

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mira Abderrahmane de Béjaïa



Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de fin de cycle

En vu de l'obtention du diplôme de Master en Mathématiques Appliquées
Option : *Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des Réseaux*

Thème

Planification de la distribution des produits au sein de l'entreprise CEVITAL

Présenté par :

M^{elle} BENFERCHOULI Lynda et *M^{elle}* YESSAD Dina

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------|-----------------------|
| Présidente : | <i>M^{me}</i> N. HALIMI | M.C.B | Université de bejaia. |
| Rapporteur : | <i>M^{mm}</i> F. AOUDIA | M.C.A | Université de bejaia. |
| Co.Rapporteur : | <i>M^{lle}</i> Z. AOUDIA | M.A.A | Université de bejaia. |
| Examineurs : | <i>M^{me}</i> S. KENDI | M.A.A | Université de bejaia. |
| | <i>M^r</i> S. TOUATI | M.A.B | Université de bejaia. |

Juillet 2019

Remerciement

À l'issu de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail.

Pendant toute la durée de nos études et de notre projet, on a eu la chance de côtoyer, de rencontrer des gens réellement extraordinaires. Qu'il nous soit permis ici de leur rendre humblement hommage et de les remercier pour tout ce qu'elles nous ont apporté : pour l'aide et les conseils qu'elles nous ont prodigué, pour leurs soutiens, dont on va citer :

- Nos promotrices M^{lle} Z. Aoudia et M^{ne} F. Aoudia, d'avoir accepté de nous encadrer, pour leurs orientations, conseils qui nous ont prodigué tout au long de ce travail.*
- Nous remercions également l'équipe de la direction logistique de l'entreprise Cevital agro-industrielle pour leurs accueils et aides en particulier M^r K. Cherchour et M^r A. Kasri.*
- Nos très chères familles qui ont été toujours derrière nous.*
- Tous nos amis et tous ceux qui ont étudié avec nous.*
- Les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.*

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes très chers grands parents,

Qui sont mes seconds parents.

A mes très chers frères : Amir et Madjid,

Qui ne cesseront d'être à mes côtés.

A ma très chère soeur : Nawel, ainsi que ma belle soeur : Mina

Qui m'apportent du courage et de la joie.

A mes tantes (Dalila, Safia et Siham) et cousins (Samy et Yanni)

Qui me soutiennent et veillent sur moi.

A ma binome : Lynda,

Qui est toujours très patiente et gentille.

A mes chers amis qui sont loin des yeux mais prêt du coeur,

Qui croient toujours en moi.

Dina

Dédicaces

A mes chers parents

Vous m'avez conduit là où je suis. Merci de votre soutien dans mes choix et notamment dans mes études.

J'espère être à la hauteur de votre espérance.
Que Dieu vous garde encore longtemps parmi nous.

A ma jolie soeur Amal et mon unique neveu

Qui a toujours été à mes côtés, tes encouragements et son soutien m'ont beaucoup aidé dans l'élaboration de ce travail.

A mon précieux frère Hakim

Qui m'est cher au coeur.

A mon beau frère Mohamed Amine

Pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent.

A ma grand-mère

Je vous dédie ce travail tout particulièrement car vous êtes le coeur de la famille.

A mes tantes, oncles, cousines(Sarah, Nesrine) et cousins (Mohamed), ainsi qu'à toute ma famille.

A ma binôme "Dina"

Qui a travaillé avec patience et sans relâche dans notre travail.

A mes meilleures amies Mounia, Kamilia et Lycia

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Lynda

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction générale | 9 |
| 1 État de l'art sur le transport de marchandise | 10 |
| 1.1 Les chaînes logistiques | 11 |
| 1.1.1 Définition de la logistique industrielle | 12 |
| 1.1.2 Définition de la chaîne logistique | 14 |
| 1.1.3 Fonction de la chaîne logistique | 15 |
| 1.1.4 Conception des chaînes logistiques | 18 |
| 1.2 Présentation de l'entreprise CEVITAL | 20 |
| 1.3 Le processus de distribution de Cevital | 20 |
| 1.3.1 Quelques définitions | 20 |
| 1.4 Plan de distribution de CEVITAL | 21 |
| 1.5 Position du problème | 22 |
| 2 Rappels théoriques et outils | 24 |
| 2.1 Généralités sur distribution | 24 |
| 2.1.1 Introduction à la distribution | 24 |
| 2.1.2 Définition de la distribution | 26 |
| 2.1.3 L'information dans la distribution | 26 |
| 2.1.4 Les objectifs d'une politique de distribution : | 27 |
| 2.2 Généralités sur les problème de flots | 28 |
| 2.2.1 Problème du flot maximum | 28 |
| 2.2.2 Le problème de transport | 30 |
| 2.3 Généralités sur les problèmes de multiflots | 31 |
| 2.4 Outils et logiciels d'optimisation | 32 |
| 2.4.1 Les solveurs | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4.2 | Les langages de modélisation | 33 |
| 2.4.3 | Présentation du logiciel IBM ILOG CPLEX | 34 |
| 2.5 | Conclusion | 35 |
| 3 | Modélisation et résolution du problème | 36 |
| 3.1 | Description et formulation du plan 1 : DIAPASON 1 | 37 |
| 3.1.1 | Collecte des données | 37 |
| 3.1.2 | Modélisation du problème | 43 |
| 3.1.3 | La résolution du problème | 45 |
| 3.2 | Description et formulation du plan 2 : DIAPASON 2 | 52 |
| 3.2.1 | Collecte des données | 52 |
| 3.2.2 | Modélisation du problème | 53 |
| 3.2.3 | La résolution du problème | 56 |
| 3.3 | Identification et formulation du plan de distribution optimal proposé | 64 |
| 3.3.1 | Modelisation du problème | 64 |
| 3.3.2 | La resolution du problème | 68 |
| 3.4 | Conclusion | 77 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Plan de distribution de CEVITAL | 22 |
| 3.1 | Implémentation du modèle associé au DIAPASON 1 sous CPLEX | 47 |
| 3.2 | Implémentation du modèle associé au DIAPASON 1 sous CPLEX (suite) | 48 |
| 3.3 | Les données du plan DIAPASON 1 sous CPLEX | 49 |
| 3.4 | Résultats du DIAPASON 1 sous CPLEX | 50 |
| 3.5 | Le modèle associé au DIAPASON 2 sous CPLEX | 58 |
| 3.6 | Le modèle associé au DIAPASON 2 sous CPLEX, suite | 59 |
| 3.7 | Les données associées au DIAPASON 2 sous CPLEX | 60 |
| 3.8 | Résultats sous CPLEX | 61 |
| 3.9 | Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX | 71 |
| 3.10 | Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX, suite | 72 |
| 3.11 | Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX, suite | 73 |
| 3.12 | Données relatives au modèle proposé sous CPLEX | 74 |
| 3.13 | Résultats du plan proposé sous CPLEX | 75 |

Liste des tableaux

| | | |
|------|---|----|
| 3.1 | Capacité de stockage des plateformes, DIAPASON 1 | 38 |
| 3.2 | La demande des produits au niveau des plateformes, DIAPASON 1 | 38 |
| 3.3 | La distance entre usines et plateformes | 39 |
| 3.4 | Capacité de production des unités de production | 39 |
| 3.5 | La distance d_{jk} entre les plateformes et les CLR s | 42 |
| 3.6 | Demande des produits au niveau des CLR s en plts, DIAPASON 1 | 42 |
| 3.7 | Quantités à envoyer de l'usine aux plateformes en plts suivant DIAPASON 1 | 50 |
| 3.8 | Quantités à envoyer des plateformes aux CLR en plts suivant DIAPASON 1 | 51 |
| 3.9 | Capacité de stockage des plateformes, DIAPASON 2 | 52 |
| 3.10 | La distance usine-CLR, d_{ik} | 53 |
| 3.11 | Quantités à envoyer de l'usine aux plateformes, DIAPASON 2 | 61 |
| 3.12 | Quantités à envoyer des plateformes aux CLR s, DIAPASON 2 | 62 |
| 3.13 | Quantités à envoyer des plateformes aux CLR s, DIAPASON 2 | 63 |
| 3.14 | Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes suivant le plan proposé | 75 |
| 3.15 | Quantité à envoyer des plateformes aux CLR s suivant le plan proposé | 76 |
| 3.16 | Quantité à envoyer de l'usine aux CLR s suivant le plan proposé | 76 |
| 3.17 | Quantité à envoyer de l'usine aux CLR s suivant le plan proposé | 77 |

Introduction Générale

Les chaînes logistiques sont un résultat, ou plutôt une conséquence, de la déferlante mondialisée et de la globalisation des marchés. En effet, dans un environnement de plus en plus concurrentiel, la course vers la réduction des coûts de production tout en gardant une bonne qualité de produits finis et en améliorant la qualité de service aux clients, plus exigeants que jamais, n'en finit plus. Le regroupement des entreprises ayant des intérêts en commun dans une structure de chaîne logistique pour optimiser les opérations et maximiser les bénéfices et profits conduit vers un nouveau type de concurrence : la concurrence entre chaînes logistiques. Dans ces nouveaux schémas d'entreprises, plusieurs entités doivent collaborer afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles. Cette coordination n'est pas chose facile à réaliser car elle implique un changement culturel profond, ce qui est connu pour être un élément très difficile à mettre en oeuvre car impliquant le changement de règles sociales et de comportement. L'être humain est par nature hostile au changement, ou du moins il en a peur.

L'intérêt de la communauté scientifique aux problématiques au sein des chaînes logistiques est relativement récent (les dix à quinze dernières années), mais va en grandissant. Cela s'explique par l'intérêt économique que représente le fait de développer de nouvelles méthodes, outils et techniques pour aider les entreprises à gérer des flux de matières, d'informations, et de finances d'une manière optimale. Parmi ces outils, on retrouve notamment les outils d'aide à la décision incorporés dans des progiciels tel que les ERP (Entreprise Resource Planning) et surtout les APS (Advanced Planning and Scheduling).

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, où l'on doit être capable à tout moment de décider quelles sont les opérations à exécuter, dans quel ordre et en utilisant quelles ressources[1].

La première étude qui a été réalisée en 2015 [2], avait pour objectif d'établir un plan de distribution optimal des palettes d'huile transportées au niveau de l'entreprise Cévital agro-alimentaire afin de couvrir la demande de sa clientèle d'une part et de minimiser les coûts d'une autre part.

La deuxième étude a été réalisée en 2016 [3] 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 2018 [4] et avait pour objectif de trouver une meilleure schématisation du réseau de distribution au sein de CEVITAL, en commençant des trois unités de production jusqu'au dernier client en minimisant les coûts de l'entreprise ainsi que le temps d'attente de la clientèle. Dans cette étude, un nouveau modèle a été proposée en installant un entrepôt ainsi qu'une plateforme dans le but d'éviter toutes ruptures de stock et supprimer certains CLR's qui engendre des surcoûts pour l'entreprise.

Dans le cadre de notre thème, nous menons une recherche qui a pour but de modéliser un plan de distribution optimal pour plusieurs produits (l'huile, sucre, margarine et eau) par un modèle linéaire. Nous allons d'abord modéliser le premier plan appelé "DIAPASON 1" que l'entreprise utilisait qui consiste à transférer les produits de l'usine aux trois plateformes (Constantine, Bouira et Oran) et de là aux centres de livraison régionaux appelé CLR's. Ensuite nous allons modéliser le deuxième plan appelé "DIAPASON 2" que l'entreprise utilise actuellement suite aux coûts élevé que le premier plan engendre, le plan consiste à transférer les produits à forte rotation (huile et sucre) de l'usine aux CLR's, et les produits à rotation moyenne (eau et margarine) de l'usine aux trois plateformes ensuite aux CLR's. Enfin, nous allons modéliser un plan de distribution optimal qui minimise le coût de transport, il consiste à supprimer la plateforme de Bouira et à envoyer les produits à forte rotation de l'usine aux CLR's et les produits à moyenne rotation de l'usine aux plateformes (Constantine et Oran).

Le plan du travail est comme suit, dans un premier temps nous avons commencé le travail par une introduction générale, dans le premier chapitre nous allons présenté quelque notions sur la logistique ainsi qu'une breve présentation sur l'entreprise CEVITAL, par la suite nous allons présenté le problème brièvement. Dans le deuxième chapitre nous allons présenté des généralités sur la distribution, sur les problèmes de flots et multiflots, sur le problème du transport et enfin nous allons présenté l'outil utilisé dans la résolution du problème, l'IBM ILOG CPLEX. Dans le troisième chapitre nous allons présenté le premier plan que nous allons modélisé et résolu, ainsi que le deuxième plan, nous allons ensuite établi un plan de distribution optimal des produits de CEVITAL que nous allons modélisé et résolu. Enfin, nous allons clôturé ce travail par une conclusion générale.

État de l'art sur le transport de marchandise

L'activité du transport est l'une des activités humaines les plus anciennes. Elle remonte aux origines de l'humanité et comme la nature est la première source d'inspiration de l'homme, celui-ci a commencé par « le plus naturel » en utilisant ses muscles pour déplacer des biens d'une part et en profitant de la force des courants d'eau d'autre part. Cet activité a connu des révolutions historiques favorisées par des inventions technologiques et des découvertes de nouvelles pratiques. Ainsi, le transport a changé plusieurs fois de visage après la domestication de certains animaux, en passant par l'invention de la roue et en arrivant aux derniers progrès concernant les moteurs à vapeur, diesel et électriques.

Une des révolutions qui ont marqué le siècle passé est l'introduction du conteneur. Cette invention a permis au transport maritime d'être à la tête des modes du transport en termes de capacité et de compétitivité. Mais la plus importante conséquence de l'introduction du conteneur et qui constitue d'ailleurs sa « raison d'être » était le besoin d'assurer la continuité du transport des flux de marchandises maritimes sur le continent. En effet, l'idée vient du fait qu'au lieu de transporter une marchandise tributaire de son vecteur du transport (un camion par exemple), on peut se contenter de transporter la marchandise dans un contenant standardisé pour faciliter ses opérations de manutention. Ainsi, le conteneur a permis de « relier » des modes de transport différents en facilitant le passage des marchandises d'un mode à l'autre sans empotage ni dépotage. D'autres contenants vont voir le jour comme réponse au besoin d'un « passage souple » d'un mode à l'autre. En effet, ces nouveaux contenants standardisés qu'on appelle Unités de Transport Intermodal (UTI) ont permis l'apparition de nouveaux services et offres logistiques combinant plusieurs modes du transport. La mondialisation a permis d'une part l'ouverture des marchés mondiaux et l'accroissement de la concurrence économique entre pays et entreprises.

