteurs établissent entre eux [18].

2.4 Gestion de la chaîne logistique

Le terme gestion de la chaîne logistique ou Supply Chain Management (SCM) est apparu durant les années 80 où il se limitait à la gestion des flux de produits à l'intérieur d'une entreprise. Il a été très souvent assimilé avec le terme logistique. Des extensions ont été apportée par la suite a fin de ne pas se limiter au frontières de l'entreprise en incluant les chaînes de production en amont et les systèmes de distribution en aval. Le concept du SCM a lui aussi donné lieu à plusieurs définitions.

Simchi-Levi et al. [17] définissent le SCM comme un ensemble d'approches utilisées pour intégrer les fournisseurs, les producteurs, les dépôts et les centres de distribution, pour que le produit fini soit fabriqué et distribué avec la qualité requise, dans les délais exigés, de façon à minimiser le coût total en satisfaisant le niveau de service demandé.

Selon Thomas et Griffin [21], le SCM est la gestion des flux de matière et des flux d'informations à la fois à l'intérieur et entre les entités de la chaîne logistique tels que les fournisseurs, les centres de fabrication et d'assemblage et les sites de distribution.

Stadtler et Kilger [19], définissent le SCM comme étant la tâche d'intégration des différentes organisations qui composent la chaîne logistique, et de la coordination des flux de matières, d'informations et financiers afin de satisfaire la demande des clients finaux et d'améliorer la compétitivité de la chaîne logistique globale.

2.5 Optimisation des fonctions de la chaîne logistique

2.5.1 Optimisation séquentielle

Pendant de nombreuses années, les différentes fonctions de la chaîne logistique ont été gérées de manière indépendante les unes des autres, dans une approche traditionnelle où chaque fonction est considérée comme une entité autonome responsable de l'optimisation de ses activités. Ainsi, chaque fonction élabore sa propre planification sans tenir compte des autres fonctions. Par exemple, une fois la production

planifiée, le niveau de stockage des matières premières et des produits finis est calculé à partir du planning de production, et un planning de transport est établi en fonction de ces quantités, sans qu'il soit possible de modifier les plannings de production.

Cette approche est appelée optimisation séquentielle et présente plusieurs inconvénients, tels que ceux énumérés ci-dessous [16] :

1. Coûts élevés : Des pertes de vente peuvent survenir en raison de ruptures de stock ou de coûts de possession élevés causés par des stocks excédentaires, en raison d'une coordination insuffisante entre les fonctions. Cette situation se produit lorsque la demande et la production ne sont pas synchronisées et que la fabrication est basée uniquement sur des estimations inadéquates.
2. Manque de partage des données : Même si les données nécessaires sont présentes à différents points de la chaîne, elles ne sont pas utilisées au bon endroit ni au bon moment, ce qui donne l'impression qu'il y a un manque de données. Cette situation conduit à des hypothèses peu raisonnables et à des stratégies inefficaces.
3. Conflits internes : Différentes fonctions au sein de la chaîne d'une organisation peuvent se retrouver en conflit sur certaines ressources au même temps créant ainsi une concurrence interne non nécessaire.
4. Duplication d'efforts : L'absence de coordination peut également conduire à l'exécution de tâches similaires dans plusieurs points le long de la chaîne. Cela engendre des coûts supplémentaires. Par exemple, le maintien et la mise à jour des bases de données concernant les stocks des produits finis fait de façon indépendante dans les lieux de production et les lieux de distribution mènera forcément à la duplication. Par contre, on évitera cela si cette mise à jour est faite une seule fois en temps réel par l'utilisation d'une base de données uniques.
5. Manque de vision : La concentration sur la résolution des problèmes individuels de chaque fonction à court terme, peut donner une solution rapide à un problème temporaire, mais cela ne donne pas un avantage à une vision stratégique. Ses conséquences seront évidentes à long terme.

L'orientation vers la fabrication en flux tendu (Just-in-Time) et la production Lean, ainsi que l'intégration des différentes fonctions impliquées, ont engendré la notion d'optimisation intégrée.

2.5.2 Optimisation intégrée

L'optimisation intégrée est une approche qui consiste à intégrer les différentes fonctions impliquées dans la production et la chaîne d'approvisionnement, en vue d'une optimisation simultanée des coûts et des contraintes, afin de minimiser le coût total engendré[16].

Cette approche est justifiée par le fait qu'elle permet d'obtenir un optimum global, contrairement à la simple agrégation d'optima locaux. Elle est également moti-

vée par l'augmentation des coûts de transport et de stockage par rapport au coût de production, résultant de la délocalisation des entreprises vers les pays à bas coûts de main-d'oeuvre ou pour des raisons environnementales et fiscales. Cette délocalisation a entraîné un éloignement des centres de production de ceux de consommation, nécessitant une prise en compte des coûts et des contraintes de toutes les fonctions simultanément. Le concept de supply chain est apparu pour répondre à ces besoins.

En revanche, pour mettre en oeuvre une telle approche en situation réelle, plusieurs difficultés peuvent être rencontrées telles que :

- La difficulté du partage de l'information. Ce partage d'information est essentiel pour optimiser la chaîne logistique, mais il peut être difficile en raison des différents acteurs ayant des intérêts divergents. Même avec des outils informatiques puissants, certaines informations cruciales peuvent ne pas être partagées, ce qui peut entraîner une augmentation des coûts globaux.
- La difficulté de résolution des modèles mathématiques. Malgré l'utilisation de logiciels commerciaux performants, l'intégration de systèmes complexes de grande envergure est difficile à résoudre dans un délai raisonnable. Cette complexité est due à l'augmentation des contraintes qui doivent être prises en compte lors de la modélisation mathématique et à la configuration de la fonction objectif, qui devient plus difficile à optimiser[19]. De ce fait, de nombreux travaux de recherche sont menés sur ce problème, principalement par des experts en recherche opérationnelle.

2.6 Approches découplées de la gestion de la chaîne logistique

Si on s'intéresse aux sous-problèmes de production, de stockage et de transport séparément, la littérature est très riche en modèles et méthodes d'optimisation [1].

2.6.1 Production

Le système de production d'une entreprise assure la transformation de matières premières et/ou de produits semi-finis provenant des fournisseurs, en produits semi-finis et/ou finis à destination des clients, tout en ayant des objectifs en termes de qualités, de coûts et de délais [15]. Dès qu'une entreprise a été créée, il a fallu gérer sa production.

La gestion de la production est donc une problématique très ancienne qui a fortement intéressé plusieurs théoriciens et praticiens tels que Taylor, Fayol, Ford, etc. A partir des travaux de ces théoriciens et praticiens, plusieurs méthodes de gestion de la production se sont développées.

La première technique à évoquer est le MRP (Material Requirement Planning), apparue dans les années soixante. Comme son nom l'indique, elle consiste à déter-

miner les quantités de matières premières nécessaires à la production sans prendre en compte les capacités des équipements utilisés. Toutes les demandes sont alors estimées réalisables. Vers la fin des années soixante dix, le MRP a évolué vers le MRP II (Manufacturing Resource Planning) afin de prendre en compte la capacité des unités de production. Toutefois, le MRP ne tient pas compte des contraintes extérieures et planifie les besoins uniquement en fonction de la demande ou de la prévision de demande.

Le MRP II a permis l'introduction, depuis les années quatre vingt dix, des ERP(Entreprise Resources Planning) qui sont des systèmes transactionnels qui couvrent l'ensemble des fonctions et ressources de l'entreprise. Même si les progiciels d'ERP ne sont pas destinés à l'optimisation de la production, ils constituent des outils de choix qui permettent d'avoir une vision globale de la chaîne logistique.

Aujourd'hui, le développement d'Internet a permis aux différentes ERP de communiquer à travers la mise en place de systèmes d'échange de donnée informatisée (EDI).

Plusieurs méthodes d'optimisation de la gestion de production viennent s'intégrer dans des bases de donnée réparties pour former les APS (Advanced Planning System).

Une autre dimension importante de la gestion de la production est l'organisation de la production. Cette dernière est qualifiée de production à la commande lorsque le processus de fabrication est déclenché par une commande d'un client. Les entreprises optent pour ce type de production lorsque la demande est difficilement prévisible. Lorsque Vous avez envoyé la demande d'un client peut être anticipée, l'entreprise opte pour une organisation de la production sur stock. Ces deux organisations ont ainsi conduit à une production en flux poussés et à une production en flux tirés [7] :

- La production en flux poussée anticipe la demande de produits par une programmation prévisionnelle s'appuyant sur un échéancier de livraison de produits finis.
- La production en flux tirée déclenche la production d'un produit par la demande effective des centres de production demandeurs de la référence au lieu de l'être par la demande prévisionnelle. Une production juste-à-temps correspond à ce type de production. Cette organisation est, en général, utilisée lors d'une production de masse avec des demandes relativement stables.

2.6.2 Stockage

La constitution des stocks au sein d'une chaîne logistique est justifiée par plusieurs raisons telles que le souhait de compenser les écarts entre la prévision et la réalité, les délais de mise à disposition de plus en plus courts chez les clients, la fluctuation de la demande, la volonté de se garantir des phénomènes de hausse des prix de la matière première (spéculation), les accidents de production, etc

Ces différentes raisons nécessitent de créer et de maintenir plusieurs stocks qui sont généralement de quatre types : le stock de marchandises, le stock de matières premières, le stock des produits en cours de fabrication et le stock des produits finis.

La classification ABC est l'une des méthodes les plus répandues pour la gestion des stocks. Basée sur la loi des 20/80 de paréto, elle consiste à établir une hiérarchie des produits nécessaires à une activité donnée en fonction de leurs prix. Trois classes sont distinguées :

Classe A : Produits très chers, rares ou qui nécessitent des délais de livraisons très long.

Classe B : Produits moyennement chers ou dont la disponibilité est aléatoire.

Classe C : Produits courants ou peu chers.

L'optimisation des stocks est une problématique importante au sein d'une chaîne logistique car chaque produit stocké engendre un coût. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur la problématique et plusieurs techniques ont été développées pour optimiser les coûts de stockage. En effet, il est clair que chaque classe de produits aura une politique spécifique de réapprovisionnement de son stock qui peut être déterminée soit en fonction de la quantité soit en fonction de la date. Quatre politiques sont alors à distinguer [15] :

- Réapprovisionnement à date et à quantité fixes : dite aussi méthode calendaire. elle s'applique à des produits de classe C dont la consommation est régulière. Cette méthode se rapproche de la quantité économique de commande développée initialement par Wilson.
- Réapprovisionnement à date fixe et à quantité variable : également appelée méthode de remplètement périodique ou gestion de temps. Elle consiste à examiner le stock à intervalle fixe et à passer une commande égale à la quantité consommée. L'objectif est d'assurer un niveau optimum, à définir, pour chaque produit. Cette méthode s'applique à des produits coûteux, périssables ou encombrants et dont la consommation est régulière.
- Réapprovisionnement à date variable et quantité fixe : plus connue sous le nom de méthode du point de commande, cette méthode consiste à définir un niveau de stock qui déclenche l'ordre d'achat de façon à être livré juste au moment de l'utilisation de la dernière pièce. Elle est plus adaptée à une consommation partiellement irrégulière. Le Kanban est une forme d'approvisionnement à point de commande.
- Réapprovisionnement à date et quantité variables : Cette méthode est principalement utilisée pour les articles de classe A dont les prix de revient varient fortement ou dont la disponibilité n'est pas permanente (métaux précieux, bois

exotiques,...). Elle nécessite un suivi permanent du marché pour effectuer les achats aux moments opportuns. Ces méthodes d'approvisionnement sont très utilisées dans l'industrie de par la relative simplicité de leur mise en oeuvre et constituent les bases de la gestion des stocks.

2.6.3 Transport

Dans une chaîne logistique, le transport en général et celui des marchandises, il est un domaine très vaste dont l'optimisation n'est jamais aisé. Il constitue une phase importante de tout processus logistique en étant l'interface entre la phase de production et le marché [15].