Actuellement, le transport est au centre du cycle de la production-consommation. En effet, les

entreprises et les individus doivent prendre des décisions sur les trajets à emprunter et les modes du transport à utiliser afin d'acheminer du fret ou des personnes. Le choix du mode de transport pour acheminer des marchandises ou des individus d'une origine à une destination est l'une des questions que se posent les décideurs. Ce choix dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la nature des biens, le coût, la rapidité, les infrastructures disponibles et les trajets (origines et destinations)[5].

1.1 Les chaînes logistiques

De nos jours, les entreprises doivent s'adapter à la dynamique du marché pour espérer survivre dans un environnement très concurrentiel et très compétitif. Les clients sont beaucoup plus exigeants en raison des nombreux choix qui s'offrent à eux. La satisfaction des clients combinée à la réduction des coûts est difficile à réaliser. Ajoutons à cela les nouvelles technologies de l'information et de la communication qui ont révolutionné la manière avec laquelle doivent être gérées les entreprises. Celles-ci deviennent de plus en plus grandes, englobent de plus en plus de filiales, sont de plus en plus de dimension internationale, et n'ont quasiment plus de nationalité. Cette nouvelle situation a créé des nouveaux défis. Le défi de s'adapter à la globalisation et d'en tirer les bénéfices. Depuis une quinzaine d'années la notion de modélisation des entreprises ou des processus aboutissant à la création, la production ou le développement de nouveaux produits ou services en chaîne logistique a émergé et est devenue incontournable dans les organisations à grande échelle.

Aujourd'hui, aucune entreprise ne peut ignorer que la gestion de production classique laisse la place à la gestion de la chaîne logistique pour faire face aux nouvelles attentes du marché, aux nouveaux concurrents, nouveaux liens entre les entreprises et leurs partenaires. En clair : tout change ! Et les entreprises doivent s'adapter à cette nouvelle réalité, ce qui signifie[1] :

- Une réactivité très supérieure.
- Une baisse significative des coûts.
- Une nette amélioration de la qualité et du service du client.
- De meilleures performances.

La logistique est apparue en premier lieu dans un contexte militaire qui concernait tout ce qui est nécessaire (physiquement) à l'application sur le terrain des décisions stratégiques et tactiques.

Après la logistique militaire vint la logistique industrielle.

1.1.1 Définition de la logistique industrielle

Le Logistics Institute définit la logistique (1996) comme une collection de fonctions relatives aux flux de marchandises, d'information et de paiement entre fournisseurs et clients depuis l'acquisition des matières premières jusqu'au recyclage ou la mise au rebut des produits finis.

Le conseil de gestion logistique définit la Logistique (1985) comme le processus de planification, de mise en oeuvre et de contrôle des flux et des stocks de matière première, en-cours, produits finis et des flux d'information associés, de leur point d'origine jusqu'à leur point de consommation, dans le but de satisfaire les attentes du client de manière efficiente et au moindre coût.

L'APICS (Société américaine de contrôle de la production et des stocks) définit la Logistique comme l'art et la science de l'approvisionnement, de la production et de la distribution des composants et produits fabriqués à la bonne place et en bonne quantité.

Cette dernière définition peut être approchée de celle des 7 "R" : avoir le bon produit, dans la bonne quantité et dans la bonne condition, au bon endroit, au bon moment, pour le bon client, au juste prix.

L'AFNOR (Association française de normalisation (Afnor) et Association française pour l'assurance de la qualité (Afaq)) définit la Logistique comme la planification, l'exécution et la maîtrise des mouvements et des mises en place des personnes ou des biens, et des activités de soutien liées à ces mouvements et mises en places, au sein d'un même système organisé pour atteindre des objectifs spécifiques

On distingue classiquement :

- La Logistique Interne : Organisation et gestion des flux au sein de l'entreprise.
- La Logistique Externe, elle même décomposable en :
 - Logistique d'approvisionnement : organisation et gestion des flux des fournisseurs vers l'entreprise.
 - Logistique de distribution : organisation et gestion des flux de l'entreprise jusqu'aux clients.

Initialement, la logistique ne traite que des activités opérationnelle de transport et d'entreposage. Dans une seconde étape (année 70), les distributeurs se sont focalisés sur le concept de coût total, et la mise en balance des coûts logistiques d'une part, du service client d'autre part. Dans les années 80 a émergé le concept de logistique intégrée. Il s'est agit d'intégrer les fonctions de gestion des stocks, de gestion des commandes clients, de planification et de gestion des achats. Ceci a conduit au développement de plans logistiques stratégiques et tactique. Au cours des années 90, cette intégration des fonctions logistiques s'est poursuivie dans une optique de management de l'entreprise intégrée [6].

Nous allons voir dans ce qui suit les différentes définitions de la chaîne logistique ainsi que leurs fonctionnalités.

1.1.2 Définition de la chaîne logistique

La chaîne logistique englobe l'ensemble des opérations réalisées pour la fabrication d'un produit ou d'un service allant de l'extraction de la matière première à la livraison au client final, en passant par les étapes de transformation, de stockage, et de distribution. De nos jours, de plus en plus, on

regarde la chaîne logistique comme une toile regroupant plusieurs des activités citées, cela est dû à la complexité des organisations actuelles et à leur dimension internationale. Ajoutés aux flux des matières, la chaîne logistique inclut les flux d'information et les flux financiers. Chaque étape de transformation ou de distribution peut impliquer de nouveaux acteurs, de nouveaux fournisseurs ou de nouveaux clients intermédiaires, avec également des nouveaux flux d'informations.

Il existe énormément de définitions de la chaîne logistique dans la littérature. C'est un sujet passionnant car nouveau et porteur de progrès.

Certains la définissent 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 ».

D'autres proposent une définition simple : « Une chaîne logistique est l'ensemble des firmes qui amènent des produits ou des services sur le marché », ce qui est une définition très généraliste.

Une autre définition sous une vision plus opérationnelle : « un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution du produit fini vers le client ».

Le parallélisme entre la chaîne logistique et l'organisation en réseau est très significative, ce qui met en évidence la complexité de sa gestion étant donné qu'elle est le point qui rassemble plusieurs acteurs qui participent à un même projet ou à défaut au processus de création, ou développement d'un service ou d'un produit[1].

1.1.3 Fonction de la chaîne logistique

La définition suivante de la chaîne logistique donnée par Ganeshan and Harisson (Ganeshan et Hrisson, 1995) donne un aperçu des fonctions de la chaîne logistique : « une chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assurent les tâches d'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients ». Plus généralement, les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution[1].

L'approvisionnement

Il constitue la fonction la plus en amont de la chaîne logistique. Les matières et les composants approvisionnés constituent de 60% à 70% des coûts des produits fabriqués dans une majorité d'entreprises. Réduire les coûts d'approvisionnement contribue à réduire les coûts des produits finis, et ainsi à avoir plus de marges financières. Les délais de livraison des fournisseurs et la fiabilité de la distribution influent plus que le temps de production sur le niveau de stock ainsi que la qualité de service de chaque fabricant. La tendance générale des relations clients/fournisseurs

va vers plus de coopération via un partage d'informations plus rapide en utilisant les nouveaux systèmes d'informations basées sur les technologies de l'information et de communication qui ont révolutionné les pratiques du passé où on était plutôt dans une configuration de face à face plutôt qu'une collaboration bénéfique pour l'ensemble des participants.

La production

La fonction de production est au coeur de la chaîne logistique, il s'agit là des compétences que détient l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits ou services. Elle donne quelle capacité a la chaîne logistique pour produire et donne ainsi un indice sur sa réactivité aux demandes fluctuantes du marché. Si les usines ont été construites avec une grande capacité de production, parfois excessive, alors on peut être réactif à la demande en présence de quantités supplémentaire à faire, cet environnement a l'avantage d'être disponible pour des clients en cas de demandes urgentes, mais d'un autre coté une partie de la capacité de production peut rester inactive ce qui engendrent des coûts et dépenses en plus. D'un autre coté si la capacité de production est limitée, la chaîne logistique a du mal à être très réactive et donc peut perdre des parts du marché vu qu'elle n'est pas capable de répondre favorablement à certaines demandes. Il faut donc trouver un équilibre entre réactivité et coûts.

Le stockage

Le stockage inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus en commençant par le stock de matières premières, le stock des composants, le stocks des en-cours et finalement le stock des produits finis. Les stocks sont donc partagés entre les différents acteurs : les fournisseurs, le producteurs et les distributeurs. Ici aussi se pose la question de l'équilibre à trouver entre une meilleure réactivité et la réduction des coûts. Il est évident que plus on a de stocks, plus la chaîne logistique est réactive aux fluctuations des demandes sur le marché. Cependant, avoir des stocks engendre des coûts et des risques surtout dans le cas de produits périssables ou bien des produits dont la rapidité d'innovations est telle qu'une nouvelle gamme du même produit mise sur le marché par un concurrent puisse rendre obsolètes les quantités de ce produit en stock et ainsi une perte importante.

La gestion des stocks est l'une des clés de la réussite et l'optimisation de toute une chaîne logistique. Une meilleure gestion de cette fonction peut engendrer des économies importantes. En outre, avec l'avènement des techniques de management dites de « juste à temps » (Just In Time) beaucoup d'entreprises tendent à avoir un stock nul, ou bien « juste » ce qu'il faut pour produire et satisfaire les commandes. Mais ceci n'est évidemment pas sans risques.

Distribution et transports

La fonction transport intervient tout au long de la chaîne, le transport des matières premières, le transport des composants entre les usines, le transport des composants vers les centres d'entrepôt ou vers les centres de distribution, ainsi que la livraison des produits finis aux clients. Le rapport entre la réactivité de la chaîne et son efficacité peut être aussi vu par le choix du mode de transport. Les modes de transport les plus rapides comme par exemple les avions, sont très coûteux, mais permettent de réagir très vite et ainsi de satisfaire les demandes non prévisibles. Les modes de transport par voies ferrées ou par camions sont plus efficaces du point de vue des coûts engendrés mais moins rapides. L'ensemble des partenaires peut choisir de combiner ces modes de transport et de les adapter à certaines situations selon l'importance de la demande et le gain total engendré.

Les problèmes liés à la distribution et au transport peuvent être vus sous plusieurs angles. On peut chercher à trouver les meilleures routes possibles pour visiter les points de collecte et/ou de distribution (Vehicle routing problems, problèmes de tournées des véhicules), ou bien, comme dit plus haut, chercher les meilleurs modes de transports, ou bien les quantités des produits qui doivent être transportées aux clients tout en minimisant le coût global des transports et des stocks. En effet, selon certaines études, les coûts de transport et distributions constituent le tiers des coûts opérationnels globaux d'une chaîne logistique, ce qui rend leur optimisation un défi majeur pour les entreprises[1].

La vente

La fonction de vente est la fonction ultime dans une chaîne logistique, son efficacité dépend des performances des fonctions en amont. Si on a bien optimisé pendant les étapes précédentes, alors on facilite la tâche du personnel chargé de la vente, car ils pourront offrir des prix plus compétitifs que la concurrence, sinon les marges seront très étroites et les bénéfices pas très importants, voire même engendrer des pertes.

1.1.4 Conception des chaînes logistiques

La conception d'une chaîne logistique concerne généralement plusieurs phases allant de l'approvisionnement à la distribution. Pour l'activité d'approvisionnement, le décideur a besoin d'identifier les fournisseurs potentiels à choisir pour alimenter les différentes usines en matières premières, en composants et en produits semi-finis.

Pour l'activité de production, il a à déterminer les meilleures localisations de ses usines pour assurer les performances et la rentabilité des activités de production. Pour obtenir une chaîne de la distribution efficace, le décideur doit déterminer le nombre et la localisation de ses différents

centres de distribution. Une fois le choix des différents fournisseurs, usines et centres de distribution établie, il est indispensable de trouver la meilleure structure de connexion reliant ces sites. Ainsi, le décideur détermine les différentes connexions et moyens de transport (camion, train, avion et bateau) à utiliser pour assurer la connectivité des différents sites. Cette conception sera faite dans le respect des contraintes économiques, sociales et environnementales tout en minimisant les coûts, maximisant la satisfaction des clients, avec un minimum l'impact sur l'environnement (consommation du fuel lors du transport par exemple), etc.

L'objectif principal lors de la conception des chaînes logistiques est d'optimiser les investissements engagés pour les différents sites, de minimiser les coûts opérationnels de l'ensemble des activités de la chaîne et de maximiser la satisfaction des clients finaux, sous des contraintes économiques, sociales et environnementales.

La conception d'une chaîne logistique nécessite la prise en compte d'un ensemble de décisions à travers les différents horizons de temps (court, moyen et long terme). Ces décisions peuvent être regroupées en trois niveaux : les décisions stratégiques, les décisions tactiques et les décisions opérationnelles [7].

Niveau stratégique

Ce niveau, aussi appelé Stratégique Management regroupe toutes les décisions stratégiques. Ces décisions sont des directives et des lignes d'actions sur le long terme (de 6 mois à plusieurs années), comme, par exemple, la recherche de nouveaux partenaires industriels, la sélection des fournisseurs et sous-traitants, mais aussi les décisions d'implantation ou de délocalisation de zones d'intervention dans le cas de la logistique militaire, l'affectation d'une nouvelle zone d'approvisionnement à un centre de distribution (entrepôt), le développement d'un nouveau produit, la configuration de la chaîne logistique, son mode de fonctionnement, ainsi que les objectifs financiers à atteindre.

Niveau tactique

Le niveau décisionnel tactique s'intéresse aux décisions à moyen terme (de quelques semaines à quelques mois) qui devront être exécutées pour déployer la stratégie décidée par l'entreprise. Ces décisions portent sur les problèmes liés à la gestion des ressources de l'entreprise, en particulier la planification des activités en tenant compte des ressources disponibles sur un horizon fixé.

Niveau opérationnel

En ce qui concerne le niveau opérationnel, ou Opérationnel Planning les décisions ont une portée plus limitée dans l'espace et dans le temps (décisions sur la journée ou sur la semaine). A ce niveau, les décisions tactiques génèrent un plan détaillé de production ou d'ordonnancement, applicable au niveau d'un atelier ou d'une zone logistique.

1.2 Présentation de l'entreprise CEVITAL

CEVITAL est une entreprise privée spécialisée dans la production agro-alimentaire, créée en 1998 sous classification juridique d'une société par action (SPA) dont les principaux actionnaires sont Monsieur ISSAD RABRAB et fils. Elle est la première société privée dans l'industrie de raffinage des huiles brutes et de sucre sur le marché algérien et la première à avoir investi dans plusieurs secteurs d'activités.

1.3 Le processus de distribution de Cevital

1.3.1 Quelques définitions

Avant d'aborder spécifiquement le processus de distribution, définissons quelques termes utilisés dans le jargon de distribution au sein de CEVITAL.

- **Plateformes** : ce sont des zones de stockage externes qui sont propres à l'entreprise CEVITAL. Il existe trois plateformes, la plateforme de Bouira, la plateforme de Hassi Ammeur à Oran et la plateforme d'El Kharoub à Constantine.
C'est à partir de ces plateformes que l'alimentation des centres de livraison régionaux, appelés CLR, s'effectue selon le besoin.

- **Les CLR (centres de livraison régionaux)** : les CLR ne sont pas des zones de stockage, car ils fonctionnent à base du principe Cross Docking (terme anglais qui signifie accroissement des flux), c'est à dire que toute entrée au CLR sera vendue.

Les CLR sont parmi les nouvelles stratégies adaptées par Cevital en 2014, dans le but de réduire la pression sur le complexe, de rapprocher beaucoup plus la marchandise au client et aussi pour tenir sa place sur le marché en faisant face à la concurrence. Cevital dispose de 16 CLR. Chaque CLR dispose d'un représentant mené d'un portefeuille client, dont chaque CLR à ses propres clients.

- **Le cross docking (CD)** : le cross docking (CD) est une stratégie logistique dans laquelle les produits enlevés chez un ensemble de fournisseurs sont "consolidés" lors d'un passage par une plateforme logistique (ou entrepot) avant d'être livrés en aval chez un ensemble de destinataires. La consolidation consiste à réceptionner à l'entrepot les produits provenant des différents véhicules, les trier et les classer en fonction de leurs destinations finales.
- **Keep contact** : c'est un prestataire de service, disposé d'un centre d'appel et assure la prise des commandes clients de leurs clients, dont son client principale CEVITAL.

1.4 Plan de distribution de CEVITAL

Les clients CLR

Ils représentent les clients qui s'alimentent directement auprès des CLR, auxquels ils appartiennent. On compte les grossistes et les détaillants :

- Les Grossistes : qui sont des intermédiaires entre le producteur et le détaillant. Ils permettent de réduire les coûts logistiques.
- Le détaillant : il est placé entre le grossiste et le consommateur final. Dans cette politique de distribution, c'est au détaillant de chercher les produits chez les grossistes.



FIGURE 1.1 – Plan de distribution de CEVITAL

Les clients hors CLR

Ils sont l'ensemble des entreprises et des commerçants, qui s'alimentent des produits soit à partir du complexe, soit au niveau des plateformes. Dans ce cas, il y a deux types de programmes, B to B (business to business) et B to C (business to customer).

- B to B : ce sont les entreprises qui utilisent les produits de l'entreprise CEVITAL comme matière première, exemple : le sucre pour la fabrication du chocolat ou des boissons.
- B to C : ce sont les clients dont les produits sont destinés à la consommation finale, et cela par la non disponibilité des CLR dans leur région, exemple : les grossistes de Boussaada.

1.5 Position du problème

Durant les premières années de la création du groupe CEVITAL, pour assurer le transport de ses différentes marchandises, l'entreprise faisait appel à des PSLs externes. Bien que chacune des filiales de la logistique disposait de leurs propres structures de transport, le coût lié au transport et aux besoins en matière de logistique était pesant et la nécessité de l'alléger était primordiale. L'un des objectifs de la création donc de NUMILOG était justement de tenter d'amoinrir les coûts liés

au transport.

NUMILOG est une entreprise de logistique, ensemble des moyens et outils utilisés pour mettre en avant la bonne organisation d'une entreprise comprenant les manutentions, les transports, les conditionnements et les approvisionnements, qui assure un meilleur traitement possible des marchandises ainsi que l'optimisation du transport, stockage et distribution de ces dernières aux clients.

Les activités de NUMILOG :

En Transport et Logistique NUMILOG déploie ses activités autour de trois missions principales :

- Accompagner la croissance des activités du groupe CEVITAL (toutes filiales confondues) au travers de prestations logistiques et de transport.
- Proposer aux acteurs économiques et industriels en Algérie des prestations de transport et/ou logistiques à travers tout le territoire.
- Proposer un accompagnement en conseil et solutions logistiques.

Suite à notre stage au sein de l'entreprise CEVITAL, nous avons pu constater un problème de haute importance, il s'agit du problème de la distribution des produits de CEVITAL. En effet, l'entreprise fonctionnait suivant un plan de distribution appelé "DIAPASON 1" que NUMILOG se chargeait à bien mener, il consistait à transférer les produits de l'usine aux plateformes et des plateformes aux CLR, ensuite à cause des coûts de transport élevés ils se sont dirigés vers un deuxième plan appelé "DIAPASON 2" que l'entreprise utilise actuellement, qui consiste à transférer les produits à forte rotation (huile et sucre) de l'usine directement aux CLR et à transférer les produits à rotation moyenne de l'usine aux plateformes et des plateformes aux CLR, c'est-à-dire en gardant l'ancien plan "DIAPASON 1". Notre travail consiste à trouver un plan de distribution des produits de l'entreprise de sorte à minimiser les coûts de transport tout en ayant la satisfaction des clients.

Rappels théoriques et outils

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle. Son importance se justifie d'une part par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Les problèmes d'optimisation sont utilisés pour modéliser de nombreux problèmes dans différents secteurs de l'industrie.

2.1 Généralités sur distribution

2.1.1 Introduction à la distribution

La distribution est sans aucun doute la partie la plus sophistiquée et du moins la plus dynamique des Supply Chains. En effet, les problématiques clés auxquelles sont confrontés les distributeurs sont nombreuses et impliquent des dimensions logistiques très fortes comme nous le montre les faits suivants [8] :

- Les distributeurs doivent faire face à un multiple foisonnement dû au nombre : de références de produits dans des gammes de température variées et associant des marques d'industriels fortes et des marques de distributeurs, des fournisseurs locaux, nationaux et du grand import, des formats de magasins de $100 m^2$ à plus de $20\,000 m^2$ pour lesquels des cahiers des charges service devront être respectés pour faciliter la productivité et la fluidité de la mise en rayon des produits ;
- Cette variété est contraire au principe de massification des flux cher à tout logisticien qui cherche à simplifier pour consolider et obtenir les économies d'échelle ;
- Les distributeurs se situent à l'interface de la production et des consommateurs et doivent faire face aux fluctuations de la demande ;
- La capillarité des points de vente, la fréquence des expéditions, le lien avec le consommateur

final et la couverture du dernier kilomètre qui en résulte sont autant de facteurs qui ont tendance à augmenter les coûts de distribution ;

- La valeur moyenne des produits conduit à une pression sur les coûts qui nécessitent de limiter les ruptures de charge, de rechercher la massification du transport tant en amont qu'en aval et d'optimiser le niveau des stocks sans oublier le coût de la logistique au sein des magasins ;
- La pression sur les prix est une donnée essentielle ;

Face à cet environnement, les distributeurs sont à la recherche de solutions innovantes dans les champs fonctionnels et opérationnels de la logistique en :

- Mettant des entrepôts massificateurs amont qui permettent de massifier les approvisionnements ;
- Testant des solutions rendues possibles par les nouvelles technologies (préparation de commande en mode vocal, etc.) et en industrialisant les opérations logistiques ;
- Développant des collaborations avec les fournisseurs tout en prenant en compte leur maturité logistique ;
- En développant des solutions alternatives en fonction du type de fournisseurs, de produits et de magasins.

2.1.2 Définition de la distribution

La distribution est l'ensemble des moyens et opérations qui permettent l'acheminement d'un produit sortant de l'appareil de production, au consommateur final, en quantités suffisantes, au bon moment et au bon endroit avec les services nécessaires à sa vente, à sa consommation et le cas échéant à son entretien, pour la mise à disposition du consommateur final ou de l'utilisateur.

De nombreux auteurs ont essayé de définir ce concept, d'après Kotler et Dubois la distribution peut être définie étant « un mode d'organisation permettant d'accomplir des activités qui ont toutes pour but d'amener au bon endroit, au bon moment et en quantité adéquate les produits appropriés ».

Ainsi, on définit la distribution comme : « Le stade qui suit celui de la production des biens, à partir du moment où ils sont commercialisés jusqu'à leur prise de possession par le consommateur ou l'utilisateur final. Elle comprend les diverses activités et opérations qui assurent la mise à la disposition des acheteurs, qu'ils soient transformateurs ou consommateurs des marchandises ou services en leur facilitant le choix de l'acquisition et de l'usage. »

Ou bien encore c'est : « la mise à disposition d'un utilisateur intermédiaire ou finale, des biens, services et solutions, en temps, lieu et présentation voulus par ce dernier. »[9]

2.1.3 L'information dans la distribution

L'information circule dans les deux sens :

- Du producteur vers le consommateur : le producteur informe ses clients (caractéristiques des produits, garanties, prix,).
- Du consommateur vers le producteur : le circuit de distribution recueille des informations en provenance du marché et les transmet :
 - **ECR** (Efficient Consumer Réponse ou Réponse optimale au consommateur) : C'est une méthode dont l'objectif est de proposer « le bon produit à la bonne personne au bon endroit ». Elle est fondée sur l'utilisation de systèmes d'informations sophistiqués : informations sur le marché (géomarketing, panels,), informations sur les flux de marchandises (EDI)
 - **EDI** (Echange de Données Informatisées) : D'après la définition GENCOD, c'est l'échange d'informations entre entreprises distinctes, directement par télétransmission, de l'application informatique de l'une à l'application informatique de l'autre. C'est donc un système informatique permettant l'échange de données en temps réel, utilisant un réseau, une messagerie et un langage commun (GENCOD). Il faut noter l'importance croissante du réseau Internet dans les relations commerciales entre entreprises avec à moyen terme une adaptation de l'EDI aux normes d'Internet.

2.1.4 Les objectifs d'une politique de distribution :

Trois grands objectifs qui sont visés simultanément par l'entreprise lors de la mise en place de sa politique de distribution [10] :

- Couverture quantitative du marché : c'est mettre en place un système de distribution qui va permettre la couverture du plus grands nombre possible de clients potentiels.
- Qualité du système de distribution : c'est l'aptitude à faciliter ou à stimuler l'achat des produits de l'entreprise par ses clients potentiels. L'aspect qualitatif d'un système de distribution se mesure par :
 - La compatibilité des canaux de distribution avec l'image de marque des produits de l'entreprise ;
 - La compétence et le dynamisme des agents de distribution ;
 - La qualité de la présentation des produits de l'entreprise dans les points de vente.
 - La qualité des services après vente offerts au client.

2.2 Généralités sur les problème de flots

Les problèmes de flots remontent aux origines de la recherche opérationnelle : ils comprennent comme cas particulier le problème de transport de masse, énoncé par Monge en 1781 et reformulé par Kantorovitch en termes de programmation linéaire vers 1942 ; leur théorie inclut les résultats fondamentaux sur les problèmes de couplage dans les graphes bipartis, dus à König, développée

à partir de 1914, en relation avec des problèmes combinatoires apparaissant en algèbre linéaire (théorème de König-Frobenius). Un résultat central, le théorème de Ford-Fulkerson "flot-maximal = coupe minimale", démontré en 1956, permet de déterminer le flot maximal entre deux points donnés d'un réseau sachant que les flots sur les arcs sont majorés par des capacités attachées aux arcs. Les problèmes de flots à coût minimum constituent une classe générale permettant de modéliser et de résoudre de nombreux problèmes pratiques. Ils interviennent aussi comme outils dans le traitement de problèmes plus difficiles. La théorie des problèmes de flots offre un exemple remarquable de synthèse entre l'optimisation et la théorie des graphes, l'interprétation combinatoire des conditions d'optimalité et des résultats de dualité en programmation linéaire conduisant naturellement à des algorithmes polynomiaux très efficaces[11].

2.2.1 Problème du flot maximum

Étant donné un réseau $G = (N, A)$, un flux d'arc $x_{ij} \geq 0$ est un nombre réel non négatif associé à un arc $a_{ij} \in A$. La capacité K_{ij} de a_{ij} ; est une limite supérieure sur le flux qui peut transmettre a_{ij} par unité de temps lorsque les contraintes imposées par les flux dans d'autres arcs sont ignorées. De même, l_{ij} fournit une limite inférieure sur le flux dans a_{ij} . Un noeud n_s , à l'origine du flux, est appelé une origine ou une source, tandis qu'un noeud n_t , auquel se termine le flux, est appelé une destination ou un puits. Les noeuds qui ne sont ni des sources ni des puits sont des noeuds intermédiaires ou des noeuds de transbordement. Dans ce chapitre, nous traitons du cas d'un seul couple origine-destination (ou $O - D$) (n_s, n_t). On suppose que le flux n'est ni créé ni détruit en cours de route. Les contraintes d'un problème de flux peuvent alors être écrites comme suit

$$\sum_{j:a_{ij} \in A} x_{ij} - \sum_{j:a_{ji} \in A} x_{ji} = 0 \quad \forall j \neq s, t \quad (2.1)$$

$$x_{ij} \geq l_{ij} \quad \forall a_{ij} \in A \quad (2.2)$$

$$x_{ij} \leq k_{ij} \quad \forall a_{ij} \in A \quad (2.3)$$

Les contraintes (2.1) sont généralement appelées équations de conservation, équations d'équilibrage (de flux) ou équations de noeud de Kirchhoff en référence à leurs équivalents dans les réseaux électriques. Essentiellement, ils spécifient que le flux total dans un noeud n_j doit être égal au flux total sortant d'un noeud. Les contraintes (2.2) et (2.3) sont des limites inférieures et supérieures limitant le flux dans chacun des arcs du réseau. Les contraintes habituelles de non-négativité (2.4) complètent le problème. Tout flux x qui satisfait aux contraintes (2.1) – (2.4) est appelé un modèle de flux.