Les approches découplées sont très efficaces notamment pour des systèmes simples ou lorsque les trois activités ont des coûts de différents ordres de grandeur. En effet, si le coût de production, par exemple, est prépondérant et constitue un grand pourcentage du coût total, comparé à celui de la distribution et de stockage, la solution retenue lors de l'optimisation de la production peut se rapprocher de la solution d'une optimisation globale de la chaîne.

Cependant, les approches découplées s'avèrent très vite décevantes lorsque les coûts de production, de transport et de stockage sont du même ordre de grandeur. Ces activités doivent être alors considérées simultanément dans le même modèle.

2.7 Approches couplées

Les approches couplées d'optimisation consistent à considérer deux activités ou plus en même temps afin de minimiser le coût global engendré par ces activités .

2.7.1 Production-Stockage

Il est difficile d'envisager une gestion efficace de la production sans tenir compte des niveaux de stocks en cours. Les stocks à considérer sont les stocks de matières premières et les stocks de produits finis .

Le principe de juste à temps (Just In Time en anglais), mis en oeuvre par Taichi Ohno pour Toyota en 1954 , a permis de considérer sérieusement la gestion des stocks en amont et en aval lors de la gestion de la production . Cet ensemble de techniques vise à améliorer les performances d'un système de production en réduisant les stocks en cours et les coûts induits par ces stocks . Cela a pour objectif de réduire les coûts et les délais de production, et améliorer la qualité en utilisant des techniques de productions à flux tendus.[7]

2.7.2 Production - Transport

Afin de réduire leurs coûts de production, les grandes firmes ont été amenées à délocaliser leurs centres de productions dans des pays où la main d'oeuvre est beaucoup moins chère. Cependant, cette politique de délocalisation a engendré des coûts de transport qui s'avèrent extrêmement onéreux. L'intégration simultanée des activités de production et de transport a été alors prise de plus en plus sérieusement et plusieurs chercheurs se sont penchés sur cette problématique.

2.7.3 Transport - Stockage

La délocalisation des centres de production a engendré également, en plus des coûts de transport, des coûts de stockage supplémentaires dus à l'utilisation des plates-formes logistiques intermédiaires. Ces coûts supplémentaires ont poussé les gestionnaires des chaînes logistiques à une prise en considération plus détaillée des réseaux de distribution. Dans une telle approche, les coûts engendrés par la production sont considérés négligeables.

Dans des articles rencontrés, les auteurs mettent en évidence quatre décisions importantes à prendre en considération dans le cas des problèmes intégrant le transport et le stockage simultanément : les décisions stratégiques de localisation des centres de production, les décisions tactiques de l'inventaires des stocks, les décisions tactiques des fréquences et enfin les décisions opérationnelles de livraison. Beaucoup de travaux ont étudié l'intégration et la coordination entre deux ou trois de ces décisions[7].

Nous avons considéré que les activités de la chaîne logistique induisent les critères utilisés pour distinguer les différents modèles rencontrés dans la littérature. Du point de vue de la recherche opérationnelle, les problèmes de chaînes logistiques sont considérés comme des problèmes classiques d'optimisation, pour lesquels, plusieurs outils ont été proposés pour les résoudre. Ces problèmes sont regroupés dans trois classes distinctes : les problèmes combinatoires, les problèmes stochastiques (aléatoires) et les problèmes concurrentiels.

- La classe des problèmes combinatoires regroupe l'ensemble des problèmes où l'objectif est de trouver la solution optimale ou une bonne solution parmi un grand nombre de solutions admissibles. Les problèmes de tournées de véhicules s'intègrent dans cette classe.
- Les problèmes stochastiques sont caractérisés par le fait que les données sont incertaines et suivent une distribution aléatoire. Par exemple, une optimisation des activités de production, de stockage et de transport sous des demandes incertaines de la part des clients est un problème d'optimisation stochastique.
- Les problèmes concurrentiels consistent à trouver une solution optimale face à un problème dont les termes dépendent de l'interrelation entre ses propres agissements et ceux d'autres décideurs. Fixer le prix d'un produit par exemple

ne dépend pas uniquement des coûts engendrés et de la marge de bénéfice souhaitée, mais il dépend également des prix que les concurrents ont déjà fixés.

2.8 Les niveaux de décision

Il existe généralement trois niveaux de décision dans une entreprise : le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel.

2.8.1 Le niveau stratégique

Le niveau stratégique prend en considération les décisions à long terme concernant les grandes politiques de l'entreprise. L'entreprise élabore un plan global afin d'utiliser ses ressources pour soutenir sa stratégie à long terme [9].

Voici quelques exemples de décisions de planification de la chaîne logistique au niveau stratégique :

- Localisation des entrepôts et des usines.
- Sélection des fournisseurs et des sous-traitants.
- Développement de nouveaux produits.
- Choix du mode de fonctionnement des usines et des entrepôts.

2.8.2 Le niveau tactique

Le niveau tactique concerne plutôt la gestion efficace des ressources matérielles et humaines à moyen terme, afin de soutenir les décisions stratégiques [9].

Voici quelques exemples de décisions de planification de la chaîne logistique au niveau tactique :

- Plan d'investissement et de déploiement des stocks
- Modes de transport et choix des transporteurs
- Taux d'utilisation des capacités de production, d'entreposage et de transport
- Besoins en main-d'œuvre

2.8.3 Le niveau opérationnel

Le niveau opérationnel de décisions concerne des décisions qui soutiennent les décisions tactiques et stratégiques de la firme, avec une portée plus limitée dans l'espace et le temps, généralement prises par les chefs d'équipe ou les opérateurs de production. Ces décisions génèrent des plans détaillés applicables au niveau d'un atelier ou d'un poste de travail.

Des exemples de décisions de planification de la chaîne logistique au niveau opérationnel incluent [9] :

- Traitement et ordonnancement des commandes clients
- Ordonnancement et gestion des entrepôts
- Ordonnancement des tournées de véhicules
- Ordonnancement de la main-d'œuvre pour la fabrication et l'entreposage.

La Figure 2.3 représente le schéma de niveaux de décisions :

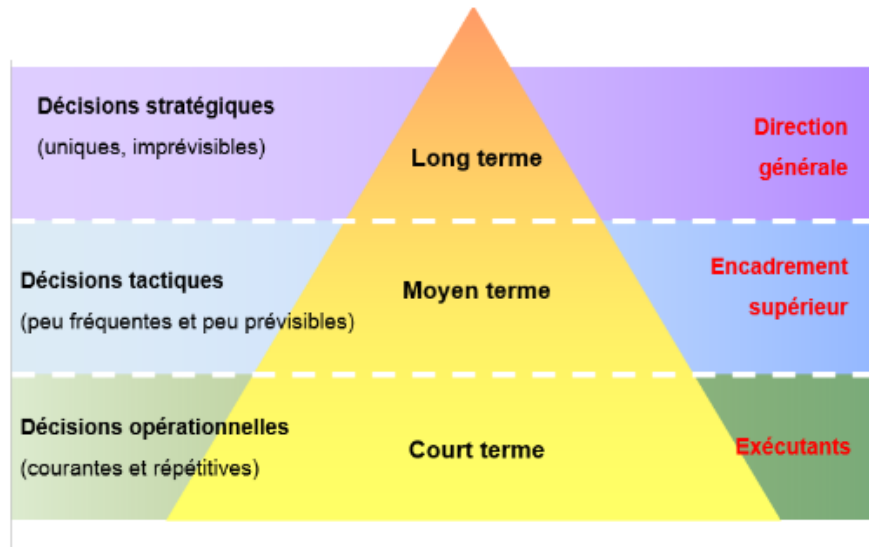


FIGURE 2.3 – Les niveaux de décisions

Plusieurs problèmes de gestion de la chaîne logistique ont été traités dans la littérature et beaucoup de modèles et de méthodes ont été proposés pour les résoudre.

2.9 La planification de la production

La planification se fait au niveau tactique de la gestion de production [10], elle constitue une passerelle entre les décisions stratégiques et opérationnelles. La règle est : l'utilisation optimale des moyens de production, autrement dit satisfaire les demandes à moindre coût.

Le problème de planification dans une chaîne logistique est la détermination de la circulation de la marchandise depuis le fournisseur en passant par la production et arrivant au client. Le but est d'élaborer un plan de production qui permet d'assurer la coordination des données dans les différentes phases de la chaîne logistique [12].

Dans notre cas on s'intéresse au problème de détermination du lot de production (lot sizing) à moyen et court terme en tenant compte du transport du producteur vers les clients.

Conclusion

Une gestion efficace de la chaîne logistique permet de réduire les coûts, d'optimiser les processus et d'améliorer la satisfaction des clients. Les approches couplées et découplées offrent différentes options pour organiser et coordonner les différentes parties de la chaîne logistique.

3

Problème de dimensionnement de lots et problème de transport

3.1 Introduction

Le problème de dimensionnement de lots (PDL) ou lot sizing problem (LSP) dans la littérature anglo-saxon consiste à déterminer la taille optimale des lots de production d'un produit, de manière à trouver un compromis entre le coût de production et le coût de stockage. Il est souvent trop coûteux de lancer la production d'un produit donné à chaque période à cause des coûts de setup. En contre partie en lançant la production moins fréquemment et en produisant de grandes quantités cela générera des coûts de stockage élevés [12].

Le Lot Sizing Problem en terminologie anglaise est un problème de planification de la production où la demande en produits varie à travers un horizon fini T .

3.2 Classification des critères du lot sizing

Cathy Wolosewicz [24] et Nadjib Brahim [3] ont cité dans leurs travaux un certain nombre de critères de lot sizing, nous citons :

- *La demande constante ou variable* : une demande est dite constante si elle est répartie uniformément sur tout l'horizon. Dans le cas contraire, on parle de demande variable. On discrétise dans ce cas l'horizon en périodes et on agrège la demande sur celles-ci. Cette distinction fondamentale a permis de définir deux approches de résolution très différentes : les modèles à demande constante ont pour caractéristique de fournir comme solution un cycle de production, reproductible au cours de l'horizon, les modèles à demande variable déterminent des quantités à produire sur des périodes préalablement définies

sur l'horizon de planification.

- *La nomenclature des produits* : La nomenclature des produits définit la relation parent-composant. S'il n'existe pas de relation parent-composant entre les produits, on parle de problèmes à un niveau, sinon on parle de problèmes multi-niveaux.
- *Les coûts* : La notion de coût dans ce cas est relative aux coûts de production unitaires, aux coûts de setup de production qui sont liés à la préparation des ressources de production, aux coûts de stockage unitaires.
- *Les temps de lancement ou de préparation* : C'est le temps nécessaire pour reconfigurer une ressource qui exécute différents types de produits. Ainsi il est parfois nécessaire de reconfigurer celle-ci à chaque changement de produits.
- *Les capacités des ressources utilisées* : Si la capacité de production est illimitée ou ignorée, le problème est dit sans capacité. Dans le cas contraire, on parle d'un problème avec capacité.
- *Objectifs* : Identifie l'objectif à atteindre par la résolution du problème. En général on cherche à minimiser l'ensemble des coûts. Mais il existe d'autres objectifs qui consistent à maximiser le niveau de service, etc.
- *La modélisation de l'horizon de planification* : L'horizon peut être fini ou infini. De manière générale, les modèles discrets sont sur un horizon fini alors que les modèles continus sont basés sur un horizon infini. Pour l'horizon fini, la littérature distingue deux grandes classes de modèles : les modèles dits de big bucket (deux jours, deux semaines.) et de small bucket (une heure, un jour.)

Les modèles de big bucket sont souvent appelés problèmes dynamiques de dimensionnement de lots ou dynamic lot sizing problems dont le premier est celui de Wagner-Whitin [23]. Les modèles de small bucket sont appelés Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem (DLSP). Pour l'horizon infini, un des plus anciens modèles est le modèle de quantité économique de commande ou Economic Order Quantity (EOQ) qui a été étendu par la suite pour donner le Economic Lot Scheduling Problem (ELSP).