Méthode de résolution : Algorithme de Ford et Fulkerson

- L'idée de l'algorithme : trouver un chemin augmentant et augmenter le flot sur ce chemin [12].
 - Initialisation : $f = 0$.
 - Alternance de deux phases :
 - Phase de marquage (recherche d'un chemin augmentant).
 - Phase d'augmentation (augmenter le flot sur le chemin trouvé en phase de marquage).
- Ces deux phases sont répétées jusqu'au moment où il n'existe plus de chemin augmentant.

2.2.2 Le problème de transport

Il s'agit de déterminer la façon optimale d'acheminer des biens à partir de m entrepôts et de les transporter vers n destinations et cela à moindre coût. Nous allons faire l'hypothèse que toute la marchandise de tous les entrepôts doit être acheminée vers les différentes destinations [11].

Le problème général de transport sous l'hypothèse que l'offre totale égale la demande, s'énonce comme suit. Notons les sources par S_1, S_2, \dots, S_m et D_1, D_2, \dots, D_n les destinations.

On introduit les notations suivantes :

$x_{i,j}$ = quantité transportée de S_i à D_j ,

$c_{i,j}$ = coût unitaire du transport de S_i à D_j ,

a_i = offre de la source $S_i \geq 0$,

b_j = demande de la destination D_j .

On suppose que les a_i sont positifs $a_i \geq 0$ et de même pour les $b_j \geq 0$.

Il s'agit de minimiser le coût de transport. On peut le modéliser ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= \sum_{i,j} c_{i,j} \cdot x_{i,j} \\ \text{sc } \text{Offre} : & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, m, \\ \text{Demande} : & \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \\ \text{Positivité} : & x_{ij} \geq 0. \end{aligned}$$

Méthode de résolution : Algorithme pour le problème de transport

Basé sur l'algorithme du simplexe en tenant compte de la structure du problème [12]

- Détermination d'une solution de base admissible.
- Détermination de la variable entrant en base.
- Détermination de la variable sortant de base

2.3 Généralités sur les problèmes de multiflotts

Les problèmes de multiflotts apparaissent lorsque plusieurs produits circulent sur un réseau quelconque à capacité infinie. Ces problèmes qui permettent de tenir compte de la juxtaposition de plusieurs produits sur un même graphe, constituent par conséquent un modèle naturel des réseaux de communication. On peut citer, par exemple, les réseaux téléphoniques ou d'ordinateur, ou encore les réseaux routiers, ferroviaire ou aériens. Tous ces domaines d'application confèrent au problème de multiflotts une grande importance pratique.

Nous allons maintenant définir une formulation mathématique pour les problèmes de multiflotts. Pour cela, définissez x_{ij}^k ; comme le flux de marchandise $k = 1, \dots, p$ sur l'arc a_{ij} , et de même c_{ij}^k désigne le coût unitaire d'un flux de la k -ème marchandise sur a_{ij} . De plus, définissons K_{ij}^k (l_{ij}^k) comme la limite supérieure (inférieure) du flux de la k -ème marchandise sur l'arc a_{ij} , et laissez k_{ij} désigne la limite supérieure commune du flux le long de a_{ij} . La limite inférieure commune l_{ij} est généralement supposé être nul. On peut alors formuler le problème de produits de base comme suit [11].

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= \sum_k \sum_{a_{ij} \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \\
 \text{sc. } \sum_j x_{ij}^k - \sum_j x_{ji}^k &= 0 \quad \forall k = 1, \dots, p; n_i \neq n_{sk}, n_{tk} \\
 l_{ij}^k &\leq x_{ij}^k \leq K_{ij}^k \quad \forall a_{ij} \in A; k = 1, \dots, p \\
 \sum_{k=1}^p x_{ij}^k &\leq K_{ij} \quad \forall a_{ij} \in A \\
 x_{ij}^k &\geq 0 \quad \forall a_{ij} \in A; k = 1, \dots, p
 \end{aligned}$$

Le premier ensemble de contraintes sont les équations de conservation habituelles qui doivent être satisfaites pour tous les noeuds qui ne sont pas des sources ou des puits, et pour tous les produits séparément. Le prochain ensemble de contraintes fournit des limites inférieures et supérieures sur les flux des produits individuels, et le troisième ensemble de contraintes fournit des limites supérieures communes. Les contraintes de non-négativité ont été ajoutées même si elles sont redondantes car $x_{ij}^k \geq l_{ij}^k \geq 0$ était déjà requis. L'objectif est de minimiser les coûts des flux.

2.4 Outils et logiciels d'optimisation

Bien que la modélisation des problèmes combinatoires soit concevable pour un humain, il n'en est pas de même pour la résolution de ces problèmes. En effet les problèmes réels sont souvent très grand pour être résolu par un humain, en prenant tout en compte (nombre de variable, nombre de contraintes . . . etc)[13].

Afin de pouvoir résoudre des systèmes aussi complexes, et pouvoir interagir avec des volumes de données énorme et d'avoir accès a de grosse capacité de calcul, on utilise des outils informatique

(logiciels) d'optimisation et d'aide à la décision.

Chaque outil de calcul est composé de trois (3) éléments :

- Un solveur : moteur d'optimisation ;
- Un langage de modélisation ;
- Un environnement de développement.

2.4.1 Les solveurs

C'est le cœur des logiciels d'optimisation. C'est le module qui fait le calcul mathématique. Il existe plusieurs types de solveurs, voici quelques exemples [14] :

- Solveurs linéaire (programmation linéaire) : simplex, points intérieurs, ... ;
- Solveur non-linéaire (programmation non-linéaire) : Newton, algorithmes de gradients, ... ;
- Algorithmes de flots : maximum flot, flot de coût minimum ;
- Solveurs pour la programmation entière : Branch-and-Bound, heuristiques,...

2.4.2 Les langages de modélisation

Qu'est ce qu'un langage 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.

Langues de modélisation : avantages et inconvénients

L'utilisation d'un langage de modélisation pour implémenter un modèle présente les avantages suivants[14] :

- Peut être un moyen rapide de mettre en œuvre un modèle,
- Facile à apprendre grâce à quelques éléments linguistiques de base ; Courbe d'apprentissage courte pour atteindre une expressivité élevée,
- La syntaxe est généralement très similaire à la notation mathématique, ce qui la rend intuitive,
- Expression simplifiée de certains éléments des modèles de programmation mathématique, tels que les ensembles et les expressions logiques.

L'utilisation d'un langage de modélisation présente les inconvénients suivants :

- L'accès aux fonctionnalités du solveur, telles que les rappels, est souvent difficile (ou impossible),

- La résolution est dans une certaine mesure découplée du processus de modélisation - l'utilisateur doit encore comprendre comment bien modéliser l'algorithme cible,
- L'interprète de langue peut effectuer des conversions inefficaces par rapport à ce qu'une reformulation peut réaliser.

Il existe plusieurs langages de modélisation. Voici quelques exemples :

- ZIMPL : pour écrire rapidement un modèle et générer un format pour LP, MIP et MINLP pouvant être lu dans n'importe quel solveur LP / MIP (et SCIP pour MINLP) ;
- GAMS : contient les éléments de procédure permettant de modifier les données et le modèle au cours de la procédure, peut basculer entre les solveurs, dispose d'un environnement de développement intégré avec affichage de l'arborescence et de déblocage du modèle ;
- AIMMS : contient des éléments de procédure et des outils de déploiement, par exemple, il est possible d'écrire une interface graphique pour une application de modèle pour les partenaires qui ne veulent pas voir le modèle lui-même.
- AMPL : intègre un langage de modélisation, un langage de commande (pour le déblocage et l'analyse) et un langage de script pour la modification des données et du modèle pendant la procédure.

2.4.3 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++, 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 savoir : la programmation linéaire, programmation linéaire mixte, programmation quadratique, programmation mixte quadratique, ... etc [13].

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, ou 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 de : d'un fichier de modèle (.mod), un fichier de données (.dat) et un fichier de configuration d'exécution (.oplproject).

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les généralités sur la distribution, ainsi sur les problèmes de flots, de multi-flots et de transport, par la suite, nous avons présenté les outils et logiciels d'optimisation en particulier l'IBM ILOG CLP/CPLEX que nous allons utiliser dans le chapitre suivant.

Modélisation et résolution du problème

Dans ce chapitre, nous allons présenter le problème du plan de distribution des produits de CEVITAL rencontré au sein de l'entreprise. De 2014 jusqu'à fin 2018 CEVITAL utilisait un plan de distribution de ses produits suivant le plan 1 appelé "DIAPASON 1" qui consiste à envoyer les produits de l'usine aux plateformes et à partir des plateformes aux CLR, mais ce plan engendre des coûts élevés pour l'entreprise alors ils ont décidé à partir du début de l'année 2019 d'apporter un changement au plan de distribution, ce changement là consiste à transférer les produits à forte rotation (huile et sucre) de l'usine directement aux CLR, tandis que les produits à rotation moyenne (eau et margarine) ils sont expédiés suivant l'ancien plan.

Dans un premier temps nous allons décrire le premier plan, le représenter par un modèle mathématique, puis résoudre ce dernier. Dans un deuxième temps nous allons décrire le deuxième plan, le représenter par un modèle mathématique, puis résoudre ce dernier en évaluant les coûts engendrés. Enfin, nous terminons par proposer un nouveau plan optimal, réduisant ces coûts.

3.1 Description et formulation du plan 1 : DIAPASON 1

Lors de notre stage à CEVITAL, on a tiré un problème majeur ; l'entreprise fonctionnait suivant un plan de distribution appelé " DIAPASON 1", ce système consiste à envoyer les produits de l'usine aux trois plateformes : Bouira, Hassi Ameer et El Kheroub. Ensuite, ces produits sont envoyés aux CLR les plus proches de chaque plateforme pour que le client puisse récupérer sa commande.

Le plan semblait être parfait car les clients sont satisfaits, ils reçoivent leurs commandes au bon moment. Cependant, il engendre des coûts élevés pour l'entreprise, qui sont le coût de transport d'une palette de 90 DA/KM, le coût de fourche au niveau des plateformes à 14800 DA entrée-sortie, le coût de fourche au niveau des CLR à 160 DA/Plts, ainsi que les coûts de stockage au niveau de chaque plateforme et de chaque CLR.

Le problème consiste alors à trouver un meilleur plan de distribution des produits en terme de coûts tout en satisfaisant les clients.

3.1.1 Collecte des données

Au niveau du service logistique :

Auprès du service logistique, nous avons pu récolter les données suivantes :

- La liste des plateformes de l’entreprise ainsi que leurs capacités de stockage ;
- La demande des produits au niveau de chaque plateformes pendant une semaine en palettes (plts) ;
- La distance entre l’usine et les plateformes ;
- La capacité de production de chaque unité de production en palettes ;
- La liste des centres de livraison régionaux, appelé ”CLRs” ainsi que la demande de chaque produit au niveau des CLRs en palettes ;
- La distance entre les plateformes et les CLRs.

Remarque : Les données récoltées sont approximatives.

Ces données sont représentées dans les tableaux suivant :

| Situation | Plateformes | Capacité de stockage (Plts) |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|
| Est | P.L El Khroub(Constantine) | 4969 |
| Centre | P.F Bouira | 87000 |
| Ouest | P.F Hassi Ameur(Oran) | 98000 |

TABLE 3.1 – Capacité de stockage des plateformes, DIAPASON 1

| Plateformes | Le produit | La demande (Plts) |
|------------------------------|-------------|-------------------|
| P.F El Khroub(Constantine) 1 | Huile 1 | 3682 |
| | Sucre 2 | 100 |
| | Eau 4 | 144 |
| | Margarine 3 | 286 |
| P.F Bouira 2 | Huile 1 | 2965 |
| | Sucre 2 | 7002 |
| | Eau 4 | 1649 |
| | Margarine 3 | 884 |
| P.F Hassi Ameer(Oran) 3 | Huile 1 | 714 |
| | Sucre 2 | 1798 |
| | Eau 4 | 2124 |
| | Margarine 3 | 362 |

TABLE 3.2 – La demande des produits au niveau des plateformes, DIAPASON 1

| Usine | Plateformes | Distance (km) |
|----------------|-----------------------------|---------------|
| Bejaia | P.F El Khroub (Constantine) | 288 KM |
| | P.F Bouira | 147 KM |
| | P.F Hassi Ameer (Oran) | 678 KM |
| Lalla Khedidja | P.F El Khroub (Constantine) | 460 KM |
| | P.F Bouira | 165 KM |
| | P.F Hassi Ameer (Oran) | 573 KM |

TABLE 3.3 – La distance entre usines et plateformes

| Usine | Unité de production | Capacité de production (plts) |
|----------------|---------------------|-------------------------------|
| Bejaia | U.P Huile | 14203 |
| | U.P Sucre | 9024 |
| | U.P Margarine | 3426 |
| Lalla Khedidja | U.P Eau | 6495 |

TABLE 3.4 – Capacité de production des unités de production

| Plateformes | CLRs | Distance (km) |
|-------------|-------------------|---------------|
| Bouira | Alger 1 | 180 KM |
| | Annaba 2 | 459 KM |
| | Batna 3 | 291 KM |
| | Blida 4 | 145 KM |
| | Constantine 5 | 280 KM |
| | Mascara 6 | 455 KM |
| | Médéa 7 | 172 KM |
| | Mostaganem 8 | 430 KM |
| | Oran 9 | 530 KM |
| | Oum El Bouaghi 10 | 386 KM |
| | Relizane 11 | 394 KM |
| | Tiaret 12 | 358 KM |
| | Tizi Ouzou 13 | 145 KM |
| | Tlemcen 14 | 630 KM |
| | Setif 15 | 195 KM |
| | Sidi Bel Abbes 16 | 540 KM |
| Hassi Amer | Alger 1 | 426 KM |
| | Annaba 2 | 969 KM |
| | Batna 3 | 825 KM |
| | Blida 4 | 371 KM |
| | Constantine 5 | 790 KM |
| | Mascara 6 | 179 KM |

| | | |
|-------------|-------------------|--------|
| | Médéa 7 | 184 KM |
| | Mostaganem 8 | 157 KM |
| | Oran 9 | 157 KM |
| | Oum El Bouaghi 10 | 865 KM |
| | Relizane 11 | 136 KM |
| | Tiaret 12 | 219 KM |
| | Tizi Ouzou 13 | 505 KM |
| | Tlemcen 14 | 180 KM |
| | Setif 15 | 668 KM |
| | Sidi Bel Abbès 16 | 157 KM |
| El kherroub | Alger 1 | 400 KM |
| | Annaba 2 | 182 KM |
| | Batna 3 | 104 KM |
| | Blida 4 | 421 KM |
| | Constantine 5 | 5 KM |
| | Mascara 6 | 762 KM |
| | Médéa 7 | 419 KM |
| | Mostaganem 8 | 780 KM |
| | Oran 9 | 824 KM |
| | Oum El Bouaghi 10 | 72 KM |
| | Relizane 11 | 658 KM |
| | Tiaret 12 | 603 KM |
| | Tizi Ouzou 13 | 325 KM |
| | Tlemcen 14 | 896 KM |
| | Setif 15 | 135 KM |
| | Sidi Bel Abbès 16 | 827 KM |

TABLE 3.5 – La distance d_{jk} entre les plateformes et les CLR

| CLR | Huile | Sucre | Margarin | Eau |
|---------------|-------|-------|----------|------|
| Alger | 2795 | 1258 | 266 | 638 |
| Annaba | 690 | 413 | 88 | 80 |
| Batna | 780 | 478 | 321 | 275 |
| Blida | 614 | 472 | 187 | 352 |
| Constantine | 416 | 170 | 280 | 101 |
| Mascara | 389 | 227 | 141 | 389 |
| Médea | 406 | 189 | 240 | 84 |
| Mostaganem | 605 | 285 | 196 | 193 |
| Oran | 1103 | 497 | 173 | 2443 |
| Oum El boughi | 384 | 137 | 297 | 59 |
| Rélizane | 1044 | 358 | 140 | 241 |
| Tiaret | 775 | 428 | 29 | 59 |
| Tizi Ouzou | 899 | 554 | 80 | 2930 |
| Tlemcen | 995 | 532 | 35 | 620 |
| Setif | 924 | 391 | 190 | 213 |
| SBA | 406 | 235 | 23 | 278 |

TABLE 3.6 – Demande des produits au niveau des CLR s en plts, DIAPASON 1

3.1.2 Modélisation du problème

Les indices correspondant au modèle :

- i : numéro de l'unité de production ; $i=\overline{1,4}$;
- j : numéro de la plateformes ; $j=\overline{1,3}$;
- k : numéro du CLR ; $k=\overline{1,16}$;
- l : numéro du produit ;

Remarque : dans ce plan, les indices i et l varient en parallèles.

Les paramètres :

- f' : coût de fourche du produit l au niveau des CLR s ;
- f : coût de fourche au niveau des plateformes (entrée et sortie) ;
- c_{ij} : coût de transport du produit l de l'unité i vers la plateformes j ;
- c_{ljk} : coût de transport du produit l de la plateforme j vers le CLR k ;
- b_i : capacité de production d'une unité de production i pendant une semaine ;

- a_j : capacité de stockage de la plateforme j ;
- d_{lj} : demande de la plateforme j du produit l pendant une semaine ;
- d_{lk} : demande du CLR k du produit l pendant une semaine.

Les variables de décisions

- x_{ij} : quantité transférée de l'unité de production i vers la plateforme j pendant une semaine en plts ;
- y_{ljk} : quantité transférée du produit l de la plateformes j vers le CLR k pendant une semaine en plts.

Les contraintes :

- La quantité à envoyer aux plateformes ne doit pas dépasser la capacité de production de l'unité de production i :

$$\sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq b_i, \quad i = \overline{1,4}$$

- Les quantités à envoyer aux CLR s ne doivent pas dépasser la capacité de la plateformes :

$$\sum_{l=1}^4 \sum_{k=1}^{16} y_{ljk} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3};$$

- Les demandes des CLR s doivent être satisfaites :

$$\sum_{j=1}^3 y_{ljk} \geq d_{lk}, \quad k = \overline{1,16}, \quad l = \overline{1,4};$$

- Les demandes des plateformes doivent être satisfaites :

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3}$$

$$d_{ij} \leq x_{ij}, \quad \forall i = \overline{1,4}, \quad j = \overline{1,3}$$

La fonction objectif :

La fonction objectif minimise les coûts de transport ainsi que le coût de fourche de l'usine aux plateformes et des plateformes aux CLR s.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} + \sum_{l=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} c_{ljk} y_{ljk} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 f x_{ij} + \sum_{k=1}^{16} \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^4 f y_{ljk} + \\ & \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^4 f y_{ljk} \end{aligned}$$

Remarque : dans ce problème le coût de stockage au sein des plateformes et des CLR's n'a pas été pris en compte par manque de données.

Le modèle :

Le modèle final est comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min} \quad \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} + \sum_{l=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} c_{ljk} y_{ljk} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 f x_{ij} + \sum_{k=1}^{16} \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^4 f y_{ljk} + \\ \quad \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} \sum_{l=1}^4 f' y_{ljk} \\ \text{sc.} \quad \sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq b_i, \quad i = \overline{1,4} \\ \quad \sum_{l=1}^4 \sum_{k=1}^{16} y_{ljk} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3} \\ \quad \sum_{j=1}^3 y_{ljk} \geq d_{lk}, \quad k = \overline{1,16}, \forall l = \overline{1,4} \\ \quad \sum_{i=1}^4 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3} \\ \quad d_{ij} \leq x_{ij}, \quad \forall i = \overline{1,4}, \forall j = \overline{1,3} \end{array} \right.$$

3.1.3 La résolution du problème

Introduction des données :

Nous avons d'abord programmé l'algorithme correspondant au modèle. On a introduit la fonction objectif ainsi que les contraintes, et au final nous avons calculé deux matrices des coûts que nous avons introduits.

La première matrice A correspond à la matrice des coûts de transport et des coûts de fourches de l'usine aux plateformes, calculés comme suit :

$$A_{ij} = D_{ij} \times 90 + 14800, \forall i = \overline{1,4}, \forall j = \overline{1,3};$$

$$A = \begin{pmatrix} 35320 & 28030 & 75800 \\ 35320 & 28030 & 75800 \\ 35320 & 28030 & 75800 \\ 56200 & 29650 & 66370 \end{pmatrix}$$

La deuxième matrice B correspond à la matrice des coûts de transports et des coûts de fourches des plateformes aux CLR's, calculés comme suit :

$$B_{jk} = D_{jk} \times 90 + 14800 + 160, \forall j = \overline{1,3}, \forall k = \overline{1,16};$$

$$B = \begin{pmatrix} 50960 & 31340 & 24320 & 52850 & 15410 & 83580 & 52670 & 85160 & 89120 & 21440 \\ 74180 & 69230 & 44210 & 95600 & 27110 & 89390 & & & & \\ 31160 & 55460 & 41150 & 28010 & 40160 & 55910 & 30440 & 53660 & 62660 & 49700 \\ 50420 & 47180 & 28010 & 71660 & 32510 & 63560 & & & & \\ 53300 & 102170 & 89210 & 48350 & 860660 & 29090 & 31520 & 29090 & 29090 & 92810 \\ 27200 & 34670 & 60410 & 31160 & 75080 & 29090 & & & & \end{pmatrix}$$

```

plan1.mod  plan1.dat
1  /******
2  * OPL 12.6.1.0 Model
3  * Author: Lynda
4  * Creation Date: 22 mai 2019 at 20:03:49
5  * *****/
6  range I=1..4;
7  range J=1..3;
8  range K=1..16;
9  //
10 float A[i in I, j in J]=...;
11 float B[j in J, k in K]=...;
12 float b[i]=...;
13 float a[j]=...;
14 float d[i in I, k in K]=...;
15 float di[i in I, j in J]=...;
16 //
17 dvar int x[i][j];
18 dvar int x1[j][k];
19 dvar int x2[j][k];
20 dvar int x3[j][k];
21 dvar int x4[j][k];
22 //
23 minimize sum( i in I, j in J) A[i][j]* x[i][j] +
24 sum( j in J, k in K) B[j,k]*(x1[j,k]+x2[j,k]+x3[j,k]+x4[j,k]);
25
26 subject to {
27 //
28 forall ( i in I)
29   sum ( j in J) x[i,j]<= b[i];
30 //
31 forall ( j in J)
32   sum ( k in K) (x1[j][k]+x2[j][k]+ x3[j][k]+
33     x4[j][k]) <= a[j];
34 //

```

FIGURE 3.1 – Implémentation du modèle associé au DIAPASON 1 sous CPLEX

```

plan1.mod  plan1.dat
34 //
35 forall (k in K)
36   sum (j in J) x1[j,k] >= d[1,k];
37
38 forall (k in K)
39   sum (j in J) x2[j,k] >= d[2,k];
40
41 forall (k in K)
42   sum (j in J) x3[j,k] >= d[3,k];
43
44 forall (k in K)
45   sum (j in J) x4[j,k] >= d[4,k];
46
47 //
48 forall (i in I)
49   forall (j in J)
50     d1[i,j] <= x[i,j] ;
51 //
52 forall (j in J)
53   sum (i in I) x[i,j] <= a[j];
54 //
55 forall (i in I)
56   forall (j in J)
57     x[i,j] >= 0;
58
59
60 forall (j in J)
61   forall (k in K)
62     { x1[j,k] >= 0 ; x2[j,k] >= 0 ; x3[j,k] >= 0 ; x4[j,k] >= 0 ; }
63 }

```

FIGURE 3.2 – Implémentation du modèle associé au DIAPASON 1 sous CPLEX (suite)


```

plan1.mod  plan1.dat
1 /*****
2 * OPL 12.6.1.0 Data
3 * Author: Lynda
4 * Creation Date: 22 mai 2019 at 20:03:49
5 *****/
6 A=[[35320,28030,75800],
7 [35320,28030,75800],
8 [35320,28030,75800],
9 [56200,29650,66370]];
10
11 B=[[50960,31340,24320,52850,15410,83580,52670,85160,89120,21440,74180,69230,44210,95600,27110,89390],
12 [31160,55460,41150,28010,40160,55910,30440,53660,62660,49700,50420,47180,28010,71660,32510,63560],
13 [53300,102170,89210,48350,86060,29090,31520,29090,29090,92810,27200,34670,60410,31160,75080,29090]];
14
15 a=[4969,87000,98000];
16
17 b=[14203,9024,3426,6495];
18
19 d1=[[3682,2965,714],[100,7002,1798],[286,884,362],[144,1649,2124]];
20
21 d=[[2795,690,780,614,416,389,406,605,1103,384,1044,775,899,995,924,406],
22 [1258,413,478,472,170,227,189,285,497,137,358,428,554,532,391,235],
23 [266,88,321,187,280,141,240,196,173,297,140,29,80,35,190,23],
24 [638,80,275,352,101,389,84,193,2443,59,241,59,2930,620,213,278]];

```

FIGURE 3.3 – Les données du plan DIAPASON 1 sous CPLEX

Résultats obtenus :

Après avoir exécuté le programme nous avons eu les tableaux suivants :

Navigateur de problèmes Variables Points d'arrêt

Solution avec l'objectif 1 772 915 490

| Nom | Valeur |
|----------------------|--|
| Variables de décisio | |
| x | [[3682 2965 714] [100 7002 1798] [286 884 362] [144 1649 2124]] |
| x1 | [[0 690 780 0 416 0 0 0 384 0 0 0 0 0] [2795 0 0 614 0 0 406 0 0 0 0 899 0 924 0] [0 0 0 0 389 0 605 1103 0 1044 775 0 995 0 406]] |
| x2 | [[0 413 478 0 170 0 0 0 137 0 0 0 0 0] [1258 0 0 472 0 189 0 0 0 0 554 0 391 0] [0 0 0 0 227 0 285 497 0 358 428 0 532 0 235]] |
| x3 | [[0 88 321 0 280 0 0 0 297 0 0 0 0 0] [266 0 0 187 0 0 240 0 0 0 80 0 190 0] [0 0 0 0 141 0 196 173 0 140 29 0 35 0 23]] |
| x4 | [[0 80 275 0 101 0 0 0 59 0 0 0 0 0] [638 0 0 352 0 84 0 0 0 0 2930 0 213 0] [0 0 0 0 389 0 193 2443 0 241 59 0 620 0 278]] |

FIGURE 3.4 – Résultats du DIAPASON 1 sous CPLEX

| Plateforms/Produit | L'huile | Sucre | Margarine | Eau |
|--------------------|---------|-------|-----------|------|
| P.F Constantine | 3682 | 100 | 286 | 144 |
| P.F Bouira | 2965 | 7002 | 884 | 1649 |
| P.F Oran | 714 | 1798 | 362 | 2124 |

TABLE 3.7 – Quantités à envoyer de l'usine aux plateformes en plts suivant DIAPASON 1

| Plateformes | CLR | L'huile | Sucre | Margarine | Eau |
|-------------|-------------|---------|-------|-----------|------|
| Constantine | Annaba | 690 | 413 | 88 | 80 |
| | Batna | 780 | 478 | 321 | 275 |
| | Constantine | 416 | 170 | 280 | 101 |
| | O.E Boughi | 384 | 137 | 297 | 59 |
| Bouira | Alger | 2795 | 1258 | 266 | 638 |
| | Blida | 614 | 472 | 187 | 352 |
| | Medea | 406 | 189 | 240 | 84 |
| | Tizi Ouzou | 899 | 554 | 80 | 2930 |
| | Setif | 924 | 391 | 190 | 213 |
| Oran | Mascara | 389 | 227 | 141 | 389 |
| | Mostaganem | 605 | 285 | 196 | 193 |
| | Oran | 1103 | 497 | 173 | 2443 |
| | Relizane | 1044 | 358 | 140 | 241 |
| | Tiaret | 775 | 428 | 29 | 59 |
| | Tlemcen | 995 | 532 | 35 | 620 |
| | S.B Abbes | 406 | 235 | 23 | 278 |

TABLE 3.8 – Quantités à envoyer des plateformes aux CLR en plts suivant DIAPASON 1

Interprétation des résultats :

L'IBM ILOG CPLEX nous a fourni un plan de distribution de chaque produit de l'usine vers les trois plateformes et des plateformes vers les CLR qu'elles alimentent, avec un coût total de 1 772 915 490 DA.