- *Type d'information* : Dans les modèles déterministes chaque paramètre a une valeur fixe et connue. Les modèles stochastiques contiennent des paramètres représentés par des variables aléatoires.

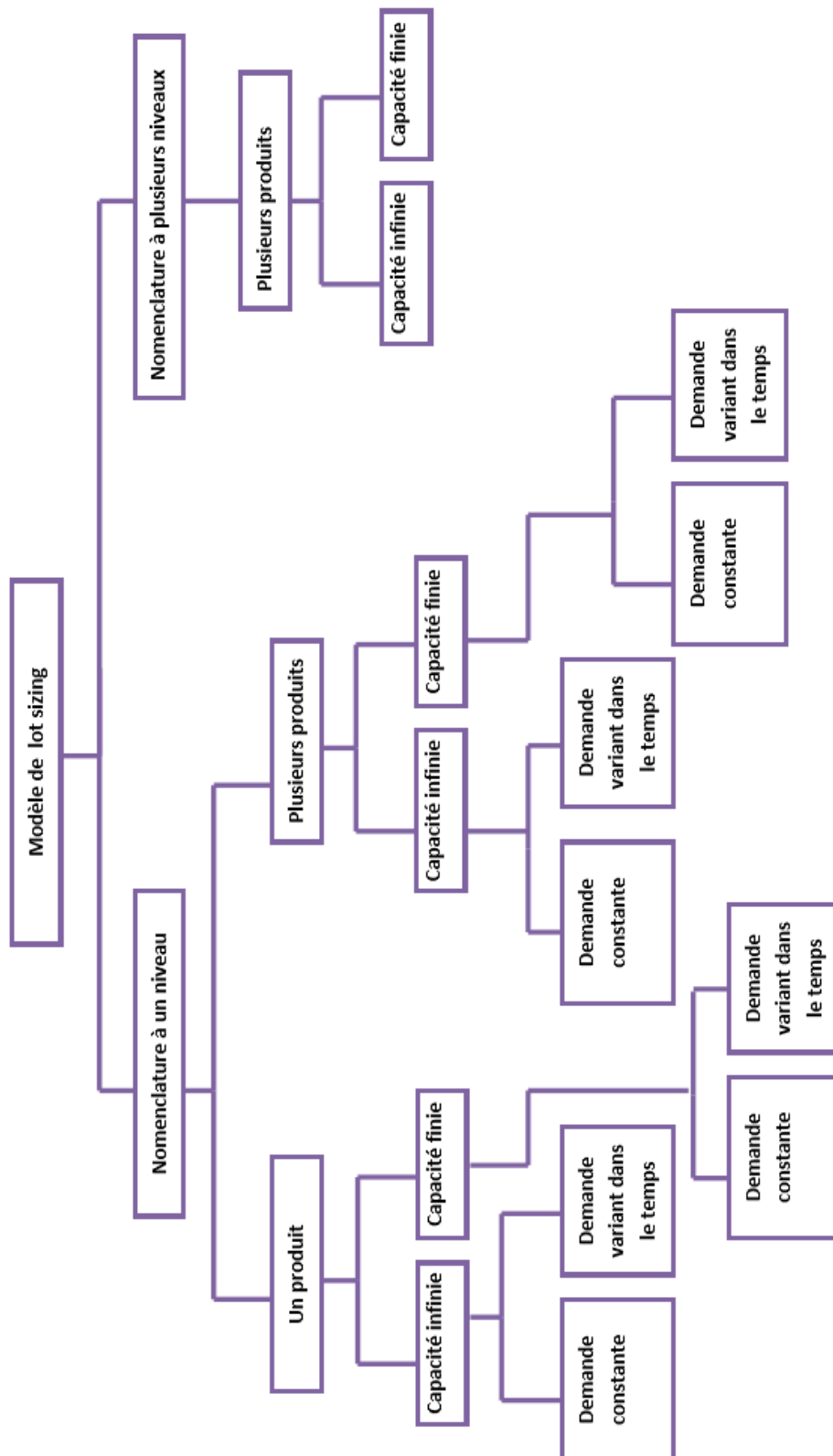


FIGURE 3.1 – Exemple de classification des critères du lot sizing

3.3 Classification du problème de lot sizing

BRAHIMI [3] a introduit un ensemble d'abréviations pour faciliter la lecture des problèmes de lot sizing tel que :

- **LSP** : problème lot sizing.
- **LSP -1P** : LSP à un produit .
- **LSP -1PS** : LSP à un produit sans contrainte de capacité.
- **LSP -1PC** : LSP à un produit avec contrainte de capacité .

3.4 Formulation Mathématique du problème de lot sizing :

En 1958 WAGNER et WITHIN [23] ont mis au point une méthode qui a révolutionné le monde de la planification de la production avec leur algorithme de lot sizing (WWP).

Le modèle de Wagner et Within se compose des éléments suivants :

Unité de production : Il s'agit de l'entité responsable de la fabrication des produits. Elle est chargée de produire les articles demandés par le client.

Dépôt central : Il s'agit d'un emplacement centralisé où les produits finis sont stockés avant d'être expédiés au client. Le dépôt central joue un rôle clé dans la gestion des stocks et la coordination des flux de produits.

Client : Il représente l'entité qui demande les produits finis. Le client peut avoir des exigences spécifiques en termes de quantités demandées et de délais de livraison.

Le modèle de Wagner et Within suppose que le problème de lot sizing ne comporte pas de contraintes de capacité, ce qui signifie qu'il n'y a pas de limite physique à la quantité produite. De plus, le modèle considère un coût de setup, c'est-à-dire le coût associé au démarrage de la production d'un nouveau lot.

les auteurs ont proposé d'utiliser comme méthode de résolution la programmation dynamique.

a) **Fonction objective** : La fonction objectif est :

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T (f_t y_t + p_t x_t + h_t I_t) \quad (3.1)$$

b) **Les notations** :

Constante :

T : Nombre de périodes .

Ensemble des indices :

$t=1,\dots,T$, Intervalle des périodes

Paramètres :

d_t : Demande du produit dans la période.

h_t : Coût de stockage dans la période t .

I_0 : Niveau de stock initial.

Cl_t : Coût de lancement.

Cp_t : coût de production .

Variables de décision :

x_t : Quantité à produire à la période t .

I_t : Le niveau de stock à la fin de la période t .

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{il ya fabrication du produit} \\ 0 & \text{pas de fabrication} \end{cases}$$

Les contraintes :

$I_t = I_{t-1} + x_t - d_t$: le stock à la période t égale stock à la période $(t - 1)$ plus la quantité à produire moins la demande entre la période $(t - 1)$ et t .

$I_0 = 0$ Stock initial vide.

$x_t \leq (\sum_{t'=1}^t d_{t'}) * y_t$: la quantité produite est inférieure ou égale au majorant de la quantité demandée, pour lancer la production.

$x_t, I_t \geq 0$,Les variables doivent être positives ou nulles. $y_t \in \{0, 1\}$.

Le modèle mathématique peut être décrit comme suit (3.2) :

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T (f_t y_t + p_t x_t + h_t I_t) \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} I_t = I_{t-1} + x_t - d_t \\ x_t \leq (\sum_{t'=1}^t d_{t'}) * y_t \\ x_t, I_t \geq 0, y_t \in \{0, 1\} \\ I_0 = 0 \end{cases}$$

3.4.1 Problème de transport

Le problème de transport est un problème classique en optimisation qui concerne l'affectation optimale des ressources disponibles pour transporter des biens ou des produits d'un ensemble de sources à un ensemble de destinations, tout en minimisant les coûts totaux de transport [15].

Le problème de transport peut être formulé comme un problème d'optimisation linéaire. Voici une formulation générale du problème :

Constantes :

n : nombre de sources.

m : nombre de destinations.

Indices :

$i = 1, \dots, n$, Intervalle des sources.

$j = 1, \dots, m$, Intervalles des destinations.

Variables :

x_{ij} : la quantité des biens transportées de la source i à la destination j .

Paramètres :

a_i : l'offre disponible à la source i .

b_j : la demande à satisfaire à la destination j .

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

Fonction objectif :

Minimiser la fonction objectif $Z = \sum_i \sum_j c_{ij} \cdot x_{ij}$ (somme des coûts de transport pondérés par les quantités transportées)

Contraintes :

$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i$: pour chaque source i la quantité totale transportée depuis chaque source ne peut pas dépasser l'offre disponible.

$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j$: pour chaque destination j la quantité totale reçue à chaque destination doit satisfaire la demande.

$x_{ij} \geq 0$: pour chaque paire source-destination les quantités transportées doivent être non négatives.

Le modèle mathématique peut être décrit comme suit (3.3) :

$$\text{Min}z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i, & i = \overline{1, n} \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j, & j = \overline{1, m} \\ x_{ij} \geq 0, & i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m} \end{cases}$$

Notre modèle combine les deux problèmes lot sizing et de transport.

L'objectif de ce modèle combiné est de trouver la meilleure allocation des produits aux lots, tout en minimisant les coûts globaux, y compris les coûts de production, de stockage et de transport.

3.5 Méthodes de résolution

Les problèmes de lot-sizing (LSP) ont une vaste littérature, avec plusieurs modèles et méthodes de résolution. Par la suite, nous allons décrire les plus connus et les plus utilisés pour résoudre les problèmes abordés. La section est divisée en deux sous-sections qui traitent des méthodes exactes et des méthodes approchées.

3.5.1 Méthodes exactes

Nous commençons par les méthodes exactes de résolution qui sont plus recommandées pour traiter les problèmes qui sont résolus en temps polynomial.

Programmation dynamique

La programmation dynamique est une des techniques utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation. Elle a été développée par Bellman dans les années 1950 et est très utilisée dans le domaine de la planification de production. Cette méthode est basée essentiellement sur la décomposition du problème en une série de sous-problèmes reliés entre eux par une relation de récurrence permettant de décrire la valeur optimale du critère à une étape donnée en fonction de sa valeur à l'étape précédente. La solution optimale du problème est obtenue en calculant les solutions des sous-problèmes les plus petits, pour ensuite en déduire petit à petit les solutions du problème complet.

La fonction de Bellman peut également être utilisée dans le contexte d'un problème de lotsizing (ou problème de dimensionnement de lots)[25]

La fonction de Bellman dans ce contexte peut être définie comme suit :

$$H(k) = \min_{1 \leq t \leq k} \{H(t-1) + f_t + c_t d_{tk}\}$$

où :

$H(k)$: le coût minimum d'une solution pour les périodes 1, ..., k . tel que : $1 \leq k \leq t$.

$H(t-1)$: le coût de la solution optimale de la période 1, ..., $t-1$.

$H(0)=0$.

f_t : le coût de lancement .

c_t : le coût total de production et de stockage à l'instant t .

d_{tk} : la demande de la période de k jusqu'à t .

La fonction de Bellman permet de résoudre le problème de lot sizing en utilisant des méthodes de programmation dynamique.

La méthode branch and bound

L'algorithme branch and bound consiste à placer progressivement les tâches sur les ressources en explorant un arbre de recherche décrivant toutes les combinaisons possibles. Il s'agit de trouver la meilleure configuration donnée de manière à élaguer les branches de l'arbre qui conduisent à de mauvaises solutions. L'algorithme branch and bound effectue une recherche complète de l'espace des solutions d'un problème donné, pour trouver la meilleure solution. La démarche de l'algorithme Branch and Bound consiste [25] :

- diviser l'espace de recherche en sous espaces,
- Chercher une borne minimale en terme de fonction objectif associée à chaque sous espace de recherche,
- éliminer les mauvais sous-espaces,
- reproduire les étapes précédentes jusqu'à l'obtention de l'optimum global.