3.2 Description et formulation du plan 2 : DIAPASON 2

Depuis fin 2018 l'entreprise songeait à changer le plan de distributions de ces produits suite aux coûts qui n'ont cessé d'augmenter, alors au début d'année 2019 l'entreprise à mis en place un nouveau plan, appelé " DIAPASON 2".

Le plan consiste à regrouper ces produits en deux : des produits à " forte rotation" et d'autre à "rotation moyenne". Les produits à forte rotations qui sont "l'huile et le sucre" sont directement envoyé aux CLRs, sans passer par les platforms, par contre pour les autres produits l'entreprise garde l'ancien plan " DIAPASON 1 " .

3.2.1 Collecte des données

Au niveau du service LOGISTIQUE

Après du service logistique, nous avons pu récolter les données manquantes pour ce deuxième plan :

- La distance entre l'usine et les CLRs d_{ik} ;
 - La capacité de stockage de chaque plateformes en plts ;
- Ces données sont représentées dans les tableaux ci dessous ;

| Situation | Plateformes | Capacité de stockage (Plts) |
|-----------|-------------------|-----------------------------|
| Centre | P.F Bouira 1 | 7250 |
| Ouest | P.F Hassi Ameer 2 | 6567 |
| Est | P.F El Kheroub 3 | 1701 |

TABLE 3.9 – Capacité de stockage des plateformes, DIAPASON 2

| CLR | Distance (Km) |
|------------------|---------------|
| Alger 1 | 259 |
| Annaba 2 | 382 |
| Batna 3 | 241 |
| Blida 4 | 289 |
| Constantine 5 | 228 |
| Mascara 6 | 619 |
| Medea 7 | 280 |
| Mostaganem 8 | 590 |
| Oran 9 | 678 |
| Oum El Boughi 10 | 310 |
| Relizane 11 | 552 |
| Tiaret 12 | 470 |
| Tizi Ouzou 13 | 254 |
| Tlemcen 14 | 780 |
| Setif 15 | 245 |
| SBA 16 | 692 |

TABLE 3.10 – La distance usine-CLR, d_{ik}

3.2.2 Modélisation du problème

Les indices :

- i, l : numéro de l'unité de production, $i = \overline{1, 2}, l = \overline{1, 2}$;
- j : numéro de la plateformes;
- k : numéro du CLR;
- l : numéro du produit à forte rotation.

Les paramètres :

- f_l : coût de fourche du produit l , i au niveau des CLR en plts;
- f : coût de fourche au niveau des plateformes (entrée et sortie) en plts;
- c_{ij} : coût de transport du produit i de l'usine vers la plateforme j ;
- c_{ijk} : coût de transport du produit i de la plateforme j vers le clr k ;
- c_{lk} : coût de transport du produit l de l'usine vers le CLR k ;

- b_i : capacité de production de l'unité de production i ;
- b_l : capacité de production de l'unité de production l ;
- a_j : capacité de stockage de la plateforme j ;
- d_{ij} : demande de la plateformes j du produit i pendant une semaine en plts ;
- d_{ik} : demande du CLR k du produit i pendant une semaine en plts ;
- d_{lk} : demande du CLR k du produit l pendant une semaine en plts ;

Les variables de décisions :

- x_{ij} : quantité transférée de l'unité de production i vers la plateforme j pendant une semaine en plts ;
- x_{ijk} : quantité transférée du produit i de la plateforme j vers le CLR k pendant une semaine en plts ;
- y_{lk} : quantité transférée de l'unité de production l vers le CLR k pendant une semaine en plts.

Les contraintes :

- La quantité à envoyer aux plateformes ne doit pas dépasser la capacité de production de l'unité de production :

$$\sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq b_i, \quad i = \overline{1,2}$$

$$\sum_{k=1}^{16} y_{lk} \leq b_l, \quad l = \overline{1,2}$$

- Les quantités à envoyer au CLR ne doivent pas dépasser la capacité de la plateforme :

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{16} x_{ijk} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3};$$

- Les demandes CLR ne doivent être satisfaites :

$$\sum_{j=1}^3 x_{ijk} \geq d_{ik}, \quad k = \overline{1,16}, \quad i = \overline{1,2};$$

$$y_{lk} \geq d_{lk}, \quad k = \overline{1,16}, \quad l = \overline{1,2};$$

- Les demandes plateformes doivent être satisfaites :

$$\sum_{i=1}^2 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1,3}$$

$$d_{ij} \leq x_{ij}, \quad \forall i = \overline{1,2}, \quad \forall j = \overline{1,3}$$

La fonction objectif :

La fonction objectif minimise le coût de transport ainsi que le coût de fourche de l'usine aux plateformes et des plateformes aux CLR.

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} + \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{16} c_{lk} y_{lk} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 f x_{ij} + \\
 & \sum_{k=1}^{16} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^2 f x_{ijk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} \sum_{i=1}^2 f' x_{ijk} + \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{16} f' y_{lk}
 \end{aligned}$$

Le modèle :

Le modèle final se présente comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min} \quad \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} + \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{16} c_{lk} y_{lk} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 f x_{ij} + \\
 \sum_{k=1}^{16} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^2 f x_{ijk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{16} \sum_{i=1}^2 f' x_{ijk} + \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{16} f' y_{lk} \\
 \text{sc.} \quad \sum_{j=1}^3 x_{ij} \leq b_i, \quad i = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{k=1}^{16} y_{lk} \leq b_l, \quad l = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{16} x_{ijk} \leq a_j, \quad j = \overline{1, 3}; \\
 \sum_{j=1}^3 x_{ijk} \geq d_{ik}, \quad k = \overline{1, 16}, \quad i = \overline{1, 2}; \\
 y_{lk} \geq d_{lk}, \quad k = \overline{1, 16}, \quad i = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{i=1}^2 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1, 3}; \\
 d_{ij} \leq x_{ij}, \quad \forall i = \overline{1, 2}, \quad \forall j = \overline{1, 3}.
 \end{array} \right.$$

3.2.3 La résolution du problème

Introduction des données :

Nous avons d'abord programmé l'algorithme correspondant au modèle. On a introduit la fonction objectif ainsi que les contraintes, et au final nous avons calculé trois matrices des coûts que nous avons introduits.

La première, A est la matrice des coûts de transport et des coûts de fourches de la margarine et de l'eau à partir de l'usine aux plateformes, calculé comme suit :

$$A_{ij} = D_{ij} \times 90 + 14800, i = \overline{1,2}, j = \overline{1,3};$$

$$A = \begin{pmatrix} 35320 & 28030 & 75800 \\ 56200 & 29650 & 66370 \end{pmatrix}$$

La deuxième, B est la matrice des coûts de transport et des coûts de fourches de la margarine et de l'eau à partir des plateformes aux CLR, calculé comme suit :*

$$B_{jk} = D_{jk} \times 90 + 14800 + 160, j = \overline{1,2}, k = \overline{1,16};$$

$$B = \begin{pmatrix} 50960 & 31340 & 24320 & 52850 & 15410 & 83580 & 52670 & 85160 & 89120 & 21440 \\ 74180 & 69230 & 44210 & 95600 & 27110 & 89390 & & & & \\ 31160 & 55460 & 41150 & 28010 & 40160 & 55910 & 30440 & 53660 & 62660 & 49700 \\ 50420 & 47180 & 28010 & 71660 & 32510 & 63560 & & & & \\ 53300 & 102170 & 89210 & 48350 & 86060 & 29090 & 31520 & 29090 & 29090 & 92810 \\ 27200 & 34670 & 60410 & 31160 & 75080 & 29090 & & & & \end{pmatrix}$$

La troisième, C est la matrice des coûts de transport et des coûts de fourches du sucre et de l'huile de l'usine aux CLR, calculé comme suit :

$$C_{ik} = D_{ik} \times 90 + 160, i = \overline{1,2}, k = \overline{1,16};$$

$$C = \begin{pmatrix} 23470 & 34540 & 21850 & 26170 & 20680 & 55870 & 25360 & 53260 & 61180 & 28060 \\ 49840 & 42460 & 23020 & 70360 & 22210 & 62440 & & & & \\ 23470 & 34540 & 21850 & 26170 & 20680 & 55870 & 25360 & 53260 & 61180 & 28060 \\ 49840 & 42460 & 23020 & 70360 & 22210 & 62440 & & & & \end{pmatrix}$$

```

plan2.mod  plan2.dat
1 /*****
2 * OPL 12.6.1.0 Model
3 * Author: Lynda
4 * Creation Date: 21 mai 2019 at 13:41:33
5 *****/
6 range I=1..2;
7 range L=1..2;
8 range J=1..3;
9 range K=1..16;
10 //
11 float A[i in I, j in J]=...;
12 float B[j in J, k in K]=...;
13 float C[l in L, k in K]=...;
14 float b [I]=...;
15 float b1 [L]=...;
16 float a[J]=...;
17 float d [i in I, k in K]=...;
18 float d1[i in I, j in J]=...;
19 float d2[l in L, k in K]=...;
20 //
21 dvar int x[I][J];
22 dvar int y[L][K];
23 dvar int x1[J][K];
24 dvar int x2[J][K];
25
26@ minimize sum (l in L, k in K) C[l][k]* y[l,k]+sum (i in I, j in J)A[i,j]*x[i,j]+
27 sum ( j in J, k in K) B[j,k]*(x1[j,k]+ x2[j,k]);
28 //
29@ subject to{
30 //
31@ forall(i in I)
32 sum (j in J) x[i,j]<= b[i];
33

```

FIGURE 3.5 – Le modèle associé au DIAPASON 2 sous CPLEX


```

plan2.mod  plan2.dat
34@ forall (l in L)
35@   sum (k in K) y[l,k] <= b1[l];
36@ //
37@ forall (j in J)
38@   sum (i in I) x[i,j] <= a[j];
39@ //
40@ forall (j in J)
41@   forall (i in I)
42@     x[i,j] >= d1[i,j];
43@ //
44@ forall (j in J)
45@   sum (k in K) (x1[j,k] + x2[j,k]) <= a[j];
46@ //
47@ forall (k in K)
48@   forall (l in L)
49@     d2[l,k] <= y[l,k];
50@ //
51@ forall (k in K)
52@   sum (j in J) x1[j,k] >= d[1,k];
53@ //
54@ forall (k in K)
55@   sum (j in J) x2[j,k] >= d[2,k];
56@ //
57@ forall (i in I)
58@   forall (j in J)
59@     x[i,j] >= 0;
60@ //
61@ forall (j in J)
62@   forall (k in K)
63@     { x1[j,k] >= 0 ; x2[j,k] >= 0 ; }
64@ //
65@ forall (l in L)
66@   forall (k in K)
67@     y[l,k] >= 0; }

```

FIGURE 3.6 – Le modèle associé au DIAPASON 2 sous CPLEX, suite

```
plan2.mod  plan2.dat ✕
1 /*****
2 * OPL 12.6.1.0 Data
3 * Author: Lynda
4 * Creation Date: 21 mai 2019 at 13:41:33
5 *****/
6 A= [ [35320,28030,75800],
7      [56200,29650,66370]];
8
9 B= [[50960,31340,24320,52850,15410,83580,52670,85160,89120,21440,74180,69230,44210,95600,27110,89390],
10 [31160,55460,41150,28010,40160,55910,30440,53660,62660,49700,50420,47180,28010,71660,32510,63560],
11 [53300,102170,89210,48350,86060,29090,31520,29090,29090,92810,27200,34670,60410,31160,75080,29090]];
12
13 C= [[23470,34540,21850,26170,20680,55870,25360,53260,61180,28060,49840,42460, 23020,70360,22210,62440],
14 [23470,34540,21850,26170,20680,55870,25360,53260,61180,28060,49840,42460, 23020,70360,22210,62440]];
15
16 a=[1701,7250,6567];
17
18 b=[3426,6495];
19
20 b1=[14203,9024];
21
22 d1=[[286,884,362],[144,1649,2124]];
23
24 d2=[[2795,690,780,614,416,389,406,605,1103,384,1044,775,899,995,924,406],
25 [1258,413,478,472,170,227,189,285,497,137,358,428,554,532,391,235]];
26
27
28 d=[[266,288,321,187,280,141,240,196,173,297,140,29,80,35,190,23],
29 [638,80,275,352,101,389,84,193,2443,59,241,59,2930,620,213,278]];
30
```

FIGURE 3.7 – Les données associées au DIAPASON 2 sous CPLEX

Résultats obtenus :

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

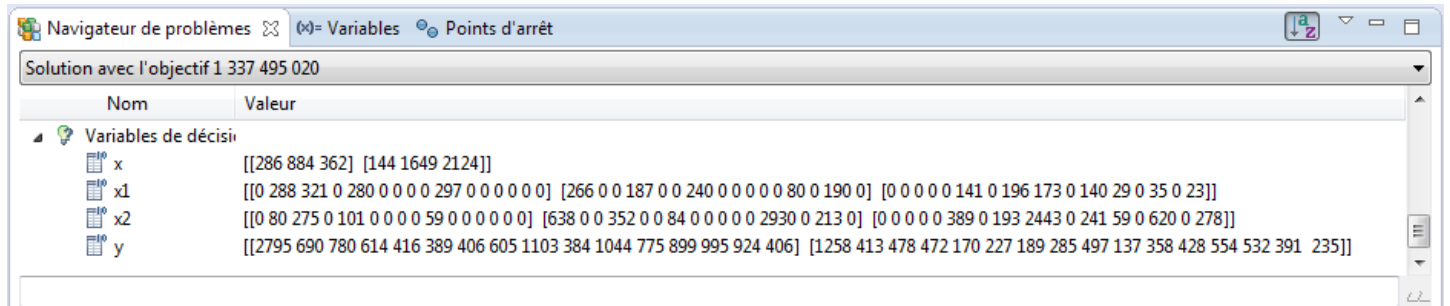


FIGURE 3.8 – Résultats sous CPLEX

| Plateformes/Produit(plts) | Margarine | Eau |
|---------------------------|-----------|------|
| P.F Constantine | 286 | 144 |
| P.F Bouira | 884 | 1649 |
| P.F Oran | 362 | 2124 |