Coupe de Gemory

Ce sont des méthodes bien souvent itératives visant à isoler l'enveloppe convexe des solutions entières, et cela par l'ajout progressif des contraintes supplémentaire (coupes valides) au programme linéaire continu et dans chaque itération on résout un PL augmenté jusqu'à l'obtention d'une solution entière. Ces contraintes permettent en fait d'éliminer les parties inutiles du polyèdre des solutions du programme continu sans éliminer les solutions entières.

La méthode branch and cut

C'est une méthode qui conjugue entre les efforts de l'algorithme de Branch and Bound et de la méthode des coupes polyédrales, elle est utilisée pour la première fois pour résoudre le problème de "linear ordering".

La résolution d'un programme linéaire en nombre entier se fait en résolvant d'abord la relaxation continue de ce dernier, par la suite on applique la méthode des coupes sur la solution trouvée, si celle-ci n'arrive pas à obtenir une solution entière alors le problème est divisé en plusieurs sous problème qui seront résolus de la même façon.

3.5.2 Méthodes Approchées

Les méthodes approchées fournissent une solution approchée au problème traité. Elles sont en général conçues de manière à ce que la solution obtenue puisse être proche de la valeur optimale : de telle méthodes permettent d'obtenir des bornes inférieures ou supérieures de la valeur optimale tel que :

- Méthodes Heuristiques pour lesquelles on peut quantifier l'erreur (recherche locale...etc).
- Méthodes Métaheuristiques qui sont des méthodes inspirées de phénomènes naturelles (algorithme génétiques, colonies de fourmis et d'abeilles ...etc).

3.6 Outils et logiciels d'optimisation

La modélisation des problèmes combinatoires peut être réalisée par un être humain, mais leur résolution dépasse généralement les capacités humaines. En effet, les problèmes réels sont souvent de grande envergure, avec un nombre important de variables, de contraintes, et d'autres éléments à prendre en compte, rendant leur résolution humainement impossible en prenant tous ces aspects en considération.

Afin de pouvoir résoudre des systèmes aussi complexes, et pouvoir interagir avec des volumes de données énormes et d'avoir accès à de grosse capacité de calcul, on utilise des outils informatiques (logiciels) d'optimisation et d'aide à la décision.

3.6.1 Solveur

Un solveur de programmation mathématique est un logiciel qui permet de calculer et fournir le résultat d'un problème mathématique après sa transcription informatique. Le nom « solveur » vient d'ailleurs du verbe anglais « to solve » que l'on traduit par « résoudre ».

C'est le coeur des logiciels d'optimisation. C'est le module qui fait le calcul mathématique. a Plusieurs types de solveurs. Voici quelques exemples :

- Solveurs linéaires (programmation linéaire) : simplex, points intérieurs,...,etc.
- Solveur non-linéaires (programmation non linéaire) : Newton, algorithmes de gradients, ...,etc.
- Solveurs pour la programmation entière : Branch-and-Bound, heuristiques, ...,etc.

3.6.2 Les langages de modélisation

Les langages de modélisation algébrique sont des langages de programmation informatique de haut niveau. Ils :

- Fournissent un moyen concis et lisible d'exprimer/ de formuler un problème mathématique,
- Ne résolvent pas les problèmes directement, mais ils appellent des solveurs externes,
- Contiennent généralement un mélange d'éléments déclaratifs et procéduraux.

Le langage de modélisation est un outil essentiel dans le processus d'optimisation, car il permet de formaliser et de structurer le problème à résoudre, facilitant ainsi son traitement par le solveur.

Il existe plusieurs langages de modélisation, Voici quelques exemples :

- GNU Mathematical Programming (GMP)
- AMPL (A mathematical Programming Language) .
- IBM-ILOG OPL (Optimization Programming Language) .
- Fico Mosel.

3.6.3 Présentation du logiciel IBM ILOG CPLEX

CPLEX est un outil informatique d'optimisation commercialisé par IBM depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe. Il est composé d'un exécutable (CPLEX interactif) et d'une bibliothèque de fonctions pouvant s'interfacer avec différents langages de programmation : C, C++, Java et Python. Il utilise le langage de modélisation OPL qui est un langage haut niveau pour la description des programmes mathématiques. CPLEX permet la résolution de plusieurs types de problèmes, à savoir : la programmation linéaire, la programmation linéaire mixte, la programmation quadratique, programmation mixte quadratique, ... etc .

CPLEX se présente sous différents modes :

- *En mode interactif* : où toutes les opérations se font en lignes de commande.
- *En mode Callable Library* : avec ce mode on passe par un langage de programmation où le solveur est appelé par le programme (Matlab, C/C++, Java, ...).
- *En mode OPL studio* : Ce mode présente une interface conviviale facile à utiliser, qui permet d'écrire des problèmes d'optimisation en OPL. Il s'agit d'un environnement de développement (IDE) utilisant la plate-forme Eclipse. Un projet OPL sous ce mode est constitué : d'un fichier de modèle (.mod), un fichier de données (.dat) et un fichier de configuration d'exécution (.opl-project).

3.7 Conclusion

Ce chapitre se concentre sur le problème de lot sizing, en fournissant une formulation mathématique du problème de lot sizing de base et du problème de transport, ainsi que des méthodes de résolution. Dans le prochain chapitre, nous aborderons la modélisation mathématique de notre problème spécifique et nous proposerons une solution exacte en utilisant le solveur CPLEX.

4

Modélisation et résolution du problème

Introduction

L'entreprise Cevital, réalise plusieurs activités qui lui permettent de survivre , d'élargir sa part de marché et de réaliser des chiffres d'affaires. Ces activités étant effectuées à l'intérieur de l'entreprise, demandent une attention particulière pour s'assurer de leur coordination et de l'optimisation de leurs coûts.

L'intégration des différentes fonctions de la chaîne logistique constitue un défi actuel majeur. La problématique traitée dans ce mémoire consiste à intégrer les décisions de production, de stockage et de distribution dans un seul modèle en minimisant le coût total lié à ces fonctions. Pour répondre à cette problématique, il apparaît judicieux de positionner cette problématique par rapport à un axe de recherche très célèbre qui est la gestion de la chaîne logistique, comme nous l'avons déjà signalé, il s'agit donc de combiner le problème de lot sizing avec le problème de transport, nécessitant la récolte de plusieurs données relatives à la production, le stockage et la distribution au niveau de l'usine, des plateformes et dans les CLR. ces données sont récapitulées dans ce qui suit.

4.1 Description Et Modélisation du Problème

4.1.1 Description du problème

Une unité de production (UP) fabrique trois type de produit(l'huiles végétales ELIO 1L, 2L et 5L) avec une capacité de production fini et constante dans toutes les périodes t de l'horizon T de planification.

Cette unité de production se caractérise par un coût de setup de production(cout de lancement) et un coût unitaire de production qui sont fixes pour chaque type de produit . Le produit est expédié vers les trois plateformes de stockage , elles-même

ont un coût moyen de stockage.

D'une autre part, on a 15 CLR's qui disposent de stock de capacité limitée avec un coût moyen de stockage. Ces derniers ont des demandes déterministes et sur l'horizon de temps T . Le transport se fait sans contrainte de temps, disposant chacun d'un coût de transport. une fois la demande du CLR est enregistrée on vérifie la quantité stockée dans les plateformes :

- Si elle n'est pas égale à leurs capacités de stockage (elles ne sont pas pleines) alors la quantité demandée sera satisfaite à partir de l'usine
- Sinon elle sera transportée à partir des plateformes, dans le but de minimiser les coûts de stockage et de transport, comme le montre le schéma ci après :

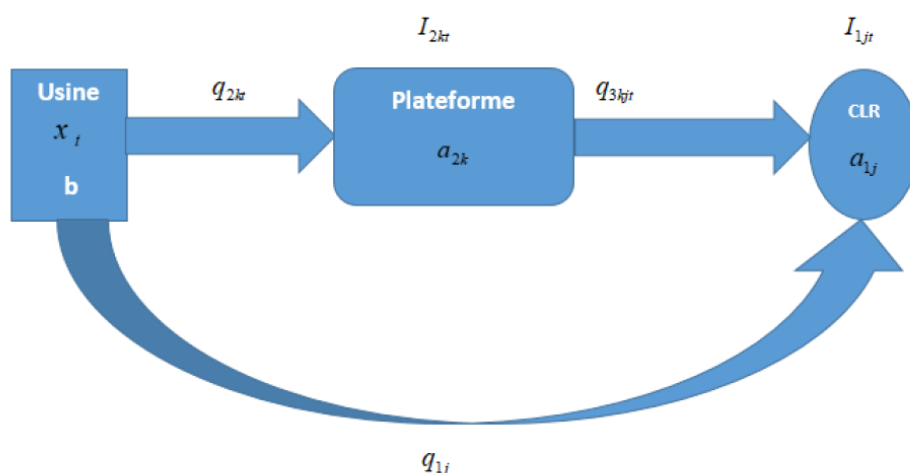


FIGURE 4.1 – schéma de distribution Cevital

Notre modèle traite sur un horizon d'un mois avec une périodicité hebdomadaire, vise la minimisation des coûts de production, de stockage et de transport .

4.2 Récoltes des données

4.2.1 Données liées à la production

Durant notre stage, en ce qui concerne la récolte des données, nous avons eu recours au service production

- les capacités de production maximale de l'huiles végétales sont données dans le tableau suivant :

Produit	Production palettes /semaine	nombre de bidons par palette
01L ELIO	1470	850
02L ELIO	4270	450
05L ELIO	11830	168

TABLE 4.1 – Capacité de Production

— Les coûts de production et lancement par palette sont données dans le tableau suivant :

Produit	Coût de production DA/ palette	Coût de lancement DA/palette
01L ELIO	150765	1235
02L ELIO	160920	880
05L ELIO	149076	1954

TABLE 4.2 – Coût de Production et lancement par palette

4.2.2 Données récoltées auprès du service logistique

Auprès du service logistique , on a pu récolter les données suivantes :

— La liste des plateformes de Cevital, leurs capacités de stockage en palettes qui sont données dans le tableau suivant :

Plateformes	Produit	Capacités(palettes)
Constantine	1L	392
	2L	756
	5L	1652
Bouira	1L	2660
	2L	5130
	5L	11210
Oran	1L	1232
	2L	2376
	5L	5192

TABLE 4.3 – Capacité de stockage des plateformes en palettes

- La liste des CLR, leurs capacités de stockage en palettes (ces informations sont résumées dans l'annexe).
- La liste des CLR Cevital sur le territoire algérien et leurs demandes moyennes, en palettes par semaine (ces informations sont résumées dans l'annexe)

4.2.3 Données récoltées auprès du service logistique, Bejaia

- Le coût de transport unitaire (Aller/Retour) par kilomètre qui est égal à 82 DA/km.
- Les coûts de transport (aller+retour) en DA d'une plateforme vers un CLR et de l'usine vers un CLR qui ont été calculés en utilisant le coût unitaire par kilomètre (ces informations sont résumées dans l'annexe).
- Les coûts de transport (Aller/Retour) en DA d'une usine vers une plate-forme donné dans le tableau suivant :

Usine	Plateforme	Coût de transport (DA/palette)
Béjaia	P.F El Khroub Constantine	1817
	P.F Bouira	927
	P.F Hassi Ameur Oran	4277

TABLE 4.4 – Cout de transport usine plateformes en DA/semaine/palette

- Le coût moyen de stockage (en DA/palette) dans chaque CLR est estimé à 130 DA par palette (la moyenne des coûts de stockage et de manutention)
- Le coût moyen de stockage (en DA/palette) dans chaque plateforme (la moyenne des coûts de stockage et de manutention) est comme suit :

Plateforme	Coût(DA/palette)
PF El Khroub Constantine	510
PF Bouira	440
PF Hassi Ameur Oran	900

TABLE 4.5 – Les coûts moyens de stockage des plateformes

4.2.4 Formulation du problème

Notation

Indices

- t : Indice des périodes t , $t = \overline{1,4}$
- j : indice des CLR j , $j = \overline{1,15}$
- k : indice des plateformes k , $k = \overline{1,3}$

Paramètres

Production

- b : Capacité de production du produit .
 p : Coût unitaire de production du produit .
 f : Coût de lancement de production du produit .

Stockage

- h_{1j} : Coût moyen de stockage du produit dans CLR j.
 h_{2k} : Coût moyen de stockage du produit dans la plateforme k.
 d_{1jt} : La demande de produit à la période t par le CLR j.
 a_{1j} : Capacité de stockage du CLR j du produit .
 a_{2k} : Capacité de stockage du produit dans la plateforme k.

Transport

- c_{1j} : Coût de transport du produit d'unité de production au CLR j .
 c_{2k} : Coût de transport du produit d'unité de production a la plateforme k.
 c_{3kj} : Coût de transport du produit de la plate-forme k au CLR j.
 M : grand nombre

Variables de décisions

Variables liées à l'activité de production

- x_t : Quantité produite du produit dans l'unité de production durant la période t.
 y_t : Variable binaire qui signifie s'il y a production à la période t ou non du produit .

Variable liées à l'activité de stockage

- I_{1jt} : La quantité de produit stockée dans CLR j à la fin de la période t.
 I_{2kt} : La quantité de produit stockée dans la plateforme j à la fin de la période t.

Variable liée à l'activité de transport

- q_{1jt} : la quantité du produit transportée d'unité de production vers le CLR j durant la période t.
 q_{2kt} : la quantité du produit transportée d'unité de production vers la plateforme k durant la période t.

q_{3kjt} : la quantité du produit transporté de la plateforme k vers le CLR j durant la période t.

z_t : variable binaire qui signifie que la quantité du produit sera transféré depuis l'usine vers CLR sinon depuis plateformes vers CLR.

4.3 Modèle Mathématique du problème

4.3.1 Fonction objectif :

Le problème consiste à déterminer les quantités à produire, à stocker ainsi à transporter de façon que le coût total de production, de stockage et de transport soit minimal selon le plan de distribution envisagé.

La fonction objectif contient des coûts associés à chacune des variables qui correspond à un problème de minimisation de coût total exprimé comme suit :

$$\text{Min} \sum_{t=1}^4 [f y_t + p x_t + z_t \sum_{j=1}^{15} (h_{1j} I_{1jt} + c_{1j} q_{1jt}) + (1 - z_t) (\sum_{k=1}^3 (h_{2k} I_{2kt} + c_{2k} q_{2kt}) + \sum_{j=1}^{15} (h_{3j} I_{3jt} + c_{3j} q_{3jt}))]$$

Les contraintes

— Les demandes des CLR doivent être satisfaites :

$$z_t q_{1jt} + (1 - z_t) \sum_{k=1}^3 q_{3kjt} \geq d_{1jt} \quad , j = \overline{1, 15}, \quad t = \overline{1, 4} \quad (4.1)$$

— la quantité transportée de l'usine doit être inférieur ou égale à la quantité produite

$$\sum_{j=1}^{15} q_{1jt} + \sum_{k=1}^3 q_{2kt} \leq x_t, \quad t = \overline{1, 4} \quad (4.2)$$

— La quantité de produit stockée dans le CLR j .

$$I_{2kt} - a_{2k} \leq M * z_t, \quad k = \overline{1, 3} \quad t = \overline{1, 4} \quad (4.3)$$

$$I_{2kt} - a_{2k} \leq M * (1 - z_t), \quad k = \overline{1, 3} \quad t = \overline{1, 4} \quad (4.4)$$

$$I_{1jt} - I_{1jt-1} - q_{1jt} + d_{1jt} \leq M * z_t, \quad t = \overline{1, 4}, \quad j = \overline{1, 15} \quad (4.5)$$

$$I_{1jt} - I_{1jt-1} - q_{3kjt} + d_{1jt} \leq M * (1 - z_t), \quad t = \overline{1, 4}, \quad j = \overline{1, 15} \quad (4.6)$$

— La quantité de produit stockée dans la plateforme k

$$I_{2kt} = I_{2kt-1} + q_{2kt} - \sum_{j=1}^{15} q_{3kjt}, \quad t = \overline{1,4}, \quad k = \overline{1,3} \quad (4.7)$$

— La quantité produite ne doit pas dépasser la capacité de production de l'unité de production .

$$x_t \leq by_t, \quad t = \overline{1,4}; \quad (4.8)$$

— la quantité de produit stockée dans le CLR j à la période t ne doit pas dépasser la capacité de stockage de ce dernier.

$$I_{1jt} \leq a_{1j} \quad t = \overline{1,4} \quad j = \overline{1,15} \quad (4.9)$$

— la quantité de produit stockée dans la plateforme k à la période t ne doit pas dépasser la capacité de stockage de cette dernière.

$$I_{2kt} \leq a_{2k} \quad k = \overline{1,3} \quad t = \overline{1,4} \quad (4.10)$$

— contraintes de non-négativité :

$$z_t \in \{0, 1\}, y_t \in \{0, 1\}, x_t \geq 0, q_{1jt} \geq 0, q_{2kt} \geq 0, q_{3kjt} \geq 0, I_{2kt} \geq 0, I_{1jt} \geq 0$$

$$t = \overline{1,4}, \quad j = \overline{1,15}, \quad k = \overline{1,3}$$

Le modèle général peut être décrit comme suit :

$$\text{Min } \sum_{t=1}^4 [fy_t + px_t + z_t \sum_{j=1}^{15} (h_{1j}I_{1jt} + c_{1j}q_{1jt}) + (1 - z_t)(\sum_{k=1}^3 (h_{2k}I_{2kt} + c_{2k}q_{2kt}) + \sum_{j=1}^{15} (h_{1j}I_{1jt} + c_{3kj}q_{3kjt}))]$$

Sc :

$$I_{1jt} - I_{1jt-1} - q_{1jt} + d_{1jt} \leq M * z_t \quad j = \overline{1,15} \quad t = \overline{1,4}$$

$$I_{2kt} - a_{2k} \leq M * z_t, \quad k = \overline{1,3}, \quad t = \overline{1,4}$$

$$I_{2kt} - a_{2k} \leq M * (1 - z_t), \quad k = \overline{1,3}, \quad t = \overline{1,4}$$

$$\sum_{j=1}^{15} q_{1jt} + \sum_{k=1}^3 q_{2kt} \leq x_t, \quad k = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,15}$$

$$z_t q_{1jt} + (1 - z_t) q_{3kjt} \geq d_{1jt}, \quad j = \overline{1,15}, \quad t = \overline{1,4}$$

$$I_{1jt} - I_{1jt-1} - q_{3kjt} + d_{1jt} \leq M * (1 - z_t) \quad t = \overline{1,4}, \quad j = \overline{1,15}$$

$$I_{2kt} = I_{2kt-1} + q_{2kt} - \sum_{j=1}^{15} q_{3kjt} - d_{2kt}, \quad t = \overline{1,4}, \quad k = \overline{1,3}$$

$$I_{1jt} \leq a_{1j} \quad t = \overline{1,4}, \quad j = \overline{1,15},$$

$$I_{2kt} \leq a_{2k}, \quad t = \overline{1,4}, \quad j = \overline{1,15}, \quad k = \overline{1,3}$$

$$x_t \leq b.y_t \quad t = \overline{1,4}$$

$$x_t, I_{1jt}, I_{2kt}, q_{1jt}, q_{2kt}, q_{3kjt} \geq 0, \quad y_t, z_t \in \{0, 1\}, \quad t = \overline{1,4}, \quad k = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,15}$$

Le modèle est le même pour les trois types de produit 1L, 2L et 5L qu'on résoudra séparément avec les données correspondant à chaque type.

4.4 La résolution du problème

Introduction des données

Tout d'abord, nous avons développé l'algorithme correspondant au modèle, incluant l'intégration de la fonction objectif et des contraintes, au final nous avons calculé les vecteurs et matrice des coûts que nous avons introduits.

Le premier vecteur C1, correspond à le vecteur des coûts de transport par palette de l'usine vers CLR.

$$C1_j = (D_j \times 82 \times 2) / 26, \quad j = \overline{1,15}$$

Où : D_j la distance entre l'usine et le CLR j.

Le vecteur $C2_k$, représente les coûts de transport par palette depuis l'usine vers les trois plateformes et qui est calculée de la manière suivante :

$$C2_k = (D_k \times 82 \times 2) / 26, k = \overline{1, 3}$$

Où : D_k la distance entre l'usine et la plateforme k.

La matrice $C3_{kj}$ représente les coûts de transport par palette de la plateforme k vers CLR j qui est calculée de la manière suivante :

$$C3_{kj} = (D_{kj} \times 82 \times 2) / 26, k = \overline{1, 3}, j = \overline{1, 15}$$

Avec D_{kj} : la distance entre le CLR j et la plateforme k.
L'implémentation du modèle sous CPLEX est donné par :

```

7  * OPL 12.6.1.0 Model
8  * Author: LOLA_PC
9  * Creation Date: 24 juin 2023 at 19:34:04
10 *****/
11 int M=70000;
12 int nbclrs=...;
13 //int k=...;
14 int nbplateforme=...;
15 int nbperiode=...;
16 /* definir les parametres */
17 range periode=1..nbperiode;
18 range clrs=1..nbclrs;
19 range plateforme=1..nbplateforme;
20 int d1[t in periode][j in clrs]=...;
21 //int d2[k in plateforme]=...;
22 float c1[j in clrs]=...;
23 float c2[k in plateforme]=...;
24 float c3[k in plateforme][j in clrs]=...;
25 int a1[j in clrs]=...;
26 float a2[k in plateforme]=...;
27 float A[t in periode]=...;
28 int b=...;
29 int cp=...;
30 int cl=...;
31 int h1[j in clrs]=...;
32 int h2[k in plateforme]=...;
33 /* variables de decision */
34 dvar int+ x[t in periode];
35 dvar boolean y[t in periode];
36 dvar boolean z[t in periode];
37 dvar int+ I1[t in periode][j in clrs];
38 dvar int+ I2[t in periode][k in plateforme];
39 dvar int+ q1[t in periode][j in clrs];

```

FIGURE 4.2 – Implémentation du modèle sous CPLEX

```

*model.mod
40 dvar int+ q2[t in periode][k in plateforme];
41 dvar int+ q3[t in periode][j in clr] [k in plateforme]; // plateforme k/clr ;j
42 //dvar float+ q32[t in periode][j in clr];
43 //dvar float+ q33[t in periode][j in clr];
44 minimize sum(t in periode) ((c1*y[t]+cp*x[t])+
45 sum(j in clr) (h1[j]*I1[t][j]+ c1[j]*q1[t][j]))+
46 sum(k in plateforme) ((h2[k]*I2[t][k]+c2[k]*q2[t][k])+
47 sum(j in clr) (h1[j]*I1[t][j]+c3[k][j]*q3[t][j][k]));
48
49 subject to
50 {
51
52 forall(t in periode){
53 x[t]<=b*y[t];
54 A[t]*y[t]<=x[t];}
55 forall(t in periode){
56 sum(j in clr)q1[t][j]+sum(k in plateforme)q2[t][k]<=x[t];}
57 /*forall (j in clr){
58 z[j]*q1[j]+sum(k in plateforme) (1-z[j])*q3[k][j]>=d1[j];}
59 forall ( k in plateforme){
60 q2[k]>=d2[k];}
61 /*forall (t in periode)
62 forall ( k in plateforme)
63 forall ( j in clr)
64 q3[t][k][j]<= I2[t][k];*/
65 /* forall ( t in periode)
66 forall ( j in clr)
67 sum(j in clr)d1[t][j]<= sum(j in clr)q1[t][j];*/
68
69
70
71 I1[1][1]==0;
72 I1[1][2]==0;