TABLE 3.11 – Quantités à envoyer de l'usine aux plateformes, DIAPASON 2

| Plateformes | Clr | Margarine | Eau |
|-------------|-------------|-----------|------|
| Constantine | Annaba | 288 | 80 |
| | Batna | 321 | 275 |
| | Constantine | 280 | 101 |
| | O.E Boughi | 297 | 59 |
| Bouira | Alger | 266 | 638 |
| | Blida | 187 | 352 |
| | Medea | 240 | 84 |
| | Tizi Ouzou | 80 | 2930 |
| | Setif | 190 | 213 |
| Oran | Mascara | 141 | 389 |
| | Mostaganem | 196 | 193 |
| | Oran | 173 | 2443 |
| | Relizane | 140 | 241 |
| | Tiaret | 29 | 59 |
| | Tlemcen | 35 | 620 |
| | S.B Abbes | 23 | 278 |

TABLE 3.12 – Quantités à envoyer des plateformes aux CLRS, DIAPASON 2

Le tableau Table 3.14 représente la quantité optimale d'eau et de margarine à envoyer des plateformes aux CLRs.

| Clr | Huile | Sucre |
|----------------|-------|-------|
| Alger | 2795 | 1258 |
| Annaba | 690 | 413 |
| Batna | 780 | 478 |
| Blida | 614 | 472 |
| Constantine | 416 | 170 |
| Mascara | 389 | 227 |
| Medea | 406 | 189 |
| Mostaganem | 605 | 285 |
| Oran | 1103 | 497 |
| Oum El Boughi | 384 | 137 |
| Relizane | 1044 | 358 |
| Tiaret | 775 | 428 |
| Tizi Ouzou | 899 | 554 |
| Tlemcen | 995 | 532 |
| Setif | 924 | 391 |
| Sidi Bel abbes | 406 | 235 |

TABLE 3.13 – Quantités à envoyer des plateformes aux CLR, DIAPASON 2

Interprétation des résultats :

L'IBM ILOG CPLEX nous a fourni un plan de distribution des produits (eau et margarine) de l'usine vers les trois plateformes et des plateformes vers les CLR ainsi que la quantité à envoyer de l'usine aux CLR pour l'huile et le sucre, tout en évaluant le coût total dont la valeur est de : 1 337 495 020 DA.

Conclusion

Après comparaison, il est facile de constater que le coût a été réduit de manière considérable.

3.3 Identification et formulation du plan de distribution optimal proposé

Suite aux résultats que nous avons obtenu précédemment relatif au premier plan dont le coût total était 1 772 915 490 DA, ainsi que ceux relatif au deuxième plan à 1 337 495 020 DA. Nous

avons proposé un plan de distribution optimal pour l'entreprise dans le but de réduire d'avantage le coût total.

Le plan proposé consiste à l'élimination de la plateforme de Bouira, car celle-ci est la plateforme la plus proche de l'usine de Bejaia à 147 KM et à 165 KM de l'usine de LLK (Lalla Khedija), ce qui assure la satisfaction de la clientèle d'une part et la réduction des coûts de transport d'une autre part.

3.3.1 Modelisation du problème

Les indices :

- i : numéro de l'unité de production correspondante au produit i , $i = \overline{1, 2}$;
- l : numéro de l'unité de production correspondante au produit l , $l = \overline{1, 2}$;
- j : numéro de la plateforme ; $j = \overline{1, 3}$
- k : numéro du CLR, $k = \overline{1, 11}$;
 - $k = 1$ CLR d'Annaba ;
 - $k = 2$ CLR de Batna ;
 - $k = 3$ CLR de Constantine ;
 - $k = 4$ CLR de Mascara ;
 - $k = 5$ CLR de Mostaganem ;
 - $k = 6$ CLR d'oran ;
 - $k = 7$ CLR de Oum El Boughi ;
 - $k = 8$ CLR Relizane ;
 - $k = 9$ CLR de Tiaret ;
 - $k = 10$ CLR de Tlemcen ;
 - $k = 11$ CLR de Sidi Bel abbes.
- m : numéro du CLR, $m = \overline{1, 5}$;
 - $m = 1$ CLR d'Alger ;
 - $m = 2$ CLR de Blida ;
 - $m = 3$ CLR de Medea ;
 - $m = 4$ CLR de Tizi Ouzou ;
 - $m = 5$ CLR de Setif.

Les paramètres :

- a_j : capacité de stockage de la plateforme j ;
- b_i : capacité de l'unité de production du produit i ;
- b_l : capacité de l'unité de production du produit l ;
- d_{ij} : demande du produit i de la plateforme j pendant une semaine ;

- d_{ik} : demande du produit i du CLR k pendant une semaine ;
- d_{lk} : demande du produit l du CLR k pendant une semaine ;
- d_{lm} : demande du produit l du CLR m pendant une semaine ;
- d_{im} : demande du produit i du CLR m pendant une semaine ;
- f' : coût de fourche au niveau des CLR ;
- f : coût de fourche au niveau des plateformes (entrée et sortie) ;
- c_{ij} : coût de transport du produit i de l'usine vers la plateformes j ;
- c_{ijk} : coût de transport du produit i de la plateforme j vers le CLR k ;
- c_{im} : coût de transport du produit i de l'usine au CLR m ;
- c_{lm} : coût de transport du produit l de l'usine vers le CLR m ;
- c_{lk} : coût de transport du produit l de l'usine vers le CLR k ;

Les variables de décisions :

- x_{ij} : quantité du produit i à transférer de l'usine vers la plateforme j pendant une semaine ;
- x_{ijk} : quantité du produit i à transférer de la plateforme j vers le CLR k pendant une semaine ;
- x_{lk} : quantité du produit l à transférer de l'usine vers CLR k pendant une semaine ;
- y_{im} : quantité du produit i à transférer de l'usine vers le CLR m pendant une semaine ;
- y_{lm} : quantité du produit l à transférer de l'usine vers le CLR m pendant une semaine ;
- y_{lk} : quantité du produit l à transférer de l'usine vers le CLR k pendant une semaine.

Les contraintes :

- La capacité à envoyer aux plateformes ne doit pas dépasser la capacité de production et de stockage de l'unité de production du produit i :

$$\sum_{j=1}^2 x_{ij} + \sum_{m=1}^5 y_{im} \leq b_i, \quad i = \overline{1, 2}$$

$$\sum_{k=1}^{11} x_{lk} + \sum_{m=1}^5 y_{lm} \leq b_l, \quad l = \overline{1, 2}$$

- Les demandes des plateformes j doivent être satisfaites :

$$\sum_{i=1}^2 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1, 2}$$

$$x_{ij} \geq d_{ij}, \quad i = \overline{1, 2} \quad j = \overline{1, 2}$$

- Les quantités à envoyer aux clr k ne doit pas dépasser la capacité de la platforms j :

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{11} x_{ijk} \leq a_j, \quad \forall j = \overline{1, 2}$$

- Les demandes au niveau des clr doivent être satisfaites :

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^2 x_{ijk} &\geq d_{ik}, & \forall k = \overline{1, 11}, & \forall i = \overline{1, 2} \\
y_{lk} &\geq d_{lk}, & \forall k = \overline{1, 11}, & \forall l = \overline{1, 2} \\
y_{lm} &\geq d_{lm}, & \forall m = \overline{1, 5}, & \forall l = \overline{1, 2} \\
y_{im} &\geq d_{im}, & \forall m = \overline{1, 5}, & \forall l = \overline{1, 2}
\end{aligned}$$

La fonction objectif :

La fonction objectif minimise le coût de transport ainsi que le coût de fourche de l'usine à la plateforme d'Oran et de Constantine et de là aux CLR's rattachés à ces plateformes pour ce qui est de l'eau et de la margarine, ainsi que le coût de transport et le coût de fourche de l'usine aux CLR's d'Alger, Blida, Medea, Tizi Ouzou et Sétif pour tout les produits.

$$\begin{aligned}
Min \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 c_{ij} x_{ij} &+ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{11} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{m=1}^5 \sum_{i=1}^2 c_{im} y_{im} + \sum_{m=1}^5 \sum_{l=1}^2 c_{lm} y_{lm} + \\
\sum_{k=1}^{11} \sum_{l=1}^2 c_{lk} x_{lk} &+ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 f x_{ij} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{11} (f + f') x_{ijk} + \\
\sum_{k=1}^{11} \sum_{l=1}^2 f' x_{lk} &+ \sum_{m=1}^5 f' \left(\sum_{i=1}^2 y_{im} + \sum_{l=1}^2 y_{lm} \right)
\end{aligned}$$

Le modèle :

Le modèle final est représenté comme suit :

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Min } \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{11} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{m=1}^5 \sum_{i=1}^2 c_{im} y_{im} + \sum_{m=1}^5 \sum_{l=1}^2 c_{lm} y_{lm} + \\
 \sum_{k=1}^{11} \sum_{l=1}^2 c_{lk} x_{lk} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 f x_{ij} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{11} (f + f') x_{ijk} + \\
 \sum_{k=1}^{11} \sum_{l=1}^2 f' x_{lk} + \sum_{m=1}^5 f' \left(\sum_{i=1}^2 y_{im} + \sum_{l=1}^2 y_{lm} \right) \\
 \text{sc. } \sum_{j=1}^2 x_{ij} + \sum_{m=1}^5 y_{im} \leq b_i, \quad i = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{k=1}^{11} x_{lk} + \sum_{m=1}^5 y_{lm} \leq b_l, \quad l = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{i=1}^2 x_{ij} \leq a_j, \quad j = \overline{1, 2}; \\
 x_{ij} \geq d_{ij}, \quad i = \overline{1, 2} \quad j = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{11} x_{ijk} \leq a_j, \quad \forall j = \overline{1, 2}; \\
 \sum_{j=1}^2 x_{ijk} \geq d_{ik}, \quad \forall k = \overline{1, 11}, \quad \forall i = \overline{1, 2}; \\
 y_{lk} \geq d_{lk}, \quad \forall k = \overline{1, 11}, \quad \forall l = \overline{1, 2}; \\
 y_{lm} \geq d_{lm}, \quad \forall m = \overline{1, 5}, \quad \forall l = \overline{1, 2}; \\
 y_{im} \geq d_{im}, \quad \forall m = \overline{1, 5}, \quad \forall l = \overline{1, 2};
 \end{array} \right\}$$

3.3.2 La resolution du problème

Introduction des données :

Nous avons d'abord programmé l'algorithme correspondant au modèle. On a introduit la fonction objectif ainsi que les contraintes, et au final nous avons calculé les matrices des coûts que nous avons introduits.

La première matrice A , correspond à la matrice des coûts de transport et des coûts de fourches de l'usine à la plateforme de Constantine et d'Oran, calculé comme suit :

$$A_{ij} = D_{ij} \times 90 + 14800, \quad i = \overline{1, 2}, \quad j = \overline{1, 2},$$

$$A = \begin{pmatrix} 35320 & 75800 \\ 56200 & 66370 \end{pmatrix}$$

La deuxième matrice B , correspond à la matrice des coûts de transport et de fourche de la margarine et de l'eau la plateforme de Constantine et d'Oran aux CLR rattachés à ces dernières, calculé comme suit :

$$B_{jk} = D_{jk} \times 90 + 14800 + 160, j = \overline{1, 2}, k = \overline{1, 11},$$

$$B = \begin{pmatrix} 31340 & 24320 & 15410 & 83580 & 85160 & 89120 & 21440 & 74180 & 69230 & 95600 \\ 89390 & & & & & & & & & \\ 102170 & 89210 & 86060 & 29090 & 29090 & 29090 & 92810 & 27200 & 34670 & 31160 \\ 29090 & & & & & & & & & \end{pmatrix}$$

La troisième C , correspond à la matrice des coûts de transport et de fourche d'huile et du sucre de l'usine aux CLR d'Annaba, Batne, Constantine, Mascara, Mostaganem, Oran, Oum El Boughi, Relizane, Tiaret, Tlemcen et Sidi Bel Abbès, calculé comme suit :

$$C_{ik} = D_{ik} \times 90 + 160, i = \overline{1, 2}, k = \overline{1, 11},$$

$$C = \begin{pmatrix} 34540 & 21850 & 20680 & 55870 & 53260 & 61180 & 28060 & 49840 & 42460 & 70360 \\ 62440 & & & & & & & & & \\ 34540 & 21850 & 20680 & 55870 & 53260 & 61180 & 28060 & 49840 & 42460 & 70360 \\ 62440 & & & & & & & & & \end{pmatrix}$$

La quatrième matrice D , correspond à la matrice des coûts de transport de la margarine et de l'eau de l'usine vers les CLR d'Alger, Blida, Medea, Tizi Ouzou et Setif, calculé comme suit :

$$D_{im} = D_{im} \times 90 + 160, i = \overline{1, 2}, m = \overline{1, 5},$$

$$D = \begin{pmatrix} 23470 & 26170 & 25360 & 23020 & 22210 \\ 23470 & 26170 & 25360 & 23020 & 22210 \end{pmatrix}$$