```

FIGURE 4.3 – Implémentation du modèle sous CPLEX , suite1

```

*model.mod
73 I1[1][3]==8;
74 I1[1][4]==2;
75 I1[1][5]==0;
76 I1[1][6]==7;
77 I1[1][7]==14;
78 I1[1][8]==7;
79 I1[1][9]==9;
80 I1[1][10]==0;
81 I1[1][11]==39;
82 I1[1][12]==41;
83 I1[1][13]==0;
84 I1[1][14]==5;
85 I1[1][15]==0;
86 I2[1][1]==0;
87 I2[1][2]==122;
88 I2[1][3]==14;
89
90
91
92 forall ( t in 1..nbperiode, k , k1 in plateforme){
93 sum(j in clr)d1[t][j]<=x[t];
94 sum(k in plateforme)q2[t][k]==x[t]-sum(j in clr)d1[t][j];}
95
96 forall ( t in 1..nbperiode, j in clr, k in plateforme ) {
97 d1[t][j]-q1[t][j]<=M*z[t];
98 d1[t][j]-q3[t][j][k]<=M*(1-z[t]);}
99 forall(t in 2..nbperiode, j in clr) {
100 I1[t][j]-I1[t-1][j] - q1[t][j]-d1[t][j]<=M*z[t];
101 I1[t][j]-I1[t-1][j] - sum(k in plateforme)q3[t][j][k]-d1[t][j]<=M*(1-z[t]);}
102 forall(t in 2..nbperiode, j in clr, k in plateforme) {
103 I2[t][k]==q2[t][k]+I2[t-1][k]-sum(k in plateforme)q3[t][j][k];}
104
105 forall(t in periode){

```

FIGURE 4.4 – implémentation du modèle sous CPLEX , suite2

```

88 z[t][j]--17,
89
90
91
92 forall( t in 1..nbperiode, k , k1 in plateforme){
93   sum(j in clrs)d1[t][j]<=x[t];
94   sum(k in plateforme)q2[t][k]==x[t]-sum(j in clrs)d1[t][j];
95
96 forall( t in 1..nbperiode, j in clrs, k in plateforme ){
97   d1[t][j]-q1[t][j]<=M*z[t];
98   d1[t][j]-q3[t][j][k]<=M*(1-z[t]);
99   forall(t in 2..nbperiode, j in clrs) {
100    I1[t][j]-I1[t-1][j] - q1[t][j]-d1[t][j]<=M*z[t];
101    I1[t][j]-I1[t-1][j] - sum(k in plateforme)q3[t][j][k]-d1[t][j]<=M*(1-z[t]);
102    forall(t in 2..nbperiode, j in clrs,k in plateforme) {
103     I2[t][k]==q2[t][k]+I2[t-1][k]-sum(k in plateforme)q3[t][j][k];
104
105 forall(t in periode){
106   forall(k in plateforme){
107     forall(j in clrs){
108       I1[t][j]<=a1[j];
109       I2[t][k]<=a2[k];}}
110
111   forall( t in periode, j in clrs){
112     sum(k in plateforme)I2[t][k] - sum(k in plateforme)a2[k] == 0=> (y[t]==0);
113     sum(k in plateforme)q3[t][j][k]>=d1[t][j]; }
114   forall( t in 2..nbperiode){
115     forall( k in plateforme){
116       sum(j in clrs) q3[t][j][k] <=I2[t][k];} //disponibilité dans les plateformes
117     // sum(j in clrs) q32[t][j] <=I2[t][k];
118     // sum(j in clrs) q33[t][j] <=I2[t][k];
119   }
120
121

```

FIGURE 4.5 – implémentation du modèle sous CPLEX , suite3

Après avoir exécuté le programme nous avons obtenu les tableaux suivant :

Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 1L sous CPLEX

La quantité produite de Elio 1L dans chaque période est comme suit :

Name	Value
Data (18)	
a1	[126 84 77 70 70 70 70 140 70 56 168 178 42 63 84]
a2	[392 2660 1232]
b	1470
c1	[3482 2409 4920 3722 1602 1545 1823 3905 4365 1766 1634 4277 1439 1520 442]
c2	[1817 928 4277]
c3	[[4150 1148 5652 4920 2050 852 2655 4806 5216 2643 2523 5198 32 656 1533] [2485 2895 3974 2821 915 1167 915 2870 3...
cl	1235
clrs	1..15
cp	150765
d1	[[270 204 135 126 160 127 126 59 58 61 26 42 29 13 24] [286 147 151 130 86 76 116 61 34 50 24 15 11 5 15] [164 203 121 ...
h1	[130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130 130]
h2	[450 500 860]
nbclrs	15
nbperiode	4
nbplateforme	3
periode	1..4
plateforme	1..3
Decision variables	
I1	[[0 0 8 2 0 7 14 7 9 0 39 41 0 5 0] [0 0 8 2 0 7 14 7 9 0 39 41 0 5 0] [0 0 8 2 0 7 14 7 9 0 39 41 0 5 0] [0 0 8 2 0 7 14 7 9 0 39 ...
I2	[[0 122 14] [5 210 21] [15 386 35] [30 650 56]]
q1	[[270 204 135 126 160 127 126 59 58 61 26 42 29 13 24] [286 147 151 130 86 76 ...
q2	[[0 0 0] [5 88 7] [10 176 14] [15 264 21]]
q3	[[[0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0]] [[270 204 135 126 160 127 126 59 58 61 26 42 29 13 24] [286 147 151 130 86 76 116 61 34 50 24 15 11 5 15] [164 203 121 120 52 99 88 66 38 18 33 23 14 10 26] [107 117 116 120 42 57 70 31 35 23 30 24 13 8 20]]
x	[1460 1307 1275 1115]
y	[1 1 1 1]

FIGURE 4.6 – Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 1L sous CPLEX

Période	Quantité
1	1470
2	1307
3	1275
4	1115

TABLE 4.6 – Quantité produite de produit Elio 1L

La quantité à envoyer de l'usine aux CLR est présenté dans le tableau suivant :

CLR	Période	Quantité (plt)	CLR	Période	Quantité(plt)
Alger	1	26	Constantine	1	29
	2	24		2	11
	3	33		3	14
	4	35		4	14
Blida	1	126	Sidi Bel Abbas	1	58
	2	116		2	34
	3	123		3	38
	4	76		4	39
Média	1	61	Mostaganem	1	126
	2	50		2	130
	3	18		3	120
	4	27		4	140
Tizi ousou	1	160	Relizane	1	270
	2	86		2	286
	3	52		3	164
	4	47		4	120
Sétif	1	127	Tlemcen	1	135
	2	76		2	151
	3	64		3	121
	4	77		4	142
Annaba	1	204	Mascara	1	59
	2	147		2	61
	3	203		3	66
	4	139		4	37
Batna	1	13	Oran	1	42
	2	5		2	15
	3	10		3	23
	4	10		4	32
Béjaia	1	66			
	2	41			
	3	31			
	4	43			

TABLE 4.7 – Quantité à envoyer de l'usine aux CLR

La quantité à envoyer de l'usine aux plateformes pendant chaque période est présenté dans le tableau suivant :

Usine	Plateforme	Période	Quantité
	P.F El Khroub Constantine	1	0
		2	5
		3	10
		4	15
Béjaia	P.F Bouira	1	0
		2	88
		3	176
		4	264
	P.F Hassi Ameer Oran	1	0
		2	7
		3	14
		4	21

TABLE 4.8 – Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes

La quantité stockée dans les plateformes chaque fin de période est présenté dans le tableau suivant :

Plateforme	Période	Quantité stocké
P.F El Khroub Constantine	1	0
	2	5
	3	15
	4	30
P.F Bouira	1	122
	2	210
	3	386
	4	650
P.F Hassi Ameer Oran	1	14
	2	21
	3	35
	4	56

TABLE 4.9 – Quantité stockée dans les plateformes

La quantité stockée dans les CLR chaque fin de période est présentée comme suit :

CLR	Quantité stockée(plt)	CLR	Quantité stockée(plt)
Alger	39	Constantine	0
Blida	14	Sidi Bel Abbes	9
Média	0	Mostaganem	2
Tizi ouzou	0	Relizane	0
Sétif	7	Tlemcen	8
Annaba	0	Mascara	7
Batna	5	Oran	41
Béjaia	0		

TABLE 4.10 – Quantité stockée dans CLR chaque fin de période

Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 2L sous CPLEX

Name	Value
a1	[243 162 149 135 135 135 135 270 135 108 324 342 81 122 162]
a2	[756 5130 2376]
b	6700
c1	[20891 14457 29520 22329 9613 9272 10938 23427 26190 10597 9802 25660 8629 9121 2649]
c2	[10900 5563 25660]
c3	[[1.0234e+5 3.198e+5 3.936e+5 15138 38348 12300 12345 7.6752e+5 3936 17543 7.4981e+5 567 19876 29520 28839] [492...
cl	1235
clrs	1.15
cp	150765
d1	[[452 313 429 259 190 230 169 165 76 68 74 74 34 27 112] [398 260 256 184 199 211 135 119 82 40 39 42 16 11 100] [274 24...
h1	[5077 4030 5041 6639 4207 5048 7169 5041 10181 8117 5480 3408 9531 5225 13122]
h2	[9531 5080 3408]
nbcls	15
nbperiode	4
nbplateforme	3
periode	1.4
plateforme	1.3
i1	[[8 3 18 10 12 15 37 26 23 5 61 23 0 23 0] [8 3 18 10 12 15 37 26 23 5 61 23 0 23 0] [8 3 18 10 12 15 37 26 23 5 61 23 0 23 0] ...
i2	[[0 140 20] [120 2252 188] [120 2252 188] [120 2252 188]]
q1	[[452 313 429 259 190 230 169 165 76 68 74 74 34 27 112] [398 260 256 184 199 211 135 119 82 40 39 42 16 11 100] [274 240 178 211 159 135 182 61 71 64 45 47 19 24 8]
q2	[[120 2112 168] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0]]
q3	[[0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0] [0 0 0]]
x	[5072 2092 1791 1941]
y	[1 1 1 1]

FIGURE 4.7 – Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 2L sous CPLEX

La quantité produite de Elio 2L dans chaque période est comme suit :

Période	Quantité
1	5072
2	2092
3	1791
4	1941

TABLE 4.11 – Quantité produite de produit Elio 2L

La quantité à envoyer de l'usine aux plateformes pendant chaque période est présenté dans le tableau suivant :

Usine	Plateforme	Période	Quantité
	P.F El Khroub Constantine	1	120
		2	0
		3	0
		4	0
Béjaia	P.F Bouira	1	2112
		2	0
		3	0
		4	0
	P.F Hassi Ameur Oran	1	168
		2	0
		3	0
		4	0

TABLE 4.12 – Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes

La quantité à envoyer de l'usine aux CLR est présenté dans tableau suivant :

CLR	Période	Quantité (plt)	CLR	Période	Quantité (plt)
Alger	1	62	Constantine	1	29
	2	45		2	19
	3	39		3	16
	4	74		4	35
Blida	1	195	Sidi Bel Abbes	1	60
	2	182		2	71
	3	135		3	82
	4	169		4	76
Média	1	71	Mostaganem	1	165
	2	64		2	211
	3	40		3	148
	4	68		4	259
Tizi ousou	1	214	Relizane	1	195
	2	159		2	274
	3	199		3	398
	4	190		4	452
Sétif	1	230	Tlemcen	1	429
	2	211		2	256
	3	135		3	178
	4	169		4	129
Annaba	1	313	Mascara	1	165
	2	260		2	119
	3	240		3	61
	4	380		4	85
Batna	1	27	Oran	1	74
	2	11		2	42
	3	24		3	47
	4	31		4	46
Béjaia	1	112			
	2	100			
	3	81			
	4	110			

TABLE 4.13 – Quantité à envoyer de l'usine vers CLR

La quantité stockée dans les plateformes chaque fin de période est présenté dans le tableau suivant :

Plateforme	Période	Quantité stocké
P.F El Khroub Constantine	1	0
	2	120
	3	120
	4	120
P.F Bouira	1	140
	2	2252
	3	2252
	4	2252
P.F Hassi Ameer Oran	1	20
	2	188
	3	188
	4	188