La cinquième matrice E , correspond à la matrice des coûts de transport du sucre et d'huile de l'usine vers les CLR d'Alger, Blida, Medea, Tizi Ouzou et Setif, calculé comme suit :

$$E_{im} = D_{im} \times 90 + 160, i = \overline{1, 2}, m = \overline{1, 5},$$

$$E = \begin{pmatrix} 23470 & 26170 & 25360 & 23020 & 22210 \\ 23470 & 26170 & 25360 & 23020 & 22210 \end{pmatrix}$$

```

plan_optimal.mod  plan_optimal.dat
1 /******
2 * OPL 12.6.1.0 Model
3 * Author: Lynda
4 * Creation Date: 21 mai 2019 at 13:41:33
5 *****/
6 range I=1..2; // margarine eau
7 range L=1..2; // huile sucre
8 range J=1..2; // plate-fomres
9 range K=1..11; // CLR
10 range M=1..5; // CLR
11
12 float A [I,J]=...;
13 float B [J,K]=...;
14 float C [L,K]=...;
15 float D [I,M]=...;
16 float E [L,M]=...;
17
18
19 float b [I]=...; // Capacité de l'unité d production du produit i
20 float bl [L]=...; // Capacité de l'unité d production du produit l
21 float a[j]=...; // Capacité de la plateforme j
22
23 float d [i in I, j in J]=...; // demande plf margarine eau
24 float d1 [i in I, k in K]=...; //demande clr margarine eau k=1..11
25 float d2 [i in I, m in M]=...; // demande clr m=1..5 margarine eau
26 float d3 [l in L, k in K]=...; // demande clr huile sucre
27 float d4 [l in L, m in M]=...; // demande clr huile sucre
28
29 //
30 dvar int x[I][J]; // usine plf margarine eau
31 dvar int x1[J][K]; // plf clr margarine
32 dvar int x2[J][K]; // plf clr eau
33 dvar int y[I][M]; // usine clr margarine eau m=1..5
34 dvar int y1[L][M]; // usine clr huile sucre m=1..5

```

FIGURE 3.9 – Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX

```

plan_optimal.mod  plan_optimal.dat
34  dvar int y1[i,j,m]; // usine clr nuile sucre m=1..5
35  dvar int y2[l][k]; // usine clr huile sucre k=1..11
36
37  minimize sum (i in I, j in J, k in K) A[i,j]*x[i,j] + sum (j in J, k in K) B[j,k]*(x1[j,k]+ x2[j,k])+
38  sum (l in L) ( sum (k in K) c[l,k]* y2[l,k]+ sum (m in M) E[l,m]*y1[l,m]) +
39  sum (i in I, m in M) D[i,m]*y[i,m];
40
41  //
42  subject to
43  //
44  forall(i in I)
45    sum (j in J) x[i,j]+ sum (m in M) y[i,m] <= b[i];
46
47  forall (l in L)
48    sum (k in K) y2[l,k]+ sum (m in M) y1[l,m]<= b1[l];
49  //
50  forall (j in J)
51    sum (i in I)x [i,j]<= a[j];
52
53  forall (j in J)
54  forall (i in I)
55    x[i,j]>=d[i,j];
56  //
57  forall (j in J)
58    sum(k in K) (x1[j,k]+ x2[j,k]) <= a[j];
59  //
60  // demande clr
61  /*****i*****/
62  forall (k in K)
63    sum (j in J) x1[j,k] >= d1[1,k];
64
65  forall (k in K)
66    sum (j in J) x2[j,k] >= d1[2,k];
67  .....

```

FIGURE 3.10 – Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX, suite

```

plan_optimal.mod  plan_optimal.dat
68 /*****2*****/
69 forall (k in K)
70   forall (l in L)
71     y2[l,k]>= d3 [l,k];
72
73 /*****3*****/
74 forall (m in M)
75   forall (l in L)
76     y1[l,m]>= d4 [l,m];
77
78 /*****4*****/
79 forall (m in M)
80   forall (i in I)
81     y[i,m]>= d2[i,m];
82
83 //
84
85 forall (i in I)
86   forall (j in J)
87     x[i,j]>=0;
88
89 forall (j in J)
90   forall (k in K)
91     { x1[j,k]>=0 ; x2[j,k]>=0 ; }
92
93 forall (i in L)
94   forall (m in M)
95     y[i,m]>=0;
96
97 forall (l in L)
98   forall (m in M)
99     y1[l,m]>=0;
100
101 forall (l in L) forall (k in K) y2[l,k]>=0; }

```

FIGURE 3.11 – Implémentation du modèle correspondant au plan proposé sous CPLEX, suite

```

plan_optimal.mod  plan_optimal.dat
3 *****/
4 A= [ 35320,75800],
5     [ 56200,66370]];
6
7 B= [[31340,24320,15410,83580,85160,89120,21440,74180,69230,95600,89390],
8
9     [102170,89210,86060,29090,29090,29090,92810,27200,34670,31160,29090]];
10
11 C= [[ 34540,21850,20680,55870,53260,61180,28060,49840,42460,70360,62440],
12     [34540,21850,20680,55870,53260,61180,28060,49840,42460,70360,62440]];
13
14 D= [[23470,26170,25360,23020,22210],[23470,26170,25360,23020,22210]] ;
15
16 E= [[23470,26170,25360,23020,22210],[23470,26170,25360,23020,22210]] ;
17
18 a=[1701,6567];
19
20 b=[3426,6495];
21
22 b1=[14203,9024];
23
24 d=[[286,362],[144,2124]];
25
26 d1 =[[288,321,280,141,196,173,297,140,29,35,23],
27     [80,275,101,389,193,2443,59,241,59,620,278]];
28
29 d2 =[[266,187,240,80,190],[638,352,84,2930,213]];
30
31 d3=[[690,780,416,389,605,1103,384,1044,775,995,406],
32     [413,478,170,227,285,497,137,358,428,532,235]];
33
34 d4=[[2795,614,406,899,924],[1258,472,189,554,391]];
35

```

FIGURE 3.12 – Données relatives au modèle proposé sous CPLEX

Résultats obtenus :

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

| Nom | Valeur |
|-----------------------|---|
| Variables de décision | |
| x | [[286 362] [144 2124]] |
| x1 | [[288 321 280 0 0 0 297 0 0 0 0] [0 0 0 141 196 173 0 140 29 35 23]] |
| x2 | [[80 275 101 0 0 0 59 0 0 0 0] [0 0 0 389 193 2443 0 241 59 620 278]] |
| y | [[266 187 240 80 190] [638 352 84 2930 213]] |
| y1 | [[2795 614 406 899 924] [1258 472 189 554 391]] |
| y2 | [[690 780 416 389 605 1103 384 1044 775 995 406] [413 478 170 227 285 497 137 358 428 532 235]] |

FIGURE 3.13 – Résultats du plan proposé sous CPLEX

| Plateformes | Margarine | Eau |
|-----------------|-----------|------|
| P.F Constantine | 286 | 144 |
| P.F Oran | 362 | 2124 |

TABLE 3.14 – Quantité à envoyer de l'usine aux plateformes suivant le plan proposé

| Plateformes | CLR | Margarine | Eau |
|-------------|-------------|-----------|------|
| Constantine | Annnaba | 288 | 80 |
| | Batna | 321 | 275 |
| | Constantine | 280 | 101 |
| | O.El Boughi | 297 | 59 |
| Orna | Mascara | 141 | 389 |
| | Mostaganem | 196 | 193 |
| | Oran | 173 | 2443 |
| | Relizane | 140 | 241 |
| | Tiaret | 29 | 59 |
| | Tlemcen | 35 | 620 |
| | S.B.Abbes | 23 | 278 |

TABLE 3.15 – Quantité à envoyer des platforms aux CLR's suivant le plan proposé

| CLR | Huile | Sucre | Margarine | Eau |
|------------|-------|-------|-----------|------|
| Alger | 2795 | 1258 | 266 | 638 |
| Blida | 614 | 472 | 187 | 352 |
| Medea | 406 | 189 | 240 | 84 |
| Tizi Ouzou | 899 | 554 | 80 | 2930 |
| Setif | 924 | 391 | 190 | 213 |

TABLE 3.16 – Quantité à envoyer de l'usine aux CLR's suivant le plan proposé

| CLR | Huile | Sucre |
|-------------|-------|-------|
| Annnaba | 690 | 413 |
| Batna | 1360 | 478 |
| Constantine | 780 | 170 |
| Mascara | 389 | 227 |
| Mostaganem | 605 | 285 |
| Oran | 1103 | 497 |
| O.El Boughi | 384 | 137 |
| Relizane | 1044 | 358 |
| Tiaret | 775 | 428 |
| Tlemcen | 995 | 532 |
| S.B.Abbes | 406 | 235 |

TABLE 3.17 – Quantité à envoyer de l'usine aux CLR's suivant le plan proposé

Interprétation des résultats :

L'IBM ILOG CPLEX nous a fourni la quantité des produits à envoyer (eau et margarine) vers les deux plateformes (Constantine et Oran) ainsi que la quantité à envoyer des plateformes aux CLR's correspondants, il nous a fournit aussi la quantité à envoyer de l'usine aux CLR's rattachés aux deux plateformes pour l'huile et le sucre et la quantité à envoyer aux CLR's restant en ce qui concerne tout les produits avec un coût total égal à 1 235 063 410 DA.

3.4 Conclusion

Ce dernier chapitre fait l'objet d'un cas réel, dont l'objectif est de réduire les coûts de transport de la distribution d'huile, sucre, margarine et l'eau qui occupe une place très importante dans le marché national d'une part et couvrir la demande de la clientèle d'une autre part.

Conclusion générale

Toute entreprise quelque soit sa taille, sa renommée ou son domaine d'activité est confrontée à des problèmes de gestion quotidien. Parmi ses problèmes, on cite le problème de distribution de ses produits. L'entreprise CEVITAL s'est fixé un objectif de minimiser les coûts de transport tout en satisfaisant sa clientèle. C'est pourquoi le choix d'une politique d'organisation est très importante.

Dans ce travail, nous sommes intéressées à la planification de la distribution des produits de l'entreprise de CEVITAL, où ils envisagent de réduire les coûts. Pour cela, nous avons opter en premier lieu à présenter le premier plan appelé "DIAPASON 1" utilisé depuis 2014 jusqu'à 2018 qui s'agit d'expédier les produits des unités de productions vers les plateformes et ces derniers vers les CLR's qu'elles alimentent sous forme un problème linéaire puis résoudre ce dernier. En deuxième lieu, nous avons décrit le deuxième plan "DIAPASON 2" utilisé depuis début 2019, le modéliser et le résoudre. Et pour finir, nous avons proposer un plan qui réduit les coûts engendrés qui consiste à éliminer la plateforme Bouira.

Pour clôturer ce travail, nous exposons ci-dessous un ensemble de perspectives qui vise à améliorer d'avantage la qualité des résultats de nos modèles.

- Résolution des modèles avec des données réelles, afin d'avoir des résultats très proches de la réalité ;
- Tenir compte des coûts de stockage au seins des plateformes et des CLR's ;
- Inclure l'aspect quasi-aléatoire de la demande et du processus d'arrivée ;
- Tenir compte des coûts relatives à la fiabilité des moyens de transport ;
- Tenir compte du processus de production.

Bibliographie

- [1] Z. Mouloua. Ordonnancements coopératifs pour les chaînes logistiques. Thèse de doctorat. Département informatique, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.
- [2] S. Mebarki, L. Tahir. Optimisation du réseau logistique de distribution : cas des huiles au niveau de Cévital. Mémoire de Master, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2015.
- [3] A. Chabane, A. Bouregba. Optimisation du plan de distribution des produits Cevital. Mémoire de Master, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
- [4] M. Brahmi, D. Bouras. Proposition de plans de distributions marchandise optimaux : cas de l'entreprise Cevital. Mémoire de Master, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2018.
- [5] M. Oudani. Optimisation des problèmes de transport multimodal. Modélisation et simulation. Université du Havre, 2016. Français. NNT : 2016LEHA0005. tel-01327923v2
- [6] J.P. Campagne. Organisation et gestion de réseaux logistiques, Rapport interne INSA de Lyon, 2007.
- [7] B. Zeddani, Z. Menaâ. Amélioration des performances d'une entreprise de distribution Cas d'étude : NAFTAL. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2018.
- [8] Y. Pimor, M. Fender. *Logistique : Production, Distribution, Soutien* 5^e édition.
- [9] O. Messali, K. Soltana. Evaluation du système de gestion de la distribution, cas pratique : cevital agro-alimentaire.
- [10] C. Atmani, E. Mokkrache. La politique de distribution au sein d'une entreprise : Cas de CE-VITAL. UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA, 2017.
- [11] H. A. Eiselt, C. L. Sandblom. *Integer Programming and Network Models*. Springer. 2000.
- [12] Y. De Smet, B. Fortz. Algorithmique 3 et Recherche Opérationnelle, Cours Université de Bruxelles, 2014 .

- [13] F. Ouahbi, B. Raache. Modélisation et résolution exacte de problèmes de flux d'entrées et de sorties des produits finis dans une chambre froide : Cas de la margarinerie CEVITAL. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2017.
- [14] C. Burt, S. J. Maher, J. Witzig. Modelling Languages, Coatwork Summer School, Berlin 2015.

Résumé

La politique de distribution est une des politiques de la stratégie marketing des entreprises de production concernée par l'organisation de la mise à disposition de leur fabrication sur le marché. Elle peut être vue comme étant un problème d'optimisation combinatoire.

Dans ce mémoire, nous avons étudié la planification de la distribution des produits au niveau de l'entreprise agro-alimentaire CEVITAL, pour cela nous avons modélisé ce problème comme étant un programme linéaire en nombre entiers, qui permet de réduire les coûts de l'entreprise et satisfaire la demande de sa clientèle.

Nous avons utilisé le logiciel IBM ILOG CPLEX pour résoudre le problème posé qui nous a fournit des différentes résultats pour les trois plans exposés.

Mots clés : Distribution, planification, logistique, IBM ILOG CPLEX.

Abstract

The distribution policy is one of the policies of the marketing strategy of the production companies concerned by the organization of the provision of their manufacture on the market. It can be seen as a combinatorial optimization problem.

In this thesis, we studied the distribution planning of products at the level of the agro-food company CEVITAL, to do this we modeled this problem as being a linear program in integers, which makes it possible to reduce the costs of the company and satisfy the demand of its customers.

We used the IBM ILOG CPLEX software to solve the problem that gave us different results for the three exposed shots.

Keywords : Distribution, planning, logistics, IBM ILOG CPLEX.