TABLE 4.14 – Quantité stockée dans les plateformes

La quantité stockée dans les CLR chaque fin de période est présenté comme suit :

CLR	Quantité stockée(plt)	CLR	Quantité stockée(plt)
Alger	61	Constantine	0
Blida	37	Sidi Bel Abbes	23
Média	5	Mostaganem	10
Tizi ousou	12	Relizane	8
Sétif	15	Tlemcen	18
Annaba	3	Mascara	26
Batna	23	Oran	23
Béjaia	0		

TABLE 4.15 – Quantité stockée dans CLR chaque fin de période

Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 5L sous CPLEX

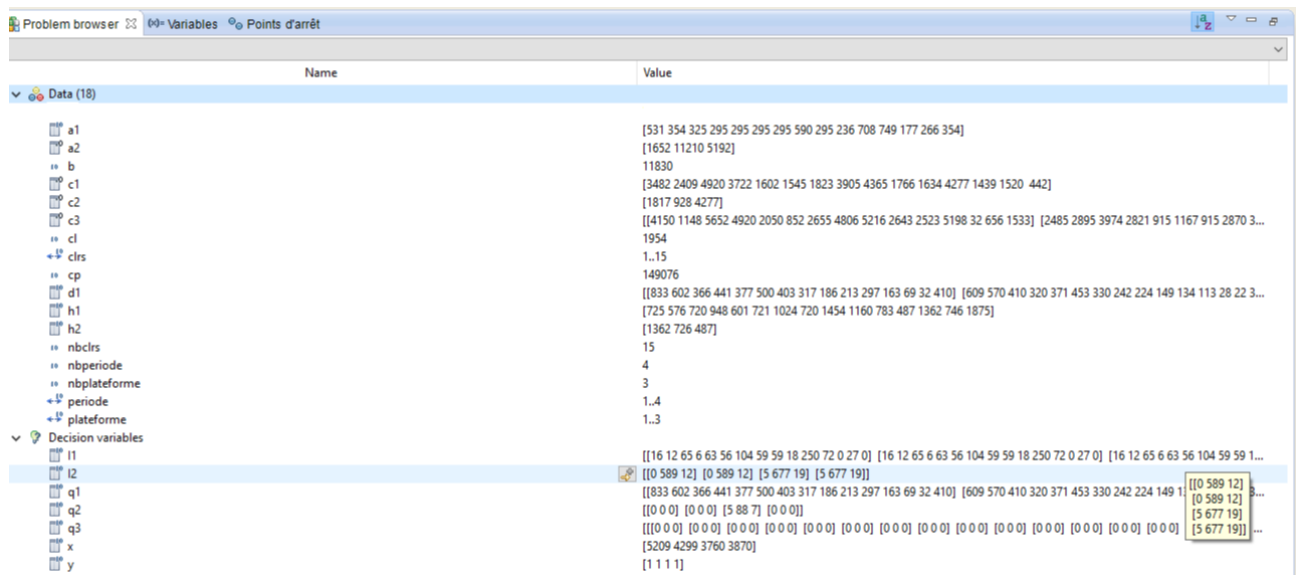


FIGURE 4.8 – Données relatives et résultats obtenus au modèle Elio 5L sous CPLEX

La quantité produite de Elio 2L dans chaque période est comme suit :

Période	Quantité
1	5209
2	4299
3	3760
4	3870

TABLE 4.16 – Quantité produite de produit Elio 5L

La quantité à envoyer de l’usine aux plateformes pendant chaque période est présenté dans le tableau suivant :

Usine	Plateforme	Période	Quantité
	P.F El Khroub Constantine	1	0
		2	0
		3	5
		4	0
Béjaia	P.F Bouira	1	0
		2	0
		3	88
		4	0
	P.F Hassi Ameer Oran	1	0
		2	0
		3	7
		4	0

TABLE 4.17 – Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes

La quantité stockée dans les plateformes chaque fin de période est présenté dans le tableau suivant :

Plateforme	Période	Quantité stocké
P.F El Khroub Constantine	1	0
	2	0
	3	5
	4	0
P.F Bouira	1	589
	2	589
	3	677
	4	677
P.F Hassi Ameer Oran	1	12
	2	12
	3	19
	4	19

TABLE 4.18 – Quantité stockée dans les plateformes

La quantité à envoyer de l'usine aux CLR est présenté dans tableau suivant :

CLR	Période	Quantité(plt)	CLR	Période	Quantité (plt)
Alger	1	297	Constantine	1	69
	2	134		2	28
	3	173		3	53
	4	93		4	58
Blida	1	500	Sidi Bel Abbes	1	186
	2	453		2	224
	3	337		3	201
	4	445		4	109
Média	1	213	Mostaganem	1	441
	2	149		2	320
	3	168		3	318
	4	174		4	338
Tizi ousou	1	377	Relizane	1	833
	2	371		2	609
	3	266		3	490
	4	372		4	382
Sétif	1	500	Tlemcen	1	366
	2	453		2	410
	3	337		3	380
	4	445		4	440
Annaba	1	602	Mascara	1	317
	2	570		2	242
	3	386		3	96
	4	329		4	116
Batna	1	32	Oran	1	163
	2	22		2	113
	3	37		3	103
	4	37		4	131
Béjaia	1	410			
	2	324			
	3	265			
	4	318			

TABLE 4.19 – Quantité à envoyer de l'usine vers CLR

La quantité stockée dans les CLR chaque fin de période est présenté comme suit(pour chaque période) :

CLR	Quantité stockée(plt)	CLR	Quantité stockée(plt)
Alger	250	Constantine	0
Blida	104	Sidi Bel Abbes	59
Média	18	Mostaganem	6
Tizi ousou	63	Relizane	16
Sétif	56	Tlemcen	65
Annaba	12	Mascara	59
Batna	27	Oran	72
Béjaia	0		

TABLE 4.20 – Quantité stockée dans CLR chaque fin de période

4.5 Interprétation des résultats

L'IBM ILOG CPLEX nous a permis de retrouver la quantité des produits à produire et à envoyer dans chaque période, vers les plateformes (Constantine et Oran et Bouira) ainsi que la quantité à envoyer des plateformes aux CLR. Nous avons également pu établir la quantité à envoyer de l'usine aux CLR avec un coût total égal à :

- 792 715 180DA pour Elio 1L
- 1 869 754 190DA pour Elio 2L
- 2 612 796 179DA pour Elio 5L

4.6 Comparaison des résultats

Les résultats obtenus sous CPLEX sont comparés à ceux fournis par l'entreprise voir (4.21) :

Où :

Q Pr : quantité optimale produite retrouvée après résolution.

Q CLR : quantité optimale transportée de l'usine vers CLR (retrouvée après résolution).

Q Plat : quantité transportée de l'usine vers plateforme (retrouvée après résolution).

Q PC : quantité produite données par Cevital

Q CC : quantité transportée de l'usine vers CLR données par Cevital

Q PIC : quantité transportée de l'usine vers plateforme données par Cevital

Produit	Période	Q Pr	Q CLR	Q Plat	Q PC	Q CC	Q PIC
1L	1	1460	1460	0	1432	1427	5
	2	1307	1233	100	1210	1127	85
	3	1275	1080	200	1249	1096	153
	4	1115	978	137	1106	966	140
2L	1	5072	2672	2400	3722	3633	89
	2	2092	2029	63	2038	2017	21
	3	1791	1791	0	1690	1365	325
	4	1941	1941	0	2035	2035	0
5L	1	5209	5209	0	5209	5209	0
	2	4299	4299	0	4500	4500	0
	3	3760	3660	100	3769	3060	709
	4	3870	3870	0	4008	3900	108

TABLE 4.21 – Comparison des résultats

On remarque que les quantités envoyées retrouvées après résolution et celle fournis par Cevital pour palettes de 1L sont presque identiques.

On constate un écart entre les quantités envoyées retrouvées après résolution et celle fournis par Cevital pour palettes de 2L et 5L. La différence est énorme cela est expliqué par le fait que :

- l’entreprise Cevital tolère la surproduction chose qu’il n’est pas pris en considération par notre modèle (capacité de production limitée).
- l’entreprise Cevital travaille avec les prévisions du mois de ramadan (la pleine saison) que nous n’avons pas pris en considération dans notre modèle. Pour les autres périodes, on peut dire que nos résultats concordes mieux avec la politique de livraison de l’entreprise qui favorise l’alimentation des CLR directement de l’usine au lieu de passer par les plateformes.

Conclusion

Ce dernier chapitre aborde un cas pratique relatif à la gestion optimale de la chaîne logistique o conçu dans le but de rationaliser les coûts de production, de stockage et de transport associés à la distribution de produit l’huile, qui joue un rôle important sur le marché national. L’objectif est double : répondre efficacement à la demande des clients tout en optimisant les dépenses logistiques combinant le problème de lot sizing avec le problème de transport considérant les deux DIAPASONS en fonction de la disponibilité des produits.

Le modèle mathématique établis est linéaire avec variables mixtes qui a été résolu avec une méthode exacte sous le solveur Cplex.

Conclusion générale et perspectives

Dans une économie caractérisée par la raréfaction des ressources naturelles, la diminution des sources de financement et une concurrence de plus en plus intense entre les entreprises, la répartition optimale des moyens limités entre les multiples besoins devient la tâche principale des décideurs politiques et économiques de notre société. Ce problème se pose dans tous les domaines de l'activité économique, politique, scientifique et sociale.

Notre travail consiste à optimiser la chaîne de distribution des palettes d'huiles Elio au sein de l'entreprise agro-alimentaire Cevital. Pour cela, nous avons d'abord collecté les données nécessaires pour aborder ce problème. Ensuite, nous avons modélisé ce problème comme étant un problème lot sizing avec transport . Le modèle mathématique obtenu est un programme à variables mixtes. Dans ce mémoire, nous avons utilisé logiciel IBM cplex, pour obtenir un plan de production, de distribution optimal des huiles au sein de Cevital.

Pour conclure ce travail, nous présentons ci-dessous un ensemble de perspectives visant à améliorer davantage la qualité des résultats de notre modèle :

- a) Tenir compte des clients hors CLR ;
- b) varier les coûts de setup et les coûts unitaires de production, de stockage et de transport, dans chaque période ;
- c) Utiliser une livraison avec tourné de véhicule au lieu d'une livraison directe, et intégrer le problème tournées des véhicules VRP avec le problème de lot sizing.
- d) Etablir un autre modèle visant à considérer la satisfaction des CLR des différentes plateformes en fonction de la disponibilité.

Annexe

Les capacités de stockage des CLR ELIO 1L

CLR	Produit	Cap de stockage	CLR	Produit	Cap de stockage
Alger	1L	168	Constantine	1L	42
	2L	324		2L	81
	5L	708		5L	177
Blida	1L	70	Sidi Bel Abbas	1L	70
	2L	135		2L	135
	5L	295		5L	295
Média	1L	56	Mostaganem	1L	70
	2L	108		2L	135
	5L	236		5L	295
Tizi ousou	1L	70	Relizane	1L	126
	2L	135		2L	243
	5L	295		5L	531
Sétif	1L	70	Tlemcen	1L	77
	2L	135		2L	149
	5L	295		5L	325
Annaba	1L	84	Mascara	1L	140
	2L	162		2L	270
	5L	354		5L	590
Batna	1L	63	Oran	1L	178
	2L	122		2L	342
	5L	266		5L	749
Béjaia	1L	84			
	2L	162			
	5L	354			

Les demandes moyennes des CLR de produit Elio 1L

CLR	Période	Demande (plt)	CLR	Période	Demande (plt)
Alger	1	26	Constantine	1	29
	2	24		2	11
	3	33		3	14
	4	35		4	14
Blida	1	126	Sidi Bel Abbes	1	58
	2	116		2	34
	3	123		3	38
	4	76		4	39
Média	1	61	Mostaganem	1	126
	2	50		2	130
	3	18		3	120
	4	27		4	140
Tizi ousou	1	160	Relizane	1	296
	2	86		2	286
	3	52		3	164
	4	47		4	120
Sétif	1	127	Tlemcen	1	135
	2	76		2	151
	3	64		3	121
	4	77		4	142
Annaba	1	204	Mascara	1	59
	2	147		2	61
	3	203		3	66
	4	139		4	37
Batna	1	13	Oran	1	42
	2	5		2	15
	3	10		3	23
	4	10		4	32
Béjaia	1	66			
	2	41			
	3	31			
	4	43			

Les demandes des CLR de produit ELIO 2L

CLR	Période	Demande (plt)	CLR	Période	Demande (plt)
Alger	1	62	Constantine	1	29
	2	45		2	19
	3	39		3	16
	4	74		4	35
Blida	1	195	Sidi Bel Abbes	1	60
	2	182		2	71
	3	135		3	82
	4	169		4	76
Média	1	71	Mostaganem	1	165
	2	64		2	211
	3	40		3	148
	4	68		4	259
Tizi ousou	1	214	Relizane	1	195
	2	159		2	274
	3	199		3	398
	4	190		4	452
Sétif	1	230	Tlemcen	1	429
	2	211		2	256
	3	135		3	178
	4	169		4	129
Annaba	1	313	Mascara	1	165
	2	260		2	119
	3	240		3	61
	4	380		4	85
Batna	1	27	Oran	1	74
	2	11		2	42
	3	24		3	47
	4	31		4	46
Béjaia	1	112			
	2	100			
	3	81			
	4	110			

Les demandes moyennes des CLR de produit ELIO 5L

CLR	Période	Demande (plt)	CLR	Période	Demande (plt)
Alger	1	297	Constantine	1	69
	2	134		2	28
	3	173		3	53
	4	93		4	58
Blida	1	500	Sidi Bel Abbès	1	186
	2	453		2	224
	3	337		3	201
	4	445		4	109
Média	1	213	Mostaganem	1	441
	2	149		2	320
	3	168		3	318
	4	174		4	338
Tizi ouzou	1	377	Relizane	1	833
	2	371		2	609
	3	266		3	490
	4	372		4	382
Sétif	1	500	Tlemcen	1	366
	2	453		2	410
	3	337		3	380
	4	445		4	440
Annaba	1	602	Mascara	1	317
	2	570		2	242
	3	386		3	96
	4	329		4	116
Batna	1	32	Oran	1	163
	2	22		2	113
	3	37		3	103
	4	37		4	131
Béjaïa	1	410			
	2	324			
	3	265			
	4	318			

Les distances Usine-CLR , Plateforme-CLR et Usine-plateforme

Plateforme	CLR	Distance (Km)
P.F El Khroub Constantine	Alger	400 KM
	Blida	421 KM
	Médéa	419 KM
	Tizi Ouzou	325 KM
	sétif	135 KM
	Annaba	182 KM
	Batna	104 KM
	el kharoub	5 KM
	Sidi Bel abbas	827 KM
	Mostaganem	780 KM
	Relizane	658 KM
	Tlemcen	896 KM
	Mascara	762 KM
	Oran	824 KM
Béjaia	243 KM	
P.F Bouira	Alger	180 KM
	Blida	145 KM
	Médéa	172 KM
	Tizi Ouzou	145 KM
	sétif	185 KM
	Annaba	459 KM
	Batna	291 KM
	el kharoub	280 KM
	Sidi Bel abbas	540 KM
	Mostaganem	430 KM
	Relizane	394 KM
	Tlemcen	630 KM
	Mascara	455 KM
	Oran	630 KM
Béjaia	140 KM	
P.F Hassi Ameer Oran	Alger	426 KM
	Blida	371 KM
	Médéa	184 KM
	Tizi Ouzou	505 KM
	sétif	668 KM
	Annaba	969 KM
	Batna	825 KM
	el kharoub	790 KM
	Sidi Bel abbas	157KM
	Mostaganem	157 KM
	Relizane	136 KM
	Tlemcen	180 KM
	Mascara	179 KM
	Oran	157 KM
Béjaia	678 KM	

Usine	CLR	Distance (Km)
Béjaia	Alger	259 KM
	Blida	289 KM
	Médéa	280 KM
	Tizi Ouzou	254 KM
	sétif	245 KM
	Annaba	382 KM
	Batna	241 KM
	El kheroub	228KM
	Sidi Bel Abbes	692 KM
	Mostaganem	590 KM
	Relizane	552 KM
	Tlemcen	780 KM
	Mascara	619 KM
	Oran	678 KM
	Béjaia	70 KM

TABLE 4.22 – Les distances entre usine et CLR

Usine	Plateforme	Distance (Km)
Béjaia	P.F El Khroub Constantine	288 KM
	P.F Bouira	147 KM
	P.F Hassi Ameur Oran	678 KM

TABLE 4.23 – les distances entre l'usine et les plateformes

Usine	CLR	Coût de transport en (DA/Km)
Béjaia	Alger	1634 DA
	Blida	1823 DA
	Médéa	1766 DA
	Tizi Ouzou	1602 DA
	sétif	1545 DA
	Annaba	2410 DA
	Batna	1520 DA
	El kheroub	1438 DA
	Sidi Bel Abbes	4365 DA
	Mostaganem	3722 DA
	Relizane	3482 DA
	Tlemcen	4920 DA
	Mascara	3904 DA
	Oran	4277 DA
	Béjaia	442 DA

TABLE 4.24 – Les coûts de transport usine-CLR(aller+retour) en DA

Plateforme	CLR	Coût de transport (DA/palette)
P.F El Khroub Constantine	Alger	2523
	Blida	2656
	Médéa	2643
	Tizi Ouzou	2050
	sétif	852
	Annaba	1148
	Batna	656
	El kharoub	320
	Sidi Bel abbas	5216
	Mostaganem	4920
	Relizane	4150
	Tlemcen	5652
	Mascara	4806
Oran	5198	
Béjaia	1533	
P.F Bouira	Alger	1135
	Blida	915
	Médéa	1085
	Tizi Ouzou	915
	sétif	1167
	Annaba	2895
	Batna	1836
	el kharoub	1766
	Sidi Bel abbas	3406
	Mostaganem	2712
	Relizane	2485
	Tlemcen	3974
	Mascara	2870
Oran	3974	
Béjaia	883	
P.F Hassi Ameer Oran	Alger	2687
	Blida	2340
	Médéa	1161
	Tizi Ouzou	3185
	sétif	4214
	Annaba	6112
	Batna	5204
	el kharoub	4983
	Sidi Bel abbas	990
	Mostaganem	990
	Relizane	858
	Tlemcen	1135
	Mascara	1129
Oran	990	
Béjaia	4277	

TABLE 4.25 – Coût de transport plateformes- CLR

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons étudié la chaîne logistique de conditionnement d'huile au niveau de l'entreprise agro-alimentaire CEVITAL.

Pour cela, nous avons modélisé ce problème comme étant un programme mixte en nombre entiers, qui permet de réduire les coûts de l'entreprise et satisfaire la demande de sa clientèle.

Le travail est relatif à un problème de lot sizing combiné avec le problème de transport. L'objectif consiste à optimiser le coût total de la chaîne, constituée d'un coût de production, de stockage et de transport.

Nous avons utilisé le logiciel IBM ILOG CPLEX, pour résoudre le problème posé qui nous a fournis des différents résultats pour les trois types de l'huile sur une période d'un mois.

Mots Clés : Chaîne logistique, Lot sizing, Optimisation, Cplex

Abstrat

In this thesis, we have studied the oil packaging supply chain at the agro-food company CEVITAL. To do so, we modeled this problem as a mixed-integer program, aiming to reduce the company's costs and meet customer demand.

The work is related to a lot sizing problem. The objective is to optimize the total cost of the chain, which includes production, storage, and transportation costs.

We used the IBM ILOG CPLEX software to solve the given problem, which provided us with different results for the three types of oil.

Keywords : Supply chain, Lot sizing, Optimization, CPLEX.

Bibliographie

- [1] A. AKBALIK. “Optimisation de la gestion intégrée des flux physiques dans une chaîne logistique : extensions du problème de dimensionnement de lot”. Thèse de doct. Institut National Polytechnique de Grenoble, 2006.
- [2] L. BENFERCHOULI et D. YESSAD. “Planification de la distribution des produits au sein de l’entreprise CEVITAL”. Mém. de mast. Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2019.
- [3] N. BRAHIMI. “Planification de la production : Modèles et algorithmes pour le problème de dimensionnement de lot”. Thèse de doct. Université de Nantes, 2004.
- [4] *CEVITAL Website*. <http://www.cevital.com/>.
- [5] A. CHABANE et A. BOUREGBA. “Optimisation du plan de distribution des produits Cevital”. Mém. de mast. Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
- [6] M. G. CHRISTOPHER. *Logistics and Supply Chain Management*. Pitman Publishing, 1992.
- [7] E. DESPONTIN-MONSARRAT. “Aide à la décision pour une coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande”. Thèse de doct. Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2001.
- [8] I. ELMAHI. “Modélisation et commande des systèmes de chaîne logistique par les réseaux de Petri et l’algèbre des dioïdes”. Thèse de doct. Université de Technologie de Belfort Montbéliard et Université de Franche-Comté, 2006.
- [9] M. FENDER et F. BARON. *Le Supply Chain Management*. Eyrolles, 2019.
- [10] P. GÉNIN. “Planification tactique robuste avec usage d’un A.P.S - Proposition d’un mode de gestion par plan de référence”. Thèse de doct. Ecole des Mines de Paris, 2003.
- [11] A. GRATACAPA et P. MEDAN. *Logistique et Supply Chain Management*. Paris : Edition DUNOD, 2008.
- [12] A. LAGGOUN. “Développement d’une approche pour la résolution d’un problème de lot sizing avec transport”. Mém. de mast. Université de Batna 2, 2013.
- [13] S. MEBARKI et L. TAHIR. “Optimisation du réseau logistique de distribution : cas des huiles au niveau de Cévital”. Mém. de mast. Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2015.

- [14] J. MENTZER et al. “Defining Supply Chain Management”. In : *Journal of Business Logistics* 22 (2001).
- [15] S. MERZOUK. “Problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas de la chaîne logistique”. Thèse de doct. Université de Technologie de Belfort Montbéliard et Université de Franche-Comté, 2007.
- [16] A. SENOUCI. “Optimisation intégrée des fonctions production, stockage et distribution dans une chaîne logistique”. Thèse de doct. Université de Batna 2, 2016.
- [17] D. SIMCHI-LEVI, P. KAMINSKY et E. S. LEVI. *Designing and Managing the Supply Chain : Concepts, Strategies, and Case Studies*. McGraw Hill, 2003.
- [18] H. STADTLER. “Supply Chain Management and Advanced Planning : Basic, Overview, and Challenges”. In : *European Journal of Operational Research* 163 (2005), p. 575-588.
- [19] H. STADTLER et C. KILGER. *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, 2008.
- [20] R. TAYUR S. Ganeshan et M. MAGAZINE. *Quantitative Model for Supply Chain Management*. Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [21] D. THOMAS et P. GRIFFIN. “Coordinated Supply Chain Management”. In : *European Journal of Operational Research* 94 (1996), p. 1-15.
- [22] D. TIXIER, H. MATHEE et J. COLIN. *La logistique au service de l'entreprise : Moyen, mécanisme et enjeux*. Paris : Dunod entreprise, 1983.
- [23] H. M. WAGNER et T. M. WITHIN. “Dynamic version of the economic lot size model”. In : *Management Science* 5 (1958), p. 89-96.
- [24] C. WOLOSEWICZ. “Approche intégrée en planification et ordonnancement de la production”. Thèse de doct. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 2008.
- [25] L. A. WOLSEY. *Integer Programming*. Wiley, 2021.